الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العالي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة التخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان : العلوم والتكنولوجيا

شعبة: هندسة الطرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد الطالب : مسعود مهاوى

الموضوع

تحضير جسيمات نانوية من أكسيد المغنيسيوم (MgO) والنانو مركبات/MgO فيتامين ودراسة خصائصها المضادة للأكسدة بطريقة DPPH

نـــــوقـــشـت فـــي: 2025/05/

أمام لـــــجنـــة المـنـاقـشـة:

	أستاذ محاضر (أ)	رئيسا	جامعة الوادي
	أستاذ محاضر (أ)	مناقش	جامعة الوادي
د. جمال الدين براني	أستاذ محاضر (أ)	مشرفا	جامعة الوادي
د. نصرات حسين صدام	أستاذ متعاقد	مساعد المشرف	جامعة الوادي

الموسم الجامعي:2025/2024

بسم الله الرحمن الرحيم

الإهداء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا إلى روح والدي رحمه الله وأسكنه فسيح جناته، الذي كان سندًا لي وداعمًا لمسيرتي .

إلى أمي الغالية، مصدر الحنان والعطاء، التي لم تبخل عليّ بالدعاء والتشجيع.

إلى أختي وأبنائها، وإلى جميع أفراد عائلتي وأنسابي الكرام.

إلى أساتذتي الأفاضل الذين أناروا لي طريق العلم والمعرفة.

وإلى كل من ساندني ووقف إلى جانبي خلال مسيرتي الدراسية

مسعود مهاوة

الشكر والعرفان

الحمد لله تعالى الذي وفقني لإتمام هذا العمل، والصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى الدكتور "جمال الدين براني" على إشرافه وتوجيهاته العلمية القيمة، وعلى ما قدمه من نصائح وملاحظات ساهمت في إنجاز هذه المذكرة وإخراجها في أحسن صورة.

كما أتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذ "نصرات حسين صدام" على دعمه ومتابعته المستمرة، وعلى جهوده القيمة التي كان لها الأثر الكبير في إتمام هذا العمل.

وأتوجه بالشكر إلى جميع أساتذة القسم وأعضاء لجنة المناقشة على قبولهم مناقشة هذه المذكرة وإثرائها بملاحظاتهم العلمية.

كما لا أنسى أن أشكر كل من ساعدني وساندني من قريب أو بعيد خلال مسيرتي الدراسية، وأسأل الله أن يجزي الجميع خير الجزاء.

قـــــائمـة الـرمـــــوز

الرموز	المعنى
Mg-O	رابطة أكسيد المغنيسيوم المعدنية
O-H	مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية
C=O	مجموعة الكربونيل الوظيفية
SEM	المجهر الالكتروني الماسح
FTIR	مطيافية تحويل فورية للأشعة تحت الحمراء
XRD	حيود الاشعة السينية
EDX	مطيافية تشتت الطاقة للأشعة السينية لتحديد التركيب العنصري ونقاوة العينة
TEM	المجهر الإلكتروني النفاذ لتحديد الحجم الدقيق وشكل الجسيمات النانوية
UV-Vis	مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية لقياس الخصائص البصرية والامتصاص
MgO	أكسيد المغنيسيوم
ZnO	أكسيد الزنك
NPs	الجسيمات النانوية
MgO NPs	جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية
C60	جزيء الفوليرين النانوي
CNTs	الأنابيب النانوية الكربونية
Mg^{2+}	أيون المغنيسيوم الثنائي
O2-	أيون الأكسجين الثنائي
CO	غاز أول أكسيد الكربون
NO2	غاز ثاني أكسيد النيتروجين
SO2	غاز ثاني أكسيد الكبريت
DPPH	كاشف ثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل (جذر حر مستقر لقياس مضادات الأكسدة)
ROS	أنواع الأكسجين التفاعلية (الجذور الحرة المسببة للإجهاد التأكسدي للخلية)

قـــــائمـة الـرمـــوز

IC50	التركيز المثبط النصفي (التركيز اللازم لاختزال 50% من الجذر الحر)
Inhibition %	نسبة تثبيط الجذور الحرة
Vitamin / MgO	نانو مركبات أكسيد المغنيسيوم الهجينة المعدلة بالفيتامينات
CVD	الترسيب الكيميائي للبخار
PVD	الترسيب الفيزيائي للبخار
VLS	آلية نمو بخار – سائل – صلب لتصنيع الأسلاك النانوية
MBE	النمو البلوري بالحزمة الجزيئية
Top-Down	استراتيجية التصنيع النانوي من الأعلى إلى الأسفل (الطرق الفيزيائية والميكانيكية)
Bottom-Up	استراتيجية التصنيع النانوي من الأسفل إلى الأعلى (الطرق الكيميائية والحيوية)
Green Synthesis	التوليف الأخضر (التحضير الحيوي باستخدام المستخلصات النباتية)
0D	مواد نانوية ذات بعد صفري
1D	مواد نانوية ذات بعد واحد
2D	مواد نانوية ثنائية الأبعاد
3D	مواد نانوية ثلاثية الأبعاد

قائمة الاشكال

العنـــوان	الصفحة
الـــفصل الأول: مفاهيم عامة ودراسة نظرية	
الشكل (1):أحد جزيئات الفوليرين النانوية.	7
الشكل (2):يمثل الأبعاد المختلفة للمواد النانوية ضمن المجال (1–100) نانومتر.	9
الشكل (3): تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد الصفري.	9
الشكل (4): تمثيل لكبسولة نانوية (Nano–capsule).	10
الشكل (5): جزيئات الفوليرين C60 و C140 و C260 و C960	10
الشكل (6): تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد1	11
الشكل (7): الأشكال التآصلية للكربون.	12
الشكل (8): تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد2	13
الشكل (9): تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد3	13
الشكل (10): النهج التركيبي من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى في تكنولوجيا النانو.	17
الشكل(11): عوامل الاختزال الحيوي المختلفة لتخليق الجسيمات النانوية.	19
الشكل(12): البنية البلورية لأكسيد المغنيزيوم.	20
الشكل(13): أشكال بلورات أكسيد المغنيزيوم.	21
الشكل(14): تمثيل النانو–مركب.	24
الـــفصل الثـــاني: المـواد والـطـرق	
الشكل (15): يمثل الأجهزة وبرامج المستعملة.	33

قائمة الاشكال

الشكل (16): مركب متعدد الفيتامينات.	35
الفصل الثالث: النتائج المناقشة	
الشكل (17): نتائج تحليل حيود الأشعة السينية (XRD Results).	41
الشكل (18): نتائج تحاليل الطيفية بالأشعة تحت الحمراء (FTIR Results).	42
الشكل (19): نتائج تحاليل التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية-مرئية (UV-Vis Results).	43

قـــــــــائمـــة الـــــرمـــــــــوز

العنـــوان	الصفحة
الـفصل الأول: مفاهيم عـامة ودراسـتة نـظريـة	
الجدول (1): بعض مصطلحات في علم النانو.	7
الجدول(2) : الخصائص الفيزيائية والكيميائية.	21

الفـــهـــرس

العـنوان	الصفحة
الإهـــداء	
شكـــر وعرفـــان	
قـــائمـة الرمـوز	
قـــائمـة الأشكـــال	
قـــائمـة الجـداول	
الفهـــرس	
المـقدمة العـــامة	2
الفصل الأول: مفاهيم عامة ودراسة نظرية	
تمهيد	6
I. علم النانو	6
I.1. تعريف علم النانو	6
I. 2. تصنيف الجسيمات النانوية	8
I.1.2 تصنيف المواد النانوية حسب الأبعاد	8
I.3. خصائص الجسيمات النانوية	14
I.1.3. الخصائص الفيزيائية	14
I.2.3 الخصائص الميكانيكية	14
I.3.3 الخصائص الكهربائية	14
I.4.3 الخصائص البصرية	14
I.5.3 الخصائص المغناطيسية	15
I.6.3 الخصائص التحفيزية	15
I.4. الجسيمات النانوية	15

I.1.4. تقنيات تصنيع الجسيمات النانوية	15
I.1.1.4. عملية التصنيع من الأعلى إلى الأسفل	15
I.2.1.4. عملية التصنيع من الأسفل إلى الأعلى	16
I.2.4. العوامل المؤثرة في حجم وشكل الجسيمات النانوية	17
I.1.2.4. أنواع عوامل الاختزال الحيوي	18
I.2.2.4. المواد النانوية المركبة بوساطة النبات	19
I.5. أكسيد المغنيسيوم(MgO)	20
I.1.5. البنية البلورية	20
I.2.5. الخصائص الفيزيائية والكيميائية	21
I.3.5. التطبيقات المختلفة لجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية	22
I.1.3.5. التطبيقات الصناعية	22
I.2.3.5.التطبيقات الزراعية	23
I.3.3.5. التطبيقات البيئية	23
I.4.3.5.التطبيقات الطبية والسريرية	24
I.6. النانو – مركبات	24
I.1.6. تعريف النانو-مركبات	24
I.2.6. أنواع النانو-مركبات	25
I.3.6. أهمية النانو - مركبات الهجينة	25
I.7. النشاط المضاد لاكسدة بطريقة DPPH	26
I.1.7. تعريف مضادات الأكسدة وأهميتها الحيوية	26
I.2.7. الجذور الحرة (ROS) وتأثيرها الخلوي	26
I.3.7. آليات عمل الجسيمات النانوية كمضادات أكسدة	26
I.3.7. دور مركبات MgO النانوية في تثبيت الأكسدة وتعزيز الاستجابة الحيوية	27
خاتمة الفصل الأول	27
مراجع للفصل الأول	28
الفصل الثاني:الـــمواد والـــطـرق	
تمهيد	31
II.1. تعريفات حول تقنيات وطرق التحليل المستخدمة	31
II.2. الهدف من الدراسة	31
II.3. الأدوات والمواد المستعملة	31

الفـــهـــرس

II.3.1. المواد الأولية والكواشف	31
II.3.2. كواشف تقييم الفعالية الحيوية والقدرة المضادة للأكسدة	32
II.3.3. ظروف التخزين والتحضير الأولي	32
II.3.4. الأدوات المخبرية المستعملة	32
II.4. تحضير الجسيمات النانوية MgO (Synthesis of MgO Nanoparticles)	33
II.5. تحضير النانو مركبات MgO/فيتامين (Synthesis of MgO/Vitamin Nanocomposites)	34
II.6. توصيف العينات (Characterization of Samples)	35
II.7. اختبار النشاط المضاد للأكسدة (Antioxidant Activity Assay)	36
II.7.1. مبدأ اختبار DPPH واختزال الجذر الحر	36
II.7.2. تحضير محلول DPPH بتركيز محدد	36
II.7.3. تحضير العينات بتركيزات مختلفة	36
II.7.4. خطوات القياس باستخدام UV-Vis	37
II.7.5. حساب نسبة التثبيط (% Inhibition) أو قيمة IC50	37
II.8. التحليل الإحصائي	37
مراجع الفصل الثاني	38
الفصل الثالث: الـنتائـج والـمناقشة	
تمهيد	41
III.1. نتائج التوصيف البنيوي والسطحي (Structural and Surface Characterization)	41
III.1.1. حيود الأشعة السينية (XRD Results)	41
III.1.2. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR Results)	42
III.1.3. التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية-مرئية (UV-Vis Results)	43
III.2. نتائج النشاط المضاد للأكسدة (Antioxidant Activity Results)	44
III.2.1. اختبار DPPH (DPPH Assay Results)	44
III.2.2. مناقشة العلاقة بين البنية والنشاط (Structure–Activity Relationship)	45
III.2.3.المقارنة مع نتائج منشورة في الادبيات السابقة	45
III.3. مناقشة عامة(General Discussion)	47
مراجع الفصل الثالث	49
الخـــاتـمة العـــامـة	52

الملخص:

تتمحور هذه الدراسة حول تحضير وتوصيف الجسيمات النانوية لأكسيد المغنيسيوم (MgO) وتطوير نانو–مركبات هجينة معدلة سطحياً عن طريق تحميلها بالمركبات العضوية الحيوية (الفيتامينات المتعددة)، بهدف تحسين استقراراها البنائي والحد من تكتلها، ومن ثم تقييم كفاءتها الاستثنائية كمضادات للأكسدة. جرى توصيف العينات المحضرة باستخدام تقنيات تحليلية متقدمة، حيث أثبت حيود الأشعة السينية (XRD) التشكل البلوري وحجم الحبيبات النانوي، في حين أكدت مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)وجود المجموعات الوظيفية والروابط البينية الناشئة بين السطح المعدني والتركيب العضوي، بينما كشفت مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) عن الخصائص البصرية والفجوة الطاقية للمركبات. علاوة على ذلك، تم تقييم الفعالية الحيوية للأنظمة النانوية المطورة في اصطياد وتثبيط الجذور الحرة باستخدام كاشف الثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل (DPPH) أظهرت النتائج التجريبية وجود تأثير تآزري واعد بين أكسيد المغنيسيوم والمحتوى العضوي، مما أدى إلى زيادة ملحوظة في نسبة التثبيط وخفض قيمة التركيز المثبط النصفي (IC_{50}) مقارنة بالجسيمات غير المعدلة، وهو ما يقدم رؤية شاملة حول العلاقة الوثيقة بين البنية النانوية والنشاط الحيوي المضاد للأكسدة لتطبيقات الطب الحيوي والبيئة.

الكلمات المفتاحية :أكسيد المغنيسيوم النانوي، النانو–مركبات الهجينة، التعديل السطحي، التوصيف البنيوي (XRD, FTIR, UV-Vis)، مضادات الأكسدة، اختبار DPPH

Abstract:

This study focuses on the synthesis and characterization of magnesium oxide nanoparticles (MgO-NPs) and the development of surface-modified hybrid nanocomposites encapsulated with bioactive organic compounds (multi-vitamins). This surface modification strategy aims to enhance structural stability, prevent agglomeration, and evaluate their exceptional antioxidant efficiency. The synthesized samples were comprehensively characterized using advanced analytical techniques; X-ray diffraction (XRD) confirmed the crystalline phase and nanometric crystallite size, while Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) verified the presence of functional groups and the interfacial bonding established between the metal surface and the organic matrix. Additionally, Ultraviolet-Visible spectroscopy (UV-Vis) revealed the optical properties and energy bandgap of the hybrid composites. Furthermore, the biological activity of the developed nanosystems in scavenging free radicals was evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay. The experimental results demonstrated a promising synergistic effect between the MgO core and the organic functional groups, leading to a significant increase in the inhibition percentage and a notable reduction in the half-maximal inhibitory concentration (IC_{50}) value compared to unmodified nanoparticles. These findings provide a comprehensive insight into the close relationship between nanostructure and antioxidant bioactivity for potential biomedical and environmental applications.

Keywords: Magnesium Oxide Nanoparticles, Hybrid Nanocomposites, Surface Modification, Structural Characterization (XRD, FTIR, UV-Vis), Antioxidant Activity, DPPH Assay.

مفاهيم عامة

ودراسة نظرية

تمهيد

يُعد علم النانو من المجالات العلمية الحديثة التي شهدت تطورًا كبيرًا في السنوات الأخيرة، حيث يهتم بدراسة المواد عند المقياس النانومتري الذي يتراوح بين 1 و100 نانومتر. وتتميز المواد النانوية بخصائص فيزيائية وكيميائية فريدة تختلف عن خصائص المواد التقليدية، مما يسمح باستخدامها في العديد من المجالات مثل الطب والصناعة والبيئة.

وتُعد الجسيمات النانوية من أهم عناصر علم النانو نظرًا لمساحتها السطحية الكبيرة وخصائصها المميزة. ومن بين هذه المواد أكسيد المغنيسيوم النانوي (MgO) الذي يمتلك تطبيقات متعددة. كما أدى دمج الجسيمات النانوية مع مواد أخرى إلى ظهور النانو–مركبات (Nanocomposites) التي تتميز بخصائص محسنة.

كما أظهرت الجسيمات النانوية اهتمامًا كبيرًا في المجال البيولوجي بسبب نشاطها المضاد للميكروبات وقدرتها على التأثير في الكائنات الدقيقة بآليات مختلفة. لذلك يهدف هذا الفصل إلى تقديم مفاهيم عامة حول علم النانو، الجسيمات النانوية، النانو–مركبات، والنشاط المضاد للميكروبات.

يتناول هذا الفصل المفاهيم الأساسية لعلم النانو، وتصنيف الجسيمات النانوية وخصائصها، إضافة إلى طرق تحضيرها والعوامل المؤثرة في حجمها وشكلها. كما يتطرق إلى أكسيد المغنيسيوم النانوي وخصائصه وتطبيقاته المختلفة، مع التعريف بالنانو–مركبات وأنواعها وأهميتها. وفي الأخير، يتم استعراض مفهوم النشاط المضاد للأكسدة، وآلية اختزال الجذور الحرة باستخدام كاشف الثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل (DPPH)، وكيفية تقييم الكفاءة التثبيطية وحساب التركيز المثبط النصفي (IC_{50}) للمركبات النانوية المحضرة.

I.علم النانو

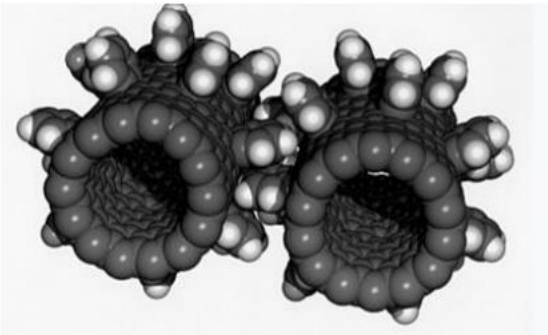
I .1. تعريف علم النانو

التعريف الأول:

يمكن تعريف علم النانو بأنه العلم الذي يهتم بدراسة المواد والظواهر التي تحدث على المقياس النانومتري، أي في نطاق يتراوح تقريباً بين 1و100 نانومتر .في هذا المقياس تظهر خصائص فيزيائية وكيميائية جديدة تختلف عن خصائص المواد في الحجم العادي، مما يسمح بالتحكم في بنية المواد واستغلالها لتطوير تطبيقات وأجهزة متقدمة تخدم الإنسان في مجالات متعددة مثل الطب، والإلكترونيات، والطاقة [1] .

التعريف الثاني:

ترجع كلمة نانو (Nano) إلى الكلمة الإغريقية Nanosالتي تعني القزم أو الشيء الصغير جداً. أما النانومتر فهو وحدة قياس للطول تساوي جزءاً واحداً من مليار جزء من المتر (10^{-9} متر) .ومع تطور العلم أصبح مصطلح النانو لا يشير فقط إلى وحدة قياس، بل يدل أيضاً على مجال علمي وتقني يهتم بدراسة وتصميم المواد والأجهزة على المستوى النانومتري[2].



الشكل1: أحد جزيئات الفوليرين النانوية [3]

المصطلح	التعريف
نانو	كلمة أصلها يوناني وتعني "القزم"، وهي تعبير لغوي يشير إلى الشيء متناهي الصغر.
النانومتر	هو المقياس الذي تظهر فيه الخصائص الفريدة للمواد، وأشار النص إلى أن الجسيمات التي تقع في النطاق الحجمي من 1إلى 50 نانومتر تمتلك خصائص كيميائية وفيزيائية متميزة (مثل التفاعلية، والقدرة التحفيزية، والمغناطيسية، والبصرية) تختلف عن المواد الضخمة.
مقياس النانو	هو المقياس الذي تختلف فيه خصائص المواد (الميكانيكية، البصرية، الكيميائية، والكهربائية) عن المواد الضخمة. ويرتبط البحث في هذا المقياس بدراسة الظواهر الطبيعية وتحسين أداء المحفزات الكيميائية
علم النانو	هو "دراسة خصائص وسلوك المواد المكثفة في المقياس النانوي، ودراسة الظواهر النانوية الطبيعية مثل المجال الرائع للأنظمة البيولوجية، والتحقيق في خصوصيات الأنظمة النانوية"
تقنية النانو	القدرة على بناء مواد ومنتجات ميكرو وماكرو (دقيقة وكبيرة) بدقة ذرية.

جدول 1: بعض مصطلحات في علم النانو[3]

I.2. تصنيف الجسيمات النانوية

I.2.1 تصنيف المواد النانوية حسب الأبعاد

يمكن تصنيف المواد النانوية اعتماداً على عدد الأبعاد النانومترية، حيث يعتبر مفهوم الأبعاد مهماً في فهم بنية هذه المواد وخصائصها. وبشكل عام يتم تقسيم المواد النانوية إلى أربع فئات رئيسية وهي: D0، D1، D2 وD3، كما هو موضح في الشكل2 [4] .

- **المواد النانوية ذات البعد الصفري:(0D)**

هي مواد تكون أبعادها أقل من 100نانومتر في جميع الاتجاهات، ويمكن أن توجد في شكل متفرق أو عشوائي أو منظم.

ومن أمثلتها :الجسيمات النانوية، المسامات النانوية، والموائع المغناطيسية.

- **المواد النانوية ذات البعد الواحد:(1D)**

هي مواد تكون أبعادها أقل من 100 نانومتر في اتجاهين فقط، بينما يكون البعد الثالث أكبر.

ومن أمثلتها :العصي النانوية، الأسلاك النانوية، والأنابيب النانوية.

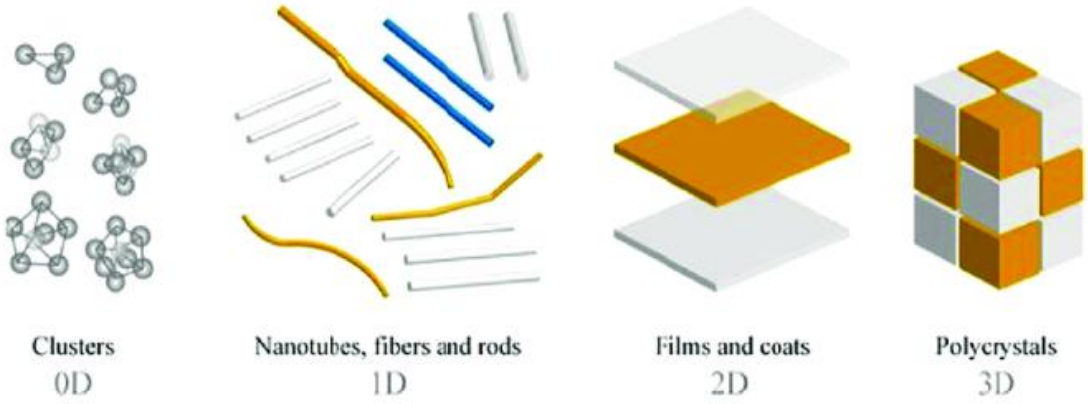
- **المواد النانوية ثنائية الأبعاد:(2D)**

هي مواد يكون سمكها فقط أقل من 100 نانومتر، بينما يكون الطول والعرض أكبر.

ومن أمثلتها :الأغشية الرقيقة والصفائح النانوية.

- **المواد النانوية ثلاثية الأبعاد:(3D)**

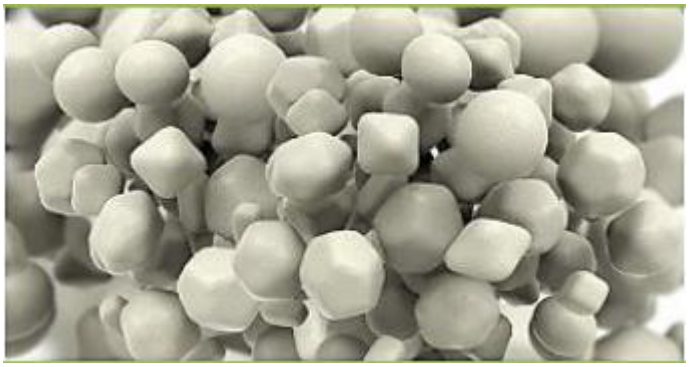
هي مواد تكون في شكل مدمج أو كتلي مثل السيراميك والمعادن النانوية البنية.



الشكل 2: يمثل الأبعاد المختلفة للمواد النانوية ضمن المجال (1–100)نانومتر[4] .

1. المواد النانوية ذات البعد الصفري (0D)

تعود أهمية الجسيمات النانوية إلى صغر حجمها، فكلما كان الجسيم أصغر زادت مساحة سطحه مقارنة بحجمه، مما يؤدي إلى زيادة التفاعلات بين الجسيم وبيئته المحيطة. وبناءً على ذلك ارتفعت نسبة استخدام الجسيمات النانوية في سوق الجسيمات إلى حوالي 95٪، خاصة تلك التي لا تتطلب بنية خاصة ويمكن استخدامها مباشرة. ومن الأمثلة على ذلك :الكبسولات النانوية وجزيئات الفوليرين[4] .



الشكل 3: تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد الصفري[5].

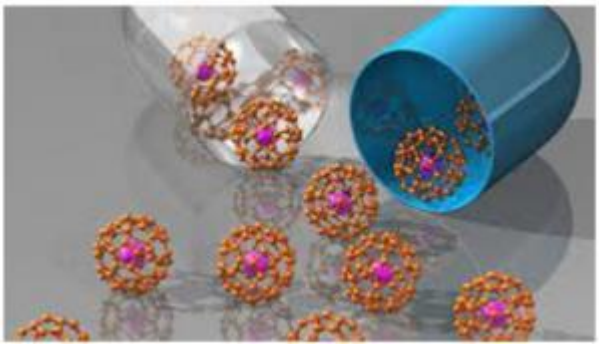
- **الكبسولات النانوية(Nano-capsules)**

هي جسيمات نانوية مجوفة يمكن إضافة مواد مختلفة بداخلها مثل العطور، الإنزيمات، المحفزات، الزيوت، المواد اللاصقة، البوليمرات، جسيمات نانوية أخرى أو حتى خلايا بيولوجية. وفي الحياة العملية، يعد هذا النوع من المواد النانوية مفيداً في عدة مجالات مثل الطب، حيث يُستخدم في نقل الأدوية نظراً لتمتعه بذوبانية عالية ومقاومة

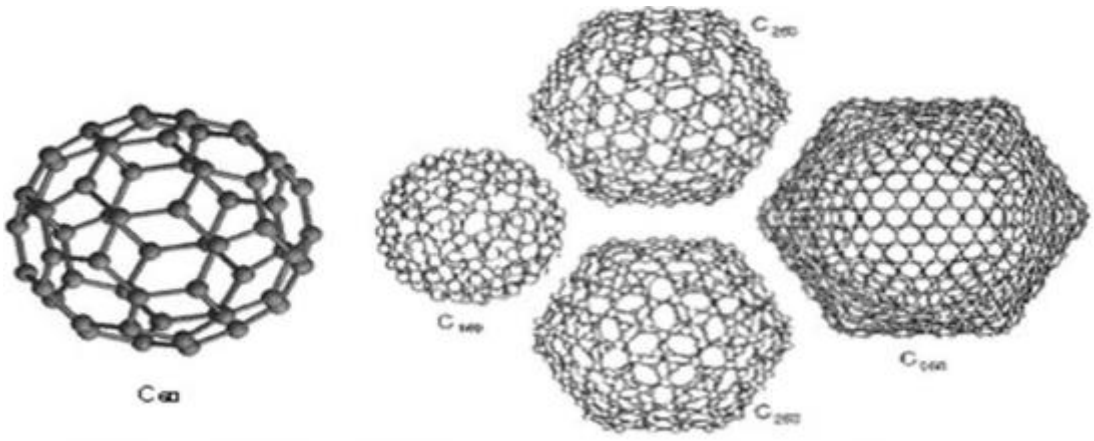
لإنزيمات المعدة وسهولة توجيه الدواء إلى الهدف المحدد .كما يُستخدم أيضاً في مجالات أخرى مثل إيصال الأدوية، والكيمياء الزراعية، ومستحضرات التجميل، ومعالجة المياه العادمة ومنتجات التنظيف[4] .

- **جزيء الفوليرين(Fullerene)**

هو نوع من الكربون النقي يتكون من 60ذرة كربون مرتبة في شكل 20مضلعاً سداسياً و12 مضلعاً خماسياً، مما يمنحه شكلاً شبه كروي. ويبلغ قطره حوالي نانومتر واحد. يتميز الفوليرين بخصائص مضادة للأكسدة، ويُستخدم في عدة تطبيقات مثل مواد التشحيم، والمحفزات، وتخزين الهيدروجين، وتعزيز خصائص البوليمرات، والأجهزة النانوية الإلكترونية للذاكرة، والاتصالات، وبطاريات الليثيوم طويلة العمر، بالإضافة إلى بعض التطبيقات الطبية[4] .



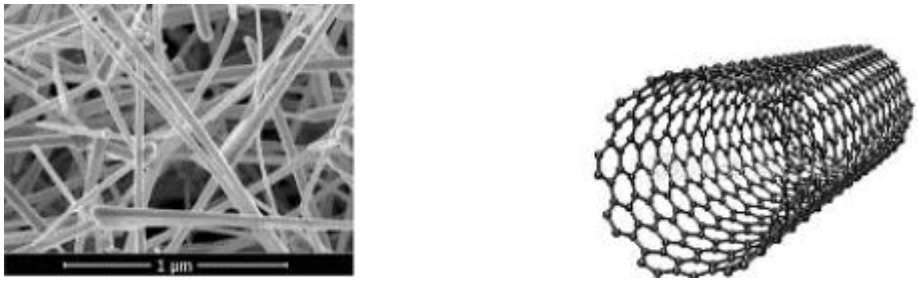
الشكل4: تمثيل لكبسولة نانوية[4] (Nano-capsule)



الشكل5: جزيئات الفوليرين C60 و C140 و C260 و C960. [4]

2. المواد النانوية ذات البعد الواحد(1D)

في مجال المواد النانوية ذات البعد الواحد يمكن تقديم الأمثلة التالية :الأسلاك النانوية، الأنابيب النانوية، والتترابودات .[4].



الشكل6: تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد1 [5]

- **الأسلاك النانوية:(Nano-fils)**

بشكل عام هي أجسام نانوية يتراوح مقطعها العرضي بين نانومتر واحد إلى عدة عشرات من النانومترات، بينما يتراوح طولها بين 500و10000 نانومتر .وتُستخدم عادة في نقل الإشارات الكهربائية والبصرية[4] .

- **الأنابيب النانوية الكربونية:(Nanotubes de carbone)**

هي نوع من الأنابيب المتراكزة المكونة من ذرات الكربون المرتبة في شكل شبكة سداسية، وتكون مغلقة عند الطرفين بنصف جزيئي فوليرين. ويوجد نوعان من الأنابيب النانوية[4] :

- أنابيب نانوية أحادية الجدار :طولها أكبر من 5ميكرومتر ويتراوح قطرها بين 0.7و 1.5 نانومتر.
- أنابيب نانوية متعددة الجدران :يتراوح قطرها بين 2و 50 نانومتر.

تتميز هذه الأنابيب بمرونتها، كما أن بنيتها أقوى بحوالي مائة مرة من الفولاذ وأخف منه بست مرات . كما تتميز بعدة خصائص مهمة منها:

- قوة شد وضغط عالية جداً.
- توفر مسحوق الأنابيب النانوية مساحة سطحية كبيرة للتلامس مع الهواء (حوالي 250 م²/غ)، وهي خاصية مهمة في عمليات التحفيز الكيميائي، وتخزين الغازات، وترشيح الملوثات.

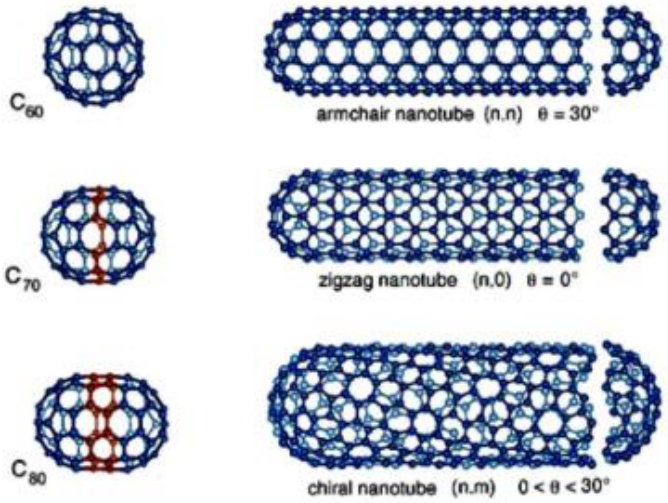
- عند درجة حرارة الغرفة، تتميز الأنابيب النانوية الكربونية بقدرتها على توصيل الكهرباء بشكل أفضل من النحاس.

ومن بين تطبيقاتها:

- في مجال المنسوجات :يمكن تصنيع خيوط من الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران، حيث تكون قوية ومرنة في الوقت نفسه، مما يسمح بربطها دون فقدان خصائصها الميكانيكية، ومن التطبيقات المحتملة تصنيع أقمشة فائقة المقاومة.
- في مجال الطاقة :تُستخدم في أقطاب البطاريات وتخزين الهيدروجين.
- في المجال الطبي الحيوي :مثل العضلات الاصطناعية ونقل الأدوية.

التترابودات:(Tétrapodes)

هي تراكيب نانوية من أكسيد الزنك(ZnO) ، ويكون طول أذرعها عادة أقل من 20ميكرومتر .وتتميز بخصائص فيزيائية خاصة، خصوصاً الخصائص البصرية، وخصائص أشباه الموصلات، والخصائص الكهروضغطية والحرارية الكهربائية[4] .

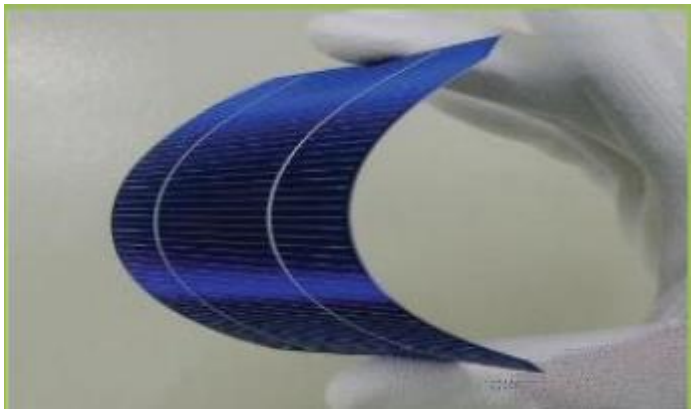


الشكل7 :الأشكال التآصلية للكربون[4].

3.المواد النانوية ثنائية البعد(2D)

المواد المستخدمة في طبقات الطلاء السطحي تُصنع من المواد النانوية. يمكن تصنيع الطلاء إما من طبقات نانوية مفردة أو متعددة، وذلك لمنح السطح خصائص ميكانيكية، بيولوجية، إلكترونية، مغناطيسية أو ضوئية.

يتم تصنيع هذه الطبقات عن طريق الإيداع الفيزيائي أو الكيميائي لتلبية الاحتياجات في مجالات الإلكترونيات والدوائر المتكاملة، أو في مجال الأسطح لتطبيقات التحريك والاحتكاك (التريبولوجيا) .[4].

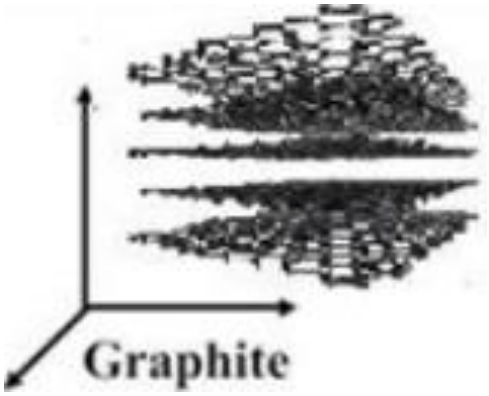


الشكل 8 :تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد2 [5]

4. المواد النانوية ثلاثية البعد(3D)

هي مواد لها أبعاد نانوية في جميع الاتجاهات البلورية الثلاثة .وغالباً ما يُصنف هذا النوع من المواد ضمن فئة المواد النانوية البنائية.(Nanostructured materials)

ومن أمثلة هذه المواد السيراميك النانوي، والمعادن النانوية، والمواد المركبة النانوية. وغالباً ما تُصنف ضمن المواد النانوية البُنيوية، حيث تتميز بخصائص محسنة مقارنة بالمواد التقليدية[4] .



الشكل 9: تمثيل الجسيمات النانوية ذات البعد3 [5]

3.I خصائص الجسيمات النانوية

1.3.I الخصائص الفيزيائية

عندما تكون للجسيمات أبعاد نانوية نتيجة صغر حجمها، فإن خصائصها التي كانت تعتبر ثابتة ومحددة يمكن أن تتغير، كما أن سلوكياتها وخصائصها المختلفة تتأثر، ويعود ذلك إلى تأثير الحجم (Size Effect). تتأثر جميع الفئات الكبيرة من المواد بهذه التغييرات، بما في ذلك :المعادن، والسيراميك، والبوليمرات، والمركبات .وبناءً عليه، تمتلك الجسيمات النانوية خصائص مختلفة، خاصة فيما يتعلق بـ :الخصائص الميكانيكية، الكهربائية، البصرية، المغناطيسية، والتحفيزية .[6]

2.3.I الخصائص الميكانيكية

من المعروف أن صلابة المواد البلورية تزداد عادة مع صغر حجم البلورات، وتظهر القوة الميكانيكية في تحول البنية المعدنية والسيراميكية التي يكون حجم بلورتها أقل من عدة مئات من النانومترات.

ويُظهر تأثير البنية النانوية الناتج عن ظاهرة اللدائن الفائقة (Superplasticity) خصائص ميكانيكية مميزة. فعلى سبيل المثال، يمكن تمديد معدن النحاس ليصل إلى آلاف المرات من حجمه الأصلي عند درجة حرارة مرتفعة تزيد عن 50٪ من درجة الانصهار.

3.3.I الخصائص الكهربائية

بالنسبة للمواد العازلة، إذا تم إدخال جسيمات نانوية أو أنابيب نانوية، أو عند تقليل حجم المادة العازلة (مثل طبقة رقيقة)، أو عند تكديس طبقات متعاقبة من مواد مختلفة ذات سمك نانوي، فإن ذلك سيؤدي إلى تغيير جذري في موصلية هذه المواد الكهربائية.

في المثال أدناه، تصل الموصلية الكهربائية إلى 3345 سيمنز/متر (S/m) عند إضافة 15٪ من حجم الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار في مصفوفة من الألومينا، وهو ما يمثل تغييراً بمقدار 13 رتبة عددية مقارنة بالقيمة الأصلية [6]

4.3.I الخصائص البصرية

من المعروف أن شدة الامتصاص الطيفي تعتمد على حجم الجسيمات النانوية، حيث تمتص الضوء عند طول موجي محدد يتم تحديده بواسطة تركيز عامل التوتر السطحي المستخدم في تحضيرها .على سبيل المثال، في حالة الجسيمات النانوية الذهبية، يُذكر أن طول الموجة القصوى لامتصاص الضوء هو 525 نانومتر للجسيمات ذات حجم 15نانومتر.

من جهة أخرى، تكون أبعاد الجسيمات النانوية أصغر من أطوال موجات الضوء المرئي (380 – 780 نانومتر)، وكلما صغر حجم الجسيمات، قل التشتت الضوئي، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة انبعاث الضوء، وبالتالي يمكن الحصول على شفافية عالية وتشبع ألوان أكبر. استناداً إلى ذلك، يتضح أن الخصائص البصرية تتغير جذرياً عند الانتقال من المادة الصلبة إلى المواد النانوية .[6].

I.3.5 الخصائص المغناطيسية

للحجم البلوري تأثير كبير على السلوك المغناطيسي للمواد.

فعند صغر حجم الجسيمات بما فيه الكفاية (مثل أقل من حوالي 1 ميليمتر)، تستجيب المادة على الفور للحقل المغناطيسي الخارجي، بينما تقل الاستجابة تدريجياً مع زيادة حجم الجسيمات.

تمتلك الجسيمات الدقيقة المغناطيسية حقلها المغناطيسي الفردي، ومع ذلك، تتفاعل بشكل جماعي كـ وحدات مغناطيسية في نفس اتجاه الحقل الخارجي، ونتيجة لذلك يحدث تغيير في الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية.

I.3.6 الخصائص التحفيزية

بشكل عام، الذهب لا يمتلك خصائص محفزة محددة، لكن أظهرت دراسة مهمة حول حركية أكسدة أول أكسيد الكربون عند درجات حرارة منخفضة على مجموعات ذهبية (Clusters) بأحجام مختلفة مدعومة على طبقات رقيقة من التيتانيوم زيادة في النشاط النوعي لمجموعات الذهب ذات الحجم 3.2 نانومتر.

ويُعزى هذا التأثير على الأرجح إلى تغير الخصائص الإلكترونية لمجموعات الذهب حسب الحجم، ومن الممكن وجود حجم مثالي بين 3-2نانومتر.

كما أظهرت المحفزات القائمة على الذهب نشاطها أيضاً في تفاعلات تحفيزية أخرى [6]

I .4. الجسيمات النانوية

I .1.4. تقنيات تصنيع الجسيمات النانوية

يمكن تصنيع المواد النانوية باستخدام طرق متنوعة، تُصنف إلى فئتين رئيسيتين [4–5]:

I.1.1.4. عملية التصنيع من الأعلى إلى الأسفل

حيث تُزال المادة من جسم أكبر لتكوين مواد نانوية، باستخدام حزم الإلكترونات أو حزم الأيونات أو الأشعة السينية (على سبيل المثال، الطباعة الحجرية، المستخدمة على نطاق واسع في صناعة أشباه

الموصلات لتصنيع الدوائر المتكاملة والمكونات الكهروضوئية). ويمكن تفتيت المادة إلى جزيئات أصغر، وصولاً إلى المقياس النانوي (الطحن الكروي عالي الطاقة). تُستخدم هذه العملية على نطاق واسع لتصنيع المواد النانوية على شكل مسحوق[4]

I.2.1.4. عملية التصنيع من الأسفل إلى الأعلى

حيث تُجمع الوحدات البنائية (الذرات، الجزيئات) لتكوين هياكل أكبر تدريجيًا حتى الوصول إلى المقياس النانوي. ويمكن تنفيذ هذه العملية بطرق عديدة، مما ينتج عنه مجموعة واسعة من المواد النانوية. فيما يلي لمحة موجزة عن بعض الطرق الأكثر شيوعًا[4]:

1. طرق الترسيب بالبخار

يمكن تصنيف هذه الطريقة إلى الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD) والترسيب الكيميائي للبخار (CVD).

يتضمن الترسيب الكيميائي للبخار (CVD) التفاعل الحراري أو تحلل المواد الغازية (المواد الأولية) عند درجات حرارة عالية (500–1000 درجة مئوية)، يليه الترسيب على سطح ما. ومن أهم أنواع هذه التقنية ما يُعرف بالترسيب الجزيئي الشعاعي (MBE)، حيث تُرسَّب المواد الأولية مباشرةً على السطح، مما يسمح بنمو طبقات ذرية أحادية. ويمكن تنمية الطبقات الذرية بالتتابع فوق بعضها البعض، مما ينتج عنه أغشية رقيقة يمكن التحكم في سمكها بدقة ذرية. وبحسب طبيعة المادة الأولية، يمكن أيضًا تحديد خصائص هذه التقنية بشكل أدق. في علم النانو، يُعد الحجم عاملًا مهمًا في الترسيب الكيميائي الشعاعي (CBE) والترسيب الجزيئي الشعاعي المعدني العضوي (MOMBE) والترسيب الكيميائي للبخار المعدني العضوي (MOCVD).

تُستخدم هذه التقنيات على نطاق واسع لتصنيع الأغشية الرقيقة، والطبقات المتعددة، والأنابيب النانوية، أو الجسيمات النانوية (ذاتية الدعم في صورة مسحوق أو مُدمجة في أغشية من مادة أخرى). كما يُمكن استخدام هذه التقنية لتطوير جسيمات نانوية من أشباه الموصلات ذات فجوة طاقة أوسع، مُدمجة في مصفوفة من أشباه الموصلات ذات فجوة طاقة أوسع، وذلك باستخدام ظروف تُفضّل نمط نمو سترانسكي–كراستانوف.

2. طريقة البخار–السائل–الصلب (VLS)

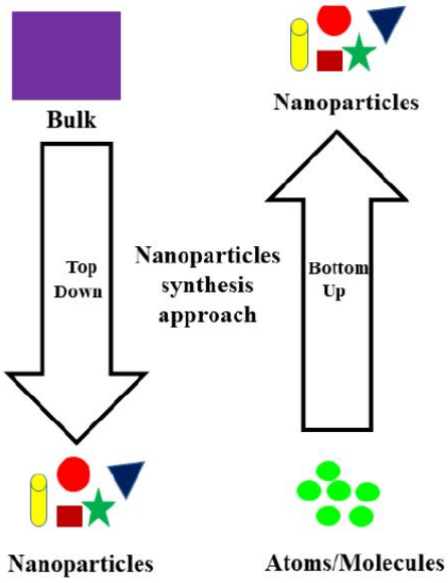
في هذه الطريقة، تُرسّب الجسيمات النانوية على ركيزة مُسخّنة فوق درجة حرارة الانصهار المُختارة لنظام المعدن–شبه الموصل، بوجود طور بخاري من شبه الموصل، مما ينتج عنه قطرة سائلة من سبيكة المعدن–شبه الموصل. ويؤدي التغذية المستمرة لشبه الموصل (مثل السيليكون، أو زرنيخيد الغاليوم، إلخ) إلى القطرة السائلة إلى تشبعها بدرجة حرارة الانصهار، مما يُؤدي إلى تكوين ونمو شبه الموصل الصلب

عند السطح البيني. تفاعل صلب–سائل. ينتج عن ذلك نمو سلك نانوي مع وجود قطرة من السبيكة في أعلاه[4] .

3. طريقة الطور السائل

- **طرق سول–جل**

في هذه الحالة، تخضع المواد الأولية المعدنية لتفاعلات التحلل المائي والتكثيف، مكونةً محاليل غروية تتجمع بدورها لتشكل شبكة مسامية رطبة (جل). مع مرور الوقت، يخضع الجل لعملية تكثيف (انكماش) حيث تتكمش المسام وتطرد المذيب. يمكن بعد ذلك تجفيف الجل للحصول على بنية نانوية مسامية (زيروجل أو إيروجل). بدلاً من ذلك، يمكن معالجة الجل المجفف حرارياً لإنتاج زجاج متجانس. تُستخدم طرق سول–جل أيضاً على نطاق واسع في تصنيع المساحيق النانوية (50–500 نانومتر)، والأغشية، والألياف[4]



.

الشكل 10 : النهج التركيبي من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى في تكنولوجيا النانو.[7]

I .2.4. العوامل المؤثرة في حجم وشكل الجسيمات النانوية

على الرغم من أن الأساليب الكيميائية والفيزيائية التقليدية تحظى بشعبية كبيرة في تصنيع الجسيمات النانوية المعدنية، إلا أنها ترتبط دائما ببعض القيود مثل توزيع الجسيمات النانوية، وانخفاض الإنتاجية، والتحكم في الشكل، والسلائف السامة، والتكلفة والعمالة الفعالة، والنفايات الخطرة من بين التقنيات الفيزيائية [7]

يحتاج ترسيب البخار الكيميائي (CVD)، سول – جل، التوليف الحراري المائي إلى مكان ضخم، ومعدات خاصة، ومتطلبات طاقة كبيرة، وتحتاج إلى خبرة فنية على الرغم من أن هذه الطرق تنتج جسيمات نانوية عالية النقاء بحجم النانو، إلا أنها باهظة الثمن وتحتاج إلى الكثير من العناية للتحكم في ظروف التفاعل.

بالإضافة إلى ذلك، أثناء عملية تقليل الحجم، يحدث المزيد من عيوب السطح على الجسيمات النانوية المعدنية تؤثر بشكل كبير على خصائصها وبالتالي تطبيقاتها. يفضل تركيب الجسيمات النانوية بالطريقة الكيميائية في الغالب للإنتاج على نطاق واسع في فترة زمنية قصيرة مع تحكم أفضل في الحجم. لكن القلق بشأن استقرار الجسيمات النانوية في المرحلة السائلة يتطلب عوامل إضافية للتغطية أو التثبيت. تمنع عوامل التثبيت تراكم الجسيمات النانوية بسبب وجود قوى فان دير وال بين المعادن NPs وعامل التثبيت.

قد يؤدي الاستخدام غير المنضبط لهذه المواد الكيميائية إلى تثبيط تنوي الجسيمات النانوية، وتشوه التشكل، وانخفاض النشاط. علاوة على ذلك، تشكل الإجراءات الكيميائية منتجات ثانوية قاسية بسبب استخدام السلائف السامة وعوامل الاختزال الضارة غير المرغوب فيها لبيئة خالية من التلوث. تولد المواد الكيميائية والمنتجات الثانوية السامة في التخليق الكيميائي

تشكل العملية تهديدًا كبيرًا لصحة الإنسان، وبالتالي تحد من تطبيق الجسيمات النانوية في النهج السريري

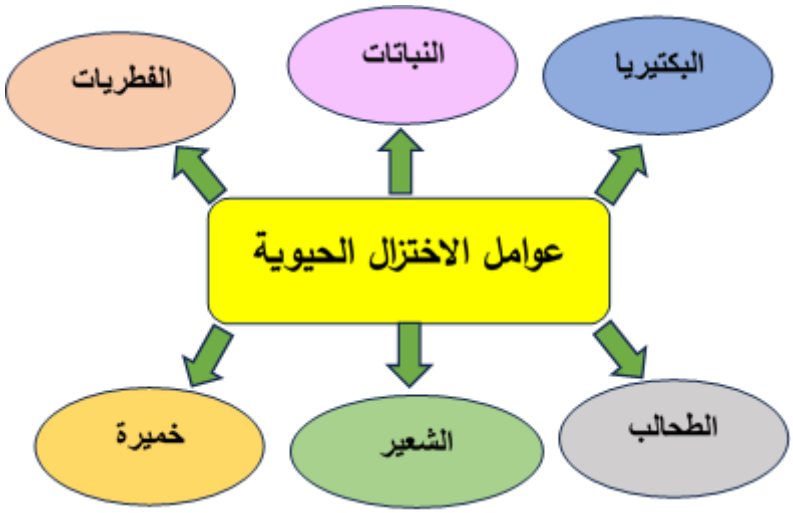
قيود على العديد من الأساليب غير البيولوجية، والتلوث للتخلص من النفايات الخطرة والبيئة، وتعزيز المقاومة الميكروبية لجميع فئات الأدوية، وزيادة الآثار الجانبية لعوامل العلاج الكيميائي يستلزم تطوير بروتوكولات بسيطة وغير سامة ومنخفضة التكلفة وحميدة بيئيا لتركيب الجسيمات النانوية المعدنية والمعدنية يساعد في استدامة التنمية البشرية [7].

I .1.2.4.أنواع عوامل الاختزال الحيوي

يتم تصنيف عوامل الاختزال الحيوي الآمنة والصديقة للبيئة إلى نوعين مثل عوامل الاختزال النباتية أو الكائنات الدقيقة القائمة على عوامل الاختزال وعوامل الاختزال القائمة على السكر.

يشتمل النوع الأول من عوامل التخثر الحيوي على أجزاء مختلفة من النباتات والبكتيريا والفطريات والخميرة والفطريات الشعاعية والطحالب وما إلى ذلك. من بين كل عوامل الاختزال هذه، تتمتع عوامل الاختزال المعتمدة على النبات بالعديد من المزايا على عوامل الاختزال القائمة على الكائنات الحية الدقيقة بسبب التغيرات أو الطفرات المفاجئة أو التأثيرات المسببة للأمراض للكائنات الحية الدقيقة.

بينما تم اعتبار النوع الثاني من عوامل الاختزال مثل السكروز والنشا والفركتوز والجلوكوز عوامل مخفضة آمنة ومريحة. يتم عرض الأنواع المختلفة من عوامل الاختزال الحيوي بشكل تخطيطي في الشكل 1.5. عوامل الاختزال الحيوي المختلفة لتخليق الجسيمات النانوية نبات[7] .



الشكل 11 :عوامل الاختزال الحيوي المختلفة لتخليق الجسيمات النانوية[7] .

I.2.2.4. المواد النانوية المركبة بوساطة النبات

المواد النانوية وطرق التوليف الخضراء الخاصة بها هي مجال متعدد التخصصات للبحث في كيمياء المواد وعلم النانو وأيضًا بما في ذلك تقنية النانو. حيث تم محاولة تطوير بحث هائل في مجالات تكنولوجيا النانو مع الأساليب الخضراء لاستغلال مزايا هذه المسارات في المجالات الطبية والعلوم المختلفة. وبالمثل، يعد النهج الأمن والأمن والمتوافق مع البيئة لتصنيع جزيئات المعادن ذات الحجم النانوي خطوة أساسية في مجال تقنية النانو من العقود القليلة الماضية، تم التركيز على تصنيع العديد من المعادن والهاليدات المعدنية والأكاسيد وجسيمات الإسبنيل النانوية بسبب تطبيقاتها الفريدة في حجمها النانوي مقارنة بحجم المواد التي تمتلكها. وهكذا، فإن النبات وأجزائه المختلفة مثل البذور، والقشر، والأوراق، واللحاء أو الفواكه، إلخ.

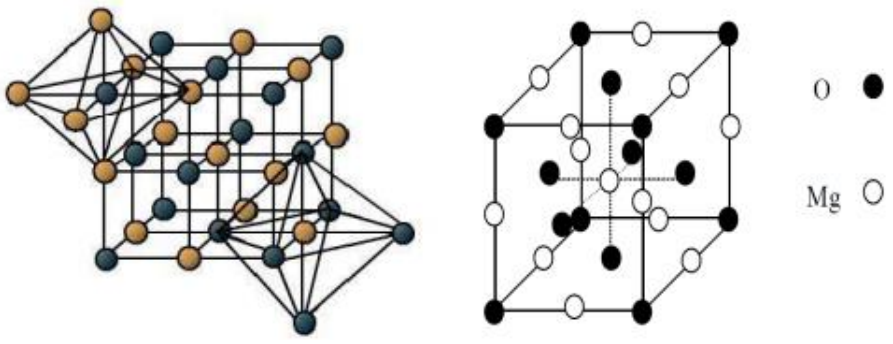
تستخدم لتصنيع المواد النانوية غير العضوية. تعمل العديد من المواد الفينولية الموجودة في وسط النبات على تقليل الأملاح المعدنية بنجاح وتحويلها إلى مواد بحجم النانو بطريقة بسيطة. يعد تحسين الأساليب الخضراء لتصنيع جسيمات مقياس النانو أحد الموضوعات المثيرة للاهتمام في مجال تكنولوجيا النانو. لذلك، تظهر مناهج التوليف الأخضر تحسينا بطرق مختلفة تقريبا عن الطرق الفيزيائية والكيميائية حيث توفر الطرق الخضراء مستوى عال من الأمان والتكلفة المنخفضة ودعم الملاءمة البيئية والإنتاج على نطاق واسع. بالإضافة إلى ذلك، لا تحتاج الطرق الخضراء إلى كواشف سامة، والحفاظ على درجة حرارة عالية، وطاقة أو ضغط، وإدراج هذه العينات المصنعة أظهر أعلى كفاءة في مضادات الميكروبات على العديد من الكائنات الحية. ومن ثم، فقد تم زيادة الطلب على التصنيع الأخضر للمواد النانوية للحد من المشكلات البيئية والطبيعة الخطرة. هنا، طرق التصنيع الخضراء بشكل أساسي مع الأخذ في الاعتبار المكونات البيولوجية، وعملية الاختزال، والطرد المركزي، والغليان، وسونوتشيميكال وعدد قليل من تقنيات التشعيع مع مزايا من التقنيات التقليدية الأخرى[7] .

I .5. أكسيد المغنيسيوم(MgO)

I.1.5. البنية البلورية

ينتمي أكسيد المغنيزيوم (MgO) إلى المنظومة البلورية ثمانية الوجوه(octaédrique) ، وفق تساند سداسي، وله بنية بلورية مكعبة مشابهة للبنية البلورية لملح كلوريد الصوديوم .(NaCl) ويُسمى المعدن بريكلاز (Periclase) ويعرف أيضًا باسم المغنيسيا.[1] (Magnesia)

يمتلك MgO محاور بلورية متساوية الطول ومتعامدة($a = b = c \approx 4.2130$ Å) ، والزوايا المحورية قائمة($\alpha = \beta = \gamma = 90°$) ، بحيث ترتبط أيونات المغنيزيوم (Mg^{2+}) وأيونات الأكسجين (O^{2-}) مع بعضها برابطة أيونية، كما هو موضح في الشكل12



الشكل 12 : البنية البلورية لأكسيد المغنيزيوم.[8]

الشكل 13: أشكال بلورات أكسيد المغنيزيوم[8].

I .2.5. الخصائص الفيزيائية والكيميائية

يمثل الجدول أهم الخصائص الفيزيائية و الكيميائية [8].

الخاصية	القيمة
درجة الانصهار	2852 °C
درجة الغليان	3600 °C
معامل الانكسار	λ = 589 nmعند1.7355 λ = 750 nmعند1.7283
الكثافة	3.58 g/cm³
الذوبانية	عمليًا غير قابل للذوبان في الماء غير قابل للذوبان في الإيثانول يذوب في الأحماض والأمونيا
الوزن الجزيئي	40.304 g/mol
الصلابة	5.5إلى 6.0) مقياس(Mohs
الكتلة المولية	40.3044 g/mol
الحرارة النوعية عند K27	حوالي 0.004 J/(g·K) تزداد بزيادة الحرارة
السعة الحرارية	K =298 عند 37.2 J/(mol·K)
الموصلية الحرارية عند K267	60.0 W/m·K

القابلية المغناطيسية	10×10^{-6} cu cm/mol
الأنتروبيا القياسية	26.9 J/(mol·K)
معامل التمدد عند K273	$10.8 \times 10^{-6}\ K^{-1}$
الناقلية الحرارية عند K273	حوالي 48 إلى 60 W/(m·K)
ثابت العزل الكهربائي عند MHz1	9.8
معامل المرونة	248 GPa
معامل الامتصاص عند µm5.5	$0.0\ cm^{-1}$

الجدول 2: الخصائص الفيزيائية والكيميائية[8]

I .3.5. التطبيقات المختلفة لجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية

I .1.3.5. التطبيقات الصناعية

أصبحت جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية ذات أهمية كبيرة في مجالات متعددة، خصوصًا في المجال الصناعي، حيث يتم تحضير مسحوق أكسيد المغنيسيوم من خام المغنيسيا.

يتميز أكسيد المغنيسيوم الناتج عن التحميص (Calcination) بالخصائص التالية: نقاء عالي، حجم جسيمات صغير، توزيع منتظم، مساحة سطحية كبيرة، واستقرار حراري وكيميائي مرتفع.

يمكن لجسيمات MgO النانوية أن تُنتج بكفاءة وبشكل اقتصادي، وتستخدم لإنتاج الطلاءات المقاومة للنار .كما أن أكسيد المغنيسيوم النانوي يمتاز بتأثيره المقاوم للنار، ويمكن استخدامه مع نشارة الخشب لتصنيع المواد الحرارية والسيراميك المعدني مثل الألواح خفيفة الوزن، العزل الصوتي والحراري، والألواح المكونة من ألياف مقاومة للحريق .للحصول على أفضل تأثير للطلاءات المقاومة للنار، تكون كمية الإضافة من 1% إلى 5.%

كما يمكن استخدامه في طلاءات الأفران والغلايات المقاومة للحرارة، وبالمقارنة مع حجم الجسيمات التقليدي، فإن جسيمات MgO النانوية تمتلك مساحة سطحية أكبر، مما يجعلها مفيدة جدًا في صناعة البناء.

استُخدمت جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية أيضًا على نطاق واسع في مجالات الإلكترونيات والكهرباء نظرًا لخواصها العازلة الممتازة. يمكن استخدام مسحوق MgO النانوي عالي التشتت كحساس للرطوبة، وفي الطلاءات، الورق، مستحضرات التجميل، المواد البلاستيكية والمطاطية، ومواد التقوية.

تُستخدم أيضًا في السيراميك عالي الأداء، حيث تتميز بأداء جيد في التلبيد، ويمكن تلبيدها عند درجة حرارة منخفضة دون الحاجة إلى إضافات التلبيد، وتحويلها إلى سيراميك عالي الكثافة بحبوب دقيقة أو أفلام أكسيد مغنيسيوم متعددة الطبقات. يمكن استخدام هذه المواد في الظروف القاسية مثل درجات الحرارة المرتفعة والتآكل الشديد، مما يجعلها مناسبة كمكونات هندسية ومواد حرارية عالية الجودة.[9]

I .2.3.5.التطبيقات الزراعية

أظهرت الدراسات أن جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية تمتلك فوائد متعددة، منها :انخفاض السمية النباتية، الاستقرار الحراري، عدم التأثير على الجينات، وعدم السمية للإنسان، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الزراعية والصحية للنباتات.

بالإضافة لذلك، تساعد هذه الجسيمات على زيادة إنتاجية المحاصيل مثل الفول السوداني من خلال تعزيز نمو البذور والنباتات، وتستخدم كمكونات غذائية مسموح بها، كمكملات غذائية ومواد حافظة للون [9].

I.3.3.5. التطبيقات البيئية

تعتبر التلوث البيئي مشكلة كبيرة تواجه الدول المتقدمة والنامية. هناك طرق متعددة لمكافحة التلوث، ولكن بعض هذه الطرق قد تسبب آثار جانبية لأنها نفسها قد تتحول إلى ملوثات.

أصبحت الجسيمات النانوية بديلًا جيدًا لمجموعة من طرق تنظيف البيئة. نظرًا لخواص جسيمات MgO النانوية، فقد أظهرت كفاءتها في عدة تطبيقات بيئية.

بفضل خواصها الممتصة القوية، المساحة السطحية الكبيرة، والنشاط الكيميائي العالي، تُعتبر جسيمات MgO النانوية ممتصة محتملة للغازات الضارة مثل ثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت في الظروف المحيطة.

تبلغ قدرة الامتزاز المشبعة لجسيمات MgO بالنسبة لـ NO_2 و SO_2 على التوالي 174 و 160 ملغ/غ، مما يجعلها مرشحًا واعدًا لمعالجة الغازات السامة[8.9].

I .4.3.5.التطبيقات الطبية والسريرية

النانوطب يُعرف بأنه تطبيق تقنيات النانو لعلاج أو الوقاية من الأمراض أو لإجراء التشخيص الطبي. حاليًا، الاستخدام الرئيسي للجسيمات النانوية في الرعاية الصحية يتركز على :توصيل الأدوية، العلاج الجيني، توصيل اللقاحات، التصوير الطبي، والمعالجة بالحرارة الفائقة للأورام.

كما تتطور الجسيمات النانوية في مجالات أخرى مثل الأجهزة الطبية (أطراف صناعية، ضمادات...) والهندسة النسيجية، والمواد التشخيصية، ومستحضرات التجميل.

تطورت البنية النانوية لأكسيد المغنيسيوم مؤخرًا، مما منحها إمكانية تثبيت جزيئات البيومولكولز بشكل مستقر، وزيادة الفعالية الحيوية، وحساسية أكبر للمستشعرات الحيوية.

تمتلك هذه الجسيمات خصائص فريدة مثل الخصائص البصرية والكهربائية، مما يجعلها مرشحًا ممتازًا للاستخدام في المستشعرات الحيوية.

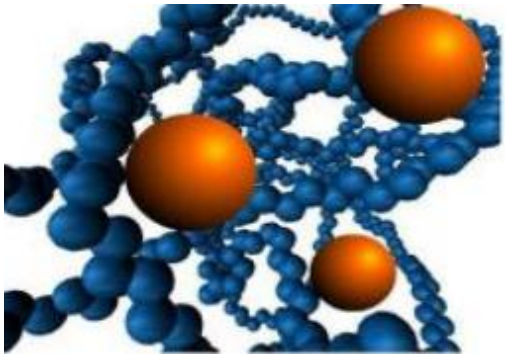
تمتلك جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية نشاطًا مضادًا للالتهاب والروماتيزم، ويمكن دمجها مع جزيئات الحديد للاستخدام في التصوير بالرنين المغناطيسي، توصيل الأدوية، علاج السرطان، واستهداف الخلايا في العلاج بالتجميد.

كما أن جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية تتمتع بنشاط مضاد للبكتيريا ممتاز، رغم أن هذا يعتمد على ارتباط الجسيمات بسطح البكتيريا.[9]

I .6. النانو – مركبات

I .1.6. تعريف النانو–مركبات

النانو–مركبات هي مواد نانوية ثلاثية الأبعاد، ما يعني أن جميع أبعادها تتجاوز المقياس النانوي (1–100 نانومتر).النانو–مركبات هي مواد صلبة تتكون من مادتين أو أكثر وتتميز بخصائص فيزيائية فريدة (بصرية، عازلة كهربائياً، إلخ) وتوفر مساحة تبادل أكبر. في هذه المواد، يتم دمج الجسيمات النانوية داخل مصفوفة أو على سطح لتوفير وظائف جديدة أو لتعديل بعض الخصائص الميكانيكية، المغناطيسية، الحرارية، إلخ. مثال على النانو–مركبات هو استخدام البوليمرات المحمّلة بأنابيب الكربون النانوية في مجال المعدات الرياضية، لتحسين مقاومتها الميكانيكية وتقليل وزنها[5] .



الشكل 14: تمثيل النانو–مركب[5] .

I.2.6. أنواع النانو–مركبات

يمكن تصنيف النانو–مركبات وفق نوع المصفوفة[5+9] :

- المركبات ذات المصفوفة العضوية.
- المركبات ذات المصفوفة البوليمرية (مثل: البولي أميد، البوليستر، البوليسترين، البولي كاربونات، إلخ).
- المركبات ذات المصفوفة المعدنية؛ يمكن أن تكون جسيمات الطور الثاني عبارة عن أكاسيد، بوريدات، كربيدات أو نيتريدات.
- المركبات ذات المصفوفة السيراميكية، المخصصة للدرجات الحرارية العالية.

I .3.6.أهمية النانو – مركبات الهجينة

أظهرت النانو–مركبات اهتمامًا خاصًا في تحسين الخصائص الميكانيكية مقارنة بالمركبات التقليدية. ويلاحظ بشكل أساسي عند وجود محملات على شكل صفائح[5] :

- زيادة معامل يونغ وحد الحد المرن.
- زيادة التوصيل الحراري وعدة خصائص أخرى، لا سيما الخصائص البصرية التي لا يمكن تفسيرها بالطرق التقليدية لخلط المكونات.
- تحقيق وفرة في الوزن مع تقليل التكاليف نظرًا لاستخدام كمية أقل من المواد الخام.
- زيادة الخصائص الحاجزة لمادة بسمك محدد

I . 7. . النشاط المضاد لاكسدة بطريقة DPPH

I .1.7. تعريف مضادات الأكسدة وأهميتها الحيوية:

تُعرف مضادات الأكسدة بأنها مركبات تمتلك القدرة على حماية الأنظمة البيولوجية من الإجهاد التأكسدي، وهي ميزة بارزة في نباتات مثل Nigella sativa التي تمتلك طيفاً واسعاً من الخصائص المضادة للالتهابات والأكسدة [10] وتعمل هذه المواد كمدافع حيوي يدعم جهاز المناعة ويساهم في علاج أمراض الجهاز التنفسي والهضمي. وتتجلى أهمية مضادات الأكسدة في قدرتها على تحييد الجزيئات غير المستقرة التي تنتج عن العمليات الحيوية، مما يجعل استخدام المصادر الطبيعية والنانوية خياراً فعالاً وآمناً مقارنة بالأدوية التقليدية [11]

I.2.7. الجذور الحرة (ROS) وتأثيرها الخلوي:

تعتبر أنواع الأكسجين التفاعلية (Reactive Oxygen Species - ROS) من النواتج الأساسية التي تتشكل خلال العمليات الكيميائية الحيوية والأكسدة الضوئية في الخلايا وتؤدي زيادة مستويات هذه الجذور الحرة إلى إحداث ضرر في المكونات الخلوية،[12] حيث ترتبط عمليات تصنيع الـ ROS وتوازنها داخل الخلية بشكل وثيق بوجود عناصر أساسية مثل المغنيسيوم، الذي يلعب دوراً محورياً في عمليات الفسفرة الضوئية وتثبيت ثاني أكسيد الكربون الضوئي، ومن ثم فإن أي خلل في هذه التفاعلات قد يؤدي إلى تفاقم الإجهاد التأكسدي[13]

I .3.7. آليات عمل الجسيمات النانوية كمضادات أكسدة

تعتمد الجسيمات النانوية (NPs) في عملها كمضادات أكسدة على خصائصها الفريدة التي تختلف تماماً عن المواد الكتلية[14] (Bulk compounds) ، وتتمثل الآلية الأساسية في "مساحة السطح الكبيرة" (Substantial surface area)مقارنة بالحجم، مما يمنحها قدرة فائقة على التفاعل مع الجذور الحرة وتحييدها[15]. بالإضافة إلى ذلك، تمتلك جسيمات مثل أكسيد المغنيسيوم النانوية بنية بلورية مميزة وفراغات أكسجين (Oxygen vacancies) تتيح لها التفاعل السلس مع الأنظمة البيولوجية واصطياد الشوارد الحرة بفعالية عالية[13]

I.4.7. دور مركبات MgO النانوية في تثبيت الأكسدة وتعزيز الاستجابة الحيوية :

تُظهر جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO-NPs) كفاءة عالية في تعزيز العمليات الأيضية ومكافحة الإجهاد التأكسدي، خاصة عند تحضيرها بطرق خضراء مستدامة باستخدام الكائنات الحية مثل الفطريات[16] وتعمل هذه الجسيمات كمسار توصيل نانوي لأيونات المغنيسيوم، مما يسرع من عملية امتصاصها وهضمها من قبل الجذور، وهذا يؤدي بدوره إلى رفع مستويات المركبات الفينولية (Phenolic compounds) التي تعمل كمضادات أكسدة طبيعية داخل النبات. كما تساهم ميزة "الإطلاق المتحكم فيه" (Timed release) لهذه الأيونات في الحفاظ على مستويات المغنيسيوم المثالية، مما يضمن استمرارية تثبيت الأكسدة ودعم نمو الخلايا وتطورها بشكل صحي [17]

خاتمة الفصل

في هذا الفصل تم عرض المفاهيم الأساسية المتعلقة بعلم النانو والجسيمات النانوية، مع التعرف على طرق تحضيرها والعوامل المؤثرة في حجمها وشكلها. كما تم التطرق إلى خصائص وتطبيقات أكسيد المغنيسيوم النانوي (MgO) وأهمية النانو–مركبات في تحسين خصائص المواد. إضافة إلى ذلك، تم التعريف بالنشاط المضاد للميكروبات وأنواع البكتيريا، مع توضيح آليات التأثير المضاد للميكروبات للجسيمات النانوية.

وبناءً على ما سبق، يتضح أن المواد النانوية تمتلك إمكانات كبيرة في تطوير العديد من التطبيقات العلمية والتكنولوجية، خاصة في مجالات الطب والبيئة والصناعة، وتُعد هذه المفاهيم النظرية أساسًا مهمًا لفهم الجوانب التطبيقية التي سيتم التطرق إليها في الفصول اللاحقة من هذا العمل .وفي الفصل الموالي سيتم التطرق إلى الجوانب التطبيقية للدراسة، من خلال عرض المواد والطرق التجريبية المعتمدة في تحضير الجسيمات النانوية والنانو–مركبات وتقييم نشاطها المضاد للميكروبات.

[1]

عبد الله، رافد أحمد .مدخل إلى عالم النانو .لندن :إي كتب للنشر والتوزيع، 2014.

[2]

ثابت، نوار .النانو تكنولوجيا وتطبيقاتها .ط1، العبيكان للنشر، السعودية، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن 2013.

[3]

. G. A. Mansoori and T. F. Soelaiman, "Nanotechnology--An introduction for the standards community," 2005.

[4]

Bhushan, B. (Ed.). Springer Handbook of Nanotechnology (3rd ed.). Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.

[5]

Ajayan, P. M., Schadler, L. S., & Braun, P. V. (2003). Nanocomposite science and technology. Wiley-VCH.

[6]

G. Y. Habba. Étude des nanostructures de ZnO pour leur application dans l'environnement : détection de gaz et dépollution de l'eau. Matériaux. Université Paris-Est, 2017. Français. ffNNT : 2017PESC1094ff. fftel-01619767v3f

[7]

Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. Green Chemistry, 13(10), 2638–2650.

[8]

. Haynes, W. M. (Ed.). (2016). CRC Handbook of Chemistry and Physics (97th ed.) CRC Press.

[9]

K. Krishnamoorthy et al, Antibacterial activity of MgO nanoparticles based on lipid peroxidation by oxygen vacancy. Materials Science and Engineering: C, 32(7), 1760–1764,2012.

[10]

H. Mukhtar, A. S. Qureshi, F. Anwar, M. W. Mumtaz, and M. J. J. o. E. O. R. Marcu, "Nigella sativa L. seed and seed oil: potential sources of high-value components for development of functional foods and nutraceuticals/pharmaceuticals," vol. 31, no. 3, pp. 171-183, 2019.

[11]

M. Mensah, G. Komlaga, A. D. Forkuo, C. Firempong, A. K. Anning, and R. A. J. H. m. Dickson, "Toxicity and safety implications of herbal medicines," vol. 63, pp. 1-17, 2019.

[12]

I. Cakmak and A. M. J. B. c. Yazici, "Magnesium: a forgotten element in crop production," vol. 94, no. 2, pp. 23-25, 2010.

[13]

L. Cai et al., "MgONPs can boost plant growth: evidence from increased seedling growth, morpho-physiological activities, and Mg uptake in tobacco (Nicotiana tabacum L.)," vol. 23, no. 12, p. 3375, 2018.

[14]

M. F. Hamza, M. Abd Allh, E. Guibal, A. A. Abdel-Rahman, R. J. S. El Araby, and P. Technology, "Synthesis of a new pyrimidine-based sorbent for indium (III) removal from aqueous solutions–Application to ore leachate," vol. 314, p. 123514, 2023.

[15]

J. Kour, A. Gani, V. Sharma, and S. A. Sofi, "Nutraceutical importance and applications of Nigella sativa seed flour," in Black cumin (Nigella sativa) seeds: Chemistry, technology, functionality, and applications: Springer, 2020, pp. 209-221.

[16]

A. M. Abdo et al., "Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO-NPs) by Pseudomonas aeruginosa and their activity against pathogenic microbes and common house mosquito, Culex pipiens," vol. 14, no. 22, p. 6983, 2021.

[17]

S. M. Howladar, A. S. Osman, M. M. Rady, and H. S. J. c. Al-Zahrani, "Magnesium foliar application and phosphorien soil inoculation positively affect Pisum sativum L. plants grown on sandy calcareous soil," vol. 6, no. 9, 2014

المواد والطرق

تمهيد

يستعرض هذا الفصل المنهجية العلمية والخطوات التجريبية التي تم اتباعها لتحقيق الهدف الرئيسي من الدراسة، والمتمثل في تطوير وتحضير مركب نانوي هجين ومعدل سطحياً يتكون من جزيئات أكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO) المحملة بمركب الفيتامينات المتعددة، وذلك لدراسة خصائصه الفيزيوكيميائية وتقييم كفاءته كمضاد للأكسدة.

II.1. تعريفات حول تقنيات وطرق التحليل المستخدمة

تطلبت الفحوصات الهيكلية والبصرية والبيولوجية في هذا البحث استخدام منظومة متكاملة من الأجهزة التحليلية والأدوات المخبرية المتقدمة لضمان دقة القياسات، شملت الأجهزة التحليلية الأساسية

- جهاز حيود الأشعة السينية (XRD): لتحديد البنية البلورية وحساب الحجم البلوري الحبيبي للجسيمات[1].
- جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR): لتشخيص المجموعات الوظيفية السطحية وتحديد طبيعة الروابط الكيميائية الناشئة بين أكسيد المغنيسيوم ومركب الفيتامينات[2].
- مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis): لقياس الامتصاصية الضوئية ومتابعة التفاعلات اللونية لجميع اختبارات مضادات الأكسدة والأنشطة البيولوجية عند أطوال موجية نوعية ومحددة[3].

II.2. الهدف من الدراسة :

تطوير وتحضير مركب نانوي هجين ومعدل سطحياً يتكون من جزيئات أكسيد المغنيسيوم النانوية MgO المحملة بمركب الفيتامينات المتعددة، بهدف دراسة خصائصه الفيزيوكيميائية وتقييم كفاءته الحيوية وقدرته الفعالة كمضاد للأكسدة.

II.3. الأدوات والمواد المستعملة:

II.3.1. المواد الأولية والكواشف (Chemicals and Reagents)

اعتمدت الإجراءات التجريبية في هذه الدراسة على مجموعة من المواد الكيميائية عالية النقاوة والكواشف العضوية وغير العضوية المقتناة من مصادر عالمية معتمدة. لتخليق جزيئات أكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO)، تم استخدام ملح نترات المغنيسيوم الثنائي $Mg(NO_3)_2$ بنسبة نقاوة بلغت 98% ليكون المادة السلف والمصدر الكيميائي الأساسي لأيونات المغنيسيوم، إلى جانب هيدروكسيد الصوديوم NaOH بنسبة

نقاوة 99.8% كعامل مرسب وموجه للتفاعلات، وقد تم توفيرهما من شركة ميرك الألمانية (Merck). واستخدم الإيثانول النقي C_2H_5OH بنسبة 99.9% والكلوروفورم $CHCl_3$ كمذيبات أساسية وعوامل غسيل لتنقية الرواسب وتجفيفها، بينما جرى إنتاج الماء المقطر والماء منزوع الأيونات H_2O محلياً داخل المختبر باستخدام جهاز التقطير عالي الكفاءة، ولغرض إتمام عملية تعديل السطح النانوي وتشكيل المركب العضوي الهجين، تم إدخال مركب الفيتامينات المتعددة (Complexe Multi-Vitamine) من مصدر صيدلاني وبدرجة نقاوة مطابقة للمواصفات القياسية المعتمدة للاستخدامات الحيوية الطبية [4].

II.2.3. كواشف تقييم الفعالية الحيوية والقدرة المضادة للأكسدة

كاشف الجذور الحرة (DPPH reagent): مسحوق ثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل $C_{18}H_{12}N_5O_6$ بتركيز مضبوط لقياس كفاءة اقتناص الجذور الحرة[5].

حمض الأسكوربيك (Ascorbic acid): استُخدم كمركب قياسي مرجعي (Standard Control) لتقييم ومقارنة الكفاءة الاختزالية[6].

II.3.3. ظروف التخزين والتحضير الأولي

تم الاحتفاظ بجميع المواد الكيميائية فور استلامها في خزائن مخصصة ومصنفة تحت درجة حرارة الغرفة المستقرة 25 درجة مئوية، وبعيداً عن مصادر الضوء والرطوبة المباشرة لضمان استقرارها البنائي، وبالنسبة للمركبات الحساسة للضوء والأكسدة، وخاصة كاشف الجذور الحرة (DPPH) ومركب الفيتامينات المتعددة وحمض الأسكوربيك، فقد جرى تخزينها بدقة في عبوات زجاجية معتمة وقاتمة اللون داخل مبرد مخبري عند درجة حرارة ثابتة تبلغ 4 درجات مئوية لحمايتها من التحلل الضوئي أو الحراري، كما تم تحضير كافة المحاليل القياسية والمحاليل المنظمة بشكل طازج ويومي قبل بدء التجارب مباشرة باستخدام أدوات زجاجية معقمة تماماً لتفادي أي تلوث خارجي.

II.4.3. الأدوات المخبرية المستعملة:

تم الاعتماد على الموازين الإلكترونية الحساسة دقيقة الوزن، وأجهزة الطرد المركزي (Centrifuge) بسرعات دوران عالية بلغت 10000 دورة في الدقيقة لفصل الراسب النانوي وتصفية المحاليل[7]، والماصات الدقيقة (Micropipettes) بأحجامها المختلفة لسحب المحاليل بدقة، وحمام الموجات فوق الصوتية (Sonicator) لتشتيت الجسيمات[8]، بالإضافة إلى الأفران الكهربائية المخصصة للتجفيف عند حرارة 80 درجة مئوية وأفران التكليس الحراري (Calcination furnace) لتدوير العينات عند حرارة مرتفعة بلغت 400 درجة مئوية، وجهاز التحريك المغناطيسي (Magnetic stirrer) لضمان تجانس التفاعلات،[9] ولغرض

معالجة البيانات ورسم المنحنيات البيانية المستخرجة من الأجهزة، تم استخدام برامج الحاسوب المتخصصة وعلى رأسها برنامج أوريجن (Origin) وبرامج التخطيط البياني الرياضية المتطورة[10].

الشكل(15): يمثل الأجهزة وبرامج المستعملة

II.4. تحضير الجسيمات النانوية MgO (Synthesis of MgO Nanoparticles)

تم اصطناع جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية البلورية والمستقرة باعتماد طريقة الترسيب الكيميائي وآلية السول–جل (Sol-Gel) وفق خطوات منهجية مضبوطة[11]، بدأت العملية التجريبية بإذابة 4.5 غرام من عامل الترسيب هيدروكسيد الصوديوم NaOH في حجم قدره 200 مل من الإيثانول النقي C_2H_5OH كوسط تفاعلي أول لتوجيه التفاعل البنيوي، وفي وعاء زجاجي منفصل، جرى إذابة 4.5 غرام من الملح السلف نترات المغنيسيوم الثنائي $Mg(NO_3)_2$ في 100 مل من الإيثانول النقي C_2H_5OH للحصول على محلول متجانس تماماً ومصدر غني بأيونات المغنيسيوم الحرة[12]، وتحت تأثير التحريك الميكانيكي والمغناطيسي المكثف والمستمر لمدة ساعتين كاملتين تحت درجة حرارة الغرفة الثابتة، أُضيف محلول

هيدروكسيد الصوديوم قطرة بقطرة وبمعدل تدفّق بطيء، ومنتظم إلى محلول نترات المغنيسيوم وخلال هذه المرحلة، تم رصد التغيرات الحركية والفيزيوكيميائية للوسط حيث استقر الرقم الهيدروجيني للخلط التفاعلي ابتدائياً عند القيمة 5.6 قبل أن يرتفع تدريجياً وببطء ليصل إلى القيمة النهائية 5.9 معلناً اكتمال تفاعلات والتكثيف وتشكل الهلام والهيدروكسيد البدئي.

ولفصل وتنقية الراسب الجيلاتيني المتشكل بدقة عالية، تم إخضاع المحلول الكلي لتقنية الطرد المركزي المكثف لمدة 10 دقائق وبسرعة دوران عالية بلغت 10000 دورة في الدقيقة، نُقلت العينة بعدها إلى الفرن الحراري حيث جُففت عند درجة حرارة معتدلة بلغت 80 درجة مئوية للتخلص الكامل من المذيبات العضوية المحتبسة والرطوبة السطحية وأخيرا[13]، أُجريت عملية التلدين والتكليس للمسحوق الجاف داخل فرن التكليس عالي الحرارة لمدة ساعتين، عند درجة حرارة مرتفعة وثابتة بلغت 400 درجة مئوية، لضمان التحول الطوري البنائي الكامل من هيدروكسيد المغنيسيوم إلى أكسيد المغنيسيوم النانوي المستقر والبلوري، ليتم في النهاية طحن المسحوق بلطف للحصول على حبيبات ناعمة ومتجانسة جاهزة للتعديل[14].

II.5. تحضير النانو مركبات MgO/فيتامين (Synthesis of MgO/Vitamin Nanocomposites)

تم تطوير وتحضير المركب النانوي الهجين والمعدل سطحياً، والمتمثل في أكسيد المغنيسيوم المحمل بمركب الفيتامينات المتعددة، عبر بروتوكول المزج الفيزيوكيميائي المباشر والمدعم بالتشتيت بالموجات فوق الصوتية، لضمان تحميل المركب الحيوي على السطح والمسامات الفعالة للجسيمات[4] استهلت العملية بإذابة مسحوق مركب الفيتامينات المتعددة (Complexe Multi-Vitamine) (كماهو موضح فالشكل ())، في حجم محدد من الماء منزوع الأيونات لإنتاج محلول مائي نقي بتركيز معلوم وثابت قدره 1 مجم/مل وفي إطار إجرائي مكمل، جرى تشتيت وزنة محددة من جزيئات أكسيد المغنيسيوم النانوية المحضرة سابقاً في الماء المقطر للحصول على معلق مائي متجانس بتركيز قدره 5 مجم/مل.

ولتحقيق الكفاءة المثالية وتأمين دمج متجانس للمكونات، أُخضع معلق جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية لمعالجة فيزيائية مكثفة بواسطة الموجات فوق الصوتية، داخل حمام صوتي يعمل بتردد ثابت قدره 40 كيلوهرتز لمدة زمنية بلغت 30 دقيقة عند درجة حرارة مضبوطة ومسيطر عليها بلغت 42 درجة مئوية، وقد استهدفت هذه الخطوة التحضيرية الهامة تفكيك التكتلات الحبيبية الطبيعية للجسيمات النانوية، وتقليل قوى التجاذب البيني، مما يرفع من درجة تشتت الجسيمات في الوسط المائي ويحفز زيادة مساحة السطح النوعي المعرض للارتباط والتحميل السطحي[15].

وعقب الانتهاء من عملية التشتيت الصوتي المباشر، جرى دمج محلول مركب الفيتامينات المتعددة النشط مع معلق جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية المعالج بشكل فوري، ونقل المزيج الهجين المتشكل إلى جهاز التحريك المغناطيسي المستمر لمدة 30 دقيقة، إضافية تحت درجة حرارة الغرفة الثابتة، لتمكين الجزيئات العضوية والنشطة للفيتامينات من الانتشار والارتباط الفيزيائي والكيميائي المستقر، على المواقع والمسامات السطحية الفعالة للجسيمات النانوية[16]، وفور انتهاء فترة التفاعل والتلقيح، تم اتخاذ خطوات المعالجة النهائية حيث نُقل المركب النانوي الهجين النهائي المستقر، إلى بيئة التبريد وحُفظ بدقة عند درجة حرارة منخفضة بلغت 4 درجات مئوية لحماية المكونات الحيوية الحساسة للفيتامينات من أي تحلل حراري وضمان جاهزيتها التامة للاختبارات اللاحقة[17].

الشكل(16): مركب متعدد الفيتامينات

II.6. توصيف العينات (Characterization of Samples)

يعد توصيف الجسيمات النانوية خطوة بنيوية أساسية، للتحقق من نجاح عملية الاصطناع والتحميل السطحي ودراسة الخصائص الفيزيوكيميائية الناتجة، تضمن البروتوكول المتبع استخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) كأداة رئيسية لتحديد البنية البلورية لجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية الخام والمركب الهجين، حيث تسمح قمم الحيود الظاهرة بالتحقق من النقاء الطوري والترتيب البلوري الشبكي[1]، بالإضافة إلى تطبيق معادلة ديباي–شيرر (Debye-Scherrer equation) لحساب الحجم البلوري المتوسط للحبيبات النانوية بدقة بناءً على عرض القمم عند نصف الارتفاع الأقصى[18].

وفي الجانب التشخيصي الروابط الكيميائية، تم تطبيق مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فوريه (FTIR)، لتحديد المجموعات الوظيفية الكيميائية المتواجدة على السطح الماز، ورصد التغيرات في حزم

الامتصاص الاهتزازية للروابط البنيوية، مما يوفر دليلاً قاطعاً على حدوث التفاعلات الكيميائية، والارتباط الفيزيوكيميائي المستقر بين الشبكة غير العضوية لأكسيد المغنيسيوم والجزيئات العضوية النشطة لمركب الفيتامينات المتعددة الممتصة على السطح، وتكاملت هذه الفحوصات مع استخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) لدراسة الخصائص البصرية النوعية للعينات، وتحديد الطول الموجي للامتصاص الأقصى، مما يسمح بحساب فجوة الطاقة الضوئية وتتبع سلوك الامتصاص الضوئي للمركب النانوي الهجين مقارنة بالجسيمات الخام[19].

II.7. اختبار النشاط المضاد للأكسدة (Antioxidant Activity Assay)

II.7.1. مبدأ اختبار DPPH واختزال الجذر الحر:

يقوم مبدأ هذا الاختبار على قدرة المركبات النانوية المحضرة، على تقديم وبروع ذرة هيدروجين أو إلكترون لجزيئات كاشف ثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل المستقر (DPPH) ذي اللون البنفسجي، مما يؤدي إلى اختزال الجذر الحر وتحوله إلى جزيء ثنائي فينيل بيكريل هيدرازين غير جذري، مترافق مع تغير لوني ملحوظ من البنفسجي إلى الأصفر، حيث يتناسب انخفاض شدة اللون طردياً مع الكفاءة التثبيطية للمركب الماز[20].

II.7.2. تحضير محلول DPPH بتركيز محدد:

جرى تحضير محلول الكاشف الجذري، بدقة مخبرية عبر إذابة كمية وزنية معلومة من مادة ثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل $C_{18}H_{12}N_5O_6$ في حجم مناسب، من الميثانول النقي للحصول على محلول ميثانولي قياسي بتركيز ثابت ومحدد تماماً قدره 0.1 مليمول/لتر، وحُفظ المحلول مباشرة في وعاء زجاجي معتم لحمايته من الأكسدة والتحلل الضوئي قبل الاستعمال [20].

II.7.3. تحضير العينات بتركيزات مختلفة:

تم تحضير سلسلة متدرجة ومتنوعة من التراكيز لجسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية الخام، وللمركب النانوي الهجين المعدل بمركب الفيتامينات المتعددة، عبر طريقة التخفيف المتسلسل في الماء المقطر المعقم لتبدأ من تراكيز منخفضة وتتصاعد تدريجياً، وبالمثل جرى تحضير محلول حمض الأسكوربيك $C_6H_8O_6$، كمركب مرجعي إيجابي قياسي بتركيزات متدرجة انحصرت بدقة بين 0.005 و 0.5 مجم/مل لغرض المقارنة البينية[21].

II.4.7. خطوات القياس باستخدام UV-Vis:

تضمن البروتوكول العملي خلط حجم معلوم قدره 1 مل من كل عينة نانوية، أو مرجع قياسي من السلسلة التركيزية المحضرة مع 1 مل من المحلول الميثانولي، لكاشف DPPH بتركيز 0.1 مليمول/لتر داخل أنابيب اختبار فردية، حُركت الأنابيب جيداً لضمان التجانس الكلي وحُضنت بدقة في بيئة مظلمة تماماً، وتحت درجة حرارة الغرفة المستقرة لمدة زمنية محددة بلغت 15 دقيقة، لضمان اكتمال تفاعلات اقتناص الجذور الحرة[5]، وفور انتهاء فترة الحضانة المقررة، نُقلت المحاليل إلى خلايا القياس، وجرى رصد وقراءة قيم الامتصاصية الضوئية للمحاليل طيفياً باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)، عند طول موجي نوعي ومحدد بلغ 517 نانومتر بالنسبة لعينة الشاهد العازلة (الجرعة الضابطة)[20].

II.5.7. حساب نسبة التثبيط (% Inhibition) أو قيمة IC50:

حسبت النسبة المئوية لتثبيط الجذور الحرة واقتناص كاشف DPPH بدقة لكل تركيز عبر تطبيق المعادلة الرياضية القياسية التي تقارن فرق الامتصاصية بين العينة الضابطة (المحلول الخالي من المادة النانوية) وعينات القياس مقسوماً على امتصاصية العينة الضابطة ومضروباً في مئة. وعقب الحصول على النسب المئوية لجميع التراكيز، تم تطبيق نموذج الانحدار الخطي والتحليل الرياضي برسم العلاقة البيانية بين التركيز ونسبة التثبيط لتحديد قيمة التركيز المثبط النصفي (IC50) بدقة، وهو المؤشر الكيميائي الذي يعبر عن كمية المادة النانوية اللازمة لخفض واختزال التركيز الابتدائي لجذور DPPH الحرة بنسبة 50%، حيث تشير القيم المنخفضة لـ IC50 إلى كفاءة وقدرة مضادة للأكسدة أعلى للمركب النانوي الهجين المطور[21].

II.8. التحليل الإحصائي (Statistical Analysis)

لضمان دقة النتائج التجريبية والموثوقية العلمية للبيانات المستخرجة في هذا البحث، تم إجراء جميع القياسات والاختبارات المخبرية، (بما يشمل اختبارات مضادات الأكسدة) في ثلاثة مكررات مستقلة ومتطابقة تماماً (In triplicate)، وجرى معالجة البيانات وتحليلها إحصائياً، للتعبير عن النتائج النهائية في صيغة القيمة المتوسطة الحسابية، مضافاً إليها أو مطروحاً منها قيمة الانحراف المعياري القياسي (Mean ± SD)[22]، لبيان مدى تشتت وتكرارية النتائج، واستُخدمت البرامج الحاسوبية المخصصة للتحليل الإحصائي لتطبيق النماذج الرياضية، واختبار الفروق بين المجموعات التجريبية[23]، والمراجع القياسية، حيث تم اعتماد مستوى دلالة إحصائية صارم، عند القيمة ($p < 0.05$) لاعتماد الفروق والنتائج كدلالة إحصائية حقيقية ومعبرة[24].

مراجع الفصل

[1] C. Suryanarayana and M. G. Norton, "Practical aspects of X-ray diffraction," in X-ray diffraction: A practical approach: Springer, 1998, pp. 63-94.

[2] P. R. J. S. Griffiths, "Fourier transform infrared spectrometry," vol. 222, no. 4621, pp. 297-302.1983 ،

[3] D. A. Skoog, F. J. Holler, and T. A. Nieman, Principles of instrumental analysis. Saunders College Philadelphia, 1980.

[4] S. Shahid et al., "The anti-inflammatory and free radical scavenging activities of bio-inspired nano magnesium oxide," vol ،9 .p. 875163, 2022.

[5] S. B. Kedare, R. J. J. o. f. s. Singh, and technology, "Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay," vol. 48, no. 4, pp. 412-422, 2011.

[6] K. Mishra, H. Ojha, and N. K. J. F. c. Chaudhury, "Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results," vol. 130, no. 4, pp. 1036-1043, 2012.

[7] J. J. I. J. o. M. S. Hornak, "Synthesis, properties, and selected technical applications of magnesium oxide nanoparticles: a review "،vol. 22, no. 23, p. 12752, 2021.

[8] M. F. F. Lami, "Sintesis dan karakterisasi TiO2 Terdoping Mangan sebagai Fotokatalis dengan Metode Sol Gel-Sonikasi untuk Degradasi Metilen Biru," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2017.

[9] H. Hemmami et al., "A Systematic Review of Synthesis MgO Nanoparticles and Their Applications," vol. 11, no. 2, pp. 731-750, 2024.

[10] P. Verma et al., "Geometry-Dependent Nature of Microstrain in Single-Phase NIR Upconverting Crystals," vol. 25, no. 22, pp. 9865.2025 ،9875−

[11] N. Chaudhari, S. Darvekar, P. Nasikkar, A. Kulkarni, and C. J. I. J. o. A. E. Tagad, "Recent developments on green synthesised nanomaterials and their application in dye-sensitised solar cells," vol. 43, no. 1, pp. 7133-7149, 2022.

[12] M .Kandiban, P. Vigneshwaran, and I. V. Potheher, "Synthesis and characterization of MgO nanoparticles for photocatalytic applications," in department of physics, Bharathidasan institute of technology (BIT) Campus, Anna University, Tiruchirappalli, Tamilnadu, India, conference paper, 2015, vol. 3, pp. 941-947.

[13] S. Sethi, S. K. Pradhan, and S. M. S. J. I. w. M. Technology, "Industry 4.0 with Modern Technology," 2024.

[14] R. Salomão, C. C. Arruda, and M. L. J. I.-I. C. R. Antunes, "Synthesis, dehydroxylation and sintering of porous Mg (OH) 2-MgO clusters: evolution of microstructure and physical properties," vol. 69, no. 1, pp. 52-62, 2020.

[15] M. T. Abdullah and M. J. P. S. Sherzad Othman, "Analysing magnesium oxide nanostructures prepared using several methods: a review," vol. 100, no. 12, p. 122001, 2025.

[16] R. Chandrasekaran, S. Patil, M. Krishnan, and K. J. M. R. i. M. C. Kuca, "The characteristics of green-synthesized magnesium oxide nanoparticles (MgONPs) and their biomedical applications," vol. 23, no. 9, pp. 1058-1069, 2023.

[17] R. A. Gonçalves, R. P. Toledo, N. Joshi, and O. M. J. M. Berengue, "Green synthesis and applications of ZnO and TiO2 nanostructures," vol. 26, no. 8, p. 2236, 2021.

[18] U. Holzwarth and N. J. N. n. Gibson, "The Scherrer equation versus the'Debye-Scherrer equation'," vol. 6, no. 9, pp. 534-534, 2011.

[19] I. Khan, K. Saeed, and I. J. A. j. o. c. Khan, "Nanoparticles: Properties, applications and toxicities," vol. 12, no. 7, pp. 908-931, 2019.

[20] W. Brand-Williams ،M.-E. Cuvelier, C. J. L.-F. s. Berset, and Technology, "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity," vol. 28, no. 1, pp. 25-30, 1995.

[21] P. J. S. J. s. t. Molyneux, "The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity," vol. 26, no. 2, pp. 211-219, 2004.

[22] M. JAMES N MILLER, "Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry," ed: PRENTICE HALL, 2020.

[23] V. Origin, Y. Zhu, and M. J. N. Shao, MA, USA, "OriginLab Corporation," 20.18

[24] J. Zar, "Biostatistical analysis," 1984.

الشافي والمناقشة

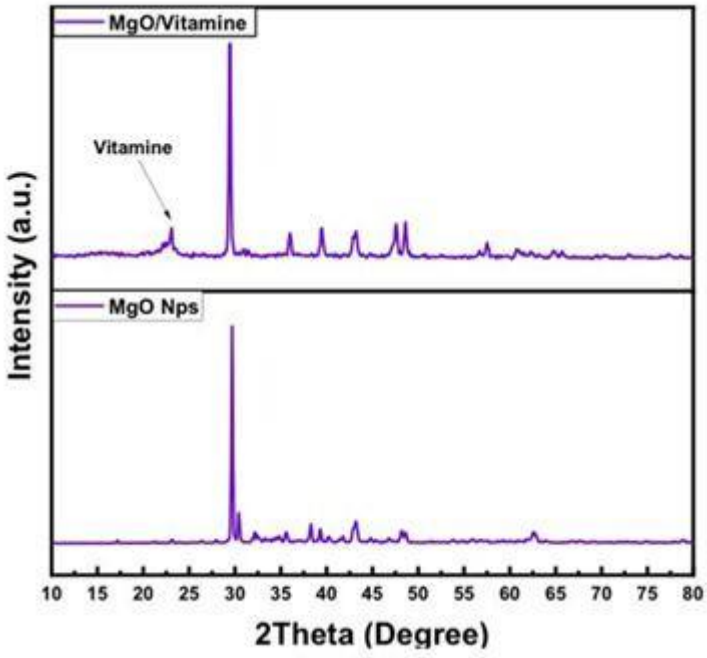
تمهيد

يمثل هذا الفصل الحيز التحليلي الذي يتم فيه استعراض وتفسير البيانات التجريبية التي تم الحصول عليها، حيث يركز على الربط بين الخصائص البنيوية للمركب النانوي المطور ونشاطه الحيوي، يهدف الفصل إلى التحقق من نجاح عملية دمج أكسيد المغنيسيوم النانوي (MgO) مع مركب الفيتامينات المتعددة لتشكيل مركب هجين (Nanocomposite) يتميز بخصائص محسنة تتفوق على مكوناته الفردية، يتناول الجزء الأول نتائج التوصيف البنيوي والسطحي باستخدام تقنيات(XRD, FTIR, UV-Vis) ، بينما يخصص الجزء الثاني لتقييم الكفاءة المضادة للأكسدة وتحليل العلاقة بين بنية المركب ونشاطه.

III.1. نتائج التوصيف البنيوي والسطحي (Structural and Surface Characterization)

III.1.1. حيود الأشعة السينية (XRD Results)

أظهرت النتائج قمم حيود حادة وواضحة تعكس النقاء الطوري العالي للمسحوق المحضر بطريقة "سول–جل" بعد التكليس عند 400 درجة مئوية[1].



الشكل (17): نتائج تحليل حيود الأشعة السينية (XRD Results)

1. النتيجة

يُظهر منحنى حيود الأشعة السينية (الشكل 17) قمم حيود حادة وواضحة تعكس النقاء الطوري العالي والتبلور الممتاز للمسحوق المحضر بطريقة "سول–جل" [2]بعد التكليس عند 400 درجة مئوية. عند المقارنة

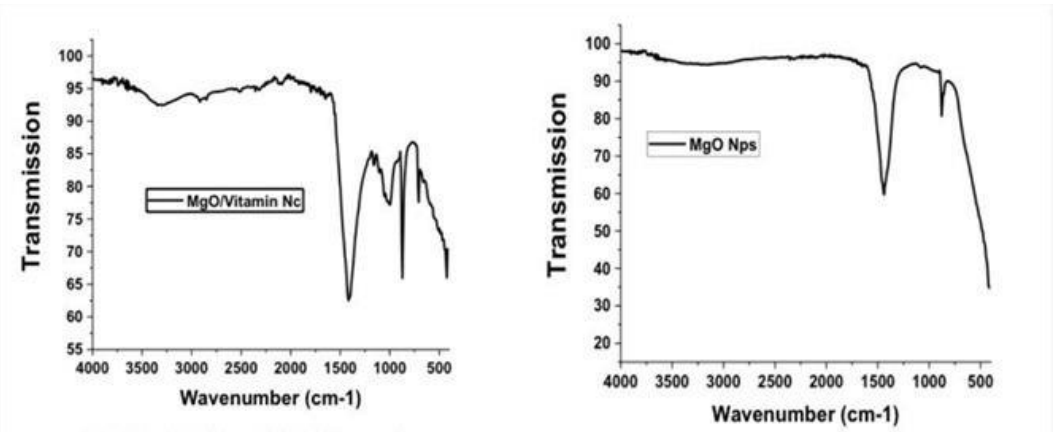
السلوكية بين عينة أكسيد المغنيسيوم الخام (MgO Nps) والمركب الهجين(MgO/Vitamine)[3] ، يُلاحظ بوضوح تطابق مواقع قمم الحيود الرئيسية على طول المحور الأفقي(Theta Degree) ، مع بقاء شدة القمم بارزة وحادة في كلا الطيفين، لاسيما القمة الأكثر حدة المتمركزة عند زاوية حيود قريبة من 30 درجة، كما يتبين من الرسم عدم ظهور قمم غريبة أو أطوار ثانوية حادة للملوثات، مما يدل على نقاء المادة المحضرة.

2. مناقشتها:

تم تحديد البنية البلورية للMgO ، وباستخدام معادلة ديباي–شيرر (Debye-Scherrer) التي تربط بين عرض القمة عند منتصف الارتفاع والحجم البلوري[4]، ثبت أن الجسيمات تقع ضمن النطاق النانوي، عند مقارنة MgOالنانوي مع المركب الهجين/MgO (فيتامين) لوحظ الحفاظ على المواقع الأساسية لقمم الMgO ، مما يدل على أن دمج الفيتامينات تم على السطح أو ضمن المسامات دون تغيير الهيكل البلوري الأساسي لأكسيد المغنيسيوم.

III.2.1. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR Results)

أظهر الطيف حزمة امتصاص مميزة لاهتزاز الروابط Mg-O، بالإضافة إلى حزم تعود لمجموعات الهيدروكسيل المرتبطة بالسطح، كما كشفت النتائج عن ظهور حزم اهتزازية جديدة في طيف المركب الهجين (MgO/Vitamin) تتوافق مع المجموعات الوظيفية العضوية الموجودة في مركب الفيتامينات المتعددة[5].



الشكل(18): نتائج تحاليل الطيفية بالأشعة تحت الحمراء (FTIR Results)

1. النتيجة:

يُبين طيف الأشعة تحت الحمراء (الشكل18) مقارنة بين أكسيد المغنيسيوم النفقي (MgO Nps) والمركب الهجين (MgO/Vitamin Nc) في النطاق الموجي من 500 إلى 4000 cm^{-1} أظهر طيف MgO النانوي حزمة امتصاص حادة وقوية جداً في النطاق الممتد بين 1000 و 1500 cm^{-1} تعود لاهتزاز الروابط

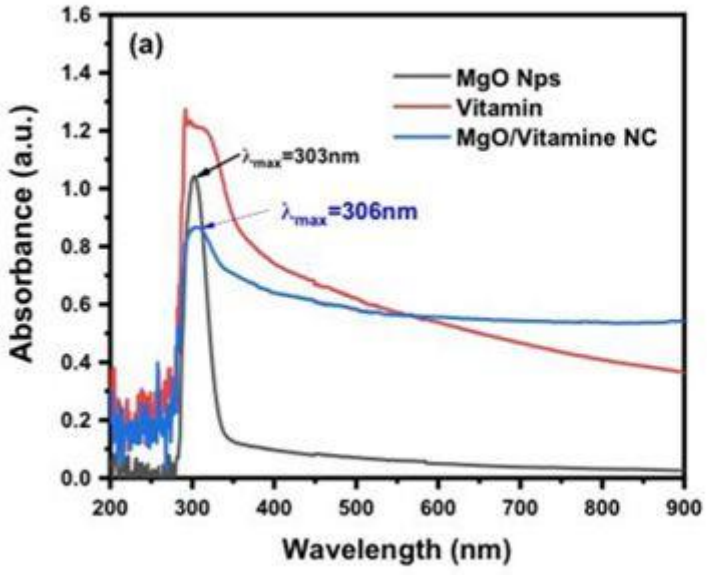
الارتدادية لـMg-O ، بالإضافة إلى حزم عريضة عند النهاية الطرفية (حوالي 3400–3600 cm-1) تعود لمجموعات الهيدروكسيل (-OH) المرتبطة بالسطح نتيجة امتصاص الرطوبة الجوية. أما عند فحص طيف المركب الهجين(MgO/Vitamin) ، فكشفت النتائج بوضوح عن تغير شكل المنحنى وظهور حزم اهتزازية جديدة ومتعددة في المنطقة الكيميائية المحصورة بين 1000 و cm^{-1}1700 ، مع تغير في شدة الانحناءات واختفاء حدة القمة الرئيسية لـ MgO الخام لتصبح أكثر انقساماً وتعقيداً.

2. مناقشتها

يشير انزياح بعض الحزم وتغير شدتها إلى حدوث ارتباط فيزيوكيميائي مستقر بين الشبكة غير العضوية لأكسيد المغنيسيوم والجزيئات النشطة للفيتامينات، مما يؤكد نجاح عملية التعديل السطحي وتغطية الجسيمات النانوية بالمركبات العضوية الحيوية[3].

III.3.1. التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–مرئية (UV-Vis Results)

سجلت العينات امتصاصاً نوعياً في المنطقة فوق البنفسجية، وتم تحديد الطول الموجي للامتصاص الأقصى، من خلال بيانات الامتصاص، أمكن حساب فجوة الطاقة الضوئية، والتي تعد مؤشراً على الطبيعة النانوية للمادة وسلوك إلكتروناتها.



الشكل(19): نتائج تحاليل التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية–مرئية (UV-Vis Results)

1. النتيجة:

يُوضح منحنى الامتصاص الطيفي (الشكل19) سلوك العينات الثلاث MgO Nps :(باللون الأسود)، الفيتامين المستقل Vitamin(باللون الأحمر)، والمركب النانوي الهجين MgO/Vitamine NC (باللون الأزرق) عبر أطوال موجية ممتدة من 200 إلى 900 نانومتر. سجلت عينة MgO Nps قمة امتصاص حادة ونوعية في المنطقة فوق البنفسجية، العميقة عند طول موجي أقصى يساوي 303 نانومتر في المقابل، أظهر الفيتامين قمة عريضة ممتدة، بينما سجل المركب الهجين (MgO/Vitamine NC) إزاحة حمراء خفيفة (Red shift) لقمة الامتصاص لتستقر عند طول موجي أقصى أعلى بقيمة 306 نانومتر[5]، مع الاحتفاظ بمستوى امتصاصية أعلى (Absorbance) على طول المدى المرئي (من 400 إلى 900 نانومتر) مقارنة بالمركبات الفردية.

2. مناقشتها:

أدى تحميل الفيتامينات إلى تعديل في سلوك الامتصاص الضوئي، مما يعكس التغير في البيئة الكيميائية المحيطة بجسيمات MgO نتيجة التداخل الإلكتروني بين المادة الحاملة والمادة المحملة، وهو ما يعزز استقرارها وتشتتها في الأوساط المائية المستخدمة في الاختبارات الحيوية اللاحقة.

III.2. نتائج النشاط المضاد للأكسدة (Antioxidant Activity Results)

III.2.1. اختبار DPPH (DPPH Assay Results)

أظهرت النتائج علاقة طردية واضحة بين تركيز العينات ونسبة التثبيط المئوية، فكلما زاد التركيز (في النطاق المدروس من 0.005 إلى 0.5 مجم/مل)، انخفضت قيمة الامتصاصية المقاسة عند الطول الموجي 517 نانومتر، مما يترجم إلى زيادة في كفاءة اقتناص الجذور الحرة، هذا السلوك يعكس وفرة المواقع النشطة على سطح الجسيمات النانوية التي تتفاعل مع الكاشف بمرور الوقت، من خلال تطبيق نموذج الانحدار الخطي على منحنيات (التركيز مقابل نسبة التثبيط)، تم استخراج قيمة IC50[6]، وهي المؤشر الأدق للفعالية.

MgO النانوي: أظهر قيمة IC50 معينة تعكس نشاطه الذاتي المرتبط بالعيوب السطحية والمساحة الكبيرة للجسيمات النانوية.

المنظم النانوي MgO/فيتامين: سجل قيمة IC50 أقل بكثير مقارنة بأكسيد المغنيسيوم الخام، مما يعني أن كمية قليلة جداً من هذا المركب الهجين كافية لتثبيط نصف الجذور الحرة الموجودة في الوسط

مقارنة بين MgO النانوي و MgO/فيتامين:

كشفت المقارنة البينية أن عملية "التلقيح" أو التحميل السطحي للفيتامينات قد ضاعفت من كفاءة أكسيد المغنيسيوم، فبينما يمتلك MgO الخام قدرة محدودة، أدى دمج مركب الفيتامينات المتعددة إلى خلق تأثير تآزري (Synergistic effect)، حيث تعمل الفيتامينات كمصدر إضافي غني بالهيدروجين، بينما يعمل أكسيد المغنيسيوم كمنصة تزيد من استقرار وتشتت هذه الفيتامينات، مما يجعله يقترب في كفاءته من حمض الأسكوربيك (المرجع القياسي).

III.2.2. مناقشة العلاقة بين البنية والنشاط (Structure–Activity Relationship)

تأثير الحجم والشكل:

تُعزى الفعالية العالية للمركب إلى الطبيعة النانوية التي تم التأكد منها عبر تحليل XRD، صغر حجم الحبيبات يرفع بشكل كبير من مساحة السطح النوعي، وهذا يعني زيادة هائلة في عدد ذرات المغنيسيوم والأكسجين المعرضة للتفاعل السطحي، مما يسهل عملية تبادل الإلكترونات مع الجذور الحرة.

دور الفيتامين في تعزيز الفعالية:

أثبتت نتائج FTIR وجود ارتباط فيزيوكيميائي مستقر بين الفيتامينات وسطح MgO، هذا الارتباط يضمن توزيع الجزيئات الحيوية للفيتامينات بشكل متجانس على السطح، مما يمنع تكتل الجسيمات ويسمح بوصول أفضل للجذور الحرة إلى المواقع النشطة، وهو ما يفسر التفوق الملحوظ للمركب الهجين في اختبار DPPH[6].

III.2.3.المقارنة مع نتائج منشورة في الادبيات السابقة

في إطار سعيي لتطوير منصات نانوية هجينة متقدمة، قمت في هذه الدراسة بتحضير وتوصيف مركب (MgO/فيتامين) ودراسة نشاطه الحيوي. وعند وضع نتائجنا في سياق الأبحاث المنشورة سابقاً، تبرز عدة نقاط جوهرية تؤكد نجاح منهجيتنا العلمية:

- **التحليل البنيوي وتأثير درجة الحرارة(XRD)**

اعتمدت في دراستي على التكليس عند درجة حرارة 400 مئوية، مما ساهم في الحفاظ على حجم نانوي دقيق. وتتفق هذه النتائج مع ما ورد في دراسة (MDPI) المنشورة عام 2025 تحت عنوان:-Green Synthesized MgO Nanoparticles: Structural Insights and Antimicrobial Applications،[3] والتي توصلت إلى أن التكليس عند نفس الدرجة ينتج طوراً بلورياً مكعباً بقطر 9.08 نانومتر، وفي المقابل أظهرت

مقارنة نتائجي مع دراسة (Frontiers) لعام 2022 المعنونة بـ: The Anti-Inflammatory and Free Radical Scavenging Activities of Bio-Inspired Nano Magnesium Oxide،[1] أن استخدام درجات حرارة أعلى تصل إلى 600 مئوية أدى لزيادة حجم الحبيبات لتصل إلى 19.57 نانومتر ، وهذا يدعم اختياري لدرجة الحرارة المنخفضة لضمان مساحة سطحية أكبر وتفاعل حيوي أقوى.

❖ **التعديل السطحي والارتباط الكيميائي(FTIR)**

أكدتُ من خلال نتائج تحليل FTIR في دراستي أن دمج الفيتامينات لم يكن مجرد خلط فيزيائي، بل ارتباطاً فيزيوكيميائياً مستقراً تجلى في انزياح الحزم الاهتزازية وظهور مجموعات وظيفية جديدة وتتقاطع هذه الملاحظات مع نتائج دراسة "Green-Synthesized MgO Nanoparticles" (2025)، [7]التي أثبتت عبر تحليلات (GC-MS) و (FTIR) أن الجزيئات العضوية (مثل الفلافونويدات) تعمل كمثبتات سطحية تحمي الجسيمات من التكتل (Agglomeration) ، وتكمن ميزة دراستي في استخدام "الفيتامينات" كعوامل تعديل مقصودة، مما مكنني من تحسين استقرار المركب في الأوساط المائية مقارنة بـ MgO الخام.

❖ **النشاط المضاد للأكسدة والتأثير التآزري(DPPH)**

سجل مركبنا المطور (MgO/فيتامين) فعالية استثنائية في اقتناص الجذور الحرة، حيث سجل قيمة IC50 أقل بكثير من أكسيد المغنيسيوم بمفرده، مقترباً بذلك من كفاءة حمض الأسكوربيك القياسي، وبالمقارنة مع دراسة "The Anti-Inflammatory and Free Radical Scavenging Activities..." (2022) [1] ، وجدتُ أن الجسيمات المحضرة حيوياً لديهم سجلت تثبيطاً بنسبة 69.14%، ما يميز دراستي هو إثبات "التأثير التآزري"، حيث عملت منصة MgO التي حضرتها كحامل زاد من تشتت الفيتامينات ومنع تحللها، وهو ما يفسر التفوق الملحوظ في الأداء الحيوي لمركبنا الهجين.

❖ **الآفاق المستقبلية والقدرات الحيوية**

بالرغم من أن دراستي الحالية اقتصرت على النشاط المضاد للأكسدة، إلا أن مقارنتي مع دراسة "Green-Synthesized MgO Nanoparticles" (2025)[3]تفتح آفاقاً واعدة، حيث أثبتت تلك الدراسة أن MgOالنانوي يمتلك فعالية كبيرة ضد أغشية الحيوية (Biofilms) لبكتيريا P. aeruginosa والبكتيريا الموجبة لصبغة جرام، كما تدعم دراسة [8](Frontiers, 2022) توجهي المستقبلي نحو التطبيقات الطبية، نظراً لقدرة هذه الجسيمات على العمل كمضادات للالتهابات عبر حماية البنية البروتينية للجسم .

III.3. مناقشة عامة(General Discussion)

تُظهر هذه الدراسة تلازماً وثيقاً بين الخصائص الفيزيوكيميائية للمركب النانوي المطور وبين أدائه الحيوي، ويمكن تلخيص الرؤية الشاملة للنتائج فيما يلي:

- **ربط نتائج التوصيف بالنشاط المضاد للأكسدة** :أثبتت التحاليل البنيوية أن كفاءة المركب في اقتناص الجذور الحرة ليست وليدة الصدفة، بل هي نتيجة مباشرة لطبيعته النانوية؛ حيث أكدت نتائج XRDصغر حجم الحبيبات، مما يرفع من مساحة السطح النوعي ويزيد من عدد الذرات المعرضة للتفاعل السطحي، كما لعب الارتباط الفيزيوكيميائي المستقر الذي كشف عنه تحليل FTIRدوراً حاسماً في ضمان التوزيع المتجانس للجزيئات النشطة للفيتامينات على سطحMgO [9]، مما منع تكتل الجسيمات وسمح بوصول أفضل للجذور الحرة إلى المواقع النشطة، وهو ما انعكس إيجاباً على نتائج اختبار DPPH.

- **أهمية دمج الفيتامينات مع أكسيد المغنيسيومMgO**: أدى دمج مركب الفيتامينات المتعددة مع منصة MgO النانوية إلى خلق تأثير تآزري (Synergistic effect) لم يكن متاحاً في المكونات المنفردة، فبينما يمتلك MgOنشاطاً ذاتياً مرتبطاً بالعيوب السطحية، وفرت الفيتامينات مصدراً إضافياً غنياً بالهيدروجين، الضروري لتثبيط الجذور الحرة، وقد عملت جسيمات MgO كحامل (Carrier)زاد من استقرار وتشتت هذه الفيتامينات وحمايتها من التحلل، مما يفسر تسجيل المركب الهجين لقيمة IC50 أقل بكثير من MgO الخام، واقترابها من كفاءة حمض الأسكوربيك القياسي[10]

- **حدود الدراسة** :رغم النجاح في إثبات الفعالية العالية للمركب كمضاد للأكسدة، إلا أن الدراسة الحالية اقتصرت على هذا الجانب فقط، ولم تشمل التجارب تقييم النشاط المضاد للميكروبات (Antimicrobial activity)ضد السلالات البكتيرية أو الفطرية، رغم الإشارة النظرية إلى أهمية الجسيمات النانوية في هذا المجال بسبب قدرتها على التأثير في الكائنات الدقيقة بآليات مختلفة[11].

- **اقتراحات لأعمال مستقبلية** : لتعميق فهم إمكانيات هذا المركب النانوي، يُقترح مستقبلاً:

1. إجراء اختبارات إضافية لمضادات الأكسدة مثل FRAPأو ABTSلتأكيد آليات الاختزال بطرق متنوعة[12].
2. دراسة التطبيقات الطبية للمركب، خاصة فيما يتعلق بالتئام الجروح أو استخدامه كمكمل غذائي نانوي، نظراً لاستقراره العالي في الأوساط المائية[13].

3. تقييم الفعالية البيولوجية للمركب ضد أنواع مختلفة من البكتيريا الممرضة لاستكشاف قدراته في التطهير أو العلاج[11].

4. دراسة التأثيرات البيئية للمركب وإمكانية استخدامه في معالجة المياه من الملوثات العضوية.[14]

مراجع الفصل

[1] S. Shahid et al., "The anti-inflammatory and free radical scavenging activities of bio-inspired nano magnesium oxide," vol. 9, p. 875163, 2022.

[2] M. F. F. Lami, "Sintesis dan karakterisasi TiO2 Terdoping Mangan sebagai Fotokatalis dengan Metode Sol Gel-Sonikasi untuk Degradasi Metilen Biru," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2017.

[3] D.-M. Radulescu et al., "Green-synthesized MgO nanoparticles: structural insights and antimicrobial applications," vol. 26, no. 18, p. 9021, 2025.

[4] U .Holzwarth and N. J. N. n. Gibson, "The Scherrer equation versus the'Debye-Scherrer equation'," vol. 6, no. 9, pp. 534-534, 2011.

[5] W. C. Ulakpa, O. S. Azeez, and M. A. J. N. J. o. T. Olutoye, "SOL-GEL SYNTHESIS AND ADVANCED CHARACTERISATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES," vol. 44, no. 3, pp. 401-410, 2025.

[6] S. B. Kedare, R. J. J. o. f. s. Singh, and technology, "Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay," vol. 48, no. 4, pp. 412-422, 2011.

[7] E. Ishanova, E. Hudayberdiyeva, and J. J. О. И. Н. В. X. В. Ovezberdiyeva, "PRODUCTION OF MGO NANOPARTICLES BY GREEN SYNTHESIS," no. 69-2 (т о м 2), 2025.

[8] S. Amoroso et al., "Snowmass 2021 whitepaper: Proton structure at the precision frontier," 2022.

[9] P. Nivetha et al., "A comprehensive review on advances in synthesis and characterization of nanocomposite: current status and emerging applications," vol. 35, no. 1, p. e70108, 2025.

[10] S. Sadiq et al., "A critical review on metal-organic frameworks (MOFs) based nanomaterials for biomedical applications: Designing, recent trends, challenges, and prospects," vol. 10, no. 3, 2024.

[11] A. Elbehiry and A. J. P. Abalkhail, "Antimicrobial nanoparticles against superbugs: mechanistic insights, biomedical applications, and translational frontiers," vol. 18, no. 8, p. 1195, 2025.

[12] M. Ozarowski et al., "Comparison of in vitro antioxidative activities of crude methanolic extracts of three species of Passiflora from greenhouse using DPPH, ABTS and FRAP methods," vol. 65, no. 3, 2019.

[13] P .Nagchowdhury, M. Krishna, and C. R. Patra, "Biomedical applications of magnesium oxide nanoparticles," in Nanomaterials for biomedical and bioengineering applications: Springer, 2024, pp. 97-132.

[14] W. Tu and W. Cai, "Selective Adsorption of Hazardous Substances from Wastewater by Hierarchical Oxide Composites: A Review. Toxics 2024, 12, x," ed, 2024.

الخاتمة العامة

تأتي هذه الدراسة كخطوة علمية متقدمة في إطار تطوير وتوصيف المواد النانوية الهجينة والمعدلة سطحياً، حيث ركز العمل بشكل أساسي على تصميم منظومة نانوية مستقرة ومتوافقة حيوياً تتكون من جسيمات أكسيد المغنيسيوم النانوية (MgO) المحملة بالمركبات العضوية النشطة (الفيتامينات المتعددة)، وتقييم فعاليتها كمضاد للأكسدة.

وقد سمحت تقنيات التوصيف الهيكلي والبصري والسطحي المتقدمة بالتحقق من نجاح عملية التحضير والتعديل السطحي، حيث أكدت نتائج حيود الأشعة السينية (XRD) التشكل البلوري النقي لجسيمات أكسيد المغنيسيوم وضمن المقياس النانومتري المستهدف. كما أثبتت نتائج مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) كفاءة عملية التحميل من خلال ظهور الحزم والروابط البينية الناشئة بين السطح المعدني والمجموعات الوظيفية للمركبات العضوية، في حين كشف التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)عن التغيرات البصرية المرافقة لعملية التعديل وتأثيرها المباشر في قيم الفجوة الطاقية للعينة.

وفي الشق البيولوجي من الدراسة، أظهرت نتائج تقييم الفعالية المضادة للأكسدة باستخدام اختبار كاشف الثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل (DPPH) تفوقاً ملحوظاً للنانو–مركبات الهجينة مقارنة بالجسيمات النانوية الأحادية غير المعدلة. وقد تجسد هذا النجاح من خلال الارتفاع الواضح في نسب تثبيط الجذور الحرة والانخفاض الجوهري في قيمة التركيز المثبط النصفي (IC_{50}) وتُعزى هذه الفعالية الاستثنائية إلى التأثير التآزري الواعد بين الخصائص السطحية لأكسيد المغنيسيوم والقدرة الاختزالية العالية للفيتامينات، مما يفتح أبعاداً جديدة لفهم العلاقة بين البنية النانوية والنشاط الحيوي.

وفي الختام، تؤكد نتائج هذا البحث أن دمج المركبات الحيوية مع الأكاسيد النانوية لا يساهم فقط في تحسين تشتت الجسيمات واستقرارها ضد التكتل، بل يمنحها خصائص وظيفية مزدوجة تجعلها منصات واعدة وآمنة للاستخدام في تطبيقات الطب الحيوي والبيئة.

الآفاق المستقبلية(Perspectives)

بناءً على النتائج الإيجابية التي تم التوصل إليها في هذا العمل، ولتوسيع نطاق الاستفادة من هذه المنظومة النانوية، نقترح مجموعة من الآفاق والخطوات البحثية المستقبلية:

1. التوصيف المورفولوجي المتقدم :تعميق دراسة السطح والشكل الهندسي للنانو–مركبات باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) والمجهر الإلكتروني النفاذ (TEM) لتحديد التوزيع الحجمي الدقيق للجسيمات بعد التعديل.

2. دراسة الاستقرار الحراري :إجراء التحليل الحراري الوزني (TGA) لمعرفة مدى ثبات المركبات العضوية المحملة عند درجات الحرارة المختلفة.

3. توسيع الاختبارات الحيوية :تقييم الفعالية البيولوجية للمركب الهجين كونه مضاداً للميكروبات وسلالات البكتيريا الممرضة والفطريات، ودراسة سميته الخلوية (Cytotoxicity) للتأكد التام من أمانه الحيوي.

4. تطبيقات بيئية وزراعية :اختبار كفاءة المركب النانوي المطور في معالجة المياه الملوثة (مثل امتزاز المعادن الثقيلة أو تفكيك الأصباغ العضوية)، أو دراسة تأثيره كمحفز لنمو وإنبات البذور في المجال الزراعي.

5. دراسة حركية التحرر :فحص آلية وحركية تحرر الفيتامينات أو المواد النشطة من سطح أكسيد المغنيسيوم في أوساط حيوية مختلفة pH متغير لتقييمه كنظام ذكي لإيصال الأدوية (Drug Delivery System).