



الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبة: هندسة طرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من اعداد الطلبة:

1- كرطي حياة

2- رحومة عائشة

3- كراش خولة

الموضوع

**Bioinspired synthesis of ZnO NPs and PEG modification efficiency for Rose Bengal dye degradation**

نوقشت في: 29 / 05 / 2025

أمام لجنة المناقشة:

جامعة الوادي.	رئيسا	منصر سهيلة
جامعة الوادي.	مناقشا	إلهام بن عمر
جامعة الوادي.	مشرفا	صلاح الدين لعويني
جامعة المنستير.	مشرفا مساعدا	حسين صدام نصرات

الموسم الجامعي: 2024/2025



## ملخص:

تتناول هذه الدراسة شاملة للتصنيع الحيوي لجسيمات أكسيد الزنك النانوية (ZnO NPs) باستخدام مستخلصات نباتية صديقة للبيئة، بهدف تطوير طريقة مستدامة وغير سامة للإنتاج. تم تعديل هذه الجسيمات النانوية بالبولي إيثيلين جلايكول (PEG) لتحسين تشتتها، إستقرارها، وخصائصها السطحية، مما قد يؤثر إيجاباً على فعاليتها التحفيزية. تم توصيف الجسيمات النانوية المحضرة بدقة باستخدام تقنيات متقدمة مثل حيود الأشعة السينية (XRD) لتحديد تركيبها البلوري النانوي، بالإضافة إلى مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (FTIR) لتأكيد نجاح عملية الارتباط بال PEG، وقد تم تقييم الكفاءة التحفيزية لكل من جسيمات ZnO النانوية الخام والمعدلة بال PEG في عملية نشاط التحفيز الضوئي لصبغة روز بنغال كملوث نموذجي للمياه. أظهرت النتائج المتحصل عليها كفاءة تحلل عالية للصبغة، حيث ساهم تعديل ال PEG في تحسين الأداء التحفيزي بشكل ملحوظ مقارنة بالجسيمات غير المعدلة، مما يدل على الإمكانات الواعدة لهذه المواد النانوية المطورة حيويًا في تطبيقات معالجة مياه الصرف الصناعي.

**الكلمات المفتاحية:** جسيمات أكسيد الزنك النانوية - بولي إيثيلين جلايكول - نشاط التحفيز الضوئي - مطياف الأشعة تحت الحمراء - حيود الأشعة السينية

## Résumé:

Cette étude approfondie porte sur la biofabrication de nanoparticules d'oxyde de zinc (NP de ZnO) à partir d'extraits végétaux respectueux de l'environnement, dans le but de développer une méthode de production durable et non toxique. Ces nanoparticules ont été modifiées avec du polyéthylène glycol (PEG) pour améliorer leur dispersion, leur stabilité et leurs propriétés de surface, ce qui pourrait avoir un impact positif sur leur activité catalytique. Les nanoparticules préparées ont été minutieusement caractérisées à l'aide de techniques avancées telles que la diffraction des rayons X (DRX) pour déterminer leur structure nanocristalline, et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour confirmer la conjugaison réussie médiée par le PEG. L'efficacité catalytique des nanoparticules de ZnO brutes et modifiées par le PEG a été évaluée pour la

dégradation photocatalytique du colorant rose Bengale, un polluant aquatique  
modèle

Les résultats obtenus ont démontré une efficacité élevée de dégradation des colorants, la modification du PEG améliorant considérablement les performances catalytiques par rapport aux particules non modifiées, démontrant le potentiel prometteur de ces nanomatériaux biodéveloppés dans les applications de traitement des eaux usées industrielles

MOTS-clés : nanoparticules d'oxyde de zinc – polyéthène glycol – activité photocatalytique – spectromètre infrarouge – diffraction des rayons X



الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات.

الحمد لله الذي وفق وسدد، وأطاع ويسر، فله الحمد أولاً  
وأخيراً.

إلى والدي العزيزين، من فوساني بذور الطموح، وسقيها  
بالدعاء والحنان.

إلى من كانت هببتهم لي سداً خفياً وقلوبهم ملاذاً آمناً..  
جزاكم الله خيراً.

إلى اخوتي وأخواتي، أصدقائي ورفاقي في طريق العلم  
والسهر.

لكم أنتم، من كنتم نوراً في القمّة، وبسمة في لحظات  
التعب، أبعد شكوي وامتنائي.

إلى أساتذتي الكرام، مشاهداً العلم، ودعاة الإلهام،  
لكم تشكيري واحترامي بما فوستموه في من علم وفكر.

والى من كان وجوده في حياتي طمأنينة، وصوته راحة،  
ودعائه سوا من أسرار ثباتي،

إلى من لا تسمعني الكلمات لقول أكثر، لكنه حاضر في  
القلب والدمع... شكراً بحجم السماء

وأخيراً إلى نفسي... التي أصوتُ أنه تصب، رغم التعب  
والتحديات،

هذا الإنجاز بديعة لا نهاية، يأنس الله

نورته



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ (واحد - دعواتهم أن الحمد لله ربني

العالمين) صدق الله العظيم

أطهرني فخرني إلى من أحمل اسمه بكل فخر إلى من كل  
العراق جينته ومن علمني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر إلى التور  
الذي أنار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره قلبي أبدا.

والذي العزيز (الحبيب كوني)

إلى من جعلت الجنة تحت أقدامها وسهلت لي الشدائد  
بطلتها إلى الإنسانية العظيمة لظالما تمت أن تقوا عينها في يوم  
كفانا.

أمي الفاتية (سعيدة فريسي طوي)

إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي إلى من شدت عضدي  
بهم فكانوا أنابهم أرتوي منها إلى خيرة أيامي وصدقها إلى قوة  
عيني.

إخوتي وأخواتي الفاتيين

إلى أمي الثانية

لكل من كان هونا وسندا في هذا الطريق لصديقات

الوفيات ووفيات السنين.

إلى سدي ومن أفاضتني بمشاهرها ونصائحها المخلصة

صديقتي (سماح)

إليكم طابعتي أهدي هذا الانجاز وشمرة نجاحي التي لطالما

تقنينتها أنا اليوم أتقمت أول ثمراته بفضل سبحاته وتعالى

فالحمد لله على ما وهبني وأه يميني أينما كنت فمن قال أنا لها

نالها وأه أبت ، فما عتبت بها فالحمد لله شكرا وجا

وامتنانا على البك والختام .

حياة



وقل ربي زدني علما (سورة طه 114)

- الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات ويتوفيقه ببلغ المنين، ونسيب

في دروج العلم والنور

- الى والدي العزيزين ومن التضحية والصبر، أنتمما الجذور التي

أنبتت هذا الحصاد فلكما كل الامتنان والثناء

- والى روح اخي الفالي (عكاشة) رحلت جسداً وبقيت حيا في

قلبي وذاكرتي أهدي اليك هذا العمل وأطمح أن روحك تتنسم

لي من طوف أنت الحاضر في صممتي، والثناء الدائم في سجودي،

رحمة الله واسكنك فسيح جناته وجعل هذا العمل نورا يصل اليك

- الى اخوتي وأصدقائي أنتم العائلة التي أفرح بها والقلوب التي

لا تعرف إلا الحب والثناء

– الي أساتذتي الافاضل من فرسو فيا بذور المعرفة وساعدوني  
لاقطف ثمارها جناكم الله فني خير الجزاء

هائشة

## شكر وتقدير

الشكر ليس مجرد كلمات تُقال، بل هو عرفانٌ بالجميل، واعترافٌ بالفضل،  
وتقديرٌ لمن أضاءوا دربنا بنور عطائهم، فكانوا لنا خير معين في رحلتنا  
العلمية. وإنّ من لا يشكر الناس لا يشكر الله، لذا فإنّ أقلّ ما يمكن تقديمه

لمن كان لهم الفضل في إنجاز هذا العمل هو كلمات شكر تخرج من القلب  
بصدق وامتنان.

أتقدّم بأسمى عبارات الشكر والتقدير والعرفان إلى أستاذي المشرف  
الفاضل لعويني صلاح الدين، لما قدّمه لي من دعم علمي وتوجيهات قيّمة،  
وصبر وتفانٍ في متابعة هذا العمل. ولا أنسى أستاذتي الفاضلة كير إيمان،  
فقد كانت ملاحظاتها النيرة مرشدًا لي في كل خطوة خطوتها نحو إتمام هذه  
المذكرة. كما أتقدّم بخالص الشكر والتقدير إلى الأستاذ صدام حسين  
نصرات، لما أبداه من تعاون وتشجيع وملاحظات بناءة، أسهمت في إثراء هذا  
العمل العلمي، فله مني كل الامتنان والعرفان.

كما لا يسعني إلا أن أرفع أسمى آيات الشكر والتقدير إلى كل أساتذة قسم  
هندسة الطرائق بجامعة الشهيد حمه لخضر، الذين زرعوا فينا بذور المعرفة  
وساهموا في تكويننا أكاديميًا وفكريًا على مدى سنوات دراستنا.

وفي الختام، أسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم.

## جدول المحتويات

الصفحة	العنوان
	الملخص
-	اهداء
-	شكر و عرفان
-	جدول المحتويات
-	قائمة الجداول
-	قائمة الأشكال
-	قائمة الاختصارات
أ	مقدمة عامة
<b>الفصل الاول:</b> <b>المواد النانوية</b>	
5	1- المقدمة
8	2- لمحة تاريخية
9	3- تعريف المواد النانوية
9	4- الجسيمات النانوية المعدنية
10	5- خصائص المواد النانوية المعدنية
10	5-1 الخصائص الحفزية
10	5-2 الخصائص المضادة للميكروبات
11	5-3 الخواص المغناطيسية
11	5-4 الخواص البصرية
11	5-5 خاصية الإهتزاز
12	6- أنواع وتصنيف المواد النانوية
13	6-1 المواد النانوية الكربونية
13	6-2 المواد النانوية المعدنية
13	6-3 المواد النانوية البوليمرية
13	6-4 المواد النانوية المركبة
14	7- تصنيف المواد النانوية حسب الأبعاد
15	8- تصنيف المواد النانوية حسب أصلها

15	1-8 المواد النانوية الطبيعية
15	2-8 المواد النانوية المعتمدة على الكربون
15	3-8 المواد النانوية الهندسية
15	4-8 الجسيمات النانوية المعدنية وأكاسيد المعادن
16	5-8 المواد النانوية شبه الموصلة
16	6-8 المواد النانوية البوليمرية
16	7-8 المواد النانوية البيولوجية
16	8-8 المواد النانوية الهجينة
17	9-8 المواد النانوية المركبة
17	10-8 المواد النانوية ذاتية التجميع
17	9- طرق تركيب الجسيمات النانوية
17	1-9 منهج "من الأعلى للأسفل (Top-Down Approach) "
18	2-9 منهج "من الأسفل للأعلى (Bottom-Up Approach) "
18	10- طرق تصنيع جسيمات أكسيد المعادن النانوية
19	1-10 توليف NPs بواسطة Sol-Gel طريقة الفيزيائية الفعالة
20	2-10 توليف NPs بواسطة Sol-Gel عن طريق العملية الحرارية المائية
21	3-10 توليف NPs بواسطة Sol-Gel بطريقة الكيمياء الخضراء (التوليف الحيوي)
21	11- آلية تصنيع الجسيمات النانوية باستخدام المستخلصات النباتية
<b>الفصل الثاني:</b>	
<b>تقنيات التوصيف و نشاط التحفيز الضوئي</b>	
25	مقدمة
26	1- تقنيات توصيف الجسيمات النانوية
26	1-2 مطيافية الأشعة فوق البنفسجية
27	2-2 مطيافية الأشعة تحت الحمراء
28	3-2 حيود الأشعة السينية
29	4-2 المجهر الإلكتروني الماسح (scanning electron microscope. SEM)
30	3- الامتزاز والتحفيز الضوئي

32	1-3 التحفيز الضوئي
33	2-3 الإمتزاز
35	3-3 العوامل المؤثرة على الإمتزاز والتحفيز الضوئي
<b>الفصل الثالث:</b>	
<b>النتائج والمناقشة والتحليل</b>	
38	1_المقدمة
38	2_المواد والأدوات والأجهزة المستخدمة
40	3_تحضير عينات ZnO
40	3_1-تحضير المستخلص(قشور الليمون )
40	3_2-تحضير جسيمات ZnO النانوية
41	4_تحضير عينات ZnO/PEG
42	5_المناقشة والنتائج
42	5_1-تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet visible)
43	5_2-تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء (Fourier transform infrared)
47	6_نشاط التحفيز الضوئي
48	7_مناقشة نتائج التحفيز الضوئي
50	خلاصة الفصل
51	الخاتمة
53	قائمة المصادر والمراجع

## قائمة الجداول

الصفحة	العنوان
34	الجدول (II.1): جدول يوضح المقارنة بين الإمتزاز الفيزيائي والكيميائي
39	الجدول (III.1): المواد والأدوات والأجهزة المستخدمة
47	الجدول (III.2): يوضح ترقيم بيشر ZnO NPs - ZnO/PEG مع الزمن

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان
12	شكل (I-1): أنواع الجسيمات النانوية
12	شكل (I-2): أنواع المواد النانوية ذات أساس كربوني
18	شكل (I-3): طرق تركيب الجسيمات النانوية
19	شكل (I-4): رسم تخطيطي تمثيلي Sol-Gel
20	شكل (I-5): رسم تخطيطي تمثيلي لطريقة الكيمياء الخضراء
26	شكل (II-1): جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية
28	شكل (II-2): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء
28	شكل (II-3): جهاز حيود الأشعة السينية
39	الشكل (III-1): الأدوات والأجهزة المستخدمة
41	الشكل III. (2-): تمثل بودة جسيمات ZnO NPs النانوية
43	الشكل (III-3): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية UV-Vis لجسيمات ZnO NPs و ZnO/PEG
44	الشكل (III-4): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء FTIR لجسيمات ZnO NPs
45	الشكل (III-5): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء FTIR لجسيمات ZnO/PEG
46	الشكل (III-6): يوضح منحنى تحليل حيود الأشعة السينية XRD لـ ZnO NPs
46	الشكل (III-7): يوضح منحنى تحليل حيود الأشعة السينية XRD لـ ZnO/PEG
49	الشكل (III-8): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية لنشاط تحفيز الضوء لمركب ZnO NPs
49	الشكل (III-9): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية لنشاط تحفيز الضوء لمركب ZnO/PEG

قائمة الاختصارات

المقصد	الاختصار
جسيمات أكسيد الزنك	ZnO NPS
بولي إيثيلين جلايكول	PEG
جسيمات النانوية المعدنية	NPS
أكسيد النحاس الأحادي	CU2O
بعدي صفري	0D
أحادي البعد	1D
ثنائي الأبعاد	2D
ثلاثي الأبعاد	3D
التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية	UV_visble
طيف حيود الأشعة السينية	XRD
التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء	FTIR
صبغة وردية البنغال	RB
درجة الحموضة	PH
التيتانيوم	TiO2
أكاسيد الألومنيوم	Al2O3
جسيمات الفضة (silver nanoparticles)	AgNPs
أكسيد السيليكون	SiO2
أكسيد الحديد	Fe2O3
القيمة الأعظمية	$\lambda$ max

# مقدمة عامة

### مقدمة عامة

تُعد تكنولوجيا الجسيمات النانوية من أبرز المجالات الحديثة في العلوم والهندسة، لما لها من تأثير كبير في تحسين خصائص المواد وتوسيع نطاق تطبيقاتها [1]. يُعتبر أكسيد الزنك (ZnO) أحد أهم أشباه الموصلات النانوية التي تتميز بخواص بصرية وكيميائية فريدة، مما يجعله فعالاً في تطبيقات التحفيز الضوئي لمعالجة الملوثات العضوية في المياه [2]، ومن بين العوامل التي تؤثر على خصائص ZnO النانوية هو تركيز البولي إيثيلين جلايكول (PEG) المستخدم كمادة مضافة أثناء التحضير، حيث يُعتقد أنه يؤثر على حجم الجسيمات، فجوة الطاقة، وبالتالي النشاط التحفيز الضوئي. تكمن أهمية هذا البحث من الحاجة الماسة إلى تطوير تقنيات صديقة للبيئة لمعالجة الملوثات الصناعية التي تهدد جودة المياه والبيئة بشكل عام، استخدام جسيمات ZnO النانوية المحضرة بتراكيز مختلفة من PEG قد يوفر وسيلة فعالة لتحسين كفاءة التحفيز الضوئي، مما يسهم في إنتاج حلول معالجة مياه أكثر استدامة واقتصادية.

جاء اختيار هذا الموضوع نتيجة للاهتمام المتزايد بالتقنيات النانوية في المجال البيئي، بالإضافة فهم هذا التأثير يمكن أن يفتح آفاقاً جديدة لتعديل وتحسين أداء المواد النانوية المستخدمة في التحفيز الضوئي.

وهدف هذا البحث هو تحضير جسيمات ZnO النانوية وتغليفها PEG. دراسة تأثير PEG على الخصائص البنيوية والبصرية لجسيمات ZnO.

تقييم النشاط التحفيز الضوئي لهذه الجسيمات في تحلل صبغة روز بنغان كنموذج للملوثات العضوية.

قسمة هذه الدراسة إلى ثلاثة فصول :

الفصل الأول: المواد النانوية

الفصل الثاني: تقنيات التوصيف ونشاط التحفيز الضوئي

الفصل الثالث: الجزء العملي يتضمن تحضير جسيمات ZnO باستخدام طريقة خضراء مع

تغليف ZnO بالبوليمر PEG

تحليل الخصائص البنيوية باستخدام تقنيات الأشعة السينية.

دراسة الخصائص البصرية باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية ومطياف الأشعة

تحت الحمراء

تقييم أداء نشاط التحفيز الضوئي من خلال مراقبة تحلل صبغة روز بنغان تحت الإشعاع فوق

البنفسجي.

وفي الأخير أنهينا هذا البحث بخلاصة أوجزنا فيها أهم ما تطرقنا إليه خلال هذا البحث .

الفصل الأول:

المواد النانوية

### 1- المقدمة:

تعد تكنولوجيا النانو ثورة علمية كبرى لا تقل أهمية عن الثورة الصناعية التي نقلت البشرية إلى عصر الآلات، أو الثورة التكنولوجية التي أدخلتنا إلى عصر الفضاء والاتصالات والإنترنت، فبفضل قدرتها على إنتاج مواد ذات أهمية بالغة في شتى المجالات، بجودة أعلى وتكلفة أقل، تمثل تقنية النانو مفتاحًا جوهريًا للتقدم العلمي في المستقبل، ويرى بعض العلماء أن ما ستقدمه هذه التكنولوجيا في السنوات القادمة سيفوق بكثير ما تم اكتشافه منذ نشأة الأرض، نظرًا لما تتيحه من إمكانيات غير محدودة في مختلف المجالات العلمية والتطبيقية إنها بالفعل إحدى التقنيات الحديثة الواعدة التي يُنتظر أن تحدث تحولات جوهريّة في ميادين متعددة من الحياة.

في هذا الفصل، سنتناول بشكل شامل المواد النانوية، مع التركيز على الجسيمات النانوية المعدنية مثل أكسيد الزنك (ZnO). سنستعرض لمحة تاريخية عن تطور هذا المجال، بالإضافة إلى تعريفات المواد النانوية وخصائصها المميزة، كما سنتناول أهم التطبيقات الحديثة لهذه المواد.

### 2-لمحة تاريخية :

تطور علم المواد النانوية تطوراً مذهلاً عبر العصور، إذ لم يعد مجرد فكرة في أذهان العلماء، بل تحول إلى فرع علمي متقدم له تطبيقات واسعة، ومن المثير للإهتمام أن استخدام المواد النانوية ليس حديثاً تماماً، فقد وظف الإنسان الألياف النانوية الطبيعية، كألياف الإسبستوس، في تقوية الخزف منذ أكثر من 4500 سنة، مما يعكس فطنة مبكرة في إستغلال خصائص المواد على المستوى الدقيق.[3] تجلّت براعة الكيمياء في مصر القديمة من خلال إستخدامها الرائد للرصاص في صناعة مستحضرات التجميل، قبل أكثر من أربعة آلاف عام. فقد توصل المصريون منذ العصر اليوناني الروماني إلى تحضير صبغات للشعر تعتمد على أملاح الرصاص، أما الإبتكار الأبرز فكان في إنتاج أول صبغة صناعية باللون الأزرق، حيث إستخدموا مزيجاً دقيقاً بحجم النانو من الزجاج والكوارتز، وذلك في القرن الثالث قبل الميلاد، في إنجاز يعكس فهماً مذهلاً لتركييب المواد ودقة التعامل معها في ذلك الزمن المبكر [4]،[5] ،كان اللون الأزرق بصيغته المعقدة المكوّنة من ( $SiO_2/CaCuSi_4O$ ) الزجاج والكوارتز، علامة فارقة في الفنون الخزفية للحضارات القديمة الواقعة ضمن حدود الإمبراطورية الرومانية، كمصر وبلاد الرافدين وبلاد ما بين النهرين واليونان، وقد كشفت التنقيبات الأثرية عن استخدام واسع لما يُعرف بـ"الأزرق المصري" في تزيين المعابد والقطع الفنية، مما يعكس ذوقاً رفيعاً وفهماً متقدماً للمواد وخصائصها الجمالية في تلك العصور.

تم إكتشاف استخدام المعادن في تحضير المواد منذ العصور القديمة ،حيث قام المصريون القدماء وسكان بلاد ما بين النهرين بصناعة الزجاج بإستخدام بعض المعادن ، وهو ما يمكن اعتباره من أولى المؤشرات على ظهور الجسيمات النانوية المعدنية [6] ، وتعد هذه المواد القديمة أمثلة مبكرة على المواد النانوية التركيبية التي إستخدمت في تطبيقات عملية،فخلال العصر البرونزي ( 1000-1200 قبل الميلاد ) تم العثور في منطقة Frattesina di Rovigo ( إيطاليا ) على زجاج أحمر اللون يعود تاريخه

## الفصل الأول: المواد النانوية

إلى الفترة ما بين 100 و400 سنة قبل الميلاد ، ويعتقد أن لونه الأحمر اللامع ناتج عن وجود جسيمات نانوية من النحاس أكسيد النحاس (  $Cu_2O$  ) [7]، وعلى الرغم من قدم هذه المادة ، إلا أن الزجاج الروماني يعد من أوائل الأمثلة لإستخدام المعادن النانوية، إلى جانب إستخدامات أخرى ظهرت في حضارات قديمة متعددة .

أم مصطلح "تقنية النانو" ( Nanotechnology ) ، فقد تم طرحه لأول مرة سنة 1974 من طرف الفيزيائي الياباني نوريو تانيغوتشي Norio Taniguchi [8] ومنذ ذلك الحين ، تطورت تقنيات التصنيع المواد النانوية ، مثل الترسيب الكيميائي بالبخار وتقنيات الليزر ، مما ساهم في تطوير مواد جديدة وتحسين خصائصها في العديد من المجالات ، كالألكترونيات ، الطب ، علم المواد ، البيئة ، والطاقة، ويشهد هذه المجال تطورا متسارعا إتاح إنتاج مواد دقيقة وعالية الكفاءة على مقياس النانومتر، مما ساعد في تقديم حلول لمشكلات متنوعة مثل التلوث البيئي ، تحسين التشخيص والعلاج الطبي ، وتطوير التكنولوجيا. ويعد علم النانو من العلوم التي تفتح أفاقا جديدة إذا يواجه تحديات كبيرة ، ولكنه في المقابل يوفر فرصا واعدة لتطوير تقنيات مبتكرة لمستقبل أكثر تقدما [8].

يمكن سرد تعريفات لأهم المصطلحات المستخدمة في علم النانو وهي [9]

- الطبقة النانوية: هي مادة نانوية لها بعد واحد يتراوح بين 1 و 100 نانومتر
- علم النانو: يختص بدراسة المواد على المستوى الذري والجزيئي في أبعاد اقل من 100 نانومتر مع التركيز على خصائصها الفريدة.
- تكنولوجيا النانو: تقنية تهتم بتطوير مواد وتراكيب نانوية (1-100 نانومتر) تمتاز بخواص جديدة ناتجة عن صغر الحجم.
- المواد النانوية: مواد تتوافق أبعادها الداخلية أو الخارجية مع المقياس النانومتري.

## الفصل الأول: المواد النانوية

• الجسيمات النانوية: جسيمات ثلاثية الابعاد ضمن النطاق النانوي ، وقد يستخدم مصطلح "الصفائح النانوية" حسب شكل الجسيم.

• الاليف النانوية: هياكل خيطية بابعاد نانوية ، يكون أحد أبعادها أكبر بوضوح من البقية.

• مركب النانو: مادة متعددة المكونات تحتوي على طور واحد على الأقل بأبعاد نانوية.

• البنية النانوية: تنظيم الذرات داخل المركبات في نطاق النانو ، مما يمنحها خصائص مميزة.

### 3-تعريف المواد النانوية :

هي مواد تتراوح ابعادها بين 1 و100 نانومتر، وتتميز بخصائص فريدة تختلف عن المواد التقليدية مثل

زيادة التفاعل الكيميائي والصلابة والتوصيل تستخدم في مجالات متعددة كالصحة والطاقة... [10]

يمكن تصنيف المواد النانوية إلى عدة أنواع رئيسية، مثل:

- الجسيمات النانوية: جزيئات ذات حجم نانوي، تتمتع بخصائص عالية النشاط بسبب المساحة

السطحية الكبيرة.

- الأغشية النانوية: طبقات رقيقة جدًا من المواد تتراوح سماكتها بين النانو متر.

- الأنابيب النانوية: هياكل أسطوانية نانوية تمتاز بخصائص ميكانيكية وكهربائية ممتازة.

تتمتع المواد النانوية بعدد من الخصائص غير التقليدية مثل الإستقرار الحراري العالي، التوصيل

الكهربائي المحسن، والنشاط الكيميائي المتزايد، مما يجعلها مناسبة للعديد من التطبيقات المبتكرة في

مجالات مثل التكنولوجيا البيئية والطاقة المتجددة.

### 4- الجسيمات النانوية المعدنية :

يعود أصل كلمة "النانو" إلى الكلمة اليونانية nanos التي تعني "القرم" في إشارة إلى الحجم المتناهي الصغر، ويستخدم مصطلح النانومتر كوحدة قياس تساوي جزء من مليار من المتر ( 1 نانومتر =  $10^{-9}$  متر )، أو جزء من مليون من المليمتر ، ما يبرز دقته المتناهية .

تعرف الجسيمات النانوية المعدنية بأنها مواد صلبة دقيقة لا يقل أحد أبعادها عن 1 نانومتر ولا يتجاوز 100 نانومتر، وهي غالبا ما تكون عبارة عن تجمعات من الذرات أو الجزيئات تعرف بإسم الركامات الذرية أو الجزيئية- ( atomiic or molecular aggregates ) ذات بنية نانوية فريدة ، وتمنحها هذه البنية خصائص إستثنائية مقارنة بنفس المادة في الحجم الأكبر، مثل المساحة السطحية المرتفعة ، والطاقة السطحية العالية ، إضافة إلى تأثير التقييد الكمي ( quantum confinement ) الذي يؤدي إلى تغير سلوكها الإلكتروني والبصري بشكل ملحوظ [11].

تقنية النانو تمثل ثورة علمية حديث، تركز على تصنيع المواد وهياكل بحجم النانومتر، ما يمنحها خصائص غير مألوفة ، تظهر الجسيمات النانوية سلوكا فريدا في المجالات الكيميائية والمغناطيسية والبيولوجية بفضل سطحها العالي ونشاطها المتميز، وبفضل إستقرارها وتوافقها الحيوي وإنخفاض سميتها، أصبحت أداة واعدة في الطب الحديث ، خصوصا في التشخيص والعلاج الموجه للأمراض معقدة كالسرطان [12].

### 5- خصائص المواد النانوية المعدنية:

يُفسر الإنتقال من البنية الضخمة لأكاسيد المعادن إلى صورتها النانوية عن ظهور خصائص وظيفية فريدة وغير تقليدية وفي هذا السياق، سيتم إستعراض موجز للخصائص التحفيزية، والمضادة للميكروبات، والمغناطيسية، والبصرية، والإهتزازية التي تميز جسيمات الأكسيد النانوية [12].

### 5-1 الخصائص الحفزية:

## الفصل الأول: المواد النانوية

يمثل التحفيز أحد التطبيقات المحورية للجسيمات النانوية، إذ استُخدمت مواد مثل الألومنيوم، والحديد، وثاني أكسيد التيتانيوم، والسليكا كمحفزات فعالة بفضل مساحتها السطحية الكبيرة وخصائصها البنوية الفريدة، ومع أن آلية هذا النشاط التحفيزي لم تُفهم بالكامل بعد، فإن التحكم في التركيب، والشكل، والحجم، أتاح تصميم محفزات نانوية أكثر انتقائية وكفاءة.

وتكمن الأهمية في فهم كيف تؤثر الخصائص الفيزيائية على الأداء التحفيزي، وكيف تسهم تقنيات التصنيع في ضبط هذه الخصائص، ومن خلال هذا الفهم، يمكن تطوير محفزات نانوية ذكية تدعم تفاعلات أكثر كفاءة، باستهلاك طاقة أقل، وإنتاج نفايات أدنى، مما يسهم في تقليل الأثر البيئي للتفاعلات الكيميائي [13]، [14].

### 5-2 الخصائص المضادة للميكروبات:

تعرف الخصائص المضادة للميكروبات بأنها قدرة المواد على قتل أو تنشيط نمو الكائنات الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات والفيروسات، وتعد هذه الخصائص ذات أهمية كبيرة في التكييفات الطبية والصناعية تعمل المواد المضادة للميكروبات عبر آليات تشمل إتلاف الغشاء الخلوي، والتداخل مع الحمض النووي وقد أثبتت المواد النانوية، مثل جسيمات الفضة (Silver nanoparticler -AgNPs) وأكاسيد الزنك (ZnO) والتيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) فعاليتها العالية في هذا المجال. [15]

### 5-3 الخواص المغناطيسية:

تظهر المواد النانوية خصائص مغناطيسية فريدة تعزى بشكل أساسي إلى تأثيرات الحجم وتقليل الأبعاد البلورية، فعند تقليص أبعاد الحبيبات إلى النطاق النانومتري، تزداد نسبة الذرات الموجودة على السطح مقارنة بالذرات داخل البنية البلورية، هذا الإرتفاع في نسبة الذرات السطحية يقضي إلى تعزيز عدم التماثل في البيئة المحيطة بالذرات، مما يؤدي إلى تقوية العزوم المغناطيسية السطحية، وكنتيجة لذلك ترتفع الكثافة المغناطيسية الإجمالية للمادة، مما يعكس تحسنا ملحوظا في خصائها المغناطيسية [16].

## الفصل الأول: المواد النانوية

### 4-5 الخواص البصرية:

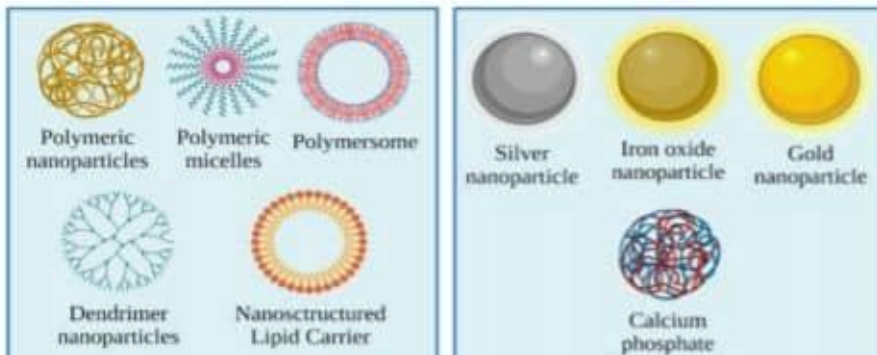
تعد الجسيمات المعدنية النانوية (NPs) من أبرز مكونات المواد النانوية المركبة، لما لها من خصائص فريدة مثل تأثير الحجم الكمومي وتوصيل الإلكترون المفرد، تستخدم هذه المواد في تصميم دعائم ضوئية متقدمة للإلكترونات الضوئية، حيث يؤدي التحكم في حجمها إلى تحسين كفاءة التبدل البصري وخفض عتبة التشغيل، وتتميز بإمكانات عالية في أنظمة الإتصال والحوسبة بسرعات تبديل قد تصل إلى 100 غيغاهرتز [17]، [18].

### 5-5 خاصية الإهتزاز:

تمثل دراسة الخصائص الفيزيائية للجسيمات النانوية أساساً لفهم المواد النانوية المركبة والتحكم في تصنيعها، وتعد كثافة حالات الإهتزاز (VDOS) مؤشراً محورياً ليس فقط لفهم ديناميكيات الشبكة. بل أيضاً لتفسير خصائص مثل السعة الحرارية وسرعة الصوت وهذا يجعلها أداة فعالة لتتبع التحولات الهيكلية في الجسيمات النانوية [18]، [19].

### 6-أنواع وتصنيف المواد النانوية: [20]

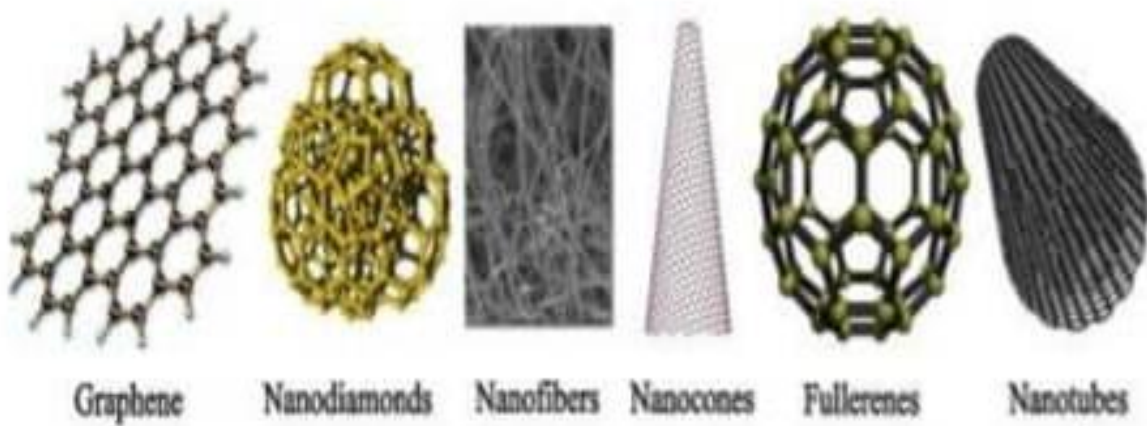
يتم تصنيف المواد النانوية إلى أربع فئات رئيسية إستناداً إلى خصائصها الكيميائية والبنوية، على النحو التالي:



الشكل (I. 1): أنواع الجسيمات النانوية [21]

### 1-6 المواد النانوية الكربونية:

تتضمن هذه الفئة المواد النانوية المكونة من الكربون، مثل أنابيب الكربون النانوية، الجرافين الفوليرين (Fullerene) وألياف الكربون النانوية تتميز هذه المواد ببنيتها الفريدة وخصائصها الميكانيكية الممتازة، فضلاً عن كونها موصلات فعالة للحرارة والكهرباء. على سبيل المثال، يُستخدم الجرافين في تطبيقات الطاقة والتحفيز بفضل بنيته ثنائية الأبعاد. [22]



الشكل (I. 2): أنواع المواد النانوية ذات أساس كربوني [22]

### 2-6 المواد النانوية المعدنية:

## الفصل الأول: المواد النانوية

تشمل الفضة، الذهب، الحديد وأكاسيد مثل ZnO و TiO<sub>2</sub>، تتميز بخصائص كهربائية، بصرية وتحفيزية مما يجعلها مفيدة في التطبيقات الطبية، البيئية والصناعية. [20]، [22]

### 6-3 المواد النانوية البوليمرية :

هي أنظمة ذكية مصنوعة من بوليمرات قابلة للتحكم تستخدم في التطبيقات الطبية الحيوية مثل توصيف الأدوية بدقة وإستهداف الخلايا المرضية، بفضل خصائصها مثل التحلل الحيوي، الإستجابة للمحفزات وسهولة تعديل سطحها لتلائم أغراضا علاجية وتشخيصية متعددة [20]، [22]

### 6-4 المواد النانوية المركبة :

عبارة عن مواد تتكون من مصفوفة بوليمرية تحتوي على إضافات نانوية مثل الأنابيب الكربون أو الطين تساهم هذه الإضافات في تحسين الخواص الميكانيكية والحرارية والكهربائية للمادة. [20]، [22]

### 7- تصنيف المواد النانوية حسب الأبعاد:

يمكن تصنيف المواد النانوية بناء على عدد أبعادها التي تقل عن 100 نانومتر ، تعتمد هذه المواد في الأصل على الخامات التقليدية مثل الفلزات والسبائك وأشباه الموصلات والزجاج والسيراميك والبوليمرات. إليك تفصيل لأنواعها :

1. المواد النانوية صفرية الأبعاد (0D (Zero-Dimensional): تعرف هذه المواد بأن جميع أبعادها الثلاثة الطول والعرض والإرتفاع تقل عن 100 نانومتر. وغالبا ما تكون على شكل جسيمات أو حبيبات صغيرة جدا. ومن أمثلتها الشائعة النقاط الكمومية (Quantum Dots) و الجسيمات النانوية (Nanoparticles) مثل أكاسيد الفلزات وأكاسيد السيليكون (SiO<sub>2</sub>) وأكاسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) وأكاسيد الألومنيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) وأكاسيد الحديد (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). تنصدر هذه الفئة قائمة الإنتاج العالمي من مواد النانو نظراً لتعدد استخداماتها في صناعة الالكترونيات ومواد البناء، حيث تحل محل المواد التقليدية. [23]

2. مواد نانوية أحادية البعد (1D (One-Dimensional)) : تتميز هذه المواد بأن أحد أبعادها يقل عن 100 نانومتر ، بينما البعدان الآخران لا يشترط أن يكونا في المقياس النانوي، من الأمثلة الشائعة على ذلك الرقائق أو الأغشية الرقيقة ( Thin Layers )، والتي تستخدم بشكل واسع في طلاء الأسطح المعدنية للحماية من التآكل والصدأ. [24] [25]

3. مواد نانوية ثنائية البعد (2D (Two-Dimensional)) : تشمل هذه الفئة المواد التي يقل بعدان من أبعادها عن 100 نانومتر، من أبرز الأمثلة عليها أنابيب النانو (Nano Tubes) مثل أنابيب الكربون النانوية، وألياف النانو (Nano Fibers) ، وأسلاك النانو (Nano Wires) تستخدم أنابيب الكربون الثنوية كمعززات قوية للمواد الفلزية، مما يحسن من صلابتها وخصائصها الميكانيكية. [24] [25].

4. مواد نانوية ثلاثية البعد (3D (Three-Dimensional)) : هي المواد التي تكون جميع أبعادها الثلاثة أقل من 100 نانومتر، مثل حبيبات النانو (Nano Particles) والمواد السيراميكية فائقة النعومة تتصدر هذه الفئة قائمة المواد النانوية المنتجة عالميا نظرا لتنوع إستخداماتها، تدخل أكاسيد الفلزات المختلفة مثل أكاسيد السيليكون وأكاسيد التيتانيوم (TiO) وأكاسيد الألومنيوم وأكاسيد الحديد في العديد من الصناعات، بما في ذلك الإلكترونيات ومواد البناء، كبدائل للمواد التقليدية. [24]،[25]

### 8- تصنيف المواد النانوية حسب أصلها:

يمكن تصنيف المواد النانوية بناءً على مصدرها أو طريقة إنتاجها إلى عدة فئات رئيسية، يعرض هذا التصنيف الشائع أنواع المواد النانوية المختلفة، مع التركيز على خصائصها وتطبيقاتها المميزة. [20]،[26]

## الفصل الأول: المواد النانوية

### 1-8 المواد النانوية الطبيعية:

توجد هذه المواد بشكل طبيعي في البيئة وتمتلك أبعادًا نانوية أو خصائص فريدة، تشمل أمثلة عليها الجسيمات النانوية المتكونة من الانفجارات البركانية، والجسيمات النانوية الموجودة في بعض أنواع الطين، بالإضافة إلى الأنابيب النانوية التي تتكون طبيعيًا في بعض المعادن. [20]، [26]

### 2-8 المواد النانوية المعتمدة على الكربون:

تتكون هذه الفئة بشكل أساسي من ذرات الكربون، من أبرز الأمثلة عليها: الجرافين: طبقة واحدة من ذرات الكربون مرتبة في شبكة سداسية.

أنابيب الكربون النانوية: هياكل أسطوانية مجوفة تتكون من صفائح جرافين ملفوفة.

الفوليرينات: جزيئات كربونية كروية أو بيضاوية الشكل. [20]، [26]

### 3-8 المواد النانوية الهندسية:

يتم تصميم هذه المواد وتصنيعها بشكل متعمد لتطبيقات محددة. تشمل هذه الفئة الجسيمات النانوية، والأسلاك النانوية، والأنابيب النانوية التي يتم إنشاؤها في المختبرات. [20]، [26]

### 4-8 الجسيمات النانوية المعدنية وأكاسيد المعادن:

تُصنع هذه الجسيمات من معادن مختلفة مثل الفضة، الذهب، والحديد، أو من أكاسيد المعادن مثل أكسيد الزنك وثاني أكسيد التيتانيوم، غالبًا ما تتميز هذه الجسيمات بخصائص كهربائية، بصرية، أو تحفيزية ممتازة. [20]، [26]

### 5-8 المواد النانوية شبه الموصلة:

تتكون هذه المواد عادةً من أشباه الموصلات ولها تطبيقات واسعة في مجالات الضوئيات والإلكترونيات. من الأمثلة الشائعة:

## الفصل الأول: المواد النانوية

النقاط الكمومية: بلورات شبه موصلة صغيرة جدًا تظهر خصائص بصرية وكهربائية تعتمد على حجمها.

[26]، [20]

الأسلاك النانوية: هياكل شبه موصلة ذات أبعاد نانوية مصنوعة من مواد مثل السيليكون.

### 6-8 المواد النانوية البوليمرية:

تتكون هذه المواد من بوليمرات أو جسيمات نانوية قائمة على البوليمر، تُستخدم بشكل واسع في توصيل

الأدوية، والطلاءات، والتطبيقات الطبية الحيوية المتنوعة. [26]، [20]

### 7-8 المواد النانوية البيولوجية:

تُشتق هذه المواد من مصادر بيولوجية أو تُجمع باستخدام العمليات البيولوجية. تشمل أمثلة عليها:

الجسيمات الشحمية (Liposomes) حويصلات كروية تتكون من طبقات دهنية مزدوجة.

الجسيمات النانوية القائمة على البروتين: هياكل نانوية تُبنى باستخدام البروتينات.

تركيبات تكنولوجيا النانو للحمض النووي (DNA Nanostructures) هياكل معقدة تُصمم باستخدام

الحمض النووي. [26]، [20]

### 8-8 المواد النانوية الهجينة:

تجمع هذه المواد بين نوعين أو أكثر من المواد أو المواد النانوية المختلفة للاستفادة من خصائصها

الفريدة. على سبيل المثال، يمكن الجمع بين أنابيب الكربون النانوية والجسيمات النانوية المعدنية لإنشاء

مركبات نانوية هجينة بخصائص محسّنة. [26]، [20]

### 9-8 المواد النانوية المركبة:

تتكون هذه المواد من مادة مصفوفة مع إضافات نانوية مدمجة. مثال على ذلك، المركبات النانوية

البوليمرية التي تحتوي على مواد حشو نانوية مثل الطين أو أنابيب الكربون النانوية لتحسين خصائصها

الميكانيكية أو الحرارية. [26]، [20]

### 8-10 المواد النانوية ذاتية التجميع:

تتشكل هذه المواد من خلال عمليات التجميع الذاتي، حيث تقوم الجزيئات أو الجسيمات النانوية بترتيب نفسها في هياكل منظمة . [20]، [26]

### 9- طرق تركيب جسيمات النانوية:

إن تصنيع المواد النانوية، على الرغم من تنوع الأدوات والأساليب المتاحة التي تختلف في جودتها وسرعتها وتكلفتها، يندرج بشكل أساسي تحت منهجين تقنيين رئيسيين:

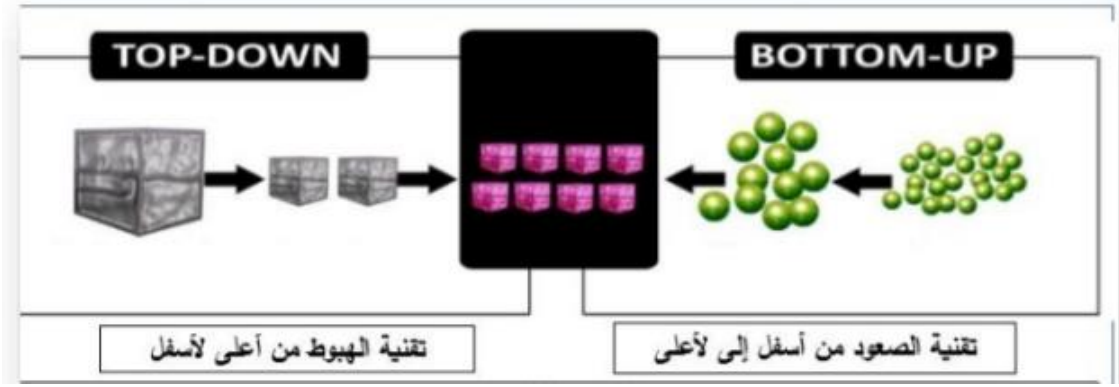
#### 9-1 منهج "من الأعلى للأسفل (Top-Down Approach)"

يعتمد هذا المنهج على تقليل حجم المادة من مقياسها الماكروسكوبي (المحسوس) تدريجياً حتى الوصول إلى الأبعاد النانوية. تشمل التقنيات المستخدمة في هذا النهج الحفر الضوئي (Photolithography) ، القطع، الحفر الكيميائي (Chemical Etching) ، الطحن (Milling) ، والاستئصال بالليزر (Laser Ablation) . [24]

لقد أثبتت هذه التقنيات فعاليتها في إنتاج مكونات إلكترونية دقيقة مثل شرائح الكمبيوتر، حيث تمكنت من الوصول إلى أحجام تقارب 100 نانومتر، ولا تزال الأبحاث جارية بهدف تحقيق أبعاد أصغر . [27]

#### 9-2 منهج "من الأسفل للأعلى (Bottom-Up Approach)"

يعتمد هذا المنهج على التجميع الذاتي للذرات أو الجزيئات الفردية لتشكيل تراكيب أكبر تدريجياً. يتميز هذا الأسلوب بالقدرة على إنتاج مواد نانوية بأحجام صغيرة جداً (في نطاق النانومتر) مع تقليل الهدر في المادة الأصلية وتحقيق روابط قوية بين الجسيمات الناتجة. غالباً ما تُستخدم الطرق الكيميائية في هذا المنهج، مثل تقنيات Sol-Gel و Hydrothermal و Solvotherma. [27].



الشكل (I. 3): طرق تركيب الجسيمات النانوية [24]

## 10- طرق تصنيع جسيمات أكسيد المعادن النانوية:

### 1-10 توليف NPs بواسطة Sol-Gel طريقة الفيزيائية الفعالة:

تشمل تقنيات مثل طريقة الغرويات (Colloids) ، وطريقة الهلام السائل (Gel-Sol) ، وكذلك تصنيع

الشرائح الرقيقة (B-L films) وتمتاز هذه الأساليب بعدة مزايا، من أبرزها:

إعتمادها على تقنيات بسيطة وسهلة التطبيق.

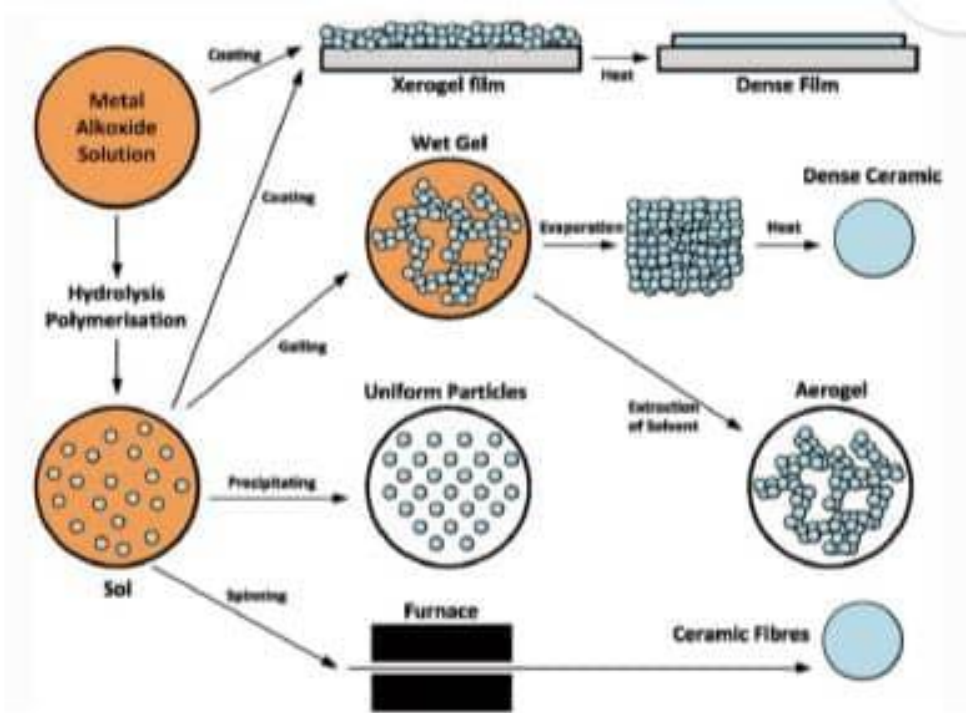
إنخفاض تكلفتها نظراً لقلة الأجهزة المطلوبة مقارنة بالطرق الفيزيائية الأخرى.

إمكانية إجراء عمليات التحضير عند درجات حرارة منخفضة نسبياً.

قدرتها على إنتاج كميات كبيرة من المواد النانوية.

مرونة في التحكم بأحجام وأشكال الجسيمات النانوية المُصنعة.

تُعد طرقاً آمنة وصديقة للبيئة [28]



الشكل (I. 4): رسم تخطيطي تمثيلي لطريقة Sol-Gel [28]

#### 10-2 توليف NPs بواسطة Sol-Gel عن طريق العملية الحرارية المائية:

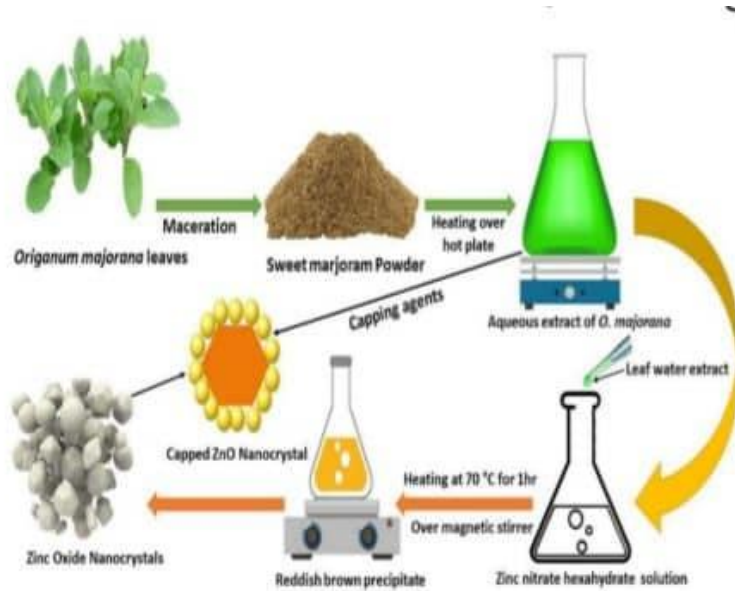
من الطرق المعتمدة على آلية "من أعلى إلى أسفل" ، حيث يتم تقليص المواد إلى أحجام نانوية باستخدام تقنيات فيزيائية متنوعة مثل الموجات فوق الصوتية (Ultra-sonication) ، الإشعاع بالموجات الدقيقة (Microwave Irradiation) ، أو الطرق الكهروكيميائية (Electrochemical Methods). في هذه التقنية، يمكن استخدام أنبوب تسخين موضوع عند الميزان البارومتري لدمج الجسيمات النانوية من خلال عملية التكتيف بعد التبخر، حيث يُبخر العنصر المصدر داخل وعاء خاص (crucible) ، وتعمل الحرارة على تحويله إلى غاز حامل، مما يتيح تكوين الجسيمات النانوية. تُستخدم هذه الطريقة في تحضير جسيمات نانوية لعناصر متعددة مثل الذهب، الفضة، الرصاص، الكاديوم، والعديد من الفلزات

الأخرى. [29]

### 10-3 توليف NPs بواسطة Sol-Gel بطريقة الكيمياء الخضراء (التوليف الحيوي):

تُعد الطريقتان الكيميائية والفيزيائية في تحضير الجسيمات النانوية مكلفتين نسبيًا، كما أن الطريقة الكيميائية تعتمد على استخدام مواد ومركبات قد تكون سامة أو خطيرة، مما يشكل تهديدًا على صحة الباحثين والبيئة المحيطة، بالإضافة إلى ذلك، قد تؤدي بعض الآليات المستخدمة في هاتين الطريقتين إلى إنتاج جسيمات نانوية ذات شكل أو حجم أو نقاوة غير ملائمة، ويصعب التحكم بها بدقة. [30]

من هنا تبرز الحاجة إلى طرق أكثر أمانًا وكفاءة، مثل الطريقة الحيوية أو ما يُعرف بالكيمياء الخضراء، والتي تتيح الحصول على جسيمات نانوية ذات تجانس أعلى وعيوب أقل، وتعتمد هذه الطريقة على استخدام كائنات دقيقة مثل البكتيريا أو الفطريات أو الطحالب أو حتى مستخلصات نباتية في عملية التوليف. ويُحدد إختيار الكائن أو مستخلصه بناءً على عدة عوامل، من بينها المسارات الكيميائية الحيوية، والأنشطة الإنزيمية، ومراحل نمو الخلية، بالإضافة إلى التفاعلات الحيوية التي تسهم في بناء الجسيمات النانوية. [31]



الشكل (I.5): رسم تخطيطي تمثيلي لطريقة الكيمياء الخضراء [32]

## 11- آلية تصنيع الجسيمات النانوية باستخدام المستخلصات النباتية:

التوليف داخل الخلايا أو خارجها بوساطة الإنزيمات، إضافة إلى سهولة زراعتها وإنخفاض كتلتها الحيوية مما يجعلها خياراً مناسباً للتطبيقات الصناعية والبيئية. [33]

مفهوم التصنيع الأخضر: يعد التصنيع الأخضر توجهاً حديثاً في مجال إنتاج المواد النانوية، يهدف إلى تطوير تقنيات صديقة للبيئة، من خلال استخدام موارد طبيعية ومتجددة بدلاً من المواد الكيميائية السامة والمكلفة، يرتكز هذا الأسلوب على مبادئ الإستدامة البيئية وتقليل الانبعاثات الخطرة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية، وقد أظهر التصنيع الأخضر فعالية كبيرة في إنتاج الجسيمات النانوية المعدنية، مع الحفاظ على بيئة نظيفة وأمنة صحياً، يمثل استخدام المستخلصات النباتية أحد أبرز تقنيات التصنيع الأخضر، حيث تعتمد هذه الطريقة على المركبات الحيوية الطبيعية الموجودة في أجزاء النباتات المختلفة، والتي تمتلك قدرة على إختزال الأيونات المعدنية وتحويلها إلى جسيمات نانوية مستقرة، وبهذا يسهم هذا النهج في الحد من استخدام المذيبات السامة ومخلفات التفاعلات الكيميائية التقليدي. [34]

### الخصائص الهيكلية والفيزيائية والكيميائية لجسيمات ZnO النانوية:

#### أ- الخصائص الهيكلية:

- الحجم والشكل: يلعب الحجم والشكل دوراً محورياً في تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية الجسيمات ZnO النانوية. فكلما قل حجم الجسيمات، زادت المساحة السطحية النوعية، مما يؤدي إلى زيادة النشاط السطحي وفاعلية الفصل الأول التفاعل، ويمكن التحكم في حجم الجسيمات وشكلها (كروي، قضبي، زهري، نجمي...) من خلال تغيير شروط التفاعل وخصائص المستخلص النباتي المستخدم.

التركيب البلوري: يتبلور ZnO في الغالب ضمن نظام الوريثيت السداسي (hexagonal wurtzite) وهو تركيب مستقر حرارياً، ويساعد على تحسين الخواص البصرية والكهربائية للجسيمات يظهر هذا التركيب خصائص شبه موصلية هامة، مما يجعله مفيداً في التطبيقات الإلكترونية والضوئية. [35]

- المساحة السطحية: تعد المساحة السطحية العالية من أهم الخصائص التي تميز المواد النانوية، حيث تسهم في زيادة معدلات التفاعل الكيميائي، إن زيادة المساحة السطحية النوعية تحسن كفاءة ZnO NP في التحفيز الضوئي وإمتصاص الملوثات أو تثبيط الكائنات الدقيقة، ويتم تحديد هذه الخاصية غالباً باستخدام طريقة BET. [36]

### ب- الخصائص الكيميائية والفيزيائية:

- الخصائص الفيزيائية:

- الخصائص البصرية:

تظهر جسيمات الزنك النانوية (ZnO NPs) نشاطاً بصرياً بارزاً بفضل قدرتها على إمتصاص الضوء في منطقة الأشعة فوق البنفسجية يقاس هذا الإمتصاص باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV-Vis)، وتستخدم النتائج الحساب فجوة الطاقة (band gap)، وهي خاصية أساسية تحدد مدى كفاءة ZnO في التحفيز الضوئي، كلما صغر حجم الجسيمات، زادت فجوة الطاقة بسبب ظاهرة حصر الكم (Quantum confinement). [37]

- الخصائص الكهربائية:

تمتاز ZnO NPs بتوصيليتها الكهربائية الجيدة نتيجة لوجود عيوب تركيبية مثل الفراغات الأكسجينية (oxygen vacancies) والعيوب بين الذرية، مما يفتح المجال لإستخدامها في التطبيقات الإلكترونية مثل المستشعرات. [38]

### -الخصائص الكيميائية:

تتميز جسيمات ZnO NPs النانوية بثبات كيميائي عال، مما يجعلها مقاومة للتدهور في البيئات المختلفة. كما أن قدرتها على التفاعل مع أنواع مختلفة من المركبات العضوية وغير العضوية تسهم في تعزيز فعاليتها في عمليات التحفيز وإزالة الملوثات، ويمكن تحسين خصائصها الكيميائية بإضافة شوائب أو نسبها مع مواد أخرى (Ag أو TiO) لتحسين أدائها في تطبيقات معينة. [39]

الفصل الثاني:

تقنيات التوصيف و نشاط

التحفيز الضوئي

### 1-مقدمة:

تعد الجسيمات النانوية من أهم المواد التي حظيت بإهتمام واسع في العقود الأخيرة، نظرا لخصائصها المتميزة الناتجة عن صغر أبعادها مثل النشاط السطحي العالي، والخواص البصرية والكهربائية الفريدة، لإستغلال هذه الخصائص في التطبيقات الصناعية والطبية والبيئية، من الضروري إجراء توصيف دقيق لهذه الجسيمات من حيث الحجم، الشكل، البنية الداخلية، التركيب الكيميائي، والشحنة السطحية، ولهذا الغرض، تستخدم عدة تقنيات مثل المجهر الإلكتروني النافذ (TEM)، المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، حيود الأشعة السينية (XRD)، وغيرها تساهم هذه التقنيات في فهم سلوك الجسيمات النانوية والتحكم في خصائصها بما يخدم الأهداف التطبيقية لمختلف البحوث.

## 2- تقنيات توصيف الجسيمات النانوية:

### 1-2 مطيافية الأشعة فوق البنفسجية:

#### (Ultraviolet visible spectrophotomètre UV – visible)

يُعد مطياف الإمتصاص في نطاق الأشعة فوق البنفسجية والمرئية أداة جوهرية في إستكشاف الخصائص البصرية للمواد، إذا يستند إلى تحليل التفاعل بين الموجات الكهرومغناطيسية والمادة، وتتمثل آلية هذا القياس في رصد انتقال إلكترونات التكافؤ من حالتها الأرضية إلى الحالة المثارة، وذلك نتيجة إمتصاصها لفوتونات تقع ضمن نطاق الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي. [40]

عندما تتعرض الإلكترونات لموجة ضوئية ذات تردد يطابق تردداتها الإهتزازية الطبيعية، فإنها تمتص طاقة هذه الموجة وتدخل في حالة إهتزازية، تنتقل هذه الطاقة لاحقاً إلى الإلكترونات المجاورة من خلال التفاعلات الداخلية، مما يؤدي إلى تحويل الطاقة الإهتزازية إلى طاقة حرارية. بناء على هذا المبدأ، يعتمد التحليل الطيفي للإمتصاص على قياس مقدار إمتصاص المادة للإشعاع الكهرومغناطيسي كدالة لطول الموجة إذا تزداد شدة الإمتصاص عند طول موجي معين بزيادة عدد الجزيئات القادرة على إمتصاص الضوء عند ذلك الطول، مما يؤدي إلى تعزيز ذروة الإمتصاص في الطيف. [41]



شكل (II-1): جهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

ويبنى عمل مقياس الطيف الضوئي على قانون Beer-Lambert، الذي ينص على إن كمية الإشعاع الممتصة تتناسب طردياً مع تركيز الجزيئات الممتصة في المسار الضوئي، مما يتيح تحديد خصائص المادة المدروسة بدقة.

رياضياً، يمكن تفسير هذا القانون على النحو التالي:  $\log(I_0/I) = \epsilon cl$  (4) حيث:

A: الإمتصاصية (absorbance) (لا وحدة لها)

$\epsilon$ : معامل الإمتصاص المولي بوحدة  $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$

C: التركيز بوحدة  $mol \cdot l^{-1}$

L: طول المسار الضوئي بوحدة (cm)

### 2-2 مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

#### (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

يعد التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء باستخدام تقنية FTIR أداة فعالة لتحليل المواد النانوية المدعمة بالبوليمرات، حيث يستخدم للكشف عن التفاعلات بين الجسيمات النانوية وسلاسل البوليمر من خلال تحديد المجموعات الوظيفية والبنية الجزيئية، تتيح هذه التقنية تأكيد حدوث إرتباطات كيميائية أو فيزيائية داخل المركب الهجين، وهو ما ينعكس في تغير القمم الطيفية، تحضر العينات بمزجها مع بروميد البوتاسيوم KBr وتشكيل أقراص شفافة، ثم يقاس الطيف في المجال 400-4000 سم، ويساعد تحليل النتائج في تقييم نجاح التوليف وتحسين خواص المادة الناتجة.



شكل (II-2): جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء

3-2 حيود الأشعة السينية:

(X-ray diffraction- XDR)

يعد حيود الأشعة السينية XRD تقنية محورية لتحليل البنية البلورية للمواد الصلبة، حيث يستخدم لتحديد درجة التبلور، الشبكية، نقاء الطور، وإتجاه البلورات كما يساعد في تقدير الحجم الجسيمي للجسيمات النانوية بدقة، وتعتمد التقنية على قياس الزوايا التي يحدث عندها حيود الأشعة السينية أحادية اللون عند تفاعلها مع المستويات الذرية المنتظمة في البلورة، ما يوفر معلومات هيكلية شاملة على مستوى الذري.

[42]



شكل (II-3): جهاز حيود الأشعة السينية

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

يحدث الإنحراف في حيود الأشعة السينية عندما تكون الأشعة المشتتة من مستويات ذرية مختلفة في الطور، مما يؤدي إلى تراكم موجي بناء يعزز الإشارة وينتج نمطا مميز، في هذه الحالة تتحد الإنعكاسات لتكوين جبهات موجية معززة ترصد كأنماط XRD، ويتم تسجيل هذه الأنماط بقياس الزوايا التي ينحرف عندها شعاع الأشعة السينية نتيجة إصطدامها لمستويات البلورية، وتفسر هذه الظاهرة وفقا لمعادلة براغ، التي تعد الأساس النظري لعملية الحيود. [43]

قانون براغ :

$$N\lambda = 2d \sin\theta \quad 5.11$$

N: رتبة الحيود (عادة = 1)

$\lambda$ : طول موجة الأشعة السينية

D: المسافة بين مستويات الذرات في البلورة

$\theta$ : زاوية السقوط

$\sin\theta$ : جيب الزاوية التي تقاس بين الشعاع الإساقط والمستوى البلوري

ولدينا:

$$5) A = -\log(I/I_0) = -\log T = ECL$$

$$6) A = -\log T$$

$$7) A = -\log(1/T)$$

## 2-4 المجهر الإلكتروني الماسح (SEM.scanningelectronmicroscope)

يعد الماسح المجهر الإلكتروني SEM تقنية متقدمة تعتمد على المسح سطح العينة بشعاع من الإلكترونات لتوليد صور عالية الدقة تستخدم في التحليل المجهر الدقيق. تتميز هذه الطريقة بقدرتها على

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

تكبير العينات بدرجة كبيرة، مما يتيح فحص التفاصيل الدقيقة للتضاريس السطحية والبنية المجهرية للمواد. وينتج SEM صور ثلاثية الأبعاد توفر معلومات عن العلاقات البنوية والتكوين العام للمادة [44]. لا يعمل هذا النوع من المجاهر وفق المفهوم البصري التقليدي، إذا لا يعتمد على تكوين الصورة بعدسة موضوعية كما في المجهر الضوئي أو الإلكتروني النافذ TEM، بل يتم إنشاء الصورة تدريجياً عن طريق مسح سطح العينة بشعاع إلكتروني وتحليل الإلكترونات النانوية أو الإلكترونات المرتدة، دقة الصورة تعتمد بشكل أساسي على حجم الشعاع الإلكتروني، والذي يتأثر بدوره بالزيغ البصري داخل المجهر. [44]

### 3- الإمتزاز والتحفيز الضوئي:

التحفيز الضوئي هو عملية كيميائية تُستخدم فيها الطاقة الضوئية لتنشيط مادة محفزة، مما يؤدي إلى تسريع التفاعلات الكيميائية دون إستهلاك المادة المحفزة نفسها، تُستخدم هذه العملية في مجالات متعددة مثل تنقية المياه، معالجة الهواء، وتطبيقات الطاقة المتجددة.

أدى التزايد السكاني والطلب المتنامي على المياه إلى اعتماد المياه المنزلية المستعملة كمورد إستراتيجي بديل، يدرج ضمن الموازنة المائية ويعاد توظيفه في القطاعات الزراعية والصناعية وغيرها.

### تعريف المياه المستعملة:

هي ناتج مائي خاضع لتغيرات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية بفعل الأنشطة البشرية، يفقد خلالها خواصه الأصلية، مما يحد من صلاحيته للإستعمالات التقليدية، ويستوجب معالجته قبل إدماجه في الدورة المائية.

[44]

### -سمية الملوثات :

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

تعتبر سمية الملوثات عن مدى قدرتها على إحداث أضرار بيولوجية أو بيئية عند تجاوزها تركيزات معينة في الوسط الطبيعي، وتتأثر بعوامل عدة كالبنية الكيميائية، والتركيز، ومدة ونمط التعرض. ويعد فهم السمية ضروريا لتقييم المخاطر البيئية والصحية، ووضع استراتيجيات فعالة للحد من آثار الملوثات، وضمان إستدامة النظم البيئية وسلامة الانسان.

### طرق معالجة المياه المستعملة :

يتم إختيار طرق المعالجة وفقا لطبيعة الملوث المستهدف، حيث قد تكون التقنية الفعالة لنوع من التلوث غير ملائمة لأخر، تشمل الأساليب الرئيسية لمعالجة المياه الملوثة المعالجة الفيزيائية، الكيميائية، والبيولوجية. [45]

#### الطرق البيولوجية :

تعد المعالجة البيولوجية خيارا فعالا وإقتصاديا لإزالة المركبات العضوية، مستندة إلى نشاط التحليل للكائنات الحية الدقيقة دون الحاجة إلى تدخل كيميائي، غير أن كفاءتها تتراجع أمام المخلفات الصناعية عالية التلوث، نظر لبطء تكيف الأحياء الدقيقة مع السمية المرتفعة، كما تفرز هذه المعالجة كميات معتبرة من الحمأة، غالبا ما تكون صعبة التسيير وقد تحتفظ بخصائص سمية مستمرة. [46]

#### الطرق الكيميائية:

تعد الأكسدة الكيميائية من التقنيات لمعالجة المياه المحتوية على ملوثات عضوية مقاومة أو مركبات سامة بتركيز مرتفعة، حيث تعجز المعالجات التقليدية عن تفكيكها وتستخدم فيها مواد مؤكسدة قوية كالأوزون، الكلور ومشتقاته، والبرمنغنات، ورغم كفاءتها العالية، تحد من إنتشارها عوامل كارتفاع التكاليف التشغيلية وإعتمادها على كواشف كيميائية قد تتطلب تحكما دقيقا لتفادي آثار جاذبية بيئية. [46]

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

### الطرق الفيزيائية:

ترتكز الطرق الفيزيائية لمعالجة المياه على مبادئ الفصل الميكانيكي لإزالة الملوثات، دون أحداث تغير في بنيتها الكيميائية، مما يجعلها تقنيات غير مدمرة. وتشمل هذه الأساليب عمليات مثل الترشيح، التعويم، والإمتزاز، وتستخدم غالباً لتحسين كفاءة المعالجة أو كمرحلة تمهيدية للمعالجات اللاحقة. [46]

### 1-3 التحفيز الضوئي:

#### تعريف الملوثات الكيميائية:

أثبتت الدراسات أن تقنيات المعالجة التقليدية من المياه بشكل فعال، مما يستدعي اللجوء إلى تقنيات أكثر تقدماً مثل التحفيز الضوئي، تعتمد هذه التقنية على استخدام محفزات نشطة وضوء (مرئي أو فوق بنفسجي).

لتفكيك مركبات العضوية المعقدة إلى جزيئات أبسط، عبر تفاعلات أكسدة فعالة، ما يجعلها خياراً واعداً لمعالجة المياه المستعصية ويوجد نوعان: [47]

**التفكيك الكيميائي الضوئي المباشر:** يمكن لبعض الملوثات أن تتحلل ضوئياً عند إمتصاصها ضوء، كفاً يثيرها لتتفاعل مع الأكسجين المذاب، منتجة نواتج أبسط. وتعزى هذه العملية إلى إنتقالات إلكترونية بين المدارات الجزيئية ( $n-\pi$ ,  $\pi-\pi^*$ ) التي ترافق إمتصاص الضوء. [47]

**التفكيك الكيميائي الضوئي المحفز:** بدأ التحفيز الضوئي في السبعينات باستخدام  $TiO_2$  مع الأشعة فوق البنفسجية لمعالجة المياه، وبينت الأبحاث كفاءته العالية في تحليل طيف واسع من الملوثات (إذا ذاب المحفز) أو غير متجانسة (إذا بقي صلباً). [48]

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

### لتفكيك الكيميائي الضوئي المحفز المتجانس:

في التحفيز المتجانس، يشكل المركب وسيط غير المركب وسيط غير مستقر بين المحفز والمتفاعل، يتحلل لاحقاً مع إسترجاع المحفز، وتنقسم التفاعلات إلى (أكسدة / إختزال) و(حمض/قاعدة) وتعتمد كفاءتها على تركيز المكونات وظروف التشغيل. [47]

### 3-2 الإمتزاز:

يعد الإمتزاز المرحلة التمهيديّة في العديد من التفاعلات السطحية، ما يستدعي فهم ألياته والعوامل المؤثرة فيه. وقد تزيد الإهتمام بتطبيقاته مؤخرّة نتيجة للمتطلبات البيئية المتصاعدة، مدعوماً بالتقدم في تحضير مواد مازة عالية الكفاءة، مما أسهم في تطوير حلول فعالة في مجالات متعددة. [49]

#### تعريفه:

يعد الإمتزاز إحدى الظواهر الفيزيائية\_الكيميائية التي تنشأ نتيجة تفاعل بين مادة صلبة وأطوار مائعة، سواء كانت سائلة أو غازية، بحيث تحتجز جزيئات الطور المائع على سطح المادة الصلبة، وتعرف المادة التي تمتاز على السطح بالمتزّة Adsorbate ، في حين يطلق على المادة الصلبة التي يتم على سطحها الإمتزاز إسم الماز Adsorbent [50]

#### أنواعه:

يصنف الأمتزاز وفقاً لنوع القوى الرابطة بين الممتزة والسطح الماز، والتي تتحدد بطبيعة كل من المادة المازة والنشاط الإلكتروني للسطح، وينقسم إلى نوعين إمتزاز فيزيائي وكيميائي. [49]

الإمتزاز الفيزيائي هو عملية سطحية نوعية تتطوي على تكوين روابط تساهمية أو أيونية بين الجزيئات الممتزة والسطح الماز، ويحدث عادة على أسطح ذات نشاط إلكتروني مرتفع، مما يؤدي إلى

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

إمتزاز أحادي الطبقة يرافقه تغير في البنية الإلكترونية، ويعد خطوة أساسية في العديد من التفاعلات السطحية المحفزة. [50]

الإمتزاز الكيميائي يطبق على هذا النوع من الظواهر إسم الإمتزاز النشط ويحدث عندما تتفاعل الجزيئات أو الذرات أو الأيونات مع الأسطح ذات النشاط العالي، والتي تكون غير مشبعة إلكترونياً، تميل هذه الأسطح الى إنشاء روابط كيميائية قوية مع المواد الممتزة مما يؤدي إلى تكوين طبقة رقيقة تتألف غالباً من جزي واحد على سطح المادة الممتزة .

يمكن التمييز بين نوعي الإمتزاز بإستخدام العديد من المعايير المبينة في الجدول التالي:

الإمتزاز الكيميائي Chemical Adsorption	الإمتزاز الفيزيائي Physical Adsorption	المقارنة
روابط كيميائية (شاهمية أو أيونية) قوية	قوى فان دير فال الضعيفة	نوع القوى
عالية	منخفضة	حركة الإمتزاز
إنتقائي	غير إنتقائي	التخصص في السطح
غالب غير عكسية	عادة عكسية سهولة	عكسية التفاعل

### الجدول (1.II): جدول يوضح المقارنة بين الإمتزاز الفيزيائي والكيميائي

#### وصف آلية الإمتزاز:

يمثل الإمتزاز ظاهرة سطحية ناتجة عن تراكم الجزيئات أو الأيونات على سطح مادة صلبة بفعل قوى كهربائية ساكنة غير متوازنة، ناتجة عن عدم إكمال الروابط في حدود السطح الصلب، وتستمر هذه الظاهرة حتى يتحقق الإلتزان الديناميكي بين الطورين، حيث يعرف تركيز المادة الممتزة عنده هذه المرحلة

## الفصل الثاني: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي

بتركيز الإمتزاز، في حين يشير زمن التلامس إلى الفترة اللازمة لبلوغ هذا الإمتزاز، ويعد مؤشرا مهما لدراسة نوع الإمتزاز وحركيته. ومن المنظور الطاقوي، قد تكون العملية ماصة أو مطلقة للحرارة، تبعا لطبيعة التفاعلات المرافقة للإمتزاز. [50]

### 3-3 العوامل المؤثرة على الإمتزاز والتحفيز الضوئي:

- درجة الحرارة : يحدث الإمتزاز الفيزيائي عند درجات حرارة منخفضة ويعد طاردا للحرارة، حيث تكون الروابط بين الجزيئات الممتازة والسطح الماز ضعيفة، بينما يتطلب الإمتزاز الكيميائي درجات حرارة مرتفعة، كونه ماصا للحرارة نتيجة لتكوين الروابط قوية بين الجزيئات والمادة المازة، لذلك يعتبر ضبط درجة الحرارة أمرا حيويا لتحقيق فعالية العملية.
- الرقم الهيدروجيني للمحلول ' درجة الحموضة PH ' :

يعد الرقم الهيدروجيني من العوامل الأساسية في دراسات الإمتزاز، حيث يؤثر بشكل مباشر على بنية المادة المازة والمادة الممتازة، وكذلك على آلية الإمتزاز نفسها ، كما أن تأثير الرقم الهيدروجيني يتوقف على مصدر المياه المستعملة وطبيعة المعالجة (كمثل التخثر، التلبد، أو الأكسدة). لذلك يعتبر من الضروري دراسة كفاءة الإمتزاز عند مختلف قيم الرقم الهيدروجيني لضمان فعالية العملية وتحقيق أفضل النتائج .

تناولنا في هذا الفصل "تقنيات التوصيف ونشاط التحفيز الضوئي"، وبدأنا بتسليط الضوء على أهمية الجسيمات النانوية بفضل خصائصها الفريدة كالنشاط السطحي العالي والخصائص البصرية والكهربائية، ما يستدعي توصيفًا دقيقًا لها باستخدام تقنيات متقدمة كـ TEM، SEM، XRD، UV-Visible، وFTIR. وتستخدم هذه التقنيات لتحليل البنية، الحجم، التركيب، والشحنة السطحية للجسيمات، كما يتناول الفصل تقنيات معالجة المياه المستعملة، نظرًا لتزايد الطلب على الموارد المائية، مشيرًا إلى ضرورة إزالة الملوثات السامة التي تُظهر تأثيرًا بيولوجيًا وبيئيًا، تُصنّف طرق المعالجة إلى فيزيائية، كيميائية وبيولوجية، وكل طريقة تُستخدم حسب نوع التلوث، كما يُسلط الضوء على التحفيز الضوئي كمقاربة فعالة لتفكيك الملوثات العضوية المعقدة باستعمال محفزات نشطة وضوء، ويتفرع إلى أنواع مختلفة منها المباشر وغير المباشر (المحفز)، ويختتم الفصل بشرح شامل لظاهرة الامتزاز، موضحة أنواعه الفيزيائي والكيميائي، آليات حدوثه، والعوامل المؤثرة فيه مثل درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، وتركيز المواد، مما يعزز من فهم هذه العمليات لأجل تطبيقها في معالجة التلوث وتحسين خواص المواد النانوية.

## الفصل الثالث:

# النتائج والمناقشة والتحليل

## 1\_المقدمة :

جسيمات أكسيد الزنك النانوية ZnO NPs هي جسيمات دقيقة من مركب أكسيد الزنك، تتميز بخواص فيزيائية وكيميائية مثل النشاط الضوئي والإستقرار الكيميائي ،مما يجعلها ذات أهمية في عدة تطبيقات[51].

يهدف هذا الفصل إلى دراسة تحضير وتوصيف جسيمات أكسيد الزنك النانوية (ZnO) وتعديلها إستخدام بولي إيثيلين جلايكول (PEG) لتحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية . يعد PEG مادة مغلقة ومثبة للجسيمات النانوية ،حيث يساهم في تقليل من كتلتها وزيادة إستقرارها في الوسط المائي[52] يظهر تأثير PEG على جسيمات ZnO في تحسين توزيع الجسيمات وحجمها ،مما يعزز من خصائصها البصرية ،ويزيد من فعاليتها في تطبيقات التحفيز الضوئي.من خلال هذا الفصل ،سيتم تحضير العينات وتحليلها بإستخدام تقنيات متنوعة ،ومن هنا تبرز أهمية إجراء مقارنة بين الخصائص البصرية والحفزية لكل من ZnO و ZnO/PEG لتحديد مدى فعالية هذا التغليف ومدى تأثير وجود PEG على الأداء العام للجسيمات.

## 2\_المواد والأدوات والأجهزة المستخدمة:

المواد الكيميائية المستخدمة	الأدوات المستخدمة	الأجهزة المستخدمة
بولي إيثيلين جلايكول PEG	بيشر	ميزان إلكتروني
الماء المقطر	ورق ترشيح	فرن تجفيف
قشور الليمون	كأس زجاجي	فرن حرق
صبغة (RB) Rose bengal	حوجلة	جهاز الطرد المركزي
هيدروكسيد الصوديوم NaOH	أنابيب إختبار	جهاز التسخين والتحرك المغناطيسي

## الفصل الثالث: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي النتائج والمناقشة والتحليل

جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR	البارو المغناطيسي	كلوريد الزنك ( $ZnCl_2$ )
جهاز مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV-VIS)	Spatule	الإيثانول
جهاز حيود الأشعة السينية XRD	أنابيب الطرد المركزي	
جهاز حمام فوق الموجات الصوتية: هو جهاز مخبري يستخدم لتوليد موجات فوق الصوتية داخل سائل، بهدف تفكيك الجسيمات ،تسريع التفاعلات، أو تنظيف الادوات، ويعتمد في عمله على ظاهرة التجويف الناتجة عن الاهتزازات عالية التردد[53].		

الجدول (1.iii): المواد والأدوات والأجهزة المستخدمة



الشكل (1.iii): الأدوات والأجهزة المستخدمة

### 3\_تحضير عينات ZnO:

#### 3\_1-تحضير المستخلص(قشور الليمون ):

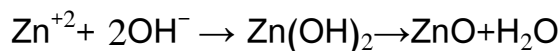
في البداية ،جمعت قشور الليمون الطازجة،ثم غسلت جيدا بإستخدام ماء الحنفية بهدف إزالة الأتربة،ثم غسلت بالماء المقطرعدة مرات لضمان نقائها.

لتحضير مستخلص النباتي نقوم بوزنا 100غرام من قشور الليمون في بيشر يحتوي على 1000مل من الماء المقطر،ثم ترك القشور منقوعة طوال الليل (نحو 12\_24 ساعة ) في درجة حرارة الغرفة ،وهي خطوة مهمة تتيح إستخلاص المركبات النشطة بيولوجيا بطريقة لطيفة وغير مدمرة[54].  
ثم نقوم بتصفية المستخلص بإستخدام ورق ترشيح لفصل السائل عن المواد الصلبة وبعد ذلك نحفظ المستخلص في حوجلة في درجة حرارة منخفضة 4درجات مئوية للحفاظ على خصائصه[54].

#### 3\_2-تحضير جسيمات ZnO النانوية :

بعد تحضير المستخلص المائي لقشور الليمون، تم إستخدامه كعامل مختزل ومثبت طبيعي في تخليق جسيمات أكسيد الزنك النانوية بطريقة خضراء وذلك وفق الخطوات التالية:

\_نأخذ 500 مل من مستخلص قشور الليمون المحضر سابقا نضعها في بيشر،نقوم بوزن 3,407غرام من كلوريد الزنك (  $ZnCl_2$  ) الذي يمثل المصدر الأساسي لأيونات الزنك في التفاعل .ثم نضيف  $ZnCl_2$  إلى المستخلص ونضع الخليط على محرك مغناطيسي تحت عملية الرج لمدة ساعتين عند درجة حرارة 75درجة مئوية ، بعد إنتهاء فترة الرج الأولية، تمت إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز 0,02مول/ لتر ثم إضافته تدريجيا إلى الخليط على شكل قطرات لظبط درجة الحموضة إلى أن يصل  $PH=12$ .في هذه الظروف القاعدية القوية ،تبدأ عملية ترسيب أكسيد الزنك عبر التفاعل التالي:



## الفصل الثالث: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي النتائج والمناقشة والتحليل

يتحول هيدروكسيد الزنك تدريجياً إلى أكسيد الزنك (ZnO) نتيجة درجة الحرارة ومدة التحريك، تم جمع الراسب المتكون باستخدام جهاز الطرد المركزي بسرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 5 دقائق، ساعدت هذه العملية على ترسيب الجسيمات النانوية الدقيقة في القاع وفصلها عن المحلول الأم، تم غسل الراسب الناتج عدة مرات باستخدام الماء المقطر و الإيثانول لإزالة الأيونات الزائدة وبقايا المركبات العضوية غير المتفاعلة، لضمان نقاوة الجسيمات النانوية، نقل الراسب المغسول إلى الفرن ثم ضبط عند درجة حرارة 80 درجة مئوية طوال الليل لضمان تبخر كل الماء المبتقي دون التأثير على البنية الجزيئية للجسيمات، ثم نعرضه لتليد حراري عند 500 درجة مئوية لمدة 3 ساعات للحصول على أكسيد الزنك.



الشكل (2.III): تمثل بودة جسيمات ZnO NPs النانوية

### 4\_ تعديل جسيمات أكسيد الزنك بواسطة PEG:

• تم وزن كمية دقيقة تبلغ 0,475 غرام من مسحوق (ZnO)، ثم نأخذ كمية 174,16 مل من الماء المقطر ونضعها في بيشرسعتة 250 مل. خضع هذا الخليط إلى التحريك مغناطيسي مستمر على سخان مغناطيسي (Magnetic stirrer) لمدة 20 دقيقة، بعد إنتهاء التحريك وضع المعلق في جهاز فوق الموجات الصوتية (Ultrasonic bath) لمدة ساعة واحدة تحت درجة حرارة مقدارها 45 درجة مئوية. وبالتوازي تم وزن 0,475 غرام من PEG وهو بوليمر محب للماء يستخدم كمادة مغلفة أو مثبتة للجسيمات النانوية. وأضيف حجم 174,16 مل من الماء المقطر ونضعها في بيشر ونضيف له كمية

## الفصل الثالث: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي النتائج والمناقشة والتحليل

PEG الموزونة خضع هذا الخليط أيضا لتحريك المغناطيسي لمدة 20 دقيقة عند درجة حرارة الغرفة، بهدف ضمان ذوبان كامل للبوليمر وتحضير وسط متجانس يمكن دمج لاحقاً مع معلق (ZnO).

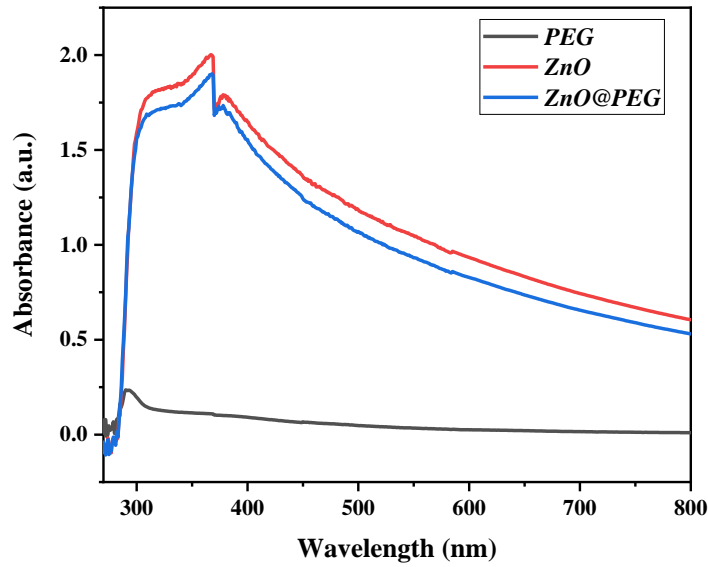
بعد الإنتهاء من تحضير كل من المعلقات بشكل منفصل، تم دمج محلول ZnO مع محلول PEG في بيشر واحد، ثم وضع الخليط الناتج على سخان مغناطيسي لمدة ساعة واحدة، مع تحريك مستمر عند درجة حرارة الغرفة. يهدف هذا المزج إلى تسهيل تفاعل الفيزيائي والكيميائي بين ZnO/PEG.

### 5\_ المناقشة والنتائج:

أستخدمت ثلاثة طرق لتوصيف ZnO/ PEG وهي: UV\_Vis, FTIR, XRD:

#### 5\_1- تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet visible):

يوضح الشكل ( 3.III ) إجراء التحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية المرئية للعينات الثلاث: ZnO، PEG، و ZnO/PEG تحليل الخاصية البصرية لجسيمات ZnO النانوية والنتيجة عن تعديلها بجزيئات PEG باستخدام مطياف UV\_Vis في نطاق (200-900 نانومتر)، وذلك باستخدام خلية كوارتز مع الماء المقطر كمذيب مرجعي. أثناء عملية التوليف، لوحظ تغير لون المحلول إلى الأبيض اللبني، مما يشير إلى تكوين الجسيمات النانوية يوضح طيف الإمتصاص لكل ZnO و ZnO/PEG ذروة إمتصاص واضحة عند الطول الموجي 378 نانومتر، وهي ذروة مميزة لإنتقالات الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل في ZnO، كما ورد في الدراسات السابقة. وعلى الرغم من ثبات موقع الذروة، إلى أن عينة ZnO/PEG أظهر كثافة إمتصاص أعلى من ZnO، مما يشير إلى تأثير جزيئات PEG في تحسين إستقرار وتوزيع الجسيمات في الوسط المائي، وبالتالي تحسين الخصائص البصرية للمادة.

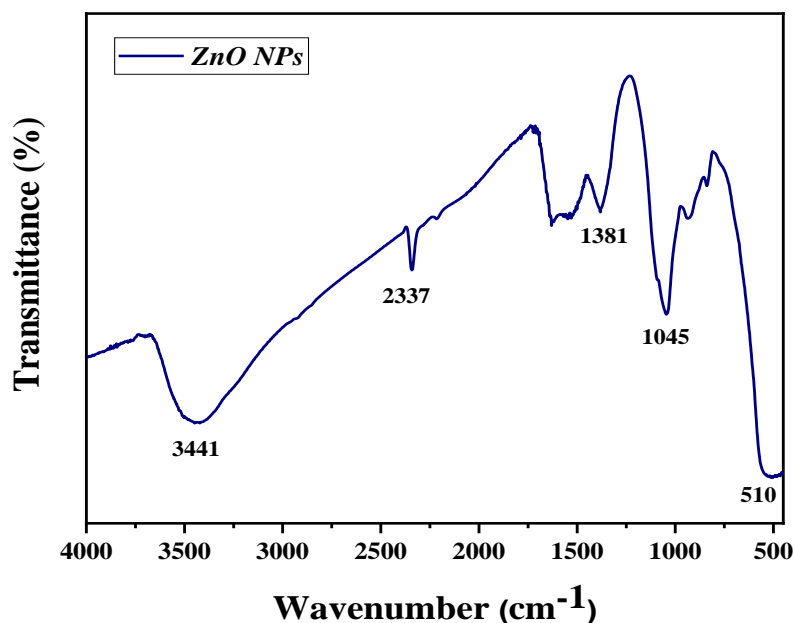


الشكل (3.III) يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية UV-Vis لجسيمات ZnO NPs

و ZnO/PEG

2\_5-تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء (Fourier transform infrared):

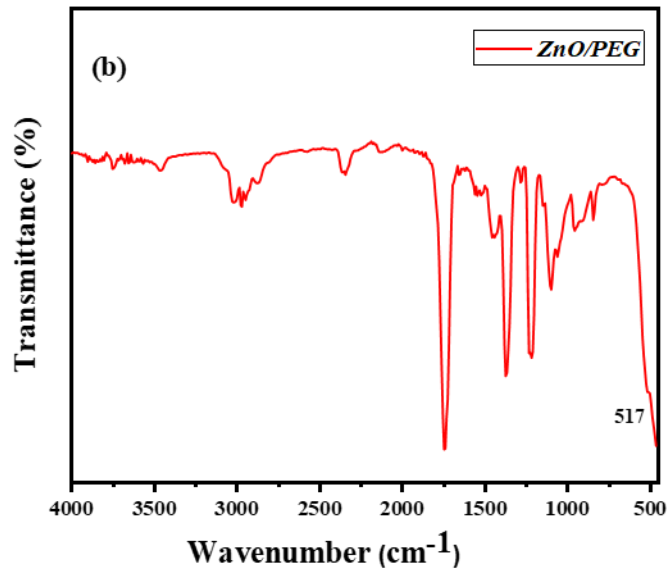
يوضح المنحنى في الشكل (4.III) تحليل FTIR لتقييم نقاوة وتركيب جسيمات ZnO النانوية. أظهر الطيف وجود ذروة واضحة عند حوالي 440 سم<sup>-1</sup>، والتي تعزى إلى إهتزازات جسيمات ZnO، مما يؤكد نجاح تكوينها. كما تم رصد ذروة عند 1612 سم<sup>-1</sup> تدل على وجود مجموعة الكربونيل (C=O)، مما يشير إلى احتمال إرتباط بعض المركبات العضوية بجسيمات ZnO. بالإضافة إلى ذلك، لوحظت قمة عريضة في منطقة (3700\_3200 سم<sup>-1</sup>)، تعزى إلى إهتزازات إمتداد مجموعة الهيدروكسيل (OH<sup>-</sup>)، والتي قد تكون ناتجة عن وجود مجموعات سطحية بسبب تفاعل الجسيمات مع الرطوبة أو بقايا المواد النباتية المستخدمة في عملية التخليق. كما سجل الطيف ذروة عند حوالي 1100 سم<sup>-1</sup> تنسب إلى رابطة (C-N)، مما يدعم إلى وجود مركبات عضوية مرتبطة بالجسيمات. تعكس هذه النتائج تكوين جسيمات ZnO النانوية بنقاء جيد، مع وجود بعض المجموعات الوظيفية السطحية التي قد تؤثر على خواصها الكيميائية والفيزيائية [55]، [56].



الشكل (III.4): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء FTIR

#### لجسيمات ZnO NPs

أظهر طيف FTIR لعينة ZnO/PEG كما هو موضح في الشكل (III. 5)، عدة نطاقات إمتصاص مميزة تعكس التركيب الكيميائي للمادة المركبة. حيث لوحظ نطاق عريض بين (3200 - 3500 سم<sup>-1</sup>) يعزى إلى إهتزازات O-H التمددية، مما يدل على وجود مجموعات هيدروكسيلية، سواء من الماء الممتص أو من البوليمر PEG. كما ظهرت نطاقات ضعيفة إلى متوسطة عند (2850\_2950 سم<sup>-1</sup>) تعود إلى إهتزازات C-H التمددية، وهي مميزة لسلاسل -CH<sub>2</sub>- الموجودة في PEG [57]. في المنطقة بين (1000\_1100 سم<sup>-1</sup>) سجل نطاق إمتصاص قوي يعزى إلى إهتزازات C-O التمددية في السلسلة الإيثيرية، مما يؤكد وجود PEG على سطح الجسيمات. وأخيرا، سجلت نطاق إمتصاص في المنطقة بين (400\_500 سم<sup>-1</sup>) ينسب إلى إهتزازات Zn-O، وهو دليل على وجود جسيمات ZnO النانوية. تشير النتائج إلى نجاح عملية التعديل السطحي لجسيمات ZnO بواسطة PEG [58]، [59].



الشكل (5. III): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة تحت الحمراء FTIR

### لجسيمات ZnO/PEG

- تحليل حيود الأشعة السينية XRD:

يوضح الشكلين (6.III) و(7.III) وأنماط XRD لـ ZnO NPs و ZnO/PEG، أولاً في طيف ZnO NPs إن كانت قيم عند  $2\theta$  تساوي  $31.8^\circ$ ،  $34.5^\circ$ ،  $36.2^\circ$ ،  $47.6^\circ$ ،  $56.6^\circ$ ،  $62.9^\circ$ ،  $66.4^\circ$ ،  $67.9^\circ$ ،  $69.1^\circ$ ،  $72.5^\circ$ ،  $76.9^\circ$

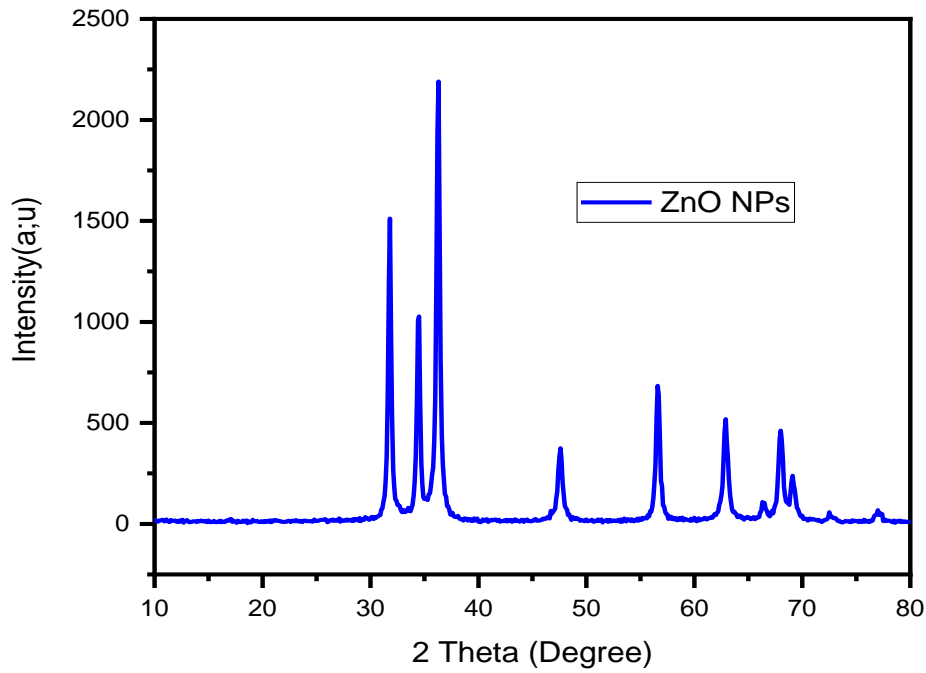
تتوافق مع (100)، (002)، (101)، (102)، (110)، (103)، (200)، (112)، (201)،

(004) و(202) على التوالي، هذا يتوافق مع بطاقة JCPDS01-089-0510

مما يدل على أن الجسيمات النانوية لأوكسيد الزنك تمتلك بنية سداسية نقية ومنتبلورة جيداً [60].

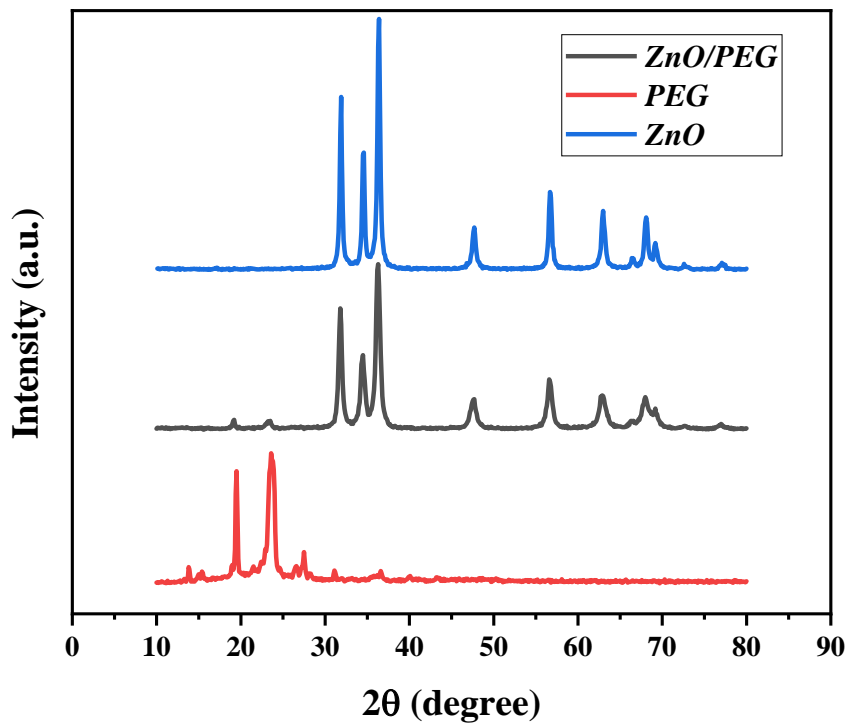
كما تم حساب الحجم البلوري لـ ZnO/PEG فكان إختلاف في قمم عند  $2\theta$  تساوي  $19.17^\circ$ ،  $23.32^\circ$ ، وهي قمم تعزى غالباً إلى وجود PEG، مما يدل على تغليف الجسيمات النانوية بطبقة البوليمر. كما أدى هذا التعديل إلى إنخفاض طفيف في شدة بعض القمم الخاصة بـ ZnO، مما قد

يشير إلى إنخفاض في درجة التبلور نتيجة التداخل مع البوليمر أولى تقليل في الحجم البلوري.



الشكل (6.III): يوضح منحنى تحليل حيود الأشعة السينية XRD لـ

ZnO NPs



الشكل (7.III): منحنى تحليل حيود الأشعة السينية XRD لـ ZnO NPs و ZnO/PEG و PEG

## 6\_ نشاط التحفيز الضوئي :

تمثل هذه التجربة دراسة كفاءة مركب ZnO/PEG و ZnO كمحفز ضوئي في تحليل صبغة

(RB) Rose bengal تحت تأثير أشعة الشمس. وقد تم إتباع الخطوات التالية :

تم وزن 2,3 ملغ من صبغة (RB)، لتحضير محلول ملون (RB) بتركيز  $2.5 \times 10^{-5}$  مول/لتر،

قمنا بأخذ 200 مل من الماء المقطر وخطها مع الكمية الموزونة من الصبغة. بعد التحضير، تم قياس

الإمتصاصية الإبتدائية للمحلول باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية. تم وزن 6 عينات من مسحوق

(ZnO/PEG) و ZnO بكمية 5 ملغ لكل عينة. في كل بيشر نضع 10 مل من محلول الصبغة، ثم

نضيف إليه إحدى عينات المسحوق ZnO/PEG و ZnO، ليتم المزج جيدا.

كل بيشر يحتوي على مزيج ZnO/PEG و RB و ZnO تم تعريضه لأشعة الشمس لمدة زمنية

مختلفة، وفقا للجدول الآتي :

الزمن	البيشر ZnO/PEG	البيشر ZnO
5 دقائق	البيشر 1	البيشر 1
15 دقيقة	البيشر 2	البيشر 2
30 دقيقة	البيشر 3	البيشر 3
60 دقيقة	البيشر 4	البيشر 4
90 دقيقة	البيشر 5	البيشر 5
120 دقيقة	البيشر 6	البيشر 6

الجدول رقم (2. III): يوضح ترقيم بيشر ZnO NPs - ZnO/PEG مع الزمن

## الفصل الثالث: تقنيات التوصيف نشاط التحفيز الضوئي النتائج والمناقشة والتحليل

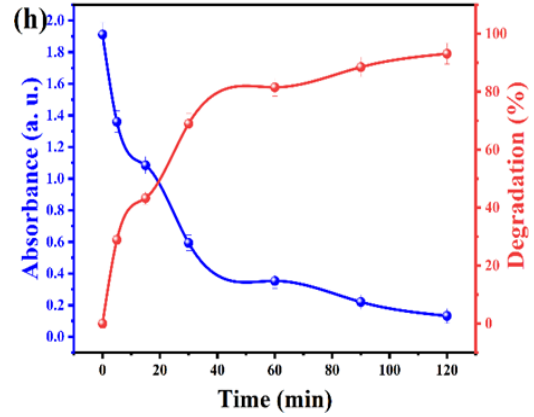
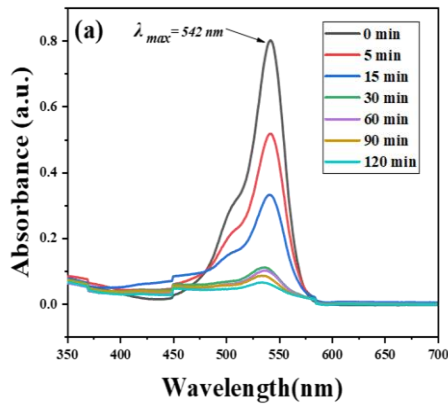
خلال هذه المدة، تمت ملاحظة تغير لون المحلول تدريجيا نحو الإخفاء، مما يشير إلى تفكك الصبغة نتيجة التفاعل الضوئي للمحفز. بعد إنتهاء مدة التعريض، تم أخذ جزء من كل محلول ووضعها في جهاز الطرد المركزي لمدة 10 دقائق، وذلك لفصل ZnO/PEG و ZnO عن المحلول.

ثم تم قياس الإمتصاصية النهائية لكل عينة بإستخدام مطياف UV\_Vis لتقييم مدى تحلل الصبغة.

### 7\_ مناقشة نتائج التحفيز الضوئي :

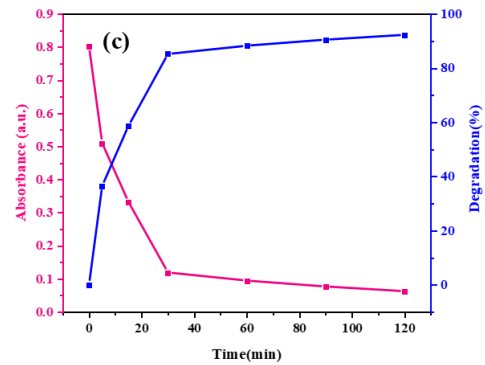
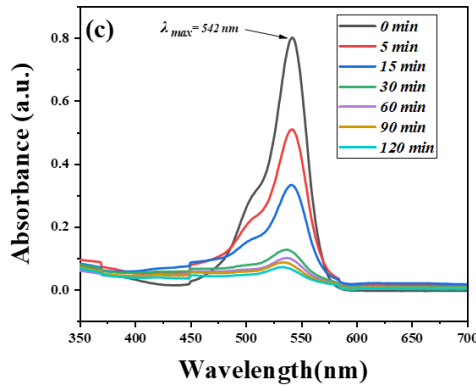
تمت دراسة كفاءة الإمتزاز والتحفيز الضوئي لكل من المركب النانوي ZnO/PEG وجسيمات ZnO النانوية في تحليل صبغة (RB) تحت إشعاع ضوء الشمس والتي موضحة في شكلين (8\_3) و(9\_3). أظهرت أطيف الإمتصاص بالأشعة فوق البنفسجية المرئية إنخفاضا تدريجيا في شدة الإمتصاص عند القمة المميزة للصبغة دون حدوث أي إنزياح في الطول الموجي الأعظمي، مما يدل على تفكك الفعال لجزيئات الصبغة. تم تتبع عملية التحلل الضوئي خلال فترات زمنية مختلفة، أظهرت النتائج أن مركب ZnO/PEG أدى إلى تحلل فعال لصبغة RB خلال 120 دقيقة، حيث بلغت نسبة التحلل 92.93 بالمئة بينما كانت نسبة التحلل ل ZnO فقط حوالي 88.69 بالمئة.

تظهر هذه النتائج أن مركب ZnO/PEG يتمتع بكفاءة أعلى نسبيا مقارنة ب ZnO النانوي في تحلل الصبغة، ويعزى هذا التحسن إلى تحسين الخصائص السطحية وزيادة عدد المواقع النشطة الناتجة عن تفاعل ZnO مع البوليمر PEG، مما ساهم في زيادة إمتصاص الضوء وتعزيز عملية التحفيز الضوئي.



الشكل (8.III): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية لنشاط تحفيز الضوء لمركب

ZnO NPs



الشكل (9.III): يوضح منحنى تحليل مطياف الأشعة فوق البنفسجية لنشاط تحفيز الضوء لمركب

ZnO/PEG

### خلاصة الفصل:

يهدف هذا الفصل إلى تحضير وتوصيف جسيمات أكسيد الزنك النانوية (ZnO NPS) وتعديلها باستخدام بولي إيثيلين جلايكول (PEG) التحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية. تم تحضير جسيمات ZnO بطريقة خضراء باستخدام مستخلص قشور الليمون كعامل مختزل ومثبت . أظهرت نتائج التوصيف باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية المرئية (UV-Vis) ، ومطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورير (FTIR) وحيود الأشعة السينية (XRD) نجاح تكوين جسيمات ZnO النقية وبلورتها، ونجاح تعديلها السطحي بواسطة PEG. كما بينت دراسة نشاط التحفيز الضوئي أن مركب ZnO/PEG يتمتع بكفاءة أعلى في تحلل صبغة Rose Bengal تحت أشعة الشمس مقارنة بـ ZnO الثانوي ويعزى هذا التحسن إلى تحسين الخصائص السطحية وزيادة المواقع النشطة الناتجة عن تفاعل ZnO مع بوليمر PEG.

الخاتمة العامة

### خاتمة

في ختام هذا العمل البحثي، تم بنجاح تحضير وتوصيف جسيمات أكسيد الزنك النانوية ( ZnO ) (NPS) النقية وتلك المعدلة ببولي إيثيلين جلايكول (PEG) باستخدام طرق مناسبة، لقد أظهرت النتائج المتحصل عليها خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة لهذه الجسيمات، والتي تم تأكيدها بواسطة مجموعة من تقنيات التوصيف المتقدمة مثل مطياف الأشعة تحت الحمراء ، حيود الأشعة السينية (XRD)، ومطيافية الأشعة فوق البنفسجية - المرئية (UV-Vis).

لقد برهنت الدراسة على فعالية التعديل باستخدام PEG في تحسين خصائص جسيمات ZnO النانوية، حيث ساهم PEG في تقليل التكتل وزيادة استقرار الجسيمات في الوسط المائي، مما انعكس إيجاباً على توزيعها وحجمها، وقد أسفر ذلك عن تعزيز واضح في الخصائص البصرية للجسيمات المعدلة، وهو ما يؤكد الدور المحوري لـ PEG كمادة تغليف ومثبتة. الأهم من ذلك، تم تقييم النشاط التحفيزي الضوئي لجسيمات ZnO/PEG و ZnO النقية في تكسير صبغة (RB) Rose Bengal، وقد أظهرت النتائج تفوقاً ملحوظاً في الأداء التحفيزي الضوئي لجسيمات ZnO المعدلة بـ PEG مقارنة بالجسيمات النقية مما يشير إلى أن التعديل قد أدى إلى تحسين كفاءة هذه الجسيمات في تطبيقات إزالة الملوثات العضوية. تقدم هذه الدراسة مساهمة قيمة في مجال تكنولوجيا النانو وتطبيقاتها البيئية، وتفتح آفاقاً جديدة لاستغلال جسيمات أكسيد الزنك النانوية المعدلة في معالجة المياه والعديد من التطبيقات التحفيزية الضوئية الأخرى، يُوصى بمواصلة البحث في هذا المجال لاستكشاف تأثيرات تراكيز مختلفة من PEG أو استخدام مواد تعديل أخرى، بالإضافة إلى دراسة سلوك هذه الجسيمات في ظل ظروف بيئية متنوعة.

# قائمة المصادر والمراجع

قائمة المراجع

مراجع باللغة العربية

- [15] كتاب علم النانو وتقنية النانو تحضيره وتطبيقاته من قبل احمد عامر حسين الشمري ماجستير -  
كيمياء -كلية التربية للعلوم الضرفة جامعة ديالى 2020
- [16] علي يوسف ،النانو التكنولوجي وتطبيقاته في المستقبل ،بسوريا 2014م 2015م
- [24] عبد الله احمد عبد الله ، تطبيقات تقنية النانو : تأثير تطبيقات تقنية النانو على المواد المستخدمة  
في الواجهات الخارجية للمباني، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر 2017.
- [25].د. محمد شريف الاسكندراني، تكنولوجيا النانو من اجل غد افضل، سلسلة عالم المعرفة، الكويت،  
2010 افريل-978-ISBN-99904-0-304-4
- [27].مجد الدين العلي، تقنية النانو: عالم الأشياء الصغيرة جدا ذات الخواص الفريدة، مجلة البعث، حجم  
36، العدد، 11، 2.
- [44]سهيل حاج عمارة عبد الحق هارون، محمد العيد شليق، قدرة النباتات على تصفية المياه المستعملة.  
مكره تقني سامي، تخصص: تسيير واقتصاد الماء، المعهد الوطني المتخصص الشهيد لعمامرة البشير -  
الوادي - الدفعة أكتوبر 2016.
- [49] فرح حسين الرماحي، استخدام تقنية الامتزاز لازالة الملوثات المائية. بحث مقدم لنيل درجة  
البكالوريوس علوم الكيمياء العراق، جامعة القادسية، 2018.
- [50]كمرشو عباس. استعمال كربون نشط محفز من مشتقات نخيل التمر (نواة تمر دقلة نور) في معالجة  
المياه المستعملة الحضرية دراسة مقارنة. أطروحة دكتوراه. كيمياء تحليلية ومراقبة المحيط، ورقلة: جامعة  
قاصدي مرياح، 2017.

- [1] Advancements in ZnO-Based Photocatalysts for Water Treatment.
- [2] A review on modified ZnO to address environmental challenges through photocatalysis.
- [3] M. Salari, "Applications of nanotechnology in construction: A Short Review," *Advances in Applied NanoBio-Technologies*, vol. 3, pp. 82-86, 2022.
- [4] C. Sequeira, "Silver Nanoparticles for Hydrogen Peroxide Sensors," *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, vol. 40, pp. 32438-32443, 2021.
- [5] A. A. Alhamad, S. Zeghoud, I. B. Amor, A. Zaater, A. B. Amor, A. Aouadif, et al., "AA short review of nanomaterials: synthesis methods, properties, and applications," *Algerian Journal of Chemical Engineering AJCE*, vol. 1, pp. 01-07, 2023.
- [6] V. Harish, D. Tewari, M. Gaur, A. B. Yadav, S. Swaroop, M. Bechelany, et al., "Review on nanoparticles and nanostructured materials: Bioimaging, biosensing, drug delivery, tissue engineering, antimicrobial, and agro-food applications," *Nanomaterials*, vol. 12, p. 457, 2022.
- [7] Z. Zlámálová Cílová, V. Čiřáková, R. Kozáková, and L. Lapčák, "Chemistry and Production Technology of Hallstatt Period Glass Beads from Bohemia," *Materials*, vol. 15, p. 5740, 2022.
- [8] L. Pokrajac, A. Abbas, W. Chrzanowski, G. M. Dias, B. J. Eggleton, S. Maguire, et al., "Nanotechnology for a sustainable future: Addressing global challenges with the international network4sustainable nanotechnology," ed: ACS Publications, 2021.
- [9] M. Nasrollahzadeh, S. M. Sajadi, M. Sajjadi, and Z. Issaabadi, "An introduction to nanotechnology," in *Interface science and technology*. vol. 28, ed: Elsevier, 2019, pp. 1-27
- [10] J. Olchowik, R. M. Bzdyk, M. Studnicki, M. Bederska-Błaszczyk, A. Urban, and M. Aleksandrowicz-Trzcńska, "The effect of silver and copper nanoparticles on the condition of english oak (*Quercus robur* L.) seedlings in a container nursery experiment," *Forests*, vol. 8, p. 310, 2017
- [11] E. A. Loshchinina, E. P. Vetchinkina, M. A. Kupryashina, V. F. Kursky, and V. E. Nikitina, "Nanoparticles synthesis by *Agaricus* soil basidiomycetes," *Journal of bioscience and bioengineering*, vol. 126, pp. 44-52, 2018

- [12] Z. Alhalili, "Metal Oxides Nanoparticles: General Structural Description, Chemical, Physical, and Biological Synthesis Methods, Role in Pesticides and Heavy Metal Removal through Wastewater Treatment," *Molecules*, vol. 28, p. 3086, 2023
- [13] X. Liu, D. Wang, and Y. Li, "Synthesis and catalytic properties of bimetallic nanomaterials with various architectures," *Nano Today*, vol. 7, pp. 448-466, 2012
- [14] 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
- [17] 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. 833, 2019.
- [18] B. García-Merino, E. Bringas, and I. Ortiz, "Synthesis and applications of surfacemodified magnetic nanoparticles: Progress and future prospects," *Reviews in Chemical Engineering*, vol. 38, pp. 821-842, 2022
- [19] N. Joudeh and D. Linke, "Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists," *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 20, p. 262, 2022
- [20] : D. Sannino, "Types and classification of nanomaterials," *Nanotechnology: Trends and Future Applications*, pp. 15-38, 2021
- [21] K. C. B. Ferreira, A. B. C. d. S. Valle, C. Q. Paes, G. D. Tavares, and F. Pittella, "Nanostructured lipid carriers for the formulation of topical anti-inflammatory nanomedicines based on natural substances," *Pharmaceutics*, vol. 13, p. 1454, 2021.
- [22] B.-T. Zhang, X. Zheng, H.-F. Li, and J.-M. Lin, "Application of carbon-based nanomaterials in sample preparation: A review," *Analytica chimica acta*, vol. 784, pp. 1-17, 2013
- [23]: Möller, D. (Ed.). (2008). *Nanoelectronics: A Lecture Note in Advanced Physics*. Springer Science & Business Media
- [26] M. C. Roco, "The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years," *J. Nanopart. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 427-445, 2011.

[28]P. Innocenzi, "Understanding sol–gel transition through a picture. A short tutorial," *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, vol. 94, pp. 544-550, 2020.

[29]Y. X. Gan, A. H. Jayatissa, Z. Yu, X. Chen, and M. Li, "Hydrothermal synthesis of nanomaterials," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2020, pp. 1-3, 2020.

[30] K. Gudikandula and S. Charya Maringanti, "Synthesis of silver nanoparticles by chemical and biological methods and their antimicrobial properties," *Journal of experimental nanoscience*, vol. 11, pp. 714-721, 2016

[31]I. Hussain, N. Singh, A. Singh, H. Singh, and S. Singh, "Green synthesis of nanoparticles and its potential application," *Biotechnology letters*, vol. 38, pp. 545-560,2016.

[32] M. T. Yassin, A. A. Al-Askar, K. Maniah, and F. O. Al-Otibi, "Green Synthesis of Zinc Oxide Nanocrystals Utilizing Origanum Majorana Leaf Extract and Their Synergistic Patterns with Colistin against Multidrug-Resistant Bacterial Strains," *Crystals*, vol. 12 ,p. 1513, 2022

[33]<https://www.jstor.org/stable/24108579>

[34] S. M. S. Hassan, A. A. A. Al-Hammami, "Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, Part 4, pp. 4880-4890, 2021

[35] Khan, A., & Ahmad, S. (2020). A review on the properties of zinc oxide nanoparticles in various industries and biomedical fields. *International Journal of Chemical and Chemical Engineering*,

[36] Kolay, P., & Kundu, B. (2019). Optical and structural properties of zinc oxide nanoparticles. *International Journal of Advanced Research in Physical Science*, 2(1), 15-18

[37] Aljabri, M. S., Almeahadi, L. S., Althobaiti, A. A., Aljabri, M. S., & Alshammari, A. S. (2024). Photocatalytic and antimicrobial properties of ZnO and Mg-doped ZnO nanoparticles synthesized using *Lupinus albus* leaf extract. *ACS Omega*, 9(2), 2200-2212.

[38] <https://www.mdpi.com/2073-4352/12/8/1076>

[39] Photocatalytic Activity of Metal- and Non-Metal-Anchored ZnO and TiO<sub>2</sub> Nanocatalysts for Advanced Photocatalysis: Comparative Study"

[40]M.F vitha. *Spectroscopy: principles and instrumentation*: johnwiley & sons, 2018.

[41] dutta, *fouriertransforminfraredspectroscopy, spectroscopicmethods for nanomaterials characterization*, pp.73-93.2017

[42] A.A.Bussaciu, E.G.Udiristioiu, and H.y.aboul-eniem, "X-ray diffraction: instrumentation and applications ," *criticalreviews in analyticalchemistry*, vol. 45, pp.289-299, 2015.

- [43] A.Mojammed A. Abdullah, scanning electron microscopy (SEM): A review, in proceeding of the 2018 international conference on hydraulics and pneumatics-HERVEX, baile goora. Romania, 2018, pp.7-9.
- [45] G.Grini and E.lichtfouse. a treatment: an overview green absorbents for pollutant removal: fundamental and design, pp. 1-21, 2018.
- [46] M.C Van loosrecht, p.h.nielse, c.m.lopez-vazquez, and D.brdjanovic, experimental methods in wastewater treatment: IWA publishing, 2016.
- [47] Balbayeva, A.yerkinova. v.j.inglez-akis, and S.G. Pouloupoulos? Photochemical degradation of organic pollutants in wastewaters in IOP Conference series: materials science and engineering, 2018, p.012099.
- [48] G.E.Cea-barca, identification des mécanismes qui gèrent la disponibilité en vue de l'optimisation de la dégradation des micropolluants épuratoires Montpellier 2, 2012.
- [51] "Enhanced photocatalytic activity in ZnO nanoparticles developed using novel *Lepidagathis ananthapuramensis* leaf extract" 'RSC Advances 2023', <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/ra/d2ra06967a> "The
- [52] Importance of Poly(ethylene glycol) Alternatives for Overcoming PEG Immunogenicity in Drug Delivery and Bioconjugation"
- [53] Ultrasonic innovation in the food industry. from the laboratory to the industrial production Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9 (2008), pp. 147-156
- [54] Application of graphene oxide in the adsorption and extraction of bioactive compounds from lemon peel Valeh Sharif Nasirian, Seyed-Ahmad Shahidi, Hasan Tahermansour <https://doi.org/10.1002/fsn3.2363> Suresh J, Pradheesh G, Alexramani V, Sundrarajan M, Hong SI (2018)
- [55] Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticle using insulin plant (*Costus pictus* D Don) and investigation of its antimicrobial as well as anticancer activities. Adv Nat Sci: Nanosci Nanotechnol 9(1):015008. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aaa6f1>
- [56] Zheng Y, Chen C, Zhan Y, Lin X, Zheng Q, Wei K et al (2007) Luminescence and photocatalytic activity of zno nanocrystals: correlation between structure and property. Inorg Chem 46(16):6675– 82. <https://doi.org/10.1021/ic062394m>
- [57] Santhoshkumar J, Kumar SV, Rajeshkumar S (2017) Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen. Res-Eficient Technol 3(4):459–465. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2017.05.001>

[58] Muhammad W, Ullah N, Haroon M, Abbasi BH (2019) Optical, morphological and biological analysis of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) using *Papaver somniferum* L. RSC Adv 9(51):29541–29548. <https://doi.org/10.1039/C9RA04424H>

[59] Lateef A, Akande MA, Ojo SA, Folarin BI, Gueguim-Kana EB, Beukes LSJB (2016) Paper wasp nest-mediated biosynthesis of silver nanoparticles for antimicrobial, catalytic, anticoagulant, and thrombolytic applications. 3 Biotech 6 (2):1–10

[60] Ghaderi A, Abbasi S, Farahbod F (2015) Synthesis of SnO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles and SnO<sub>2</sub>-ZnO hybrid for the photocatalytic oxidation of methyl orange. Iranian J Chem Eng 12(3):96–105

