

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب:

رقم التسلسل:



جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي
كلية العلوم الدقيقة
قسم: الكيمياء
أطروحة تخرج مقدمة لنيل شهادة
دكتوراه العلوم
ميدان: علوم المادة
تخصص: كيمياء عضوية تطبيقية
من إعداد الطالبة: لقميري سهيله



التخليق الحيوي للمواد النانوية الهجينة وتقييم النشاط البيولوجي والتحفيزي

Biosynthèse des nanomatériaux hybride et évaluation de
l'activité biologique et catalytique

الموضوع

نوقشت يوم: 2025/11/30

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيساً	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	أستاذ تعليم عالي	ربيبي ع الكريـم
مؤطراً	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	أستاذ محاضر - أ-	- منصر سهيلة
مؤطراً مساعداً	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	أستاذ تعليم عالي	- لعويني صلاح الدين
مناقشاً	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	أستاذ محاضر - أ-	- عطيه سالم
مناقشاً	جامعة قاصدي مرياح - ورقلة	أستاذ تعليم عالي	- نجيمي محمد السعيد
مناقشاً	جامعة باجي مختار - عنابة	أستاذ محاضر - أ-	- زياني نادية

الموسم الجامعي 2026/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



صدق الله العظيم

سورة العلق ٩٦

الآيات ﴿٥-١﴾

الإهداء

الحمد لله الذي أعاننا بالعلم وزيننا بالحلم وأكرمنا بالتقوى وأجملنا بالعافية أتقدم بإهداء ثمرة جهدي المتواضع هذا:

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة... إلى نبي الرحمة ونور العالمين:

سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة وأزكى التسليم

إلى من قال فيهما (وقل ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا)إلى من قرن الله طاعته بالإحسان إليهما

إلى من تعجز الكلمات عن وصفهما.... إلى من كانت دعواهم ورضاهم عني سر نجاحي..... إلى أجمل هدية وهبها الله لي

أمي وأبي حفظهما الله وأطال في عمرهما.

إلى فرحة عمري وسندي بعد الله إلى من كان دافعي للتحدي والصمود إلى من سهر وشجع إلى قرة عيني وأملي

إبني صحراوي أحمد منيب

إلى روح غاليتي وفقيدتي إلى طائر الجنة إلى التي أتمنى أن تكون شفيعتي يوم الدين

ابنتي بلقيس رحمها الله

إلى من هم انطلاقة الماضي وعون الحاضر وسند المستقبل..... إلى من حبهم يجري في عروقي...

إخوتي (محمد، زكريا يعقوب ويوسف) وأخواتي (منيرة وإحسان) رعاهم الله

إلى من مد الله بيني وبينهم صلة الرحم عائلتي وأقاربي الأعمام

إلى كل من علمني حرفا وأثار دربي وأعانني في اقتناء العلم والمعرفة طيلة مشواري الدراسي

أساتذتي ومعلمي الأفاضل

إلى من أحمل لهم في قلبي المحبة والتقدير

الطالبة لقميري سهيله

تشكرات

عملا بقوله تعالى " فاذكروني أذكركم وأشكروني ولا تكفرون "سورة البقرة

أشكر الله عز وجل الذي رزقني من العلم ما لم أكن أعلم، وأعطاني من القوة والمقدرة ما يكفي لإتمام هذا العمل المتواضع.

ومن تمام شكره عز وجل أشكر أهل الفضل لفضلهم وجهدهم وأعترف لهم بحقهم لقوله صلى الله عليه وسلم " لا يشكر الله من لا يشكر الناس"

أتقدم بجزيل الشكر والعرفان للأستاذة المشرفة "د. منصر سهيلة" على قبولها الإشراف على هاته المذكرة ودعمها

اللامتناهي، وحرصها الدائم وتضحياتها الجسام. جزاها الله عني خير الجزاء

كما أتقدم بخالص شكري وامتناني للمشرف المساعد " أ.د لعويني صلاح الدين".

كما أتوجه بالشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة نظير قبولهم وجهدهم لأثراء هذه المذكرة

إلى مسؤولي المخابر جميلة بره، وحيدة دية، رجاء قروي وطليبة علي

إلى الزميلة الدكتورة والباحثة الواعدة إلهام بن عمر التي كانت لها بصمة واضحة ومساندة فعالة طيلة إنجاز هاته الأطروحة.

إلى جنود الدعم الأستاذ الدكتور ربيعي ع الكريم والأستاذ دردقة عثمان والأستاذ قويدري مفتاح وعياش داي.

إلى كل هؤلاء أقول جزاكم الله عنا خيرا معذرة لمن نسيتهم سهوا من هاته القائمة

الطالبة لقميري سهيلة

المأخذ
من

Abstract

المخلص

في السنوات الأخيرة، جذبت المركبات النانوية الهجينة المصنعة بالطريقة الخضراء انتباه العديد من الباحثين بسبب خصائصها المحسنة المرغوبة في العديد من المجالات. تهدف هذه الدراسة إلى التخليق الحيوي لجسيمات أكسيد النيكل النانوية وكذلك المتراكبات النانوية المزخرفة بالحديد والزنك والفضة والنحاس وتقييم أنشطتها في إزالة صبغة أزرق الميثيلين وكذلك النشاط المضاد للبكتيريا وفيروس كوفيد. تم استخدام مستخلص نبتة البقلة المباركة كعامل اختزال وتثبيت لعملية التخليق الأخضر. وذلك كمحاولة لتحسين الخصائص البصرية والميكانيكية والضوئية والتوصيلية الحرارية والكهربائية لجسيمات أكسيد النيكل النانوية. تم استخدام العديد من تقنيات التوصيف مثل الأشعة فوق البنفسجية / المرئية، حيود الأشعة السينية، تحويل فوربييه للأشعة تحت الحمراء، المجهر الإلكتروني الماسح، وEDX للتحقق من صحة تكوين مركبات أكسيد النيكل الهجينة ودراسة خصائصها البنيوية والشكلية.

أكدت النتائج نجاح التخليق الحيوي لمتراكبات أكسيد النيكل النانوية $Zn@NiO$ NC و $Fe@NiO$ NC و $Ag@NiO$ NC و $Cu@NiO$ NC. أثبتت صورة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) تغيرات في سطح المركبات النانوية الهجينة مقارنة بجسيمات أكسيد النيكل النانوية. بالإضافة إلى ذلك، أكدت أنماط XRD أن جميع المتراكبات النانوية تتمتع بنقاء وتبلور عاليين، مع حجم نانوي يتراوح من 7.49 إلى 14.51 نانومتر. بالإضافة إلى ذلك، تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا حيث كانت النتيجة سلبية مع جميع أصناف البكتيريا عدا مركب أكسيد النيكل المزخرف بالفضة أظهر نشاطا مضاد للبكتيريا، كما أظهرت جميع المتراكبات تحسنا ملحوظا في تحلل صبغة أزرق الميثيلين وكذلك أعطت المتراكبات نتيجة إيجابية ضد فيروس الكوفيد.

الكلمات المفتاحية: *Portulaca oleracea L*، المركبات النانوية الهجينة، جسيمات أكسيد النيكل النانوية، إزالة صبغة الميثيلين، النشاط المضاد للبكتيريا، النشاط المضاد للفيروسات.

Abstract

In recent years, green-synthesized hybrid nanocomposites have attracted the attention of many researchers due to their desirable improved properties in many fields. This study aims to biosynthesize nickel oxide nanoparticles as well as nanocomposites decorated with iron, zinc, silver and copper and evaluate their activities in removing methylene blue dye as well as antibacterial and anti-CoV-19 virus activity. Purslane extract was used as a reducing and stabilizing agent for the green synthesis process. This is in an attempt to improve the optical, mechanical, photonic, thermal and electrical conductivity properties of nickel oxide nanoparticles. Several characterization techniques such as UV/Vis, X-ray diffraction, Fourier transform infrared, scanning electron microscopy, and EDX were used to validate the formation of nanoparticle nickel particles and study their structural and morphological properties. The results confirmed the successful biosynthesis of nickel oxide nanocomposites Fe@NiO NC, Zn@NiO NC, Cu@NiO NC, and Ag@NiO NC. Scanning electron microscope (SEM) image showed surface changes of the hybrid nanocomposites compared to nickel oxide nanoparticles. In addition, XRD patterns confirmed that all the nanocomposites have high purity and crystallinity, with nanosize ranging from 7.49 to 14.51 nm. In addition, the antibacterial activity was evaluated, where the result was negative with all bacteria except the silver-decorated nickel oxide complex, which showed antibacterial activity. All the composites showed a significant improvement in the degradation of methylene blue dye, and the composites gave a positive result against Covid virus.

Keywords : Portulaca oleracea L, hybrid nanocomposites, nickel oxide nanoparticles, methylene dye removal, antibacterial and antiviral activity.

المقصد	الاختصار
متراكبات النانو القائمة على أكسيد المعادن	MOBNCs
أكسيد النيكل	NiO
أنواع الأكسجين التفاعلية السامة	ROS
جسيمات أكسيد النيكل النانوي	NiO NPs
متراكب أكسيد النيكل المزخرف بالحديد	Fe@NiO NC
متراكب أكسيد النيكل المزخرف بالزنك	Zn@NiO NC
متراكب أكسيد النيكل المزخرف بالنحاس	Cu@NiO NC
متراكب أكسيد النيكل المزخرف بالفضة	Ag@NiO NC
الترسيب الفيزيائي للبخار	PVD
تقنية حيود الأشعة السينية	XRD
المجهر الإلكتروني النافذ	TEM
المجهر الإلكتروني الماسح	SEM
الأشعة السينية المشتتة للطاقة	EDX
مطياف الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه	FTIR
والتحليل الوزني الحراري	TGA
التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية	UV-visible
بعدي صفري	0D
أحادي البعد	1D
ثنائي الأبعاد	2D
ثلاثي الأبعاد	3D
صبغة أزرق الميثيلين	MB
ثنائي ميثيل السلفوكسيد	DMSO
فيروس كوفيد 19	(SARS-COV-2)19
وقت التضخيم (بالدقائق)	Tt

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
الفصل الأول		
7	أحجام الهياكل الكيميائية والبيولوجية في مقياس النانو	(1-I)
8	البنية البلورية لأكسيد النيكل (NiO)	(2-I)
8	مخطط توضيحي للمترابك	(3-I)
11	مقارنة بين فعالية المحفزات النانوية والمحفزات المتجانسة والغير متجانسة	(4-I)
12	الآليات الرئيسية للخصائص المضادة للبكتيريا للمترابكات النانوية	(5-I)
13	هندسة الحشو الشائعة ونسب حجم المساحة السطحية الخاصة بها. l هو الطول، t هو السمك، و r هو نصف القطر	(6-I)
15	أنواع المترابكات النانوية.	(7-I)
15	تصنيف المترابكات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن	(8-I)
18	طرق تصنيع الجسيمات النانوية	(9-I)
18	استراتيجيات تصنيع المواد النانوية القائمة على أكاسيد المعادن	(10-I)
21	مخطط مبسط للآليات العامة المشاركة في تخليق المواد النانوية باستخدام المستخلصات النباتية.	(11-I)
25	رسم تخطيطي مبسط لتقنيات التوصيف العامة لدراسة المركبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن الانتقالية.	(12-I)
26	أشكال مختلفة لبعض المركبات النانوية المعتمدة على أكاسيد المعادن الانتقالية المبلغ عنها	(13-I)
الفصل الثاني		
45	أصناف مختلفة من العائلة الرجولية مع الأوصاف المورفولوجية المتوفرة في ماليزيا	(2-II)
48	المصدر والتوزيع الجغرافي لنبات <i>Portulaca oleracea</i> L	(3-II)

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
49	دورة حياة البقلة المباركة (Portulaca oleracea L)	(4-II)
49	إكثار النباتات وزراعتها عن طريق العقل الساقية	(5-II)
51	صورة توضح مختلف أجزاء نبات البقلة المباركة Portulaca oleracea L: أ: النبات ب: الأوراق والأغصان، ج: الأزهار البذور	(6-II)
54	مكونات نباتية مختلفة في Portulaca oleracea	(7-II)
الفصل الثالث		
66	آلية التركيب الأخضر لجسيمات أكسيد المعادن النانوية	(2-III)
67	الجزئيات الحيوية المحتملة المشاركة في تخليق الجسيمات النانوية	(3-III)
67	آلية مقترحة لتخليق جسيمات أكسيد النيكل النانوية باستخدام المستخلص المائي لنبتة البقلة المباركة	(4-III)
68	أجزاء النبتة المستخدمة (نبتة البقلة المباركة Portulaca oleracea. L)	(5-III)
69	مخطط تحضير جسيمات النيكل النانوية انطلاقاً من نبتة البقلة المباركة Portulaca oleracea. L	(6-III)
70	تحضير مستخلص نبتة البقلة المباركة Portulaca oleracea. L	(7-III)
71	الملاحظة البصرية لمحلول نترات النيكل الثلاثي مع مستخلص نبتة البقلة المباركة Portulaca oleracea. L	(8-III)
72	أنماط حيود الأشعة السينية (DRX) لمسحوق NiO NPs المحضر بطريقة التوليف الأخضر باستخدام مستخلص Portulaca oleracea L	(9-III)
74	طيف FTIR أ- مستخلص نبتة البقلة المباركة ب - لأكسيد النيكل النانوي المحضر بطريقة التوليف الأخضر باستخدام مستخلص أوراق البقلة المباركة كعامل أكسدة واختزال.	(10-III)
74	(أ) أطيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، (ب) فجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ج) وغير VIII (د) طاقة Urbach لجسيمات النانو NiO.	(11-III)
76	صور FESEM لجسيمات النانو NiO	(12-III)
76	NiO NPs - EDX	(13-III)

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
77	منحنيات DSC-TGA لجسيمات أكسيد النيكل النانوية	(14-III)
78	مخطط توضيحي لعملية طلاء (زخرفة) جسيمات أكسيد النيكل النانوية بالحديد والنحاس والزنك والفضة	(15-III)
78	صورة توضح المتراكبات النانوية لأكسيد النيكل المزخرف بالحديد والنحاس والزنك والفضة بعد التكليل	(16-III)
80	طيف الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه لجسيمات نانوية من أكسيد النيكل المصنعة ومقارنتها بالمتراكبات النانوية	(71-III)
81	نمط XRD لجسيمات NiO NPs ومقارنتها بالمتراكبات النانوية المصنعة: (أ) Fe@NiO Nc، (ب) Ag@NiO Nc و NiO Nc و Cu@NiO Nc و Zn@NiO	(18-III)
83	أطياف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Cu@NiO NC	(19-III)
84	أطياف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Zn@NiO NC	(20-III)
84	أطياف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Ag @NiO NC	(21-III)
85	أطياف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO و Fe ₃ O ₄ و Fe@NiO NC	(22-III)
86	منحنيات DSC-TGA للمتراكبات أكسيد النيكل المزخرف بالحديد Fe@NiO	(23-III)
87	المجهر الإلكتروني الماسح لجسيمات أكسيد النيكل النانوية المزخرفة Fe@NiO NC	(24-III)
87	Fe@NiO NC لـ EDX	(25-III)

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
الفصل الرابع		
93	صبغة أزرق الميثيلين: أ- مسحوق، ب- محلول، ج- البنية الفراغية	(2.IV)
95	رسم مبسط لعملية الامتزاز	(3.IV)
96	مجالات وجود المادة الممتازة أثناء الامتزاز على المواد المازة	(4.IV)
96	مخطط توضيحي للعوامل المؤثرة على عملية الامتزاز	(5.IV)
98	آلية عملية التحلل الضوئي العامة	(6.IV)
99	تفاعل التأثير الزمني لـ (أ. جسيمات أكسيد النيكل النانوية، ب. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالحديد Fe@NiO Nc، ج. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالزنك Zn@NiO Nc، د. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالنحاس Cu@NiO Nc، هـ. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالفضة Ag@NiO Nc) على امتصاص صبغة أزرق الميثيلين	(7.IV)
100	كفاءة الازالة لصبغة أزرق الميثيلين بواسطة (أ. جسيمات أكسيد النيكل النانوية، ب. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالحديد Fe@NiO Nc، ج. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالزنك Zn@NiO Nc، د. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالنحاس Cu@NiO Nc، هـ. متراكب أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالفضة Ag@NiO Nc). (Nc	(8.IV)
102	رسم تخطيطي يوضح بنية الخلية البكتيرية	(9.IV)
103	المخطط التوضيحي لاختراق  نانوية والأيونات للبكتيريا	(10.IV)
104	بكتيريا المكورات العنقودية (Staphylococcus)	(11.IV)
105	بكتيريا الإشريكية القولونية (Escherichia Coli)	(12.IV)
105	بكتيريا الزائفة الزنجارية Pseudomonas aeruginosa	(13.IV)

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
105	مخطط توضيحي لتقدير الفعالية التثبيطية للمترابكات النانوية على السلالات البكتيرية بطريقة الانتشار بالبئر	(14.IV)
107	تحضير وسط الزرع	(15.IV)
107	أقراص المضاد الحيوي Gentamicine (10ملغ/ قرص) والمذيب DMSO مع السلالات البكتيرية الثلاث كمراجع	(16.IV)
107	مناطق تثبيط النشاط المضاد لبكتيريا (Staphylococcus aureus)، (Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli) للمترابكات النانوية Ag@NiO، Cu@NiO، Zn@NiO، Fe@NiO مقارنة بجسيمات النيكل النانوية NiO NPs المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة	(17.IV)
109	النشاط المضاد لبكتيريا (Staphylococcus aureus)، (Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli) للمترابك النانوي Ag@NiO مقارنة بجسيمات النيكل النانوية NiO NPs المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة	(18.IV)
112	يوضح تمثيلاً تخطيطياً للسماة الفيروسية لـ SARS-COV-2	(19.IV)
117	آليات النشاط القاتل للفيروسات لبعض الجزيئات المعدنية والأيونية تمثيلاً تخطيطياً	(5.IV)
120	الآلية المحتملة لـ SARS-coV-2 باستخدام المترابكات النانوية	(20.IV)
121	دراسات الالتحام مع نمط ارتباط المركب داخل المواقع النشطة للمستقبل (PDB 6LU7) والمواقع النشطة للمستقبل	(21.IV)

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
الفصل الثاني		
47	تسميات البقلة المباركة (Portulaca oleracea L) حول العالم	(1-II)
52	تصنيف البقلة المباركة Portulaca oleracea L	(2-II)
53	الاستخدامات الطبية التقليدية للبقلة المباركة في بلدان مختلفة	(3-II)
55	القيمة الغذائية للرجلة لكل 100 جرام	(4-II)
الفصل الثالث		
68	خواص الأملاح المستعملة في تحضير جسيمات النيكل النانوي والمترابكات النانوية الناتجة عن طلائه	(1-III)
69	الأجهزة والمواد المستخدمة في العمل	(2-III)
72	المعلومات التركيبية التي تم الحصول عليها من فحص (DRX) لمسحوق NiO NPs المحضر بطريقة التوليف الأخضر بواسطة مستخلص البقلة المباركة	(3-III)
75	فجوات النطاق الضوئي المباشرة وغير المباشرة، وطاقات Urbach لجسيمات النانو المصنعة من NiO	(4-III)
76	التحليل الكمي لـ NiO باستخدام EDX	(5-III)
81	بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من جسيمات نانوية من أكسيد النيكل وجسيمات نانوية من أكسيد الحديد بعد التكليل	(6-III)
82	بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من مترابك نانوي من أكسيد النيكل المزخرف بالفضة وجسيمات نانوية من أكسيد الفضة بعد التكليل.	(7-III)
82	بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من مترابك نانوي من أكسيد النيكل المزخرف بالزنك وجسيمات نانوية من أكسيد الزنك بعد التكليل.	(8-III)
83	بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من جسيمات نانوية من أكسيد النيكل وجسيمات نانوية من أكسيد النحاس بعد التكليل.	(9-III)
86	فجوات النطاق الضوئي المباشرة وغير المباشرة، وطاقات Urbach لجسيمات النانو المصنعة من NiO و مقارنتها بالمترابكات النانوية المصنعة: Fe@NiO NC ، Cu@NiO NC و Zn@NiO NC و Ag@NiO NC	(10-III)

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
87	التحليل الكمي لـ Fe@NiO باستخدام EDX	(11-III)
الفصل الرابع		
93	بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصبغة أزرق الميثيلين.	(1.IV)
106	يوضح البكتيريا المستعملة مع رقمها التسلسلي	(2.IV)
106	المواد والأدوات المستعملة	(3.IV)
108	دراسات سابقة حول الفعالية المضادة للبكتيريا لجسيمات أكسيد النيكل النانوية	(4.IV)
108	النشاط المضاد لبكتيريا (Pseudomonas, Staphylococcus aureus) للمترابكات النانوية Fe@NiO، (aeruginosa, Escherichia coli) مقارنة بجسيمات النيكل النانوية Ag@NiO، Cu@NiO، Zn@NiO NiO NPs المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة	(5.IV)

فهرس المحتويات

I	الإهداء
II	تشكرات
IV	ملخص / Abstract
VI	فهرس الرموز
VII	فهرس الأشكال
XII	فهرس الجداول
XIV	فهرس المحتويات
2	مقدمة عامة
4	قائمة مراجع المقدمة العامة
	الفصل الأول: عموميات حول النانو المركب (المتراكبات النانوية)
6	I-1- مقدمة
7	I-2- الجسيمات النانوية:
7	I-3- أكاسيد المعادن النانوية:
7	I-4- الخصائص العامة وتطبيقات أكسيد النيكل (NiO):
8	I-5- ماهية المتراكبات النانوية:
9	I-5-1- وظائف التعزيز (المواد الداعمة) والمادة الأساسية (القالب) في المتراكبات النانوية:
9	I-5-2- تاريخ جسيمات متراكبات النانو
10	I-6- خصائص المواد المركبة النانوية:
13	I-7- تصنيف المركبات النانوية:
13	I-7.1- وفقا للهندسة:
14	I-7.2- وفقا للمصفوفة:
15	I-8- متراكبات نانوية قائمة على أكسيد المعادن:
16	I-8.1- مركبات نانوية من أكاسيد معدنية مختلطة:
16	I-8.2- المتراكبات النانوية لأكسيد المعدن:
16	I-8.3- مركب نانوي من أكسيد المعدن البوليميري:
17	I-9- استراتيجيات تصنيع المتراكبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن:
19	I-9.1- الترسيب الفيزيائي للبخار:
19	I-9.2- الترسيب الكيميائي للبخار:
23	I-10- بعض تقنيات التوصيف الأساسية للمتراكبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن:
23	I-10.1- تقنية حيود الأشعة السينية (XRD):
23	I-10.2- المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) والمجهر الإلكتروني النافذ (TEM):
23	I-10.3- الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX):
24	I-10.4- مطياف الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه (FTIR):
24	I-10.5- بعض تقنيات التوصيف الأخرى:
25	I-11- مورفولوجيا:
26	I-12- الإمكانيات المضادة للميكروبات وغيرها من الإمكانيات الطبية الحيوية للمركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن:
26	I-12.1- تضميد الجروح/التئامها:
28	I-12.2- توصيل الأدوية:
29	I-12.3- الاستشعار الحيوي:
31	II-12.4- المكتفات الفائقة:
31	I-12.5- توليد الهيدروجين:

32	12.I.6. تطبيقات الخلايا الشمسية:
32	12.I.7. أجهزة الاستشعار:
32	12.I.8. التطبيقات الطبية الحيوية:
33	12.I.9. التحلل الضوئي للأصبغ العضوية:
34	مراجع الفصل الأول:

الفصل الثاني: نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea L*

43	1.II.1. مقدمة:
45	2.II.2. نبذة عن العائلة الرجلية (Portulacaceae):
46	3.II.3. تعريف نبتة البقلة المباركة (<i>Portulaca oleracea L</i>):
46	4.II.4. أصل التسمية <i>Portulaca oleracea L</i> :
47	5.II.5. التوزيع الجغرافي:
48	6.II.6. تربية البقلة المباركة: التكاثر والزراعة:
49	6.II.1. التكاثر بالبيذور:
49	6.II.2. التكاثر بالعقل:
50	7.II.7. التاريخ:
50	8.II.8. القيمة الغذائية:
50	9.II.9. الصفات المورفولوجية لنبات <i>Portulaca oleracea L</i> :
51	10.II.10. التصنيف النباتي <i>Portulaca oleracea L</i> :
52	11.II.11. علم النبات العرقي لـ <i>Portulaca oleracea L</i> :
53	12.II.12. الكيمياء النباتية لنبات البقلة المباركة:
56	13.II.13. الخواص الدوائية لنبات الرجلة:
56	13.II.1. النشاط المضاد للسكري:
57	13.II.2. النشاط المضاد للأكسدة:
58	13.II.3. النشاط المضاد للسرطان:
58	13.II.4. النشاط المضاد للتهاب المفاصل:
58	13.II.5. النشاط المضاد للميكروبات:
59	13.II.6. النشاط المضاد للالتهابات:
60	مراجع الفصل الثاني:

الفصل الثالث: تصنيع وتشخيص المتراكبات النانوية لأكسيد النيكل النانوي

65	1.III.1. مقدمة:
66	2.III.2. آلية التخليق الأخضر للجسيمات النانوية بواسطة المستخلصات النباتية:
67	3.III.3. تأثير المستقلبات النانوية في تفاعل الاختزال الحيوي:
67	4.III.4. آلية التفاعل:
67	5.III.5. المواد والطرق:
69	6.III.6. مخطط التحضير:
69	7.III.7. المنهجية:
70	8.III.8. التخليق الحيوي لجزيئات أكسيد النيكل النانوية:
71	9.III.9. النتائج والمناقشات:
71	9.III.1. الملاحظات البصرية:
71	9.III.2. نتائج حيود الأشعة السينية (DRX) للأكسيد المحضر باستعمال المستخلص النباتي بطريقة التوليف الأخضر:
73	9.III.3. نتائج طيف الأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه (FTIR):

74	9.III.4. نتائج التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV - Vis) لجسيمات أكسيد النيكل النانوي المحضر بطريقة التوليف الأخضر:
76	9.III.5. نتائج المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة بطريقة التوليف الأخضر:
76	9.III.6. نتائج التحليل الطيفي المشتت للطاقة لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة بطريقة التوليف الأخضر:
77	9.III.7. التحليل الحراري لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة بطريقة التوليف الأخضر:
77	10.III.10. تشويب السطوح النانوية:
78	10.III.1. تحضير المتراكبات النانوية (Fe@NiO و Zn@NiO و Cu@NiO و Ag@NiO):
78	11.III.11. النتائج والمناقشات:
78	11.III.1. الملاحظات البصرية:
79	11.III.2. مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه (FTIR):
80	11.III.3. حيود مسحوق الأشعة السينية:
83	11.III.4. مطيافية الامتصاص المرئي والأشعة فوق البنفسجية:
86	11.III.5. التحليل الحراري:
87	11.III.6. تحليل FESEM:
87	11.III.7. تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة:
88	مراجع الفصل الثالث

الفصل الرابع: تطبيقات المتراكبات النانوية

91	IV. مقدمة:
92	IV.1. إزالة صبغة أزرق الميثيلين:
92	IV.1.1. مقدمة:
92	IV.1.2. التحفيز الضوئي:
92	IV.1.2.أ. التعريف:
93	IV.1.2.ب. العوامل المؤثرة على نشاط التحفيز الضوئي:
93	IV.1.3.أ. صبغة الميثيلين الزرقاء Methylene blue dye:
94	IV.1.3.ب. تحضير صبغة أزرق الميثيلين:
94	IV.1.3.ج.سمية صبغة أزرق الميثيلين:
94	IV.1.3.د. طرق إزالة الأصباغ:
94	IV.1.4. عموميات حول الامتزاز:
94	IV.1.4.أ. نبذة تاريخية عن الامتزاز:
95	IV.1.4.ب. تعريف الامتزاز:
95	IV.1.4.ج. أنواع الامتزاز:
95	IV.1.4.د. أهمية الامتزاز:
96	IV.1.4.هـ. وصف آلية الامتزاز:
96	IV.1.4.و. العوامل المؤثرة على ظاهرة الامتزاز:
97	IV.1.4.س. تطبيقات الامتزاز:
97	IV.1.5. الجزء العملي:
97	IV.1.5.1. المنهجية المتبعة:
98	IV.1.5.2. آلية التفاعل وإزالة صبغة أزرق الميثيلين:
99	IV.1.5.3. قراءة النتائج:
101	IV.2. الفعالية المضادة للبكتيريا:
101	IV.2.1. مقدمة:

102	2.IV.2	تعريف البكتيريا:
102	2.IV.3	بنية البكتيريا:
102	2.IV.4	تصنيف البكتيريا:
103	2.IV.5	النشاط المضاد للبكتيريا:
104	2.IV.6	أنواع البكتيريا المستعملة في الدراسة:
106	2.IV.7.1	جمع السلالات البكتيرية المستهدفة:
106	2.IV.7.2	طريقة العمل:
107	2.IV.7.3	النتائج والمناقشة:
110	3.IV.3	الفعالية المضادة لفيريس كوفيد-19 (SARS-COV-2):
110	3.IV.1	مقدمة:
110	3.IV.2	فيروس كورونا:
112	3.IV.3.أ	الطلاء النانوي المعدني وغير المعدني يمنع التلوث الفيروسي:
114	3.IV.3.ب	مركبات نانوية عضوية وغير عضوية تقاوم العدوى الفيروسية:
114	3.IV.3.ج	التشخيص الفيروسي المعتمد على تقنية النانو:
115	3.IV.3.د	التشخيص النانوي القائم على المعادن:
116	3.IV.3.هـ	التشخيص النانوي القائم على الكربون:
117	3.IV.4	استراتيجيات العلاج النانوي المضاد للفيروسات:
117	3.IV.4.أ	العلاجات النانوية المعدنية لمكافحة الأمراض الفيروسية:
118	3.IV.4.ب	العلاجات النانوية العضوية المضادة للفيروسات:
118	4.IV.4	العمل التجريبي:
120	5.IV.5	الآلية المقترحة للجسيمات النانوية خلال نشاطها كمضادة للفيروسات:
121		مراجع الفصل الرابع:

مقدمة

عاملة

مقدمة عامة

في ظل التطور التكنولوجي المذهل الذي يشهده عالمنا اليوم في مختلف المجالات بشكل عام، أصبحت هذه المجالات تتطلع بشغف إلى عائلات جديدة من المواد غير التقليدية، والتي يطلق عليها المواد المتقدمة، وعلى رأسها المواد المركبة، فهي غير عادية وتجمع بين خصائص فريدة ومتعددة لا تتوفر مجتمعة في أي من المواد التقليدية المعروفة مثل المعادن والسيراميك والبوليمرات، وتعد المواد النانوية المركبة واحدة من أهم فئات المواد المتقدمة التي ظهرت في نهاية القرن الماضي، نتيجة لمزاوجة العقل البشري بقدراته الإبداعية مع التقنيات الحديثة في مجال إنتاج المواد الهندسية، وهي بذلك تفتح آفاق مستقبلية مشرقة مع اقتراب العالم من العقد الثالث من ألفيته الثالثة، مما يضيف آمالا واسعة في حل المشكلات التي أصبحت مستعصية على الحل.

المتراكب النانوي أو النانو المركب كلمة متداولة بشكل مفرط في الوقت الحالي، وهي فئة من المواد الجديدة، يشترط أن يكون أحد مكوناتها على الأقل بأبعاد برتبة نانومتر، حيث أن دمج جسيمات أكسيد المعادن النانوية في المركبات يحقق مزايا أعلى في الأداء، ومزيج غير عادي من الخصائص بالإضافة إلى إمكانيات التصميم الفريدة^[1] وقد ثبت أن المتراكبات النانوية مفيدة في الطب الحيوي، كذلك في العلاج الجيني و تسلسل الحمض النووي، تشخيص وفحص الأمراض، توصيل الأدوية والتصوير، زراعة الأنسجة وفي علاج السرطان^[2].

ويقصد بالمتراكبات أو المواد المتراكبة تلك المجموعة من المواد الهندسية التي يتم إنتاجها عن طريق إضافة نسب وزنية أو حجمية معينة من مادة أو أكثر (المواد الداعمة / Reinforcement) لمادة الأساس (مادة القالب / Matrix)، بحيث يتم دمج و خلط المواد الداعمة مع مادة القالب بشكل جيد مما يضمن الحصول على متراكبة متجانسة تتوزع بداخلها جسيمات المواد الداعمة (التعزيز) توزيعا مثاليا ويشترط في اختيار المواد الداعمة أن تتمتع بالحياد الكامل بحيث لا تتفاعل مع بعضها البعض أو مع مادة الأساس لتحفظ بهويتها الفردية داخل مادة القالب ويتبلور الهدف من إنتاج المواد المتراكبة في إضافة خواص معينة لمادة القالب أو إضافة صفات لم تكن متأصلة بها^[3].

إن تصنيع مركبات النانو ذات الحجم الموحد مهم جداً لأن خصائصها تشمل الخصائص البصرية والمغناطيسية والكهربائية والبيولوجية اعتماداً على حجمها وأبعادها^[4]، غالباً ما يتم تصنيف طرق التصنيع إلى ثلاث فئات أي التصنيع القائم على المحلول وتوليف الطور البخاري وتوليف الطور الغازي^[5]، هناك نهج آخر يتمثل في تقسيم هذه الطرق التصنيعية إلى فئتين عريضتين الأولى النهج من أعلى إلى أسفل والذي يشمل الطرق الفيزيائية و الأخرى النهج من أسفل إلى أعلى والذي يشمل الطرق الرطبة^[6,7]، يعتمد اختيار النهج التصنيعي على الخصائص المطلوبة في مركبات الجسيمات النانوية مثل الحجم والشكل والبنية البلورية وما إلى ذلك^[5]، ولكن فائدة الطرق الفيزيائية هي إنتاج كمية كبيرة من المركبات النانوية في حين نجد أن تصنيع جسيمات نانوية ذات حجم متساوٍ ليس من السهل تحقيقه. وبالمقارنة، فإن الطرق الكيميائية الرطبة تعطي توحيداً في حجم المركبات النانوية حيث يمكن تحقيق حجم الجسيمات المتحكم فيه بسهولة. على الرغم من أنه من خلال ظروف مختلفة للتفاعل، يمكن أيضاً تصنيع أشكال مختلفة (قضبان نانوية، وأسلاك نانوية، وأنابيب نانوية، وما إلى ذلك) من المركبات النانوية^[8].

يتم تشخيص هاته المواد باستخدام تقنيات مختلفة مثل XRD المسحوق، والمجهر الإلكتروني، والمجهر الذري للقوة، و TGA وما إلى ذلك والتي تعطي نظرة ثاقبة على مورفولوجيا المواد وحجم المتراكبات والشوائب والخشونة ومستوى المنشطات والاستقرار الحراري ونمط التحلل على ال، نظرًا لبساطتها في التركيب ومجموعة واسعة من الخصائص القابلة للتخصيص، تُستخدم MONC هذه بشكل متكرر كمادة ماصة ومحفز ضوئي وأجهزة استشعار وخلايا وقود وخلايا شمسية وتغليف وعوامل مضادة للميكروبات وتوصيل الأدوية والأجهزة الطبية والأدوات الجراحية وما إلى ذلك.

تم انجاز هذا البحث في مخبر التكنولوجيا الحيوية والمواد الحيوية والمواد المكثفة بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي، وتضمن أربعة فصول:

✓ الفصل الأول: تم فيه التعريف بالمتراكبات النانوية، تاريخها وطرق تصنيعها بالإضافة إلى التصنيف وطرق التوصيف وتطبيقات النانو المركب

✓ الفصل الثاني: عموميات حول النبتة المستخدمة كعامل اختزال وهي البقلة المباركة *Portulaca oleracea L*.

✓ الفصل الثالث: تم فيه تصنيع جسيمات أكسيد النيكل النانوية وكذلك متراكباته الأربعة $Zn@NiO$ و $Fe@NiO$ و $Cu@NiO$ و $Ag@NiO$ يليها تشخيص المتراكبات.

✓ الفصل الرابع تم فيه إجراء بعض التطبيقات على المتراكبات مقارنة بنظيرها أكسيد النيكل النانوي مثل إزالة صبغة أزرق الميثيلين، الفعالية ضد البكتيريا ضد فيروس كورونا.

مراجع المقدمة العامة

- [1] S. S. Prasanna, K. Balaji, S. Pandey, and S. Rana, "Metal oxide based nanomaterials and their polymer nanocomposites," in *Nanomaterials and polymer nanocomposites*, ed: Elsevier, pp. 123-144, 2019.
- [2] H. H. Lara, N. V. Ayala-Núñez, L. d. C. Ixtepan Turrent, and C. Rodríguez Padilla, "Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 26, pp. 615-621, 2010.
- [3] C. Mobuchon, P. J. Carreau, and M.-C. Heuzey, "Effect of flow history on the structure of a non-polar polymer/clay nanocomposite model system," *Rheologica Acta*, vol. 46, pp. 1045-1056, 2007.
- [4] A. L. Rogach, D. V. Talapin, E. V. Shevchenko, A. Kornowski, M. Haase, and H. Weller, "Organization of matter on different size scales: monodisperse nanocrystals and their superstructures," *Advanced Functional Materials*, vol. 12, pp. 653-664, 2002.
- [5] S. Stankic, S. Suman, F. Haque, and J. Vidic, "Pure and multi metal oxide nanoparticles: synthesis, antibacterial and cytotoxic properties," *Journal of nanobiotechnology*, vol. 14, pp. 1-20, 2016.
- [6] P. M. Ajayan, "Bulk metal and ceramics nanocomposites," *Nanocomposite science and technology*, pp. 1-75, 2003.
- [7] M. Oliveira and A. Machado, "Preparation of polymer-based nanocomposites by different routes," *Nanocomposites: synthesis, characterization and applications*, pp. 1-22, 2013.
- [8] M. Khodaei, M. Enayati, and F. Karimzadeh, "Mechanochemically synthesized metallic-ceramic nanocomposite; mechanisms and properties," *book Advances in Nanocomposites Synthesis, Characterization and Industrial Applications*, pp. 157-180, 2011.

الفصل الأول

عموميات حول المتراكبات النانوية

Nanocomposite

1.1. المقدمة

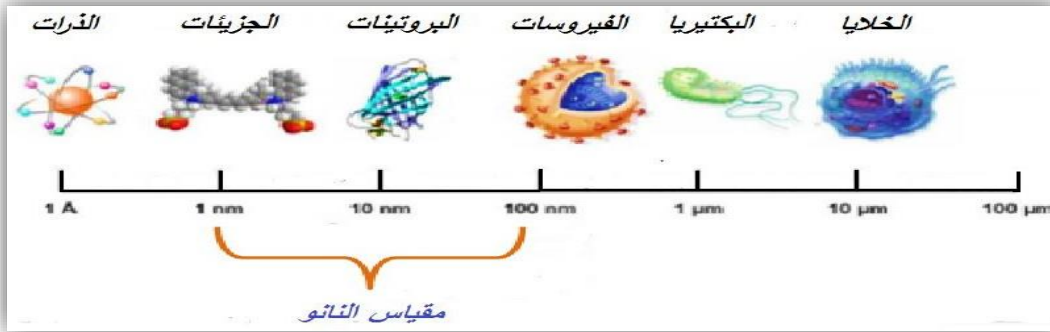
إن انتشار الأمراض المعدية، وظهور الميكروبات المقاومة للأدوية المتعددة، والأمراض المقاومة للمضادات الحيوية، تشكل تهديدات للبشر وتحديًا علميًا هائلًا لصناعة الأدوية والطب الحيوي، وقد يثير حجم مقاومة المضادات الحيوية القلق بشأن نمو وتكرار الالتهابات الميكروبية المقاومة لأكثر من دواء واحد في الغالب، فيضطر الأطباء لاستعمال عدة علاجات بأنواع مختلفة من المضادات الحيوية الأكثر تكلفة وسمية والأقل فعالية [1]، وبالتالي هناك طلب كبير على تطوير العوامل المضادة للميكروبات وتحسين أدائها في عصر التكنولوجيا المتقدمة [2]. على خلفية العديد من التقنيات المتاحة لتطوير أو تعديل العوامل المضادة للميكروبات، فإن تقنية النانو جذابة للغاية لأنها توفر للباحثين اليوم منصة جديدة بالمنافرة نظرا للخصائص الحيوية، على سبيل المثال، أكاسيد المعادن، عن طريق تحويلها إلى جسيمات نانوية أو متراكبات نانوية ذات صلة، تمتلك المواد على نطاق النانو تطبيقات عملية واعدة، وقد ثبت أن هذا مفيد في طرق العلاج المختلفة بما في ذلك تشخيص وسم الخلايا، وأنظمة توصيل الأدوية المستهدفة، والعوامل المضادة للميكروبات، وعوامل التباين للتصوير البيولوجي [3-5].

كان الاهتمام بتصميم متراكبات النانو القائمة على أكاسيد المعادن المضادة للميكروبات (MOBNCs) في ازدياد، حيث أن دمج جسيمات أكسيد المعادن النانوية في المركبات أظهر أنه يحقق مزايا أعلى في الأداء، ومزيج غير عادي من الخصائص بالإضافة إلى إمكانيات التصميم الفريدة [6]. وقد ثبت أن MOBNCs مفيدة في الطب الحيوي؛ في العلاج الجيني؛ تسلسل الحمض النووي؛ تشخيص وفحص الأمراض، توصيل الأدوية والتصوير؛ زراعة الأنسجة وفي علاج السرطان [7].

كذلك جراء التطور التكنولوجي المذهل في كثير من المجالات أصبحت الصناعات والتطبيقات الحديثة تتطلع لأنواع جديدة من المواد غير التقليدية لكونها مواد حديثة يتم توظيفها في تطبيقات تكنولوجية متطورة لم تكن معروفة من قبل والتي تتطلب مواد تجتمع فيها خواص فريدة ومتعددة قد لا تتوفر مجتمعة في مادة واحدة من المواد التقليدية كالمواد الفلزية /المواد السيراميكية / البوليمرات، وتعد المتراكبات النانوية أهم المواد المتقدمة والتي نتجت عن تزاوج العقل البشري بإمكانياته الخلاقة مع التكنولوجيات الحديثة في مجالات إنتاج الفلزات والمواد الهندسية.

I. 2. الجسيمات النانوية:

اشتقت كلمة نانو من الكلمة الإغريقية "Nanos" وتعني القزم. ويمثل النانو جزءاً من مليار، وعليه فإن النانومتر (nm) يعادل 10^{-9} م. ولنتخيل الأمر فإن 1 نانومتر يقيس ثلاث ذرات كربون مصطفة بجانب بعضها البعض، وأن فيروس الرشح يقيس نحو 100 نانومتر، ومتوسط قطر شعرة الانسان يقيس نحو 10000 نانومتراً [8]. ومن المتعارف عليه أن المواد تكون ضمن المقياس النانوي Nanomaterials إذا كان أحد أبعادها لا يتجاوز 100 نانومتر، ويطلق على العلم يتناول تطبيقات استخدام هذه المواد علم تقانة النانو Nanotechnology [9].



الشكل (I. 1): أحجام الهياكل الكيميائية والبيولوجية في مقياس النانو [10].

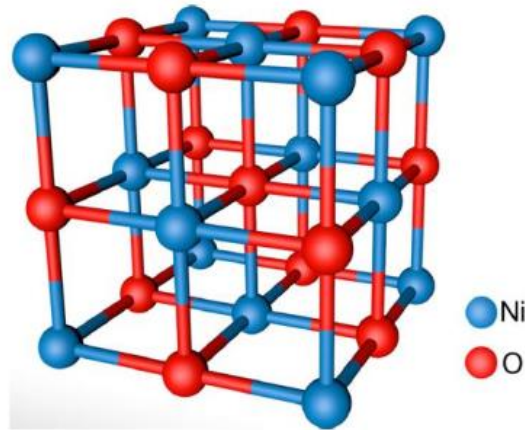
I. 3. أكاسيد المعادن النانوية

تعد أكاسيد المعادن من بين مجموعات عديدة من المواد النانوية التي ثبت أنها ذات أهمية كبيرة على المستويين العلمي والتكنولوجي [11]. اعتماداً على طبيعة البنية الإلكترونية، يمكن أن تكون أكاسيد المعادن عوازل أو أشباه موصلات معدنية. يؤدي تحويل أكاسيد المعادن من الحجم الكبير إلى الحجم النانومتري إلى تحسين خصائصها الهجينة بشكل كبير مقارنة بالأشكال الأصلية. تسمح لها سماتها الغريبة بأن تصبح مواد متعددة الأوجه، تمتلك خصائص كهربائية وتحفيزية وإلكترونية، ضوئية وبصرية ومغناطيسية مميزة تغطي عملياً جميع جوانب علم المواد وفيزياء الحالة الصلبة، وبالتالي تجد تطبيقات في الموصلات الفائقة والتحفيز واستشعار الغاز والسيراميك الكهربائي وتحويلات الطاقة [12]. على مر السنين، تم استخدام عدد من أكاسيد المعادن مثل: أكسيد الزنك (ZnO)، أكسيد التيتانيوم (TiO₂)، أكسيد النيكل (NiO)، أكسيد النحاس (CuO)، أكسيد المنغنيز (MnO₂)، أكسيد الحديد (Fe₂O₃)، ثلاثي أكسيد التنغستن (WO₃)، وأكسيد السيريوم (CeO₂) في هندسة المواد النانوية والمتراكبات النانوية [6, 13].

I. 4. الخصائص العامة وتطبيقات أكسيد النيكل (NiO)

أكسيد النيكل هو مركب كيميائي له الصيغة NiO. يتبلور في بنية مكعبة (مجموعة فراغية Fm3m) مثل كلوريد الصوديوم (الشكل I. 3)، مع مواقع ثمانية السطوح Ni (II) و O²⁻ [14]. يتميز أكسيد النيكل السائب بلون أخضر غامق بينما تتميز جسيمات أكسيد النيكل النانوية بلون أسود، يتمتع أكسيد النيكل بنقطة انصهار (1955°C) ووزن جزيئي (74.69 جم/مول)، وكثافته (6.67 جم/سم³) [15]. يتمتع بمؤشر انكسار يبلغ 2.1818 وقابلية مغناطيسية تبلغ +10.660.0-6 سم³/مول [14]. تعتمد سمية أكسيد النيكل على الكمية المستنشقة [16]. يمكن أن يوجد

في مجموعة متنوعة من حالات الأكسدة مثل ثاني أكسيد النيكل (NiO_2)، وبيروكسيد النيكل (NiO_4)، وأكسيد النيكلوز (Ni_3O_4)، وأكسيد النيكل (NiO)، وثلاثي أكسيد النيكل (Ni_2O_3) [16].

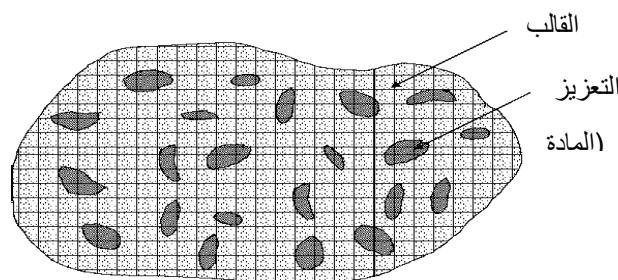


الشكل (I. 2): البنية البلورية لأكسيد النيكل (NiO) [17].

I. 5. ماهية المتراكبات النانوية:

على الرغم من وجود تعاريف عدة للمواد المركبة [18]، فإن المواد المركبة هي مواد اصطناعية متعددة الأطوار تتميز فيها مكوناتها كيميائياً وتكون مفصولة بسطح بينية interface متميزة بسهولة [19]. وقد نعتبر بعض المواد المألوفة كأمتلة عن المواد المركبة: الخرسانة المستعملة في البناء، وإطارات السيارات، والاسفلت في شوارعنا. إن تمييز المواد الاصطناعية ضروري بسبب المواد التي يمكن أن تدرج في هذا التعريف، ولكنها تحصل بطريقة طبيعية، كما في مثال الخشب (الليجنيين + ألياف السيليلوز)، والعظام (الكولاجين + الأباتيت) حيث ينتج فيها تركيب الأطوار المختلفة مواد محسنة بالمقارنة مع الأطوار المنفردة.

يمكن وصف أي مادة غير متجانسة بأنها مادة مركبة [20] ويقصد بالمتراكبات أو المواد المترابطة تلك المجموعة من المواد الهندسية التي يتم انتاجها عن طريق إضافة نسب وزنية أو حجمية معينة من مادة أو أكثر (المواد الداعمة / Reinforcement) لمادة الأساس (مادة القالب / Matrix)، بحيث يتم دمج وخط المواد الداعمة مع مادة القالب بشكل جيد مما يضمن الحصول على مترابطة متجانسة تتوزع بداخلها جسيمات المواد الداعمة (التعزيز) توزيعاً مثالياً ويشترط في اختيار المواد الداعمة أن تتمتع بالحياد الكامل بحيث لا تتفاعل مع بعضها البعض أو مع مادة الأساس لتحفظ بهويتها الفردية داخل مادة القالب ويتبلور الهدف من انتاج المواد المترابطة في إضافة خواص معينة لمادة القالب أو إضافة صفات لم تكن متصلة بها.



الشكل (I. 3): مخطط توضيحي للمترابك.

تعتمد الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المواد النانوية على خصائص الواجهة ومورفولوجيا المواد المكونة. وعلى النقيض من المواد الفردية، تتمتع المتراكبات بتطبيقات عملية جيدة بشكل غير عادي بسبب صلابتها المحسنة وعزلها الحراري العالي وكثافتها المنخفضة ومقاومتها للتآكل وصلابتها وقوتها [21]. تم تشجيع تصميم المتراكبات النانوية من خلال البحث عن مواد مركبة ذات خصائص محسنة وأحجام حشو أصغر.

1.5.I. وظائف التعزيز (المواد الداعمة) والمادة الأساسية (ال قالب) في المتراكبات النانوية

تتكون المادة المركبة من مواد التعزيز ومادة القالب. ومن الضروري للغاية إجراء تقدير جيد للأجزاء الخاصة بهذين المكونين لتقدير سلوك المركب. والوظائف الأساسية للمكونين في المركب هي [21]:

- تتحمل المواد الداعمة في المواد المركبة 90% من الحمل.
- مواد التعزيز تحقق الاستقرار الحراري والقوة والصلابة في المواد المركبة.
- المواد الداعمة مسؤولة أيضاً عن العزل والتوصيل الكهربائي في المواد المركبة.
- توفر مادة القالب الصلابة والشكل للمواد المركبة عن طريق ربط التعزيزات معاً.
- تعمل مادة القالب كمثبط للشقوق عن طريق عزل مواد التعزيز الفردية.
- المادة الأساسية مسؤولة عن التشطيب الجيد للسطح.
- تحمي المادة الأساسية مواد التعزيز من التلف الميكانيكي والهجوم الكيميائي.
- يعتمد فشل المواد المركبة بشكل مباشر على التوافق بين مادة القالب وألياف التعزيز.
- تؤثر مواد القالب بشكل كبير على خصائص المواد المركبة مثل اللدونة وقوة التأثير وما إلى ذلك.

2.5.I. تاريخ جسيمات متراكبات النانو:

وإن كانت المواد المتراكبة وليدة القرن 21 فإن فكرة دمج مادتين أو أكثر داخل مادة أخرى يرجع إلى أكثر من 5000 عام حين أدرك الإنسان المصري القديم أن إضافة الألياف النباتية كالقشور الخارجية لحبيبات الأرز لقوالب الطوب اللينة المستخدمة في أغراض البناء والمصنعة من الطمي تعمل على تقوية ودعم القوالب وحمايتها من التشققات فهي تضيف خواص لم تكن موجودة أصلاً في مادة الطمي.

تعتبر تقنيات النانو واحدة من أكثر الاتجاهات الواعدة للتطور التكنولوجي في القرن الحادي والعشرين كما تنبأ ريتشارد فاينمان في عام 1959 [22]، يعد تطوير المتراكبات النانوية البوليمرية نشاطاً بحثياً متعدد التخصصات سريع التطور. متراكبات البوليمر النانوية هي فئة من البوليمرات المقواة بكميات منخفضة (من 1 إلى 10% من الكتلة) من الجسيمات التي لها بعد واحد على الأقل بحجم نانومتر.

في عام 1970، قامت القوات الجوية الأمريكية بتطوير الجيل الأول من المركبات النانوية: حيث تم تشتيت جزيئات غير عضوية بسيطة في بوليمر باستخدام تقنية sol-gel، في هذه الأنظمة، قد يكون الطور غير العضوي مرتبطاً كيميائياً بالطور العضوي. ظهر الجيل الثاني من الهياكل النانوية في الثمانينيات باستخدام التعزيزات غير العضوية مثل المعادن والطين [23]، عملية الإنتاج هي نفسها ولكن يجب أن تخضع مواد الحشو للمعالجة الكيميائية مسبقاً. في عام 1995، أعلن مختبر أبحاث القوات الجوية الأمريكية (بالتعاون مع جامعات كاليفورنيا وميشيغان

ومختبر البلاستيك الهجين) أنه قام بتطوير جيل ثالث من الحشوات النانوية المعتمدة على هياكل نانوية منخفضة الكثافة تحتوي على السيليكون، تستخدم هذه التقنية تعزيزات يمكن دمجها بسهولة في جميع فئات البوليمرات.

تم اكتشاف نوع جديد من الحشوات في عام 1991 [24] عبارة عن أنابيب نانوية كربونية نقية، وهي مواد مثيرة للدهشة وواعدة للغاية، مقاومة جدًا للتشوه في اتجاه طولها، ومع ذلك فهي مرنة وخفيفة للغاية.

في الأونة الأخيرة، شهد تطوير المتراكبات النانوية اهتمامًا كبيرًا مما يجعلها مواد مهمة، سواء للأوساط الأكاديمية أو الصناعية لأنها تراث عادةً سلوك المواد المكونة، وفي بعض الحالات تنتج مواد متعددة الوظائف بخصائص محسنة بشكل مدهش. يمكن تصنيع متراكبات النانو من مزيج من ثلاث مواد أولية رئيسية يتم تصنيفها إلى معادن وسيراميك وبوليمرات. يمكن أن تختلف متراكبات النانو في خصائصها عن المواد المكونة لها من حيث الخصائص البصرية والحرارية والحفرية والكهربائية والكهروكيميائية والميكانيكية [25-28].

I. 6. خصائص المواد المركبة النانوية

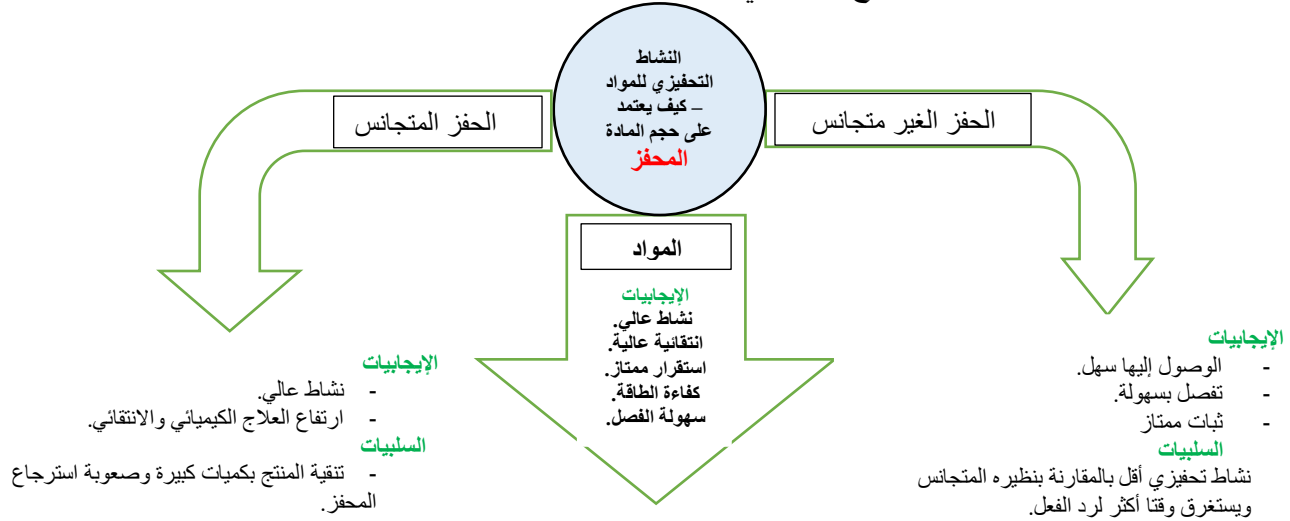
تعتمد خصائص المواد المركبة على ثلاثة عوامل [29]:

- طبيعة وخصائص المواد المكونة.
 - هندسة وتوزيع التعزيز (المواد الداعمة).
 - التفاعلات بين المكونات وطبيعة واجهة تقوية القالب (المادة الأساسية).
- ويتميز التعزيز بشكله وحجمه وتركيزه واتجاهه ويتم تحديد تركيز التعزيز من خلال الحجم أو الكتلة، هاته العوامل التي تحدد خصائص المتراكب، كما أن توزيعه في الحجم مهم أيضًا لأن العديد من الخصائص تعتمد عليه. اعتمادًا على الشكل الهندسي واتجاه التعزيز، من الممكن التحكم في تباين الخصائص المرغوبة للمتراكب [29].
- في المتراكبات النانوية، يتم ضمان الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية المطلوبة من خلال الحجم الذي يصل إلى نانومتر ومن خلال التآزر بين المصفوفة والتعزيز. إن دمج الجسيمات النانوية في مصفوفة معدنية يقدم العديد من المزايا مقارنة بالأحمال الميكرو مترية التقليدية، وذلك بسبب الطبيعة النانومترية للتعزيز. تختلف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأخيرة عن تلك الموجودة في الكتلة الصخرية المقابلة وهذا بسبب تأثير الحجم الكمي [30]. إحدى نتائج تأثير الحجم الكمي من وجهة نظر هندسية هي زيادة نسبة الذرات السطحية إلى نسبة الحجم. ومع انخفاض حجم الجسيم، تزداد نسبة ذرات السطح بالنسبة إلى ذرات الحجم. عندما يكون التعزيز برتبة نانومتر يتم تعديل البنية الإلكترونية ويكون هناك انتقال من بنية نطاق الكتلة الصخرية إلى بنية تشتمل على مستويات إلكترونية منفصلة، وبالتالي تصبح الفجوة أكبر من تلك الموجودة في الكتلة المقابلة مع انخفاض الحجم.
- حجم التعزيز يجعل استخدام المركبات النانوية مثيرا للاهتمام للعديد من التطبيقات التي تتطلب شفافية المادة، كما هو الحال في جسيمات أكسيد التيتانيوم النانوية التي سيكون لها نشاط أفضل عند تطعيمها بجسيمات الفضة النانوية.

I. 6. 1. الخصائص التحفيزية:

يعد التحفيز من أهم التطبيقات الرائدة للجسيمات النانوية المركبة، في حين نجد أن التفسير الصحيح لسلوكها التحفيزي الكبير مزال غير واضح تماما. حيث يؤدي انخفاض حجم الجسيمات النانوية والمساحة السطحية الكبيرة لها دورًا مهمًا في الخصائص التي تتضمن التبادلات في السطح البيني بين الكائن المعني وبيئته، هذه النسبة الكبيرة من الذرات السطحية تجعل المواد أكثر تفاعلاً كيميائياً، مما يجعلها مرشحة محتملة وواعدة جدًا لتطبيقات الحفز غير المتجانس [31]. نتيجة لهذه الملاحظات، بذلت جهود كبيرة لدراسة تأثير حجم الجسيمات النانوية على النشاط التحفيزي. ومن المهم أن نذكر عوامل أخرى مثل الشكل والتركيب أو حالة الأكسدة للجسيمات النانوية قد تلعب أيضاً دوراً في تفاعل الجسيمات النانوية [32].

يمكن للعلماء تصميم محفزات من الجسيمات النانوية المركبة نشطة للغاية، بإنتقائية ومقاومة عالية تمكن التفاعلات الكيميائية الصناعية من استخدام الموارد بشكل أكثر كفاءة، واستهلاك طاقة أقل وطرح نفايات أقل، فهو يحد من التأثيرات السلبية لعملية التصنيع الكيميائي على البيئة [33].



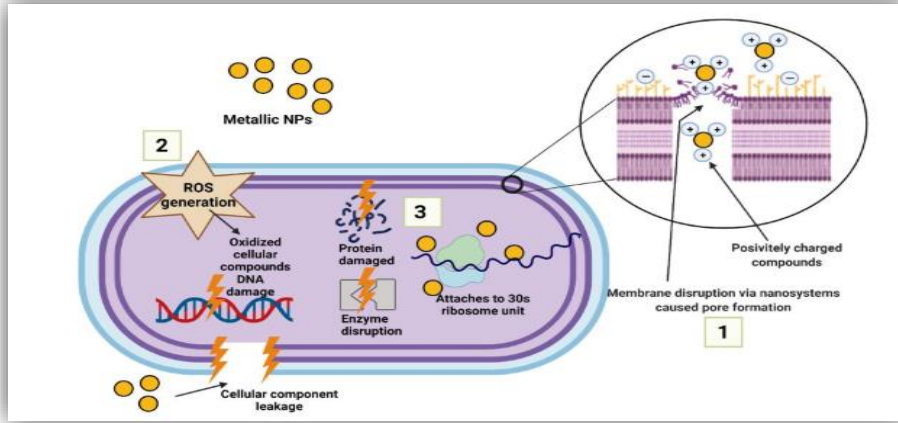
الشكل (I. 4): مقارنة بين فعالية المحفزات النانوية والمحفزات المتجانسة والغير متجانسة.

I. 6. 2. الخصائص المضادات للميكروبات

تمثل المتراكبات النانوية المعدنية خزناً للأيونات، مما يجعل من الممكن الحفاظ على النشاط المضاد للميكروبات لفترة زمنية أطول مما كانت عليه في حالة إدراجها على شكل أملاح [34].

يقترح الباحثون أن الفعل المضاد للميكروبات للمتراكبات النانوية يرتبط بوجود الجذور الحرة المتولدة على السطح، والتي تلحق الضرر بالغشاء الدهني للخلايا وفق الآليتين الموضحتين في الشكل (II. 4): الآلية (1) يتم فيها تعطيل جدار الخلية فتزداد نفاذيتها نتيجة التفاعل الكهروستاتيكي بين المركبات النانوية ذات الشحنة الموجبة و الجزيئات السالبة الشحنة من جدار الخلية للكائن الحي مما ينتج عنه تسرب محتويات السيتوبلازم [34]، والآلية (2) تتمثل في الإنتاج المفرط لأنواع الأكسجين التفاعلية السامة الذي يسبب اضطرابات في توازن الأكسدة والاختزال، مما يؤدي إلى الاجهاد التأكسدي، وبالتالي يؤثر على الغشاء الدهني للخلايا وتخريب الحمض النووي وبنية البروتين [35, 36]،

الآلية (3) تتضمن الارتباط بالمكونات داخل الخلايا، مما يتسبب في تلف الحمض النووي والبروتينات وتثبيط النشاط الانزيمي [37].



الشكل (I. 5): الآليات الرئيسية للخصائص المضادة للبكتيريا للمتراكبات النانوية [38].

I. 6. 3. الخصائص البصرية

يؤدي تقليل حجم أشباه الموصلات أو الجسم المعدني إلى المقياس النانومتري إلى تعديلات قوية في استجابته في المجال البصري، مقارنة باستجابته العادية. تظهر الجسيمات النانوية المعدنية رنين البلازمون السطحي، وتعتمد الخصائص (الموضع الطيفي والسعة والعرض الطيفي) للأخيرة على حجم وشكل وبيئة الجسيمات النانوية.

لينك وآخرون، درس الاستجابة البصرية لجزيئات الذهب النانوية الكروية كدالة لحجمها، والذي يتراوح من 9 إلى 99 نانومتر. ويبدو أنه عندما يتناقص حجم الجسيم، فإن الموقع الطيفي لرنين البلازمون يتحول نحو الأطوال الموجية المنخفضة. وتتمثل التطبيقات المعتمدة على الخصائص البصرية للمركبات النانوية في أجهزة الاستشعار، التحفيز الضوئي، الكيمياء الكهروضوئية، الخلايا الشمسية، أجهزة الكشف الضوئية، وكذلك الطب الحيوي [39]. المزايا المحتملة للمتراكبات النانوية المركبة كمواد ضوئية هي التحسين الكبير في سرعة تبديل الإشارة حتى ترددات التكرار تصل إلى 100 جيجا هرتز والمتوقعة في أنظمة الاتصالات والحوسبة في القرن الحادي والعشرين [40].

I. 6. 4. الخصائص المغناطيسية:

إن فهم العوامل الرئيسية التي تحدد الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية يسمح لنا بالنظر في التطبيقات على وجه الخصوص في الإلكترونيات (تخزين المعلومات) أو الطب، يمكن أن تتأثر هذه الخصائص بشكل خاص بشكل الجسيمات النانوية. تجدر الإشارة إلى أن بعض المواد التي لا تكون مغناطيسية في حالتها السائبة تصبح كذلك على مقياس النانومتر، مثل الروديوم [41].

لتوضيح كيف يرتبط هيكل النانو المركب ارتباطاً وثيقاً بالخصائص الناتجة، يمكن استخدام تطبيق محدد لتحديد العوامل التي تتحكم في الخصائص المغناطيسية الفعالة، على سبيل المثال في الاستشعار البيولوجي، تُفضل الجسيمات النانوية ذات المغناطيسية التشعبية العالية لأنها توفر حساسية وكفاءة فائقة. أظهرت العديد من الدراسات أن مغناطيسية التشعب تزداد خطياً مع الحجم حتى تصل إلى القيمة السائبة، على الرغم من أن العلاقة بين المغناطيسية والشكل ليست مباشرة، إلا أن تأثير الهندسة على الخصائص المغناطيسية لا يزال قيد التقييم لتطبيقات الاستشعار البيولوجي. يلعب

التركيب أيضاً دوراً مهماً في التأثير على الخصائص المغناطيسية. ومع ذلك، نظراً للمخاوف بشأنسمية المواد المعنية، فقد تم فحص تأثير التباين التركيبي خارج جسم الإنسان [42]. بالنسبة لأجهزة الاستشعار الحيوية القابلة للزرع في أنظمة مراقبة نسبة السكر في الدم، فإن التوافق الحيوي يشكل تحدياً كبيراً. ترتبط هذه المخاوف أيضاً بالمواد المغناطيسية المختلفة المستخدمة، وغالباً ما يتم معالجتها عن طريق طلاء المركبات النانوية بطلاءات مناسبة كما هو موضح في ورقتنا. تعد طبيعة الطلاء معياراً مهماً في تصميمات المركبات النانوية الأساسية لأن الطلاء يمكن أن يعزز أو يقلل بشكل كبير من الخصائص المغناطيسية للقلب اعتماداً على التفاعل بين سطح الجسيمات النانوية والسمك النسبي للقلب المطلي وحجم الجسيمات النانوية المطلية [42].

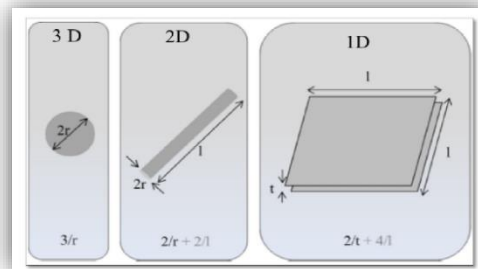
I.7. تصنيف المركبات النانوية:

I.7.1. وفقاً للهندسة:

بشكل عام، توجد العديد من المتراكبات النانوية بأحجام وأشكال مختلفة ويمكن تصنيفها بشكل أساسي إلى ثلاث فئات اعتماداً على هندسة الحشو (التعزيز) المستخدمة [43]:

- **الحشوات النانوية الصفائحية/الطين النانوي (D1)** عبارة عن مواد ذات طبقات يبلغ سمكها عادةً 1 نانومتر، ولكن مع نسبة عرض إلى ارتفاع تتبع البعدين المتبقيين تبلغ 25 على الأقل. الحشوات D1 الأكثر شيوعاً هي السيليكات الصفائحية، والطين اللزج، وهيدروكسيدات مزدوجة الطبقة وكذلك صفائح الجرافين.
- **الألياف النانوية أو الشعيرات (D2)** يبلغ قطرها أقل من 100 نانومتر، وتتميز بنسبة عرض إلى ارتفاع لا تقل عن 100. وتندرج تحت هذه الفئة أنابيب الكربون النانوية، وركائز السليلوز النانوية، وما إلى ذلك.
- **الجسيمات النانوية (D3)** ذات أبعاد أقل من 100 نانومتر. أشهر نماذج النانو ثلاثية الأبعاد هي جزيئات السيليكا وأكاسيد المعادن.

يجب أن نذكر أنه يمكن تصنيف هذه الحشوات النانوية إلى أصلها (طبيعي، أو شبه صناعي، أو اصطناعي) اعتماداً على مسار تصنيعها. بفضل أبعادها النانومترية، تتمتع النانو بمساحة سطحية كبيرة لحجم معين (الشكل I.6).



الشكل (I.6): هندسة الحشو الشائعة ونسب حجم المساحة السطحية الخاصة بها. l هو الطول، t هو السمك، و r هو نصف القطر.

I. 7. 2. وفقا للمصفوفة:

يمكننا تطبيق التصنيف الكلاسيكي للمتراكبات حسب طبيعة المادة المصفوفة، وذلك بترتيب تصاعدي لدرجة حرارة الاستخدام. لا يمكن استخدام المواد المركبة ذات المصفوفة العضوية إلا في نطاق درجة حرارة لا يتجاوز 200 إلى 300 درجة مئوية، في حين يتم استخدام أنواع أخرى من المواد المركبة أبعد من ذلك: ما يصل إلى 600 درجة لمصفوفة معدنية وما يصل إلى 1000 درجة لمصفوفة خزفية [43].

أ- مركبات المصفوفة المعدنية:

تم تطويرها من الأعوام 1960-1965 على موجتين متتاليتين. بُذلت جهود بحثية كبيرة في الستينيات حول ألياف البورون الأحادية، تم تجنب هذا المركب المعدني بسبب التكلفة العالية جداً للألياف. وفي ذلك التاريخ، كانت التطبيقات المتوخاة موجهة حصرياً نحو الطيران والفضاء. في الثمانينيات، أدى توفر العديد من ألياف السيراميك الجديدة إلى إعادة إطلاق الأبحاث في هذا المجال مع وجود آفاق أكثر تشجيعاً للتنمية الصناعية. وقد تم تطوير أمثلة للتطبيقات الصناعية في صناعة السيارات، بمبادرة من الصناعة اليابانية [44].

ب. مركبات المصفوفة الخزفية:

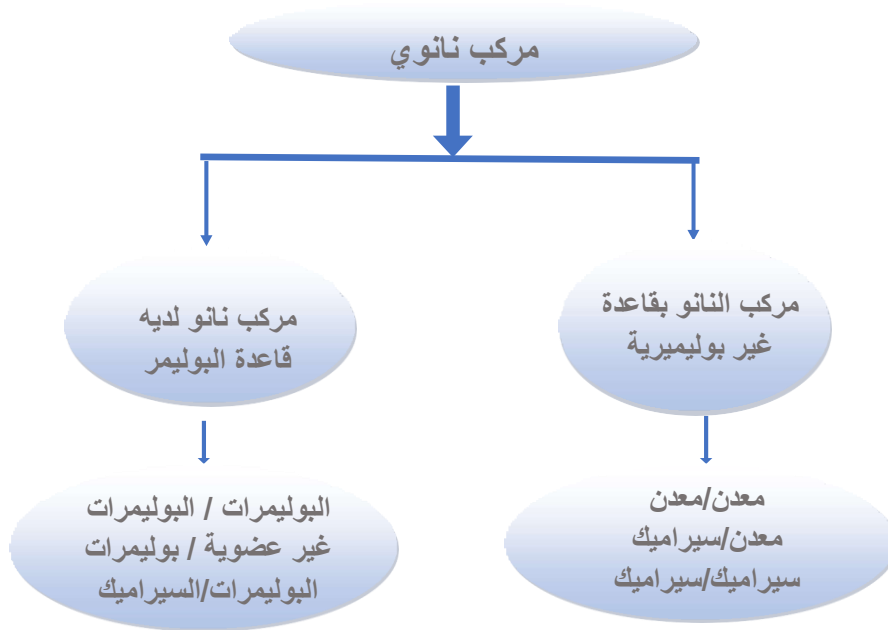
على الرغم من أنها تتكون من السيراميك، إلا أن هذه المواد "هشة"، تم تطويرها للاستخدام في الظروف القاسية: درجات الحرارة المرتفعة، والبيئة المؤكسدة، وتحت الضغط الميكانيكي، أو حتى تحت الإشعاع. مما جعل من الممكن استخدامها في الطيران والفضاء. وتجري حالياً دراستها للاستخدامات المستقبلية في الصناعة النووية [45].

ج. مركبات المصفوفة العضوية (البوليمرات):

إنها بالتأكيد الأكثر تطوراً نظراً لأهميتها التجارية والتحكم (التكلفة والدراسة) في العديد من عمليات التصنيع. يمكن تصنيف المركبات النانوية ذات مصفوفة البوليمر إلى ثلاث فئات فرعية وفقاً لاكتشافاتها واهتماماتها العلمية:

- 1- المركبات النانوية المقواة بصفائح طينية نانوية [46, 47].
- 2- المركبات النانوية المقواة بحشوات الكربون النانوية [48].
- 3- المركبات النانوية مع أنواع أخرى من التعزيزات مثال: شعيرات السليلوز النانوية [49] وأكاسيد المعادن [50].

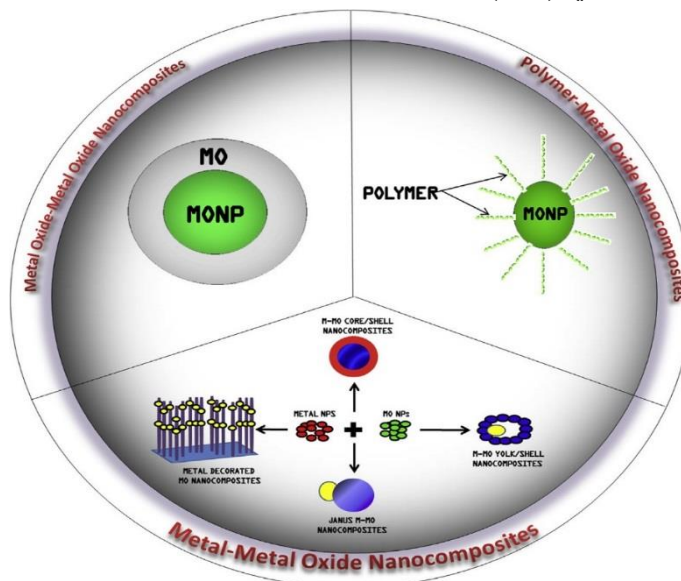
يمكن أن تكون ستة أنواع من المتراكبات النانوية، حسب طبيعة المتراكبات المستخدمة [50].



الشكل (I. 7): أنواع المتراكبات النانوية.

I. 8. متراكبات نانوية قائمة على أكسيد المعادن

بعض جسيمات أكسيد المعادن النانوية التي يتم الإبلاغ عنها بشكل شائع والمستخدم في تصنيع المتراكبات النانوية للتطبيقات الطبية الحيوية بمرور الوقت هي المغنثيت (Fe_3O_4)، والهيماتيت (Fe_2O_3)، والتيتانيا (TiO_2)، والألومينا (Al_2O_3)، والزركونيا (ZrO_2) [51]. أظهرت جسيمات أكسيد المعادن النانوية خصائص فيزيائية واعدة، والتي شجعت على خصائص مضادة للميكروبات، ومغناطيسية، وموصلية كهربائية [52]، وقد أدى ذلك إلى تطبيقها كأجهزة استشعار، ومواد إلكترونية قابلة للتبديل، وعوامل توصيل الأدوية، وعوامل التصوير [51]. من بين الأنواع العديدة، نذكر فقط ثلاث فئات من جزيئات أكسيد المعادن النانوية، وهي أكسيد المعادن المختلطة، وأكسيد المعادن، وأكسيد البوليمر المعدني (I. 9).



الشكل (I. 8): تصنيف المتراكبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن [51].

I. 8. 1. مركبات نانوية من أكاسيد معدنية مختلطة

لقد تزايد الاهتمام بإمكانية تطبيق أكاسيد المعادن المختلطة في مجالات متنوعة من البحث والتكنولوجيا، يمكن أن يؤدي الجمع بين اثنين أو أكثر من أكاسيد المعادن المختلفة إلى إنتاج مواد مركبة ذات خصائص فريدة (فيزيائية أو كيميائية)، مما قد يؤدي إلى أداء متفوق لتطبيقات مختلفة [53]. لكي يُطلق على المركب اسم "مادة مركبة نانوية"، يجب ملاحظة أنه يجب أن تمتلك إحدى المواد على الأقل أبعاداً نانوية. تم تصنيع مركبات نانوية ذات طورين تتكونان من أكسيدين معدنيين يتعايشان داخل نفس المصفوفة لتطبيقات متنوعة بما في ذلك النشاط المضاد للبكتيريا والتحفيز الضوئي [54, 55]. تم تصنيع وفحص المتراكبات النانوية لأكاسيد معدنية مختلطة مثل TiO_2/WO_3 [56]، ZnO/MgO [57]، TiO_2/Fe_2O_3 [58]، NiO/Co_3O_4 [59]، Fe_2O_3/Co_3O_4 [59]. باستخدام تقنيات مختلفة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسات أن المتراكبات النانوية بالمقارنة مع الأكاسيد المفردة تمتلك كفاءة أعلى في فصل الناقل الضوئي. وعلى الرغم من أن التركيز في تجاربهم كان منصبا على الأكاسيد التي تمتلك طورين، إلا أن تلك التي تمتلك تقاطعات غير متجانسة مزدوجة موجودة داخل أكثر من طورين لم يتم استكشافها.

I. 8. 2. المتراكبات النانوية لأكسيد المعدن

تم تصميم هذه الفئة من المتراكبات النانوية لتشمل كلاً من المعدن وأكسيد المعدن، ويمكن تصنيفها بشكل أكبر بناءً على التكوين الهندسي للمركبات النانوية إلى مصفوفات نانوية من أكسيد المعدن المزخرف بالمعدن، المعادن/أكسيد المعدن/الهياكل النانوية الصدفية، وهياكل نانوية من أكسيد معدني نبيل من نوع جانوس، وهياكل نانوية من قلب/قشرة معدنية/أكسيد معدني.

يتم تشكيل مصفوفات أكسيد المعدن النانوية المزخرفة بالمعادن عن طريق تحميل المعادن النبيلة على مصفوفات أكسيد المعدن النانوية، هنا يتم تحميل المعادن النبيلة المختلفة على أنواع مختلفة من مصفوفات أكسيد المعدن النانوية [60, 61] مثل قضبان النانو [62] والأنابيب النانوية [63] والأسلاك النانوية [61]، والصفائح النانوية [64]. من خلال استخدام الاختزال الضوئي [65]، وطرق الاختزال الكيميائي [66]، يتم ربط المعادن النبيلة بمصفوفات أكسيد المعدن النانوية. تسمح تقنيات الاختزال الضوئي والاختزال الكيميائي بضبط مستوى تغطية المعدن على سطح مصفوفات أكسيد المعدن النانوية، والذي يمكن تحقيقه من خلال تنظيم وقت الغمر أو مراقبة كمية المعدن النبيل. يو وآخرون، روى تخليق أغشية أنابيب نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم المعدلة باستخدام Au و Pd عن طريق الاختزال الضوئي، مسلطاً الضوء على أن أداء Au و Pd مع TiO_2 في إزالة الملوثات كان أعلى في هذا الشكل المعدل مقارنةً بأداء أنابيب نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم غير المزخرفة [67].

I. 8. 3. مركب نانوي من أكسيد المعدن البوليميري

يؤدي دمج جسيمات أكسيد المعدن النانوية في البوليمرات إلى إنتاج مركبات نانوية ذات خصائص قابلة للضبط. ويمكن تعديل هذه الخصائص عن طريق الجمع المناسب مع اختيار جسيمات أكسيد المعدن النانوية، نتيجة لنسبة السطح إلى الحجم العالية لجسيمات أكسيد المعدن النانوية. ويمكن أن يكون تغيير الخصائص نتيجة لحالة التشتت والشكل الهندسي وحجم الجسيمات النانوية.

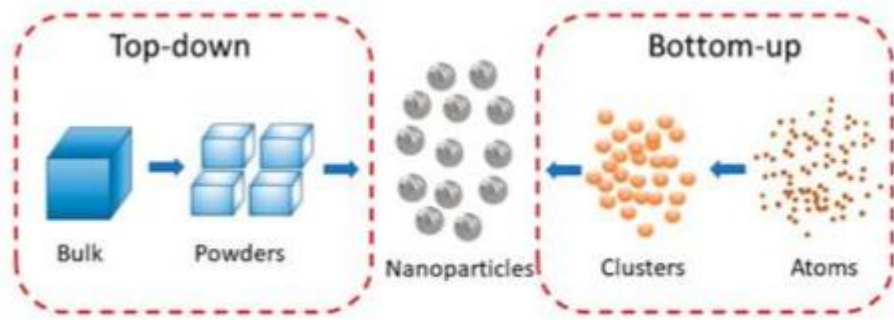
في معظم الحالات، توجد تفاعلات ضعيفة بين البوليمر وجسيمات أكسيد المعادن النانوية التي تتداخل مع خصائص المركبات، ولكن اعتماداً على رغبة الباحثين، يمكن ضبط هذه التفاعلات عن طريق تعديل أسطح الجسيمات النانوية [68, 69]. يمكن أن تؤثر هذه القابلية للضبط على الخصائص البيولوجية أو الكيميائية أو الفيزيائية للمركب النانوي الناتج بشكل كبير. بشكل عام، يتم تحضير مركبات أكسيد المعادن النانوية البوليمرية عن طريق المزج أو الخلط المباشر لجسيمات أكسيد المعادن النانوية والبوليمر. على سبيل المثال، في وجود جسيمات نانوية من أكسيد المعدن، باستخدام عمليات sol-gel وبلمرة المونومرات في الموقع [6, 70]. هذا التعايش المفيد الموجود بين أكاسيد المعادن والبوليمر، المستخدم لتصميم مركبات نانوية (مركبات نانوية من أكسيد المعدن والبوليمر)، قد أذهل الباحثين في جميع أنحاء العالم، ونتيجة لذلك، تم استخدامها على مدى عقود لأغراض واسعة النطاق. ورد أن ديمير وآخرون قاموا بإعداد مركبات نانوية من PMAA/ZnO وPMAA/TiO₂ باستخدام عملية بلمرة في الموقع وحددوا أن تجانس تشتت الجسيمات قد زاد من خلال البلمرة المشتركة في الموقع لميثيل ميثاكريلات (MMA) مع مونومر ثنائي الوظيفة [71]. تم تحقيق التخليق في خطوة واحدة لمركب البوليسترين (PS/TiO₂) بواسطة وو وآخرون باستخدام تقنية البلمرة المصغرة [72]. لقد تم الاعتراف بأن تطوير النانو مركب PS/TiO₂ تم تسهيله من خلال التفاعل الكهروستاتيكي بين Ti وOH وبروميد سيتيل ثلاثي ميثيل الأمونيوم، وبعد ذلك تم طلاء جزيئات TiO₂ على PS لتشكيل النانو مركب. تم تصنيع مركبات نانوية أخرى من أكسيد المعدن والبوليمر لاستخدامها في قطاعات مختلفة من الحياة مثل بولي (بوتيلين سكسينات) / ثاني أكسيد التيتانيوم، الذي تم استخدامه في تحلل المركبات العضوية [73]، كيتوزان / Fe₃O₄ الذي تم استخدامه كمستشعر حيوي لليوريا [74]، بولي فينيل كلوريد / أكسيد النحاس المستخدم كسائل نانوي في نظام إدارة نقل الحرارة [75]، بولي إيثيلين جليكول / أكسيد الحديد المستخدم في الطب الحيوي كحامل نانوي لتوصيل الدوكسوروبيسين [76]، كيتوزان / أكسيد الزنك المستخدم لتحلل الصبغة وكعامل مضاد للبكتيريا [77]، بولي لاكتيك / ثاني أكسيد التيتانيوم المستخدم للتعرف البيولوجي على عقار الدونوروبيسين المضاد للسرطان [78]، إلخ.

I. 9. استراتيجيات تصنيع المتراكبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن

يتم تصنيع المتراكبات النانوية باستخدام طرق مختلفة: بشكل أساسي الطريقة "من أسفل إلى أعلى"، أو الطريقة "من أعلى إلى أسفل"، باستخدام النهج التصاعدي: يتم بناء الجسيمات النانوية المركبة ذرة بذرة أو جزيء بجزيء (التحلل المائي أو تكثيف الألكوكسيدات)، في النهج من أعلى إلى أسفل: يتم تصغير حجم الهيكل الكبير تدريجياً، حتى الوصول إلى الأبعاد النانومترية بعد تطبيق ضغوط ميكانيكية شديدة وصددمات عنيفة وتشوهات قوية (طحن). سيسمح النهج التصاعدي بإنتاج تنوع أكبر في البنى، وتحكم أفضل في الحالة النانومترية (الأحجام وتوزيع حجم الجسيمات والتشتت، وتحديد موضع الجزيئات، وتجانس المنتجات). وعلى النقيض من ذلك، فإن إحدى مزايا الطريقة من أعلى إلى أسفل ستكون قدرة إنتاجية أكبر مع تحكم أكثر دقة في الحالة النانوية (الشكل I - 10).

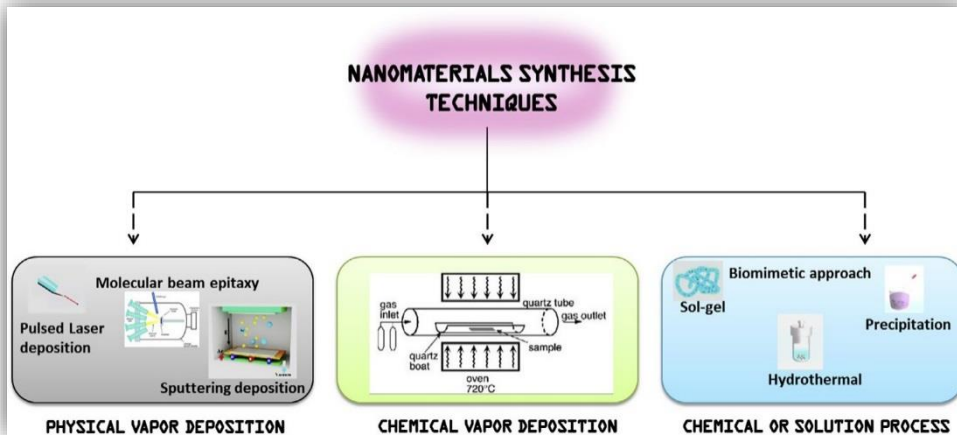
إن تصنيع المواد النانوية القائمة على أكاسيد المعادن ومركباتها النانوية ذات مورفولوجيا وتركيب محددتين هو أحد أكثر العمليات صعوبة في تصميمها. ونظراً للخصائص والإمكانات الواعدة التي تظهرها مواد أكسيد المعدن

النانوية المصنعة ومركباتها النانوية، فإن هناك اهتمامًا كبيرًا باستراتيجيات التصنيع التي تحدد في النهاية خصائص هذه المواد النانوية أو المركبات النانوية في صنع أجهزة فعالة للعديد من التطبيقات. لذلك، فإن الاختيار الحكيم للطريقة التركيبية لتصنيع هذه المواد النانوية أمر بالغ الأهمية للحصول على مواد ذات خصائص بيولوجية وبصرية ومغناطيسية وكهربائية جيدة تعتمد على أبعادها وحجمها [79]. يعتمد اختيار الطريقة التركيبية على الخصائص المستهدفة للجسيمات النانوية / المركبات الناتجة حيث تم تحديد طريقة التركيب للتأثير على البنية البلورية والمورفولوجيا والأحجام وما إلى ذلك [80]. غالبًا ما يتم تجميع طرق التخليق الشائعة لهذه المواد النانوية في ثلاث فئات، وهي طرق التخليق في الطور الغازي، وطرق التخليق القائمة على البخار، وطرق التخليق القائمة على المحلول [80].



الشكل (9-I): طرق تصنيع الجسيمات النانوية [81].

من الضروري أن نذكر أنه على الرغم من أن تخليق جزيئات المتراكبات النانوية أحادية التشتت يمثل تحديًا حيويًا للطريقة الفيزيائية، إلا أن الطريقة مفيدة لأنها تشجع على الإنتاج الكبير للمركبات النانوية المركبة. من ناحية أخرى، تشجع الطرق الكيميائية الرطبة على توحيد حجم المركبات النانوية بسهولة، على الرغم من إمكانية تحقيق أشكال متنوعة (مثل قضبان النانو، والأسلاك النانوية، والأنابيب النانوية، وما إلى ذلك) عن طريق تغيير ظروف التفاعل [82]. على الرغم من وجود عدة طرق لتخليق المواد النانوية لأكاسيد المعادن والمركبات النانوية سنتناول هنا فقط الترسيب الفيزيائي للبخار، والترسيب الكيميائي للبخار، والطرق الكيميائية (الشكل 11-I).



الشكل (10-I): استراتيجيات تصنيع المواد النانوية القائمة على أكاسيد المعادن [82].

I. 9. 1. الترسيب الفيزيائي للبخار

الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD) هو أسلوب تخليق يحدث في غرفة مغلقة، حيث يتم تبخير مادة المصدر فوق نقطة انصهارها مما يسمح للجسيمات المتبخرة بالتحرك إلى الأمام والترسيب على ركيزة نتيجة لمسار التفاعل الحر الناتج عن الفراغ. باستخدام هذا النهج، يمكن ترسيب المواد النانوية بسهولة على أسطح المواد الأساسية وهي أكسيد المعادن النانوية. تم إثبات تنوع الترسيب الفيزيائي للبخار من خلال ترسيب النحاس على أكسيد الزنك لتشكيل نظام مركب من النحاس Cu/ZnO، والذي تم تثبيته بعد ذلك في سائل أيوني لتحقيق الاستقرار [83].

I. 9. 1. 1. التبخر الحراري

يعتبر التبخر الحراري أبسط وأقدم استراتيجية تستخدم لتصنيع المواد النانوية لأكاسيد المعادن ومركباتها النانوية [84]. يحدث التبخر الحراري في وجود درجة حرارة عالية في الفرن الحراري، وهو أمر ضروري لتبخير المواد المصدر لتسهيل ترسيب المواد النانوية على مقياس النانو [85]. ويتيح التبخر الحراري مساحة للتحكم في عوامل مهمة مثل القوة البصرية والكهربائية وقوة الالتصاق وبنية الكسب والسمك والتوحيد [86]. من أجل ضمان نجاح تقنية التبخر الحراري، يجب توفر عوامل أخرى كالدقة في التوحيد، طبيعة الركائز، ومراقبة العملية، والعوامل المساعدة لضغط الفراغ وحوايات المصدر [87]. اعتبرت الطريقة فعالة من حيث التكلفة وأدت إلى تكوين مركبات نانوية ذات جودة عالية. كما لوحظ أنها تعتمد على درجة الحرارة بغض النظر عن النسبة المتكافئة للسلائف. فائدة أخرى لـ التبخر الحراري هي القدرة على التحكم في تركيبة المركب المزروع عن طريق تنظيم كمية السلائف والاستفادة من نقطة انصهار المواد الأولية [88].

I. 9. 1. 2. الترسيب بالليزر النبضي

تستخدم هذه الطريقة نطاق تردد ضيق وليزر عالي الكثافة كمصدر لتبخير المادة المطلوبة. تُستخدم هذه الطريقة بشكل خاص عندما تفشل التقنيات الصناعية الأخرى في ترسيب المواد [89, 90]، وقد تم استخدامها بنجاح في تركيب النقاط الكمومية [91]، والمساحيق النانوية [92]، والأنابيب النانوية [93].

I. 9. 1. 3. الترسيب بالرش

الترسيب بالرش هو طريقة تتضمن طرد ذرات معدنية بسبب قصف المادة الصلبة المستهدفة بجسيمات نشطة [13]. لتحقيق ذلك، يتم تبخير المادة الصلبة بواسطة شعاع من أيونات الغاز الخاملة من خلال الرش ويحدث التفاعل في غرفة التفريغ بواسطة بلازما الأرجون. نظرًا لأن الذرات التي يتم رشها والتي يتم طردها إلى الطور الغازي ليست في حالة توازن ترموديناميكي، فيمكن ببساطة ترسيبها على الركيزة [13]. من خلال استخدام هذا النهج الاصطناعي، تم تشكيل العديد من مواد أكسيد المعادن النانوية عن طريق الرش المغناطيسي للأهداف المعدنية [94]، حيث تم تشكيل حزم متوازية من الجسيمات النانوية وجعلها تترسب كأغشية نانوية على ركائز السيليكون. تم استخدام تقنية SD على نطاق واسع في تصنيع مجموعة من البنى النانوية مثل B و Si و ZnO وأنابيب الكربون

النانوية [95, 96]. باستخدام هذه التقنية، تم تصنيع أفلام أكسيد الزنك (النوع n والنوع p) بنجاح باستخدام الرش بمساعدة البلازما [97].

I. 9.1.4. التكاثر الشعاعي الجزيئي

يستخدم التكاثر الشعاعي الجزيئي في تصنيع العوازل والمعادن وأشباه الموصلات، فضلاً عن المواد النانوية المكونة من أكسيد المعادن، نتيجة لقدرته الفريدة على تنظيم التكاثر على مستوى الطبقة الأحادية وأيضاً لأنه متوافق مع تقنيات علوم السطح التي تشجع القدرة على مراقبة عملية نمو المواد النانوية. التكاثر الشعاعي الجزيئي هو تقنية ترسيب في الفراغ حيث تتفاعل الحزمة الحرارية للذرات أو الجزيئات المحددة جيداً على سطح بلوري مما ينتج عنه فيلم تكاثري يمكن تمييزه في الموقع أثناء النمو [98].

I. 9.2. الترسيب الكيميائي للبخار

الترسيب الكيميائي للبخار هو نهج يستلزم مرور المواد الأولية أو الغازات نحو الركائز الساخنة، مما يشجع التفاعل الكيميائي على الحدوث نحو سطح الركيزة مما يؤدي إلى تكوين رواسب صلبة. تُستخدم مصادر الطاقة المتنوعة مثل الخيوط الساخنة والبلازما والأيونات والإلكترونات والفوتونات في التفاعل عند نطاق من درجات الحرارة يتراوح بين 200 و1200 درجة مئوية. تؤثر عوامل مثل النواة والبنية المتنامية والبلورة على الخواص الفيزيائية للفيلم المترسب [99]. تشمل فوائد هذه الطريقة التحكم بشكل أفضل في ظروف التفاعل والمرونة العالية والتغطية الجيدة للخطوة المطابقة ومعدل النمو المرتفع والقدرة على التكيف مع المعالجة واسعة النطاق [100, 101]. من الجدير بالذكر أن حقن السوائل بواسطة الترسيب الكيميائي للبخار وتقنية الترسيب الكيميائي للبخار بمساعدة الهباء الجوي هي تقنيات متعددة الاستخدامات لتوليف MOBNCs، وبالتالي يمكن تكيفها لتصميم هياكل نانوية مختلفة من أكسيد المعدن على أنواع مختلفة من الركائز.

I. 9.2.1. طريقة الترسيب المشترك

تتضمن هذه الطريقة في تصنيع مواد أكسيد المعادن النانوية ببساطة إذابة أملاح أولية غير عضوية في الماء أو أي مذيبات أخرى للحصول على محلول بتوزيع متجانس للأيونات. ثم يتم ترسيب أملاح المعادن على شكل أكسالات أو هيدروكسيدات بعد الوصول إلى التركيز المناسب للأنواع التي تسبق مرحلتي النمو والبلورة [80]. يؤثر عدد من العوامل التجريبية مثل تركيز الملح ودرجة حموضة المحلول ودرجة الحرارة على حجم وشكل الجسيمات النانوية الناتجة التي تم تصنيعها [82]. بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض العوامل الأخرى مثل التوتر السطحي واللزوجة وسرعة التحريك مسؤولة أيضاً عن تحديد خصائص المنتج النهائي. بمجرد ترسيب الأملاح، يتم ترشيح المنتج وغسله جيداً وحرقة لتحويل الهيدروكسيد إلى أكاسيد بلورية محددة [102]. باستخدام نهج الترسيب المشترك هذا، تُستخدم NaOH وNH₃ أو NH₄OH وNa₂CO₃ بشكل شائع كعوامل ترسيب [103, 104]، لتجنب تكثف الجسيمات الذي يؤثر على حجم المركبات النانوية المصنعة بهذه الطريقة، ورد أن الباحثين استخدموا عوامل التوتر السطحي [103]. وقد ثبت أن طريقة الترسيب المشترك لها مزايا كونها تفاعلاً قائماً على الماء وبسيطاً ومنخفض التكلفة ومرناً وظروف تفاعل معتدلة مشجعة تمكن من التحكم في حجم المواد النانوية [80] ومع ذلك، فإن كمية كبيرة من إنتاج النفايات والعائد المنخفض على نطاق واسع بشكل عام تحد من استخدامها [105].



الشكل (11-I) مخطط مبسط للآليات العامة المشاركة في تخليق المواد النانوية باستخدام المستخلصات النباتية.

1. 2. 9. 2. طريقة Sol-gel

تتم عملية تخليق المواد النانوية من خلال تقنية Sol-gel في تفاعل كيميائي رطب بسيط يتضمن عمليات التحلل المائي والتكثيف لتكوين محلول ينتج بدوره شبكة متكاملة على شكل هلام عند التقدم في السن. تتضمن طريقة Sol-gel استخدام ظروف تفاعل معتدلة وتركيب المواد من السلانف الجزيئية التي تؤدي إلى التباين في خصائص المواد، وبالتالي فقد حظيت هذه الطريقة باهتمام كبير لتخليق المواد النانوية [106]. كما أن معدل التفاعل البطيء يجعل هذه الطريقة جذابة لتخليق البنى النانوية المكونة من العديد من المكونات، حيث تسمح بالهندسة الجيدة لهيكل المنتج النهائي. المنتجات المصنوعة باستخدام تقنية Sol-gel إما أغشية [107, 108]، أو مساحيق غروانية [66]. هذه الطريقة قادرة على إنتاج كل من المواد الدقيقة والنانوية لأن التباين في معاملات التفاعل يؤثر بشكل كبير على حجم وشكل وهيكل المادة النانوية النهائية المصنوعة [109, 110]. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الطريقة مفيدة حيث يحدث التفاعل عادةً في درجة حرارة الغرفة، وبالتالي فهي تقنية فعالة من حيث التكلفة إلى حد ما. يمكن أن تتضمن طريقة Sol-gel أيضًا استخدام سلانف غير عضوية تخضع لتحولات كيميائية مختلفة لتشكيل شبكات جزيئية ثلاثية الأبعاد. يعد التحلل المائي وتكثيف الكوكسيدات المعادن من بين أكثر الطرق شيوعًا التي تشكل جزيئات أكسيد معدنية أكبر تتبلر لتشكيل الطلاء [111]. تشجع تقنية Sol-gel طلاء الركائز ذات الأشكال المعقدة، والتي لا تستطيع بعض إجراءات الطلاء المستخدمة بشكل شائع تحقيقها ضمن مقياس النانومتر إلى الميكرومتر. تشمل بعض الركائز المستخدمة على نطاق واسع الأنابيب النانوية أو الألياف أو حتى البلورات العضوية / غير العضوية والجسيمات الغروانية [111, 112]. تم تقديم الاستخدام الناجح لهذه الطريقة في تخليق مركبات نانوية من أكسيد الحديد والسيليكا باستخدام الكوكسيدات الحديدية كمادة أولية [113]. بالإضافة إلى ذلك، تم تصنيع نانو مركب من أكسيد الزنك الممزوج بالبولي أنيلين والنحاس مع نشاط مضاد للميكروبات معزز من خلال تقنية المستحلب الدقيق العكسي [114].

I. 9. 2. 3. الطريقة الحرارية الذائبة/الحرارية المائية

الطريقة الحرارية الذائبة والطريقة الحرارية المائية هما الطريقتان الكيميائيتان الرطبتان المستخدمتان بشكل شائع لإعداد المواد النانوية التي تعتبر طرقاً حرارية. في الطريقة الحرارية الذائبة، وفي وجود مذيب مناسب، تخضع المادة الأولية لتفاعل كيميائي تحت درجة حرارة عالية (أعلى من نقطة غليان المذيب) في غرفة مغلقة وضغط [13]. [115] يلعب المذيب دائماً دوراً حيويًا في العملية الحرارية الذائبة. من ناحية أخرى، تتضمن الطريقة الحرارية المائية تفاعلاً كيميائياً غير متجانس في نظام مغلق يتم عند ضغط أكبر من 1 ضغط جوي، أعلى من درجة حرارة الغرفة وفي مذيب مائي [116]. وهي تتضمن خلط المواد الأولية مع قاعدة في الماء تليها المعالجة الحرارية في وعاء ضغط حيث يتم ضبط درجة حرارة التفاعل لتكون أعلى من درجة حرارة الماء [13]. إن استخدام تقنية الذوبان الحراري/الحراري المائي يجعل من السهل التحكم في شكل وحجم المواد النانوية من خلال تغيير المعلمات الكيميائية والديناميكية الحرارية للتفاعل الكلي [6].

لتحسين خصائص وحجم المواد المركبة بشكل ضروري، تم استخدام عوامل التغطية والمواد الخافضة للتوتر السطحي والمواد المعدنية [117, 118]. قدمت النتائج المبلغ عنها مناهج تطوي على مزيج من الطريقة الحرارية المائية مع الموجات الدقيقة [119] و Sol-gel [120]. تميل هذه الأساليب إلى توفير فرصة لتغيير الخصائص البنوية والفيزيائية والكيميائية للمواد وتشجيع تطوير مواد أحادية الطور مع استقرار محسن [120]. علاوة على ذلك، أظهر الباحثون أن حجم الجسيمات وتغيرات الطور والشكل وخصائص المواد يمكن تحويلها بشكل كبير بمجرد تغيير الضغط ووقت التفاعل ودرجة الحرارة [118, 121]. في أغلب الحالات، تكون عملية التخليق ضرورية لإزالة البقايا وتحسين تبلور المواد النانوية. وعلى الرغم من أن عمليات الذوبان الحراري والحرارة المائية هي طرق فعالة من حيث التكلفة وبسيطة، فإن التحدي المتمثل في تجميع الجسيمات النانوية المعدنية هو عيبها الرئيسي [13, 122, 123].

I. 9. 2. 4. نهج المحاكاة الحيوية

في إطار السعي إلى تصنيع مركبات نانوية من أكاسيد المعادن أكثر مراعاة للبيئة، ركز الباحثون على تقنيات اصطناعية بديلة لإلغاء معدل توليد النفايات أثناء التحضير والتكلفة التي ينطوي عليها تخليق وتطوير تقنية النماذج الأولية السريعة. وعادة ما تتم عملية المحاكاة الحيوية عند درجة حرارة منخفضة نسبياً وتقلل من تحلل الجسيمات مقارنة بالتقنيات التقليدية [6]. وهي تنطوي على تركيب مواد نانوية تحاكي الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمواد الطبيعية بهدف استخدام هذه المواد النانوية في الأجهزة الطبية الحيوية أو في هندسة الأنسجة كسقالات. ونظراً لأن هذا النهج هو نهج بيولوجي معتدل، فقد أفاد الباحثون بأنه طريقة فعالة لتطوير مساحيق نانوية مركبة بلورية ذات حجم متحكم فيه، دون الحاجة إلى إضافات خارجية مثل هيدروكسيد الصوديوم أو هيدروكسيد الأمونيوم. لقد أدى هذا الإلهام لاستخدام العمليات الطبيعية أو البيولوجية إلى إنجاز كبير في تصنيع الهياكل النانوية عالية الترتيب [6].

10.I. بعض تقنيات التوصيف الأساسية للمتراكبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن:

إن تقنيات التوصيف لها دور مهم في دراسة الجسيمات النانوية المركبة التي تم تصنيعها كما ذكرنا سابقاً بطرق مختلفة وحتى ظروف تفاعل ومواد أولية مختلفة، وبالتالي فإن جميعها تظهر أشكالاً مختلفة وحجماً وتوزيعاً للجسيمات وبنية ومورفولوجيا وتكويناً عنصرياً وحتى تطبيقات عملية مختلفة. كل هذه الخصائص الفيزيائية والكيميائية ضرورية لتصميم مادة نانوية ذات تطبيقات عملية مطلوبة. لذلك فإن توصيف المادة النانوية المصنعة أمر بالغ الأهمية لمعرفة حجمها وشكلها ومورفولوجياها وتركيبها الكيميائي وجميع خصائصها الأخرى لدراساتها وتطبيقاتها بشكل كامل. هنا، سنراجع بعض تقنيات التوصيف المهمة المستخدمة لمختلف المواد النانوية المركبة القائمة على أكاسيد المعادن المبلغ عنها.

10.I.1. تقنية حيود الأشعة السينية (XRD)

تُستخدم تقنية حيود الأشعة السينية على نطاق واسع لتحديد الطور وحجم البلورة لكل طور من مركب النانو. وقد أبلغ جميع الباحثين تقريباً عن دراسات حيود الأشعة السينية للأجسام النانوية المركبة القائمة على أكاسيد المعادن الانتقالية من أجل دراسة جودتها البلورية وطورها. كما أجرى Hadi Eslami وآخرون دراسة بيانات حيود الأشعة السينية للتحقق من نجاح تصنيع مركب نانوي من أكسيد معدن الحديد والمنجنيز. كما قام أيضاً بالإبلاغ عن الحجم المحسوب للمركب النانوي باستخدام معادلة شيرر

$$D = 0.89\lambda(\beta \cos\theta)^{-1} \quad (1)$$

حيث λ = طول موجة الأشعة السينية، D = حجم البلورة، β = العرض الكامل عند نصف الحد الأقصى و θ = زاوية الحيود [124].

وبطريقة مشابهة جداً، قام العديد من الباحثين بتصنيع مركبات نانوية تعتمد على أكاسيد المعادن الانتقالية ودراسة بيانات حيود الأشعة السينية الخاصة بهم كما أفاد K. Egizbek ببيانات حيود الأشعة السينية للمركب النانوي NiFe_2O_4 [125]، وأفاد Thongthai Witoon وآخرون بدراسة بيانات حيود الأشعة السينية لمركب نانوي Cu/ZnO [126]، ودرس Tariq Jan وآخرون بيانات حيود الأشعة السينية للجسيم النانوي المركب ZnO-CuO [126]. ومن الواضح مما سبق أن حيود الأشعة السينية هي تقنية أساسية وحاسمة مطلوبة لتوصيف المواد النانوية.

10.I.2. المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) والمجهر الإلكتروني النافذ (TEM)

تعتمد الخصائص والتطبيقات بشكل كبير على مورفولوجيا وحجم جسيمات المواد النانوية. يستخدم الباحثون المجهر الإلكتروني لمراقبة مورفولوجيا وحجم أكاسيد المعادن الانتقالية المصنعة وكذلك المواد النانوية الأخرى. المجهر الإلكتروني النافذ والمجهر الإلكتروني الماسح هما نوعان من المجهر الإلكتروني يستخدمهما الباحثون على نطاق واسع لهذا الغرض.

أفاد عبد السلام حمروني وآخرون بصورة مجهر إلكتروني لمركب نانوي من ZnO-SnO_2 ولاحظوا أن حجم المركب النانوي كان في نطاق 30-80 نانومتر [127, 128]. تم تصنيع NiO/TiO_2 بنسب 1، 2، 5 و 10% من

NiO. وتحليل صور المجهر الإلكتروني واكتشف انخفاض حجم الجسيمات عند زيادة نسبة أكسيد النيكل. كما كان نطاق حجم المركب النانوي في نطاق 4-32 نانومتر [129] ، كشفت الأبحاث أن المجهر الإلكتروني يستخدم على نطاق واسع لدراسة المواد النانوية وتقنية توصيف بالغة الأهمية، أوضح المثال أعلاه أن المورفولوجيا هي معلومة حاسمة لاستخدام أي مادة نانوية في تطبيق محدد.

10.I.3. الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX)

يعد EDX مفيداً في تحديد المحتوى العنصري الموجود في المركبات النانوية المركبة القائمة على أكسيد المعدن الانتقالي وأيضاً المواد النانوية الأخرى [130, 131]. إن تحديد التركيب العنصري باستخدام تقنية EDX إلى جانب تقنيات تحديد التركيب الأخرى مثل XRD و FTIR و UV وما إلى ذلك يعطي معلومات هيكلية كاملة لأي مادة نانوية.

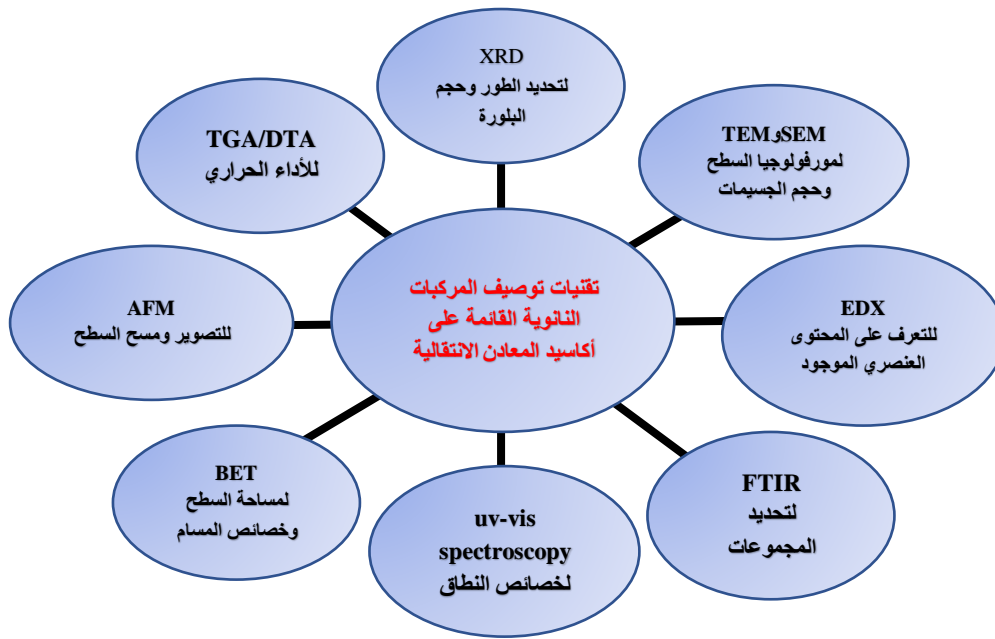
10.I.4. مطياف الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه (FTIR)

نشرت العديد من الأعمال البحثية لتوليف وتوصيف مركبات نانوية تعتمد على أكسيد المعادن الانتقالية، حيث قام الباحثون بالتحقيق في المجموعات الوظيفية في المواد النانوية المركبة التي قاموا بتصنيعها باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء في فورييه. درس K. Karthik أطيف الأشعة تحت الحمراء في فورييه لمركب نانوي من أكسيد الكاديوم والزنك. حيث خلص إلى أن ذروة 861 سم⁻¹ كانت لأكسيد الكاديوم المكعب وذروة 505 سم⁻¹ كانت لأكسيد الزنك السداسي [132]. قام Mohammadreza Mansournia وآخرون بتوليف مركبات أكسيد النحاس والزنك ودراسة أطيف الأشعة تحت الحمراء في فورييه الخاصة بها، ولاحظ أن جميع مركبات أكسيد النحاس والزنك بنسبة 0.4% و 2% و 10% و 50% أظهرت نطاقاً في نطاق 400-600 سم⁻¹ لاهتزازات تمدد (M-O) [133]. أفادت Zahra Noohpishah وآخرون بوجود أطيف FTIR ذات قيمة 520 سم⁻¹ والتي كانت مرتبطة باهتزاز الرابطة Zn-O و 900 إلى 1500 سم⁻¹ تنتمي إلى مكونات المستخلص الموجودة على سطح النانو مركبات Ag-ZnO [134]. يوضح المثال أعلاه أهمية أطيف FTIR، فهي مفيدة للدراسات البنيوية الكاملة جنباً إلى جنب مع تقنية التوصيف الأخرى التي تمت مناقشتها من قبل.

10.I.5. بعض تقنيات التوصيف الأخرى

تحتل بعض التقنيات الأخرى أيضاً شعبية كبيرة لتوصيف المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية وغيرها من المواد النانوية مثل التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية، ومجهر القوة الذرية (AFM)، وتقنية بروناور-إيميت-تيلر (BET)، والتحليل الوزني الحراري (TGA)، والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) وما إلى ذلك [135, 136]. يعد BET مفيداً لملاحظات مساحة السطح وتحليل خصائص المسام. يستخدم الباحثون TGA/DTA لدراسات الأداء الحراري للعينات [137].

من الواضح من الدراسات السابقة أن كل عملية توصيف لها دورها الخاص وأنها تعمل معاً من أجل الدراسة الكاملة للخصائص البنيوية والكيميائية للمركب النانوي القائم على أكسيد المعادن الانتقالية. يقدم الشكل 2 ملخصاً موجزاً لتقنيات التوصيف المستخدمة في المركب النانوي القائم على أكسيد المعادن الانتقالية.

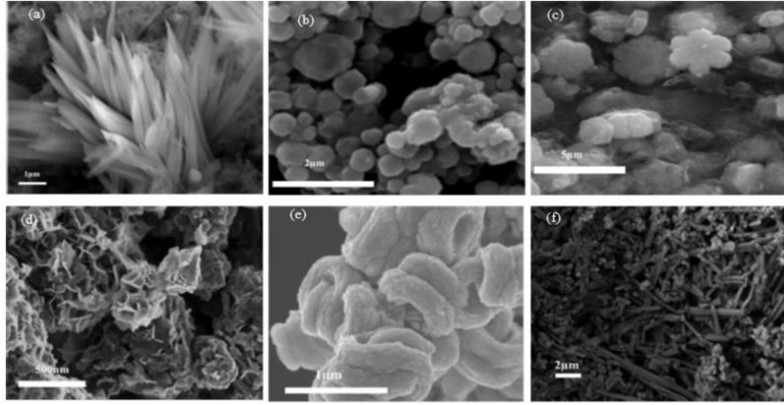


الشكل (12-I) رسم تخطيطي مبسط لتقنيات التوصيف العامة لدراسة المركبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن الانتقالية.

11.I. مورفولوجيا

تلعب مورفولوجيات المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية دورًا مهمًا للغاية لاستخداماتها العملية في مختلف مجالات العلوم أو يمكننا القول إن التطبيقات العملية للمركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية وحتى المواد النانوية الأخرى مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بأشكالها. تم استخدام طرق تصنيع مختلفة للتحكم في أشكال المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية. كشفت الأبحاث السابقة عن مجموعة متنوعة من أشكال المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية على سبيل المثال، قام Sharma parveen وآخرون بتصنيع مركب نانوي من $Al(OH)_3/MnO_3$ ، كما أبلغ أيضًا عن صور FESEM الخاصة به حيث كان من الواضح أن المركب النانوي السابق له شكل سطح يشبه رقائق ألياف اليندياء [138]. أبلغت G. Jenita Rani وآخرون عن صور مجهر المسح الإلكتروني لـ Fe_3O_4/rGO التي قامت بتصنيعها، وخلصوا إلى أن Fe_3O_4/rGO أظهر مورفولوجيا تشبه زهرة *Watsonia Meriana*. أبلغت Razieh Aladpoosh وآخرون عن نانو مركب Ag/ZnO يشبه النجمة على قماش قطني [139].

كشفت الدراسة أعلاه عن أشكال فريدة مختلفة تم التوصل إليها في مختلف الأبحاث. يوضح الشكل (13-I) بعض صور المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني المصفوفين المفرغ من الهواء (FESEM) التي تم الإبلاغ عنها بالفعل مع أشكال مختلفة من المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية.



الشكل (13-I): أشكال مختلفة لبعض المركبات النانوية المعتمدة على أكسيد المعادن الانتقالية المبلغ عنها، (أ) [139] ، (ب) [125] ، (ج) [140] ، (د) [141] ، (و) [142] و (هـ) [125].

12.I. الإمكانيات المضادة للميكروبات وغيرها من الإمكانيات الطبية الحيوية للمركبات النانوية

القائمة على أكسيد المعادن

أنشأت المركبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن بمرور الوقت مجموعة واسعة من التطبيقات في الطب الحيوي نتيجة لقدرتها على تصميم خصائصها والطبيعة المبسطة لتخليقها، يتم استخدامها بشكل روتيني كواجهات حيوية للهندسة الخلوية والأنسجة، ومركبات لتغليف الأدوية وإطلاقها، وأجهزة استشعار حيوية نانوية للتشخيص، وأدوات جراحية، وضمامات لشفاء الجروح [143].

1. 12.I. تضميد الجروح/التئامها

إن أكبر عضو خارجي يغطي الجسم وهو الجلد، مسؤول عن حماية الأعضاء الداخلية والأربطة والعظام والعضلات، والتي تقع تحتها من العوامل الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية والبيولوجية الخارجية [144, 145]. يمكن أن تتأثر بنية الجلد ووظائفه النسبية بالشقوق الجراحية والحروق والجروح وربما الأمراض، مثل مرض السكري [146] ، ويتطلب حدوث مثل هذا إعادة تأسيس بنيته ووظائفه في أقرب وقت ممكن للحفاظ على توازن الجسم. لتحقيق إعادة الاستقرار هذه، بعد إصابة الجلد تبدأ عملية الشفاء فور حدوث الإصابة تقريباً لتجنب خطر التلوث المحتمل [147]. العدوى الأكثر شيوعاً بين الناس هي عدوى الجلد والأنسجة الرخوة (SSTIs). يعتمد مدى عدوى الجلد والأنسجة الرخوة عادةً على شدة وسبب الغزو الميكروبي، حيث تتراوح العدوى من عدوى سطحية تافهة إلى عدوى تهدد الحياة. خلال المرحلة الأولية من عملية العدوى تكون الكائنات الحية إيجابية الجرام مثل المكورات العنقودية المقيحة (S. pyogenes) والمكورات العنقودية الذهبية (S. aureus) هي الكائنات الحية السائدة [148]. في المراحل اللاحقة من العدوى، على سبيل المثال عند تجربة الجروح المزمنة تكون الكائنات الحية سلبية الجرام مثل أنواع E. coli و P. aeruginosa متاحة بسهولة أكبر [149]. يساعد تنشيط الجهاز المناعي لدى البشر الأصحاء في القضاء على مسببات الأمراض، ولكن في حالات الجهاز المناعي غير الوظيفي تؤدي العدوى إلى تدهور مكونات المصفوفة خارج الخلية (الفبرين والإيلاستين والكولاجين) وعوامل النمو وأنسجة التحبيب، وبالتالي المساس بعملية التئام الجروح العادية

[149, 150]

إن الشفاء الطبيعي لالتهابات الجلد (الجروح) هو عملية بيولوجية بشرية شائعة يتم إنجازها من خلال أربع مراحل آلية إلى حد كبير: وقف النزيف والالتهاب ثم التكاثر وإعادة البناء. تعمل هذه المراحل معًا لتعزيز التئام الجروح بسرعة مع الحد الأدنى من الندبات والوظيفة القصوى. تشمل هذه العملية الديناميكية نشاطًا منسقًا ومنهجيًا ومتوازنًا للخلايا الوعائية والالتهابية والظهارية والأنسجة الضامة [151]. وهذا يجعل تصميم المواد المستخدمة في التئام الجروح غريبًا للغاية ويجب توخي الحذر في اختيار مثل هذه المواد. وذلك لأن مثل هذه المواد ستحتاج إلى إثبات القدرة على منع اختراق الكائنات الحية الدقيقة للجرح. إن تحقيق هذا المطلب هو ما قاد الباحثين إلى تصميم وتوليف مواد تضميد الجروح التي تمتلك أنشطة بيولوجية جوهرية، أو عن طريق دمج العوامل المضادة للميكروبات داخل المواد المصممة لتحقيق مثل هذه البراعة المضادة للميكروبات [152].

بدافع من هذه الرغبة في تطوير مواد حيوية فعالة لإدارة الجروح، تم دمج جسيمات نانوية من الفضة/أكسيد الزنك في الكيتوزان لتشكيل مركب نانوي جديد من الفضة/أكسيد الزنك-الكيتوزان لتضميد الجروح. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من تقييم تثبيط النمو المضاد للبكتيريا المحتمل بالإضافة إلى القدرة على التئام الجروح أن الضمادات المركبة العالية أظهرت قدرة محسنة على تخثر الدم، ومدة احتباس رطوبة تتراوح بين 13 إلى 14 يومًا، ونسبة تورم تتراوح بين 21 إلى 4%، ومسامية تتراوح بين 81 إلى 88%، وهي مفيدة لتسريع وتشجيع التئام الجروح بشكل أسرع. وعلاوة على ذلك، أظهر التقييم أن المركب النانوي المحضر يمتلك أنشطة مضادة للبكتيريا محسنة ضد البكتيريا المسببة للأمراض الحساسة للأدوية والمقاومة *P. aeruginosa* و *S. aureus* و *E. coli* عند مقارنتها بشاش مرهم أكسيد الزنك والكيتوزان النقي [153].

وبالمثل، تم تقديم دراسة حول القدرة المضادة للميكروبات للمركب النانوي الشيتوزان PVP و TiO_2 كمادة محتملة لتضميد الجروح في الجسم الحي [154]. وقد وجد أن الضمادة النانوية المحضرة تمتلك توافقًا حيويًا جيدًا ضد الخلايا الليفية L929 و NIH_3T_3 ، فضلاً عن فعالية مضادة للميكروبات استثنائية. وعند مقارنة المركب النانوي المحضر بمجموعات معالجة بالكيتوزان ومرهم الجلد سوفراميسين والشاش التقليدي، وجد أنه يسرع من التئام جروح نموذج الفئران البيضاء ذات الجروح المفتوحة من نوع الاستئصال.

وبالنظر إلى المخاوف المتعلقة بالصحة العامة فيما يتعلق بالالتهابات الجلدية، كاي وآخرون [155] نجح في تصنيع مركب Fe_3O_4 NPs/CS/GE موحد باستخدام تقنية الغزل الكهربائي لتطبيقات تضميد الجروح المحتملة. كشفت النتائج أن النشاط المضاد للبكتيريا للمركب النانوي Fe_3O_4 /CS/GE قد زاد عندما تم دمج جزيئات Fe_3O_4 النانوية المغناطيسية في ألياف الشيتوزان/الجيلاتين النانوية. كما أثبتت النتائج أن القدرة المضادة للبكتيريا المثلى لمركب النانو Fe_3O_4 /CS/GE ضد المكورات العنقودية الذهبية والإشريكية القولونية تم تحقيقها عند تحميل حشو بنسبة $\leq 1\%$ بالوزن، مما يشير إلى أن المركب النانوي المحضر يحمل تطبيقات محتملة كمادة لتضميد الجروح اعتمادًا على كيفية تصميمه.

وفي محاولة لتحسين قدرة إزالة الجذور الحرة والنشاط المضاد للميكروبات لمركب نانوي من أكسيد المعادن قائم على النسيج، تم تصنيع مركب نانوي من النسيج Al_2O_3 و TiO_2 كمزيل للجذور الحرة ومضاد للجروح مضاد للميكروبات [156].

12.I.2. توصيل الأدوية

لقد كان تطوير مركبات نانوية متقدمة من أكسيد المعادن لتوصيل الأدوية محل اهتمام علمي كبير للباحثين المشاركين في مجالات متنوعة من علم المواد إلى الطب النانوي. وتهدف التطورات الحديثة في أنظمة توصيل الأدوية النانوية إلى التوليف الفعال لأنظمة توصيل الأدوية التي يمكن أن توفر تغليفًا فعالاً للعلاجات وتفرغها عند حافز محدد. ويهدف الباحثون أيضًا إلى تطوير مركبات نانوية قادرة على تشجيع العلاج المركب من خلال قدرتها على تحويل الإشارات الخارجية إلى حرارة تولد أنواعًا شديدة الأكسدة مفيدة [157].

قام الباحثون بالتحقيق في استخدام المواد الحيوية غير العضوية؛ Fe_3O_4 المغناطيسية و SiO_2 و $CaSiO_4$ لتصنيع مركب نانوي مغناطيسي $Fe_3O_4/SiO_2/CaSiO_4$ بنجاح لتطبيقه في توصيل الأدوية [158]. استنادًا إلى سعة تحميل الدواء الفائقة لـ $CaSiO_4$ المستخدمة في تخليق المركب النانوي المذكور، استخدم الباحثون المركب النانوي المصنوع كحامل للدواء باستخدام الإيبوروفين كدواء نموذجي. سجل النانو المركب قدرة تحميل دواء تبلغ 75 مجم دواء / جرام حامل وكان الوقت المقدر 60 ساعة كافيًا للإطلاق الكامل لدواء الإيبوروفين المحمل من المتراكب النانوي. النتائج تظهر أن المزايا المجمعدة لكل من السلوك المغناطيسي للنانو مركب المحضر والإطلاق المستمر للدواء تجعله مادة واعدة للتطبيق المستقبلي في توصيل الدواء المستهدف. في دراسة أخرى، صنع يانج وزملاؤه نانو مركب مغناطيسي ثنائي الأبعاد $WS_2@Fe_3O_4$ وظيفيًا مع بولي إيثيلين جليكول (PEG) ومغطى بسيليكات متوسطة المسام (MS) لعلاج السرطان (توصيل الدواء النموذجي والعلاج الموجه بالتصوير) [159]. قام الباحثون باستخدام نموذج دواء مضاد للسرطان، دوكسوروبيسين (DOX)، بالتحقيق في قدرة تحميل الدواء لمركب النانو $WS_2@MS-PEG$ و $Fe_3O_4@MS-PEG$. وقد سجلوا زيادة كبيرة في تحميل DOX مع زيادة كمية DOX التي وصلت إلى تركيز أقصى يبلغ 0.5 مجم / مل. بالإضافة إلى ذلك، فقد سلطوا الضوء على أن سلوك إطلاق الدواء لمركب النانو $WS_2-IO@MS-PEG/DOX$ المحضر أظهر سلوك إطلاق دواء يعتمد على درجة الحموضة، مع تسارع إطلاق الدواء تحت درجة حموضة عالية إلى حد كبير بسبب بروتونات المجموعة الأمينية الموجودة في بنية DOX. كشفت الملاحظات الإضافية المقدمة أن تحفيز ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة يمكن أن يبدأ إطلاق الدواء من مركب النانو $WS_2-IO@MS-PEG/DOX$. وقد كشفت تحقيقاتهم عن حقيقة مفادها أن التأثير العلاجي المشترك للعلاج الكيميائي والحرارة الضوئية بواسطة $WS_2-IO@MS-PEG/DOX$ على المستوى الخلوي أدى إلى كفاءة مماثلة في قتل الخلايا السرطانية لكل من $WS_2-IO@MS-PEG/DOX$ بدون إشعاع الليزر و DOX الحر. وهذا يستدل منه على أن الجمع بين العلاج الكيميائي والحرارة الضوئية يمكن أن يؤدي إلى تأثير علاجي معزز على المستوى الخلوي مقارنة بالعلاجات الفردية. مع وضع هذا في الاعتبار والتطور الأخير في التصوير الطبي الحيوي في جميع أنحاء العالم، قام يانغ وزملاؤه أيضًا بالتحقيق في سلوك $WS_2-IO@MS-PEG$ في الجسم الحي ووجدوا أن دمج الجسيمات النانوية المغناطيسية Fe_3O_4 داخل النانو المركب $WS_2-IO@MS-PEG$ يجعله عامل تباين واعدًا للتصوير بالرنين المغناطيسي T_2 . من الجدير بالذكر أن دمج وظائف التصوير والعلاج المتعددة داخل منصة نانوية واحدة مقترنة بالسمية الخلوية المنخفضة الكامنة والاستقرار

الفيولوجي الجيد لمركب النانو $Fe_3O_4@MS-PEG$ و WS_2 غير المصنّع يمكن أن يجعله علاجًا فعالًا موجّهًا بالتصوير وناقلًا محتملاً للأدوية لتوصيل الأدوية لعلاج السرطان.

تم استخدام مركب نانوي ثلاثي الأبعاد هرمي من Fe_3O_4 ورقة نانوية من الجرافين (GNS) تم تصنيعه بواسطة طريقة حرارية مائية بسيطة في الموقع بواسطة لي وزملائه لتوصيل الأدوية المتحكم فيها [159]. تم اختبار المركبات النانوية المحضرة لمعرفة قدرتها على إطلاق عقار رودامين ب (RB) النموذجي. يؤكد هذا التحقيق على توصيل الدواء النموذجي الفعال، مع التحميل الاستثنائي لعقار RB النموذجي. واستنتج لي وزملاؤه أن الكفاءة العالية للمركبات النانوية في تحميل عقار RB يمكن أن تكون نتيجة لزيادة مساحة سطح Fe_3O_4/GNS حيث يتم تغليف الهيكل الهرمي لزهور Fe_3O_4 النانوية بشكل كبير في مصفوفة GNS [160, 161].

أجرى وانج وآخرون مؤخرًا دراسة بحثت في التطبيق المحتمل للمركبات النانوية Janus ذات الوظائف السطحية المزدوجة لإطلاق الدواء المتزامن الناتج عن التحفيز واستهداف الخلايا السرطانية. قام وانج وزملاؤه بتقييم قدرة المتراكب النانوي على استهداف الأورام وقتل الخلايا السرطانية بشكل فعال. سجلوا ملفات تعريف السمية الخلوية التي كانت تعتمد على الجرعة للتحكم الخالي من العقاقير، والمحمل ب-DOX، وجسيمات DOX من Janus مع النتائج التي تكشف أن جسيمات Janus في غياب العقار كانت آمنة بشكل معقول حتى 3 مجم / مل مع قابلية الخلايا للبقاء مع IC_{50} للعلاج المقدر بـ 3.3 ± 0.3 مجم / مل. وبالمثل، تسببت جسيمات Janus مع DOX المرتبط تساهميًا (SJNCs-DOX) في تقليل قابلية الخلايا للبقاء مع IC_{50} المقدر بـ 1030.2 ± 416.1 مجم / مل. تؤكد هذه النتائج ملاءمة البنية النانوية الفائقة المغناطيسية Janus ذات الوظيفة السطحية المزدوجة للتحسس الناتج عن ارتفاع الحرارة لخلايا الورم وتصوير الخلايا متعدد الوسائط، مما يوفر منصة متعددة الأبعاد للعلاج [162].

12.I.3. الاستشعار الحيوي

لقد تم تحقيق تقدم كبير على مستوى العالم فيما يتعلق بتطوير أجهزة الاستشعار الحيوية. ونظرًا للدعوة المتزايدة إلى الأجهزة الطبية وأجهزة أخذ العينات البيئية في الموقع والأجهزة الطبية التي تعمل في الوقت الفعلي والفعالة والملائمة في نقطة الرعاية، فقد ظهرت أجهزة الاستشعار الحيوية كأجهزة واعدة في الطب الحيوي [163]. في الآونة الأخيرة، تم الإبلاغ عن تقدم ملحوظ في دمج مركبات أكسيد المعادن النانوية في بنية أجهزة الاستشعار الحيوية عالية الأداء [164-166]. ومن بين الأنواع العديدة من المواد النانوية التي تم تطويرها، ظهرت مؤخرًا مواد نانوية تعتمد على أكسيد المعادن كمواد فريدة توفر سطحًا فعالًا لثبيت الجزيئات الحيوية بالاتجاه المطلوب والنشاط البيولوجي العالي والتكوين الأفضل مما يؤدي إلى تحسين سلوك الاستشعار [167]. بالإضافة إلى ذلك، فإن الخصائص البصرية والكهربائية والجزيئية الفريدة لمواد أكسيد المعادن النانوية إلى جانب قابلية الاستخدام من خلال الوظيفة التي تسمح بتعديل خصائص السطح توفر منصات رائعة لتضخيم الإشارة من خلال ربط عناصر التعرف البيولوجي بالمحولات. ونظرًا لأشكالها المتنوعة الفريدة على نطاق النانو وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، فإن أجهزة الاستشعار البيولوجية المصممة باستخدامها تتمتع بمزايا كونها حساسة ودقيقة ومحددة ومستقرة، مما يوسع تطبيقاتها إلى التطبيقات السريرية وغير السريرية [168].

من الدراسة الرائدة التي أجراها دونج وزملاؤه [169] في مجال تقنيات الكشف الكلاسيكية، نجح لي وآخرون [170] في تصنيع ($\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{TiO}_2\text{-DA dopamine}$)، والذي تم تحميله بعد ذلك بأحماض نووية ببتيدية، للكشف عن microMRNAs في الدم، بالإضافة إلى تحديد مستويات الطفرات الموجودة. أشارت النتائج التي تم الحصول عليها من تحسين الاستجابات الكهروكيميائية التي أجريت على جرعات $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{TiO}_2\text{-DA}$ إلى جرعة مثالية تبلغ 1.0 مجم/مل من $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{TiO}_2\text{-DA}$ ، وهي الجرعة التي ترتبط أي جرعة أعلى منها بانخفاض كبير في إشارات الكشف. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام الطريقة التحليلية الكهربائية في ظل ظروف تجريبية محسنة للكشف عن عينات miRNA المتحولة والبرية، وكشفت عن وجود ارتباط خطي للتيار مع لوغاريتم كمية miRNA التي تم الحصول عليها عبر نطاق التركيز مع حد الكشف 1.3 fM. باختصار، تستنتج هذه الدراسة أنه يمكن استخدام تقنية الكشف التحليلية الكهربائية المطورة لفحص miRNAs المحتوية على الجوانين الموجودة في الدم بانتقائية وحساسية عالية وتحديد مستويات طفراتها. وفي هذا الصدد، تتوقع الدراسة استخدام النانو المركب المحضر في العديد من التطبيقات الطبية الحيوية بما في ذلك تشخيص السرطان والتحذير المبكر من ناقث السرطان. أظهر لي وزملاؤه تخليق منصة استشعار mRNA أخرى لفحص microRNAs الحرة في الدم على أساس بنية دقيقة وظيفية "ذاتية التنظيف" [171]. قاموا بتصنيع مركب نانوي لاستشعار HDS-ZnO-APS باستخدام أمينوبروبيلتريني إيثوكسي سيلان محب للماء (APS) وهيكساديسيلتريميثوكسي سيلان (HDS) عن طريق دمج جسيمات نانوية من أكسيد الزنك. كشف تحسين ظروف الكشف عن زيادة في الاستجابات اللونية مع زيادة تركيزات مسبار الحمض النووي حتى 0.80 مليمول، حيث تسببت التركيزات الأعلى منها في انخفاض الإشارات. علاوة على ذلك، تم الكشف عن تحديد مستويات الطفرات أحادية القاعدة من miRNAs باستخدام منصة قياس الألوان المتطورة هذه، وكشفت عن علاقة خطية للتغيرات في امتصاص المنتج مقابل تركيزات miR-NAs الطافرة أحادية القاعدة تتراوح من 1.0 إلى 200.0 بيكو مول ($R^2 = 0.9895$). تشير هذه الخطية إلى أنه يمكن استخدام نظام الاستشعار المتطور بكفاءة في تحديد miRNAs الحرة في الدم بحساسية وانتقائية عالية، بالإضافة إلى القدرة على تحديد وقياس مستويات الطفرات ذات القاعدة الواحدة من miRNAs لرسم نمط التعبير الجيني.

باستخدام تقنية الترسيب أحادي الخطوة، والتي أثبتت نجاحها في تصنيع أنظمة الاستشعار الحيوي، قام Xiao et al. بتصنيع نانو مركبات ثنائية من PtAu و MnO_2 ، باستخدام سبيكة Pt و Au و MnO_2 ، على ورق الجرافين (GP) لاستشعار الجلوكوز غير الإنزيمي المرن [163]. وقد أفادوا بتكوين محفزات نانوية شبيهة بالمرجان تمتلك مساحات سطح نشطة كبيرة عند مقارنتها بأقطاب كهربائية أخرى. لوحظ أن المساحة السطحية النشطة المقدره لجميع الأقطاب الكهربائية تزداد بترتيب $\text{PtAu}/\text{GP} > \text{PtAu}/\text{MnO}_2/\text{GP} > \text{PtAuE}/\text{MnO}_2/\text{GP}$ ، مما يشير إلى أن نانو مركب $\text{PtAuE}/\text{MnO}_2/\text{GP}$ يمتلك أعلى نشاط كهروكيميائي من المحضر كما هو في المحاليل الحمضية. وكشفت النتائج كذلك أن النانو مركبات الثنائية المصنعة $\text{PtAuE}/\text{MnO}_2/\text{GP}$ أظهرت أداءً متفوقاً في أكسدة الجلوكوز التحفيزي، حيث أظهرت قابلية إعادة إنتاج واستقرارًا ممتازين، وانتقائية مرضية، وحد اكتشاف منخفض (0.02 مللي مولار، $S/N = 3$)، وحساسية عالية (58.54 مللي أمبير سم-2 مللي مولار-1)، ونطاق خطي واسع (30.00.1 مللي مولار)، وقابلية للتحمل للإجهاد الميكانيكي مقارنة بالأداء المنخفض الذي أظهرته

أقطاب MnO_2/GP و $PtAu/GP$ و $PtAu/MnO_2/GP$. لقد وفرت هذه التقنية للنمو المشترك للمعادن وأكاسيد المعادن على ركائز كربونية قائمة بذاتها طريقة مريحة وقابلة للتطوير لتطوير أجهزة استشعار كهروكيميائية مرنة ذات أداء عالٍ.

12.II. 4. المكثفات الفائقة

تعمل المكثفات الفائقة كحلقة وصل بين المكثفات العازلة والبطاريات من خلال كثافة قدرتها العالية وكثافة الطاقة العالية. يجب أن تكون مواد الأقطاب الكهربائية لتطبيق المكثفات الفائقة موصلة وذات مساحة سطح عالية. لذلك، تجذب الجسيمات النانوية القائمة على الكربون، $TMONPs$ و $TMONCs$ اهتمامًا واسعًا بسبب سعتها النوعية الأكبر وعمر دورة أطول. استخدم العديد من الباحثين $TMONCs$ لتطبيق المكثفات الفائقة، على سبيل المثال، قام $D.V. Leontyeva$ وآخرون بتصنيع مركب نانوي من أكسيد النيكل المدعوم بالكربون (NiO/C) ودرسوا سلوكه الكهروكيميائي لتطبيقات المكثفات الفائقة. حسب السعة النوعية من منحني الفولتية الدورية من 1100 إلى 777 F/g مع زيادة معدل المسح من 5 إلى 40 mV/s. وتم حساب 970 F/g عند تيار طبيعي مقداره 0.5 F/g كتلة بواسطة منحني الشحنة والتفريغ الجلفاني. وقد أجرى ألف دورة ووجد عمر دورة ممتاز (مع $840 Fg^{-1}$) [172]. قام العديد من الباحثين الآخرين أيضًا بالتحقيق في تطبيق المركبات النانوية القائمة على أكسيد الفلز الانتقالي لتطبيقات المكثفات الفائقة مثل $Sivalingam Ramesh et al$ [173] و $Ian Y.Y. Bu et al$ [174] ، $Irum Shabeen et al$ [175]. توضح الدراسة أعلاه أن المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعدن الانتقالي هي مرشح جيد جدًا لاستخدام مادة القطب الكهربائي للمكثفات الفائقة. والسبب المحتمل لأداء المكثفات الفائقة الأفضل هو الموصلية العالية والمساحة السطحية النوعية العالية [176, 177].

12.I. 5. توليد الهيدروجين

لقد اكتسبت المركبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية اهتمامًا كبيرًا في الآونة الأخيرة لاستخدامها المحتمل في تقسيم الماء. أبلغ $Nagappagai Lakshmana Reddy$ وآخرون عن تخليق 1.3% من $Cu-TiO_2$ (في حالة تفاعل تبلغ 500 درجة مئوية/4 ساعات) و 1.5% من $Cu-TiO_2$ (في حالة تفاعل 500 درجة مئوية/4 ساعات) من المركبات النانوية، وكشفوا عن أعلى معدل لتوليد الهيدروجين قدره $20.36 mmol h^{-1} g^{-1}$ (تحت LED) و $21.7 mmol h^{-1} g^{-1}$ (تحت ضوء الشمس) [178]. قام $Karim R. Diab$ وآخرون بتخليق rGO_4 / $NiTiO$ بنسب وزن 100:0، 99:1، 97:3، 95:5 و 93:7. من بين جميع $NiTiO_4/rGO$ بنسبة 95:5 أظهرت أقصى معدل لتوليد الهيدروجين ($8383 \mu g^{-1} h^{-1}$) كما أظهرت $NiTiO_4/rGO$ بنسبة وزن 95:5 أقصى حجم للمسام (0.176 مل/جم) وأقصى قطر للمسام (3.92 نانومتر) [179]. الهيدروجين هو وقود صديق للبيئة وهو بديل واعد للوقود الأحفوري. من الدراسة أعلاه، يمكننا أن نفهم أن المركبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن الانتقالية هي محفزات ضوئية واعدة لإنتاج الهيدروجين من انقسام الماء بسبب مساحتها السطحية المعززة ونشاط السطح [179, 180].

12.I.6. تطبيقات الخلايا الشمسية

تعتبر الخلايا الشمسية البديل الأكثر حظا للوقود الأحفوري حيث تعد الطاقة الشمسية أكثر أنواع الطاقة وفرة على الأرض كما أنها أكثر أنواع الطاقة خضرة وصديقة للبيئة.

قامت Zohreh Dehghani Mahmoudabadi وآخرون بتصنيع مركبين نانويين من أكسيد النحاس وأكسيد التيتانيوم باستخدام طريقة كهروكيميائية بمساعدة الميكرو بلازما. حيث تم تصنيع أكسيد النحاس وأكسيد التيتانيوم أولاً عن طريق التعرض للإشعاع لمدة 15 دقيقة بالبلازما وأكسيد النحاس وأكسيد التيتانيوم ثم عن طريق التعرض للإشعاع لمدة 25 دقيقة بالبلازما. تم الإبلاغ عن كفاءة التحويل (CE) وكثافة تيار الدائرة القصيرة (SCCD) وجهد الدائرة المفتوحة (OCV) لـ CuO/TiO_2 ، الطريقة الأولى بنسبة 7.4٪ و 15.38 مللي أمبير/سم² و 0.70 فولت على التوالي، ولـ CuO/TiO_2 في الطريقة الثانية بنسبة 9.3٪ و 18.80 مللي أمبير/سم² و 0.68 فولت على التوالي من أجل تطبيق الخلايا الكهروضوئية الحساسة [181]. تكشف الدراسة أن المتراكبات النانوية القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات الخلايا الشمسية لأنه عندما يتم إثراء أشباه الموصلات لأكسيد المعادن الانتقالية بأشبه موصلات أخرى أو مواد نانوية يمكنها زيادة عمليات نقل الشحنة فإنها تقلل من إعادة تركيب الإلكترون/الثقب مما يعزز أداء جهاز الخلايا الشمسية [182, 183].

12.I.7. أجهزة الاستشعار

الحساسية والانتقائية مهمتان وتشكلان تحديًا في مجال أجهزة الاستشعار الواسع. لتحسين أداء أجهزة الاستشعار، تم استخدام طرق مختلفة مثل التنشيط وتعديل السطح وما إلى ذلك. وقد ثبت أن أجهزة استشعار TMONCs تتمتع بانتقائية وحساسية أكبر من جسيمات أكسيد المعادن الانتقالية الفردية بسبب زيادة مساحة سطحها ونشاطها السطحي أو إدخال المسامية المتوسطة وما إلى ذلك [125, 184, 185].

قام Mehrnaz Joulazadeh وآخرون بتصنيع أجهزة استشعار نانوية مركبة من بولي بيروكسيد (PPy/ZnO) و PPy/SnO_2 للكشف عن الأمونيا. وذكر أن النانو مركب القائم على أكسيد المعادن الانتقالية (PPy/ZnO) أظهر استجابة قصوى تبلغ ~34% تجاه الأمونيا مقارنة بـ ~25% (PPy/SnO_2) و PPy فقط (~15%). اقترح أن السبب المحتمل للاستجابة الأعلى لـ PPy/ZnO مقارنة بـ PPy/SnO_2 هو التوصيل الأعلى لـ PPy/ZnO بسبب وجود كاتيونات Zn^{2+} [125].

خلاصة الدراسة أعلاه هي أن أجهزة الاستشعار النانوية المركبة القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية أظهرت في الغالب أداءً أفضل للمستشعر من جسيمات أكسيد المعادن الانتقالية النانوية الفردية.

12.I.8. التطبيقات الطبية الحيوية

قام Dedhila Devadathan وآخرون بمقارنة الأنشطة المضادة للفطريات لمركبهم النانوي المكون من أكسيد النيكل والزنك وأكسيد النيكل والزنك والبولي إندول وأكسيد النيكل وأكسيد الزنك ولاحظوا أن المتراكبات النانوية المكونة من أكسيد النيكل والزنك والتي تعتمد على البولييندول أظهرت نشاطاً مضاداً للفطريات بمقدار 1 سم وأكسيد النيكل والزنك أظهر نشاطاً مضاداً للفطريات قدره 0.7 سم ولم يظهر البولي إندول وأكسيد النيكل وأكسيد الزنك أي نشاط مضاد للفطريات [186]. أفاد فيصل مختار وآخرون بخصائص مضادة للبكتيريا ضد الإشريكية القولونية لمركب

ثنائي مركب $\text{NiO-Fe}_2\text{O}_3$ و NiO-CdO ومركب ثلاثي مركب $\text{NiO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CdO}$. ولهذا قام بتحضير محاليل مختلفة التراكيز (10، 20، 30 و 40 جم/مل) لكل وجميع المركبات النانوية. من بينها أظهرت محاليل 40 جم/مل من كل مركب نانوي أقصى قدر من النشاط المضاد للبكتيريا. قام بمقارنة كل مركب نانوي (بتركيز 40 جم/مل) ولاحظ أن $\text{NiO-Fe}_2\text{O}_3\text{-CdO}$ أظهر أقصى منطقة تثبيط 14 مم في حين (1.7 مم) من $\text{NiO-Fe}_2\text{O}_3$ و 9 مم لـ NiO-CdO . واقترح أن السبب المحتمل لزيادة النشاط المضاد للبكتيريا هو الإجهاد التلامسي أو الأكسدة المباشرة واختراق أيونات المعادن الثقيلة للغشاء الخلوي المشحون سلباً [187]. ومن الواضح من هذه الأمثلة أن متراكبات النانو القائمة على أكسيد المعادن الانتقالية تتميز بنشاط مع العديد من التطبيقات الطبية الحيوية مثل مضادات السرطان، وأجهزة الاستشعار الحيوية، ومضادات الفطريات، ومضادات البكتيريا وفي توصيل الأدوية.

9.11.I. التحلل الضوئي للأصبغ العضوية

أصبح تصريف مجاري النفايات الصناعية تهديداً بيئياً في العالم الحديث للتطور السريع للتكنولوجيا والاقتصاد العالمي. تعد الأصبغ العضوية واحدة من الملوثات الرئيسية التي تسبب أخطر تلوث للمياه، حيث يعد التحلل الضوئي للأصبغ العضوية طريقة فعالة وكفؤة ومنخفضة التكلفة لحل مشكلة تلوث المياه الرئيسية للأصبغ. في العقود القليلة الماضية، تم تحديد العديد من الباحثين للمركبات النانوية القائمة على أكاسيد المعادن الانتقالية باعتبارها محفزات ضوئية جيدة على الجسيمات النانوية لأكاسيد المعادن الانتقالية لأشياء الموصلات من خلال التغلب على محدودية فجوة النطاق الواسعة، وإعادة التركيب السريع لثقب الإلكترون، ومعدل التفاعل الأبطأ للتحفيز الضوئي وما إلى ذلك. وقد ركز العديد من الباحثين على تعديل وتنشيط الجسيمات النانوية لأكسيد الفلز الانتقالي لتحقيق مركب نانوي مع تثبيط إعادة تركيب ثقب الإلكترون، ومعدل تفاعل سريع للتحفيز الضوئي [188].



- [1] G. F. Webb, E. M. D'Agata, P. Magal, and S. Ruan, "A model of antibiotic-resistant bacterial epidemics in hospitals," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 102, pp. 13343-13348, 2005.
- [2] H. H. Lara, N. V. Ayala-Núñez, L. d. C. Ixtepan Turrent, and C. Rodríguez Padilla, "Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 26, pp. 615-621, 2010.
- [3] P. D. Marcato and N. Durán, "New aspects of nanopharmaceutical delivery systems," *Journal of nanoscience and nanotechnology*, vol. 8, pp. 2216-2229, 2008.
- [4] R. Singh and H. S. Nalwa, "Medical applications of nanoparticles in biological imaging, cell labeling, antimicrobial agents, and anticancer nanodrugs," *Journal of biomedical nanotechnology*, vol. 7, pp. 489-503, 2011.
- [5] I. Y. Wong, S. N. Bhatia, and M. Toner, "Nanotechnology: emerging tools for biology and medicine," *Genes & development*, vol. 27, pp. 2397-2408, 2013.
- [6] S. S. Prasanna, K. Balaji, S. Pandey, and S. Rana, "Metal oxide based nanomaterials and their polymer nanocomposites," in *Nanomaterials and polymer nanocomposites*, ed: Elsevier, 2019, pp. 123-144.
- [7] O. V. Salata, "Applications of nanoparticles in biology and medicine," *Journal of nanobiotechnology*, vol. 2, pp. 1-6, 2004.
- [8] N. I. Hulkoti and T. Taranath, "Biosynthesis of nanoparticles using microbes—a review," *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, vol. 121, pp. 474-483, 2014.
- [9] L. H. Madkour and L. H. Madkour, "Introduction to nanotechnology (NT) and nanomaterials (NMs)," *Nanoelectronic materials: fundamentals and applications*, pp. 1-47, 2019.
- [10] N. Keghouche and D. E. Belfennache, "Elaboration et étude de nanoparticules Au/TiO₂ et Ag/TiO₂".
- [11] F. Wahid, C. Zhong, H.-S. Wang, X.-H. Hu, and L.-Q. Chu, "Recent advances in antimicrobial hydrogels containing metal ions and metals/metal oxide nanoparticles," *Polymers*, vol. 9, p. 636, 2017.
- [12] Y. Wu, H. Yan, M. Huang, B. Messer, J. H. Song, and P. Yang, "Inorganic semiconductor nanowires: rational growth, assembly, and novel properties," *Chemistry—A European Journal*, vol. 8, pp. 1260-1268, 2002.
- [13] C. Ray and T. Pal, "Retracted Article: Recent advances of metal–metal oxide nanocomposites and their tailored nanostructures in numerous catalytic applications," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, pp. 9465-9487, 2017.
- [14] K. Ukoba, A. Eloka-Eboka, and F. Inambao, "Review of nanostructured NiO thin film deposition using the spray pyrolysis technique," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2900-2915, 2018.
- [15] N. A. Bakr, S. A. Salman, and A. M. Shano, "Effect of co doping on structural and optical properties of NiO thin films prepared by chemical spray pyrolysis method," *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, vol. 41, pp. 15--30, 2015.
- [16] M. Horie, M. Stowe, M. Tabei, and E. Kuroda, "Metal ion release of manufactured metal oxide nanoparticles is involved in the allergic response to inhaled ovalbumin in mice," *Occupational Diseases and Environmental Medicine*, vol. 4, pp. 17-26, 2016.
- [17] X. Yin, Y. Guo, H. Xie, W. Que, and L. B. Kong, "Nickel oxide as efficient hole transport materials for perovskite solar cells," *Solar Rrl*, vol. 3, p. 1900001, 2019.
- [18] J. Goldstein, "Nome da Disciplina: Caracterização de Materiais".
- [19] H. K. Moffatt, "Viscous and resistive eddies near a sharp corner," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 18, pp. 1-18, 1964.
- [20] C. Mobuchon, P. J. Carreau, and M.-C. Heuzey, "Effect of flow history on the structure of a non-polar polymer/clay nanocomposite model system," *Rheologica Acta*, vol. 46, pp. 1045-1056, 2007.
- [21] A. R. Horrocks, D. Price, and D. Price, *Fire retardant materials*: woodhead Publishing, 2001.
- [22] R. Feynman, *Feynman lectures on gravitation*: CRC press, 2018.
- [23] B. Sylvain, "Développement de formulations polyoléfinés/silicates lamellaires: contrôle de la nanostructuration par la," INSA de Lyon, 2004.
- [24] S. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon," *nature*, vol. 354, pp. 56-58, 1991.
- [25] T. E. Twardowski, *Introduction to nanocomposite materials: properties, processing, characterization*: DEStech Publications, Inc, 2007.
- [26] S. Pina, J. M. Oliveira, and R. L. Reis, "Natural-based nanocomposites for bone tissue engineering and regenerative medicine: A review," *Advanced Materials*, vol. 27, pp. 1143-1169, 2015.
- [27] M. A. Rafiee, J. Rafiee, Z. Wang, H. Song, Z.-Z. Yu, and N. Koratkar, "Enhanced mechanical properties of nanocomposites at low graphene content," *ACS nano*, vol. 3, pp. 3884-3890, 2009 ,



- [28] H. Hu, L. Onyebueke, and A. Abatan, "Characterizing and modeling mechanical properties of nanocomposites-review and evaluation," *Journal of minerals and materials characterization and engineering*, vol. 9, p. 275, 2010.
- [29] J. Vermant, S. Ceccia, M. Dolgovskij, P. Maffettone, and C. Macosko, "Quantifying dispersion of layered nanocomposites via melt rheology," *Journal of Rheology*, vol. 51, pp. 429-450, 2007.
- [30] M. Haruta, M. Kosaka, Y. Kanegae, I. Saito, T. Inoue, R. Kageyama, *et al.*, "Induction of photoreceptor-specific phenotypes in adult mammalian iris tissue," *Nature neuroscience*, vol. 4, pp. 1163-1164, 2001.
- [31] M. Haruta and Y. Souma, *Copper, silver and gold in catalysis*: Elsevier Amsterdam, 1997.
- [32] B. R. Cuenya, "Synthesis and catalytic properties of metal nanoparticles: Size, shape, support, composition, and oxidation state effects," *Thin Solid Films*, vol. 518, pp. 3127-3150, 2010.
- [33] T. Naseem and T. Durrani, "The role of some important metal oxide nanoparticles for wastewater and antibacterial applications: A review," *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, vol. 3, pp. 59-75, 2021.
- [34] E. Sardella, P. Favia, R. Gristina, M. Nardulli, and R. d'Agostino, "Plasma-aided micro-and nanopatterning processes for biomedical applications," *Plasma Processes and Polymers*, vol. 3, pp. 456-469, 2006.
- [35] R. Feynman, "There's plenty of room at the bottom," in *Feynman and computation*, ed: CRC Press, 2018, pp. 63-76.
- [36] S. Dwivedi, R. Wahab, F. Khan, Y. K. Mishra, J. Musarrat, and A. A. Al-Khedhairi, "Reactive oxygen species mediated bacterial biofilm inhibition via zinc oxide nanoparticles and their statistical determination," *PloS one*, vol. 9, p. e111289, 2014.
- [37] J. M. V. Makabenta, A. Nabawy, C.-H. Li, S. Schmidt-Malan, R. Patel, and V. M. Rotello, "Nanomaterial-based therapeutics for antibiotic-resistant bacterial infections," *Nature Reviews Microbiology*, vol. 19, pp. 23-36, 2021.
- [38] K. Skłodowski, S. J. Chmielewska-Deptuła, E. Piktel, P. Wolak, T. Wollny, and R. Bucki, "Metallic nanosystems in the development of antimicrobial strategies with high antimicrobial activity and high biocompatibility," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, p. 2104, 2023.
- [39] A. A. Ghassan, N.-A. Mijan, and Y. H. Taufiq-Yap, "Nanomaterials: an overview of nanorods synthesis and optimization," *Nanorods and nanocomposites*, vol. 11, pp. 8-33, 2019.
- [40] S. Rotundo, D. Brizi, A. Flori, G. Giovannetti, L. Menichetti, and A. Monorchio, "Shaping and focusing magnetic field in the human body: State-of-the art and promising technologies," *Sensors*, vol. 22, p. 5132, 2022.
- [41] J. S. Jamison, Z. Yang, B. L. Giles, J. T. Brangham, G. Wu, P. C. Hammel, *et al.*, "Long lifetime of thermally excited magnons in bulk yttrium iron garnet," *Physical Review B*, vol. 100, p. 134402, 2019.
- [42] A. G. Kolhatkar, A. C. Jamison, D. Litvinov, R. C. Willson, and T. R. Lee, "Tuning the magnetic properties of nanoparticles," *International journal of molecular sciences*, vol. 14, pp. 15977-16009, 2013.
- [43] N. Herron and D. L. Thorn, "Nanoparticles: uses and relationships to molecular cluster compounds," *Advanced Materials*, vol. 10, pp. 1173-1184, 1998.
- [44] M. Châtain, "Matériaux composites: présentation générale," *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, pp. AM5000. 1-AM11, 2001.
- [45] L. Turpin, O. Caty, S. Roux, S. Denneulin, and E. Martin, "Conception d'un essai multiaxial in situ pour caractériser le comportement thermomécanique de pièces en CMC," in *21ème Journées Nationales sur les Composites*, 2019.
- [46] L. García-Cruz, C. Casado-Coterillo, J. Iniesta, V. Montiel, and Á. Irabien, "Chitosan: poly (vinyl) alcohol composite alkaline membrane incorporating organic ionomers and layered silicate materials into a PEM electrochemical reactor," *Journal of Membrane Science*, vol. 498, pp. 395-407, 2016.
- [47] P. Motamedi and R. Bagheri, "Modification of nanostructure and improvement of mechanical properties of polypropylene/polyamide 6/layered silicate ternary nanocomposites through variation of processing route," *Composites Part B: Engineering*, vol. 85, pp. 207-215, 2016.
- [48] G. Mittal, V. Dhand, K. Y. Rhee, S.-J. Park, and W. R. Lee, "A review on carbon nanotubes and graphene as fillers in reinforced polymer nanocomposites," *Journal of industrial and engineering chemistry*, vol. 21, pp. 11-25, 2015.
- [49] M. Mounika and K. Ravindra, "Characterization of nanocomposites reinforced with cellulose whiskers: a review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, pp. 3610-3618, 2015.
- [50] A. Piri, F. Molaei, L. Hashemi, A. Morsali, G. Bruno, and H. A. Rudbari, "Direct synthesis of CdS nanoparticles via simple one-pot calcination of new two-dimensional Cd (II) coordination polymer," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 14, pp. 1541-1548, 2017.
- [51] H. Chopra, S. Kumar, and I. Singh, "1Department of Pharmaceutics, Chitkara College of Pharmacy, Chitkara University, Patiala, Punjab, India; 2Department of Pharmaceutics, ASBASJSM College of Pharmacy,



- Ropar, Punjab, India," *Advanced 3D-Printed Systems and Nanosystems for Drug Delivery and Tissue Engineering*, p. 1, 2020.
- [52] K. Pal and I. Banerjee, *Polymeric gels: characterization, properties and biomedical applications*: Woodhead Publishing, 2018.
- [53] A. O. Juma, E. A. Arbab, C. M. Muiva, L. M. Lepodise, and G. T. Mola, "Synthesis and characterization of CuO-NiO-ZnO mixed metal oxide nanocomposite," *Journal of alloys and compounds*, vol. 723, pp. 866-872, 2017.
- [54] Y. Wang, L. Cai, Y. Li, Y. Tang, and C. Xie, "Structural and photoelectrocatalytic characteristic of ZnO/ZnWO₄/WO₃ nanocomposites with double heterojunctions," *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 43, pp. 503-509, 2010.
- [55] P. P. Dorneanu, A. Airinei, N. Olaru, M. Homocianu, V. Nica, and F. Doroftei, "Preparation and characterization of NiO, ZnO and NiO-ZnO composite nanofibers by electrospinning method," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 148, pp. 1029-1035, 2014.
- [56] M. V. Dozzi, S. Marzorati, M. Longhi, M. Coduri, L. Artiglia, and E. Selli, "Photocatalytic activity of TiO₂-WO₃ mixed oxides in relation to electron transfer efficiency," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 186, pp. 157-165, 2016.
- [57] J. Vidic, S. Stankic, F. Haque, D. Ciric, R. Le Goffic, A. Vidy, *et al.*, "Selective antibacterial effects of mixed ZnMgO nanoparticles," *Journal of nanoparticle research*, vol. 15, pp. 1-10, 2013.
- [58] T. Kundu, M. Mukherjee, D. Chakravorty, and T. Sinha, "Growth of nano- α -Fe₂O₃ in a titania matrix by the sol-gel route," *Journal of materials science*, vol. 33, pp. 1759-1763, 1998.
- [59] M. M. Natile and A. Glisenti, "New NiO/Co₃O₄ and Fe₂O₃/Co₃O₄ nanocomposite catalysts: synthesis and characterization," *Chemistry of materials*, vol. 15, pp. 2502-2510, 2003.
- [60] P. Roy, S. Berger, and P. Schmuki, "TiO₂ nanotubes: synthesis and applications," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 50, pp. 2904-2939, 2011.
- [61] Y.-C. Pu, G. Wang, K.-D. Chang, Y. Ling, Y.-K. Lin, B. C. Fitzmorris, *et al.*, "Au nanostructure-decorated TiO₂ nanowires exhibiting photoactivity across entire UV-visible region for photoelectrochemical water splitting," *Nano letters*, vol. 13, pp. 3817-3823, 2013.
- [62] Z. Chen, Y. Tang, C. Liu, Y. Leung, G. Yuan, L. Chen, *et al.*, "Vertically aligned ZnO nanorod arrays sensitized with gold nanoparticles for Schottky barrier photovoltaic cells," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 113, pp. 13433-13437, 2009.
- [63] L. Sun, J. Li, C. Wang, S. Li, Y. Lai, H. Chen, *et al.*, "Ultrasound aided photochemical synthesis of Ag loaded TiO₂ nanotube arrays to enhance photocatalytic activity," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 171, pp. 1045-1050, 2009.
- [64] J. Yang, Z. Li, W. Zhao, C. Zhao, Y. Wang, and X. Liu, "Controllable synthesis of Ag-CuO composite nanosheets with enhanced photocatalytic property," *Materials Letters*, vol. 120, pp. 16-19, 2014.
- [65] X. Zhao, B. Zhang, K. Ai, G. Zhang, L. Cao, X. Liu, *et al.*, "Monitoring catalytic degradation of dye molecules on silver-coated ZnO nanowire arrays by surface-enhanced Raman spectroscopy," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 19, pp. 5547-5553, 2009.
- [66] H. Zhang and G. Chen, "Potent antibacterial activities of Ag/TiO₂ nanocomposite powders synthesized by a one-pot sol-gel method," *Environmental science & technology*, vol. 43, pp. 2905-2910, 2009.
- [67] H. Yu, X. Wang, H. Sun, and M. Huo, "Photocatalytic degradation of malathion in aqueous solution using an Au-Pd-TiO₂ nanotube film," *Journal of hazardous materials*, vol. 184, pp. 753-758, 2010.
- [68] A. C. Balazs, T. Emrick, and T. P. Russell, "Nanoparticle polymer composites: where two small worlds meet," *Science*, vol. 314, pp. 1107-1110, 2006.
- [69] F. Caruso, "Nanoengineering of particle surfaces," *Advanced materials*, vol. 13, pp. 11-22, 2001.
- [70] Y. Haldorai and J.-J. Shim, "Fabrication of metal oxide-polymer hybrid nanocomposites," *Organic-Inorganic Hybrid Nanomaterials*, pp. 249-281, 2015.
- [71] M. M. Demir, P. Castignolles, Ü. Akbey, and G. Wegner, "In-situ bulk polymerization of dilute particle/MMA dispersions," *Macromolecules*, vol. 40, pp. 4190-4198, 2007.
- [72] Y. Wu, Y. Zhang, J. Xu, M. Chen, and L. Wu, "One-step preparation of PS/TiO₂ nanocomposite particles via miniemulsion polymerization," *Journal of colloid and interface science*, vol. 343, pp. 18-24, 2010.
- [73] M. Miyauchi, Y. Li, and H. Shimizu, "Enhanced degradation in nanocomposites of TiO₂ and biodegradable polymer," *Environmental science & technology*, vol. 42, pp. 4551-4554, 2008.
- [74] A. Ali, M. AlSalhi, M. Atif, A. A. Ansari, M. Q. Israr, J. Sadaf, *et al.*, "Potentiometric urea biosensor utilizing nanobiocomposite of chitosan-iron oxide magnetic nanoparticles," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, p. 012024.
- [75] V. Pandey, G. Mishra, S. Verma, M. Wan, and R. Yadav, "Synthesis and ultrasonic investigations of CuO-PVA nanofluid," 2012.



- [76] É. Allard-Vannier, S. Cohen-Jonathan, J. Gautier, K. Hervé-Aubert, E. Munnier, M. Soucé, *et al.*, "Pegylated magnetic nanocarriers for doxorubicin delivery: a quantitative determination of stealthiness in vitro and in vivo," *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics*, vol. 81, pp. 498-505, 2012.
- [77] Y. Haldorai and J.-J. Shim, "Chitosan-zinc oxide hybrid composite for enhanced dye degradation and antibacterial activity," *Composite Interfaces*, vol. 20, pp. 365-377, 2013.
- [78] M. Song, C. Pan, C. Chen, J. Li, X. Wang, and Z. Gu, "The application of new nanocomposites: Enhancement effect of polylactide nanofibers/nano-TiO₂ blends on biorecognition of anticancer drug daunorubicin," *Applied Surface Science*, vol. 255, pp. 610-612, 2008.
- [79] A. L. Rogach, D. V. Talapin, E. V. Shevchenko, A. Kornowski, M. Haase, and H. Weller, "Organization of matter on different size scales: monodisperse nanocrystals and their superstructures," *Advanced Functional Materials*, vol. 12, pp. 653-664, 2002.
- [80] S. Stankic, S. Suman, F. Haque, and J. Vidic, "Pure and multi metal oxide nanoparticles: synthesis, antibacterial and cytotoxic properties," *Journal of nanobiotechnology*, vol. 14, pp. 1-20, 2016.
- [81] H. Lu, S.-Y. Tang, G. Yun, H. Li, Y. Zhang, R. Qiao, *et al.*, "Modular and integrated systems for nanoparticle and microparticle synthesis—a review," *Biosensors*, vol. 10, p. 165, 2020.
- [82] B. Reddy, *Advances in nanocomposites: synthesis, characterization and industrial applications*: BoD—Books on Demand, 2011.
- [83] K. Richter, A. Birkner, and A. V. Mudring, "Stabilizer-free metal nanoparticles and metal–metal oxide nanocomposites with long-term stability prepared by physical vapor deposition into ionic liquids," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 13, pp. 2431-2435, 2010.
- [84] M. Henini, "Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques-KK Schuegraph (Ed.); Noyes, ISBN: 0-8155-1153-1," *Microelectronics Journal*, vol. 31, pp. 219-219, 2000.
- [85] P. Savale, "Physical vapor deposition (PVD) methods for synthesis of thin films: A comparative study," *Arch. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, pp. 1-8, 2016.
- [86] S. A. Campbell, "The science and engineering of microelectronic fabrication," (*No Title*), 2001.
- [87] D. Ortega and Q. A. Pankhurst, "Magnetic hyperthermia," *Nanoscience*, vol. 1, p. e88, 2013.
- [88] M. Zhi, L. Zhu, Z. Ye, F. Wang, and B. Zhao, "Preparation and properties of ternary ZnMgO nanowires," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 109, pp. 23930-23934, 2005.
- [89] P. Willmott and J. Huber, "Pulsed laser vaporization and deposition," *Reviews of Modern Physics*, vol. 72, p. 315, 2000.
- [90] J. A. Rodríguez and M. Fernández-García, *Synthesis, properties, and applications of oxide nanomaterials*: John Wiley & Sons, 2007.
- [91] T. J. Goodwin, V. J. Leppert, S. H. Risbud, I. M. Kennedy, and H. W. Lee, "Synthesis of gallium nitride quantum dots through reactive laser ablation," *Applied Physics Letters*, vol. 70, pp. 3122-3124, 1997.
- [92] D. Geohegan, A. Puzos, and D. Rader, "Gas-phase nanoparticle formation and transport during pulsed laser deposition of Y₁Ba₂Cu₃O_{7-d}," *Applied Physics Letters*, vol. 74, pp. 3788-3790, 1999.
- [93] Y. Zhang, H. Gu, and S. Iijima, "Single-wall carbon nanotubes synthesized by laser ablation in a nitrogen atmosphere," *Applied physics letters*, vol. 73, pp. 3827-3829, 1998.
- [94] F. Urban, A. Hosseini-Tehrani, P. Griffiths, A. Khabari, Y.-W. Kim, and I. Petrov, "Nanophase films deposited from a high-rate, nanoparticle beam," *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, vol. 20, pp. 995-999, 2002.
- [95] L. Cao, K. Hahn, C. Scheu, M. Rühle, Y. Wang, Z. Zhang, *et al.*, "Template-catalyst-free growth of highly ordered boron nanowire arrays," *Applied Physics Letters*, vol. 80, pp. 4226-4228, 2002.
- [96] T. Karabacak, A. Mallikarjunan, J. P. Singh, D. Ye, G.-C. Wang, and T.-M. Lu, "β-phase tungsten nanorod formation by oblique-angle sputter deposition," *Applied physics letters*, vol. 83, pp. 3096-3098, 2003.
- [97] V. Tvarozek, K. Shtereva, I. Novotny, J. Kovac, P. Sutta, R. Srnanek, *et al.*, "RF diode reactive sputtering of n- and p-type zinc oxide thin films," *Vacuum*, vol. 82, pp. 166-169, 2007.
- [98] D. Berkley, B. Johnson, N. Anand, K. Beauchamp, L. Conroy, A. Goldman, *et al.*, "In situ formation of superconducting YBa₂Cu₃O_{7-x} thin films using pure ozone vapor oxidation," *Applied physics letters*, vol. 53, pp. 1973-1975, 1988.
- [99] S. Polarz, A. Roy, M. Merz, S. Halm, D. Schröder, L. Schneider, *et al.*, "Chemical vapor synthesis of size-selected zinc oxide nanoparticles," *Small*, vol. 1, pp. 540-552, 2005.
- [100] J. Hu, M. Ouyang, P. Yang, and C. M. Lieber, "Controlled growth and electrical properties of heterojunctions of carbon nanotubes and silicon nanowires," *Nature*, vol. 399, pp. 48-51, 1999.
- [101] U. K. Gautam, Y. Bando, P. M. Costa, X. Fang, B. Dierre, T. Sekiguchi, *et al.*, "Inorganically filled carbon nanotubes: Synthesis and properties," *Pure and Applied Chemistry*, vol. 82, pp. 2097-2109, 2010.
- [102] A. La Rosa, M. Yan, R. Fernandez, X. Wang, and E. Zegarra, "Top-down and Bottom-up approaches to nanotechnology".



- [103] A. P. Jadhav, C. W. Kim, H. G. Cha, A. U. Pawar, N. A. Jadhav, U. Pal, *et al.*, "Effect of different surfactants on the size control and optical properties of Y₂O₃: Eu³⁺ nanoparticles prepared by coprecipitation method," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 113, pp. 13600-13604, 2009.
- [104] H. Sadegh, R. Shahryari-ghoshekandi, and M. Kazemi, "Study in synthesis and characterization of carbon nanotubes decorated by magnetic iron oxide nanoparticles," *International Nano Letters*, vol. 4, pp. 129-135, 2014.
- [105] A. Gaikwad, S. Navale, V. Samuel, A. Murugan, and V. Ravi, "A co-precipitation technique to prepare BiNbO₄, MgTiO₃ and Mg₄Ta₂O₉ powders," *Materials Research Bulletin*, vol. 41, pp. 347-353, 2006.
- [106] M. Guglielmi and A. Martucci, *Sol-gel nanocomposites*: Springer, 2018.
- [107] H.-J. Jeon, S.-C. Yi, and S.-G. Oh, "Preparation and antibacterial effects of Ag-SiO₂ thin films by sol-gel method," *Biomaterials*, vol. 24, pp. 4921-4928, 2003.
- [108] J.-H. Lee and B.-O. Park, "Transparent conducting ZnO: Al, In and Sn thin films deposited by the sol-gel method," *Thin solid films*, vol. 426, pp. 94-99, 2003.
- [109] C.-L. Chiang and C.-C. M. Ma, "Synthesis, characterization and thermal properties of novel epoxy containing silicon and phosphorus nanocomposites by sol-gel method," *European polymer journal*, vol. 38, pp. 2219-2224, 2002.
- [110] R. Nazir, M. Mazhar, M. J. Akhtar, M. R. Shah, N. A. Khan, M. Nadeem, *et al.*, "Superparamagnetic bimetallic iron-palladium nanoalloy: synthesis and characterization," *Nanotechnology*, vol. 19, p. 185608, 2008.
- [111] Q. Chen, C. Boothroyd, A. M. Soutar, and X. T. Zeng, "Sol-gel nanocoating on commercial TiO₂ nanopowder using ultrasound," *Journal of sol-gel science and technology*, vol. 53, pp. 115-120, 2010.
- [112] M. Krolow, C. Hartwig, G. Link, C. Raubach, J. Pereira, R. Picoloto, *et al.*, "Synthesis and characterisation of carbon nanocomposites," in *NanoCarbon 2011: Selected works from the Brazilian Carbon Meeting*, 2013, pp. 33-47.
- [113] L. Zhang, I. Djerdj, M. Cao, M. Antonietti, and M. Niederberger, "Nonaqueous sol-gel synthesis of a nanocrystalline InNbO₄ visible-light photocatalyst," *Advanced materials*, vol. 19, pp. 20.2007, 2086-83
- [114] X. Liang, M. Sun, L. Li, R. Qiao, K. Chen, Q. Xiao, *et al.*, "Preparation and antibacterial activities of polyaniline/Cu_{0.05}Zn_{0.95}O nanocomposites," *Dalton Transactions*, vol. 41, pp. 2804-2811, 2012.
- [115] G. Demazeau, "Solvothermal reactions: an original route for the synthesis of novel materials," *Journal of Materials Science*, vol. 43, pp. 2104-2114, 2008.
- [116] K. Byrappa and M. Yoshimura, *Handbook of hydrothermal technology*: William Andrew, 2012.
- [117] M. S. Akhtar, M. A. Khan, M. S. Jeon, and O.-B. Yang, "Controlled synthesis of various ZnO nanostructured materials by capping agents-assisted hydrothermal method for dye-sensitized solar cells," *Electrochimica Acta*, vol. 53, pp. 7869-7874, 2008.
- [118] W. W. Wang, Y. J. Zhu, and L. X. Yang, "ZnO-SnO₂ hollow spheres and hierarchical nanosheets: hydrothermal preparation, formation mechanism, and photocatalytic properties," *Advanced Functional Materials*, vol. 17, pp. 59-64, 2007.
- [119] S. Verma, P. Joy, Y. Kholam, H. Potdar, and S. Deshpande, "Synthesis of nanosized MgFe₂O₄ powders by microwave hydrothermal method," *Materials letters*, vol. 58, pp. 1092-1095, 2004.
- [120] Z. Li, B. Hou, Y. Xu, D. Wu, Y. Sun, W. Hu, *et al.*, "Comparative study of sol-gel-hydrothermal and sol-gel synthesis of titania-silica composite nanoparticles," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 178, pp. 1395-1405, 2005.
- [121] H. Wang, Y. Ma, G. Yi, and D. Chen, "Synthesis of Mn-doped Zn₂SiO₄ rodlike nanoparticles through hydrothermal method," *Materials chemistry and physics*, vol. 82, pp. 414-418, 2003.
- [122] Z. Hua, X. M. Wang, P. Xiao, and J. Shi, "Solvent effect on microstructure of yttria-stabilized zirconia (YSZ) particles in solvothermal synthesis," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 26, pp. 22, 2264-57, 2006
- [123] J. Wang, F. Ren, R. Yi, A. Yan, G. Qiu, and X. Liu, "Solvothermal synthesis and magnetic properties of size-controlled nickel ferrite nanoparticles," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 479, pp. 791-796, 2009.
- [124] H. Eslami, M. H. Ehrampoush, A. Esmaeili, A. A. Ebrahimi, M. T. Ghaneian, H. Falahzadeh, *et al.*, "Synthesis of mesoporous Fe-Mn bimetal oxide nanocomposite by aeration co-precipitation method: physicochemical, structural, and optical properties," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 224, pp. 65-72, 2019.
- [125] S. Yadav, N. Rani, and K. Saini, "A review on transition metal oxides based nanocomposites, their synthesis techniques, different morphologies and potential applications," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2022, p. 012004.
- [126] T. Witoon, T. Permsirivanich, W. Donphai, A. Jaree, and M. Chareonpanich, "CO₂ hydrogenation to methanol over Cu/ZnO nanocatalysts prepared via a chitosan-assisted co-precipitation method," *Fuel processing technology*, vol. 116, pp. 72-78, 2013.



- [127] A. Hamrouni, N. Moussa, F. Parrino, A. Di Paola, A. Houas, and L. Palmisano, "Sol-gel synthesis and photocatalytic activity of ZnO-SnO₂ nanocomposites," *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 390, pp. 133-141, 2014.
- [128] A. Taufik, A. Albert, and R. Saleh, "Sol-gel synthesis of ternary CuO/TiO₂/ZnO nanocomposites for enhanced photocatalytic performance under UV and visible light irradiation," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 34, pp. 149-162, 2017.
- [129] M. A. Ahmed, "Synthesis and structural features of mesoporous NiO/TiO₂ nanocomposites prepared by sol-gel method for photodegradation of methylene blue dye," *Journal of photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 238, pp. 70-63, 2012.
- [130] S. K. Biswal, G. K. Panigrahi, and S. K. Sahoo, "Green synthesis of Fe₂O₃-Ag nanocomposite using Psidium guajava leaf extract: An eco-friendly and recyclable adsorbent for remediation of Cr (VI) from aqueous media," *Biophysical Chemistry*, vol. 263, p. 106392, 2020.
- [131] Y. Yulizar, D. O. B. Apriandanu, and A. P. Wibowo, "Plant extract mediated synthesis of Au/TiO₂ nanocomposite and its photocatalytic activity under sodium light irradiation," *Composites Communications*, vol. 16, pp. 50-56, 2019.
- [132] K. Karthik, S. Dhanuskodi, C. Gobinath, and S. Sivaramakrishnan, "Microwave-assisted synthesis of CdO-ZnO nanocomposite and its antibacterial activity against human pathogens," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 139, pp. 7-12, 2015.
- [133] M. Mansournia and L. Ghaderi, "CuO@ ZnO core-shell nanocomposites: novel hydrothermal synthesis and enhancement in photocatalytic property," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 691, pp. 171-177, 2017.
- [134] Z. Noohpisheh, H. Amiri, S. Farhadi, and A. Mohammadi-Gholami, "Green synthesis of Ag-ZnO nanocomposites using Trigonella foenum-graecum leaf extract and their antibacterial, antifungal, antioxidant and photocatalytic properties," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 240, p. 118595, 2020.
- [135] A. Rahman, H. Sabeeh, S. Zulfiqar, P. O. Agboola, I. Shakir, and M. F. Warsi, "Structural, optical and photocatalytic studies of trimetallic oxides nanostructures prepared via wet chemical approach," *Synthetic Metals*, vol. 259, p. 116228, 2020.
- [136] K. Kaviyarasu, C. M. Magdalane, K. Anand, E. Manikandan, and M. Maaza, "Synthesis and characterization studies of MgO: CuO nanocrystals by wet-chemical method," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 142, pp. 405-409, 2015.
- [137] M. A. Khalilzadeh, S. Tajik, H. Beitollahi, and R. A. Venditti, "Green synthesis of magnetic nanocomposite with iron oxide deposited on cellulose nanocrystals with copper (Fe₃O₄@CNC/Cu): investigation of catalytic activity for the development of a venlafaxine electrochemical sensor," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, pp. 4219-4228, 2020.
- [138] S. Parveen and S. Pandey, "Electrochemical study of 3D hierarchical dandelion-fiber flake-like structure of Al(OH)₃/MnO₂ nanocomposite thin film for future supercapacitor applications," *Electrochimica Acta*, vol. 319, pp. 832-842, 2019.
- [139] R. Aladpoosh and M. Montazer, "Nano-photo active cellulosic fabric through in situ phytosynthesis of star-like Ag/ZnO nanocomposites: Investigation and optimization of attributes associated with photocatalytic activity," *Carbohydrate polymers*, vol. 141, pp. 116-125, 2016.
- [140] G. J. Rani, K. J. Babu, and M. J. Rajan, "Watsonia meriana flower like Fe₃O₄/reduced graphene oxide nanocomposite for the highly sensitive and selective electrochemical sensing of dopamine," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 688, pp. 500-512, 2016.
- [141] P. Vennila, D. J. Yoo, and A. R. Kim, "Ni-Co/Fe₃O₄ flower-like nanocomposite for the highly sensitive and selective enzyme free glucose sensor applications," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 703, pp. 633-642, 2017.
- [142] D. Bharathi, R. Ranjithkumar, B. Chandarshekar, and V. Bhuvaneshwari, "Preparation of chitosan coated zinc oxide nanocomposite for enhanced antibacterial and photocatalytic activity: as a bionanocomposite," *International journal of biological macromolecules*, vol. 129, pp. 989-996, 2019.
- [143] H. N. Dhakal and S. O. Ismail, "Sustainable composites for lightweight applications," 2020.
- [144] A. W. C. Chua, Y. C. Khoo, B. K. Tan, K. C. Tan, C. L. Foo, and S. J. Chong, "Skin tissue engineering advances in severe burns: review and therapeutic applications," *Burns & trauma*, vol. 4, 2016.
- [145] D. Sundaramurthi, U. M. Krishnan, and S. Sethuraman, "Electrospun nanofibers as scaffolds for skin tissue engineering," *Polymer Reviews*, vol. 54, pp. 348-376, 2014.
- [146] M. Mühlstädt, C. Thomé, and C. Kunte, "Rapid wound healing of scalp wounds devoid of periosteum with milling of the outer table and split-thickness skin grafting," *British Journal of Dermatology*, vol. 167, pp. 343-347, 2012.
- [147] F. Siedenbiedel and J. C. Tiller, "Antimicrobial polymers in solution and on surfaces: overview and functional principles," *Polymers*, vol. 4, pp. 46-71, 2012.



- [148] D. Simões, S. P. Miguel, M. P. Ribeiro, P. Coutinho, A. G. Mendonça, and I. J. Correia, "Recent advances on antimicrobial wound dressing: A review," *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, vol. 127, pp. 130-141, 2018.
- [149] V. Ki and C. Rotstein, "Bacterial skin and soft tissue infections in adults: a review of their epidemiology, pathogenesis, diagnosis, treatment and site of care," *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, vol. 19, pp. 173-184, 2008.
- [150] A. R. Siddiqui and J. M. Bernstein, "Chronic wound infection: facts and controversies," *Clinics in dermatology*, vol. 28, pp. 519-526, 2010.
- [151] J. S. Boateng, K. H. Matthews, H. N. Stevens, and G. M. Eccleston, "Wound healing dressings and drug delivery systems: a review," *Journal of pharmaceutical sciences*, vol. 97, pp. 2892-2923, 2008.
- [152] S. Dhivya, V. V. Padma, and E. Santhini, "Wound dressings—a review," *BioMedicine*, vol. 5, p. 22, 2015.
- [153] Z. Lu, J. Gao, Q. He, J. Wu, D. Liang, H. Yang, *et al.*, "Enhanced antibacterial and wound healing activities of microporous chitosan-Ag/ZnO composite dressing," *Carbohydrate polymers*, vol. 156, pp. 460-469, 2017.
- [154] D. Archana, B. K. Singh, J. Dutta, and P. Dutta, "In vivo evaluation of chitosan–PVP–titanium dioxide nanocomposite as wound dressing material," *Carbohydrate polymers*, vol. 95, pp. 530-539, 2013.
- [155] N. Cai, C. Li, C. Han, X. Luo, L. Shen, Y. Xue, *et al.*, "Tailoring mechanical and antibacterial properties of chitosan/gelatin nanofiber membranes with Fe₃O₄ nanoparticles for potential wound dressing application," *Applied Surface Science*, vol. 369, pp. 492-500, 2016.
- [156] S. Parham, S. Chandren, D. H. Wicaksono, S. Bagherbaigi, S. L. Lee, L. S. Yuan, *et al.*, "Textile/Al₂O₃–TiO₂ nanocomposite as an antimicrobial and radical scavenger wound dressing," *RSC advances*, vol. 6, pp. 8188-8197, 2016.
- [157] K. Liu, R. Xing, Q. Zou, G. Ma, H. Möhwald, and X. Yan, "Simple peptide-tuned self-assembly of photosensitizers towards anticancer photodynamic therapy," *Angewandte chemie*, vol. 128, pp. 3088-3091, 2016.
- [158] B.-Q. Lu, Y.-J. Zhu, G.-F. Cheng, and Y.-J. Ruan, "Synthesis and application in drug delivery of hollow-core-double-shell magnetic iron oxide/silica/calcium silicate nanocomposites," *Materials Letters*, vol. 104, pp. 53-56, 2013.
- [159] G. Yang, H. Gong, T. Liu, X. Sun, L. Cheng, and Z. Liu, "Two-dimensional magnetic WS₂@ Fe₃O₄ nanocomposite with mesoporous silica coating for drug delivery and imaging-guided therapy of cancer," *Biomaterials*, vol. 60, pp. 62-71, 2015.
- [160] Y. Chan, T. Wong, F. Byrne, M. Kavallaris, and V. Bulmus, "Acid-labile core cross-linked micelles for pH-triggered release of antitumor drugs," *Biomacromolecules*, vol. 9, pp. 1826-1836, 2008.
- [161] F. Cavaliere, E. Chiessi, R. Villa, L. Vigano, N. Zaffaroni, M. F. Telling, *et al.*, "Novel PVA-based hydrogel microparticles for doxorubicin delivery," *Biomacromolecules*, vol. 9, pp. 1967-1973, 2008.
- [162] F. Wang, G. M. Pauletti, J. Wang, J. Zhang, R. C. Ewing, Y. Wang, *et al.*, "Dual Surface-Functionalized Janus Nanocomposites of Polystyrene/Fe₃O₄@ SiO₂ for Simultaneous Tumor Cell Targeting and Stimulus-Induced Drug Release," 2013.
- [163] F. Xiao, Y. Li, H. Gao, S. Ge, and H. Duan, "Growth of coral-like PtAu–MnO₂ binary nanocomposites on free-standing graphene paper for flexible nonenzymatic glucose sensors," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 41, pp. 417-423, 2013.
- [164] B. Dakshayini, K. R. Reddy, A. Mishra, N. P. Shetti, S. J. Malode, S. Basu, *et al.*, "Role of conducting polymer and metal oxide-based hybrids for applications in amperometric sensors and biosensors," *Microchemical Journal*, vol. 147, pp. 7-24, 2019.
- [165] N. P. Shetti, S. D. Bukkitgar, K. R. Reddy, C. V. Reddy, and T. M. Aminabhavi, "Nanostructured titanium oxide hybrids-based electrochemical biosensors for healthcare applications," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 178, pp. 385-394, 2019.
- [166] S. Kumar, M. Umar, A. Saifi, S. Kumar, S. Augustine, S. Srivastava, *et al.*, "Electrochemical paper based cancer biosensor using iron oxide nanoparticles decorated PEDOT: PSS," *Analytica Chimica Acta*, vol. 1056, pp. 135-145, 2019.
- [167] P. R. Solanki, A. Kaushik, V. V. Agrawal, and B. D. Malhotra, "Nanostructured metal oxide-based biosensors," *NPG Asia Materials*, vol. 3, pp. 17-24, 2011.
- [168] S. K. Vashist and J. H. Luong, "Recent advances in electrochemical biosensing schemes using graphene and graphene-based nanocomposites," *Carbon*, vol. 84, pp. 550-519, 2015.
- [169] H. Dong, S. Jin, H. Ju, K. Hao, L.-P. Xu, H. Lu, *et al.*, "Trace and label-free microRNA detection using oligonucleotide encapsulated silver nanoclusters as probes," *Analytical chemistry*, vol. 84, pp. 8670-8674, 2012.
- [170] R. Li, S. Li, M. Dong, L. Zhang, Y. Qiao, Y. Jiang, *et al.*, "A highly specific and sensitive electroanalytical strategy for microRNAs based on amplified silver deposition by the synergic TiO₂



- photocatalysis and guanine photoreduction using charge-neutral probes," *Chemical Communications*, vol. 51, pp. 16131-16134, 2015.
- [171] S. Li, R. Li, M. Dong, L. Zhang, Y. Jiang, L. Chen, *et al.*, "High-throughput, selective, and sensitive colorimetry for free microRNAs in blood via exonuclease I digestion and hemin-G-quadruplex catalysis reactions based on a "self-cleaning" functionalized microarray," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 222, pp. 198-204, 2016.
- [172] D. Leontyeva, I. Leontyev, M. Avramenko, Y. I. Yuzyuk, Y. A. Kukushkina, and N. Smirnova, "Electrochemical dispergation as a simple and effective technique toward preparation of NiO based nanocomposite for supercapacitor application," *Electrochimica Acta*, vol. 114, pp. 356-362, 2013.
- [173] S. Ramesh, D. Vikraman, H.-S. Kim, H. S. Kim, and J.-H. Kim, "Electrochemical performance of MWCNT/GO/NiCo₂O₄ decorated hybrid nanocomposite for supercapacitor electrode materials," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 765, pp. 369-379, 2018.
- [174] I. Y. Bu and R. Huang, "One-pot synthesis of ZnO/reduced graphene oxide nanocomposite for supercapacitor applications," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 31, pp. 131-138, 2015.
- [175] I. Shaheen, K. S. Ahmad, C. Zequine, R. K. Gupta, A. G. Thomas, and M. A. Malik, "Effects of bioactive compounds on the morphology and surface chemistry of MoO₃/ZnMoO₄ nanocomposite for supercapacitor," *Journal of materials science*, vol. 55, pp. 7743-7759, 2020.
- [176] M. Sawangphruk, P. Srimuk, P. Chiochan, A. Krittayavathananon, S. Luanwuthi, and J. Limtrakul, "High-performance supercapacitor of manganese oxide/reduced graphene oxide nanocomposite coated on flexible carbon fiber paper," *Carbon*, vol. 60, pp. 109-116, 2013.
- [177] K. Wang, X. Dong, C. Zhao, X. Qian, and Y. Xu, "Facile synthesis of Cu₂O/CuO/RGO nanocomposite and its superior cyclability in supercapacitor," *Electrochimica Acta*, vol. 152, pp. 433-442, 2015.
- [178] N. L. Reddy, V. N. Rao, M. M. Kumari, M. Sathish, and S. M. Venkatakrishnan, "Development of high quantum efficiency CdS/ZnS core/shell structured photocatalyst for the enhanced solar hydrogen evolution," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, pp. 22315-22328, 2018.
- [179] K. R. Diab, H. H. El-Maghrabi, A. A. Nada, A. M. Youssef, A. Hamdy, S. Roualdes, *et al.*, "Facile fabrication of NiTiO₃/graphene nanocomposites for photocatalytic hydrogen generation," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 365, pp. 86-93, 2018.
- [180] M. Chandra, K. Bhunia, and D. Pradhan, "Controlled synthesis of CuS/TiO₂ heterostructured nanocomposites for enhanced photocatalytic hydrogen generation through water splitting," *Inorganic chemistry*, vol. 57, pp. 4524-4533, 2018.
- [181] Z. D. Mahmoudabadi and E. Eslami, "One-step synthesis of CuO/TiO₂ nanocomposite by atmospheric microplasma electrochemistry—Its application as photoanode in dye-sensitized solar cell," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 793, pp. 336-342, 2019.
- [182] N. Tarwal, R. Devan, Y. Ma, R. Patil, M. Karanjkar, and P. Patil, "Spray deposited localized surface plasmonic Au–ZnO nanocomposites for solar cell application," *Electrochimica acta*, vol. 72, pp. 32-39, 2012.
- [183] Z. D. Mahmoudabadi, E. Eslami, and M. Narimisa, "Synthesis of Ag/TiO₂ nanocomposite via plasma liquid interactions: Improved performance as photoanode in dye-sensitized solar cell," *Journal of colloid and interface science*, vol. 529, pp. 538-546, 2018.
- [184] M. Dutt, A. Ratan, M. Tomar, V. Gupta, and V. Singh, "Mesoporous metal oxide– α -Fe₂O₃ nanocomposites for sensing formaldehyde and ethanol at room temperature," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 145, p. 109536, 2020.
- [185] B. Dinesh, V. Veeramani, S.-M. Chen, and R. Saraswathi, "In situ electrochemical synthesis of reduced graphene oxide-cobalt oxide nanocomposite modified electrode for selective sensing of depression biomarker in the presence of ascorbic acid and dopamine," *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 786, pp. 169-176, 2017.
- [186] V. Baiju, D. Devadathan, and R. Raveendran, "Photocatalytic degradation of an acidic dye and a basic dye using heterostructured photocatalyst," *Bulletin of Pure & Applied Sciences-Chemistry*, vol. 37, pp. 35-41, 2018.
- [187] F. Mukhtar, T. Munawar, M. S. Nadeem, M. Hasan, F. Hussain, M. A. Nawaz, *et al.*, "Multi metal oxide NiO-Fe₂O₃-CdO nanocomposite-synthesis, photocatalytic and antibacterial properties," *Applied Physics A*, vol. 126, pp. 1-14, 2020.
- [188] S. A. Ansari, M. M. Khan, M. O. Ansari, J. Lee, and M. H. Cho, "Biogenic synthesis, photocatalytic, and photoelectrochemical performance of Ag–ZnO nanocomposite," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 117, pp. 27023-27030, 2013.

الفصل الثاني

نبتة البقلة المباركة

Portulaca oleracea L



الفصل الثالث

تصنيع وتشخيص المتراكبات النانوية
لأكسيد النيكل النانوي

1.III. مقدمة:

في السنوات الأخيرة، حظي التخليق الأخضر باهتمام كبير من العلماء لأنه يعتبر طريقة غير مكلفة وصديقة للبيئة وفعالة. بالإضافة إلى ذلك، تعمل هذه الطريقة على التخلص من استخدام المنتجات الخطرة وتنتج جسيمات نانوية غير سامة وقابلة للتحلل البيولوجي، مما يجعلها بديلاً مناسباً لطرق التخليق الأخرى في العديد من المجالات. يتم تخليق جسيمات أكسيد المعادن النانوية من خلال عمليات مختلفة مثل الذوبان الحراري بالهلام، والتحلل الحراري المائي، والتحلل الحراري، والترسيب، ومع ذلك، يمكن أن تكون هذه العمليات مكلفة للغاية وخطيرة على البيئة. وقد نشأ عن ذلك الحاجة إلى إجراء واضح وغير مكلف وصديق للبيئة لتصنيع الجسيمات النانوية. وقد ثبت أن العديد من الأنظمة البيولوجية، بما في ذلك الفطريات والخميرة والبكتيريا ومستخلصات النباتات، يمكنها تحويل أيونات المعادن الانتقالية إلى جسيمات أكسيد المعادن النانوية من خلال القدرات الاختزالية للبروتينات والأيضات في هذه الكائنات الحية.

تعتبر المستخلصات النباتية من أهم الأنظمة البيولوجية لإنتاج الجسيمات النانوية وذلك لغناها بالبوليفينولات والبروتينات والأيضات وخصائصها الفريدة مثل قابلية النواة للاختزال وقابلية الاستقطاب والقدرة على تكوين روابط هيدروجينية والحموضة والقدرة على تخليب أيونات المعادن [4]. وبالمقارنة بالأنظمة البيولوجية المذكورة فإن أكاسيد المعادن النباتية تتمتع بثبات أعلى وسمية أقل مما دفع العلماء إلى تصنيع الجسيمات النانوية من مستخلصات نباتية متنوعة واستخدامها في العديد من التطبيقات.

يشرح هذا الفصل خطوات التخليق الأخضر لجسيمات أكسيد النيكل النانوية كخطوة أولى ثم طليها بالحديد والزنك والنحاس والفضة وتقنيات التوصيف الرئيسية .

2.III. آلية التصنيع الأخضر للجسيمات النانوية بواسطة المستخلصات النباتية:

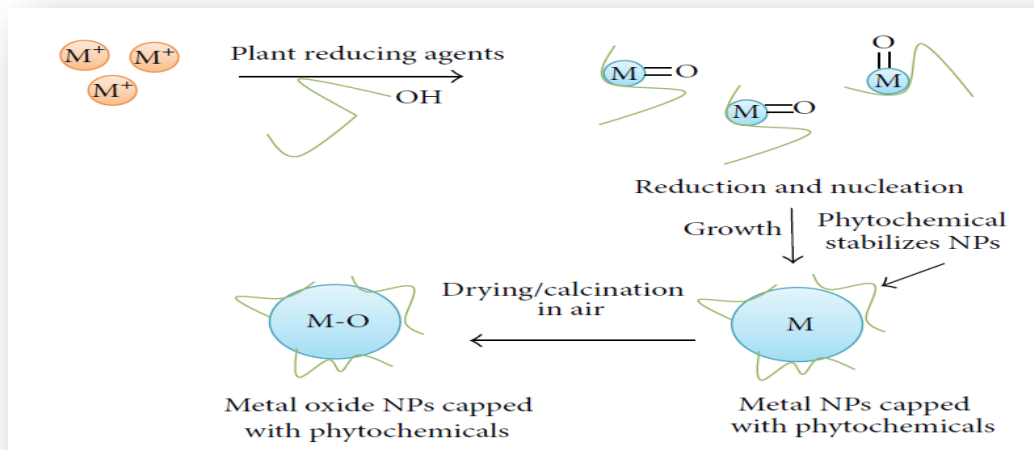
يتم دمج مستخلص أوراق النبات مع محاليل السلانف المعدنية تحت ظروف تفاعل مختلفة لتسهيل تكوين الجسيمات النانوية [3]. ومن المسلم به أن العوامل التي تؤثر على ظروف مستخلص أوراق النبات، مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتركيز الأملاح المعدنية ونوع المادة الكيميائية النباتية، تحدد معدل إنتاج الجسيمات النانوية وكذلك المحصول واستقرار الجسيمات [4]. على عكس الفطريات والبكتيريا التي تتطلب فترات حضانة أطول، تُظهر المواد الكيميائية النباتية الموجودة في المستخلصات الورقية النباتية قدرة مذهلة على تقليل الأيونات المعدنية في فترة زمنية أقصر بكثير [5]. وتعتبر هذه المستخلصات مصدراً متفوقاً وآمناً لتخليق الجسيمات النانوية المعدنية وأكاسيد المعادن. علاوة على ذلك، فإنها تؤدي دوراً مزدوجاً من خلال ضمان التخفيض والاستقرار [6]. تعتبر طبيعة مستخلص الأوراق ذات أهمية كبيرة، فكل نوع نباتي يحتوي على محتويات كيميائية نباتية متغيرة [7, 8]. أحد المواد الكيميائية النباتية الرئيسية المشاركة في الاختزال الحيوي للجسيمات النانوية هو الأמיד، إلى جانب الفلافونات، والتربين، والسكريات، والكيونات، والألدهيدات، والأحماض الكربوكسيلية.

المراحل الثلاث الرئيسية للاختزال الحيوي لأيون المعدن باستخدام المستخلصات النباتية هي التنشيط والنمو والإنهاء الشكل (2.III).

(أ) **مرحلة التنشيط:** أثناء الاختزال الحيوي، يتم استعادة أيونات المعادن من سلانفها المحتوية على الملح عن طريق نشاط البروتينات المعدنية النباتية، وهي جزيئات حيوية قادرة على الاختزال. بالإضافة إلى ذلك، يحدث نواة ذرات المعدن المختزلة عندما تنتقل أيونات المعادن من حالات الأكسدة الأحادية أو الثنائية التكافؤ إلى حالات التكافؤ الصفري [9].

(ب) **مرحلة النمو:** تتضمن عملية تعرف باسم Ostwald Ripening، والتي تزيد من الاستقرار الديناميكي الحراري للجسيمات النانوية الصغيرة المجاورة عن طريق تجميعها تلقائياً في جزيئات أكبر وتقليل كمية الأيونات المعدنية بشكل أكبر [10].

(ج) **مرحلة الإنهاء:** عندما تستعيد المستقلبات النباتية الثانوية الشكل الثابت للجسيمات النانوية وتصل أخيراً إلى أقصى نشاط له [11].

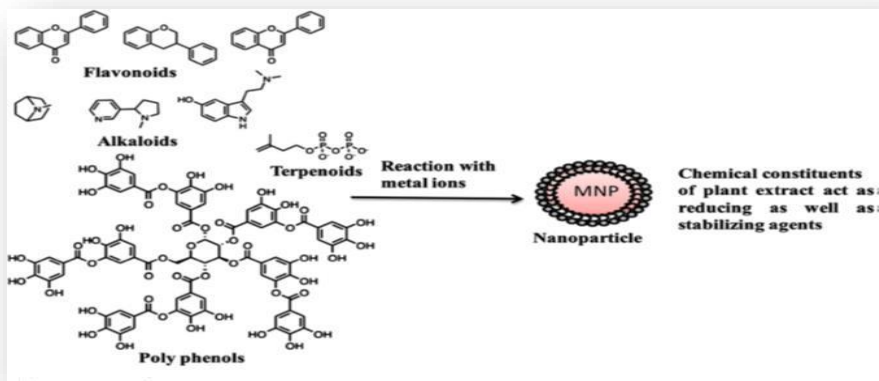


الشكل (1.III): آلية التركيب الأخضر لجسيمات أكسيد المعادن النانوية [12].

3.III. تأثير المستقلبات الثانوية في تفاعل الاختزال الحيوي:

تشمل المستقلبات الثانوية النباتية مجموعة متنوعة من المركبات الكيميائية التي يتم تصنيعها بواسطة الخلايا النباتية من خلال المسارات الأيضية المستمدة من التمثيل الغذائي الأولي. هذه المستقلبات الثانوية لها أهمية قصوى في عملية الاختزال الحيوي لأيونات المعادن، وهي خطوة أساسية في إنتاج الجسيمات النانوية. تساهم المستقلبات النباتية المختلفة، مثل البوليفينولات، والتربينويدات، والقلويدات، والأحماض الفينولية، والبروتينات، بنشاط في عملية الاختزال الحيوي للجسيمات النانوية. يوضح الشكل (3.III) الجزيئات الحيوية المحتملة المشاركة في تخليق الجسيمات النانوية [11].

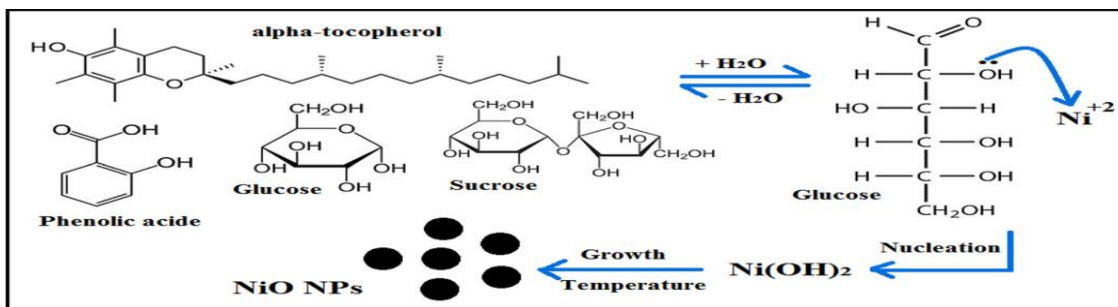
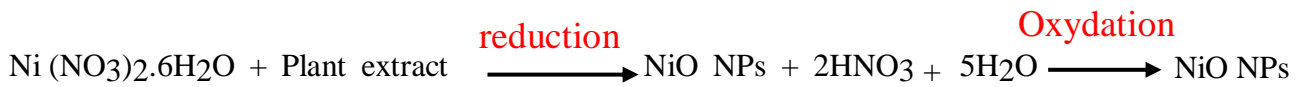
أظهرت العديد من الأبحاث أن العديد من هذه المستقلبات تعمل كعوامل خفض وتثبيت، بالإضافة إلى منع التجميع والتكتل غير الخطرين للعناصر المعدنية الجديدة [13, 14].



الشكل (2.III): الجزيئات الحيوية المحتملة المشاركة في تخليق الجسيمات النانوية [15].

4.III. آلية التفاعل

يعتبر دور المستخلص عاملاً مختزلاً وذلك لاحتوائه على كمية كبيرة من البولي فينولات والتي بدورها تحتوي على الفلافونيدات ومضادات حيوية ومضادات للأكسدة ومجاميع عضوية، وعند إضافة هذا المستخلص إلى ملح النترات يكسر الرابطة -OH- ويشكل رابطة جزئية مع المعدن وعند كسر هذه الرابطة الجزيئية تنتقل الإلكترونات لتكون هيدروكسيد الذي بدوره يتفاعل مع -OH- القادمة من النترات ليتشكل الأكسيد النانوي.



الشكل (3.III): آلية مقترحة لتخليق جسيمات أكسيد النيكل النانوية باستخدام المستخلص المائي لنبنة

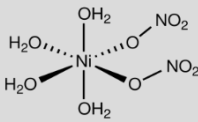

البقلة المباركة.

5.III. المواد والطرق

أجريت الدراسة في مختبر مخبر التكنولوجيا الحيوية والمواد الحيوية والمواد المكثفة بجامعة الشهيد حمة لخضر في الوادي، الجزائر. تركز هذه الدراسة على التخليق الأخضر وتوصيف جسيمات أكسيد النيكل النانوية باستخدام مستخلص نبتة البقلة المباركة ودراسة أنشطتها البيولوجية. الجدول (1.III). يوضح الأملاح المستعملة لتخليق المتراكبات النانوية المدروسة.

جدول (1.III): خصائص الأملاح المستعملة في تحضير جسيمات النيكل النانوي والمتراكبات النانوية

النتيجة عن طلائه

المادة	المظهر	الوزن الجزيئي (g/mol)	الصيغة الكيميائية	الشركة	النقاء %
نترات النيكل المائية $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$		182.703		Sigma-Aldrich, India	99.99
كلوريد النحاس الثنائي $CuCl_2 \cdot 2H_2O$		170,48		Sigma-Aldrich, India	98
نترات الحديد الثلاثي $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$		404		Sigma-Aldrich, India	98
أسيئات الزنك $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$		219.51		ALPHA CHEMIKA	98
نترات الفضة $AgNO_3$		169.87		Sigma-Aldrich, India	99

يمثل الشكل (5.III) الجزء الهوائي المستخدم من نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea L*

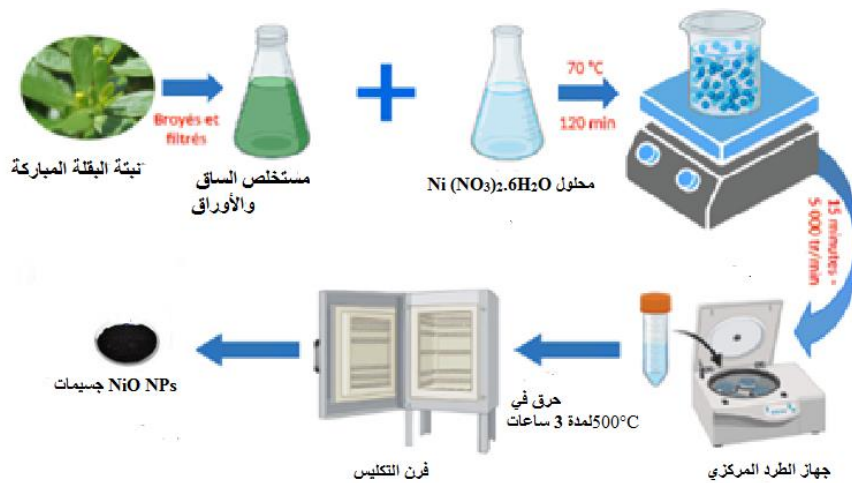


الشكل (4.III): أجزاء النبتة المستخدمة (نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea L*).

الجدول (2.III). يوضح مختلف الأجهزة والمواد المستعملة في التحضير والتشخيص.
جدول (2.III): الأجهزة والمواد المستخدمة في العمل

الرقم	الأجهزة والمواد	الشركة
01	هيدروكسيد الصوديوم (97%، NaOH)	BIOCHEM Chemopharma
02	خلط كهربائي	SONASHI
03	ميزان حساس	OHRUS
04	جهاز الرج الكهربائي	OHRUS
05	فرن تجفيف	DragLab DO 120
06	جهاز مطيافية تحت الحمراء	Nicolet IS) IR-ATR(
07	جهاز انعراج الأشعة السينية	Rigaku D/Max-2000, Tokyo, Japan
08	جهاز الأشعة المرئية وفوق البنفسجية	UV-2450, Shimadzu, Duisburg
09	المسح المجهر الإلكتروني	SEM/EDX, Leo Supra 55, Zeiss Inc, Oberkochen
10	جهاز الطرد المركزي	EZ Swing 3K- MODEL800 Centrifuge

6.III. مخطط التحضير:



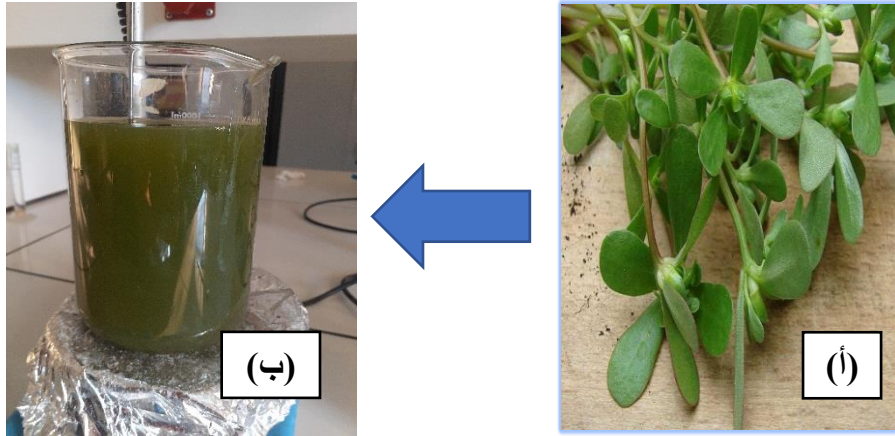
الشكل (5.III): مخطط تحضير جسيمات النيكل النانوية انطلاقاً من نبتة البقلة المباركة. *Portulaca oleracea*.

7.III. المنهجية:

✓ جمع العينات (النبات) Sample Collection (Plants)

من أجل القيام بعملية تخليق خضراء لجسيمات أكسيد النيكل النانوية، تم اختيار نبات البقلة المباركة *Portulaca oleracea*. L كعامل اختزال وتغطية وتم جمعها من المزارع المحلية بمنطقة قمار ولاية الوادي (شرق الجزائر) في شهر نوفمبر 2022. يعتمد هذا الاختيار على الدراسات التي أجريت على هذه النباتات في العديد من المختبرات. وقد أكدت كل هذه الدراسات وجود مركبات نشطة بيولوجياً مثل الفلافونويدات والقلويدات والفينولات والفيتامينات والأحماض الأمينية والكينونات والمعادن وما إلى ذلك.

✓ تحضير المستخلص النباتي:

الشكل (6.III): تحضير مستخلص نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea. L*

تم غسل 250 غ أجزاء النبتة المستعملة في الدراسة وهي طازجة (الساق والأوراق) بماء الحنفية أولاً ثم بالماء المقطر لإزالة الشوائب والغبار. بعد تجفيفها تم تقطيعها وترك المادة المفرومة ناعماً لتغلي لمدة 5 دقائق عند 80 درجة مئوية مع 1ل من الماء منزوع الأيونات في قارورة إيرلنداير سعة 1500 مل ثم تبريدها إلى درجة حرارة الغرفة. يتم تمرير المحلول الناتج من خلال ورق ترشيح لإزالة أي جزيئات صلبة ثم يتم ترشيحه مرة أخرى من خلال ورق ترشيح Whatman بحجم مسام 0.2 ميكرومتر. يتم تخزين المرشح عند 4 درجات مئوية كمخزون لتخليق جسيمات نانوية من أكسيد النيكل النانوي

✓ شروط التحضير

يتأثر حجم وشكل الجسيمات النانوية بشدة بعدة عوامل مثل تركيز الأملاح المعدنية، وحموضة التفاعل، ومدة التفاعل، ودرجة حرارة التفاعل، ودرجة حرارة التلدين، والتفاعلات مع المثبتات.

8.III. التحضير الحيوي لجزيئات أكسيد النيكل النانوية

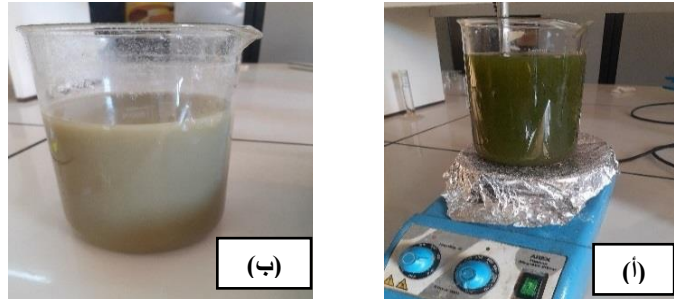
تم تحضير جسيمات أكسيد النيكل النانوية عن طريق اختزال أيونات النيكل الموجودة في المحلول المائي بمساعدة المركبات الفينولية للمستخلصات النباتية. أولاً، تمت إضافة 500 مل من المستخلص النباتي إلى 500 مل من محلول نترات النيكل (1ملي مولار). تم الاحتفاظ بالخليط تحت التحريك لمدة ساعتين عند 70 درجة مئوية. تم إجراء تحليل الأشعة فوق البنفسجية للعينة لتأكيد تكوين جسيمات NiO NPs. بعد ذلك، تم فصل الراسب الأسود المتكون بسرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 10 دقائق وغسله عدة مرات بالماء منزوع الأيونات. تم تجفيف المسحوق الأسود الناتج عند 100 درجة مئوية في المجفف. للحصول على جسيمات نانوية من أكسيد النيكل، تم تسخين المنتج أخيراً عند 500 درجة مئوية لمدة 3 ساعات. بعد عملية التخليق الأخضر، تم تحديد خصائص العينات المختلفة من خلال العديد من التقنيات التحليلية.

9.III. النتائج والمناقشة

9.III.1. الملاحظات البصرية

في البداية، تم تأكيد تخليق NiO NPs بصرياً من خلال التغيير الفوري في لون الخليط من الأخضر إلى الرمادي المسود بعد خلط محلول نترات النيكل مع مستخلص نبتة البقلة المباركة (الشكل 9-III). تتوافق هذه النتيجة مع الأبحاث السابقة التي استخدمت مستخلص أوراق *Rhamnusa triquetra* (Wall) و *Rhamnusa gilgitica* لتصنيع NiO NPs [16]. هذا التغيير الفوري في لون الخليط هو مؤشر واضح على الاختزال الحيوي لأيون النيكل وتكوين جسيمات أكسيد النيكل النانوية [17]. يمكن تفسير التغيير الفوري في لون الخليط من خلال وجود مركبات نشطة بيولوجياً في المستخلصات النباتية المسؤولة عن اختزال أيونات النيكل.

تعتبر مستخلصات *Portulaca oleracea* L غنية بالمركبات النشطة بيولوجياً والتي يمكن أن تعمل كعامل اختزال وتثبيت وتغطية أثناء عملية التخليق الأخضر لـ NiO NPs. عندما يذوب نترات النيكل في الماء، يتم فصل أيونات النيكل والنترات، مما ينتج عنه محلول يحتوي على مزيج من أيونات النيكل والنترات. عند خلط المحلول الأيوني مع مستخلص *Portulaca oleracea* L، تعمل الجزيئات الحيوية الموجودة في مستخلص النبتة كعامل مخلب لتقليل كاتيون النيكل إلى جسيمات نانوية صفراء التكاثر. بعد ذلك، يتم تثبيت الناتج وتغطيته بالمركبات النشطة بيولوجياً الأخرى. ثم يتم تجفيف المنتج النهائي (NiO NPs) بالهواء أو حرقه في الهواء للحصول على NiO NPs النهائية.



الشكل (7.III): الملاحظة البصرية لمحلول نترات النيكل الثلاثي مع مستخلص نبتة البقلة المباركة *Portulaca*

oleracea. L

(أ) قبل التفاعل، (ب) أثناء التفاعل

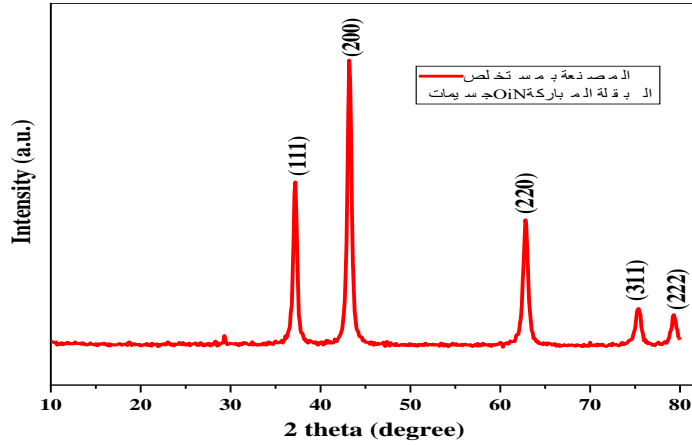
9.III.2. نتائج حيود الأشعة السينية (DRX) للأكسيد المحضر باستعمال المستخلص النباتي

بطريقة التصنيع الأخضر:

تمت دراسة البنية البلورية ونقاء الطور وحجم البلورات لعينات NiO NPs المحضرة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة *Portulaca oleracea* L كعامل أكسدة واختزال بواسطة تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) (Rigaku Miniflex 600) مع Cu-K α ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) في زوايا 2θ تتراوح من 10 درجة إلى 80 درجة وباستخدام صيغة شيرير على النحو التالي:

$$D = 0.9 \lambda / B \cos \theta \quad (2)$$

حيث تمثل D مع متوسط حجم البلورات، ويمثل λ الطول الموجي للإشعاع الوارد ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$)، ويمثل B العرض الكامل عند نصف الحد الأقصى (FWHM) لذروة الحيود الأكثر كثافة، و θ هي زاوية موضع الذروة.



الشكل (8.III): أنماط حيود الأشعة السينية (DRX) لمسحوق NiO NPs المحضر بطريقة التوليف الأخضر

باستعمال مستخلص *Portulaca oleracea L*.

يمثل الشكل (8.III) أنماط حيود الأشعة السينية لجسيمات النانو لأكسيد النيكل المصنوع حيويًا. أظهرت نتائج التشخيص بأن مركب أكسيد النيكل النانوي ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) ومن النوع المكعب (cubic)، ترتبط القمم التي شوهدت عند قيم 2θ البالغة 37.2 درجة و 43.3 درجة و 62.9 درجة و 75.4 درجة و 79.4 درجة في الجدول (3.III) على التوالي بمستويات البلورات (111) و (200) و (220) و (311) و (222) من أكسيد النيكل مع معلمات الشبكة $a = b = c = 4.177 \text{ \AA}$ ومجموعة التباعد $Fm-3 m$ وفقًا لبطاقة مرجع JCPDS رقم: [01-073-1519]. يُظهر نمط حيود الأشعة السينية قممًا ضيقة محددة جيدًا تشير إلى أن جسيمات أكسيد النيكل النانوية المصنعة نقية للغاية. تم حساب معدل الحجم البلوري (Crystallite size) وفق المعادلة (..) والتي كانت بحدود (17.6-19.3 nm) وهذه النتائج تبين أن أكسيد النيكل النانوي المحضر هو ضمن المقياس النانوي (Nanoscale). أوضحت المعلومات التي تم الحصول عليها من نتائج قياس حيود الأشعة السينية أنها تتفق مع النتائج التي تحصل عليها الباحث A.K.H. Bashir وجماعته سنة (2019) [17, 18].

جدول (3.III): المعلمات التركيبية التي تم الحصول عليها من فحص (DRX) لمسحوق NiO NPs المحضر

بطريقة التوليف الأخضر بواسطة مستخلص البقلة المباركة.

NO	(H K L)	D [\AA]	2Theta[deg]	I [%]
1	(1 1 1)	2.41200	37.249	61.0
2	(2 0 0)	2.08900	43.276	100.0
3	(2 2 0)	1.47680	62.879	35.0
4	(3 1 1)	1.25940	75.416	13.0
5	(2 2 2)	1.20580	79.409	8.0

III.9.3. نتائج طيف الأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه (FTIR)

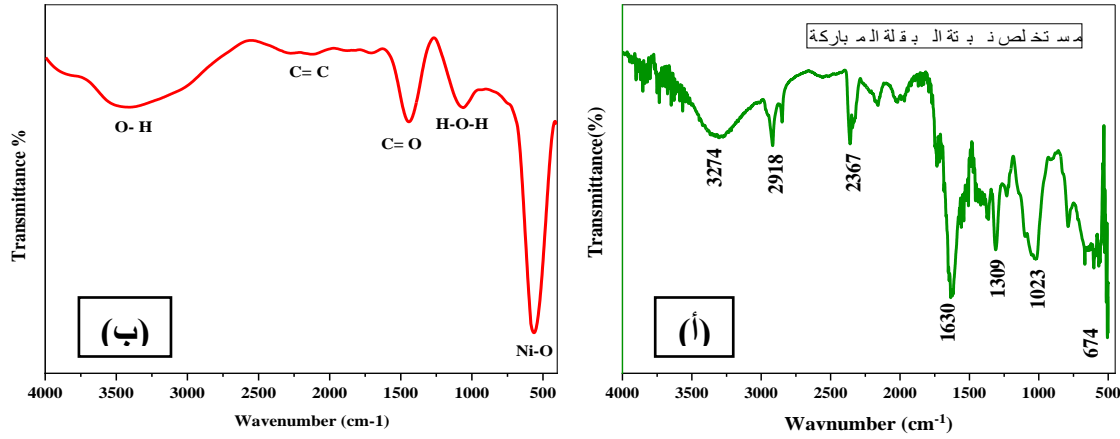
إن المستقلبات الثانوية لساق وأوراق نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea L*، والتي تشمل الفلافونويدات وأحماض التربينويك والسكريات المتعددة وحمض الفينول [15]، قادرة على العمل كعوامل تثبيت وتغطية. باختصار، عندما يذوب الملح في الماء، يتم إنشاء أيون النيكل المعدني وتحاول العوامل النشطة مثل الكيتون ومجموعات الهيدروكسيل تكوين رابط وإجبار الأيونات على الاختزال، مما يؤدي إلى تحويلها إلى جسيمات نانوية. يتكون مركب (Ni^{+2} -بوليفينول) بمجرد ارتباط أيون معدني بالربيطات ويمكن التقاط هذه العملية من خلال استخدام الأشعة تحت الحمراء. تم تسجيل الأطياف تحت الحمراء لعينات NiO NPs المختلفة ومستخلصات النباتات باستخدام جهاز من نوع ATR يعمل بين 4000-450 سم⁻¹.

تم استخدام تحليل FTIR لتحديد المجموعات الوظيفية الكيميائية الموجودة في مستخلص النبتة، وتأكيد تكوين نطاق Ni-O، وتحديد المكونات المشاركة في اختزال واستقرار جسيمات أكسيد النيكل النانوي. كشف طيف FTIR لمستخلص نبتة البقلة المباركة عن نطاقات متعددة عند 3274 و 2918 و 2367 و 1630 و 1309 سم⁻¹. يتوافق النطاقان العريضان اللذان ظهرا عند 3274 و 2918 سم⁻¹ مع وضع اهتزاز تمدد O-H [19]. يرتبط النطاق الضعيف الموجود عند 2367 سم⁻¹ بنمط اهتزاز التمدد $C \equiv N$ أو $C \equiv C$ [20]. بالإضافة إلى ذلك، تتوافق النطاقات التي تقع في مركز 1630 سم⁻¹ و 1309 سم⁻¹ مع نمط اهتزاز التمدد $C = C$ للجزيئات العطرية، واهتزاز أمينات N-H، واهتزاز $C = O$ للمجموعات الكربوكسيلية، والأميدات [21, 22]. تؤكد النطاقات العريضة الموضحة في أطياف المستخلصات أن المستخلصات غنية بالمركبات النشطة بيولوجيًا والتي قد تعمل كمخفضات ومثبتات أثناء عملية التخليق الحيوي لـ NiO NPs.

يوضح الشكل (III.11) العلاقة ما بين العدد الموجي والنفاذية باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR ومواقع وارتباطات المركبات الكيميائية ومواقع الأواصر لجسيمات أكسيد النيكل النانوية المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة كعامل أكسدة واختزال، إذ تشير النتائج إلى أن قمم الامتصاص ومواقعها كانت معتمدة بشكل كبير على التركيب البلوري والتركيب الكيميائي للأكسيد. يتوافق نطاق الامتصاص الذي يُرى عند 415 سم⁻¹ مع اهتزاز تمدد أكسيد النيكل (Ni-O) [23].

تم تحديد نطاق تمدد المجموعة الفينولية O-H من خلال ذروة الامتصاص العريضة عند 3438 سم⁻¹. وفي الوقت نفسه، فإن ذروة اهتزازات انحناء مجموعة H-O-H الموجودة عند 1442 سم⁻¹ ترجع إلى وجود الماء في رطوبة الغلاف الجوي حيث أجريت قياسات مطيافية الأشعة تحت الحمراء باستخدام تحويل فورييه في الهواء الطلق.

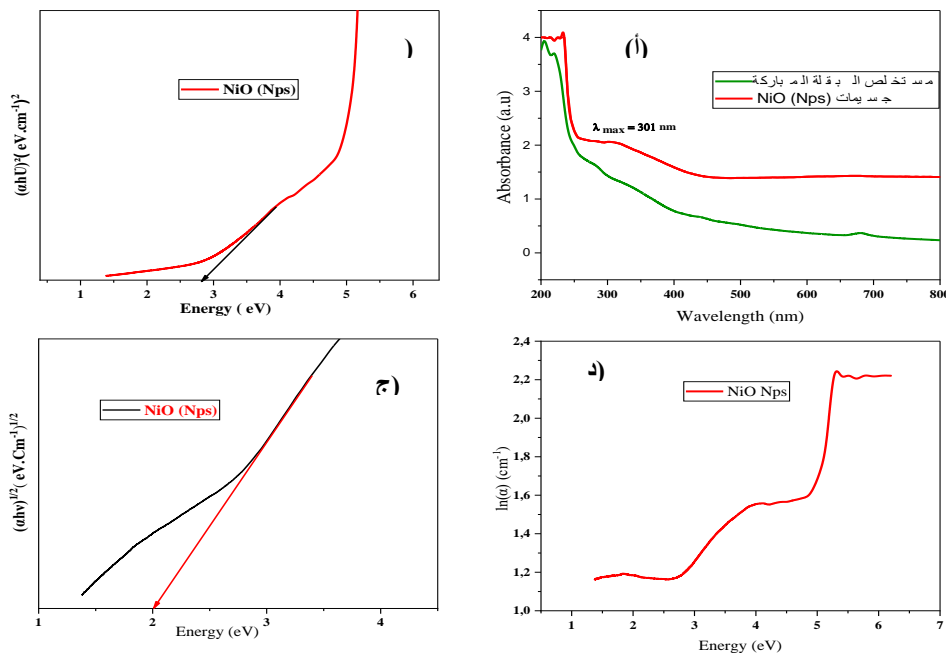
ظهر جزيء ثاني أكسيد الكربون الممتص من الهواء كأشرطة تُرى في النطاق 1500-1000 سم⁻¹ في شكل اهتزازات تمدد غير متماثلة وتمدد متماثل [24].



الشكل (9.III): طيف FTIR أ- مستخلص نبتة البقلة المباركة ب - لأكسيد النيكل النانوي المحضر بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص أوراق البقلة المباركة كعامل أكسدة واختزال.

9.III.4. نتائج التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV - Vis) لجسيمات أكسيد النيكل النانوي المحضر بطريقة التوليف الأخضر:

يمكن تقييم توليد واستقرار جسيمات النانو المعدنية وأكاسيد المعادن في المحاليل المائية باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية. بجهاز (Shimadzu 1800) يعمل في نطاق 900-200 نانومتر. تم إجراء التحليل في كوفيت كوارتز، باستخدام الماء المقطر كمذيب مرجعي. يظهر الشكل (11.III). أطيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لجسيمات النانو المصنوعة من أكسيد النيكل والتي تم إنشاؤها عند 450 درجة مئوية. تم اكتشاف ذروة عند 301 نانومتر وهي علامة على تخليق جسيمات النانو المصنوعة من أكسيد النيكل؛ كان هذا الامتصاص مختلفاً عن مستخلص نبات *Portulaca oleracea. L*. وبالمقارنة بالحالة العامة، فإنه يظهر تحولاً أزرق. وقد عُزيت هذه الذروة إلى انتقال الإلكترون من نطاق سعة الأكسجين 2p إلى نطاق توصيل النيكل 3d [25]. بالإضافة إلى ذلك، أشارت نتائج التحقيقات السابقة إلى وجود ذروة عند مناطق 319 و320 و299 نانومتر [25, 26].



الشكل (10.III): (أ) أطيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، (ب) فجوة الطاقة للتحويلات المباشرة (ج) وغير المباشرة و(د) طاقة Urbach لجسيمات النانو NiO.

يمكن تحديد نوع وقيمة فجوة النطاق الطاقة باستخدام الامتصاص الأساسي، والذي يتعلق بانتقال الإلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل. تم استخدام النهج الأكثر شهرة ومباشرة، وهو بحث الامتصاص الضوئي، لمعرفة فجوة النطاق الضوئي للجسيمات النانوية. يمكن تحديد نوع وقيمة فجوة النطاق الضوئي باستخدام الامتصاص الأساسي، والذي يتوافق مع انتقال الإلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل.

حيث α هو معامل الامتصاص و $(h\nu)$ يمثل طاقة الفوتون الوارد، وكلاهما يتعلق بالمعادلة التالية [27]

$$(\alpha h\nu) = A (h\nu - E_g^{opt})^n \quad (3)$$

حيث E_g^{opt} فجوة النطاق الطاقة، h هو ثابت بلانك، A هو ثابت خاص بالمادة، هو تردد الإشعاع الداخل، ويتم تحديد نوع انتقال الإلكترون بواسطة الثابت n ، حيث $n = 2$ للانتقال المباشر و $n = 1/2$ للانتقال غير المباشر. تم استخدام المعادلة لحساب فجوة النطاق الضوئي لجسيمات النانو NiO. يمكن تقدير طاقة فجوة النطاق الضوئي لانتقالات E_{g1}^{opt} المباشرة وغير المباشرة من خلال رسم $(\alpha h\nu)^2$ و $(\alpha h\nu)^{1/2}$ مقابل طاقة الفوتون $(h\nu)$. كما هو موضح في الشكل (19.III.ب وج) للوصول إلى قيم فجوة النطاق الضوئي، تم استقراء المقطع الخطي للمنحنى حتى وصل إلى محور الطاقة $(h\nu)$. يؤدي الاستقراء إلى $(h\nu\alpha)^2 = 0$ للانتقال المباشر و $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$ للانتقال غير المباشر إلى قيمة E_g^{opt} . النتائج موضحة في الجدول (4.III).

جدول (4.III): فجوات النطاق الطاقة المباشرة وغير المباشرة، وطاقات Urbach لجسيمات

النانو المصنعة من NiO.

طاقة Urbach (eV)	فجوة النطاق البصري غير المباشرة (eV)	فجوة النطاق الضوئية المباشرة (eV)	جسيمات النانو NiO
0.409	3.24	2.79	

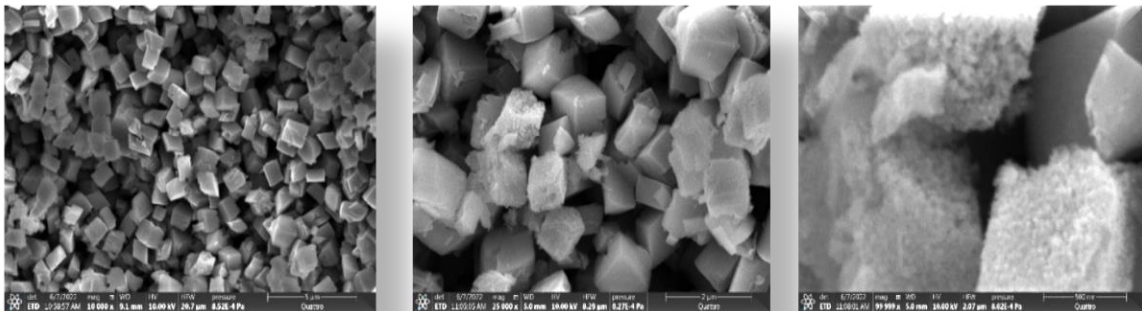
يمكن استخدام أطياف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لإيجاد طاقة ذيل النطاق أو طاقة Urbach (E_u). يتم حساب طاقة Urbach باستخدام القيم العكسية لمنحدرات المكون الخطي لـ $\ln(\alpha)$ مقابل طاقة الفوتون $h\nu$ (الشكل (19.III.ب وج)). يتم عرض قيم طاقة Urbach المحسوبة للعينينة في الجدول (4.III).

$$\ln\alpha = h\nu / E_u + \text{constant}(\ln\alpha_0) \quad (4)$$

تم تحديد طاقة Urbach عن طريق قسمة ميل جزء التوافق الخطي لمنحنى طاقة الفوتون على المعكوس. يتم تحديد الأخير من خلال الفرق في الطاقة بين طرفي ذبول نطاقي التكافؤ والتوصيل: كلما انخفضت هذه الطاقة، قل اضطراب المادة؛ ومع ذلك، يمكن أن يتغير الاضطراب اعتمادًا على وجود أكاسيد معدلة.

III.9.5. نتائج المجهر الإلكتروني الماسح الباعث للمجال (FE-SEM) لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة بطريقة التوليف الأخضر.

تمت دراسة السمات المورفولوجية السطحية للعينات المختلفة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM: JEOL-JSM-6390) المدعوم بالأشعة السينية ذات الطاقة التشتتية (EDX). يتم عرض صور FESEM لجسيمات النانو NiO في الشكل (III.12). وقد لوحظ أن الحبيبات صغيرة ومتباعدة بالتساوي على السطح. يمكن رؤية تجمع الجسيمات في صور جسيمات النانو NiO. يتسبب البعد النانوي للبلورة في التكتل، وتحتوي البلورات النانوية الصغيرة على قدر كبير من طاقة السطح.

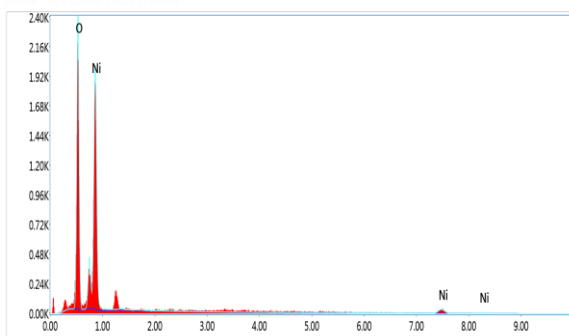


الشكل (III.11): صور FESEM لجسيمات النانو NiO.

III.9.6. نتائج التحليل الطيفي المشتت للطاقة لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة بطريقة التوليف الأخضر.

الشكل يثبت الطبيعة البلورية ونقاء الطور للعينة المنتجة. يتم عرض تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX) لجسيمات النانو NiO في الشكل (III.13) تتوافق القمم في أطراف EDX لجسيمات النانو NiO مع Ni وO. المعجون والشبكة المستخدمة لتحليل EDX هما مصدر المكونات C وCu في الشكل. كشف تحليل EDX فقط عن قمم واضحة لعناصر Ni وO؛ لم يتم العثور على أي قمم أخرى، مما يشير إلى أن المسحوق كما تم تصنيعه خالٍ من الملوثات.

يسرد الجدول (III.5) الوزن والنسب الذرية لجسيمات النانو NiO. يوضح هذا أن نسبة Ni:O في الجسيمات النانوية المصنعة ليست متكافئة القياس، أو مختلفة عن 1:1. يرتبط هذا عدم القياس بتغير في اللون، حيث يبدو NiO المتكافئ باللون الأخضر بينما يكون NiO غير المتكافئ باللون الأسود [22].



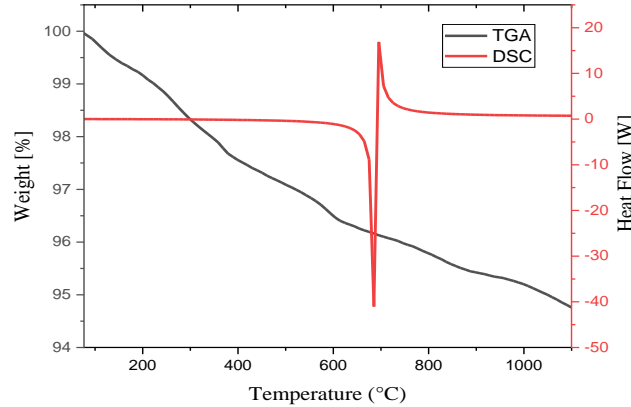
جدول (III.5): التحليل الكمي لـ NiO باستخدام

العنصر	الوزن %	النسبة الذرية %	نسبة الخطأ %
O K	38.86	69.98	7.08
Ni L	61.14	30.02	7.88

الشكل (III.12): EDX لـ NiO NPs

III.9.7. التحليل الحراري لجسيمات أكسيد النيكل المحضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة

المباركة بطريقة التوليف الأخضر.



الشكل (13.III): منحنيات DSC-TGA لجسيمات أكسيد النيكل النانوية.

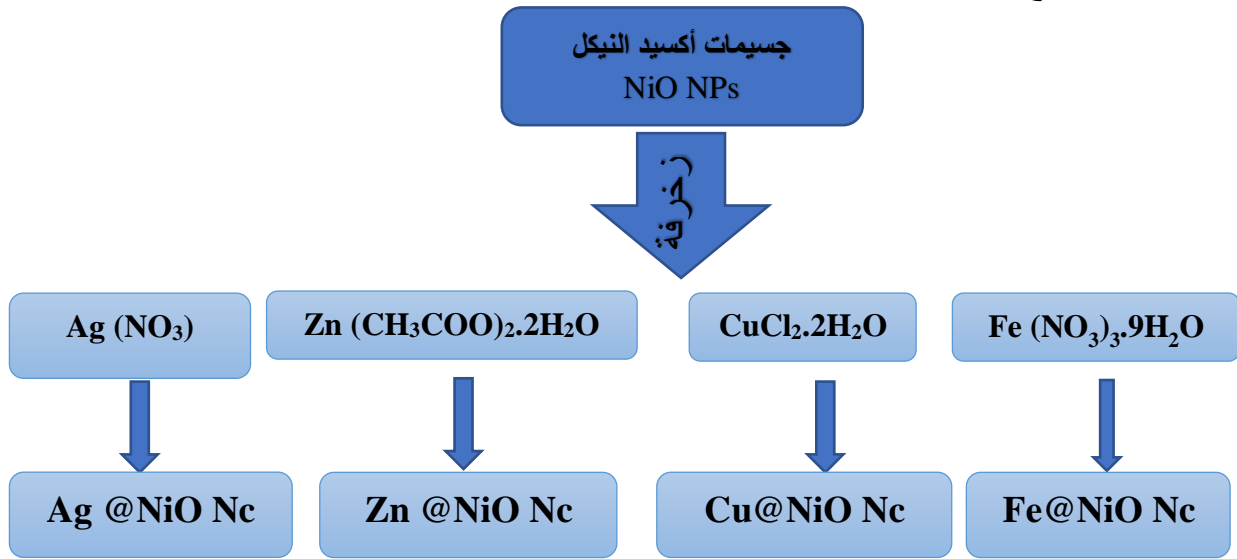
أفاد الباحثون سابقاً بنتائج التحلل الحراري للسلائف $\text{Ni}(\text{OH})_2$ [4, 22]، ولاحظوا أن المادة الأولية فقدت وزنها بين درجات حرارة 50 درجة مئوية و350 درجة مئوية، مما يشير إلى أن المادة الأولية تتحلل بالكامل عند 350 درجة مئوية لتصبح أكسيد النيكل. واستناداً إلى بيانات TGA، فقد اختاروا درجة حرارة 400 درجة مئوية للتحلل الكامل لـ $\text{Ni}(\text{OH})_2$ لإنتاج NiO . مع الأخذ في الاعتبار النتائج المذكورة أعلاه، نقدم نتيجة التحلل الحراري لجسيمات النانو NiO المتكونة بعد التخليص عند 400 درجة مئوية (673 كلفن) لمدة 3 ساعات. تظهر منحنيات TGA و DSC لجسيمات النانو NiO في الشكل (14.III) عندما وصلت درجة الحرارة إلى 220 درجة مئوية، شوهدت كمية صغيرة فقط من فقدان الكتلة (8.0%). تسارع فقدان الوزن بسرعة إلى (68.0%) أثناء مرحلة التسارع، والتي حدثت في نطاق درجة حرارة من 220 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية. فوق 400 درجة مئوية، كان هناك فقدان ثابت للوزن. في غضون ذلك، أظهرت منحنيات DSC قمم ماصة للحرارة (60 درجة مئوية و400 درجة مئوية) وطاردة للحرارة (350 درجة مئوية و380 درجة مئوية) (الشكل (15.III)). حدث فقدان الوزن أقل من 220 درجة مئوية نتيجة لتبخير الماء الممتص. يحدث فقدان الوزن في نطاق درجة حرارة 220 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية بسبب تحلل مكونات السلائف. تشير هذه النتيجة إلى أن السلائف تفككت تماماً إلى أكسيد النيكل عند 400 درجة مئوية. نظراً لأن تفاعل التحلل كان كاملاً تقريباً فوق 400 درجة مئوية، فقد حدث فقدان ثابت للوزن. وقد حدث التفاعل الطارد للحرارة نتيجة لأكسدة المادة المتحللة، في حين حدث التفاعل الماص للحرارة نتيجة لتحلل الماء. ونتيجة لذلك، تم إجراء عملية التخليص عند درجة حرارة 450 درجة مئوية.

III.10. تشويب السطوح النانوية

نظراً لنسبة السطح إلى الحجم عالية التي تتميز بها الدقائق المغناطيسية النانوية (كأكاسيد الحديد وأكاسيد النيكل النانوية)، لهذا لها فعالية سطح عالية. وبالتالي لها ميل للتكتل من أجل تقليل هذه الفعالية السطحية. بالإضافة إلى أن الدقائق المغناطيسية النانوية (MNPs) تمتلك نشاطاً كيميائياً مرتفعاً، لأنها تتأكسد بسهولة، مما يؤدي إلى فقدان الصفة المغناطيسية. بالإضافة إلى أن تجمع الدقائق أثناء التخليص يؤدي إلى إعطاء أحجام أكبر بالقياس. لذا وللمحافظة على استقرارية الدقائق يتم حمايتها عن طريق تغليف أو تشويب (أو زخرفة) سطحها بمواد ملائمة عضوية ولا عضوية وبوليميرية. كما أن طلاء سطوح من الممكن أن يؤدي إلى زيادة الاستقرار الكهروستاتيكي لقوى التأثيرات وبالتالي تمنع التكتل لهذه الدقائق [28]. لذلك سيتم في هذا البحث طلاء جسيمات أكسيد النيكل النانوية بأربعة معادن وهي الحديد والزنك والفضة والنحاس.

1.10.III تخليق المتراكبات النانوية (Ag@NiO و Cu@NiO و Zn@NiO و Fe@NiO)

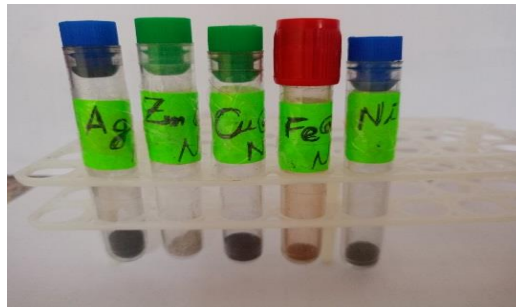
تم استخدام طريقة من الدراسات السابقة مع تعديلها لصنع المتراكبات النانوية من Zn@NiO و Fe@NiO و Cu@NiO و Ag@NiO [3, 29]. خلال ساعتين، يتم تحريك 0.8 جرام من جسيمات NiO NPs المحضرة سابقا بعناية في 70 مل من الماء المقطر. في كل مرة يضاف 70 مل من المحاليل ($\text{Fe (NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ و $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و $\text{Ag (NO}_3)_3$ و $\text{Zn (CH}_3\text{COO)}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) بتركيز 0.01 مول، ويُسمح للون المحلول بالتغير من الأسود إلى البني أو الرمادي، بعد إضافة 5 مل من NaOH بتركيز 0.1 مول والتحرك المستمر لمدة ساعتين. يُغسل الراسب الناتج مرارًا وتكرارًا بالماء منزوع الأيونات بعد ترسيبه بسرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 10 دقائق. يتم التجفيف عند درجة حرارة 100 درجة مئوية. تتضمن الخطوة الأخيرة تسخين المنتج لمدة ثلاث ساعات عند درجة حرارة 400 درجة مئوية لتصنيع جسيمات نانوية من أكسيد النيكل مزخرفة بالحديد والنحاس والفضة والزنك.



الشكل (14.III): مخطط توضيحي لعملية طلاء تشويب جسيمات أكسيد النيكل النانوية بالحديد والنحاس والزنك والفضة.

11.III النتائج والمناقشات

11.III.1 الملاحظات البصرية: بعد مرور نحو ساعة من إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم يتغير لون الرواسب من الأسود إلى الألوان الظاهرة في الصورة وهذا إنما يدل على أنه تم طلاء جسيمات أكسيد النيكل النانوية بالمعادن المذكورة سالفًا.



الشكل (15.III): صورة توضح المتراكبات النانوية لأكسيد النيكل المزخرف بالحديد والنحاس والزنك والفضة بعد التخليق.

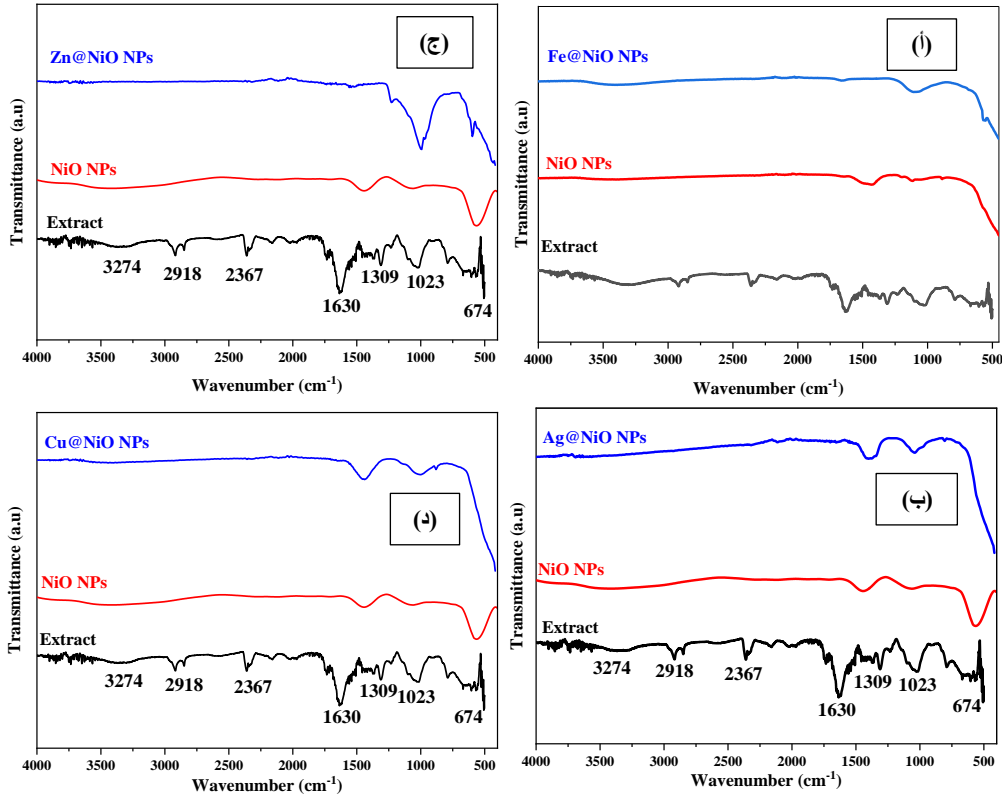
III.11.2. مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه (FTIR)

الشكل (III.10.أ) يوضح أطياف FTIR لجسيمات النانو Fe@NiO المحترقة عند 400 درجة مئوية. يمكن ملاحظة اهتزازات تمدد Fe-O بوضوح من خلال النطاق الأصغر في منطقة المعادن عند 564 سم⁻¹ [24]. وفي الوقت نفسه، تم تحديد وضع اهتزاز تمدد Ni-O في منطقة المعادن أيضاً، تماماً مع النطاق عند 682 سم⁻¹ (الشكل III.10.أ). تم تقديم اهتزازات تمدد ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لأطياف FTIR مع النطاقات الواقعة عند 1114 سم⁻¹ و 2331 سم⁻¹ و 1203 سم⁻¹ [30]. تحدد الذروة القوية عند 1643 سم⁻¹ اهتزازات ثني H-O-H، بينما يمكن ربط النطاقات حول 3404 سم⁻¹ بتمدد O-H لجزيئات الماء الممتصة.

بينما الشكل (III.10.ب) يوضح أطياف FTIR لجسيمات النانو Ag@NiO المحترقة عند 400 درجة مئوية. يمكن ملاحظة اهتزازات تمدد Ag-O بوضوح من خلال النطاق الأصغر في منطقة المعادن عند 805 سم⁻¹ [24]. وفي الوقت نفسه، تم تحديد وضع اهتزاز تمدد Ni-O في منطقة المعادن أيضاً، تماماً مع النطاق عند 707 سم⁻¹ (الشكل III.18.ج). تم تقديم اهتزازات تمدد ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لأطياف FTIR مع النطاقات الواقعة عند 1051 سم⁻¹ [30]. تحدد الذروة القوية عند 1337 سم⁻¹ اهتزازات ثني H-O-H، بينما يمكن ربط النطاقات حول 3404 سم⁻¹ بتمدد O-H لجزيئات الماء الممتصة.

وفي الشكل (III.18.ج) يوضح أطياف FTIR لجسيمات النانو Zn@NiO المحترقة عند 400 درجة مئوية. يمكن ملاحظة اهتزازات تمدد Zn-O بوضوح من خلال النطاق الأصغر في منطقة المعادن عند 592 سم⁻¹ [24]. وفي الوقت نفسه، تم تحديد وضع اهتزاز تمدد Ni-O في منطقة المعادن أيضاً، تماماً مع النطاق عند 415 سم⁻¹ (الشكل III.18.ج). تم تقديم اهتزازات تمدد ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لأطياف FTIR مع النطاقات الواقعة عند 989 سم⁻¹ و 1222 سم⁻¹ [30]. تحدد الذروة القوية عند 1538 سم⁻¹ اهتزازات ثني H-O-H، بينما يمكن ربط النطاقات حول 3592 سم⁻¹ بتمدد O-H لجزيئات الماء الممتصة.

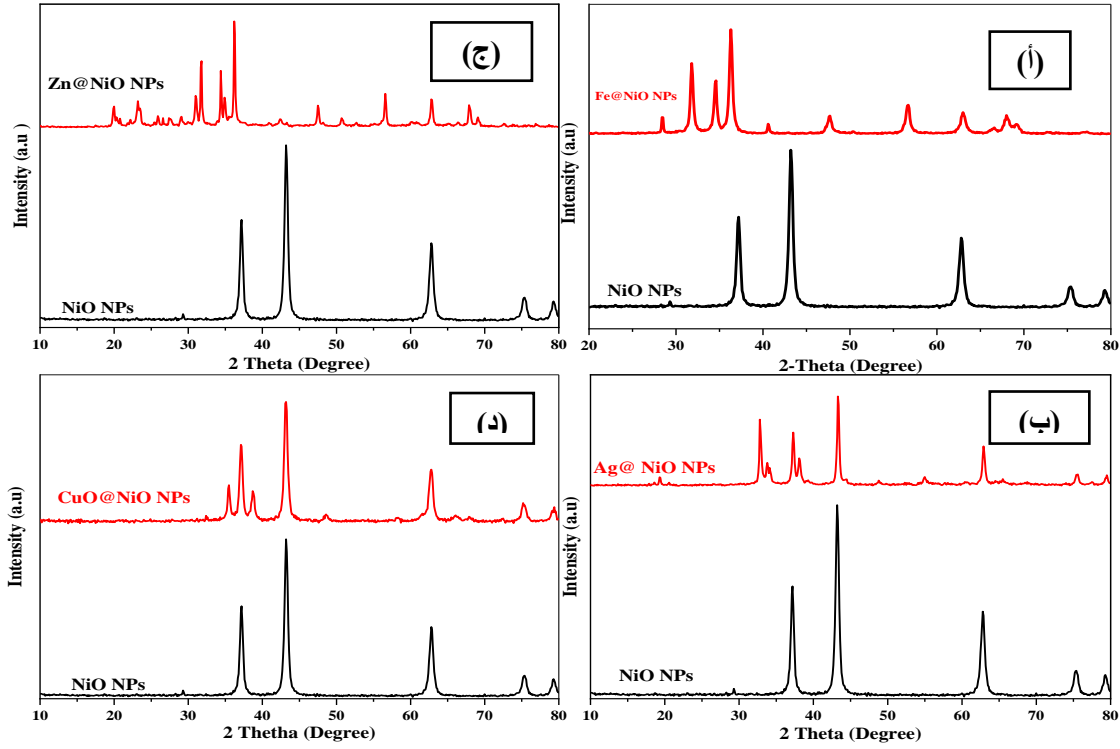
وأخيراً الشكل (III.18.د) يوضح أطياف FTIR لجسيمات النانو Cu@NiO المحترقة عند 400 درجة مئوية. يمكن ملاحظة اهتزازات تمدد Cu-O بوضوح من خلال النطاق الأصغر في منطقة المعادن عند 874 سم⁻¹ [24]. وفي الوقت نفسه، تم تحديد وضع اهتزاز تمدد Ni-O في منطقة المعادن أيضاً، تماماً مع النطاق عند 462 سم⁻¹ (الشكل III.18.د). تم تقديم اهتزازات تمدد ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لأطياف FTIR مع النطاقات الواقعة عند 1008 سم⁻¹ [30]. تحدد الذروة القوية عند 1440 سم⁻¹ اهتزازات ثني H-O-H، بينما يمكن ربط النطاقات حول 3475 سم⁻¹ بتمدد O-H لجزيئات الماء الممتصة.



الشكل (16.III): طيف الأشعة تحت الحمراء بتقنية تحويل فورييه لجسيمات نانوية من أكسيد النيكل المصنعة ومقارنتها بالمتراكبات النانوية (أ) المتراكب النانوي لأكسيد النيكل المزخرف بالحديد Fe@NiO، (ب) المتراكب النانوي لأكسيد النيكل المزخرف بالفضة Ag@NiO (ج) المتراكب النانوي لأكسيد النيكل المزخرف بالزنك Zn@NiO (د)، المتراكب النانوي لأكسيد النيكل المزخرف بالنحاس Cu@NiO والمصنعة جميعا باستخدام مستخلص نبات (*Portulaca oleracea*).

3.11.III. حيود مسحوق الأشعة السينية

يوضح الشكل (19.III أ) نمط حيود الأشعة السينية لمتراكب النانو Fe@NiO هناك تغيير كبير في مواضع ذروة الحيود لجسيمات النانو غير المزخرفة والمزخرفة بـ Fe، حيث ظهرت ذروات حيود جديدة عند 2θ وهي 18.4 و 30.3 و 35.7 و 37.3 و 43.4 و 53.8 و 57.4 و 63.02 ثم تم فهرستها على أنها (111) و (220) و (311) و (222) و (400) و (422) و (511) و (400) من مستويات Fe_3O_4 (الجدول 6.III). وقد وجد أن ثوابت الشبكة كانت على النحو التالي: $a = b = c = 8.3370 \text{ \AA}$ وتتوافق بشكل كبير مع بطاقة مرجع JCPDS رقم: [01-075-0149] وتنتمي إلى مجموعة التباعد $Fd-3 m$.



الشكل (1.III): نمط XRD لجسيمات NiO NPs ومقارنتها بالمتراكبات النانوية المصنعة: (أ) Fe@NiO Nc، (ب) Ag@NiO Nc و Zn@NiO Nc و Cu@NiO Nc.

جدول (6.III): بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من جسيمات نانوية من أكسيد النيكل وجسيمات نانوية من أكسيد الحديد بعد التخليق.

No	(h k l)	Fe@NiO NC			Fe ₃ O ₄ NPs		
		d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	(1 1 1)	4,903	19,356	7,86	4,81337	18,418	10,5
2	(2 2 0)	2,9475	31,012	1,96	2,94757	30,298	29,6
3	(3 1 1)	2,5213	36,001	1,05	2,51370	35,690	100,0
4	(2 2 2)	2,4149	37,20	52,8	2,40668	37,334	7,2
5	(4 0 0)	2,0903	43,25	100	2,08425	43,380	20,3
6	(4 2 2)	1,4896	54,917	6,77	1,70178	53,827	8,0
7	(5 1 1)	1,8531	57,384	13,56	1,60446	57,384	25,4
8	(4 4 0)	1,4737	62,84	43,38	1,47379	63,023	33,1

في حين نجد نمط حيود الأشعة السينية للمترابك النانوي Ag@NiO NC (الشكل (19.III.ب)) شهد تغيير كبير في مواضع ذروة الحيود لجسيمات النانو غير المزخرفة والمزخرفة بالفضة، حيث ظهرت ذروات حيود جديدة عند 20 وهي 37.26 و 43.31 و 62.90 و 75.47 تم فهرستها على أنها (111) و (200) و (220) و (311) من مستويات Ag₂O NPs (الجدول 7.III). وقد وجد أن ثوابت الشبكة كانت على النحو التالي: a = b = c = 4.7306 Å وتتوافق بشكل كبير دراسة سابقة [31] مع بطاقة مرجع JCPDS رقم: [01-004-0783] وتنتمي إلى مجموعة التباعد P n

.-3 m

جدول (7.III): بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من متراكبات نانوي من أكسيد النيكل المزخرف بالفضة وجسيمات نانوية من أكسيد الفضة بعد التكليل.

	Ag@NiO NC				AgO NPs ^[31]		
	(h k l)	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	(1 1 1)	2.4133	37.26	51.817	2.36180	38.1032	100
2	(2 0 0)	2.0834	43.31	100	2.04375	44.3229	20.00
3	(2 2 0)	1.4775	62.90	39.161	1.44591	64.4418	22.07
4	(3 1 1)	1.2596	75.47	10.599	1.23173	77.4198	18.04

يوضح الشكل (19.III ج) نمط حيود الأشعة السينية لمتراكبات النانو Zn@NiO لوحظ تغيير واضح في مواضع ذروة الحيود لجسيمات النانو غير المزخرفة والمزخرفة بالزنك، حيث ظهرت ذروات حيود جديدة عند 2θ وهي 31.65 و 34.18 و 36.13 و 47.201 و 656.4 و 62.73 و 67.86 و 72.50 و 76.92. تم فهرستها على أنها ZnO NPs (001) و (002) و (101) و (102) و (110) و (103) و (112) و (004) و (202) من مستويات ZnO NPs (الجدول 8.III). وقد وجد أن ثوابت الشبكة كانت على النحو التالي: $a = 3.2495 \text{ \AA}$ $c = 5.2069 \text{ \AA}$ وتتوافق بشكل كبير مع بطاقة مرجع JCPDS رقم: [01-075-0449] وتنتمي إلى مجموعة التباعد $P 63 m c$.

جدول (8.III): بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من متراكبات نانوي من أكسيد النيكل المزخرف بالزنك وجسيمات نانوية من أكسيد الزنك بعد التكليل.

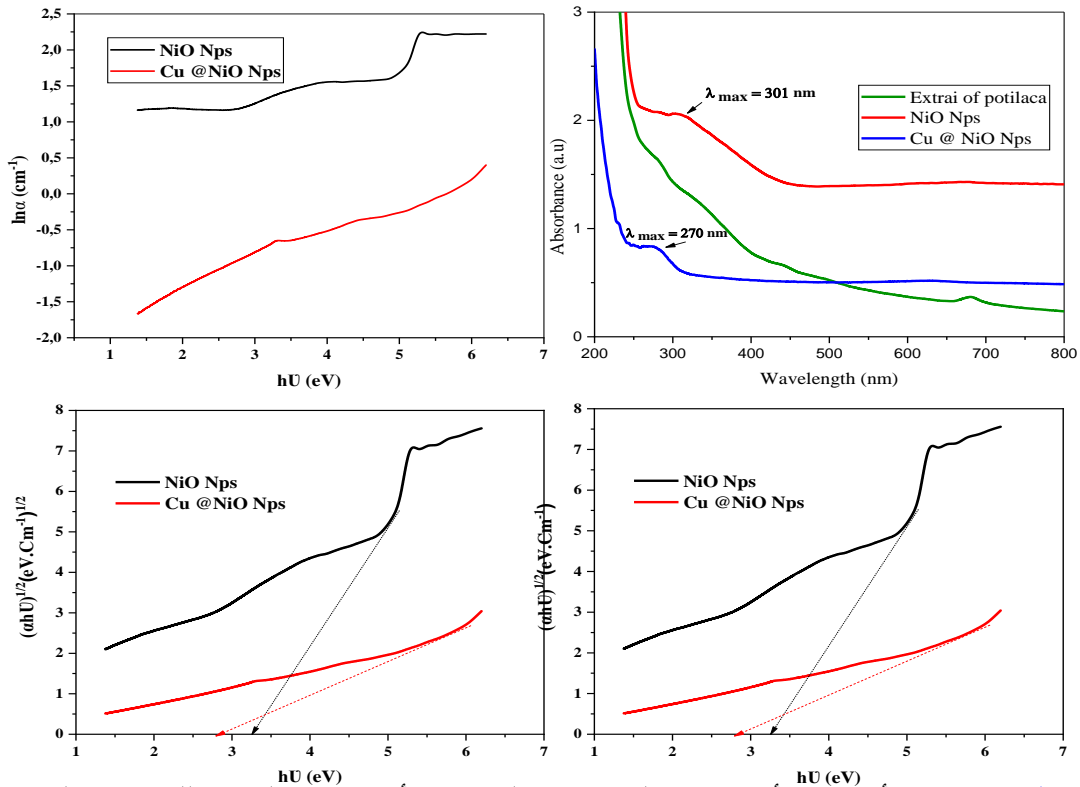
NO	Zn@NiO NC				ZnO NPs		
	(h k l)	D [Å ⁰]	2Theta[deg]	I [%]	D [Å ⁰]	2Theta[deg]	I [%]
1	(100)	2.8237	31.65	50.366	2.81467	31.766	56.5
2	(002)	2.6234	34.18	32.845	2.60355	34.419	41.5
3	(101)	2.4863	36.13	100	2.47608	36.251	100.0
4	(102)	1.9177	47.201	13,0	1.91127	47.536	21.1
5	(110)	1.6298	56.46	24.107	1.62505	56.591	30.5
6	(103)	1.4811	62.73	23.533	1.47738	62.852	26.8
7	(112)	2.4863	67.86	17.189	1.37856	67.942	21.7
8	(004)	1.3038	72.50	1.807	1.30177	72.560	1.7
9	(202)	1.2395	76.92	1.224	1.23804	76.953	3.3

نمط حيود الأشعة السينية لجسيمات المتراكب النانوي Cu@NiO NC موضحة الشكل (III.19.د) هناك فرق واضح في مواضع ذروة الحيود لجسيمات النانو غير المزخرفة والمزخرفة بالنحاس، حيث ظهرت ذروات حيود جديدة عند 2θ وهي 35.452 و35.543 و37.108 و38.708 و43.150 و43.263 تم فهرستها على أنها (0 1 1) و(0 0 2) و(1 1 1) و(2 2 0) و(2 0 2) و(-1 1 3) من مستويات CuO NPs (الجدول III.9). وقد وجد أن ثوابت الشبكة كانت على النحو التالي: $a=4,6853 \text{ \AA}$, $b=c=3,4257 \text{ \AA}$ وتتوافق بشكل كبير مع بطاقة مرجع JCPDS رقم: [00-045-0937] وتنتمي إلى مجموعة التباعد C2/c.

جدول (III.9): بيانات نمط حيود الأشعة السينية (XRD) من جسيمات نانوية من أكسيد النيكل وجسيمات نانوية من أكسيد النحاس بعد التكليل.

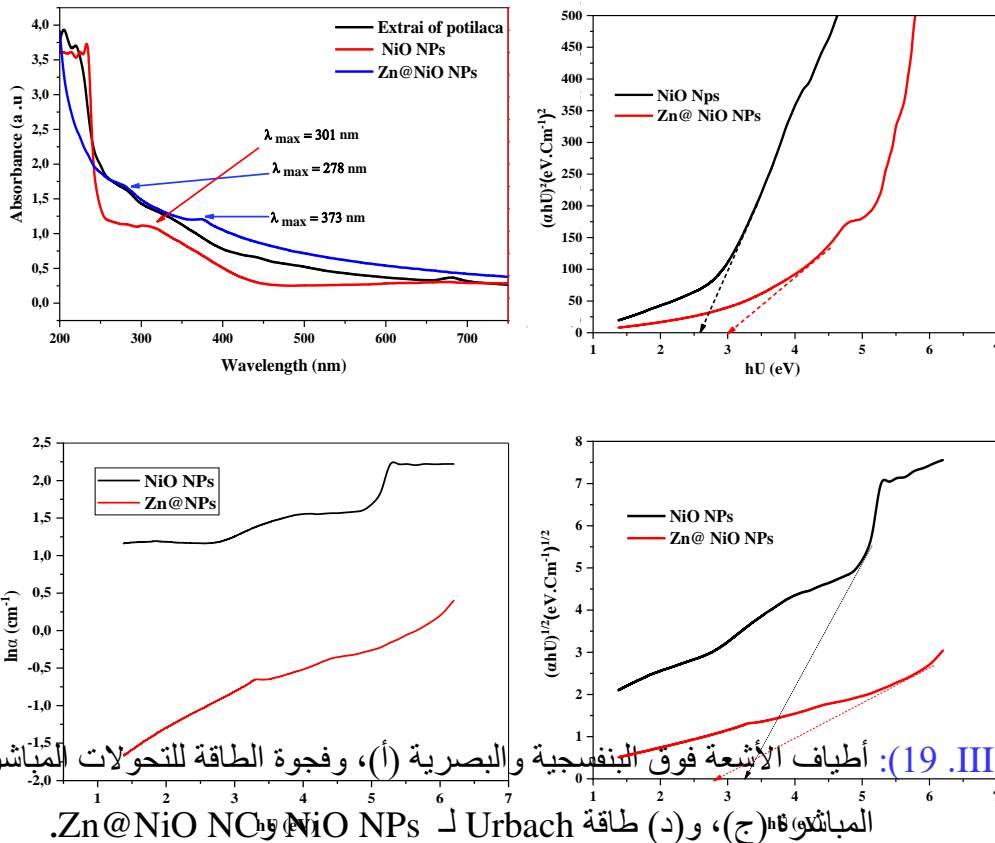
No	Cu@NiO NC				CuO NPs		
	(h k l)	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	(-1 1 0)	2.529	35.452	28.10	2.75300	32.497	8.0
2	(0 0 2)	2.529	35.543	14.05	2.52700	35.496	100.0
3	(1 1 1)	2.420	37.108	62.06	2.32300	38.731	91.0
4	(2 2 0)	2.324	38.708	22.22	2.31000	38.958	28.0
5	(-2 0 2)	2.094	43.150	100	1.86730	48.727	20.0
6	(-1 1 3)	2.094	43.263	50	1.71280	53.453	6.0

III.11.4. مطيافية الامتصاص المرئي والأشعة فوق البنفسجية

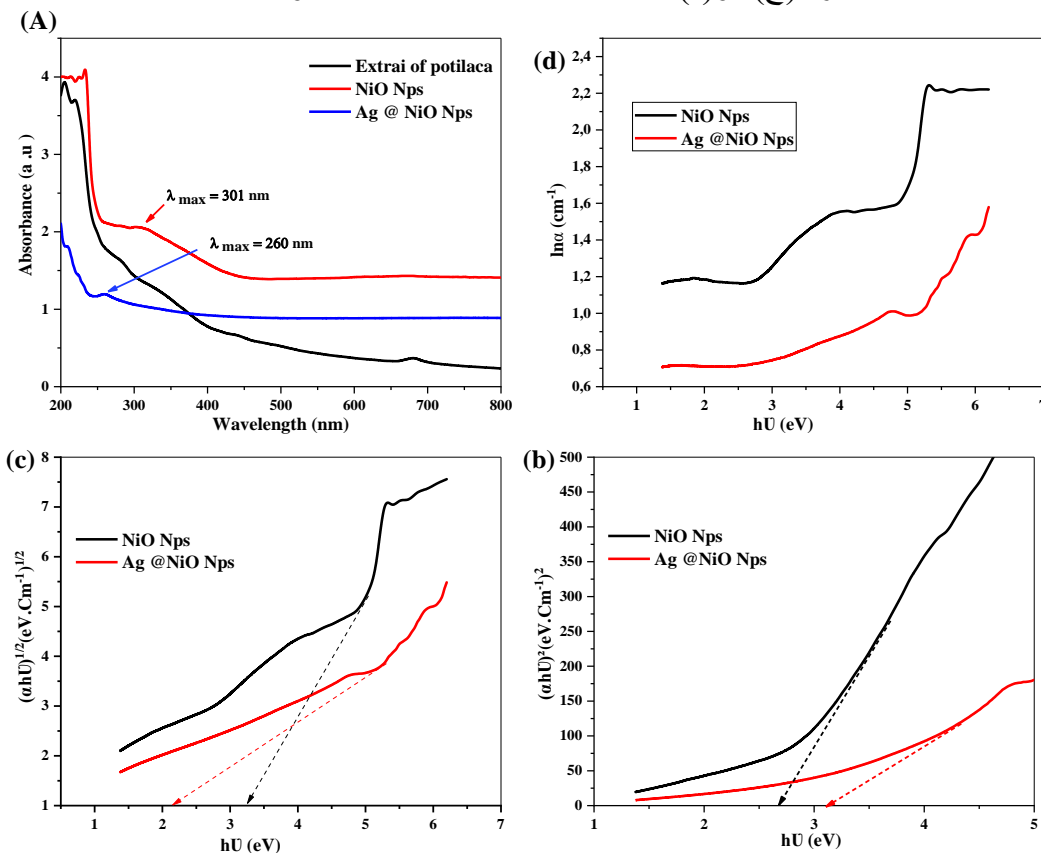


الشكل (III.19): أطيف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة للتحويلات المباشرة (ب) وغير

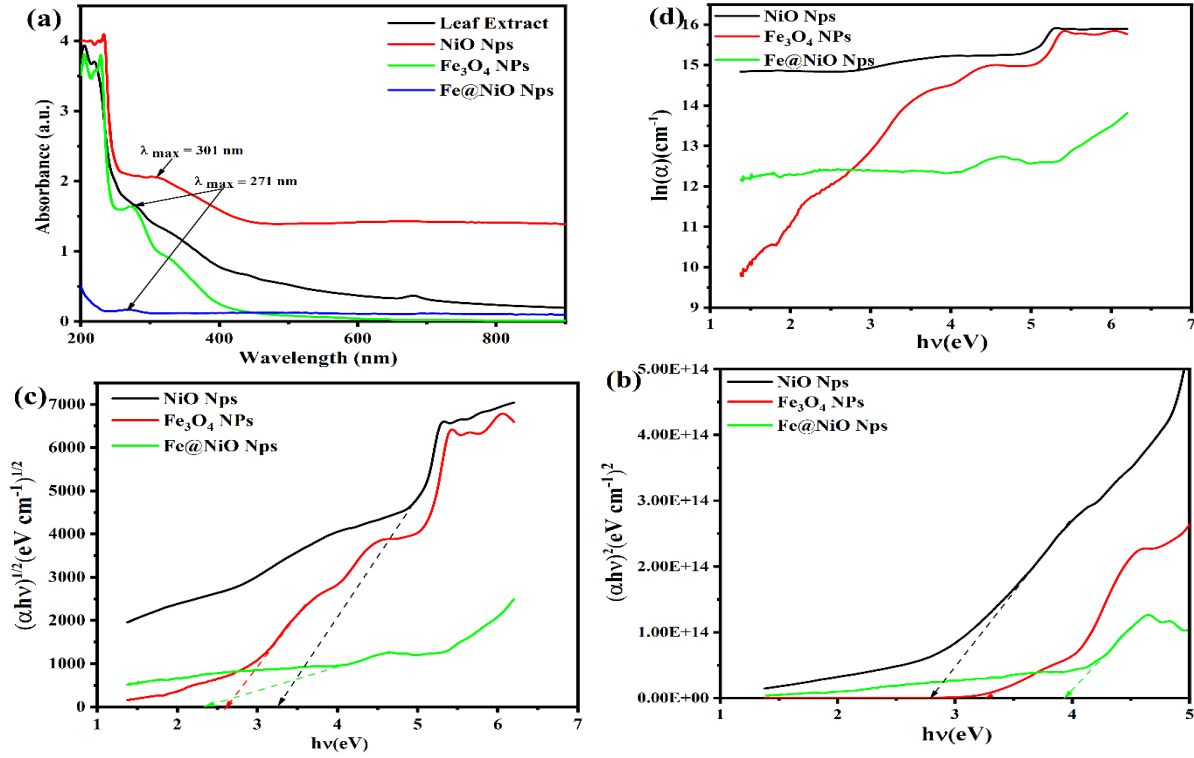
المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Cu@NiO NC.



الشكل (III.19): أطيف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و (د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Zn@NiO NPs.



الشكل (III.20): أطيف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة للتحويلات المباشرة (ب) وغير المباشرة (ج)، و (د) طاقة Urbach لـ NiO NPs و Ag@NiO NPs.



الشكل (21.III): أطيف الأشعة فوق البنفسجية والبصرية (أ)، وفجوة الطاقة الضوئية للتحويلات المباشرة (ب)

وغير المباشرة (ج)، و(د) طاقة Urbach لـ NiO و Fe₃O₄ و Fe@NiO NC

تظهر أطيف الامتصاص الضوئي لمتراكبات النيكل في الشكل (III.23.أ) عند مقارنتها بأكسيد النيكل، تكشف أطيف الامتصاص للمتراكبات عن تحول أزرق متواضع لحافة الامتصاص نحو أطوال موجية أقصر. نظرًا لأن حافة الامتصاص لأشباه الموصلات المتحللة تتحول إلى أطوال موجية أقصر مع زيادة تركيز الناقل، فإن هذا التحول هو نتيجة لتأثير Burstein-Moss (Burstein، 1954). نظرًا لانخفاض حجم الجسيمات، يشير هذا التحول نحو المنطقة الزرقاء إلى أن قيمة فجوة النطاق (E_g) ستزداد. يمكن تحديد نوع وقيمة فجوة النطاق الضوئية باستخدام الامتصاص الأساسي، والذي يتعلق بانتقال الإلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل. تم استخدام النهج الأكثر شهرة ومباشرة، وهو بحث الامتصاص الضوئي، لمعرفة فجوة النطاق الضوئي للجسيمات النانوية. يمكن تحديد نوع وقيمة فجوة النطاق الضوئي باستخدام الامتصاص الأساسي، والذي يتوافق مع انتقال الإلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل.

من خلال رسم $(\alpha h\nu)^2$ و $(\alpha h\nu)^{1/2}$ مقابل طاقة الفوتون ($h\nu$). كما هو موضح في الشكل (III.23.ج ود) للوصول إلى قيم فجوة النطاق الضوئي، تم استقراء المقطع الخطي للمنحنى حتى وصل إلى محور الطاقة ($h\nu$). يؤدي الاستقراء إلى $(h\nu\alpha)^2 = 0$ للانتقال المباشر و $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$ للانتقال غير المباشر إلى قيمة E_{opt} . كما هو موضح في الجدول 4 لمتراكبات النانو، فإن فجوة النطاق الضوئي لمتراكبات النانو أعلى من فجوة النطاق الضوئي لجسيمات النانو NiO بسبب تأثير الاحتواء الكمي [32].

يمكن استخدام أطيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لإيجاد طاقة ذيل النطاق أو طاقة Urbach. وقد اكتُشف بالنسبة لهياكل الجسيمات النانوية NiO والمتراكبات أنه مع زيادة حجم البلورة، تنخفض قيم طاقة Urbach أيضًا، مما يؤدي

إلى انخفاض التبلور والاضطراب البنيوي. يتم حساب طاقة Urbach Eu باستخدام القيم العكسية لمنحدرات المكون الخطي لـ $\ln(\alpha)$ مقابل طاقة الفوتون $h\nu$ (الشكل (III.118.ب)).

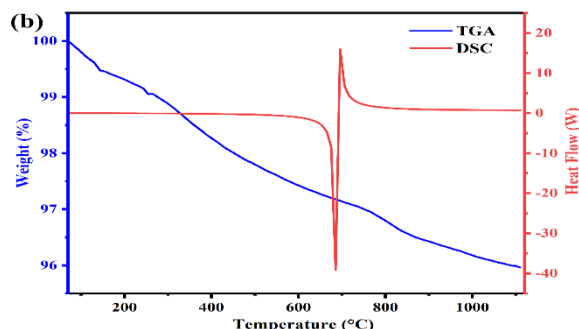
تم تحديد طاقة Urbach Eu عن طريق قسمة ميل جزء الملاءمة الخطية لمنحنى طاقة الفوتون على العكس. يتم تحديد الأخير من خلال الفرق في الطاقة بين طرفي ذيول نطاقي التكافؤ والتوصيل: فكلما انخفضت هذه الطاقة، قل اضطراب المادة؛ ومع ذلك، يمكن أن يتغير الاضطراب اعتمادًا على وجود أكاسيد معدلة.

جدول (III.10): فجوات النطاق الضوئي المباشرة وغير المباشرة، وطاقات Urbach لأكسيد النيكل النانوي NiO و مقارنتها بالمتراكبات النانوية المصنعة: Fe@NiO NC ، Ag@NiO NC ، Zn@NiO NC و Cu@NiO

		فجوة النطاق الضوئية المباشرة (eV)	فجوة النطاق البصري غير المباشرة (eV)	طاقة Urbach (eV)
NiO NPs	301	2.79	3.24	0.409
Fe@NiO	271	3.94	2.35	0.315
Zn@NiO	270	3.01	2.83	0.324
Cu@NiO	278	3.01	2.21	0.356
Ag@NiO	260	3.13	2.16	0.394

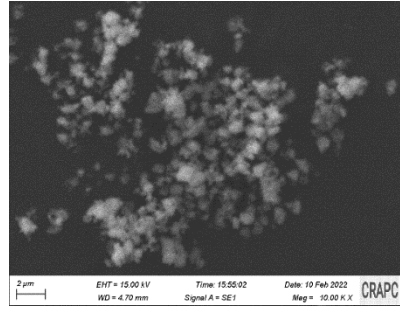
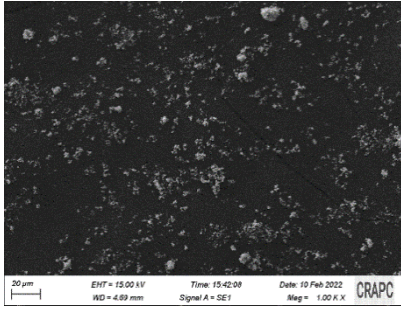
III.11.5. التحليل الحراري

أفاد الباحثون سابقاً بنتائج التحلل الحراري للسلائف Ni(OH)_2 [33]. ولاحظوا أن السلائف فقدت وزنها بين درجات حرارة 50 درجة مئوية و 350 درجة مئوية، مما يشير إلى أن السلائف تتحلل تمامًا عند 350 درجة مئوية لتصبح أكسيد النيكل. واستنادًا إلى بيانات TGA، فقد اختاروا درجة حرارة 400 درجة مئوية للتحلل الكامل لـ Ni $(\text{OH})_2$ لإنتاج NiO. ونتيجة لذلك، مع الأخذ في الاعتبار النتائج المذكورة أعلاه، نقدم نتيجة التحلل الحراري لجسيمات النانو NiO و Fe@NiO المتكونة بعد التكليس عند 400 درجة مئوية (673 كلفن) لمدة 3 ساعات. فوق 400 درجة مئوية، كان هناك فقدان ثابت للوزن. وفي الوقت نفسه، أظهرت منحنيات DSC قممًا ماصة للحرارة (60 درجة مئوية و 400 درجة مئوية) وطاردة للحرارة (350 درجة مئوية و 380 درجة مئوية) (الشكل (III.24)). حدث فقدان الوزن تحت 220 درجة مئوية نتيجة لتبخير الماء الممتص. يحدث فقدان الوزن في نطاق درجة الحرارة من 220 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية بسبب تحلل مكونات السلف. تعني هذه النتيجة أن السلف تفكك تمامًا إلى أكسيد النيكل عند 400 درجة مئوية. نظرًا لأن تفاعل التحلل كان مكتملاً تقريبًا فوق 400 درجة مئوية، فقد حدث فقدان ثابت للوزن. حدث التفاعل الطارد للحرارة نتيجة لأكسدة المادة المتحللة، في حين تُسبب التفاعل الماص للحرارة إلى تحلل الماء. ونتيجة لذلك، تم إجراء التكليس عند 450 درجة مئوية.



الشكل (III.22): منحنيات DSC-TGA للمترابك النانوي أكسيد النيكل المزخرف بالحديد Fe@NiO .

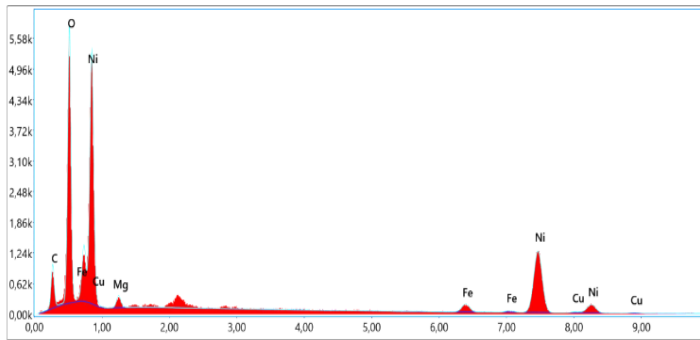
III.11.6. تحليل FESEM



الشكل (III.23): المجهر الإلكتروني الماسح لجسيمات أكسيد النيكل النانوية المزخرفة Fe@NiO NC.

توضح صور FESEM لـ Fe@NiO NC أن حجم الجسيمات متجانس بشكل أساسي. إن الانخفاض في حجم الحبيبات الناتج عن إضافة أيونات Fe إلى NiO يعني زيادة في إجهاد المصفوفة ويحد من توسع الشبكة [34].

III.11.7. تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة



الشكل (III.24): EDX لـ Fe@NiO NC.

يتم عرض تحليل الأشعة السينية المشتتة للطاقة (EDX) لجسيمات النانو المركب Fe@NiO في الشكل تتوافق القمم في أطياف EDX لجسيمات النانو NiO مع Ni و O. المعجون والشبكة المستخدمة لتحليل EDX هما مصدر المكونات C و Cu في الشكل. كشف تحليل EDX فقط عن قمم واضحة لعناصر Ni و O، لم يتم العثور على أي قمم أخرى، مما يشير إلى أن المسحوق كما تم تصنيعه خالٍ من الملوثات. تلتصق قمة Fe بالتشويب المناسب لـ Fe في مصفوفة NiO لعينة Fe@NiO.

يسرد الجدول (III.11) الوزن والنسب الذرية لجسيمات النانو NiO. يوضح هذا أن نسبة Ni:O في الجسيمات النانوية المصنعة ليست متكافئة القياس، أو مختلفة عن 1:1. يرتبط هذا عدم القياس بتغير في اللون، حيث يبدو NiO المتكافئ باللون الأخضر بينما يكون NiO غير المتكافئ باللون الأسود [33]. يتبع عدم القياس في Fe@NiO تحول في اللون، حيث يكون Fe@NiO الدقيق من الناحية المتكافئة باللون الأسود ويكون Fe@NiO غير المتكافئ باللون البني. تنطبق نفس الملاحظات على نسب NiO غير المتساوية.

جدول (III.11): التحليل الكمي لـ Fe@NiO باستخدام EDX.

العنصر	الوزن %	% النسبة الذرية	نسبة الخطأ %
C K	8.92	22.07	10.71
O K	22.69	42.13	7.12
Mg K	1.61	1.96	13.01
Fe K	4.37	2.32	9.64
Ni K	60.75	30.74	3.58
Cu K	1.66	0.78	36.7

- [1] M. F. Zayed and W. H. Eisa, "Phoenix dactylifera L. leaf extract phytosynthesized gold nanoparticles; controlled synthesis and catalytic activity," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 121, pp. 238-244, 2014.
- [2] T. Klaus, R. Joerger, E. Olsson, and C.-G. Granqvist, "Silver-based crystalline nanoparticles, microbially fabricated," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 96, pp. 13611-13614, 1999.
- [3] H. Daoudi, A. Bouafia, S. Meneceur, S. E. Laouini, H. Belkhalifa, R. Lebhihi, *et al.*, "Secondary metabolite from nigella sativa seeds mediated synthesis of silver oxide nanoparticles for efficient antioxidant and antibacterial activity," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 32, pp. 4223-4236, 2022.
- [4] T. M. Laid, K. Abdelhamid, L. S. Eddine, and B. Abderrhmane, "Optimizing the biosynthesis parameters of iron oxide nanoparticles using central composite design," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1229, p. 129497, 2021.
- [5] M. L. Tedjani, A. Khelef, S. E. Laouini, A. Bouafia, and N. Albalawi, "Optimizing the antibacterial activity of iron oxide nanoparticles using central composite design," *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, vol. 32, pp. 3564-3582, 2022.
- [6] A. Bouafia, S. E. Laouini, M. L. Tedjani, G. A. Ali, and A. Barhoum, "Green biosynthesis and physicochemical characterization of Fe₃O₄ nanoparticles using Punica granatum L. fruit peel extract for optoelectronic applications," *Textile Research Journal*, vol. 92, pp. 2685-2696, 2022.
- [7] Y. Belaiche, A. Khelef, S. E. Laouini, A. Bouafia, M. L. Tedjani, and A. Barhoum, "Green synthesis and characterization of silver/silver oxide nanoparticles using aqueous leaves extract of Artemisia herba-alba as reducing and capping agents," *Revista Romana de Materiale*, vol. 51, pp. 342-352, 2021.
- [8] M. L. Ben Amor, S. Zeghdi, S. E. Laouini, A. Bouafia, and S. Meneceur, "pH reaction effect on biosynthesis of CuO/Cu₂O nanoparticles by Moringa oleifera leaves extracts for antioxidant activities," *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, vol. 53, pp. 437-447, 2023.
- [9] B. Abderrhmane, "Optimisation de biosynthèse des nanoparticules d'oxyde de fer par l'utilisation de différents extraits des plantes et évaluation de leur activité biologique," Université d'El-Oued, 2022.
- [10] C. L. Keat, A. Aziz, A. M. Eid, and N. A. Elmarzugi, "Biosynthesis of nanoparticles and silver nanoparticles," *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 2, pp. 1-11, 2015.
- [11] V. Makarov, A. Love, O. Sinitsyna, S. Makarova, I. Yaminsky, M. Taliansky, *et al.*, "'Green' nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants," *Acta Naturae (англоязычная версия)*, vol. 6, pp. 35-44, 2014.
- [12] M. Imran Din and A. Rani, "Recent advances in the synthesis and stabilization of nickel and nickel oxide nanoparticles: a green adeptness," *International journal of analytical chemistry*, vol. 2016, p. 3512145, 2016.
- [13] P. Kuppusamy, M. M. Yusoff, G. P. Maniam, and N. Govindan, "Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications—An updated report," *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 24, pp. 473-484, 2016.
- [14] O. V. Kharissova, H. R. Dias, B. I. Kharisov, B. O. Pérez, and V. M. J. Pérez, "The greener synthesis of nanoparticles," *Trends in biotechnology*, vol. 31, pp. 240-248, 2013.
- [15] A. K. Mittal, Y. Chisti, and U. C. Banerjee, "Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts," *Biotechnology advances*, vol. 31, pp. 346-356, 2013.
- [16] J. Iqbal, B. A. Abbasi, R. Ahmad, M. Mahmoodi, A. Munir, S. A. Zahra, *et al.*, "Phytogenic synthesis of nickel oxide nanoparticles (NiO) using fresh leaves extract of Rhamnus triquetra (wall.) and investigation of its multiple in vitro biological potentials," *Biomedicines*, vol. 8, p. 117, 2020.
- [17] V. Helan, J. J. Prince, N. A. Al-Dhabi, M. V. Arasu, A. Ayeshamariam, G. Madhumitha, *et al.*, "Neem leaves mediated preparation of NiO nanoparticles and its magnetization, coercivity and antibacterial analysis", *Results in physics*, vol. 6, pp. 712-718, 2016.
- [18] N. Acharyulu, R. Dubey, V. Swaminadham, P. Kollu, R. Kalyani, and S. Pammi, "Green synthesis of CuO nanoparticles using Phyllanthus amarus leaf extract and their antibacterial activity against multidrug resistance bacteria," *Int J Eng Res Technol*, vol. 3, p. p. pp, 2014.
- [19] S. Meneceur, H. Hemmami, A. Bouafia, S. E. Laouini, M. L. Tedjani, D. Berra, *et al.*, "Photocatalytic activity of iron oxide nanoparticles synthesized by different plant extracts for the degradation of diazo dyes Evans blue and Congo red," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, pp. 5357-5372, 2024.
- [20] A. Olajire and A. Mohammed, "Green synthesis of nickel oxide nanoparticles and studies of their photocatalytic activity in degradation of polyethylene films," *Advanced Powder Technology*, vol. 31, pp. 211-218, 2020.

- [21] R. N. Oliveira, M. C. Mancini, F. C. S. d. Oliveira, T. M. Passos, B. Quilty, R. M. d. S. M. Thiré, *et al.*, "FTIR analysis and quantification of phenols and flavonoids of five commercially available plants extracts used in wound healing," *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 21, pp. 767-779, 2016.
- [22] J. A. A. Abdullah, L. S. Eddine, B. Abderrhmane, M. Alonso-González, A. Guerrero, and A. Romero, "Green synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles by pheonix dactylifera leaf extract and evaluation of their antioxidant activity," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 17, p. 100280, 2020.
- [23] Z. Wei, H. Qiao, H. Yang, C. Zhang, and X. Yan, "Characterization of NiO nanoparticles by anodic arc plasma method," *Journal of alloys and compounds*, vol. 479, pp. 855-858, 2009.
- [24] R. Krishnakanth, G. Jayakumar, A. A. Irudayaraj, and A. D. Raj, "Structural and magnetic properties of NiO and Fe-doped NiO nanoparticles synthesized by chemical co-precipitation method," *Materials today: proceedings*, vol. 3, pp. 1370-1377, 2016.
- [25] A. Miri, F. Mahabbati, A. Najafidoust, M. J. Miri, and M. Sarani, "Nickel oxide nanoparticles: biosynthesized, characterization and photocatalytic application in degradation of methylene blue dye," *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, vol. 52, pp. 122-131, 2022.
- [26] A. K. Singh, M. Talat, D. Singh, and O. Srivastava, "Biosynthesis of gold and silver nanoparticles by natural precursor clove and their functionalization with amine group," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 12, pp. 1667-1675, 2010.
- [27] M. Mohammadijoo, Z. N. Khorshidi, S. Sadrnezhaad, and V. Mazinani, "Synthesis and characterization of nickel oxide nanoparticle with wide band gap energy prepared via thermochemical processing," *Nanosci. Nanotechnol. Int. J.*, vol. 4, pp. 6-9, 2014.
- [28] D. Predoi, "A study on iron oxide nanoparticles coated with dextrin obtained by coprecipitation," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 2, pp. 169-173, 2007.
- [29] Y. Zidane, S. E. Laouini, A. Bouafia, S. Meneceur, M. L. Tedjani, S. A. Alshareef, *et al.*, "Green synthesis of multifunctional MgO@ AgO/Ag₂O nanocomposite for photocatalytic degradation of methylene blue and toluidine blue," *Frontiers in Chemistry*, vol. 10, p. 1083596, 2022.
- [30] G. Jayakumar, A. A. Irudayaraj, and A. D. Raj, "Photocatalytic degradation of methylene blue by nickel oxide nanoparticles," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 11690-11695, 2017.
- [31] M. Venkatesham, D. Ayodhya, A. Madhusudhan, and G. Veerabhadram, "Synthesis of stable silver nanoparticles using gum acacia as reducing and stabilizing agent and study of its microbial properties: A novel green approach," *International journal of green nanotechnology*, vol. 4, pp. 199-206, 2012.
- [32] C. Wang, D. Wu, P. Wang, Y. Ao, J. Hou, and J. Qian, "Effect of oxygen vacancy on enhanced photocatalytic activity of reduced ZnO nanorod arrays," *Applied Surface Science*, vol. 325, pp. 112-116, 2015.
- [33] S. Vivek, P. Arunkumar, and K. S. Babu, "In situ generated nickel on cerium oxide nanoparticle for efficient catalytic reduction of 4-nitrophenol," *RSC advances*, vol. 6, pp. 45947-45956, 2016.
- [34] G. Kortüm, *Reflectance spectroscopy: principles, methods, applications*: Springer Science & Business Media, 2012.

الفصل الرابع



تطبيقات المتراكبات النانوية

خاتمة

IV. مقدمة :

في إطار التطور التكنولوجي المذهل الذي يشهده عالمنا اليوم في مختلف المجالات بشكل عام، أصبحت هذه المجالات تتطلع بفارغ الصبر إلى عائلات جديدة من المواد غير التقليدية، تسمى المواد المتقدمة، وفي مقدمتها المواد النانوية المركبة. تحتاج الصناعات إلى مواد غير مألوفة تجمع بين خصائص فريدة ومتعددة لا تتوفر مجتمعة في أي من المواد التقليدية المعروفة مثل المواد المعدنية، والمواد الخزفية، والبوليمرات. تعتبر المواد النانوية من أهم فئات المواد المتقدمة التي ظهرت في نهاية القرن الماضي نتيجة تزاوج العقل البشري بقدراته الإبداعية مع التقنيات الحديثة في مجال إنتاج المواد الهندسية. وهي تفتح بذلك أفقاً مستقبلياً مشرقة مع اقتراب العالم من العقد الثالث من ألفيته الثالثة، مما يضيف آمالاً واسعة في حل المشاكل التي أصبحت مستعصية على الحل. وهنا ثلاث تطبيقات للمتراكبات المحضرة من طلاء جسيمات أكسيد النيكل النانوية.

1.IV. إزالة صبغة أزرق الميثيلين:

1.IV.1. مقدمة:

الصبغة بحكم تعريفها هي مادة قوية اللون تتفاعل مع الوسط الذي تدخل فيه، وتلونها بإدابتها ونشرها هناك. تتمتع الصبغة عموماً بقدرة عالية جداً على الارتباط بمعظم المواد عن طريق الصباغة أو الطباعة [1]. الأصباغ هي عموماً مركبات عضوية. هناك الأصباغ الطبيعية والاصطناعية. وتستخدم هذه الأصباغ في مجالات صناعية مختلفة. يتم إنتاج أكثر من 100.000 صبغة مختلفة سنوياً في جميع أنحاء العالم، ويتم تفريغ 8-12% من الأصباغ غير المستخدمة مباشرة في البيئات الطبيعية؛ في أغلب الأحيان الأنهار. تسببت هذه التصريفات الملونة في حدوث مشكلات بيئية مختلفة وتشكل خطورة على بعض الكائنات الحية. وبالتالي فإن معالجة هذه النفايات السائلة الملونة أمر ضروري لحماية البيئة.

أصبح من الضروري إيجاد إجراءات أفضل لإنتاج المياه النظيفة للاستهلاك، لأن ندرة المياه العذبة هي عامل يهدد وجود الإنسان [2]. تلوث المياه يعرف على أنه تغير في خصائص الماء سواء كانت تغيرات فيزيائية أو كيميائية مما يؤثر بصورة سلبية على الكائنات الحية، وبالتالي يجعل المياه غير صالحة للاستخدام. غالباً ما يتم تفريغ الملوثات السامة. المعادن الثقيلة والأصباغ هما الملوثان الرئيسيان في المياه البحرية والصناعية مياه الصرف الصحي [3]. تستعمل العديد من التقنيات لمعالجة مشكلة تلوث المياه مثل الترسيب، والأكسدة الكيميائية، والتخثر، والتهوية والتعويم، والتناضح العكسي، والترشيح النانوي، وكذلك الترسيب الكيميائي، والتبادل الأيوني، والفصل باستخدام الأغشية والتحفيز الضوئي [4-7]. إلا أنه في الوقت الحاضر تعد عملية الامتزاز من أهم وأكثر الطرق كفاءة لمعالجة والتخلص من أنواع الملوثات في المياه.

1.IV.2. التحفيز الضوئي

1.IV.2.أ. التعريف

يعد التحفيز الضوئي بحد ذاته تقنية ناشئة، مما يؤدي إلى توليد الأبحاث والتطبيقات في جميع أنحاء العالم. وهو يوفر مزايا كبيرة مقارنة بالتقنيات الأخرى المستخدمة، مما يسمح بالتعدين الكامل للملوثات مع احترام سلامة البيئة [8]. من الناحية اللغوية، تتألف كلمة التحفيز الضوئي photocatalyse من ثلاث كلمات يونانية (photo) صور، (kata) ضوء لأسفل أو للخلف و (lysis) يذوب أو يتحلل. وبالتالي فإن التحفيز الضوئي هو نشاط مادة تسمى "المحفز الضوئي"، والذي يزيد من سرعة التفاعل الكيميائي الممكن ديناميكياً تحت تأثير الضوء دون التدخل في معادلة توازن التفاعل [9]. الذي يحدث في النباتات. يعتبر الكلوروفيل محفزاً ضوئياً طبيعياً نموذجياً. الفرق بين المحفزات الضوئية القائمة على الكلوروفيل والمحفزات الضوئية المصنوعة من أشباه الموصلات الاصطناعية؛ يلتقط الكلوروفيل ضوء الشمس ويحول الماء وثاني أكسيد الكربون (CO_2) إلى أكسجين (O_2) وجلوكوز، لكن المحفزات الضوئية شبه الموصلية تولد مؤكسيدات قوية وثقوب إلكترونية، في وجود المحفزات الضوئية، يتم تحليل المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون والماء (H_2O)، والضوء والماء [10].

1.IV.2.ب.العوامل المؤثرة على نشاط التحفيز الضوئي

واليوم، يمثل التحفيز الضوئي حلاً شاملاً لمشكلة تلوث طبقة المياه الجوفية، لأنه يعمل على أكسدة المواد العضوية إلى منتجات أساسية أقل سمية. لقد حظيت عملية التحلل هذه باهتمام كبير في السنوات الأخيرة باعتبارها عملية تنقية مياه لإزالة الملوثات العضوية الدقيقة (مثل المذيبات والمبيدات الحشرية) وقد ثبت مؤخرًا أنها عملية فعالة لتنقية الهواء (إزالة الروائح و/أو المركبات العضوية المتطايرة)^[11]. تؤثر العديد من العوامل على نشاط التحفيز الضوئي مثل^[12]: تأثير مساحة السطح المحددة وحجم الجسيمات. التحلل الضوئي المباشر. تأثير الرقم الهيدروجيني. التركيز الأولي للملوثات. تأثير التدفق الضوئي. درجة حرارة. تركيز المحفز. بلورة المحفز).

1.IV.3.أ. صبغة الميثيلين الزرقاء Methylene blue dye



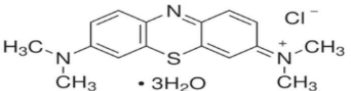
صبغة أزرق الميثيلين تدعى أيضا تترا ميثيل ثايونين كلورايد (tetramethylthionine chloride) هو مركب كيميائي عطري يعتبر من الأصباغ الكاتيونية، له الصيغة الكيميائية (C₁₆H₁₈N₃SCl)، وهي مادة صلبة بشكل مسحوق لونه أخضر داكن عديم الرائحة، يعطي محولاً أزرق عندما يذاب في الماء^[13, 14]، والصيغة المميّهة له تحتوي ثلاث جزيئات من الماء وجزء من أزرق الميثيلين، يستعمل في درجة حرارة الغرفة، له استعمالات عديدة



في المجالات الكيميائية

الشكل (1.IV): صبغة أزرق الميثيلين: أ- مسحوق، ب- محلول، ج- البنية الفراغية.

جدول (1.IV) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لصبغة أزرق الميثيلين.

القيم	خصائص
الميثيلين الأزرق ثلاثي الهيدرات	الاسم الكيميائي
C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S * x H ₂ O (x=2-3)	الصيغة الكيميائية
373.9	الكتلة المولية
صبغة أساسية	نوع
(3.7- Dimethylaminophenazathioniumchloride bis Tetramethylthionine chloride)	التسمية حسب IUPAC
4g/100 m	الذوبان في الماء:
0.98 g/mL at 25 °	كثافة:
180 درجة مئوية (التحلل)	نقطة الانصهار
3 (10 g/l, H ₂ O, 20 °C)	قيمة الحموضة
50 g/l (20 °C)	القابلية للذوبان
	الرسم التخطيطي (الصور) للخطر
	رمز الخطر
	الصيغة الكيميائية ^[16]

1.IV.3.ب. تحضير صبغة أزرق الميثيلين:

حضر أزرق الميثيلين لأول مرة سنة 1876 من قبل الكيميائي Hanrichcaro [17] ويمكن أن يحضر المركب من تفاعل Dimethyl-4-phenylenediam مع كبريتيد الهيدروجين في وسط من حمض الهيدروكلوريك، متبوعاً بالأكسدة بواسطة كلوريد الحديد الثلاثي [18].

1.IV.3.ج. سمية صبغة أزرق الميثيلين:

إن التعرض المستمر لصبغة الميثيلين يسبب العديد من المشاكل الصحية كالغثيان، القيء وحروق في العينين، أما في حالة الاستنشاق يصبح التنفس سريعاً أو من الصعب التنفس وكذلك زيادة في معدل ضربات القلب، أما في حالة الابتلاع سيحدث تهيج الجهاز الهضمي، التعرق الغزير، الارتباك الذهني، الشعور بالحرقان، ارتفاع ضغط الدم، فقر الدم وغيرها، لذلك فإن معالجة المياه الملوثة من هذه الصبغة في غاية الأهمية [14, 19].

تصدر الأصباغ النترات والفوسفات في الطبيعة، يمكن لهذه الأيونات المعدنية التي أصدرت بكثرة أن تصبح سامة على حياة الأسماك، وتسميم المياه. فاستهلاكها من طرف النباتات المائية يسرع من انتشارها ويؤدي إلى استنزاف الأكسجين عن طريق عملية التركيب الضوئي في عمق طبقات الأنهار والمياه الراكدة، كما يؤدي تراكم المادة العضوية في المجاري المائية إلى ظهور الأذواق السيئة، انتشار البكتيريا والروائح الكريهة والألوان الغير طبيعية [20].

1.IV.3.د. طرق إزالة الأصباغ:

من المعروف أن المخلفات الصناعية الناتجة عن مصانع النسيج والصبغة وغيرها تتضمن كمية كبيرة من الأصبغة والمواد الفعالة إضافة إلى الأملاح المنحلة التي تتسبب لأضرار كبيرة للبيئة حيث تقوم العديد من الدول بإجراء دراسات بهدف معالجتها ومحاولة نزع الأصبغة من هذه المخلفات قبل أن تصب في مجاري الأنهار، وقد أظهرت الأبحاث العديد من طرق المعالجة البيولوجية (المعالجة الهوائية واللاهوائية) [21]، كما نذكر الطرق الكيميائية (التبادل الأيوني، الأكسدة بواسطة الأكسجين والأوزون) [21]، والطرق الفيزيوكيميائية (الفصل بالأغشية، التبخير، التكتل والامتزاز) [21]. وفي هذا العمل سنحاول إزالة صبغة الميثيلين الزرقاء بطريقة الامتزاز.

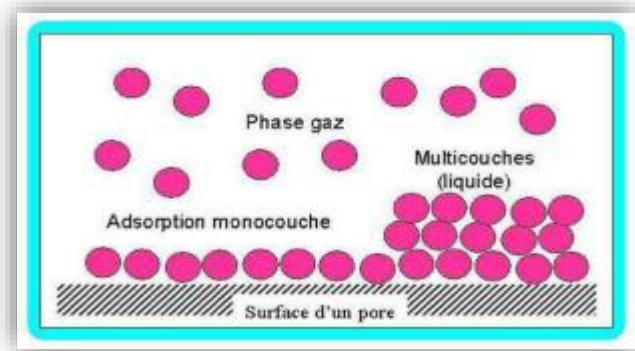
1.IV.4. عموميات حول الامتزاز**1.IV.4.أ. نبذة تاريخية عن الامتزاز:**

كانت أولى التطبيقات الصناعية لعملية الامتزاز في بريطانيا نهاية القرن 18 وبالتحديد عام 1794، إذ استخدم لإزالة الألوان من قصب السكر. وعند اندلاع الحرب العالمية الأولى وظهرت الأسلحة الكيميائية استخدم الألمان الغازات السامة في هذه الحرب، ظهرت الحاجة إلى مواد ذات صفات امتزازية عالية وهنا برزت أهمية الامتزاز بواسطة الكربون في هذا المجال [22]، واستخدم الكربون المنشط والكربون الخام عام 1971 كمادة لإزالة بعض الأصباغ الحامضية والقاعدية من المحاليل المائية [22, 23].

لقد دفعت الحاجة العديد من الباحثين لتحضير مواد مازة جديدة لاستخدامها في الأغراض البحثية المختلفة وكان الهدف من تحضير هذه المواد هو الحصول على مواد مازة يمكن استعمالها في تطبيقات خاصة أو مواد مازة من مصادر طبيعية رخيصة الثمن، لذا اهتموا بدراسة امتزاز بعض الأصباغ الفعالة على مواد مازة طبيعية وعصوية وبعض المواد الغير عضوية كالجسيمات النانوية [24].

IV.1.4. ب. تعريف الامتزاز

يعرف الامتزاز بأنه ظاهرة فيزيوكيميائية تحدث عموماً لمواد سائلة أو غازية تكون في احتكاك مع مادة صلبة، تسمى المادة التي يحدث لها الامتزاز على السطح بالمادة الممتزة (Adsorbate)، ويسمى السطح الذي تتم عليه عملية الامتزاز بالسطح الماز (Adsorbant) [25]، ويكون الارتباط بين جزيئات المادة الممتزة بالمواقع الفعالة للسطح الماز، قد يقتصر الامتزاز على تكوين طبقة واحدة على السطح الماز، وتدعى عندئذ العملية بالامتزاز أحادي الجزيئة (Adsorption mono-moléculaire)، ويشمل الامتزاز أحياناً على تكوين عدة طبقات جزيئية على سطح الماز وتسمى العملية بالامتزاز متعدد الجزيئات (Adsorption multimoléculaire) [25].



الشكل (4.IV): رسم مبسط لعملية الامتزاز.

IV.1.4. ج. أنواع الامتزاز

يصنف الامتزاز بالاعتماد على نوع وطبيعة القوى التي تربط الجزيئات أو ذرات المادة الممتزة بالسطح الصلب، وتتحد هذه القوى حسب طبيعة المادة المازة فضلاً عن طبيعة السطح الماز من حيث نشاطه الإلكتروني، وعليه يمكن تصنيف الامتزاز إلى نوعين هما [25]:

✓ الامتزاز الفيزيائي:

يعرف الامتزاز الفيزيائي بالامتزاز الطبيعي أو امتزاز فاندرفالس [25]، وهو الذي تكون فيه قوى التجاذب بين الجزيئات الممتزة و (جزيئات الطور الغازي أو الطور السائل) والجسم الماز (الجسم الصلب) ذات طبيعة فيزيائية مثل قوى فاندرفالس، ويتميز بطاقته الضعيفة، ويصاحب هذا النوع من الامتزاز تكوين عدة طبقات جزيئية على السطح الماز [25].

✓ الامتزاز الكيميائي:

يعرف الامتزاز الكيميائي بالامتزاز النشط، ويتميز بتكوين روابط كيميائية بين السطح والذرات أو الجزيئات الممتزة عليه، ويصاحب هذا النوع من الامتزاز تكوين طبقة أحادية الجزيئة على السطح الماز [25].

IV.1.4. د. أهمية الامتزاز

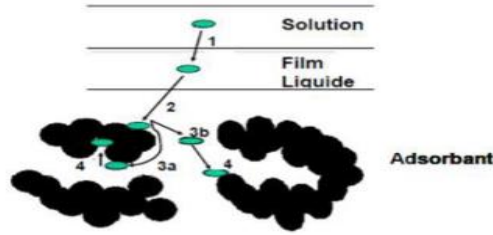
على الرغم من أن الامتزاز يعد من التقنيات القديمة فإنه يملك من الأهمية ما يجعل أي صناعة في الوقت الحاضر لا تستغني عنه في تطبيقاتها واستخداماتها، فهو يستخدم في صناعات البترول والأصباغ والصناعات الغذائية

كالزيوت والألبان وغيرها من الصناعات التي لا حصر لها [26] كما تستخدم عملية الامتزاز لإنجاز العديد من عمليات الفصل.

لقد توسعت عمليات تطبيق الامتزاز في الآونة الأخيرة بسرعة كبيرة جدا بسبب الحاجة المتزايدة إليها ارتفاع المتطلبات البيئية بصورة واسعة كما ونوعا. وساهم التطور التكنولوجي الكبير في تحضير وتوفير العديد من المواد المازة المتنوعة وساعد هذا الأمر بدوره على إنجاز الكثير من التطبيقات المهمة في عمليات الامتزاز [27].

IV.1.4. هـ. وصف آلية الامتزاز:

الامتزاز هو عملية لإزالة الصبغة إلى حد كبير، وتتم هذه العملية على أربع مراحل وهذا ما يمثله الشكل ...



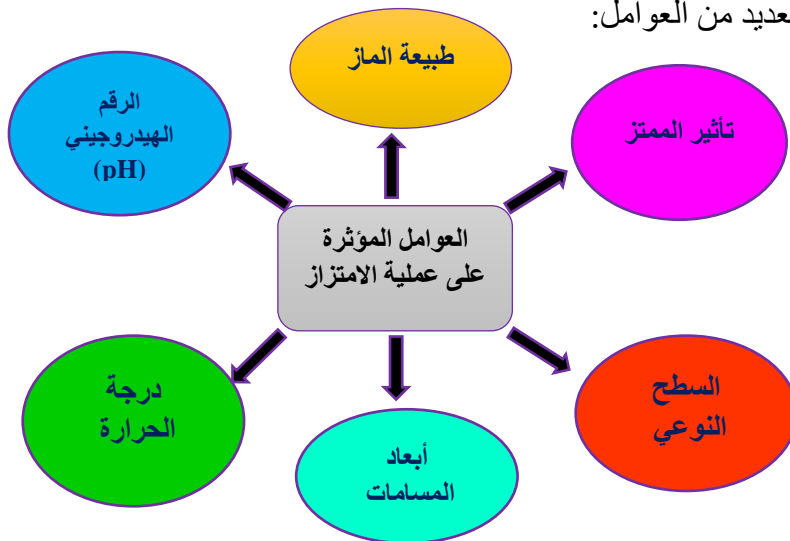
الشكل (5.IV): مجالات وجود المادة الممتزة أثناء الامتزاز على المواد المازة [27].

قبل عملية الامتزاز تمر المادة بعدة مراحل:

- 1- انتشار المادة الممتزة من الطور السائل الخارجي إلى المنطقة القريبة من سطح المادة المازة.
- 2- انتشار خارجي للحبيبات من المواد (انتقال المادة الممتزة من خلال شريط السائل نحو سطح الحبيبات).
- 3- انتقال داخلي للحبيبات من المواد (انتقال المادة داخل البنية المسامية للسطح الخارجي للحبيبات نحو المواقع النشطة).
- 4- تفاعل الامتزاز في اتصال مع المواقع النشطة، مرة واحدة في المحلول، والجزء يعتبر غير متحرك [28].

IV.1.4. و. العوامل المؤثرة على ظاهرة الامتزاز:

ظاهرة الامتزاز تتأثر بالعديد من العوامل:



الشكل (4.IV): مخطط توضيحي للعوامل المؤثرة على عملية الامتزاز [29, 30].

IV.1.4. س. تطبيقات الامتزاز

✓ تطبيقات الامتزاز في الطور السائل

التطبيقات في الوسط السائل تنقسم إلى مجالين لفصل المركبات الكيميائية نذكر منها:

- مجال معالجة المحاليل الممددة: يجب أن نميز بين إزالة الأملاح التي تعتبر شوائب، وهو مجال تصفية المذيبات عن طريق الامتزاز أو استرداد المواد المذابة وهذا هو مجال الاستخلاص عن طريق الامتزاز، لهذا تعددت التطبيقات الصناعية أهمها معالجة المياه مثل تنقية المنتجات البترولية.
- تجزئة الخلائط السائلة: هناك عدد قليل من العمليات الصناعية تسمح بتجزئة نطاق واسع عن طريق الامتزاز انطلاقاً من خلائط مهمة اقتصادياً مثل المنتجات البترولية، إلا أن طرق التحليل الأخرى مثل الكروماتوغرافيا السائلة عند ضغط مرتفع احتلت المرتبة الأولى في كفاءتها وأدائها [31].

✓ تطبيقات في الطور الغازي

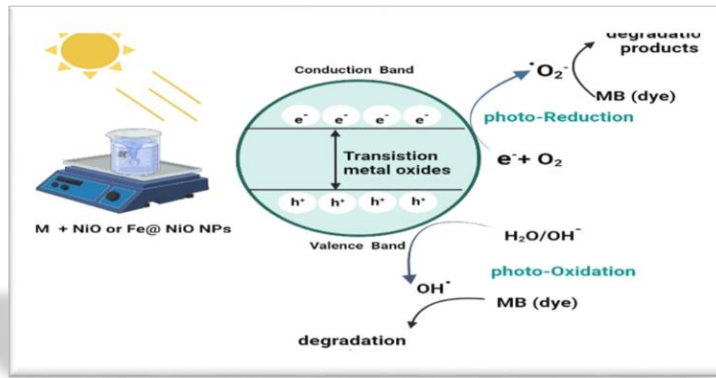
أهم التطبيقات في الطور الغازي تتعلق بالتجفيف وتصفية الهواء [32].

IV.1.5. الجزء العملي

IV.1.5.1. المنهجية المتبعة

في كل تفاعل تحلل ضوئي، تلعب العوامل الرئيسية مثل شدة الضوء الساقط، والتركيز الأولي للملوث، والتركيز الأولي للمحفز الضوئي أدواراً مهمة [33]. والنهجان الرئيسيان الحاسمان أثناء البحث الضوئي في وجود أيونات المعادن الانتقالية هما تحويل أيونات المعادن إلى أنواع أقل سمية بشكل كبير أو ترسب الأيونات على سطح المحفز لاستعادة أيونات المعادن الثمينة والمكلفة [34]. تعد المحفزات الضوئية النانوية شبه الموصلة لأكسيد المعادن الانتقالية بديلاً قابلاً للتطبيق للتخلص من الأصباغ الملوثة لأنها ميسورة التكلفة وغير سامة ولديها فجوات نطاق ضوئي أقل من الخيارات السابقة [35]. كما تعد المحفزات الضوئية النانوية لأكسيد المعادن الانتقالية جديرة بالملاحظة لأنها تُظهر اختلافات في فعالية التحفيز الضوئي بسبب التوجهات السطحية البلورية [36]. ولتقييم قدرة امتصاص المتراكبات النانوية ومقارنتها بقدرة امتصاص جسيمات النيكل النانوية تم استخدام صبغة أزرق الميثيلين كنموذج ملوث عضوي وهو نوع سام ومسرطن وغير قابل للتحلل الحيوي مما يسبب مخاطر جسيمة على البيئة وعلى صحة الإنسان [37, 38]، تم إجراء اختبار التحفيز الضوئي على كل عينة منتجة من جسيمات أكسيد المعادن الانتقالية النانوية. تظهر نتائج تجربة تستخدم الضوء الشمسي لفحص الأنشطة الضوئية التحفيزية لجسيمات نانوية من أكسيد النيكل والحديد والنيكل في الشكل 7. في كأس زجاجي يحتوي على 5 مل من الماء المقطر مرتين، تم إذابة 2.5×10^{-5} مول من أزرق الميثيلين في محلول مائي مع 5 ملغ من محفز أكسيد النيكل. بدون تحريك، تم الاحتفاظ بالتعليق الناتج في ضوء الشمس. في أوقات مختلفة (10 و 15 و 30 و 60 و 120 دقيقة) أثناء التشعيع، تم أخذ عينات من الصبغة الناقصة عند درجة حرارة 28 درجة مئوية بدرجة حموضة محايدة، ثم تم طردها بالطرد المركزي. تم قياس امتصاص العينة باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية، وتم مراقبة التحلل الضوئي التحفيزي. تظهر أطياف الامتصاص بشكل لا لبس فيه أن مقدار الوقت الذي يستغرقه أزرق الميثيلين للتحلل في وسط مائي عند تعرضه لأشعة الشمس يرتفع [39].

1.IV. 2. آلية التفاعل وإزالة صبغة أزرق الميثيلين

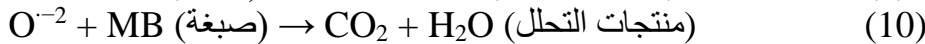
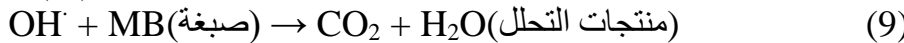
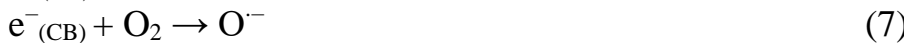
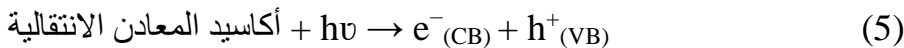


الشكل (5.IV): آلية عملية التحلل الضوئي العامة.

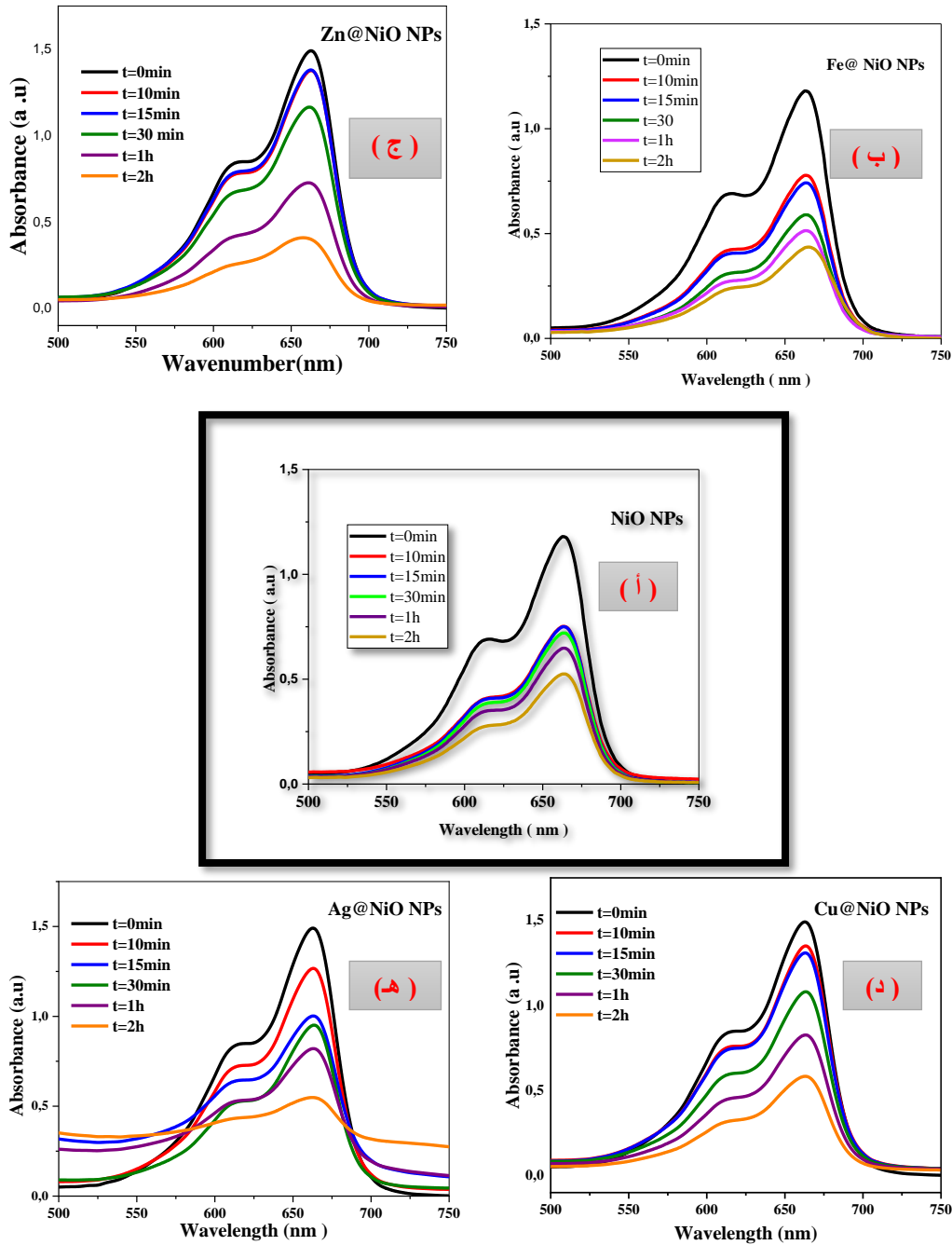
يمكن أن يؤدي التحفيز الضوئي وهو عملية بسيطة، وتكنولوجيا صديقة للبيئة إلى تدهور الملوثات العضوية الموجودة في مياه الصرف وتحويلها إلى ماء نقي. تعتمد آلية التحفيز الضوئي على خصائص الجسيمات النانوية وتكوين الأنواع النشطة المتولدة في وسط التفاعل.

في هذا العمل تم استخدام صبغة أزرق الميثيلين كملوث عضوي نموذجي لتقييم النشاط التحفيزي الضوئي للمترابكات النانوية المحضرة بزخرفة أكسيد النيكل النانوي بـ Fe و Zn و Ag و Cu ومقارنتها بالنشاط التحفيزي للمركب الأم وهو أكسيد النيكل النانوي NiO NPs تحت أشعة الشمس طبعاً.

يؤدي التدهور الضوئي لصبغة أزرق الميثيلين باستخدام جسيمات أكسيد النيكل النانوي وكذلك المترابكات المزخرفة المشتقة منه كمحفرات ضوئية إلى إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) وذلك عند تعرض هذه الأكاسيد لأشعة الشمس. تتفاعل بعد ذلك أنواع ROS مع جزيئات صبغة الميثيلين وتكسرها. آلية التفاعل موضحة في المعادلات 5-10. عندما يتعرض كل أكسيد نانوي لأشعة فإنه يمتص الفوتونات، مما يؤدي لتوليد ثقب الإلكترون ويمكن للإلكترونات المثارة (e^-) والثقوب (h^+) المشاركة في تفاعلات الأكسدة والاختزال مع جزيئات الأكسجين الممتز (O_2) والماء (H_2O) على سطح الأكاسيد النانوية المركبة، بعد ذلك تولد هذه التفاعلات جذور الهيدروكسيل ($OH\cdot$) وأيونات الأكسيد الفائق ($O_2^{\cdot-}$) وهي عوامل مؤكسدة قوية ويمكن أن تتفاعل جذور $OH\cdot$ وأيونات $O_2^{\cdot-}$ المتولدة مع جزيئات أزرق الميثيلين، مما يؤدي إلى تحللها وتجدر الإشارة إلى أن آلية التفاعل الفعلية قد تكون أكثر تعقيداً، ويعتمد معدل وكفاءة التحلل الضوئي على مجموعة متنوعة من العوامل، بما في ذلك تركيز المترابكات النانوية وقيمة الرقم الهيدروجيني للمحلول، وشدة الضوء وطول الموجة، والقيمة الأولية وتركيز أزرق الميثيلين.



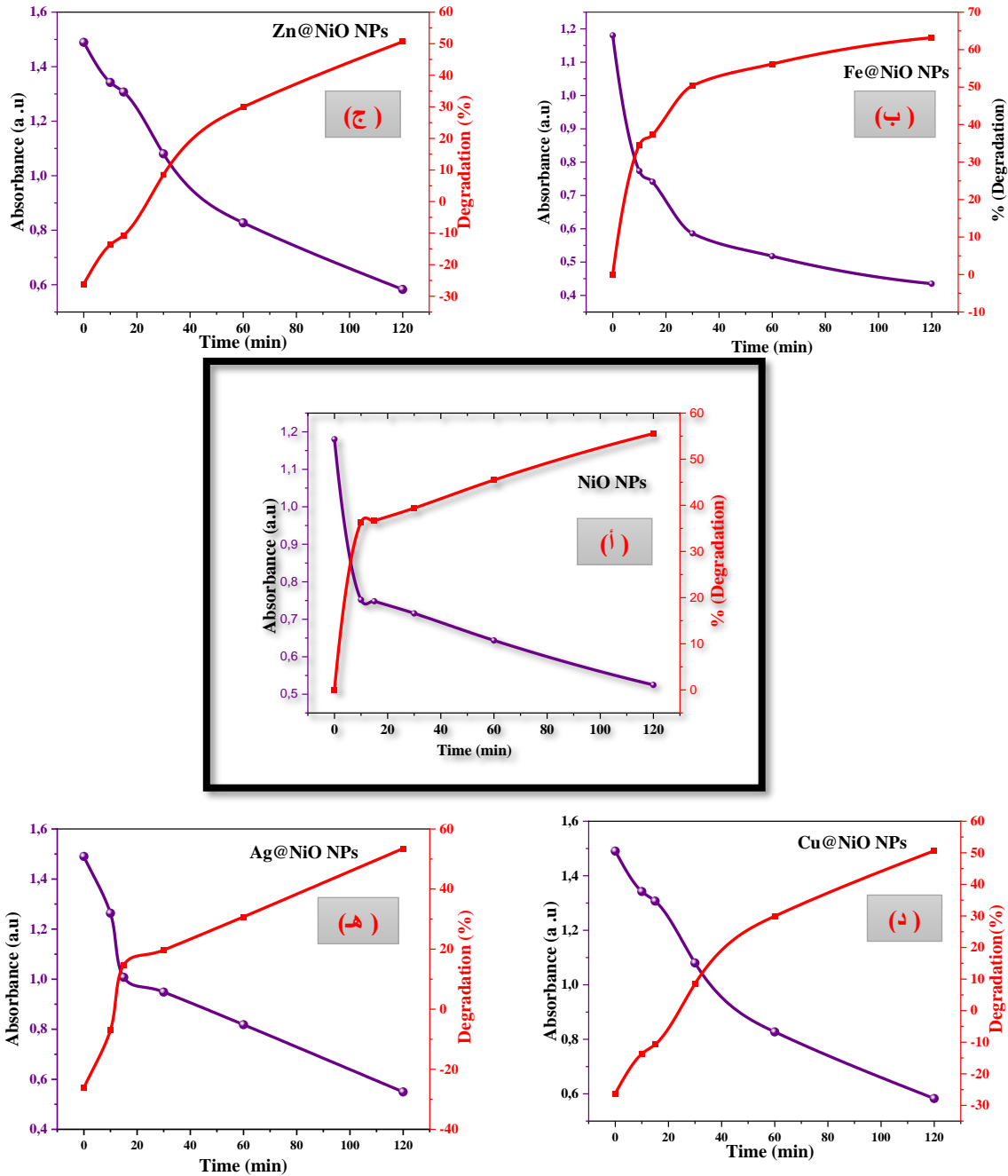
3.5.1.IV. قراءة النتائج:



الشكل (6.IV): تفاعل التأثير الزمني لـ (أ). جسيمات أكسيد النيكل النانوية، ب. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالحديد Fe@NiO Nc، ج. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالزنك Zn@NiO Nc، د. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالنحاس Cu@NiO Nc، هـ. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالفضة (Ag@NiO Nc) على امتصاص صبغة أزرق الميثيلين

ببساطة، يرتبط MB بذرات الامتصاص المميزة التي يمكن رؤيتها عند حوالي 664 نانومتر في أطياف العديد من أكاسيد المعادن الانتقالية. انخفضت شدة ذروة الصبغة العضوية بمرور الوقت، وبدأت الروابط الجديدة في الظهور عند شدة منخفضة نسبياً. تظهر أطياف الامتصاص في الشكل، من السهل ملاحظة كيف تتناقص شدة الذروة للأكاسيد المختلفة. يتلاشى اللون المميز للصبغة العضوية MB بمرور الوقت. أظهرت نتائج النشاط الضوئي أن جسيمات أكسيد النيكل النانوية لها نشاط إزالة صبغة MB مع معامل تحلل 56٪، بينما معامل تحلل

كبير 65.5% خلال 120 دقيقة لجسيمات أكسيد النيكل النانوية Fe@NiO و 51% لجسيمات Cu@NiO و 51% لجسيمات Zn@NiO و 53% لجسيمات Ag@NiO. يشير هذا إلى أن نشاط إزالة الصبغة بالمترابك النانوي Fe@NiO قد تم تعزيزه مقارنة بجسيمات أكسيد النيكل النانوية النقية. يمكن أن يؤدي تطعيم أكسيد النيكل بكاتيونات الحديد Fe^{3+} إلى تقليل طاقة فجوة النطاق أو يؤدي إلى إنشاء مستويات طاقة داخل فجوة النطاق المحظورة وتقليل عمليات إعادة التركيب عن طريق إدخال مصائد للإلكترونات (e^-) و/أو الثقوب (h^+) [40]. يشير اللون الشفاف لـ MB إلى أن الصبغة قد اختفت بالكامل.



الشكل (7.IV): كفاءة الازالة لصبغة أزرق الميثيلين بواسطة (أ) جسيمات أكسيد النيكل النانوية، ب. مترابك

أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالحديد Fe@NiO نc، ج. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالزنك

Zn@NiO Nc، د. مترابك أكسيد النيكل النانوي المزخرف بالنحاس Cu@NiO Nc، هـ. مترابك أكسيد النيكل

النانوي المزخرف بالفضة (Ag@NiO Nc).

2.IV. الفعالية المضادة للبكتيريا

1. 2.IV. مقدمة:

لقد أصبح رصد التأثيرات الضارة للكائنات الحية الدقيقة أمراً لا مفر منه بالتوازي مع الارتفاع المتسارع لحياة الإنسان. ففي التوازن الطبيعي مع جسم الإنسان وظروف المعيشة، تتعايش مجموعة واسعة من الكائنات الحية الدقيقة، ولكن الانتشار السريع وغير المقيد للميكروبات يمكن أن يؤدي إلى مضاعفات كارثية. وعلى مدى عدة سنوات، تم استخدام العديد من المضادات الحيوية لتنشيط النمو أو السيطرة على الميكروبات [41-44]. وبسبب مقاومة الميكروبات المتزايدة التي تنشأ عن الإفراط في استخدام المضادات الحيوية، فإن بعض الأدوية المضادة للبكتيريا لديها حالياً فعالية ضئيلة تجاه الميكروبات [45, 46]. والأمر الحاسم هو أن ارتفاع عدد الأمراض الفطرية المختلفة والمهدد للحياة يعتبر الآن أحد أكثر المواقع خطورة التي يجب معالجتها وبالتالي، هناك حاجة ملحة لتطوير عوامل مضادة للميكروبات جديدة وأكثر فعالية [47-49].

تعد المواد النانوية من بين أكثر العوامل المؤثرة في معالجة مشكلة مقاومة المضادات الحيوية من خلال تصميم المواد النانوية التي تساهم في ظهور مواد نانوية ناجحة [49-52]. في مجال الطب الحيوي النانوي، فإن الإمكانيات العلاجية للجسيمات النانوية (NPs) في علاج الأمراض مشجعة. يتم استهداف العديد من العوامل المضادة للميكروبات وتطويرها لمعالجة مشكلة مقاومة مضادات الميكروبات [52, 53]. يستهدف الكيمائيون العضويون تخليق مجموعة متنوعة من المركبات الحلقية غير المتجانسة القوية كما نجحوا أيضاً في تطوير عوامل مضادة للميكروبات جديدة [54, 55]. ومع ذلك، فقد أثبت البحث في العقد الماضي أن مضادات الميكروبات المحتوية على الفضة هي عوامل مضادة للبكتيريا ثبتت فعاليتها [56, 57].

على وجه الخصوص، أظهرت الجسيمات النانوية خصائص مضادة للبكتيريا واسعة النطاق ضد كل من البكتيريا إيجابية الجرام وسلبية الجرام [58, 59]، إلى جانب ذلك، تم الإبلاغ عن العديد من الدراسات في الماضي فيما يتعلق بالعمل المضاد للأوكسدة لأنواع مختلفة من المواد النانوية [60, 61]. وقد ثبت أن ضبط خصائص المواد النانوية يمكن أن يمارس تأثيراً مزدوجاً؛ نشاط مضاد للميكروبات ومضاد للأوكسدة [62, 63]. تعتبر المنشطات واحدة من الأدوات القوية لتبديل خصائص المواد النانوية التي تضاف فيها مادة خارجية إلى المادة الوظيفية. غالباً ما يؤدي المنشطات إلى تطوير بعض التأثيرات غير العادية على المواد الوظيفية عن طريق تغيير خصائصها البنوية والشكلية والكيميائية. تم الإبلاغ عن الجسيمات النانوية المحتوية على أكسيد الزنك (ZnO) وأكسيد النحاس (CuO) والفضة (Ag) لقائمة من التطبيقات الطبية الحيوية مثل مكافحة السرطان [64, 65] ومضاد للبكتيريا [66]. يلعب حجم الجسيمات النانوية دوراً رئيسياً في الأنشطة الطبية الحيوية؛ تتمتع الجسيمات النانوية الأصغر بنشاط بيولوجي أكبر بسبب مساحتها السطحية العالية المرتبطة بسطح الخلية [67]. مسار السلسلة الجذرية الذي تتحول فيه الجذور الألكيلية بواسطة الأكسجين الجزيئي إلى جذور بيروكسيلية تعمل على إدامة السلسلة المؤكسدة هو المسؤول عن التدهور التأكسدي للجزيئات البيولوجية [68, 69]. الجذور شديدة التفاعل وربما يمكن أيضاً إتلاف الجزيئات شديدة التحمل مثل قواعد الحمض النووي بسبب عملها التأكسدي. الإجهاد التأكسدي، الذي يُعرّف بأنه اختلال التوازن بين إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) وقدرة الخلية على تنشيط

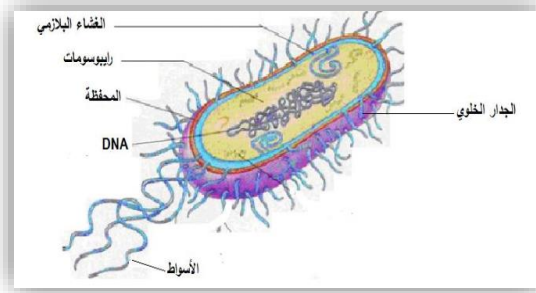
استجابة مضادة للأكسدة فعالة، غالبًا ما يكون ناتجًا عن الاستجابة المؤكسدة للجذور التفاعلية [70]. الإجهاد التأكسدي، الذي يؤدي إلى طفرات وموت الخلايا، يسبب ضررًا لا يمكن إصلاحه للجزيئات الحيوية [71]. من خلال النظر في هذه الجوانب الحيوية، حاولنا هنا في البحث الحالي طلاء جسيمات أكسيد النيكل المصنعة (NiO NPs) بالحديد (Fe) والفضة (Ag) والزنك (Zn) والنحاس (Cu) لتعزيز العمل البيولوجي. استمرارًا لأبحاثنا حول تطبيقات المواد النانوية في الكيمياء الخضراء والتنمية المستدامة، نقدم تقريرًا عن تخليق وفحص مضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة للمتراكبات النانوية $Ag@NiO$ ، $Cu@NiO$ ، $Zn@NiO$ ، $Fe@NiO$ من خلال النظر في جميع الجوانب المذكورة أعلاه. على حد علمنا، لم يتم نشر أي دراسة على هذا النحو في الماضي. تهدف هذه الدراسة إلى توفير خطوة للأمام لإنتاج مضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة الجديدة.

2.2.IV. تعريف البكتيريا

تعرف البكتيريا على أنها كائنات بدائية مجهرية يتراوح طول خلاياها عادة بين 1-2 ميكرون، وتتميز بالبنية البسيطة وتتخذ ثلاثة أشكال رئيسية: البكتيريا الكروية، والبكتيريا العصوية، والبكتيريا الحلزونية [72]. يعتبر العالم الشهير لويس باستور مؤسس ومبتكر علم الكائنات الدقيقة، حيث أثبت أن الأمراض تسببها الميكروبات وفسر العديد من الظواهر مثل التخمر وعملية البسترة. استطاع العالم الألماني روبرت كوخ عزل البكتيريا المسببة للأمراض وعمل مستنبتات لها [73].

3.2.IV. بنية البكتيريا

تتميز الخلية البكتيرية بتركيبها البسيط حيث تتكون من أجزاء أساسية وثنائية: - الأجزاء الأساسية: (جدار الخلية، الغشاء البلازمي، السيتوبلازم، النواة: تتكون من كروموسوم دائري ملف حول نفسه). - الأجزاء الثانوية: (الأسواط، الكبسولة، الأهداب [73]).



الشكل (8.IV): رسم تخطيطي يوضح بنية الخلية البكتيرية [73].

4.2.IV. تصنيف البكتيريا [74]

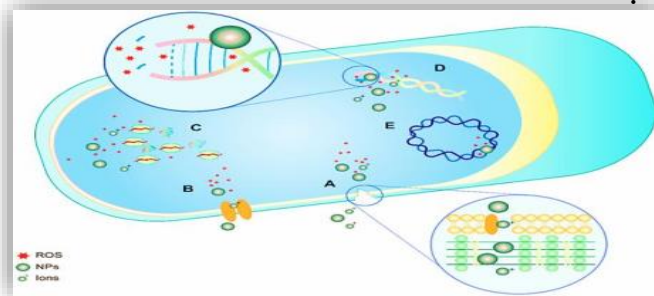
- ❖ من حيث توزيع أسواطها:
 - بكتيريا أحادية السوط
 - بكتيريا سوطية الطرف
 - بكتيريا سوطية الطرفين
 - بكتيريا عديدة الأسواط
- ❖ من حيث الوسط الذي تعيش فيه:
 - بكتيريا هوائية
 - بكتيريا لا هوائية

- بكتيريا لاهوائية اختيارية.
- ❖ من حيث التغذية:
- بكتيريا ذاتية التغذية
- بكتيريا عضوية التغذية
- ❖ من حيث طريقة التلويح
- تسمى تقنية غرام نسبة للعالم Gram سنة 1884:
- بكتيريا موجبة الغرام (gram⁺) : عند تلويحها تمتص اللون وتظهر زرقاء اللون.
- بكتيريا سالبة الغرام (gram⁻) : تحرر صبغة وتظهر وردية
- ❖ من حيث الأثر على الانسان والكائنات الحية:
- البكتيريا النافعة
- البكتيريا الضارة
- البكتيريا الانتهازية

IV.2.5. النشاط المضاد للبكتيريا:

تشتهر الجسيمات النانوية المعدنية وأكاسيدها بنشاطها المضاد للميكروبات، ويعود استخدامها على نطاق واسع في البيئات السريرية والصناعية إلى عدة عقود. وعلى الرغم من أن جميع الجسيمات النانوية لا تشترك في نفس آليات العمل، فإن خصائص معظم هذه الجسيمات مرتبطة بكل من بنيتها الفيزيائية وتفاعلها المحدد مع منتجات الأغشية الحيوية، وقد تحفز العديد من العوامل وتعزز النشاط المضاد للميكروبات [75].

- الحجم
- شكل الجسيمات النانوية، فكلما قل حجم هذه الجسيمات، زادت ثباتيتها، كما زادت المسافة السطحية لكل وحدة حجم، مما يمنحها قدرة أعلى على التفاعل مع غشاء الخلية والحصول على إمكانات مضادة للميكروبات أعلى.
- القوة الكهروستاتيكية التي تحدث بين البكتيريا والجسيمات النانوية. تحتوي معظم البكتيريا على جدار خلوي مشحون سلباً يجذب الجسيمات المشحونة إيجابياً، ويمكن للأيونات أو الجسيمات النانوية المشحونة إيجابياً أن تدخل بسهولة إلى الكائنات الحية الدقيقة وبالتالي تتلف بنيتها الداخلية عن طريق الارتباط بالبروتينات والأحماض النووية المشحونة سلباً
- تركيز الجسيمات النانوية، والذي يمكن أن يختلف بناءً على حساسية البكتيريا المختلفة وفقاً لفئات مختلفة من الكائنات الحية الدقيقة.
- تتعاون جميع المتغيرات المذكورة لإعطاء الجسيمات النانوية تأثيراً مضاداً للميكروبات ويتم تضخيمه عن طريق إطلاق الأيونات.
- يلعب تكوين مركبات (ROS) دوراً مهماً في التأثير القاتل للبكتيريا للجسيمات النانوية. تمثل هذه القدرة السامة للخلايا والجينات سلاحاً قوياً وغير محدد وفعال ضد جميع أنواع الكائنات الحية الدقيقة تقريباً وكذلك الخلايا حقيقية النواة، مما يثير العديد من المخاوف بشأن التوافق الحيوي للجسيمات النانوية. لتجنب أي تأثيرات خطيرة على الخلايا حقيقية النواة، من المهم الانتباه إلى التركيزات التي تنظم استخدام الجسيمات النانوية من أجل قتل الكائنات الحية الدقيقة دون آثار ضارة على الخلايا الأخرى [75]. يوضح الشكل (10.IV) مخططاً تخطيطياً لتفاعل البكتيريا بعد التعرض لجزيئات الأوكسجين التفاعلية الناتجة عن الجسيمات النانوية والأيونات، وأن الجزء (أ) من المخطط يوضح اختراق الجسيمات النانوية لجدار الخلية، والجزء (ب) من المخطط يوضح انقطاع نقل الإلكترون، والجزء (ج) يوضح الضرر الذي يلحق بـ (الريبوسوم) والذي يؤثر على تخليق البروتين، والجزء (د) يوضح الضرر الذي يحدث لقواعد الحمض النووي التي لا يمكن إصلاحها، والجزء (هـ) يوضح رد الفعل السلبي للحمض النووي [75].

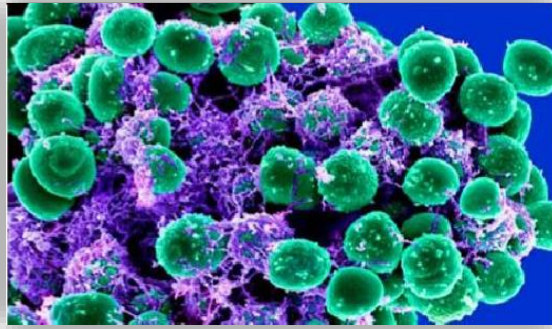


الشكل (9.IV): المخطط التوضيحي لاختراق الجسيمات النانوية والأيونات للبكتيريا [75].

يمكن تفسير ذلك فيزيائياً بأن الجسيمات النانوية تؤثر بشكل غير مباشر على الكائنات الحية الدقيقة من خلال التغيرات في بيئة الشحن المحيطة بأكاسيد النانو، مما يعني أنه ستكون هناك أيونات من المادة تنطلق من الجسيمات النانوية تلتصق بجدار الخلية البكتيرية المشحونة سلباً أو إيجاباً وتمزقه، مما يؤدي إلى تحلل البروتين وموت الخلايا (فيضان المجال الكهربائي) [75].

IV.2.6. أنواع البكتيريا المستعملة في الدراسة:

✚ **المكورات العنقودية (Staphylococcus aureus):** اكتشفها ألكسندر أوجستون، وهو جراح في أبردين اسكتلندا، في عام 1883 بعد عزلها من صديد من مفصل الركبة. حوالي 20% من سكان العالم هم حاملون دائمون لهذه البكتيريا، والتي يمكن العثور عليها على الجلد والأنف وتعيش أيضاً في الجهاز التناسلي السفلي للنساء. لديها القدرة على هضم الدهون حيث تتغذى على مادة زيتية ينتجها الجلد وهي بكتيريا انتهازية لاهوائية اختيارية. وهي بكتيريا إيجابية الجرام. تتميز بشكلها الدائري. يمكن أن تنمو دون الحاجة إلى الأكسجين. يمكن أن تسبب هذه البكتيريا مجموعة واسعة من التهابات الجلد والتهاب السحايا وتسمم الدم والتهاب الكلى والتهاب العظام، وخاصة إذا لامست صديداً من جرح مصاب [76].



الشكل (10.IV): بكتيريا المكورات العنقودية (Staphylococcus) [77].

✚ **الإشريكية القولونية (Escherichia Coli):** هي بكتيريا سلبية الجرام تعيش في الأمعاء الغليظة للإنسان، وتمثل حوالي 80% من بنية الفلورا الهوائية، هذه الأنواع من البكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية مثل الجنتاميسين والإريثروميسين، وتعرف الإشريكية القولونية أيضاً باسم العصيات القولونية، وقد صنفها لأول مرة العالم (ثيودر إيشيريش) عام 1885 وتتميز بأنها عصيات سلبية الجرام وتمتلك أسواطاً محيطة وكونها هوائية أو لاهوائية، ولا تحتاج الإشريكية القولونية إلى مغذيات معقدة لتنمو لأنها تخمر الجلوكوز واللاكتوز وتتعايش على بيئات زراعية طبيعية [78].

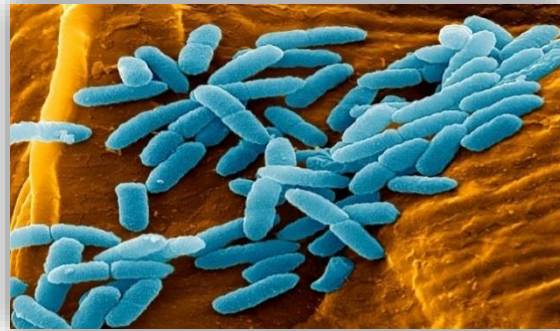
تستعمر بكتيريا الإشريكية القولونية أمعاء الإنسان بعد ساعات قليلة من الولادة وتسبب العديد من الأمراض بما في ذلك التهابات المسالك البولية والإسهال والتهاب السحايا عندما تنتقل من مكانها الأصلي، لذلك تعتبر هذه البكتيريا بكتيريا انتهازية. تصنف بكتيريا الإشريكية القولونية ضمن البكتيريا المعوية لأنها تسكن الأمعاء. ولا يعتبر وجودها في الأمعاء مسبباً للأمراض لأنها موطنها الطبيعي. ومع ذلك، فإن وجودها في السائل الدماغي الشوكي والجروح والأذن الوسطى والجهاز البولي والحروق يعتبر مسبباً للأمراض [78].



الشكل (10.IV): بكتيريا الإشريكية القولونية (Escherichia Coli) [79].

الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa*

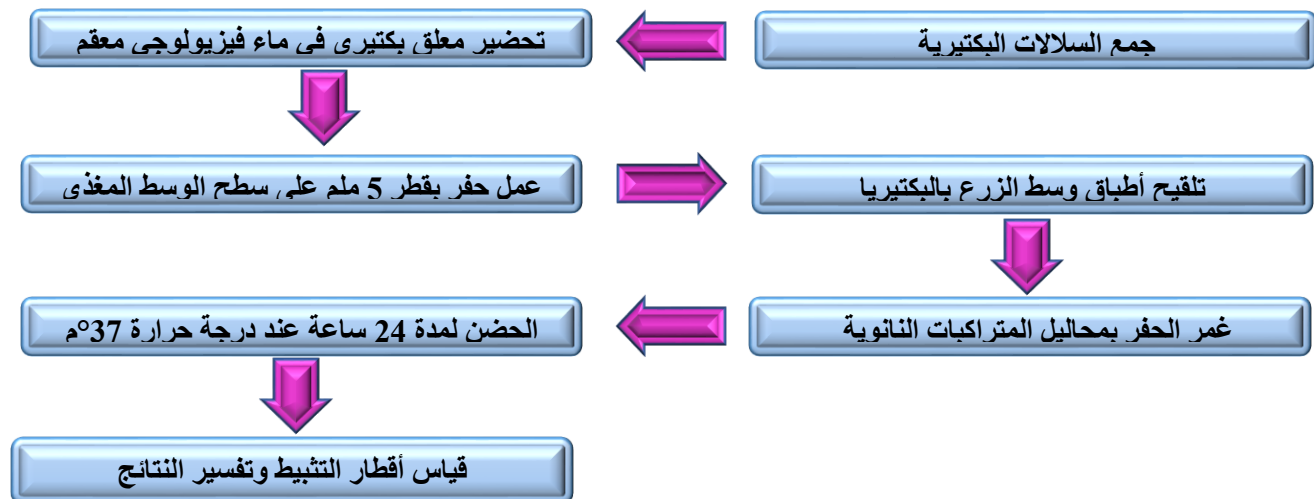
تنتمي بكتيريا الزائفة الزنجارية *Pseudomonadaceae* إلى عائلة الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa*. وقد اكتشفها لأول مرة الطبيب الفرنسي شارلس سديلوت (Charles Sébillot) سنة 1850م، حين لاحظ وجود إفرازات خضراء مزرققة تظهر على الجروح المصابة بشكل متكرر. بكتيريا الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa* هي بكتيريا على شكل قضيب. وهذه البكتيريا سلبية الغرام وتوجد في بيئات مختلفة في التربة والمياه والنباتات والحيوانات وحتى جسم الإنسان [76].



الشكل (11.IV): بكتيريا الزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa* [76].

2.IV.7. الجزء العملي

لاختبار فعالية البكتيريا للمادة المضادة لها تستعمل العديد من الطرق والتقنيات، أهمها تلك التي تعتمد على طريقة الانتشار بوسط زرع صلب والطريقة المستعملة في هذه الدراسة هي طريقة الانتشار في البئر أو الحفرة [80]. يمكن تلخيص هذه الطريقة في الشكل (14.IV).



الشكل (12.IV): مخطط توضيحي لتقدير الفعالية التثبيطية للمتراكبات النانوية على السلالات البكتيرية بطريقة الانتشار بالبئر.

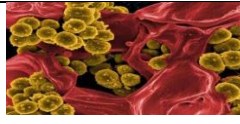


IV.2.7.1. جمع السلالات البكتيرية المستهدفة

تم جمع السلالات البكتيرية المستخدمة في هذا العمل من مخابر الرائد (تحاليل طبية وأبحاث بيولوجية) بالوادي كما تم إجراء دراسة الفعالية البيولوجية المضادة للسلالات بنفس المخبر وتحت إشراف الدكتور مؤمن مسعود عبد الرحمان. (Staphylococcus aureus 25922، Pseudomonas aeruginosa 25923، 27853 Escherichia coli)

جدول (3.IV) المواد والأدوات المستعملة

الأجهزة والأدوات	المواد والمحاليل المستعملة
- حاضنة - جهاز التعقيم (موصدة) - ماسح قطني معقم - ماصة ميكروليتية - ماصة باستور - اطباق بتري - أنابيب إختبار مغلقة - حمام مائي - جهاز اهتزاز	- أقراص المضاد الحيوي Gentamicine (10ملغ/ قرص) - وسط الزرع Muller Hinton (وسط جيلوزي) - ماء فيزيولوجي - ماء مقطر معقم منزوع الأيونات - محاليل بثلاث تراكيز للمتراكبات النانوية (1،3،5 ميلي غرام /مل) في ثنائي ميثيل السلفوكسيد Dimethyl sulfoxide (DMSO)

جدول (2.IV) يوضح البكتيريا المستعملة مع رقمها التسلسلي

نوع البكتيريا	سلالة رقم	البنية المجهرية
Staphylococcus aureus	25922	
Pseudomonas aeruginosa	25923	
Escherichia coli	27853	

IV.2.7.2. طريقة العمل:

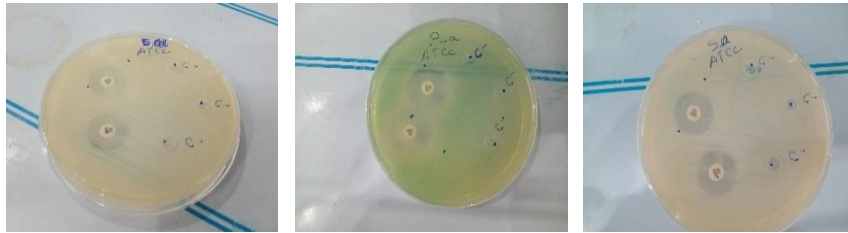
- بالنسبة للمتراكبات النانوية وجسيمات أكسيد النيكل النانوي يتم تحضيرها بثلاث تركيز (1،3،5 ميليغرام /مل) في ثنائي ميثيل السلفوكسيد (DMSO) Dimethyl sulfoxide ثم نقوم برجها لتشتت المتراكبات النانوية واستخدامها لاحقا كمضادات حيوية.
- تنشيط البكتيريا يكون بأخذ مستعمرة من كل سلالة بكتيرية بواسطة ماصة باستور معقمة، ونضعها في أنابيب اختبار معقمة تحتوي على ماء فيزيولوجي بحجم 10 مل ونقوم برجها جيدا حتى نحصل على معلق بكتيري.
- قبل البدء يجب تعقيم كل الأدوات في المعقمة وتنظيف المكان جيدا والعمل بالقرب من موقد بنزن وسنتبع في هذا العمل طريقة انتشار بئر الأجار.

تستخدم طريقة انتشار بئر الأجار على نطاق واسع لتقييم النشاط المضاد للميكروبات للنباتات أو المستخلصات الميكروبية^[81, 82]. نقوم بتحضير أوساط الزرع وذلك بتسخين محلول الجيلوز Mueller Hinton agar (كوسط مغذي للبكتيريا) في حمام مائي درجة حرارته 100°C ونسكه بكميات محدودة في علب بتري معقمة بسمك موحد حتى النصف تقريبا يتم العمل أمام موقد بنزن لخلق وسط معقم ويتم إدخاله لجهاز الموصدة الحرارية بدرجة حرارة 121°C وضغط 15 باوند/انج ولمدة 15 دقيقة حتى يجف ويتجانس. ثم يتم ثقب بقطر 6 إلى 8 مم بطريقة معقمة باستخدام ماصة باستور ويتم بعدها تطعيم سطح صفيحة الأجار عن طريق نشر حجم من الملقح الميكروبي على سطح الأجار بالكامل بعد وضع جذمة منه في الماء الفيزيولوجي، ويتم إدخال حجم (100-20 مل) من العامل المضاد للميكروبات (المتراكبات النانوية المذابة في DMSO) بالتركيز المطلوب في البئر. ثم يتم تحضين أطباق الأجار تحت درجة حرارة 37°C لمدة 24 ساعة.



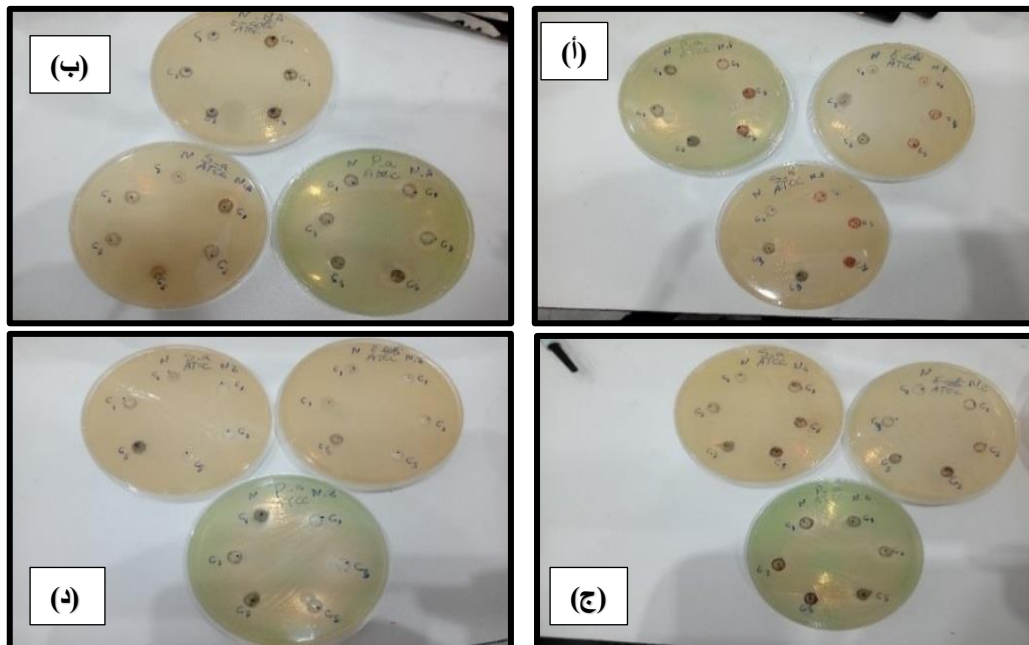
الشكل (14.IV): تحضير وسط الزرع.

3.7.2.IV. النتائج والمناقشة:



الشكل (15.IV): أقرص المضاد الحيوي Gentamicine (10ملغ/ قرص) والمذيب DMSO مع السلالات البكتيرية الثلاث كمراجع

تم التحقيق في النشاط المضاد للميكروبات لجسيمات أكسيد النيكل النانوية المصنعة باستخدام طريقة انتشار الأجار [83, 84]. وقد تم توضيح التأثير البكتيري لمترابكات أكسيد النيكل النانوية ضد الجراثيم إيجابية الجرام (*Staphylococcus aureus*) والجراثيم سلبية الجرام (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*) كما هو موضح في الشكل (17.IV):



الشكل (17.IV): مناطق تثبيط النشاط المضاد للبكتيريا للمترابكات النانوية $Zn@NiO$ ، $Fe@NiO$ مقارنة بجسيمات النيكل النانوية $Ag@NiO$ ، $Cu@NiO$ المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة.

وتم عرض النتائج في الجدول (4.IV) لا تظهر جسيمات أكسيد النيكل النانوية المصنعة نشاطاً مضاداً للميكروبات ضد كل من الجراثيم إيجابية الجرام وسلبية الجرام. وقد أشارت هذه النتائج إلى التوافق الحيوي لجسيمات أكسيد النيكل النانوية. كما وجد أن الجسيمات النانوية المحضرة غير ضارة لأنها لا تمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة عند تركيز منخفض بينما تظهر تأثيراً ساماً وتمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة عند تركيزات أعلى تم الإبلاغ عنها في أبحاث سابقة والمدرجة في الجدول IV.4.

جدول (4.IV) دراسات سابقة حول الفعالية المضادة للبكتيريا لجسيمات أكسيد النيكل النانوية.

المراجع	قطر التثبيط	نوع البكتيريا	الكمية (µg)	العينة
[84, 85]	2.84	E.coli	500	NiO NPs
	2.35	S. aureus	200	NiO NPs
	4.12	P. aeruginosa		
	-	E.coli	100	NiO NPs
	-	S. aureus		
	-	P. aeruginosa		
	-	B. subtilis		

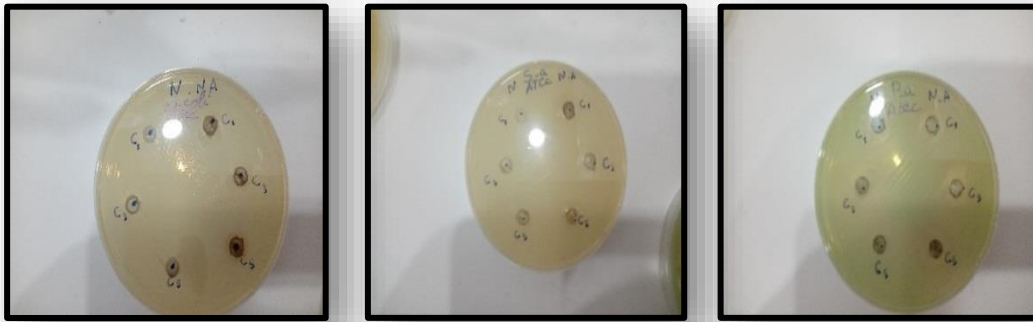
لذلك كانت الجسيمات النانوية المتحصل عليها متوافقة حيوياً وغير سامة وتستخدم لإصلاح البيئة. كما تم استخدام جسيمات أكسيد النيكل النانوية للنشاط المضاد للميكروبات ضد الكائنات الحية الدقيقة إيجابية الجرام وسلبية الجرام. تشير النتائج إلى أن جسيمات أكسيد النيكل النانوية لا تظهر أي نشاط مضاد للميكروبات ضد الكائنات الحية الدقيقة إيجابية الجرام وسلبية الجرام عند التركيز المنخفض. لذلك، فإن جسيمات أكسيد النيكل النانوية المصنعة متوافقة حيوياً وغير سامة.

نظراً لأن جزيئات أكسيد النيكل النانوية المصنعة غير فعالة للغاية، فقد حاولنا تعديل جزيئات أكسيد النيكل النانوية المصنعة عن طريق طلائها أو زخرفتها بالحديد والنحاس والفضة والزنك لتحقيق أنشطة مضادة للميكروبات محسنة. ولسوء حظنا، وجدنا أن الأنشطة المضادة للبكتيريا لم تتحسن مع الحديد والنحاس والزنك وتعززت فقط بسبب تضمين الفضة وأعطت نتيجة إيجابية. ووجد أن جزيئات المتراكبات النانوية Ag@NiO NPs تمنع نمو سلالات البكتيريا المدروسة وهو جانب ملحوظ من الدراسة.

جدول (5.IV) النشاط المضاد لبكتيريا (*Staphylococcus aureus*، *Pseudomonas aeruginosa*، *Escherichia coli*) للمتراكبات النانوية Ag@NiO، Cu@NiO، Zn@NiO، Fe@NiO مقارنة بجسيمات النيكل النانوية NiO NPs المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة.

Escherichia coli	Pseudomonas aeruginosa	Staphylococcus aureus	المتراكبات النانوية
-	-	-	NiO NPs
-	-	-	Fe@NiO NPs
-	-	-	Zn@NiO NPs
-	-	-	Cu@NiO NPs
11 ±0.29ml	16 ±17ml	14 ±0.29ml	C ₁ =1mg/ml Ag@NiO NPs
11 ±0.17ml	14 ±0.29ml	16 ±0.17ml	C ₃ =3mg/ml
11 ±0.29ml	18 ±0.17ml	14 ±0.15ml	C ₅ =5mg/ml

يوضح الشكل (5.IV) مناطق تثبيط النشاط المضاد للبكتيريا سالبة الغرام (E.Coli•P.aeruginosa) والبكتيريا موجبة الغرام (S.aureus) للمتراكبات النانوية المحضر بطلاء أو زخرفة جسيمات النيكل النانوية بالفضة $Ag@NiO$ NPs وبطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبات البقلة المباركة *Portulaca oleracea* كعامل اكسدة واختزال ويبين الجدول (5.IV) نسب قطر التثبيط لمتراكبات أكسيد النيكل المزخرف بالفضة كانت النتيجة مقبولة لحد ما، وتحسن التثبيط المضاد للبكتيريا بالمقارنة بجسيمات النيكل النانوية وكانت أفضل نتيجة مع بكتيريا *P.aeruginosa* حيث كان قطر التثبيط 18Mm بتركيز $C_5=5mg/ml$ فحين مع بكتيريا *S.aureus* كان قطر التثبيط 16Mm بتركيز $C_3=3mg/ml$. وهذا يدل أنه يمكن لمنافذ $Ag@NiO$ النانوي الالتصاق بملف جدران الخلايا البكتيرية وكسرها قبل التسلل داخل الغشاء لتمزيق المكونات الكيميائية لعضيات الخلية.



الشكل (17.IV): النشاط المضاد لبكتيريا (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*) للمتراكبات النانوية $Ag@NiO$ مقارنة بجسيمات النيكل النانوية NiO NPs المصنعة بطريقة التوليف الأخضر باستعمال مستخلص نبتة البقلة المباركة.

3.IV. الفعالية المضادة لفيريس كوفيد-19 (SARS-COV-2)

3.IV. 1. مقدمة:

إن الحالات الناشئة في جميع أنحاء العالم من الأمراض الفيروسية التنفسية المختلفة والتصاعد الحالي لمرض فيروس كورونا الجديد (كوفيد-19) تجعل الناس أكثر انتباهاً للسيطرة على هذه الفيروسات من خلال طرق مبتكرة. تغلف معظم أمراض الجهاز التنفسي الناشئة فيروسات الحمض النووي الريبوزي التي تستخدم الارتباط بين الفيروس والخلية المضيفة للحصول على نموذج دخول باستخدام آلية الخلية المضيفة. كما تجلب المتغيرات الناشئة من كوفيد-19 تهديداً مستمراً للصحة العامة لأنه يتمتع بقدرة واسعة على العدوى ويمكن أن ينتشر بسرعة ليصيب البشر. يعد العلاج النانوي ساحة رائدة في مجال الطب النانوي الذي يساعد في الوقت نفسه على منع أو علاج الأمراض والتشخيصات. تم استكشاف طلاء الجسيمات النانوية والألياف النانوية على نطاق واسع، مما منع التلوث الفيروسي. أثبتت العديد من الدراسات الأنشطة القاتلة للفيروسات بواسطة جزيئات النانو المعدنية مثل النحاس والفضة والتيتانيوم ضد مسببات الأمراض الفيروسية التنفسية. أظهر العديد من الباحثين في جميع أنحاء العالم أن الأسطح المطلية بجسيمات نانوية أيونية مثل الزنك أو التيتانيوم تعمل كعوامل مضادة للفيروسات قوية ضد فيروسات الحمض النووي الريبي. كما تم استكشاف أنابيب الكربون النانوية والنقاط الكمومية وجسيمات النانو السيليكا (NPs) والجسيمات النانوية البوليمرية والمعدنية في مجال التحليلات النانوية للكشف عن الفيروسات. في هذه العمل ناقشنا بشكل شامل المترابكات النانوية المزخرفة التي تُظهر خصائص مضادة للفيروسات كبيرة لوقف تقدم مرض فيروس كورونا الجديد.

3.IV. 2. فيروس كورونا

مرض فيروس كورونا 2019 أو كوفيد-19 ناتج عن فيروس كورونا بيتا جديد يسمى فيروس كورونا المسبب لمتلازمة الجهاز التنفسي الحادة الوخيمة 2 (سارس-كوف-2) [86]. ظهر في مدينة ووهان الصينية في ديسمبر 2019. ويحتوي على أبرز جينوم معروف من الحمض النووي الريبي أحادي السلسلة ذي الاتجاه الإيجابي والذي يبلغ طوله 30-32 كيلو قاعدة. ويعاني المريض من أعراض مثل الحمى الشديدة والسعال الجاف ومرض شبيه بالإنفلونزا وآلام عضلية وتسلل رئوي، مما يؤدي في النهاية إلى مرض تنفسي حاد [87]. تبدأ عدوى فيروس كورونا بالارتباط الفيروسي بعد التعرف على مستقبل مثبط الإنزيم المحول للأنجيوتنسين (ACE-2) الخاص بالخلية المضيفة، ويدمج غشاء الخلية [88]، وينتهي بالخروج من المضيف. البروتينات النووية (N) والغلاف (E) والغشاء (M) والسنبلة (S) هي البروتينات الهيكلية الأربعة الرئيسية للفيروس. تفاعل مجال ربط المستقبلات (RBD) لبروتين S مع ACE-2 على غشاء الخلية المضيفة؛ يؤدي ربط RBD لبروتين S و ACE-2 إلى تكوين هيكل على بروتين S (الشكل 19.IV). بالإضافة إلى SARS-COV-2، حدثت في المائة عام الماضية أوبئة مثل أنفلونزا (H1N1 و H2N2) (1956-1958) وأنفلونزا (H3N3) (1968) وفيروس نقص المناعة البشرية (2005-2012) وأنفلونزا الخنازير (2009)، لذلك لا يمكننا إنكار الحاجة إلى تحديد مضادات فيروسات جديدة وفعالة للغاية لمكافحة الفيروسات المختلفة [89, 90]. كان الأسوأ في عام 1918، والذي أودى بحياة 40 مليون شخص [91]. منذ بدء جائحة كوفيد-19، ظهرت عدة متغيرات جديدة مثيرة للقلق، مرتبطة بزيادة القدرة على الانتقال وزيادة الضراوة. بناءً على البيانات الوبائية التي قدمتها منظمة الصحة العالمية، في 11 ديسمبر 2021، منذ بداية الوباء، تم تحديد خمس متغيرات جديدة لفيروس

سارس-كوف-2 كمتغير مثير للقلق (VOC). كان المتغير الأول المثير للقلق هو ألفا (B.1.1.7) في المملكة المتحدة (UK) في أواخر ديسمبر 2020. ثم تم الإبلاغ عن متغير بيتا (B.1.351) في جنوب إفريقيا في ديسمبر 2020، وتم الإبلاغ عن دلتا (B.1.617.2) في الهند في ديسمبر 2020 مع الموجة الثانية من زيادة العدوى. في الهند، نتجت سلالة دلتا ومتغير البنغال (B.1.618.1) بشكل أساسي عن حالة كارثية في مايو 2021، مما أدى إلى أكثر من 400000 إصابة يومية [92]. في العام الماضي، تم الإبلاغ عن متحور جاما (P.1) في البرازيل في أوائل يناير، وأخيرًا، تم تحديد أوميكرون (B.1.1.529) في جنوب إفريقيا في نوفمبر مع موجة الارتفاع الثالثة. على الرغم من أن متحور أوميكرون أظهر أعلى قابلية للانتقال، إلا أنه يسبب أعراضًا خفيفة إلى معتدلة مع معدل وفيات منخفض. أعلنت منظمة الصحة العالمية مؤخرًا عن تحذير جديد بشأن متحور جديد من أوميكرون يسمى XE. وقد أثرت مخاوف بشأن قابليته للانتقال السريع، مما يجعله ينتشر بشكل غير عادي وقد يتسبب في موجة كوفيد جديدة عالية الخطورة. تعد تدابير مكافحة العدوى الفعالة ضرورية لمنع هذه الفاشيات الشديدة لأن فقدان المناعة الوقائية للمضيف ضد مثل هذه الفيروسات والمرضية الشنيعة لهذه السلالات لا تزال تهدد الأرواح. أظهرت دراسة سابقة أن فيروس سارس-كوف-2 يمكن أن يظل معديًا على الأسطح الفولاذية أو البلاستيكية لمدة 72 ساعة؛ وبالتالي، فإنه يشكل تحديًا كبيرًا لمكافحة العدوى في المستشفيات والأسر ومرافق إنتاج الأغذية [93]. لكي نكون دقيقين، يمكن للعوامل الطبية الحيوية منع هذه الفيروسات البوائية القوية من الانتشار، وتخفيف حالات المرضى، أو تطهير الأسطح التي تحظى بطلب كبير. إلى جانب الوقاية من الأمراض، يمكن للتشخيص المبكر أيضًا تقليل التلوث المتبادل. في الآونة الأخيرة، ظهرت العديد من تقنيات التشخيص العلاجي الجديدة لتشخيص الأمراض الفيروسية والوقاية منها وعلاجها. تطورت تقنية التشخيص النانوي باعتبارها التطبيق التكنولوجي النانوي الأكثر قدرة في المجال الطبي الحيوي نتيجة لفعاليتها المضادة للفيروسات. للوقاية من مرض كوفيد-19 وتشخيصه وعلاجه، تلعب تقنية النانو دورًا حاسمًا في التخفيف من العدوى [93]. بشكل عام، تحتوي الجسيمات النانوية المعدنية على أقل من ميكرومتر واحد ولها مساحة سطح أعلى من حجمها [94]. تتمتع الجسيمات النانوية ببعض الميزات الفريدة، بما في ذلك تعدد الوظائف والذوبان المعزز والكفاءة في توصيل الدواء وجزيئات التقاط التفاعل مع المحلل المستهدف؛ فهي مثالية لتطبيقات المستشعر [95]. ومن ثم، لعبت دراسات المواد النانوية الحديثة دورًا حيويًا في إدارة الوباء الحالي ومكافحة نفسي المرض القادم. يساعد تقدم تكنولوجيا النانو في تبسيط جمع العينات ومعالجتها واكتشاف مسببات الأمراض الفيروسية والمستضدات الخاصة بالأمراض من خلال التأثيرات المختلفة لمنصات الاستشعار الموحدة القائمة على الرقائق الدقيقة والجسيمات النانوية [96] وفي مجال التشخيص العلاجي، اقترحت تكنولوجيا النانو حلاً رائدًا، حيث يمكن لجرعة محدودة من الجسيمات النانوية تشخيص الكائنات الحية الدقيقة وقتلها بشكل انتقائي [97].

والأنفلونزا [104, 105]. بالإضافة إلى بعض المركبات الأيونية، أظهرت العديد من المركبات المعدنية أيضًا أنشطة عملية قاتلة للفيروسات. يتسبب النحاس في الحالة الصلبة أو حالة الأكسيد في إتلاف جينوم فيروسات الحمض النووي الريبي ذات الاتجاه السلبي [105]. يمكن للنحاس أيضًا تقليل عمل بروتين الهيماجلوتينين في فيروس الأنفلونزا أ عن طريق التشوه الهيكلي. يمكن لـ Cu_2O أيضًا تدمير هياكل البروتين عن طريق انقسام روابط S-S عن طريق استخدام تشويبه شبكة ربط الهيدروجين أو التفاعلات الأيونية في أسطح البروتين أو عن طريق تقليل تركيز الثيول [106]. أظهر وارنز وآخرون أن فيروس كورونا E229 غير نشط في سبائك النحاس والنحاس الأصفر Cu / Zn [107]. استنتجت دراسة سابقة أن إمكانية الوصول إلى Cu^{2+} في الخلية يمكن أن تكون عاملاً مقيداً لقابلية الفيروس للبقاء حيث يعمل Cu^{2+} كعامل مساعد في البروتينات الفيروسية والعديد من البروتينات الفيروسية [108]. يتمتع النحاس بنشاط قوي مبيد للفيروسات والبكتيريا ضد أطيفاء مختلفة من مسببات الأمراض (الشكل 2 أ). يتم تقديم النشاط القاتل للفيروسات للنحاس من خلال الضرر التأكسدي للجزيئات الحيوية المختلفة، والترابط المتبادل مع الأحماض النووية للفيروس. يمكن للنحاس الحر أن يكسر مكونات خلوية مختلفة تولد أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال. وقد ثبت أن سبائك النحاس تعمل على تعطيل الفيروسات المغلفة بشكل أسرع من الفيروسات غير المغلفة، ربما عن طريق توليد أنواع الأكسجين التفاعلية على سطح السبائك الخارجي [108]. أظهرت العديد من الدراسات دور النحاس الصلب في تعطيل فيروس كورونا الجديد. في دراسة أخرى، بعد ساعتين تحت الأسطح المطلية بالنحاس، لوحظ انخفاض كبير (99%) في تركيز الفيروس [108]. أظهرت بعض الدراسات أن وجود حمض الأسكوربيك النحاسي يولد جذور الهيدروكسيل ويعطل الفيروس [109]. يمكن لرذاذ مسحوق النحاس أن يقتل الفيروسات عن طريق تعطيل الغلاف الدهني وقتل التلامس بسبب سطحه الخشن [110].

إن استخدام NPs المعدنية في معدات الحماية الشخصية (PPE) يمكن أن يحدث فرقاً في وقف انتقال الفيروس. كان التأثير المضاد للفيروسات للجسيمات الفضية النانوية واضحاً أيضاً من خلال تدمير البروتينات السطحية للقفيصة الفيروسية المكونة من بقايا السيستين والميثيونين (الشكل 2 ب) [111]. يظهر طلاء الحالة الصلبة وطلاء الحالة الصلبة المخدر بـ TiO_2 - Ag نشاطاً مبيداً للفيروسات عن طريق التحفيز الضوئي. لقد قدم TiO_2 إنتاج ROS من خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال المحفزة ضوئياً على سطح المعدن. أدى إنتاج ROS إلى نشاط مبيد للفيروسات عن طريق تدمير المركبات العضوية ذات النشاط التأكسدي القوي. قد يؤثر التحفيز الضوئي على نشاط مبيد الفيروسات عن طريق تغيير محتوى الفسفوليبيد. يؤدي تفاعل التحفيز الضوئي إلى إتلاف البروتينات المكونة قبل تحلل الحمض النووي، مما يؤدي في النهاية إلى انخفاض القدرة على العدوى [111]. تطلق الحالة الصلبة المطلية بـ TiO_2 أيونات الفضة في البيئة المائية، مما يؤدي إلى تثبيط إنزيمات الجهاز التنفسي، ومقاطعة نقل الإلكترون، وتغيير نفاذية الأغشية الفيروسية، مما يتسبب في موت الخلايا (الشكل 2 ج) [112]. ومع ذلك، يمكن استخدام هذه الكيانات الكيميائية كمطهرات يمكن أن تكون أفضل بكثير من المركبات المعدنية حيث تطلق الجسيمات النانوية الأيونات والركام، مما يؤدي إلى زيادة النشاط المضاد للفيروسات.

3.3.IV. ب. مركبات نانوية عضوية وغير عضوية تقاوم العدوى الفيروسية

توفر الألياف النانوية المصنعة من مركبات نانوية عضوية وغير عضوية مساحة سطحية هائلة تؤخر من كفاءة دخول الفيروس وارتباطه. وهي تتميز بحجم صغير ووزن ضئيل ونفاذية محسنة وترابط رائع [111]. يُظهر تطوير صفائح نانوية من الكيتين مصنوعة من جسيمات نانوية فضية (AgNPs) انخفاضًا بمقدار 2 لوغاريتم لجزيئات فيروس الحمض النووي الريبي السالبة عند تركيز 8.5 ميكروغرام/سم من جسيمات النانو الفضية [111]. أظهر تشين وآخرون أن مركبات النانو الجرافين الفضية تثبط 24.8% من العدوى بنسبة 4.7×10^4 TCID50/مل (جرعة معدية من زراعة الأنسجة 50%/مل) من فيروس كورونا القططي عند تركيز 0.1 مجم/مل [113]. استنادًا إلى دراسة سابقة أجريت عام 2007 [114]، أظهر الباحثون التأثير القاتل للفيروسات لمركبات البزموت ضد فيروس سارس-كوف. كشفت دراسة حديثة أجراها يوان وآخرون أن تطبيق رانثيديدين سترات البزموت (RBC) في خطوط الخلايا البشرية والحيوانية أظهر تثبيطًا قويًا لتكاثر فيروس سارس-كوف-2 عن طريق التدخل في نشاط الهيلىكاز الفيروسي [115]. حقق التأثير المميت لهذه الكاتيونات المتعددة التي أظهرها هالدر وآخرون نشاطًا قاتلاً للفيروسات بنسبة 100%. ضد أنفلونزا البشر والطيور في الأسطح المصنعة باستخدام N-dodecyl، methyl-polyethyleneimine، على الرغم من وجود مقاومة لأوسيلتاميفير [116]. N-dodecyl، methyl-polyurethane (Quat-12-)، PU يفسد الغلاف الفيروسي لخرق الحماية للحمض النووي الريبي بعد معالجته بطلاء الرش على العمود الفقري الزجاجي [117]. إن استخدام الألياف النانوية في وظائفها باستخدام عوامل نووية مثل بيتا سيكلوديسترين وحمض أو-يودوسوبنزويك يقلل من احتمالية تنفس مسببات الأمراض الفيروسية عن طريق تحييد الملوثات [112]. إن الغزل الكهربائي هو الطريقة القياسية لتوليف مادة تعتمد على الألياف النانوية باستخدام الشحنة الكهربائية، مما يعزز قدرتها على التقاط الجسيمات المستهدفة [118, 119]. كما أظهرت الجسيمات النانوية الفيروسية الوظيفية السطحية أيضًا عملاً وقائيًا جيدًا ضد فيروس سارس-كوف-2 من خلال تطوير اللقاح [120, 121].

3.3.IV. ج. التشخيص الفيروسي المعتمد على تقنية النانو

يمكن تقييد انتشار عدوى كوفيد-19 عن طريق العزل المبكر والتعرف على المرض من خلال الكشف عن المرض وتشخيصه. بغض النظر عن التحديات في التشخيص الحساس والسريع، فقد تم إدخال بعض تقنيات الكشف عن فيروس كورونا. يمكن اكتشاف عدوى SARS-COV-2 من خلال اختبارات التشخيص الجزيئي عن طريق استهداف الأحماض النووية الفيروسية، بدقة أكبر من تقنيات التصوير الشعاعي. يمكن أيضًا اكتشاف العدوى الفيروسية عن طريق استهداف العلامات المصلية، أي الجلوبيولين المناعي، ضد مستضد فيروسي محدد [122]. تعتمد أنظمة التشخيص المستندة إلى المستضد والحمض النووي بشكل كبير على البروتينات وعلم الجينوم الخاص بالفيروسات أو الاختلاف في التعبير الجيني للعلامات الالتهابية الخاصة بالمضيف

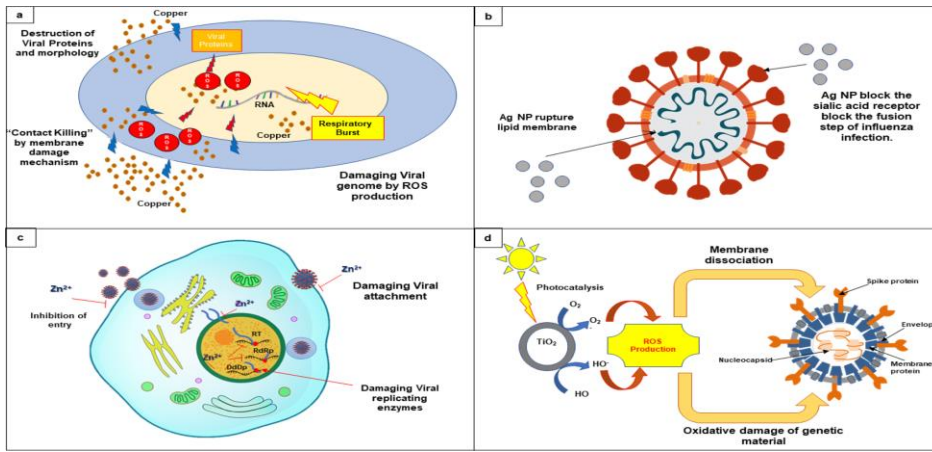
3.IV.3. د. التشخيص النانوي القائم على المعادن

في مجال التشخيص السريع، أفادت بعض الدراسات الحديثة أن الجسيمات النانوية الذهبية (AuNPs) هي واحدة من أكثر المواد النانوية استخدامًا [124]. أظهر الباحثون أن الجسيمات النانوية الذهبية هي أداة تشخيص نانوية للكشف عن الحمض النووي الفيروسي مزدوج السلسلة (dsDNA). يمكن للجسيمات النانوية الذهبية المزينة بأيونات السترات أن تتفاعل مباشرة مع الحمض النووي أحادي السلسلة (ssDNA) أو ssRNA. يمكن اكتشاف هذا التفاعل بين dsDNA لفيروس سارس-كوف والجسيمات النانوية الذهبية عن طريق تغيير لون المحلول عن طريق إضافة الملح من خلال اختبار تهجين لوني بسيط [125]. في دراسة أخرى، أظهرت الجسيمات النانوية الذهبية المقترنة بالبروتين الفلوري الأخضر تغيرات في الامتصاص تتفاعل مع الأجسام المضادة التكميلية المحددة [126]. طورت مجموعة أخرى مستشعرًا للجينات يعتمد على التهجين الكهروكيميائي المعتمد على الجسيمات النانوية الذهبية (الشكل 3ب). تم تصميم نظام الاستشعار هذا للكشف عن الحمض النووي الفيروسي المستهدف من خلال تهجين شكله البيوتيني مع قطب كهربائي قائم على جسيمات النانو الذهبية المزينة بمسبار مثبت من الحمض النووي الثيولاتي. كما طور الباحثون بولي ببتيدات مرتبطة بالذهب، وهي استراتيجية لتقييد البروتينات المستهدفة على السطح الخارجي لجسيمات النانو الذهبية. باستخدام هذه الاستراتيجية، يمكن تكوين كوكتيل البروتين من ستريبتافيدين كبروتينات نموذجية أساسية، محاطة ببروتين فلوري أخضر، وبروتين SARS-COV-E المثبت على جسيمات النانو الذهبية. تتداخل تركيبات البروتين هذه مع الأجسام المضادة في المصل، مما يؤدي إلى تغيير في الامتصاص، وتشخيص كوفيد-19 بشكل فعال [127]. أبلغ تشاو وآخرون عن طرق عزل الحمض النووي الريبي عن طريق تصنيع الجسيمات النانوية المغناطيسية (pcMNPs) المطلية بإستر بولي أمين مع مجموعات كربوكسيلية (PC). من خلال الجمع بين مرحلتي التخلل والارتباط، تصبح تقنية الاستخراج هذه فعالة من حيث الوقت وسهلة الاستخدام. علاوة على ذلك، لإجراء تفاعل البوليميراز المتسلسل العكسي اللاحق، يمكن دمج هذا المركب من pcMNPs-RNA مباشرة في التفاعل. مع حد تعريف يبلغ 10 نسخ من جزيئات فيروس SARS-COV-2، استهدف نظام الكشف هذا منطقة ORF1ab و N من الحمض النووي الريبي الفيروسي [128]. بناءً على طريقة تخليق Zhao et al، تم تقديم مجموعة أخرى أيضًا لعزل الحمض النووي الريبي القائم على الجسيمات النانوية المغناطيسية من مسحة البلعوم الأنفي. في المقام الأول، قاموا بتغليف APTES على جسيمات النانو المغناطيسية (MNP) لتطوير مركب الجسيمات النانوية الأمينية المغناطيسية (NH₂-MNP) (الشكل 3 أ). في النهاية، للحصول على بولي (أمينو إستر)، قاموا ببلورة ثنائي أكريلات أمين وغلفوا الجسيمات النانوية الأمينية المغناطيسية (NH₂-MNP) ببولي (أمينو إستر) لتشكيل المنتج النهائي (بولي (NH₂-MNP) [129]. إجراء اختبارات RT-PCR في الوقت الحقيقي لـ COVID-19، يمكن تحقيق حوالي 5000 عملية استخلاص/تنقية للحمض النووي الريبي باستخدام 100 مل فقط من Poly-NH₂-MNP. يحتاج الكشف الدقيق عن الأحماض النووية إلى عملية عزل وفصل كفؤة تسمح بتنقية الحمض النووي الفيروسي المستهدف أو الحمض النووي الريبي. على سبيل المثال، أفادت دراسة أخرى عن جسيمات نانوية فائقة المغناطيسية مقترنة بمسبار تكميلي للكشف عن التسلسل المستهدف لجين SARS-COV محدد. تم اختبار ناتج تفاعل البوليميراز المتسلسل الذي أجراه الحمض النووي المستخرج باستخدام جسيمات نانوية مغلقة بالسيليكا مقترنة بتسلسل تكميلي،

مما ينتج عنه إشارات فلورية، وكشف وحساب إنتاج الحمض النووي التكميلي المستهدف [130]. نقل Somvanshi et al إجراء تصنيع MNPs المعدلة على السطح. لقد قاموا بتصنيع فيريت الزنك من خلال الاحتراق وفي النهاية قاموا بوظيفة الجزء الخارجي من الجسيمات النانوية بالسيليكا وكحول البولي فينيل المشتق من الكربوكسيل. أجرى هذا النظام استخلاص الحمض النووي الريبي الفيروسي من عينات متنوعة لتشخيص مرض كوفيد-19 بشكل محتمل [131].

3.3.IV. 3. هـ. التشخيص النانوي القائم على الكربون

إلى جانب الجسيمات النانوية المعدنية وغير المعدنية الأخرى، تم أيضًا استخدام المواد النانوية القائمة على الكربون على نطاق واسع في التشخيص النانوي الخاص بكوفيد-19. يمكن استخدام أشكال هيكلية مختلفة مثل الجرافين وأنابيب الكربون النانوية (CNTs) ونقاط الكربون النانوية (CNDs) في الكشف عن الأمراض الفيروسية. في تشخيص الأمراض الفيروسية التنفسية الشبيهة بفيروس سارس-كوف، تم الإبلاغ عن استخدام أنابيب الكربون النانوية في العديد من المجالات [132]. طور Yeh et al جهازًا مبتكرًا لتخصيب الحجم القابل للضبط (STEM) يعتمد على أنابيب الكربون النانوية والذي يمكنه زيادة وعزل الفيروسات. إلى جانب أنابيب الكربون النانوية ذات الجدار الواحد، أعدت مجموعة أخرى منصة استشعار بصري تعتمد على أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار (SWCNT) للكشف عن كوفيد-19 (الشكل 3 ج). أظهر مستشعر النانو القائم على أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار المقترن بشكل غير تساهمي ببروتين ACE2، والذي يتمتع بتقارب ارتباط خاص ببروتين سبايك SARS-COV-2، حساسية محسنة. ونتيجة لذلك، أظهر أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار إشارة فلورية معززة مضاعفة في وجود البروتين المستهدف [133]. وبالمثل، طورت مجموعة أخرى من الباحثين أقطابًا ثلاثية الأبعاد مطلية بأكسيد الجرافين المختزل (rGO) مطبوعة على النانو للكشف بسرعة عن أجسام مضادة لـ COVID-19 [134]. لتثبيت مستضدات COVID-19 الخاصة، استخدموا رقائق نانوية. أدى تثبيت المستضد إلى ارتباط أجسام مضادة معينة تم إدخالها في الجهاز، مما أدى إلى انحراف معاوقة الدائرة. يمكن لهذا الجهاز اكتشاف مستضد الهدف عند حد 2.8×10^{-15} M لجسم مضاد خاص بـ spike S1 و 16.9×10^{-15} M لجسم مضاد خاص بربط المستقبلات (RBD) [150]. في دراسة مختلفة، طورت مجموعة من الباحثين مجموعة أدوات كشف فيروس كورونا المستجد تعتمد على شريحة. يكتشف هذا الجهاز بروتين N باستخدام نظام قائم على أبتامر الحمض النووي الريبي المقترن بنقطة الكم (QD) بحساسية عالية وخصوصية [135]. باختصار، قد يدعم استخدام الجسيمات النانوية الكربونية القائمة على الفلورسنت وغيرها من البنى النانوية الكربونية العلماء في تطوير طرق تشخيص حساسة للكشف السريع عن فيروس كورونا المستجد [136]. كما وصف الباحثون مؤخرًا آلية تحييد المركبات النانوية القائمة على الجرافين لاستشعار فيروس كورونا المستجد [137].



الشكل (19.IV): آليات النشاط القاتل للفيروسات لبعض الجزيئات المعدنية والأيونية تمثيلاً تخطيطياً. أ نشاط مضاد للفيروسات للنحاس في كلا الشكلين المعدني والأيوني. القتل بالتلامس، والتدهور الجينومي عن طريق الانفجار التنفسي وتدمير البروتينات الفيروسية. ب تدمير الغشاء الدهني الفيروسي وحجب مستقبل حمض السياليك بواسطة الجسيمات النانوية الفضية. ج تحجب أيونات الزنك ارتباط الغشاء وكذلك تمنع بوليميريز الحمض النووي الريبي (RdRp) المعتمد على الحمض النووي الريبي (RdRp)، والنسخ العكسي (RT)، وبوليميراز الحمض النووي المعتمد على الحمض النووي (DdDp). د تظهر أكاسيد التيتانيوم نشاطاً مضاداً للفيروسات عن طريق تفكك الغشاء والمواد الجينية الضارة عن طريق إنتاج ROS بعد التحفيز الضوئي.

4.3.IV. استراتيجيات العلاج النانوي المضاد للفيروسات

4.3.IV. أ. العلاجات النانوية المعدنية لمكافحة الأمراض الفيروسية

لقد تطورت الأدوية المضادة للفيروسات مؤخرًا ويمكن تقسيمها على نطاق واسع اعتمادًا على آلية العمل، مثل مثبطات الارتباط والاختراق، ومثبطات النسخ العكسي، ومثبطات بوليميراز الحمض النووي، ومثبطات البروتين، ومثبطات النورامينيداز. في الآونة الأخيرة لعلاج التهابات الفيروسية، تطورت العديد من استراتيجيات العلاج النانوي الجديدة. ادعى تروجولو وآخرون وجود مزيج من أيونات الفضة والنحاس لعلاج المرض العرضي لسارس [96]. يثبط أورانونوفين (AF)، وهو عقار معدني قائم على الذهب (Au)، الحمض النووي الريبي الفيروسي داخل الخلايا لـ SARS-COV-2، والذي انخفض بنسبة 95% بعد 48 ساعة من الإعطاء [138]. يمكن أن يتداخل أورانونوفين مع مسارات الاستجابة المناعية، ويتداخل مع مسارات إشارات الإنترلوكين 6 ويمنعها من خلال فسفرة JAK1 وSTAT3. يُظهر AF نشاطاً مثبطاً قوياً تجاه بروتينات السيستين. يثبط AF تكاثر فيروس SARS-COV-2 بقوة مع إضعاف العدوى في الخلايا البشرية الحية [138]. تم تصنيع جزيئات شبيهة بالفيروسات الاصطناعية (sVLPs)، مستغلة الطاقة السطحية العالية لجسيمات النانو الذهبية المحتضنة مع بروتين سبايك IBV المعاد تركيبه كمستضدات نموذجية خاصة بالتاج. يحاكي بروتين سبايك الكروي الخاص بفيروس كورونا الطيري (AvCov) المسقط على سطح بنية غلاف النواة لـ AuNP الجسيمات الفيروسية الطبيعية. يمكن أن تعمل هذه التركيبة النانوية على تحسين الاستجابة الخلوية والخلطية ضد AvCov-IBV (الشكل 4 أ). تُعزى الاستجابة المناعية القوية لـ sVLPs ضد AvCov-IBV إلى عرض المستضد المتنوع، وتحسن عيار الأجسام المضادة، والاستجابات الانتهازية الضئيلة مقارنة بالمستضدات الحرة [94]. في حالة الجسيمات النانوية الفضية، أظهرت دراسات مختلفة قدرة جسيمات أكسيد

الفضة النانوية على إعاقة دخول الفيروس. وقد تم توصيف واختبار جسيمات أكسيد السيريوم النانوية المعدلة بالفضة (AgCNPs) المنتظمة والكروية و15-20 نانومتراً لفعاليتها المضادة للفيروسات. وقد خفضت جسيمات أكسيد السيريوم النانوية المعدلة بالفضة عيار OC43 لفيروس كورونا البشري المعدي إلى حوالي 103 TCID50/mL وأبطلت تمامًا نشاط فيروس الأنف المعدي 14 (RV14) [139]. يمكن التدخل في عدوى وتكاثر فيروس التهاب المعدة والأمعاء القابل للانتقال أو فيروس التهاب المعدة والأمعاء القابل للانتقال (TGEV) عن طريق الاتصال المباشر بأسلاك الفضة النانوية والجسيمات النانوية، مما يعطل ارتباط الفيروس ودخوله (الشكل 4 ب) [140]. أظهرت المواد النانوية الفضية نشاطاً قاتلاً للفيروسات من خلال (أ) تثبيط موت الخلايا المضيئة، وزيادة التعبير عن بروتينات الإشارة p38/mitochondria-caspase-3؛ (ب) بدء الاستجابة الالتهابية التي تتفاعل مع جليكوبروتين سبايك؛ و(ج) تغيير بنية البروتين السطحي، وتعطيل قدرته على التعرف على مستقبل أمينوببتيداز N الخاص بالمرض الخنزيري والالتصاق به. تم تحضير مركب نانوي معدني، TPNT1، يحتوي على Au-NP و Ag-NP و ZnO-NP في محلول مائي، وتم تقييمه كاستراتيجية نانوية علاجية فعالة مضادة للفيروسات. يثبط TPNT1 دخول الفيروس عن طريق منع ارتباط مستقبل ACE2 بمستضد سبايك SARS-COV-2. علاوة على ذلك، يمكن أيضاً تقليل كل من فيروسات الأنفلونزا البشرية (H1N1) والطيور (H5N1) المقاومة للأوسيلتاميفير والفيروسات البرية بكفاءة من خلال الخصائص السيتوباثية التي يسببها TPNT1 [141]. تظهر الكيانات المرنة والطويلة من جسيمات النانو الذهبية المعالجة بحمض أونديكان سلفونيك (MUS) نشاطاً قاتلاً للفيروسات مضاداً للفيروسات التي ترتبط ببروتين جليكان كبريتات الهيباران (HSPG). تعمل القوى العالية (~190 بيكو نيوتن) التي تولدها الجسيمات النانوية على تشويه بنية الفيروس بشكل لا رجعة فيه [109].

IV.3.4. ب. العلاجات النانوية العضوية المضادة للفيروسات

في السنوات الأخيرة، تم استخدام البنى النانوية العضوية على نطاق واسع في تطبيقات العلاج النانوي المضادة للفيروسات. يمكن مواجهة فيروس سارس-كوف-2 عن طريق الإسفنج النانوي المشتق من غشاء الخلايا الظهارية للرئة البشرية من النوع الثاني، والذي يُظهر شرط مستقبلات البروتين للالتصاق ودخول خلايا مضيئة لفيروس سارس-كوف-2 [142]. يمكن استخدام الحويصلات النانوية المقيدة للفيروسات التي تحفز التفاعل المناعي المحدد كنظام توصيل للمستضدات المضادة للفيروسات وتقليد الخاصية الفيروسية [143]. كما وجد الباحثون أيضاً نانو مطلي مكون من جسيمات نانوية من الجيلتين والأغشية الفيروسية لفيروس زيكا، حيث يمكن أن يؤدي التقاط الفيروس وتعطيل دخوله إلى تثبيط العدوى [144]. يمكن استخدام الجسيمات النانوية الدهنية كناقل للقاح mRNA الذي يشفر الغشاء المسبق والغلاف (prM-E) ضد فيروس زيكا [145]. تينج وآخرون [146] أفاد أن نقطة الكربون الكاتيونية المشتقة من الكركمين (CD) أظهرت تأثيراً قاتلاً للفيروسات ضد فيروس الإسهال البوابي الخنازيري (PEDV). تعمل هذه الأقرص المضغوطة بشكل كبير على إخضاع دخول الفيروس وتكاثره وتخليق الحمض النووي الريبي السلبي. ومن ثم، قد تعمل هذه النقطة الكربونية الكاتيونية كعلاجات محتملة ضد فئات أخرى من فيروسات كورونا مثل SARS-COV-2. من خلال تزيين سطح النقطة الكربونية بحمض 4-أمينوفينيل بورونيك ومجموعات حمض فينيل بورونيك، أظهر Loczechin et al. تحسناً بمقدار عشرة أضعاف في النشاط القاتل للفيروس التاجي البشري

E 229 (E229-HCoV) (الشكل 4 ج) [147]. تُعزى آلية عمل هذه الأقراص المضغوطة الوظيفية إلى تفاعل وظائف حمض البورونيك مع بروتين S لـ HCoV-229E. صممت مجموعة من الباحثين جسيمات نانوية من PLGA محملة بالريمديسيفير (NPs) تحتوي على مثبت الإنزيم المحول للأنجيوتنسين (ACEI) باستخدام محاكاة مشتركة للالتحام الجزيئي وديناميكيات الجسيمات المبددة (DPD) للتطبيق العلاجي في مرض كوفيد-19. يمكن تضمين ليزينوبريل، وهو مثبت إنزيم محول للأنجيوتنسين الكلاسيكي، له نشاط علاجي وحمي للرئة، تساهمياً فوق PLGA (L-PLGA)) وقد تم استخدامه لتغليف ريمديسيفير [148]. يمكن أن تكون مركبات النانو الدوائية أيضاً خياراً علاجياً فعالاً ضد الأمراض الفيروسية. قام العلماء بتقييم النشاط المضاد للفيروسات لمركبات النانو من سيتاجليبتين (SIT) وأسيئات جلاتيرامير (GA)، وهما عقاران معتمدان من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية لمواجهة فيروس سارس-كوف-2 المعزول من عينة بشرية. باستخدام تصميم العامل الثنائي المستوى ثلاثي العوامل، تم تطوير نانو مركبات SIT-GA، والتي أظهرت نشاطاً جيداً في قتل الفيروسات ضد SARS-COV-2 بـ IC50 تبلغ 8.52 ميكرومولر. مركب SIT-GA النانوي، وهو أقل من الأدوية الفردية. وقد تم إثبات تقارب ارتباط عالي فعال لبروتياز COVID 3CL من خلال الالتحام الجزيئي [134]. يمكن أن تعمل الجسيمات النانوية المشتقة من مصادر عشبية مثل *Azadirachta indica* (نبات النيم) كصيغة نانوية محتملة مضادة لـ SARS-COV-2 [149].

4.IV. العمل التجريبي

تم قياس نشاط الفعالية المضادة لفيروس كوفيد SARS-CoV-2 بمخبر المجد للتحليل الطبية بولاية الوادي لعينات جسيمات أكسيد النيكل النانوي وكذلك المترابكات المحضرة من طلائه $Fe@NiO$ NC و $Cu@NiO$ NC، $Ag@NiO$ NC، $Zn@NiO$ NC .

يقيس نظام EasyNAT الإشارات الفلورية الناتجة أثناء التشغيل ويحلل التغيير في الإشارات الفلورية بمرور الوقت لتحديد نتائج اختبار EasyNAT. يستخدم هذا النظام قياس التغيير في الإشارات الفلورية بمرور الوقت (Tt) لتحديد ما إذا كانت العينة إيجابية أو سلبية لوجود SARS-CoV-2. يقوم نظام EasyNAT بالخطوات التالية تلقائياً أثناء معالجة العينة:

قيمة Tt هي وقت التضخيم (بالدقائق) عندما تلبى قيمة الفلورسنت قيمة العتبة. يعرض نظام EasyNAT النتيجة للعينة ويتضمن أيضاً قيم Tt لـ ORF1ab (CoV101) والجين N (CoV10r) والتحكم الداخلي لـ GDAPH (ICI) و ICr) ويبلغ عن نتائج إيجابية أو سلبية وفقاً للمعايير التالية:

➤ إذا كانت قيمة Tt للجين ORF1ab هي N/A، فستكون نتيجة الاختبار للجين ORF1ab "سلبية".

إذا كانت قيمة Tt للجين $ORF1ab \leq 27$ ، فإن نتيجة الاختبار للجين ORF1ab ستكون "إيجابية".

➤ إذا كانت قيمة Tt للجين N هي N/A، فإن نتيجة الاختبار للجين N ستكون "سلبية". إذا كانت قيمة

Tt للجين N هي $N \geq 27$ ، فإن نتيجة الاختبار للجين N ستكون "إيجابية".

➤ إذا كانت قيمة Tt لـ IC هي N/A، فإن نتيجة الاختبار للـ IC المقابل ستكون "سلبية". إذا كانت قيمة

Tt لـ $IC \leq 27$ ، فإن نتيجة الاختبار للـ IC المقابل ستكون "إيجابية".

ويبين الجدول (5.IV) قيم Tt بالنسبة لأكسيد النيكل النانوي وكذلك المتراكبات المزخرفة لأكسيد النيكل النانوي الأربعة المحضرة Ag@NiO, Zn@NiO, Cu@NiO, Fe@NiO ومع ذلك، في بعض الحالات (بعد كوفيد) يظهر بوضوح وجود تأثير لكل من جسيمات النانو المصنوعة من أكسيد النحاس و CuO@Fe₂O₃ NC، مما يشير إلى قدرة التخليق الحيوي على منع التداخل بين الخلية البشرية والفيروس.

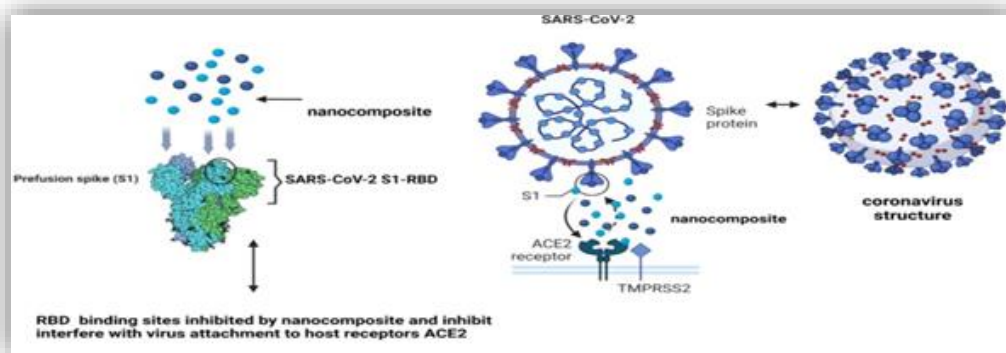
الجدول (5.IV) تأثير NiO NPs و Fe@NiO NC، Zn@NiO NC، Cu@NiO، Ag@NiO NC على فيروس SARS CoV-2.

Ag@NiO NC	Zn@NiO NC	Cu@NiO NC	Fe@NiO NC	NiO NPs		
8.33	10.17	9.33	9.02	9.83	CoV10l	قبل كوفيد (إيجابي)
8.17	4.50	8.33	6.67	NA	CoV10r	
2.13	NA	12.22	NA	NA	ICI	
NA	NA	NA	NA	NA	ICr	
NA	NA	NA	NA	NA	CoV10l	بعد كوفيد (سلبي) V/3V 15 min
NA	NA	NA	NA	NA	CoV10r	
15.17	16.33	NA	NA	6.15	ICI	
NA	NA	7.02	22.33	NA	ICr	

- OR1ab(CoV10l)
- الجين (CoV10r) N
- GDAPH الرقابة الداخلية (ICI و ICr).

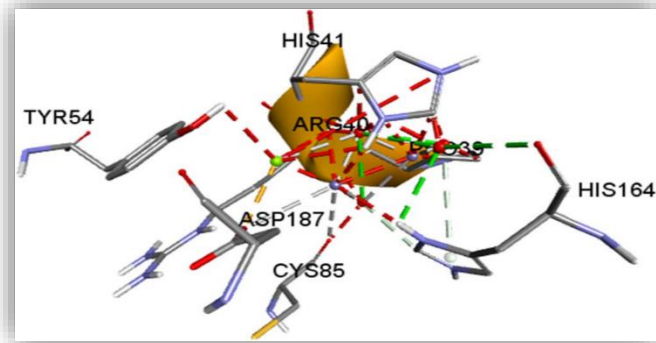
5.IV. الآلية المقترحة للجسيمات النانوية خلال نشاطها كمضادة للفيروسات.

تقترح الفرضية أن متراكبات النانو المحضرة NiO NPs و Fe@NiO NC، Zn@NiO NC، Cu@NiO، Ag@NiO NC والتي تتفاعل مع SARS-CoV-2، قد يعيق الفيروس من الارتباط بمستقبلات المضيف، مما يؤدي إلى تثبيط العدوى الفيروسية. وعلاوة على ذلك، قد تسبب هذه التفاعلات تغييرات لا رجعة فيها في بنية الفيروس، مما يؤدي إلى انخفاض العدوى. الطب النانوي هو تطبيق طبي للمواد النانوية، ويشمل تطوير علاجات للعدوى الفيروسية مثل COVID-19. الطب النانوي لديه القدرة على مكافحة فيروس كورونا بطرق مختلفة، مثل استهداف دخول الفيروس. يدخل فيروس كورونا إلى الخلايا البشرية من خلال الارتباط بمستقبل ACE2 على سطح الخلية. يمكن إنشاء جزيئات نانوية لمحاكاة مستقبل ACE2، والتي من شأنها أن ترتبط بالفيروس، مما يمنعه من إصابة الخلايا البشرية (انظر الشكل 21.IV).



الشكل (20.IV): الآلية المحتملة لـ SARS-coV-2 باستخدام المتراكبات النانوية [134].

تم استخدام تقنيات الالتحام الجزيئي للتحقق من صحة التفاعل بين SARS-CoV-2 وأحد المتراكبات النانوية. تم الحصول على بروتين SARS-CoV-2 (6lu7) من www.pdb.org/pdb/home/home.do، بينما تم تصنيع المركب النانوي من خلال استخدام برنامج Material Studio و Chemdraw. تم تحضير البروتين باستخدام Discovery Studio و AutoDock Vina. يعتمد الالتحام الجزيئي على حقيقة أن المتراكب النانوي الهجين له نشاط مضاد للفيروسات وقد ثبت أنه يثبط SARS-CoV-2 في التجارب السريرية. يعرض الشكل 21.IV الجيب النشط، والذي يتكون من بقايا الأحماض الأمينية A: ASP187 و A: HIS164 و A: CYS145 و A: HIS41 و A: PRO39 و A: ARG40 و A: CYS85 و A: TYR54. تشير نتائج الالتحام إلى أن التفاعل المتراكب النانوي والبروتين المستهدف كان مستقرًا، كما يتضح من وجود روابط بين الهيدروجين وداخله.



الشكل (21.IV): دراسات الالتحام مع نمط ارتباط المركب داخل المواقع النشطة للمستقبل (PDB 6LU7) والمواقع النشطة للمستقبل.

- [1] B. Maba, "Dégradation des effluents textiles (cas d'un colorant synthétique: le bleu de méthylène) par procédé fenton en utilisant la latérite," *Mémoire de Master, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou*, 2014.
- [2] Q. Ge, M. Ling, and T.-S. Chung, "Draw solutions for forward osmosis processes: Developments, challenges, and prospects for the future," *Journal of membrane science*, vol. 442, pp. 225-237, 2013.
- [3] E. Valdman, L. Erijman, F. Pessoa, and S. Leite, "Continuous biosorption of Cu and Zn by immobilized waste biomass *Sargassum sp.*," *Process Biochemistry*, vol. 36, pp. 869-873, 2001.
- [4] N. N. Ab Kadir, M. Shahadat, and S. Ismail, "Formulation study for softening of hard water using surfactant modified bentonite adsorbent coating," *Applied Clay Science*, vol. 137, pp. 168-175, 2017.
- [5] M. M. Matlock, B. S. Howerton, and D. A. Atwood, "Chemical precipitation of heavy metals from acid mine drainage," *Water research*, vol. 36, pp. 4757-4764, 2002.
- [6] D. Feng, C. Aldrich, and H. Tan, "Treatment of acid mine water by use of heavy metal precipitation and ion exchange," *Minerals Engineering*, vol. 13, pp. 623-642, 2000.
- [7] W. F. Wang FeiFei, Y. X. Yu XiaoLin, G. M. Ge MaoFa, W. S. Wu SuJun, G. J. Guan Juan, T. J. Tang JunWang, et al., "Facile self-assembly synthesis of γ -Fe₂O₃/graphene oxide for enhanced photo-Fenton reaction," 2019.
- [8] K. N. ABOUA, D. B. SORO, M. DIARRA, K. DIBI, K. R. N'GUETTIA, and K. S. TRAORE, "Étude de l'adsorption du colorant orange de méthyle sur charbons actifs en milieu aqueux: influence de la concentration de l'agent chimique d'activation," *Afrique science*, vol. 14, pp. 322-331, 2018.
- [9] I. Benchenaa, "Contribution des caractérisations photocatalytiques et de l'analyse de surface pour l'application de propriétés photocatalytiques en surface de substrats organiques (textiles et papiers)," Université Claude Bernard-Lyon I, 2014.
- [10] F. Ikram, "Étude de l'élimination de colorant (bleu de méthylène) par un matériau céramique".
- [11] C. Mebarki, "Dégradation photocatalytique du Bleu de méthylène à partir des hydrogels synthétiques avec et sans TiO₂," 2023.
- [12] F. Bosc, "Synthèse et caractérisation des couches minces et de membranes photocatalytiques mésostructurées à base de TiO₂ anatase", Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 2004.
- [13] S. Sharma and A. Kaur, "Various methods for removal of dyes from industrial effluents-a review," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, pp. 1-21, 2018.
- [14] M. Rafatullah, O. Sulaiman, R. Hashim, and A. Ahmad, "Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review," *Journal of hazardous materials*, vol. 177, pp. 70-80, 2010.
- [15] M. T. Uddin, M. A. Islam, S. Mahmud, and M. Rukanuzzaman, "Adsorptive removal of methylene blue by tea waste," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, pp. 53-60, 2009.
- [16] N. E. Ouafi, "اللغة الأمازيغية بالمغرب الأقصى من خلال مصادر العصر الوسيط," *Asinag*, pp. XXIX-LXII, 2021.
- [17] M. Auta and B. Hameed, "Chitosan-clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue," *Chemical Engineering Journal*, vol. 237, pp. 352-361, 2014.
- [18] L. Michaelis, S. Granick, and M. Schubert, "Another type of free radical in the group of thiazines and some other related heterocyclic rings," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 63, pp. 351-355, 1941.
- [19] H. Singh, G. Chauhan, A. K. Jain, and S. Sharma, "Adsorptive potential of agricultural wastes for removal of dyes from aqueous solutions," *Journal of environmental chemical engineering*, vol. 5, pp. 122-135, 2017.
- [20] L. W. Low, T. T. Teng, M. Rafatullah, N. Morad, and B. Azahari, "Adsorption studies of methylene blue and malachite green from aqueous solutions by pretreated lignocellulosic materials," *Separation Science and Technology*, vol. 48, pp. 1688-1698, 2013.
- [21] M. C. van Loosdrecht, P. H. Nielsen, C. M. Lopez-Vazquez, and D. Brdjanovic, *Experimental methods in wastewater treatment*: IWA publishing, 2016.
- [22] R. N. Shreve and J. A. Brink, "Chemical process industries," 1967.
- [23] S. Nandi and P. Walker Jr, "Adsorption of dyes from aqueous solution by coals, chars, and active carbons," *Fuel*, vol. 50, pp. 345-366, 1971.
- [24] S. Lambert, N. Graham, C. Sollars, and G. Fowler, "Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides," *Water science and technology*, vol. 36, pp. 173-180, 1997.
- [25] M. Alaqarbeh, "Adsorption phenomena: definition, mechanisms, and adsorption types: short review," *RHAZES: Green and Applied Chemistry*, vol. 13, pp. 43-51, 2021.
- [26] T. Ryabukhova, A. Arzamastseva, N. Okisheva, and S. Konovalova, "Adsorption of alcohols from binary solutions on activated carbons," *RUSSIAN JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY C/C OF ZHURNAL FIZICHESKOI KHIMII*, vol. 7, pp. 281-283, 2000.
- [27] K. S. Knaebel and H. E. Reinhold, "Landfill gas: from rubbish to resource," *Adsorption*, vol. 9, pp. 87-94, 2003.
- [28] N. Lamri, "Élimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption," *Mémoire Magister En Chimie Université Mentouri De Constantine, Algérie*, 2010.
- [29] W. J. Masschelein, *Processus unitaires du traitement de l'eau potable*: Cebedoc, 1996.

- [30] D. Bamba, B. Dongui, A. Trokourey, G. E. Zoro, G. P. Athéba, D. Robert, *et al.*, "Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron," *J. soc. Ouest-Afr. chim*, vol. 28, pp. 41-52, 2009.
- [31] N. Bourgougnon and V. Stiger-Pouvreau, "Chemodiversity and bioactivity within red and brown macroalgae along the French coasts, metropole and overseas départements and territories," *Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology*, pp. 58-105, 2011.
- [32] M. Huber and J. Oudar, "Modèles de haute symétrie pour l'étude structurale des composés d'adsorption," *Surface Science*, vol. 47, pp. 605-621, 1975.
- [33] M. Ghosh, K. Manoli, X. Shen, J. Wang, and A. K. Ray, "Solar photocatalytic degradation of caffeine with titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 377, pp. 1-7, 2019.
- [34] M. I. Litter, "Heterogeneous photocatalysis: transition metal ions in photocatalytic systems," *Applied catalysis B: environmental*, vol. 23, pp. 89-114, 1999.
- [35] X. Dong, X. Wang, J. Wang, H. Song, X. Li, L. Wang, *et al.*, "Synthesis of a MnO₂-graphene foam hybrid with controlled MnO₂ particle shape and its use as a supercapacitor electrode," *Carbon*, vol. 50, pp. 4865-4870, 2012.
- [36] M. Batzill, "Fundamental aspects of surface engineering of transition metal oxide photocatalysts," *Energy & Environmental Science*, vol. 4, pp. 3275-3286, 2011.
- [37] G. Raiyaan, S. Khalith, M. A. Sheriff, and K. Arunachalam, "Bio-adsorption of methylene blue dye using chitosan-extracted from Fenneropenaeus indicus shrimp shell waste," *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, vol. 10, pp. 146-150, 2021.
- [38] S. Anisuzzaman, C. G. Joseph, C. K. Pang, N. A. Affandi, S. N. Maruja, and V. Vijayan, "Current trends in the utilization of photolysis and photocatalysis treatment processes for the remediation of dye wastewater: A short review," *ChemEngineering*, vol. 6, p. 58, 2022.
- [39] C. V. Reddy, I. N. Reddy, K. R. Reddy, S. Jaesool, and K. Yoo, "Template-free synthesis of tetragonal Co-doped ZrO₂ nanoparticles for applications in electrochemical energy storage and water treatment," *Electrochimica Acta*, vol. 317, pp. 416-426, 2019.
- [40] M. Khairy and W. Zakaria, "Effect of metal-doping of TiO₂ nanoparticles on their photocatalytic activities toward removal of organic dyes," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 23, pp. 419-426, 2014.
- [41] A. M. Nicola, P. Albuquerque, H. C. Paes, L. Fernandes, F. F. Costa, E. S. Kioshima, *et al.*, "Antifungal drugs: New insights in research & development," *Pharmacology & therapeutics*, vol. 195, pp. 21-38, 2019.
- [42] L. Santos and F. Ramos, "Antimicrobial resistance in aquaculture: Current knowledge and alternatives to tackle the problem," *International journal of antimicrobial agents*, vol. 52, pp. 135-143, 2018.
- [43] N. Jackson, L. Czaplewski, and L. J. Piddock, "Discovery and development of new antibacterial drugs: learning from experience?," *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, vol. 73, pp. 1452-1459, 2018.
- [44] C. Ghosh, P. Sarkar, R. Issa, and J. Haldar, "Alternatives to conventional antibiotics in the era of antimicrobial resistance," *Trends in microbiology*, vol. 27, pp. 323-338, 2019.
- [45] Y. Doi, R. A. Bonomo, D. C. Hooper, K. S. Kaye, J. R. Johnson, C. J. Clancy, *et al.*, "Gram-negative bacterial infections: research priorities, accomplishments, and future directions of the Antibacterial Resistance Leadership Group," *Clinical Infectious Diseases*, vol. 64, pp. S30-S35, 2017.
- [46] F. Hu, D. Zhu, F. Wang, and M. Wang, "Current status and trends of antibacterial resistance in China," *Clinical Infectious Diseases*, vol. 67, pp. S128-S134, 2018.
- [47] A. Borges, M. J. Saavedra, and M. Simoes, "Insights on antimicrobial resistance, biofilms and the use of phytochemicals as new antimicrobial agents," *Current medicinal chemistry*, vol. 22, pp. 2590-2614, 2015.
- [48] A. Hiremathad, M. R. Patil, K. Chethana, K. Chand, M. A. Santos, and R. S. Keri, "Benzofuran: an emerging scaffold for antimicrobial agents," *RSC advances*, vol. 5, pp. 96809-96828, 2015.
- [49] R. A. Shinde, V. A. Adole, B. S. Jagdale, and B. S. Desale, "Synthesis, antibacterial and computational studies of Halo Chalcone hybrids from 1-(2, 3-Dihydrobenzo [b][1, 4] dioxin-6-yl) ethan-1-one," *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 98, p. 100051, 2021.
- [50] M. A. Ali, C. Hu, S. Jahan, B. Yuan, M. S. Saleh, E. Ju, *et al.*, "Sensing of COVID-19 antibodies in seconds via aerosol jet nanoprinted reduced-graphene-oxide-coated 3D electrodes," *Advanced Materials*, vol. 33, p. 2006647, 2021.
- [51] Z. Li, H. Bai, S. Jia, H. Yuan, L.-H. Gao, and H. Liang, "Design of functional polymer nanomaterials for antimicrobial therapy and combatting resistance," *Materials Chemistry Frontiers*, vol. 5, pp. 1236-1252, 2021.
- [52] Y. Wang, Y. Jin, W. Chen, J. Wang, H. Chen, L. Sun, *et al.*, "Construction of nanomaterials with targeting phototherapy properties to inhibit resistant bacteria and biofilm infections," *Chemical Engineering Journal*, vol. 358, pp. 74-90, 2019.
- [53] B. Paulsen, K. A. Fredriksen, D. Petersen, L. Maes, A. Matheussen, A.-O. Naemi, *et al.*, "Synthesis and antimicrobial activities of N6-hydroxyagelasine analogs and revision of the structure of ageloximes," *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, vol. 27, pp. 620-629, 2019.

- [54] R. More, G. Sanap, A. Siddiqui, S. Dhutekar, S. Patil, V. Diwan, *et al.*, "Antibacterial, antioxidant, phytochemicals evaluation of five Indian medicinal plants," *World J. Pharmaceut. Res.*, vol. 7, pp. 892-898, 2018.
- [55] M. M. Sekhar, U. Nagarjuna, V. Padmavathi, A. Padmaja, N. V. Reddy, and T. Vijaya", "Synthesis and antimicrobial activity of pyrimidinyl 1, 3, 4-oxadiazoles, 1, 3, 4-thiadiazoles and 1, 2, 4-triazoles," *European journal of medicinal chemistry*, vol. 145, pp. 1-10, 2018.
- [56] M. P. Patil, J. Palma, N. C. Simeon, X. Jin, X. Liu, D. Ngabire, *et al.*, "Sasa borealis leaf extract-mediated green synthesis of silver-silver chloride nanoparticles and their antibacterial and anticancer activities," *New Journal of Chemistry*, vol. 41, pp. 1363-1371, 2017.
- [57] M. P. Patil and G.-D. Kim, "Eco-friendly approach for nanoparticles synthesis and mechanism behind antibacterial activity of silver and anticancer activity of gold nanoparticles," *Applied microbiology and biotechnology*, vol. 101, pp. 79-92, 2017.
- [58] M. M. Masadeh, G. A. Karasneh, M. A. Al-Akhras, B. A. Albiss, K. M. Aljarah, S. I. Al-Azzam, *et al.*, "Cerium oxide and iron oxide nanoparticles abolish the antibacterial activity of ciprofloxacin against gram positive and gram negative biofilm bacteria," *Cytotechnology*, vol. 67, pp. 427-435, 2015.
- [59] H. H. Lara, N. V. Ayala-Núñez, L. d. C. Ixtepan Turrent, and C. Rodríguez Padilla, "Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 26, pp. 615-621, 2010.
- [60] Z. Nie, K. J. Liu, C.-J. Zhong, L.-F. Wang, Y. Yang, Q. Tian, *et al.*, "Enhanced radical scavenging activity by antioxidant-functionalized gold nanoparticles: a novel inspiration for development of new artificial antioxidants," *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 43, pp. 1243-1254, 2007.
- [61] M. S. Abdel-Aziz, M. S. Shaheen, A. A. El-Nekeety, and M. A. Abdel-Wahhab, "Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized using *Chenopodium murale* leaf extract," *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 18, pp. 356-363, 2014.
- [62] M. Murali, C. Mahendra, N. Rajashekar, M. Sudarshana, K. Raveesha, and K. Amruthesh, "Antibacterial and antioxidant properties of biosynthesized zinc oxide nanoparticles from *Ceropegia candelabrum* L.—an endemic species," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 179, pp. 104-109, 2017.
- [63] R. Ahmed, M. Tariq, I. Ali, R. Asghar, P. N. Khanam, R. Augustine, *et al.*, "Novel electrospun chitosan/polyvinyl alcohol/zinc oxide nanofibrous mats with antibacterial and antioxidant properties for diabetic wound healing," *International journal of biological macromolecules*, vol. 120, pp. 385-393, 2018.
- [64] A. J. J. MAKKAWI, N. H. AYSA, and F.-A. G. GASSIM, "Anticancer activity of zinc oxide and zinc oxide/cadmium sulfide nanocomposites," *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, pp. 535-539, 2019.
- [65] D. Rehana, D. Mahendiran, R. S. Kumar, and A. K. Rahiman, "Evaluation of antioxidant and anticancer activity of copper oxide nanoparticles synthesized using medicinally important plant extracts," *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 89, pp. 1067-1077, 2017.
- [66] M. P. Patil, Y. B. Seo, and G.-D. Kim, "Morphological changes of bacterial cells upon exposure of silver-silver chloride nanoparticles synthesized using *Agrimonia pilosa*," *Microbial pathogenesis*, vol. 116, pp. 84-90, 2018.
- [67] M. P. Patil, R. D. Singh, P. B. Koli, K. T. Patil, B. S. Jagdale, A. R. Tipare, *et al.*, "Antibacterial potential of silver nanoparticles synthesized using *Madhuca longifolia* flower extract as a green resource," *Microbial pathogenesis*, vol. 121, pp. 184-189, 2018.
- [68] J. N. Copley, M. L. Fiorello, and D. M. Bailey, "13 reasons why the brain is susceptible to oxidative stress," *Redox biology*, vol. 15, pp. 490-503, 2018.
- [69] H. Sies, C. Berndt, and D. P. Jones, "Oxidative stress," *Annual review of biochemistry*, vol. 86, pp. 715-748, 2017.
- [70] J. E. Klaunig, "Oxidative stress and cancer," *Current pharmaceutical design*, vol. 24, pp. 4771-4778, 2018.
- [71] J. E. Klaunig and Z. Wang, "Oxidative stress in carcinogenesis," *Current Opinion in Toxicology*, vol. 7, pp. 116-121, 2018.
- [72] A. Mukherjee and P. R. Ghosh, "Cellular and Molecular Physiology," in *Textbook of Veterinary Physiology*, ed: Springer, 20, 23pp. 21-35.
- [73] G. Bordenave, "Louis Pasteur (1822–1895)," *Microbes and infection*, vol. 5, pp. 553-560, 2003.
- [74] K. H. Schleifer, "Classification of Bacteria and Archaea: past, present and future," *Systematic and applied microbiology*, vol. 32, pp. 52009, 542-33
- [75] J. Day, X. Huang, and N. Richards, "Examination of a grit-blasting process for thermal spraying using statistical methods," *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 14, pp. 471-479, 2005.
- [76] G. Bearman, "Chapter 16: Bundles in Infection Prevention and Safety," *Guide to infection control in the hospital*. Wasserman S, Messina A, Authors. International Society for Infectious Diseases, 2018.
- [77] T. Nakatsuji, T. H. Chen, A. M. Butcher, L. L. Trzoss, S.-J. Nam, K. T. Shirakawa, *et al*" "A commensal strain of *Staphylococcus epidermidis* protects against skin neoplasia," *Science Advances*, vol. 4, p. eaao4502, 2018.
- [78] H. Brugère, "Escherichia coli pathogènes et résistantes aux antibiotiques dans les effluents d'origine humaine et animale :prévalence et caractérisation avant et après traitement épuratoire," Toulouse 3, 2013.

- [79] M. T. Flayyih, "Isolation, identification and treatment of Vancomycin-Resistant Staphylococcus epidermidis," *Iraqi Journal of Science*, pp. 701-707, 2015.
- [80] M. Balouiri, M. Sadiki, and S. K. Ibsouda, "Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review," *Journal of pharmaceutical analysis*, vol. 6, pp. 71-79, 2016.
- [81] S. Magaldi, S. Mata-Essayag, C. H. De Capriles, C. Pérez, M. Colella, C. Olaizola, *et al.*, "Well diffusion for antifungal susceptibility testing," *International journal of infectious diseases*, vol. 8, pp. 39-45, 2004.
- [82] C. Valgas, S. M. d. Souza, E. F. Smânia, and A. Smânia Jr, "Screening methods to determine antibacterial activity of natural products," *Brazilian journal of microbiology*, vol. 38, pp. 369-380, 2007.
- [83] J. JH, "Susceptibility test methods: dilution and disk diffusion methods," *Manual of clinical microbiology*, pp. 1152-1172, 2007.
- [84] A. Espinel-Ingroff and M. Pfaller, "Susceptibility test methods: Yeasts and filamentous fungi," 2006.
- [85] G. Haki and S. Rakshit, "Developments in industrially important thermostable enzymes: a review," *Bioresource technology*, vol. 89, pp. 17-34, 2003.
- [86] E. M. Rogers, A. J. Spracklen, C. G. Bilancia, K. D. Sumigray, S. C. Allred, S. H. Nowotarski, *et al.*, "Abelson kinase acts as a robust, multifunctional scaffold in regulating embryonic morphogenesis," *Molecular biology of the cell*, vol. 27, pp. 2613-2631, 2016.
- [87] A. Banerjee, K. Kulcsar, V. Misra, M. Frieman, and K. Mossman, "Bats and coronaviruses," *Viruses*, vol. 11, p. 41, 2019.
- [88] E. De Clercq, "Potential antivirals and antiviral strategies against SARS coronavirus infections," *Expert review of anti-infective therapy*, vol. 4, pp. 291-302, 2006.
- [89] S. Belouzard, V. C. Chu, and G. R. Whittaker, "Activation of the SARS coronavirus spike protein via sequential proteolytic cleavage at two distinct sites," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, pp. 5871-5.2009, 876
- [90] G. Reina, S. Peng, L. Jacquemin, A. F. Andrade, and A. Bianco, "Hard nanomaterials in time of viral pandemics," *ACS nano*, vol. 14, pp. 9364-9388, 2020.
- [91] W. H. Organization, "Strengthening response to pandemics and other public-health emergencies: report of the review committee on the functioning of the International Health Regulations (2005) and on pandemic influenza (H1N1) 2009," 2011.
- [92] B. Biswas, S. Chattopadhyay, S. Hazra, A. K. Hansda, and R. Goswami, "COVID-19 pandemic: the delta variant, T-cell responses, and the efficacy of developing vaccines," *Inflammation Research*, vol. 71, pp. 377-396, 2022.
- [93] A. C. Lindsay and J. P. Halcox, "Niacin compared with ezetimibe," *The New England journal of medicine*, vol. 362, pp. 1046-1048.2010 ,
- [94] A. P. A. Carvalho and C. A. Conte-Junior, "Recent advances on nanomaterials to COVID-19 management: a systematic review on antiviral/virucidal agents and mechanisms of SARS-CoV-2 inhibition/inactivation," *Global challenges*, vol. 5, p. 2000115.2021 ,
- [95] E. Ruiz-Hitzky, M. Darder, B. Wicklein, C. Ruiz-Garcia, R. Martín-Sampedro, G. Del Real, *et al.*, "Nanotechnology responses to COVID-19," *Advanced healthcare materials*, vol. 9, p. 2000979, 2020.
- [96] J. Noyce, H. Michels, and C. Keevil, "Inactivation of influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces," *Applied and environmental microbiology*, vol. 73, pp. 2748-2750, 2007.
- [97] A. K. Ojha, R. Rajasekaran, A. K. Pandey, A. Dutta, V. S. Seesala, S. K. Das, *et al.*, "Nanotheranostics: nanoparticles applications, perspectives, and challenges," *BioSensing, Theranostics, and Medical Devices: From Laboratory to Point-of-Care Testing*, pp. 345-376, 2021.
- [98] K. Kealey, R. Snyder, and L. Romanczyck, "Patent Application Publication (10) Pub. No. :Us 2007/0197807 A1," *Us*, vol. 197807, p. a1, 2007.
- [99] Q. He, J. Lu, N. Liu, W. Lu, Y. Li, C. Shang, *et al.*, "Antiviral properties of silver nanoparticles against SARS-CoV-2: effects of surface coating and particle size," *Nanomaterials*, vol. 12, p. 99.2022 ,0
- [100] K. Imai, H. Ogawa, V. N. Bui, H. Inoue, J. Fukuda, M. Ohba, *et al.*, "Inactivation of high and low pathogenic avian influenza virus H5 subtypes by copper ions incorporated in zeolite-textile materials," *Antiviral research*, vol. 93, pp. 225-2.2012 ,33
- [101] J. Hodek, V. Zajícová, I. Lovětinská-Šlamborová, I. Stibor, J. Müllerová, and J. Weber, "Protective hybrid coating containing silver, copper and zinc cations effective against human immunodeficiency virus and other enveloped viruses," *BMC microbiology*, vol. 16, pp. 1-12, 2016.
- [102] P. S. Liss and P. Slater, "Flux of gases across the air-sea interface," *Nature*, vol. 247, pp. 181-184, 1974.
- [103] D. Botequim, J. Maia, M. Lino, L. Lopes, P. Simões, L. Ilharco, *et al.*, "Nanoparticles and surfaces presenting antifungal, antibacterial and antiviral properties," *Langmuir*, vol. 28, pp. 7646-7656, 2012.
- [104] Y. Mei, C. Cannizzaro, H. Park, Q. Xu, S. Bogatyrev, K. Yi, *et al.*, "Cell-Compatible, Multi-Component Protein Arrays with Subcellular Feature Resolution," *Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, vol. 4, p. 1600, 2008.
- [105] S. Galdiero, A. Falanga, M. Vitiello, M. Cantisani, V. Marra, and M. Galdiero, "Silver nanoparticles as potential antiviral agents," *Molecules*, vol. 16, pp. 8894-891.2011 ,8

- [106] M. Minoshima, Y. Lu, T. Kimura, R. Nakano, H. Ishiguro, Y. Kubota, *et al.*, "Comparison of the antiviral effect of solid-state copper and silver compounds," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 312, pp. 1-7, 2016.
- [107] S. L. Warnes, Z. R. Little, and C. W. Keevil, "Human coronavirus 229E remains infectious on common touch surface materials," *MBio*, vol. 6, pp. 10.1128/mbio.01697-15, 2015.
- [108] T. Ishida, "Antiviral activities of Cu²⁺ ions in viral prevention, replication, RNA degradation, and for antiviral efficacies of lytic virus, ROS-mediated virus, copper chelation," *World Scientific News*, pp. 148-168, 2018.
- [109] V. Cagno, P. Andreozzi, M. D'Alicarnasso, P. Jacob Silva, M. Mueller, M. Galloux, *et al.*, "Broad-spectrum non-toxic antiviral nanoparticles with a virucidal inhibition mechanism," *Nature materials*, vol. 17, pp. 195-203, 2018.
- [110] O. Mishchenko, V. Filatova, M. Vasylyev, V. Deineka, and M. Pogorielov, "Chemical and Structural Characterization of Sandblasted Surface of Dental Implant Using ZrO₂ Particle with Different Shape," *Coatings*, vol. 9, p. 223, 2019.
- [111] R. Nakano, M. Hara, H. Ishiguro, Y. Yao, T. Ochiai, K. Nakata, *et al.*, "Broad spectrum microbicidal activity of photocatalysis by TiO₂," *Catalysts*, vol. 3, pp. 310-32, 2013, 3.
- [112] B. Moongraksathum, M.-Y. Chien, and Y.-W. Chen, "Antiviral and antibacterial effects of silver-doped TiO₂ prepared by the peroxo sol-gel method," *Journal of nanoscience and nanotechnology*, vol. 19, pp. 7356-7362, 2019.
- [113] Y.-N. Chen, Y.-H. Hsueh, C.-T. Hsieh, D.-Y. Tzou, and P.-L. Chang, "Antiviral activity of graphene-silver nanocomposites against non-enveloped and enveloped viruses," *International journal of environmental research and public health*, vol. 13, p. 430, 2016.
- [114] N. Yang, J. A. Tanner, B. J. Zheng, R. M. Watt, M. L. He, L. Y. Lu, *et al.*, "Bismuth complexes inhibit the SARS coronavirus," *Angewandte Chemie (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, vol. 119, p. 6584, 2007.
- [115] S. Yuan, R. Wang, J. F.-W. Chan, A. J. Zhang, T. Cheng, K. K.-H. Chik, *et al.*, "Metallo drug ranitidine bismuth citrate suppresses SARS-CoV-2 replication and relieves virus-associated pneumonia in Syrian hamsters," *Nature microbiology*, vol. 5, pp. 1439-1448, 2020.
- [116] J. Haldar, J. Chen, T. M. Tumpey, L. V. Gubareva, and A. M. Klibanov, "Hydrophobic polycationic coatings inactivate wild-type and zanamivir-and/or oseltamivir-resistant human and avian influenza viruses," *Biotechnology letters*, vol. 30, pp. 475-479, 2008.
- [117] D. Park, A. M. Larson, A. M. Klibanov, and Y. Wang, "Antiviral and antibacterial polyurethanes of various modalities," *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 169, pp. 1134-1146, 2013.
- [118] B. L. Carpenter, F. Scholle, H. Sadeghifar, A. J. Francis, J. Boltersdorf, W. W. Weare, *et al.*, "Synthesis, characterization, and antimicrobial efficacy of photomicrobicidal cellulose paper," *Biomacromolecules*, vol. 16, pp. 2482-2492, 2015.
- [119] D. Cirri, A. Pratesi, T. Marzo, and L. Messori, "Metallo therapeutics for COVID-19. Exploiting metal-based compounds for the discovery of new antiviral drugs," *Expert opinion on drug discovery*, vol. 16, pp. 39-46, 2021.
- [120] W. Sun, L. He, H. Zhang, X. Tian, Z. Bai, L. Sun, *et al.*, "The self-assembled nanoparticle-based trimeric RBD mRNA vaccine elicits robust and durable protective immunity against SARS-CoV-2 in mice," *Signal transduction and targeted therapy*, vol. 6, p. 340, 2021.
- [121] S.-M. Olivera-Ugarte, M. Bolduc, M.-È. Laliberté-Gagné, L.-J. Blanchette, C. Garneau, M. Fillion, *et al.*, "A nanoparticle-based COVID-19 vaccine candidate elicits broad neutralizing antibodies and protects against SARS-CoV-2 infection," *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, vol. 44, p. 102584, 2022.
- [122] R. A. Perera, C. K. Mok, O. T. Tsang, H. Lv, R. L. Ko, N. C. Wu, *et al.*, "Serological assays for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), March 2020," *Eurosurveillance*, vol. 25, p. 2000421, 2020.
- [123] E. Tuaille, K. Bolloré, A. Pisoni, S. Debieesse, C. Renault, S. Marie, *et al.*, "Detection of SARS-CoV-2 antibodies using commercial assays and seroconversion patterns in hospitalized patients," *Journal of Infection*, vol. 81, pp. e39-e45, 2020.
- [124] J. R. Choi, A. Nilghaz, L. Chen, K. C. Chou, and X. Lu, "Modification of thread-based microfluidic device with polysiloxanes for the development of a sensitive and selective immunoassay," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 260, pp. 1043-1051, 2018.
- [125] H. Li and L. Rothberg, "Colorimetric detection of DNA sequences based on electrostatic interactions with unmodified gold nanoparticles," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 101, pp. 14036-14039, 2004.
- [126] H. Bian, F. Xu, Y. Jia, L. Wang, S. Deng, A. Jia, *et al.*, "A new immunochromatographic assay for on-site detection of porcine epidemic diarrhea virus based on monoclonal antibodies prepared by using cell surface fluorescence immunosorbent assay," *BMC veterinary research*, vol. 15, pp. 1-10, 2019.
- [127] T. J. Park, S. Y. Lee, S. J. Lee, J. P. Park, K. S. Yang, K.-B. Lee, *et al.*, "Protein nanopatterns and biosensors using gold binding polypeptide as a fusion partner," *Analytical chemistry*, vol. 78, pp. 7197-7205, 2006.

- [128] Z. Zhao, H. Cui, W. Song, X. Ru, W. Zhou, and X. Yu, "A simple magnetic nanoparticles-based viral RNA extraction method for efficient detection of SARS-CoV-2," *BioRxiv*, p. 2020.02. 22.961268, 2020.
- [129] J. C. Chacón-Torres, C. Reinoso, D. G. Navas-León, S. Briceño, and G. González, "Optimized and scalable synthesis of magnetic nanoparticles for RNA extraction in response to developing countries' needs in the detection and control of SARS-CoV-2," *Scientific reports*, vol. 10, p. 19004, 2020.
- [130] V. Uskoković, "Why have nanotechnologies been underutilized in the global uprising against the coronavirus pandemic?," *Nanomedicine*, vol. 15, pp. 1719-1734, 2020.
- [131] S. B. Somvanshi, P. B. Kharat, T. S. Saraf, S. B. Somvanshi, S. B. Shejul, and K. M. Jadhav, "Multifunctional nano-magnetic particles assisted viral RNA-extraction protocol for potential detection of COVID-19," *Materials Research Innovations*, vol. 25, pp. 169-174, 2021.
- [132] Q. Huang, Y. Chen, L. Liu, D. Tao, and X. Li, "On combining biclustering mining and AdaBoost for breast tumor classification," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 32, pp. 728-738, 2019.
- [133] R. L. Pinals, F. Ledesma, D. Yang, N. Navarro, S. Jeong, J. E. Pak, *et al.*, "Rapid SARS-CoV-2 spike protein detection by carbon nanotube-based near-infrared nanosensors," *Nano Letters*, vol. 21, pp. 2280-2272. 2021.
- [134] N. A. Alhakamy, O. A. Ahmed, T. S. Ibrahim, H. M. Aldawsari, K. Eljaaly, U. A. Fahmy, *et al.*, "Evaluation of the antiviral activity of sitagliptin-glatiramer acetate nano-conjugates against SARS-CoV-2 virus," *Pharmaceuticals*, vol. 14, pp. 178, 2021.
- [135] C. Roh and S. K. Jo, "Quantitative and sensitive detection of SARS coronavirus nucleocapsid protein using quantum dots-conjugated RNA aptamer on chip," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 86, pp. 1475-1479, 2011.
- [136] Y. Rasmi, K. S. Saloua, M. Nemati, and J. R. Choi, "Recent progress in nanotechnology for COVID-19 prevention, diagnostics and treatment," *Nanomaterials*, vol. 11, p. 1788, 2021.
- [137] K. N. Fatema, S. Sagadevan, J. Y. Cho, W. K. Jang, and W.-C. Oh, "Graphene-based nanocomposite using new modeling molecular dynamic simulations for proposed neutralizing mechanism and real-time sensing of COVID-19," *Nanotechnology Reviews*, vol. 11, pp. 1555-1569, 2022.
- [138] D. Mcgonagle, "Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID-19," *The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect, the company's public news and information*, 2020.
- [139] C. J. Neal, C. R. Fox, T. S. Sakthivel, U. Kumar, Y. Fu, C. Drake, *et al.*, "Metal-mediated nanoscale cerium oxide inactivates human coronavirus and rhinovirus by surface disruption," *ACS nano*, vol. 15, pp. 14544-14556, 2021.
- [140] X. Lv, P. Wang, R. Bai, Y. Cong, S. Suo, X. Ren, *et al.*, "Inhibitory effect of silver nanomaterials on transmissible virus-induced host cell infections," *Biomaterials*, vol. 35, pp. 4195-4203, 2014.
- [141] S.-Y. Chang, K.-Y. Huang, T.-L. Chao, H.-C. Kao, Y.-H. Pang, L. Lu, *et al.*, "Nanoparticle composite TPNT1 is effective against SARS-CoV-2 and influenza viruses," *Scientific reports*, vol. 11, p. 8692, 2021.
- [142] Q. Zhang, A. Honko, J. Zhou, H. Gong, S. N. Downs, J. H. Vasquez, *et al.*, "Cellular nanosponges inhibit SARS-CoV-2 infectivity," *Nano letters*, vol. 20, pp. 5570-5574, 2020.
- [143] P. Zhang, Y. Chen, Y. Zeng, C. Shen, R. Li, Z. Guo, *et al.*, "Virus-mimetic nanovesicles as a versatile antigen-delivery system," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, pp. E6129-E6138, 2015.
- [144] L. Rao, W. Wang, Q.-F. Meng, M. Tian, B. Cai, Y. Wang, *et al.*, "A biomimetic nanodecoy traps Zika virus to prevent viral infection and fetal microcephaly development," *Nano letters*, vol. 19, pp. 2215-2222, 2018.
- [145] J. M. Richner, S. Himansu, K. A. Dowd, S. L. Butler, V. Salazar, J. M. Fox, *et al.*, "Modified mRNA vaccines protect against Zika virus infection," *Cell*, vol. 168, pp. 1114-1125. e10, 2017.
- [146] D. Ting, N. Dong, L. Fang, J. Lu, J. Bi, S. Xiao, *et al.*, "Correction to multisite inhibitors for enteric coronavirus: Antiviral cationic carbon dots based on curcumin," *ACS Applied Nano Materials*, vol. 3, pp. 4913-4913, 2020.
- [147] A. Łoczechin, K. Séron, A. Barras, E. Giovanelli, S. Belouzard, Y.-T. Chen, *et al.*, "Functional carbon quantum dots as medical countermeasures to human coronavirus," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 11, pp. 42964-42974, 2019.
- [148] J. Wu, H. Wang, and B. Li, "Structure-aided ACEI-capped remdesivir-loaded novel PLGA nanoparticles: toward a computational simulation design for anti-SARS-CoV-2 therapy," *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 22, pp. 28434-28439, 2020.
- [149] F. E. T. Foka, N. Manamela, S. M. Mufamadi, and H. T. Mufhandu, "Potential of Azadirachta indica as a Capping Agent for Antiviral Nanoparticles against SARS-CoV-2," *BioMed Research International*, vol. 2022, p. 5714035, 2022.

خاتمة عامة:

تندرج هذه الدراسة ضمن تصنيع متراكبات نانوية جديدة لجسيمات أكسيد النيكل النانوية والتحسين من خواصها وذلك بتشويب هاته الجسيمات بالحديد والزنك والفضة والنحاس وذلك باستخدام نبتة البقلة المباركة *Portulaca oleracea L* كعامل اختزال، وتقييم أنشطتها المضادة للبكتيريا وأيضا دراسة قدرتها على إزالة صبغة أزرق الميثيلين كعامل ملوث للمياه بالإضافة للفعالية المضادة لفيروس الكوفيد-19.

أثبتت هذه الدراسة نجاح تصنيع متراكبات أكسيد النيكل الأربعة $Fe@NiO$ و $Zn@NiO$ و $Cu@NiO$ و $Ag@NiO$ ، وذلك باستخدام تقنيات التوصيف المذكورة. في حين لم يكن النشاط المضاد مع البكتيريا فعالا مع بكتيريا *Staphylococcus Aureus*، و *Pseudomonas Aeruginosa*، و *Escherichia coli* ماعدا متراكب أكسيد النيكل المزخرف بالفضة. في حين أظهرت تحسنا ملحوظ وامتزاز جيد لصبغة أزرق الميثيلين. في حين نجد أن النشاط المضاد لفيروس SARS-CoV-2، الفيروس المسؤول عن مرض كوفيد-19 كان فعال وأعطى نتائج جد ممتازة وأحسن من النتائج المتحصل عليها من جسيمات أكسيد النيكل.

أدى اندماج خصائص NiO NPs الضوئية وخصائص الهيماتيت Fe_2O_3 و الأكاسيد النانوية ZnO و AgO ، CuO، إلى إنشاء المتراكبات نانوية $Fe@NiO$ و $Zn@NiO$ و $Cu@NiO$ و $Ag@NiO$. تم اتباع نهج أخضر، حيث تم استخدام مستخلص مائي طازج من أوراق *Portulaca oleracea L*. تم إنشاء NiO NPs في البداية، وتم زخرفته لاحقا بأكاسيد المعادن. تم استخدام التقنية الخضراء مرة أخرى لتكليس المتراكبات الأربعة عند 400 درجة مئوية لمدة ثلاث ساعات. تم استخدام مطيافية XRD و UV-vis و ATG-DSC و SEM و FT-IR للحصول على فهم أفضل للمرحلة البنوية لجسيمات NiO NPs والمتراكبات النانوية. وقد أثبتت جميع تقنيات التوصيف التكامل الكبير للمتراكبات، مما أدى إلى تحسين فجوة النطاق وجعل متراكبات النانو نشطة في الأشعة فوق البنفسجية المرئية عند إضاءتها بالضوء المرئي. يهدف التقييم الشامل لقدرات الامتصاص والتحفيز الضوئي للمركبات النانوية إلى القضاء تماما على الحاجة إلى المضادات الحيوية في مياه الصرف الصحي. أظهرت النتائج أن متراكبات أكسيد النيكل أظهرت نشاطا ضوئيا عاليا تجاه صبغة أزرق الميثيلين عند مقارنتها بجسيمات نانوية من NiO NPs فقط. كان الأداء المحسن في نشاطها بسبب تشتت أكاسيد المعادن في بنية NiO NPs، مما وفر مواقع نشطة موحدة لامتصاص الصبغة والتحلل الضوئي الكامل. لذلك، فإن استخدام محفزات NC لإزالة الملوثات العضوية المختلفة من الماء فعال ومفيد للبيئة. وقد وجد أن جسيمات أكسيد النيكل النانوية (NPs) والمتراكبات النانوية $Fe@NiO$ و $Zn@NiO$ و $Cu@NiO$ و $Ag@NiO$ تمتلك القدرة على تعطيل فيروس SARS-CoV-2، الفيروس المسؤول عن مرض كوفيد-19. وقد أظهرت الدراسات أن هذه المواد يمكن أن تقلل بشكل فعال من الحمل الفيروسي وتمنع تكاثر الفيروس.

أفاق مستقبلية ووجهات نظر:

لقد أثبتت المتراكبات النانوية المشتقة من أكاسيد المعادن نفسها كمواد متعددة الاستخدامات مع العديد من التطبيقات في قطاعات مختلفة. ونظرًا للبساطة في تركيبها ومجموعة واسعة من الخصائص القابلة للضبط، فقد وجدت MOBNCs تطبيقًا كمحفزات ضوئية وعوامل مضادة للميكروبات ومواد ماصة وأجهزة تخزين الطاقة وأجهزة استشعار وتوصيل الأدوية والأجهزة الطبية والأدوات الجراحية. واستجابة لمقاومة الميكروبات المتزايدة ضد الأدوية والمضادات الحيوية الشائعة، تم إجراء عدد كبير من التحقيقات لتصميم مواد مضادة للميكروبات. ومن الجدير بالذكر أن التطور التكنولوجي في تركيب هذه المتراكبات النانوية قد حول مجال الطب الحيوي، مما يوفر إمكانية التصوير الحيوي وأنظمة الكشف المبكر وتشخيص وعلاج الأمراض التي تسببها الكائنات الحية الدقيقة المقاومة للأدوية.

يمكن تصنيع MOBNCs هذه باستخدام تقنيات الطور الصلب والبخاري والمحلول والطرق الكيميائية الرطبة، وتوفر هذه التقنيات طريقًا بسيطًا وفعالًا من حيث التكلفة لتصنيعها. ومع ذلك، فإن القضايا الحرجة التي يجب مراعاتها تتضمن ابتكار طرق تصنيع أكثر خضرة، فضلاً عن القدرة على التحكم والتلاعب بالخصائص الرئيسية لأكاسيد المعادن النانوية التي سيتم دمجها داخل المركب. ستجعل هذه القدرة من الممكن تسخير التأثيرات التأخرية لمكوناتها بشكل فعال وبالتالي إنتاج تأثيرات واعدة لتطبيقات مضادة للبكتيريا محتملة. من المعروف جيدًا أن نوع بروتوكول التوليف يؤثر بشكل كبير على الخصائص الأساسية للمركب النانوي مثل الشكل والحجم والشكل والتشتت والوجود ونوع الإجهاد والعيوب في البلورة والتي بدورها تحدد تفاعلها مع الخلايا البكتيرية والثدية. في المتراكبات النانوية المكونة من أكاسيد متعدد المعادن، يتم تعديل العوامل الفيزيائية والكيميائية مثل قابلية الذوبان ودرجة تكتل المكونات المعنية، سعياً لتحقيق تفاعلية محسنة تجاه الكائنات الحية. على الرغم من أن عددًا كبيرًا من استراتيجيات التصنيع الحالية توفر أساسًا غنيًا قد يعزز البحث المخصص للتطبيقات الطبية الحيوية، إلا أنه يمكن تطوير الجيل التالي من المتراكبات النانوية باستخدام نهج التخليق الحيوي في المختبر عند درجة حرارة منخفضة. بالإضافة إلى ذلك، من أجل استكشاف أفضل لـ MOBNCs، فإن الدراسة المتعمقة لخصائصها الفيزيائية والبيولوجية لها أهمية قصوى.

بصرف النظر عن بروتوكولات التخليق، تتوفر تقنيات توصيف متنوعة بما في ذلك XRD للمسحوق، وSEM، وAFM، وTGA، وTEM، وFTIR، وUV وVis، وRaman spectrometry لتحليل MOBNCs. توفر أدوات التوصيف هذه التي تمت مناقشتها في هذا الفصل رؤى حول خصائص السطح وحجم الجسيمات والشوائب ومستوى الشوائب والاستقرار الحراري ونمط تحلل النانو المركب. في هذا الفصل، قمنا بمراجعة MOBNCs كفئة ناشئة من المواد النانوية المناسبة للتطبيقات المضادة للميكروبات.