جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ميسان/كلية التربية الاساسية
قسم العلوم العامة / فرع الفيزياء

دراسة الخواص البصرية لجسيمات اوكسيد النحاس النانوية المحضرة بالطريقة الخضراء

بحث تقدم به الطلبة :

1. جواد كامل جعفر
2. حوراء هاشم عبد الحسن

الى مجلس كلية التربية الاساسية في جامعة ميسان وهو جزء لنيل شهادة البكالوريوس في قسم العلوم العامة - فرع الفيزياء

بأشراف

أ.م.د هديل صالح مهدي

١٤٤٧هـ

2026م

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

﴿ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ ﴾

صدق الله العلي العظيم

سورة الزمر – آية9

الإهداء

الحمد لله أولًا وآخرًا، ظاهرًا وباطنًا، على ما أنعم به علينا من توفيقٍ في بداية الطريق، وعلى ما أكرمنا به من تمامٍ في نهايته. ﴿وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾. لم تكن رحلتنا سهلة، ولم يكن الطريق خاليًا من العقبات، لكننا بفضل الله وعونه، وبإصرارنا وعزيمتنا، بلغنا هذه اللحظة التي حلمنا بها طويلًا. نهدي هذا النجاح لأنفسنا الطموحة التي آمنت أن المثابرة تصنع الإنجاز، ثم نهديه إلى كل من كان معنا خطوة بخطوة في مسيرتنا الجامعي. نهدي تخرجنا إلى

آبائنا الأعزاء :

الذين كانوا لنا السراج الذي لا ينطفئ، بذلوا الجهد والوقت ليكون طريقنا ممهدًا، فكنتم القدوة والداعمين الأوائل، وها نحن اليوم نفي بوعدنا لكم.

أمهاتنا الغاليات

جنة الله في الأرض، اليد الحانية التي أزالت عن طريقنا الأشواك، والداعمة الأولى التي غرست فينا الأخلاق قبل العلم، فكنتنّ رفيقات دربنا وصديقات قلوبنا.

إخوتنا وأخواتنا :

السند الذي لا يزول، والكتف الذي نستند إليه في ضعفنا، زرعتم فينا الثقة والإصرار، فكنتم شركاء حقيقيين في هذا النجاح.

واصدقائنا العزاء الذين شاركونا الأفكار، وساندونا في لحظات التعب، فكنتم جزءًا من هذه الرحلة التي لن تُنسى.وأخيرًا، نهدي هذا الإنجاز إلى كل من آمن بنا ودعمنا ولو بكلمة أو دعاء، فأنتم جميعًا شركاء في هذه الفرحة. والحمد لله الذي أتمّ لنا هذا التخرج بخير، وجعل يوم حصادنا يومًا ينسينا عناء الطريق، ويمنحنا الأمل لبداية جديدة في ميادين العلم والعمل.

الشكر والتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم نرفع أسمى آيات الشكر والعرفان إلى الأستاذة الفاضلة (أ.م.د هديل صالح مهدي) التي كان لتوجيهاتها السديدة وإرشاداتها العلمية الدور الأكبر في إنجاز هذا البحث، فقد كانت كلماتها نبراسًا يضيء لنا الطريق ويمنحنا الثقة لتجاوز العقبات. كما نتوجه بخالص الامتنان إلى أساتذتنا الكرام في (قسم العلوم العامة) الذين كانوا دائمًا مصدر دعم وإلهام، وإلى زملائنا الأعزاء الذين شاركونا أفكارهم وأسهموا بملاحظاتهم البنّاءة في تطوير هذا العمل. ولا يفوتنا أن نعبّر عن امتناننا العميق لعائلاتنا الكريمة، وبالأخص والدينا الأعزاء، الذين منحونا الدعم النفسي والمعنوي، وكانوا السند الحقيقي الذي شدّ من عزيمتنا وأمدّنا بالقوة على المثابرة والاستمرار. كما نشكر كل من ساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في إنجاز هذا البحث، من أفراد أو مؤسسات، ممن قدّموا لنا المساعدة أو وفروا لنا البيئة العلمية المناسبة. وفي الختام، نسأل الله تعالى أن يجزي الجميع خير الجزاء، وأن يجعل هذا الجهد خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به طلبة العلم والباحثين.

الفهرست

التسلسل	الموضوع	رقم الصفحة
	الفصل الاول	
1-1	تكنولوجيا النانو	1
2-1	تصنيف المواد النانوية	2
3-1	خواص المواد النانوية	4-3
4-1	الجسيمات النانوية	5-4
5-1	طرق تحضير الجسيمات النانوية	7-6
6-1	تشخيص الجسيمات النانوية	8-7
7-1	تطبيقات الجسيمات النانوية	10-9-8
8-1	مشكلة البحث	11
9-1	اهمية البحث	11
10-1	اهداف البحث	12
	الفصل الثاني	
1-2	المقدمة	13
2-2	الأجهزة والمواد المستخدمة	13

3-2	تحضير مستخلص اوراق الريحان	14
4-2	تحضير جسيمات النحاس النانوية (Cu-NPs)	15-14
5 -2	تقنيات التشخيص	16
1 -5 -2	مطيافية الاشعة فوق البنفسجية UV_Vis	17-16
2 -5 -2	مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR	17
	الفصل الثالث	
1-3	المقدمة	18
2-3	مطيافية الاشعة فوق البنفسجية UV_Vis	19-18
3 -3	فجوة الطاقة Band gab	20-19
4-3	مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR	21-20
5-3	الاستنتاج	22
6-3	التوصيات	22
	المصادر	25-24-23

الخلاصة:

في هذا البحث تم تحضير جسيمات أكسيد النحاس النانوية (CuO-NPs) باستخدام الطريقة الخضراء، حيث استُخدم مستخلص أوراق الريحان كعامل طبيعي للاختزال والتثبيت. والتغيير في لون المحلول من الأزرق إلى الأخضر كان أول دليل بصري على تكوّن الجسيمات النانوية. بعد ذلك جرى التركيز على دراسة الخواص البصرية والإلكترونية والسطحية من خلال ثلاثة فحوصات رئيسية أظهر طيف الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis) قمة امتصاص واضحة عند 257 نانومتر، مما يدل على حدوث انتقالات إلكترونية مباشرة داخل المادة ومن خلال تحليل بيانات الامتصاص باستخدام مخطط تاوك تم حساب فجوة الطاقة، ووجد أنها تبلغ حوالي 1.7 إلكترون فولت، وهي قيمة تقع ضمن مدى أشباه الموصلات، الأمر الذي يجعل هذه الجسيمات مناسبة للتطبيقات الضوئية والإلكترونية. أما فحص الأشعة تحت الحمراء (FTIR) فقد كشف عن وجود مجاميع وظيفية نباتية مثل(O–H) ، (C=O)، و(C–H)، إضافة إلى قمم واضحة لروابط(Cu–O) ، مما يؤكد تكوّن أكسيد النحاس النانوي ويبين أن المجموعات السطحية المستخلصة من النبات ساعدت على تثبيت الجسيمات ومنع تجمعها. تشير النتائج إلى أن الجسيمات النانوية المحضّرة بهذه الطريقة تتميز بخصائص بصرية وإلكترونية واضحة، مع استقرار جيد بفضل المجموعات السطحية المرتبطة بها. وهذا يثبت أن الطريقة الخضراء باستخدام مستخلص الريحان ليست فقط صديقة للبيئة، بل أيضًا فعّالة في إنتاج جسيمات نانوية يمكن الاستفادة منها في تطبيقات علمية وتكنولوجية مثل الخلايا الشمسية والحساسات الضوئية.

الفصل الاول

الجزء النظري

1-1 تكنولوجيا النانو:

تُعتبر تقنية النانو إحدى أبرز مجالات المعرفة والتقنية في القرن الحادي والعشرين، وهي تهتم باستيعاب وضبط المادة ضمن نطاقات أبعاد تتراوح ما بين 1–100 نانومتر، إذ تظهر سمات فيزيائية وكيميائية وحيوية مميزة لا نجدها في المواد ذات المقاسات الأضخم، الأمر الذي يفتح آفاقاً لتطبيقات جديدة ومستحدثة في مختلف الصُعد العلمية والتقنية على الرغم من أن ملامسة الجسيمات النانوية صاحبت البشرية عبر الزمن، فإن التركيز البحثي المُنظَّم حولها تزايد بشكل ملحوظ منذ الثورة الصناعية. ويُصَنَّف العالم ريتشارد زيغموندي كأول من استعمل مصطلح النانومتر لتقدير مقاسات الجسيمات المتناهية الصغر، كما كان أول من قدّر أبعاد مستعلقات الذهب. أما البداية الجوهرية لتقنية النانو المعاصرة فتعود للفيزيائي ريتشارد فاينمان عندما طرح فكرة المناورة بالمادة على المستوى الذري، وهو ما أكسبه لقب "أب تقنية النانو الحديثة".وفي عقد السبعينات من القرن الفائت، استعمل العالم الياباني نوريو تانيغوتشي عبارة "تقنية النانو" لوصف العمليات الصناعية التي تُجرى عند مستوى النانومتر، مُعرّفاً إياها بأنها معالجة المواد ذرة تلو الأخرى أو جزيئاً بجزيء. وقد شهدت فترة الثمانينات من القرن الماضي تقدماً عظيماً باكتشاف الفوليرينات والأنابيب الكربونية النانوية، مما رسّخ الدعائم المعرفية لتقنية النانو. (Hulla et al 2005) تكمن أهمية تقنية النانو في أن الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد عند المقياس النانوي تتباين اختلافًا جوهريًا عن خواصها في الحالة الكلية، ويعود ذلك إلى:

1. كبر نسبة السطح إلى الحجم
2. تأثيرات الكم (Quantum Effects)
3. التفاعلات الجزيئية كقوى فان دير فالز والروابط الهيدروجينية

وهذا ما يسمح بتصميم مواد ذات مزايا محددة بدقة فائقة (silva et al.,2004) وأخيرا يمكن تعريف تقنية النانو بانها :الإمكانية للتلاعب بالمواد وإعادة تشكيلها عند المستويات الذرية والجزيئية ضمن نطاق 1–100 نانومتر، واستثمار السمات الفيزيائية والكيميائية المستجدة التي تبدو عند هذا الحجم قياسًا بالمادة الكتلية الغاية من هذا التلاعب هو :

1. صناعة مركبات، أدوات، ومنظومات بصفات ووظائف مبتكرة بالكامل.
2. رفع مستويات السمات الميكانيكية، الضوئية، الكهربائية، والحيوية للمركبات.(Roco et al., 2011)

2-1 تصنيف المواد النانوية:

تُصنَّف المُكوِّنات النانوية وفق عدة معايير أساسية، نظرًا للتفاوت الكبير في أبعادها، وهيئاتها، وتركيبها الكيميائي، ومناشئها. وتضم أهم أنظمة التقسيم ما يلي:

تصنيف المكوِّنات النانوية بحسب الأبعاد (Dimensionality):

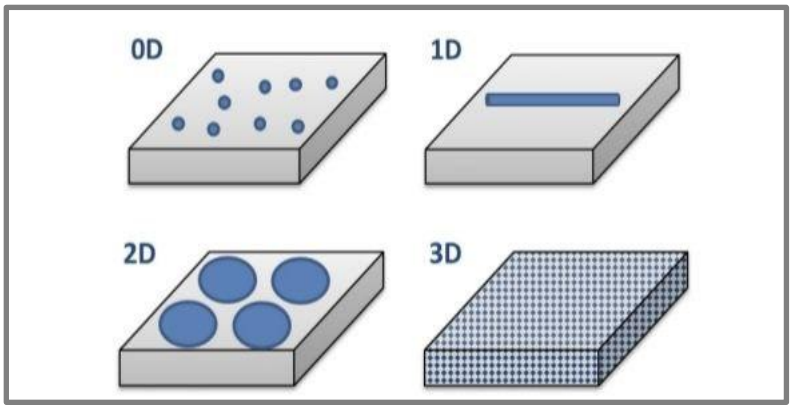
يستند هذا التقسيم إلى عدد الأبعاد التي تقع ضمن النطاق النانوي (1–100 نانومتر):

1. مكوِّنات نانوية صفرية الأبعاد (Zero-Dimensional, 0D): تشمل الأبعاد الثلاثة ضمن النطاق النانوي.

2. مكوِّنات نانوية وحيدة البعد (One-Dimensional, 1D): بُعدان نانويان والامتداد يتجاوز 100 نانومتر.

3. مكوِّنات نانوية ثنائية الأبعاد (Two-Dimensional, 2D): السُمك فقط يقع في النطاق النانوي.

4. مكوِّنات نانوية ثلاثية الأبعاد (Three-Dimensional, 3D): جميع الأبعاد تفوق 100 نانومتر لكنها تحتوي على تراكيب نانوية داخلية (sannino et al.,2021).



الاشكل (1-1) تصنيف المواد النانوية حسب الابعاد

3-1 خواص المواد النانوية:

أولًا: الخواص الفيزيائية:

1. تأثير البُعد الكمّي (Quantum Size Effect) عند أبعاد أقل من ~100 نانومتر تتبدل مستويات الطاقة، مما يسبب تغيُّر الخصائص الكهربائية والبصرية مقارنةً بالمادة الجامعة.
2. نسبة مساحة الناحية إلى المقدار العالية تتمتع المواد النانوية مساحة سطح ضخمة، ما يرفع من نشاطها الفيزيائي والكيميائي.
3. تبدُّل الخواص الميكانيكية زيادة المتانة والقوة تحسُّن مقاومة التشقق والتآكل
4. خصائص مغناطيسية مميزة مثل: المغناطيسية الفائقة (Superparamagnetism) تغيّر القابلية للمغنطة مع الحجم

ثانيًا: الخواص الكهربائية:

1. تغيُّر الموصلية الكهربائية ربما تتحول المادة من عازلة إلى شبه موصلة أو ناقلة تأثُّر التوصيل بظاهرة النفق الكمّي (Quantum Tunneling)
2. الإنبعاث الإلكتروني الكبير خاصة في الأنابيب الكربونية النانوية، مما يجعلها ملائمة لتقديرات الشاشات وأجهزة الإرسال الإلكتروني.

ثالثًا: الخواص البصرية:

1. تغيُّر فجوة النطاق (Band Gap) يؤدي إلى: تبديل لون الامتصاص والإشعاع استخدام واسع في النقاط الكمّيّة (Quantum Dots)
2. تعزيز امتصاص الضوء وتشتته مهم في الألواح الشمسية والمجسّات الضوئية.

رابعًا: الخواص الكيميائية:

1. نشاط كيميائي وتحفيزي عالٍ بسبب ازدياد عدد الذرات السطحية غير المكتملة الروابط.
2. تحسُّن في الفعالية الانتقائية مما يجعلها مثالية للمحفّزات والتطبيقات البيئية.

خامسًا: الخواص الحرارية:

1. تبدُّل الموصلية الحرارية قد تكون أكبر أو أصغر من المواد الجامعة حسب التركيب والبُعد.
2. انخفاض درجة الذوبان كلما تقلص حجم الجسيم النانوي انخفضت درجة انصهاره.

سادسًا: الخصائص الحيوية (عند استخدامها طبيًا):

1. التوافق الحيوي إمكانية استخدامها في إيصال العقاقير والمعالجة السرطانية.
2. نشاط مضاد للبكتيريا والخلايا السرطانية مثل جسيمات أكسيد النيكل، الفضة، والذهب النانوية (Lue et al., 2000).

4-1 الجسيمات النانوية:

تُعدّ الجسيمات النانوية تجمعات مُنفصلة من الذرات على نطاق النانومتر (10^{-9} متر). بالتالي، تتراوح أبعادها بين مقاييس الأيونات (10^{-10} متر) وأبعاد المواد العيانية. وهي مثيرة للاهتمام إذ أن عدد الذرات في الكتل صغير بما فيه الكفاية، وجزء كبير منها يقع عند الأسطح أو بالقرب منها، الأمر الذي ينتج عنه تحول ملحوظ في التركيب الذري والإلكتروني والمغناطيسي للكتلة، وسماتها الفيزيائية والكيميائية، وقابليتها للتفاعل مقارنةً بالمادة المُتراصة. ربما تكون أسطح الجسيمات النانوية بحد ذاتها مميزة قد تنتهي الكتل بمستويات أو تجمعات ذرية غير مألوفة، أو غير موجودة، على أسطح السبيكة المتجمدة. هذه التأثيرات، وغيرها من التأثيرات المتعلقة بالحجم، سوف تسبب تبديلًا في استقرار الطور وتحويرات في آلية التفاعل. ما الذي يمنح الجسيم النانوي صفة الجسيم النانوي؟ ينبغي أن تكون تحديدات نطاقات الحجم للجزيئات والجسيمات النانوية والمواد الصلبة الكلية خاصة بكل مُركب.

ومع ذلك، يُعتبر الحد الأعلى المُفيد للجسيمات النانوية هو الحجم الذي تتباعد عنده إحدى سماتها عن قيمة المادة المتراصة المماثلة بفارق يفوق بكثير هامش الخطأ لمنهجية التقدير المُستعملة (بمقدار بضعة في المائة). عمليًا، من المحتمل أن تكون بعض السمات مختلفة بما فيه الكفاية لتبرير وصفها بـ "جسيم نانوي" حال كان قُطرها أدنى من بضعة عشرات من النانومترات، وربما أقل من جزء من الميكرون. نظرًا لأهمية التغيرات في السمات المرتبطة بالحجم في علم الخامات، فقد تم استقصاء علاقات الحجم بالسمات باستفاضة لبعض المنظومات. مثالًا، بالنسبة لأشباه الموصلات، تُصبح تأثيرات الحجم جوهرية حين يكون قُطر الكتلة قريبًا من قُطر بور للإكسيتونات في الحالة المُتراصة. على وجه العموم، تتجلى تأثيرات تحديد الحجم في أشباه الموصلات (المُتعلقة بكبريتيدات العناصر المعدنية الطبيعية، على سبيل المثال) عندما يقل قُطر الكتل عن 10 نانومتر. الجسيمات النانوية موجودة في كل مكان... أو في كل مكان تقريبًا! بالنسبة لعلماء المعادن الذين يعملون مع العينات البيئية، لا يُعدّ هذا مفاجئًا. في الواقع، يُعتبر مجال علم معادن الطين، حيث لا يُعرَّف "الطين" على أنه سيليكات طبقية، بل جسيمات أصغر من 2 ميكرومتر، مجالًا ناضجًا للغاية. ومع ذلك، فإن التحديات المرتبطة بتوصيف أصغر هذه الجسيمات كبيرة، ولا يزال هناك الكثير مما يجب معرفته حول التأثيرات المتعلقة بالحجم. وبالمثل، فإن علماء الكيمياء الحيوية على دراية واسعة بالجسيمات النانوية كمكونات لجزيئات بيولوجية مهمة في الخلايا، وفي أصغر حجم، كمراكز نشطة في الإنزيمات. إن المعرفة الجديدة حول تكوين التجمعات والخصائص المعتمدة على الحجم للجسيمات الصغيرة قد تُلقي ضوءًا جديدًا على الوظيفة البيولوجية، والتطور، وربما حتى أصل الجزيئات الأساسية للحياة (مثل البروتينات).(Banfield et al., 2001)

5-1 طرق تحضير الجسيمات النانوية:

أولًا: أسلوب الأسفل إلى الأعلى (Bottom-up Method):

يرتكز هذا الأسلوب على تشييد الجسيمات النانوية انطلاقًا من الذرات أو الجزيئات حتى الوصول إلى الحجم النانوي

1. أسلوب السول–جل (Sol–Gel Method):

يُعتبر من مناهج التحضير الأكثر انتشارًا وسهولة يعتمد على محلول غروي (Sol) يتحول إلى شبكة هُلامية (Gel) تُستغل الأكاسيد والكلوريدات المعدنية كموارد مبدئية. يُفصل الغبار النانوي عن المحيط السائل بفعل عمليات الترسيب أو الترشيح أو الطرد المركزي ثم التجفيف

2. أسلوب الغزل (Spinning Method):

يُجرى بالاستعانة بمفاعل القرص الدوار (Spinning Disc Reactor) يتم ضبط درجة الحرارة وسرعة اللف ونسبة المواد المتفاعلة يُسبب الدوران تكاثف الذرات أو الجزيئات وتشكيل الغبار النانوي

3. الترسيب الكيميائي للبخار (Chemical Vapour Deposition – CVD):

يستند إلى ترسيب مواد غازية متفاعلة فوق أرضية ركيزة مُسخّنة يُنتج جسيمات نانوية بمستوى عالٍ من النقاوة والتناسق من سلبياته الحاجة إلى تجهيزات خاصة وتوليد نواتج ثانوية ضارة

4. التفكك الحراري (Pyrolysis):

من التقنيات الأكثر استخدامًا صناعيًا للإنتاج الوافر يتم حرق مادة أساسية سائلة أو غازية داخل فرن عند حرارات مرتفعة يتسم ببساطته وثمنه الزهيد وإنتاجيته الكبيرة

5. التحضير البيولوجي (Biosynthesis):

منهج صديق للبيئة وغير سام يعتمد على البكتيريا أو الفطريات أو المستخلصات النباتية في اختزال وتثبيت الجسيمات النانوية تتميز الجزيئات الناتجة بصفات مُحسَّنة، خصوصاً للتطبيقات الطبية

ثانيًا: أسلوب الأعلى إلى الأسفل (Top-down Method):

يعتمد على تقليص حجم مادة صلبة كبيرة إلى مقاييس نانوية

1. **الطحن الميكانيكي (Mechanical Milling):** أكثر المناهج استخدامًا ضمن هذا التوجه يرتكز على تشويه التشكيل والتحطيم والالتحام البارد يتم الكسْر غالباً في بيئة خاملة
2. الطباعة النانوية (Nanolithography): تُستخدم لإنجاز جسيمات أو تشكيلات نانوية بأبعاد وأشكال دقيقة تشمل عدة تقنيات كالتصوير الضوئي والإلكتروني تتميز بالدقة الفائقة لكنها باهظة الثمن ومعقدة
3. الاستئصال بالليزر (Laser Ablation): يستند إلى توجيه شعاع ليزر نحو معدن مُغمور بسائل يؤدي لتكوين بلازما تتحول إلى جسيمات نانوية يُعتبر أسلوبًا نقيًا ولا يستدعي عوامل تثبيت كيميائية
4. القذف الكاثودي (Sputtering): يتم فيه قذف ذرات من سطح مادة بواسطة أيونات ذات طاقة عالية تستقر الجسيمات النانوية على سطح ركيزة ثم تتم معالجتها حرارياً
5. التحلل الحراري للجُزيئات (Thermal Decomposition): يعتمد على تفكيك المركبات الكيميائية بفعل الحراره تنشأ الجسيمات النانوية عند درجات حرارة محددة لكل خامة.

(Ealias et al., 2017)

6-1 تشخيص الجسيمات النانوية:

ما الذي ينبغي قياسه ؟ تساؤلٌ أساسي في حقل النانو، والجواب عليه ليس بالهين، حيث تُحدَّد سمات الجسيمات النانوية بخصائص فيزيائية وكيميائية متباينة. ومن أبرز هذه السمات: المقاس، والهيئة، والشحنة الظاهرية، والتخلخل. يمتلك الباحثون حالياً مجموعة غير مسبوقة من أساليب القياس لتحديد قيم رقمية دقيقة لهذه المتغيرات. ومع ذلك، فإن المناهج المرتكزة على مبادئ فيزيائية مختلفة تستقصي جوانب متباينة، ليس فقط الجسيمات ذاتها، بل أيضاً سياق إعدادها ومحيطها لحظة التقييم (Modena et al., 2019) يُمثل تحديد الجسيمات النانوية مرحلة محورية تلي الإعداد، حيث يهدف إلى تعيين المقاس، الهيئة، التركيب البلوري، التكوين الكيميائي، السمات السطحية، والخصائص المادية المتنوعة، وكثيراً ما تستلزم العملية الاستعانة بأكثر من أسلوب بصورة مُتكاملة لإحراز وصف موثوق ودقيق.

أولًا: أساليب الأشعة السينية (X-ray based techniques):

حيود الأشعة السينية (XRD): يستعمل لتعيين البناء البلوري، صنف الطور، ثوابت المنظومة البلورية، وحجم البلورات النانوية عبر معادلة شيرر. يتميز بإعطاء قيم إحصائية مُتوسطة، غير أنه لا يناسب المواد غير المُتبلورة أو للجزيئات الأصغر من 3 نانومتر.

ثانيا: أساليب التحليل الطيفي والمادي:

مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV–Vis): تُستغل لدراسة السمات الضوئية، تقدير المقاس، الكثافة، وحالة التكتل، لاسيما للجسيمات الفلزية.

مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR): تُستخدم لتمييز المجموعات الفعالة على سطح الجسيمات النانوية وبحث ارتباط المُستبدلات (ligands) السطحية.

. (Mourdikoudis et al., 2018)

7-1 تطبيقات الجسيمات النانوية:

1. الاستعمالات الصناعية والمكونات الحديثة: يُستعان بالجسيمات النانوية كمواد حاشية (Fillers) في البوليمرات لرفع المقومات الميكانيكية كالمتانة، ومقاومة التآكل، والصلابة، مثل جسيمات الكربون الأسود، وثاني أكسيد التيتانيوم، وثاني أكسيد السيليكون تُوظف الجسيمات النانوية ثنائية الأبعاد (مثل الطين النانوي والغرافيت) في تقوية سمات الحواجز البوليمرية وخفض نفاذية الغازات والمركبات السائلة.

2. الملونات ودرع الأشعة فوق البنفسجية: تُوظف جسيمات و النانوية كأصباغ فعالة وعناصر وقاية من الأشعة فوق البنفسجية في الدهانات، اللدائن، والمستحضرات التجميلية، إذ تتميز بقدرتها الفائقة على امتصاص أشعة مع صفاء بصري جيد تُساهم الجسيمات النانوية في إبداع أصباغ تأثيرية ومُرشحات لونية ذات فعالية عالية لشاشات العرض البلوري السائل مما يزيد من التباين ووضوح الألوان.

3. المكسوات والأغشية الفعالة: يُعتمد على الجسيمات النانوية في المكسوات ذاتية التنظيف، كزجاج مُعالج بجسيماتTiO النانوية التي تمتلك فعالية ضوئية محفزة تساعد في تفكيك المواد الملوثة العضوية تُستخدم كذلك في رفع مقاومة الخدش والخصائص السطحية للمواد المستعملة في المشيدات والمركبات والألواح الشمسية.

4. الاستخدامات التحفيزية والبيئية: تُستغل الجسيمات النانوية المعدنية كعوامل مساعدة غير متجانسة في عدد من التحولات الكيميائية الصناعية، لما تتمتع به من مساحة سطحية كبيرة ونشاط تحفيزي عالٍ تُدمج الجسيمات النانوية المغناطيسية في عمليات العزل والتنقية، واسترداد العناصر الثمينة، ومعالجة المياه الموبوءة ببراعة كبيرة.

5. المقاربات الطبية والبيولوجية: تُستخدم الجسيمات النانوية في المكونات الحيوية لتعزيز التوافق الحيوي وزيادة إنجاز التئام العظام والأنسجة، بالإضافة إلى استخدامها في نقل المستحضرات الدوائية والعلاج الموجه تُوظف جسيمات الذهب النانوية في التقييم الطبي، كاختبارات الحمل السريعة وأدوات الكشف البيولوجي، لما تحمله من سمات بصرية متميزة تُستغل الجسيمات النانوية المضادة للجراثيم، ولا سيما الفضة النانوية، في المنسوجات، الأغلفة البوليمرية، والأغشية الطبية للحد من تكاثر البكتيريا

6. تطبيقات القوة والتقنيات المستجدة: تُستعمل الجسيمات النانوية في الألواح الشمسية، مثل خلايا غريتزل المعتمدة على Tio النانوي، لزيادة التقاط الضوء وتقليص التكلفة تُدخل الجسيمات النانوية في صناعة الأغشية المجهرية المسام، البطاريات، ومحولات الطاقة (خلايا الوقود)، لما توفره من تمكّن دقيق في المسامية ونقل الشحنات الأيونية.(Stark et al., 2015)

7. الاستشعار الحيوي (Biosensing): جُيِّدت الجسيمات النانوية لإنشاء مجسات حيوية ذات حساسية مرتفعة لكشف:

- الحموض النووية (DNA وRNA)
- البروتينات
- الشاردات المعدنية السامة كـ Pb^{2+}
- الجزيئات الحيوية الضئيلة

اعتمدت أساليب القياس على الميزات البصرية للمركبات النانوية، مثل:

- التبدّل اللوني (Colorimetric sensing)
- إطفاء التألق ونقل الطاقة (FRET)
- الاستشعار الكهروكيميائي
- تبعثر رامان المحسّن سطحيًا (SERS)

سمحت هذه المنظومات بالكشف عند تراكيز متدنية للغاية تصل إلى المستويات الفيمتومولارية.

8. التصوير الحيوي (Bioimaging): تُوظَّف الجسيمات متناهية الصغر في الرؤية الحيوية لأجل خواصها البصرية والمغناطيسية المتميزة. اِستُغلّت النقاط الكَمّية (Quantum Dots) في تصوير الخلايا والأنسجة الحية بسبب سطوع ضوئها وثباتها الضوئي الكبير. اِستُخدمت الأجسام النانوية المغناطيسية في تصوير الرنين المغناطيسي (MRI). تَمَّ تطوير جزيئات نانوية مُزدوجة الوظيفة تجمع بين الوضوح البصري والتصوير المغناطيسي بصورة متزامنة.(De et al., 2008)

8-1 مشكلة البحث:

تُعد الطريقة البايولوجية من الطرق الحديثة والشائعة في تحضير الجسيمات النانوية لأكاسيد المعادن، لما تمتاز به من صداقة للبيئة وانخفاض في الكلفة وإمكانية إنتاج جسيمات ذات توافق حيوي عالٍ. تعتمد هذه الطريقة على استخدام الكائنات الحية الدقيقة أو المستخلصات النباتية كمصادر طبيعية للعوامل المختزِلة والمثبِّتة، مما يمنحها قدرة على التحكم النسبي بخصائص الجسيمات الناتجة. إلا أن الخصائص الفيزيائية والتركيبية للجسيمات النانوية المحضّرة بهذه الطريقة تتأثر بشكل ملحوظ بظروف التحضير مثل نوع الكائن الحي أو المستخلص المستخدم، درجة الحرارة، زمن التفاعل وتركيز المواد الحيوية الفعّالة. إن عدم التحكم الدقيق بهذه العوامل قد يؤدي إلى عدم تجانس في حجم الجسيمات وتباين في خواصها، مما ينعكس على نتائج التشخيص والتطبيقات الطبية أو الصناعية المحتملة. ومن هنا تنبع مشكلة البحث في الحاجة إلى دراسة تأثير الطريقة البايولوجية وظروفها المختلفة على خصائص الجسيمات النانوية، وتشخيصها باستخدام تقنيات ملائمة، من أجل فهم العلاقة بين آلية التحضير والخواص الناتجة والوصول إلى نتائج أكثر دقة وموثوقية.

9-1 اهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يقدّم نموذجًا عمليًا لتحضير جسيمات نانوية بطريقة آمنة وصديقة للبيئة، بعيدًا عن المواد الكيميائية الضارة. كما أن دراسة الخواص البصرية والإلكترونية لهذه الجسيمات تفتح المجال لاستخدامها في تطبيقات حيوية مثل الخلايا الشمسية، الحساسات الضوئية، والمجالات الطبية. إضافةً إلى ذلك، فإن الاعتماد على مستخلص نباتي محلي (الريحان) يعزز من إمكانية تطبيق هذه الطريقة في بيئات مختلفة بتكلفة منخفضة، مما يساهم في تطوير تقنيات النانو بشكل مستدام.

1-10 اهداف البحث:

1. دراسة الخواص البصرية للجسيمات المحضّرة باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis).
2. حساب فجوة الطاقة (Band Gap) للجسيمات النانوية وتحديد مدى ملاءمتها كتطبيقات لأشباه الموصلات.
3. تحليل المجموعات الوظيفية السطحية باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لتأكيد تكوّن جسيمات أوكسيد النحاس النانوية.
4. إبراز فعالية الطريقة الخضراء كبديل آمن وفعّال لإنتاج جسيمات نانوية يمكن استخدامها في التطبيقات العلمية والتكنولوجية.

الفصل الثاني

الجزء العملي

1-2 المقدمة:

تضمن هذا الفصل تخليق جزيئات أكسيد النحاس النانوية بأسلوب صديق للبيئة عبر استعمال مُستخلص أوراق الريحان، مع فحص المُؤثرات الملحوظة في مرحلة الإعداد. كما يضم الفصل توصيف الجزيئات المُعدَّة باستعمال أساليب تحليلية متنوعة، لعل أبرزها مطيافية الأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis Spectroscopy) لاستقصاء السمات البصرية، وحساب فجوة الطاقة (Band Gap) ، بالإضافة إلى مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لتحديد المجموعات الوظيفية والتفاعلات الكيميائية على سطح الجزيئات. وغاية هذا البحث هي تقييم فعالية الأسلوب الصديق للبيئة في إنتاج جزيئات نانوية ذات سمات هيكلية وبصرية مناسبة للاستخدامات المتباينة، مع إبراز دور تبني بدائل مُستدامة في ميدان تجهيز المواد النانوية.

2-2 الاجهزة والمواد المستخدمة:

- المواد المستخدمة:

1. نترات النحاس (II) ثلاثية الهيدرات (Copper(II) Nitrate Trihydrate)
2. مستخلص اوراق نبات الريحان
3. ماء مقطر

- الاجهزة والادوات المستخدمة:

1. Hot plate with magnetic stirrer
2. Laboratory Oven
3. Centerifuge
4. Laboratory furnace
5. Analytical Balance
6. Plastic dropper
7. Mercury thermometer
8. Pilin tube
9. بيكرات زجاجية
10. ورق الترشيح

3-2 تحضير مستخلص اوراق الريحان :

تم جمع اوراق الريحان من الاسواق المحلية وغسلها بالماء المقطر وتركها في الظل لتجف لمدة 4 ايام. وثم طحن الاوراق المجففة باليد الى قطع صغيرة وثم خلط (10) جرام من اوراق نبات الريحان مع (200ml) من الماء المقطر في بيكر زجاجي ووضعها على جهاز (Hot plate with magnetic stirrer) بتحريك مستمر بدرجة حرارة (65) درجة مئوية ولمدة (30) دقيقة .ثم يتم ترشيح المستخلص النباتي باستخدام ورق الترشيح وحفظ المستخلص في درجة حرارة الغرفة لاستخدامه لاحقا.

الشكل (2-1) النبات الريحان المطحون

الشكل (2-2) مستخلص نبات الريحان

4-2 تحضير جسيمات النحاس النانوية (Cu-NPs):

تم تحضير جسيمات النحاس النانوية بالطريقة الخضراء بأستخدام مستخلص نبات الريحان وفي هذا الطريقة تم اذابة (0.1) مولاري من (Copper(II) Nitrate Trihydrate) في (100 ml) من الماء المقطر في بيكر زجاجي ووضعها على جهاز(Hot plate with magnetic stirrer) عند درجة حرارة (65) درجة مئوية مع تحريك مستمر وبعد (10) دقائق من التسخين والتحريك المستمر يضاف لها (10 ml) من المستخلص النباتي بشكل قطرات تدريجياً ويستمر التسخين لمدة (3) ساعات ثم يترك الخليط لمدة 24 ساعة حتى يتكون راسب في اسفل البيكر .

وثم نقوم بعملية الطرد المركزي باستخدام جهاز (Centerifuge) 10000 دورة بالدقيقة وبعد الانتهاء من عملية الطرد المركزي نقوم بعملية التجفيف باستخدام جهاز(Laboratory Oven) عند درجة حرارة (60) درجة مئوية ولمدة (24) ساعة وبعدها نقوم بعملية التكليس باستخدام جهاز (Laboratory furnace) عند درجة حرارة (450) درجة مئوية ولمدة ساعتان ثم نقوم بطحن الناتج.

الشكل (2-3) قبل اضافة المستخلص

الشكل (2-4) بعد اضافة المستخلص

الشكل (2-5) Centerifuge

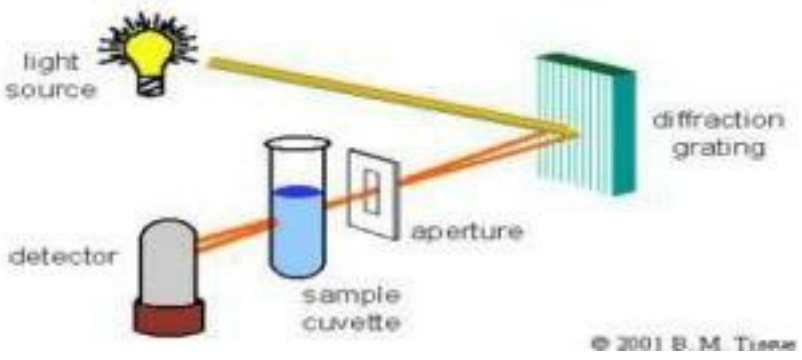
الشكل (2-6) Laboratory Oven

الشكل (2-7) (Laboratory furnace)

5-2 تقنيات التشخيص:

1-5-2 مطيافية الاشعة فوق البنفسجية UV_Vis:

يُعتبر التحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis Spectroscopy) من الأساليب التحليلية الهامة في بحث المواد التحفيزية والمنظومات الكيميائية المتنوعة، إذ يستند إلى رصد امتصاص الإشعاع الفيزيائي ضمن المجال الطيفي الذي يتراوح من 200 إلى 800 نانومتر، مشتملًا على نطاق الأشعة فوق البنفسجية (200–400 nm) والضوء الواضح (400–800 nm)، وقد يمتد أحيانًا إلى الأشعة القريبة تحت الحمراء (NIR) حتى 2000 نانومتر. يُشار إلى هذه الطريقة أيضًا بالتحليل الطيفي الإلكتروني، نظرًا لاعتمادها على انتقال الإلكترونات من مستويات طاقة دنيا إلى مستويات أعلى جراء اكتساب فوتونات ذات طاقة ملائمة. تنشأ الأطياف في مجال الأشعة فوق البنفسجية نتيجة لعدة أنواع من التحولات الإلكترونية. وكما تُستغل الطريقة لتقصي فجوة النطاق (Band Gap) في الأكاسيد الفلزية، وتحديد أوضاع الأكسدة، والهيئة التناسقية لأيونات المعادن. يُرْتَكَن المبدأ الكمي للتقدير على قانون بير–لامبرت (Beer–Lambert Law)، الذي يربط الماصية بتركيز المادة وبمقطع المسار الضوئي وبمُعامِل الامتصاص الجزيئي، بخصوص دراسة المواد الثابتة، ربما لا يكون القياس بالنفاذية متاحًا دومًا للعوائق التشتت العالي للإشعاع، وعليه يُعتمد نمط الانعكاس المبعثر (Diffuse Reflectance Spectroscopy – DRS)، الذي يستند إلى تحويل كوبيلكا–مونك لربط قوة الانعكاس بمعامل الامتصاص. كما تطورت الطريقة لتشمل القياسات الوظيفية (Operando) والقياسات ضمن ظروف تفاعل حقيقية (In situ)، ما يتيح تتبع التحولات التركيبية والإلكترونية خلال سير العملية التحفيزية. تتميز تقنية UV-Vis بحساسيتها الكبيرة وسرعة القياس وقابليتها للتطبيق على الغازات والسوائل والمواد الصلبة، بالإضافة إلى كونها طريقة غير مزعجة نسبيًا. مع ذلك، فمن أبرز صعوباتها تداخل نطاقات الامتصاص واتساعها، ما يتطلب غالبًا دعم التأويل بواسطة الحسابات النظرية كنموذج المجال البلوري (CFT) أو نظرية الكثافة المدارية (DFT)، أو إقرانها بأساليب تحليلية أخرى كالـ FT-IR أو رامان أو XRD لنيل فهم أعمق للكيانات الكيميائية المؤثرة. وبذا تُعتبر الأشعة فوق البنفسجية–المرئية جهازًا تحليليًا رئيسيًا في تعيين الخصائص للمواد التحفيزية وبحث التحولات الإلكترونية وتعيين طبيعة الأنواع الفاعلة خلال السيرورات الكيميائية. (Vogt et al., 2023)



الشكل 2_8 مخطط لمطيافية الاشعة فوق البنفسجية

(Verma & Mishra, 2018)

2- 5- 2 مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR:

تُعتبر تقنية FTIR (مطيافية تحويل فورييه بالأشعة تحت الحمراء) من أكثر أساليب الأشعة تحت الحمراء شيوعاً في الأبحاث والدراسات البيوفيزيائية نظرًا لسهولة توظيفها وخصائصها الجامعة، إذ ترتبط مواضع التذبذبات الطيفية وشكلها ارتباطًا مباشرًا بالصفات الفيزيائية المجهرية للمركبات، الأمر الذي يتيح فهمها بصورة مباشرة. تستند طريقة FTIR التقليدية بنظام النفاذية (Transmission FTIR) على عبور الإشعاع تحت الأحمر خلال المادة، بيد أن هذا الأسلوب يواجه تحديات تقنية ملحوظة لاسيما عند فحص العينات السائلة، كصعوبة ضبط سُمك المادة وضمان نتائج قابلة للاستنساخ، بالإضافة إلى إشكالية امتصاص الماء المرتفع الذي قد يفضي إلى إشباع الإشارة وزوال معارف طيفية جوهرية. بهدف تخطي هذه المعضلات، جرى استحداث تقنية ATR-FTIR (مطيافية تحويل فورييه بالانعكاس الكلي المخفف)، حيث تُوضع المادة بالقرب من مركب بصري يحدث فيه ارتداد كلي داخلي، مما يتيح تلامس المادة مع الموجة الزائلة (evanescent wave). وتتميز هذه التكنولوجيا بكونها موائمة للعينات ذات الامتصاص القوي وأيضًا لدراسة الأسطح والأغشية الرقيقة بفضل عمق النفاذ الضوئي الضئيل((Grdadolniketal.,2002,))

الفصل الثالث

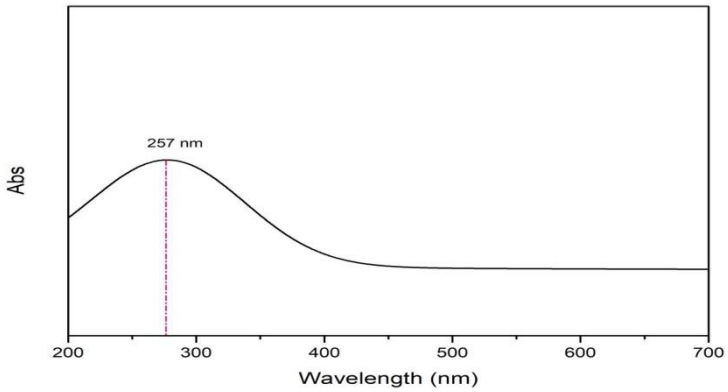
النتائج والمناقشات

3 -1 المقدمة:

يتضمن هذا الفصل عرض ومناقشة النتائج التي تم الحصول عليها من خلال دراسة توصيف جسيمات اكسيد النحاس النانوية ومقارنة النتائج مع الدراسات السابقة واهم النتائج التي تم الحصول عليها.

3 -2 مطيافية الاشعة فوق البنفسجية UV_Vis:

يمثل الشكل (3_1) طيف الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية–المرئية (UV-Vis) للعينة، حيث يوضح العلاقة بين الامتصاص (Abs) والطول الموجي (Wavelength) ضمن المدى من 200 إلى 700 نانومتر. يظهر في الطيف وجود قمة امتصاص رئيسية واضحة عند طول موجي مقداره 257 نانومتر، وهي تمثل أقصى امتصاص للعينة (λmax). إن ظهور هذه القمة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية يدل على حدوث انتقالات إلكترونية داخل المادة، وغالبًا ما تكون هذه الانتقالات من نوع انتقال الإلكترونات من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى داخل الذرات أو الجزيئات أو في نطاقات الطاقة للمادة. كما يُلاحظ أن شدة الامتصاص تزداد تدريجيًا مع زيادة الطول الموجي حتى تصل إلى القيمة العظمى عند 257 نانومتر، ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي بعد هذه النقطة، مما يشير إلى أن اكسيد النحاس النانوي يمتص الطاقة بشكل أكبر في هذا المجال الطيفي تحديدًا. إن عدم وجود قمم أخرى واضحة في المنطقة المرئية (400–700 نانومتر) يدل على أن اكسيد النحاس النانوي شفافة نسبيًا في هذا المجال ولا تمتلك امتصاصًا قويًا للضوء المرئي، وهو ما يشير إلى أن المادة قد تكون ذات فجوة طاقة واسعة نسبيًا (Wide band gap). بشكل عام، تشير نتائج طيف الامتصاص إلى أن اكسيد النحاس النانوي تمتلك سلوكًا بصريًا مميزًا بوجود قمة امتصاص رئيسية في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، مما يدل على انتظام التركيب الإلكتروني للمادة وإمكانية استخدامها في تطبيقات تتعلق بالخواص البصرية أو المواد النانوية (Kumar et al., 2022).

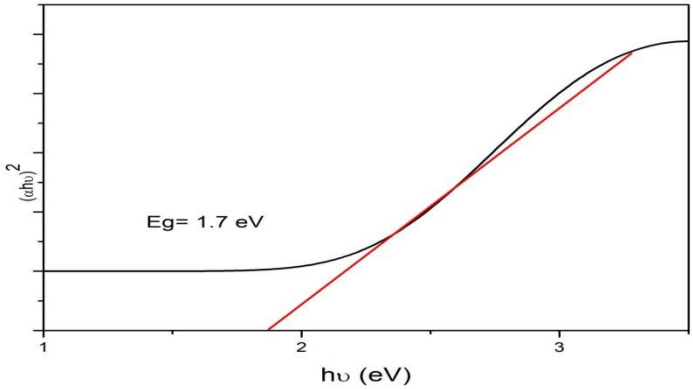


UV_Visible (1-3) لجسيمات اكسيد النحاس النانوية

3 -3 فجوة الطاقة Band gab :

يمثل الشكل(3_2) مخطط تاوك (Tauc plot) المستخدم لتحديد فجوة الطاقة البصرية (Energy band gap) للمادة من خلال بيانات الامتصاص الضوئي. ويوضح الرسم العلاقة بين مربع حاصل ضرب معامل الامتصاص في طاقة الفوتون على المحور العمودي، وطاقة الفوتون بوحدة إلكترون فولت (eV) على المحور الأفقي. إن استخدام الأس في العلاقة يدل على أن الانتقال الإلكتروني في المادة هو انتقال مباشر مسموح (Direct allowed transition)، وهو أمر شائع في العديد من أشباه الموصلات والمواد النانوية. يُلاحظ في الرسم وجود جزء خطي واضح من المنحني (الممثل بالخط الأحمر)، حيث تم رسم امتداد هذا الجزء حتى يتقاطع مع محور طاقة الفوتون. إن نقطة التقاطع هذه تمثل قيمة فجوة الطاقة البصرية للمادة، والتي تساوي في هذا الشكل حوالي 1.7 إلكترون فولت (eV). وهذا يعني أن الإلكترونات في المادة تحتاج إلى طاقة مقدارها 1.7 eV للانتقال من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل. كما يُلاحظ أن قيمة فجوة الطاقة تقع ضمن مدى أشباه الموصلات، مما يدل على أن المادة تمتلك خواصًا شبه موصلة ويمكن أن تكون مناسبة لتطبيقات بصرية أو إلكترونية مثل الخلايا الشمسية أو الحساسات الضوئية. ويشير الشكل أيضًا إلى أن الامتصاص يبدأ بالازدياد بشكل ملحوظ بعد طاقة معينة، وهو ما يعكس بداية الانتقال الإلكتروني وظهور الحافة الامتصاصية (Absorption edge) للمادة.

بشكل عام، تشير نتائج مخطط تاوك إلى أن اكسيد النحاس النانوي تمتلك فجوة طاقة مباشرة مقدارها 1.7 eV، مما يدل على سلوك شبه موصل وانتظام في البنية الإلكترونية للمادة، وهو ما يتوافق عادةً مع نتائج أطياف الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية–المرئية ويعزز من فهم الخصائص البصرية للمادة المحضرة (Tauc et al., 1966).

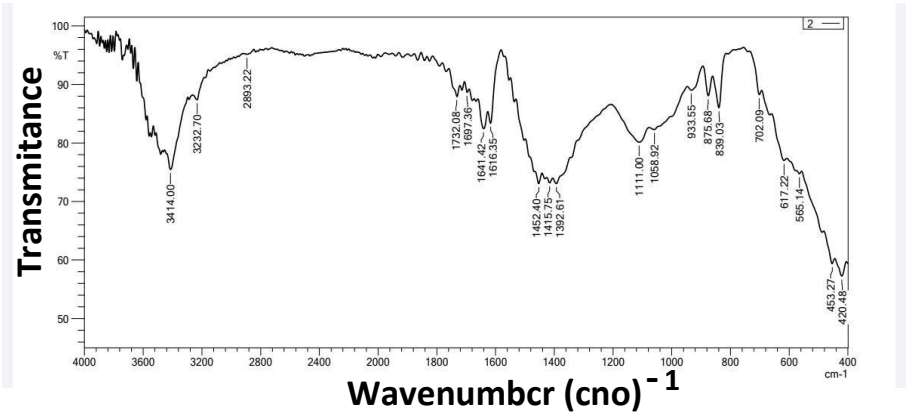


Band gab (2-3) لجسيمات النحاس النانوية

3 -4 مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR:

يبين الشكل (3_3) طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) للجسيمات المحضَّرة بطريقة الخضراء وجود عدة قمم امتصاص مميزة تعود إلى مجاميع وظيفية مختلفة مرتبطة بسطح الجسيمات النانوية. إذ تظهر قمة عريضة عند حوالي (3414 cm^{-1}) تُعزى إلى اهتزازات مجموعة الهيدروكسيل (O–H)، والتي قد تعود إلى جزيئات الماء الممتزة أو إلى بقايا المذيبات المستخدمة أثناء التحضير. كما تظهر إشارة عند (3232 cm^{-1}) تشير إلى وجود روابط هيدروجينية مرتبطة بهذه المجاميع وتُلاحظ قمة عند (2893 cm^{-1}) تعود إلى اهتزازات روابط (C–H) الأليفاتية، مما يدل على وجود آثار لمركبات عضوية أو ملوثات سطحية بسيطة ناتجة عن الوسط التفاعلي. أما القمة عند (1732 cm^{-1}) فتُعزى إلى مجموعة الكربونيل (C=O)، والتي قد تكون ناتجة عن بقايا مواد كيميائية مستخدمة في عملية التحضير أو من نواتج تفاعلات جانبية. كما تظهر قمم في المنطقة (1616–1697 cm^{-1}) يمكن إرجاعها إلى اهتزازات (C=C) أو (N–H)، مما يشير إلى وجود آثار لمركبات عضوية أو روابط ناتجة عن تفاعل المواد الأولية. كذلك تُلاحظ قمم عند (1392–1452 cm^{-1}) تعود إلى اهتزازات الانحناء لروابط (C–H) أو (C–N)، مما يعزز وجود مجموعات سطحية ضعيفة. وفي المنطقة (1058–1111 cm^{-1}) تظهر قمم

تُعزى إلى اهتزازات (C–O)، والتي قد ترتبط ببقايا الكحولات أو المركبات الأوكسجينية. كما تُلاحظ قمم في المدى (839–933 cm^{-1}) تعود إلى اهتزازات خارج المستوى لروابط (C–H). أما في المنطقة المنخفضة (400–700 cm^{-1})، فتظهر قمم واضحة تُنسب إلى اهتزازات روابط (Cu–O)، والتي تُعد دليلاً مهماً على تكوّن أوكسيد النحاس النانوي. ويُعد ظهور هذه الحزم مؤشراً على نجاح عملية التحضير بطريقة الخضراء وتكوين البنية البلورية للمادة. وبشكل عام، تشير نتائج طيف FTIR إلى أن الجسيمات المحضَّرة تتكون من أوكسيد النحاس النانوي مع وجود بعض المجاميع الوظيفية السطحية الناتجة عن بقايا المواد الكيميائية، والتي قد تساهم في استقرار الجسيمات ومنع تكتلها وهذة النتيجة تتوافق مع الدراسة التي قام بها ثيرسي واصدقاءة. (Therese et al. , 2000)



FTIR 3-3 لجسيمات النحاس النانوية

5-3 الاستنتاجات:

أظهرت النتائج نجاح استخدام الطريقة الخضراء في تحضير جسيمات أكسيد النحاس النانوية بالاعتماد على مستخلص أوراق الريحان كعامل مختزل ومثبت طبيعي. وقد دلّ طيف الأشعة فوق البنفسجية–المرئية على تكوّن الجسيمات من خلال ظهور قمة امتصاص مميزة عند طول موجي **257نانومتر**، كما تم حساب فجوة الطاقة ووجد أنها تبلغ حوالي **1.7إلكترون فولت**، وهي قيمة تقع ضمن مدى أشباه الموصلات، مما يمنح المادة خصائص بصرية وكهربائية ملائمة للتطبيقات العلمية والتكنولوجية. كذلك أوضحت نتائج مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) وجود روابط (Cu–O) ومجاميع وظيفية سطحية، الأمر الذي يؤكد تكوّن الجسيمات واستقرارها الكيميائي. وبناءً على ذلك يمكن القول إن الطريقة الخضراء تمثل وسيلة فعّالة وصديقة للبيئة لإنتاج مواد نانوية ذات خصائص جيدة وبكلفة منخفضة مقارنة بالطرق التقليدية.

6_3 التوصيات :

توصي بضرورة إجراء المزيد من الأبحاث المستقبلية لدراسة تأثير ظروف التحضير المختلفة مثل درجة الحرارة، زمن التفاعل، وتركيز المستخلص النباتي على الخصائص النهائية للجسيمات النانوية، وذلك بهدف تحسين جودتها والتحكم في حجمها وشكلها. كما يُستحسن التوسع في دراسة التطبيقات العملية لهذه الجسيمات في مجالات الطاقة المتجددة، الحساسات الضوئية، ومعالجة المياه، لما تمتلكه من خصائص أشباه الموصلات. إضافة إلى ذلك، يُنصح باستخدام تقنيات تحليل متقدمة للحصول على معلومات أكثر تفصيلًا عن تركيب الجسيمات وخصائصها، مع مقارنة نتائج الطريقة الخضراء بطرق تحضير أخرى لتقييم كفاءتها من حيث الكلفة، التأثير البيئي، والخواص الفيزيائية الناتجة.

المصادر:

1. McNeil, S. E. (2005). Nanotechnology for the biologist. *Journal of Leukocyte Biology, 78*(3), 585–594.
2. Silva, G. A. (2004). Introduction to nanotechnology and its applications to medicine. *Surgical Neurology, 61*(3), 216–220.
3. Roco, M. C. (2011). The long view of nanotechnology development: The National Nanotechnology Initiative at 10 years. *Journal of Nanoparticle Research, 13*(2), 427–445.
4. Sannino, D. (2021). Types and classification of nanomaterials. In M. B. Tahir et al. (Eds.), *Nanotechnology* (pp. 15–40). Springer Nature Singapore.
5. Lue, J. T. (2007). Physical properties of nanomaterials. In H. S. Nalwa (Ed.), *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology* (Vol. 10, pp. 1–46). American Scientific Publishers.
6. Banfield, J. F., & Navrotsky, A. (2001). Nanoparticles and the environment – An introduction. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 44*(1), v–vii.
7. Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263*, 032019.
8. Modena, M. M., Rühle, B., Burg, T. P., & Wuttke, S. (2019). Nanoparticle characterization: What to measure? *Advanced Materials, 31*(32), 1901556.

9. Mourdikoudis, S., Pallares, R. M., & Thanh, N. T. K. (2018). Characterization techniques for nanoparticles: Comparison and complementarity upon studying nanoparticle properties. *Nanoscale, 10*(28), 12871–12934.
10. De, M., Ghosh, P. S., & Rotello, V. M. (2008). Applications of nanoparticles in biology. *Advanced Materials, 20*(22), 4225–4241.
11. Stark, W. J., Stoessel, P. R., Wohlleben, W., & Hafner, A. (2015). Industrial applications of nanoparticles. *Chemical Society Reviews*. Tutorial Review.
12. Vogt, C., Wondergem, C. S., & Weckhuysen, B. M. (2023). Ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy. In I. E. Wachs & M. A. Bañares (Eds.), Springer handbook of advanced catalyst characterization. Springer Nature Switzerland AG.
13. Verma, G., & Mishra, M. (2018). Development and optimization of UV-Vis spectroscopy – A review. World Journal of Pharmaceutical Research, 7(11), 1170–1180.
14. Grdadolnik, J. (2002). ATR-FTIR spectroscopy: Advantages and limitations. Acta Chimica Slovenica, 49, 631–642.
15. Kumar, M., Ranjan, R., Dandapat, S., Srivastava, R., & Sinha, M. P. (2022). XRD analysis for characterization of green nanoparticles: A mini review. Global Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 10(1), 555779.

16. Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. Physica Status Solidi, 15(2), 627–637
17. Therese, G. H. A., & Kamath, P. V. (2000). Electrochemical synthesis of metal oxides and hydroxides. Chemistry of Materials, 12(5), 1195–1204.