بيئة تقنيات النانو

قسم علوم البيئة
المحاضرة الاولى
المرحلة الرابعة

د.سهير منير داود
د. مروة نزار

مقدمة عن تقنية النانو: تعريفها، ومصطلحاتها، وتواجدها، وتطبيقاتها في البيئة

تعتبر تقنية النانو تقنية حديثة ولها العديد من التطبيقات التي تتضمن تصنيع جزيئات أو جسيمات في مدى مقياس النانو. وعرفت تقنية النانو بأنها مجال متطور ينطوي على تصنيع وتجهيز وتطبيق العديد من التركيبات والأجهزة والأنظمة المتكونة من وحدات متناهية الصغر. لقد انبثقت فكرة تقنية النانو من الكلمة اليونانية Nano وتعني القزم' كما عرفت الجسيمات النانوية بأنها الجسيمات المنفردة التي لا تزيد أبعادها عن 100 نانومتر. وترجع الخصائص والميزات الفريدة من نوعها للجسيمات النانوية إلى صغر قياسها بالإضافة إلى التركيب الكيميائي والبنية السطحية لها. ولقد أفسحت الخصائص المميزة والتغييرات الفيزيائية للمواد المختلفة في مقياس النانو إلى تطوير خواص المنتجات الصناعية الأمر الذي نتج عنه زيادة حقيقية ومؤثرة في التطبيقات الصناعية والطبية. وفي هذا البحث سيتم التركيز على تطبيقات تقنية النانو في مجال البيئة، وخاصة التطبيقات المتعلقة بتنقية الهواء والماء .

لقد بدأت الجسيمات النانوية تجد طريقها إلى البيئة المحيطة بنا نتيجةً للاستخدام غير المحدود لمنتجات تقنية النانو وللمواد النانوية' ولهذا تم التنويه عن مصادر الجسيمات النانوية وسلوكها وتأثيراتها على البيئة. كما تمت الإشارة إلى التقنيات المختلفة لتقييم انتشار ومصير وسلوك المواد النانوية في البيئات المختلفة بالإضافة إلى المخاطر المحتملة للجسيمات والمواد النانوية.

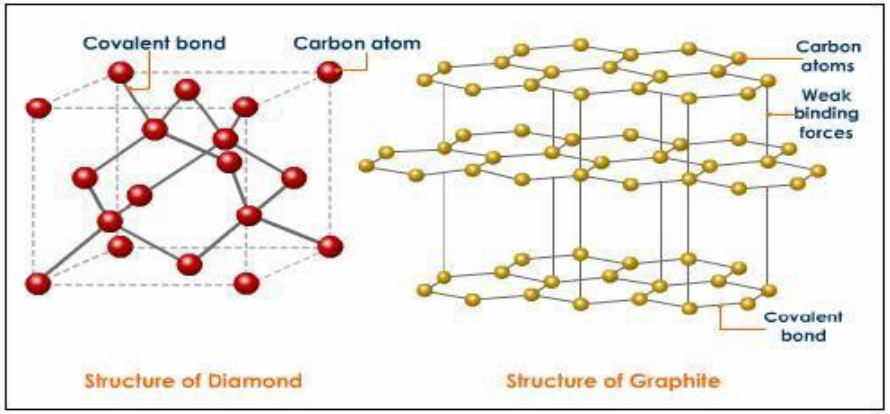
علم النانو تكنولوجي علم النانو تكنولوجي هو العلم الذي يهتم ببناء وتصنيع المواد والأجهزة على مقياس النانو؛ وهو عبارة عن وحدة قياس صغيرة للغاية تساوي جزءاً من مليار جزء من المتر؛ أي عشرة أضعاف ذرة الهيدروجين، حيث يبلغ قطر شعرة الإنسان حوالي 80000 نانومتر، وعند هذا المقياس تختلف الخواص الكيميائية والفيزيائية للمواد؛ مثل اللون، والصلابة، والموصلية، والتفاعلية اختلافاً كبيراً عن المقياس العادي، فمثلاً تعتبر أنابيب الكربون النَّانَوِيَّة (بالإنجليزية: carbon nanotubes) أقوى بمئة مرة من الفولاذ الذي يتكون أساساً من الحديد والكربون ولكن أخف بست مرات أول من تطرق لفكرة ومفهوم النانو هو الفيزيائي ريتشارد فاينمان (Richard Feynman) خلال محاضرته الشهيرة في اجتماع الجمعية الفيزيائية الأمريكية في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا عام 1959م بقوله: "هناك حيزٌ كبيرٌ في القاع"، واقترح أنّه من الممكن التحكم في الذرات والجزيئات والسيطرة عليها، وبعد عقدٍ من الزمن جاء البروفيسور نوريو تانيجوتشي (Norio Taniguchi) الذي صاغ مصطلح التكنولوجيا النانوية في أبحاثه حول المعالجة الفائقة الدقة، وبدأت تطبيقاتها عام 1981م مع تطوير مجهر المسح النفقي الذي يمكن أن يرى كل ذرة على حدة

تعتبر تقنية النانو تقنية حديثة ولها العديد من التطبيقات التى تتضمن تصنيع جزيئات أو جسيمات في مدى مقياس النانو. وعرفت تقنية النانو بأنها مجال متطور ينطوي على تصنيع وتجهيز وتطبيق العديد من التركيبات والأجهزة والأنظمة المتكونة من وحدات متناهية الصغر. لقد انبثقت فكرة تقنية النانو من الكلمة اليونانية nano وتعني القزم' كما عرفت الجسيمات النانونية بأنها الجسيمات المنفردة التى لا يزيد أبعادها عن 100 نانومتر. وترجع الخصائص والميزات الفريدة من نوعها للجسيمات النانونية إلى صغر قياسها بالإضافة إلى التركيب الكيميائي والبنية السطحية لها. ولقد أفسحت الخصائص المميزة والتغييرات الفيزيائية للمواد المختلفة فى قياس النانو إلى تطوير خواص المنتجات الصناعية الأمر الذى نتج عنه زيادة حقيقية ومؤثرة فى التطبيقات الصناعية والطبية. لقد بدأت الجسيمات النانونية تجد طريقها إلى البيئة المحيطة بنا نتيجةً للاستخدام اللامحدود لمنتجات تقنية النانو وللمواد النانونية' ولهذا تم التنويه عن مصادر الجسيمات النانونية وسلوكها وتأثيراتها في البيئة. كما تمت الإشارة إلى التقنيات المختلفة لتقييم انتشار ومصير وسلوك المواد النانونية في البيئات المختلفة بالاضافة إلى المخاطر والمحتملة للجسيمات والمواد النان

تقنية النانو- تعريفها وأساسياتها وخصائصها

يستخدم لفظ النانو كبادئة ترمز إلى الأساس عشرة مرفوعًا إلى القوة أو الأس -9. والنانومتر (ويرمز له بـ nm) هو أدق وحدة تستخدم في قياس الطول، وهو يساوي 10^{-9} من المتر. أما تقنية النانو فهي تطبيق لمختلف العلوم الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية، والهندسية، والأحيائية، والطبية والصيدلية؛ وتسخيرها لتصميم وصنع أدوات ومعدات في مقياس لا يتجاوز 100 نانومتر عبر تجميع المكونات الأساسية (ذرات) للمواد؛ وحيث إن كل المواد مكونة من ذرات متراصة وفق ترتيب معين، فإن استبدال ذرة عنصر بذرة عنصر آخَر تنتج مواد أخرى مختلفة. وأحيانًا تفاجئنا تلك المواد بخصائص جديدة لم نكن نعرفها من قبل؛ الأمر الذي يؤدي إلى فتح مجالات جديدة لاستخدامها وتسخيرها لفائدة الإنسان [2، 4، 5]. ومثالًا على

ذلك الجرافيت والماس؛ فكلاهما مكوَّن من ذرات الكربون؛ فالأول تكون ذرات الكربون مرتبة في أشكال سداسية متراصة في صفائح متوازية، أما الماس فذرات الكربون تكون على هيئة بلورات ثُمانيَّة الأوجه- صورة (1)، ولكلٍّ من الجرافيت والماس خواصه واستخداماته الخاصة [2، 6، 7].



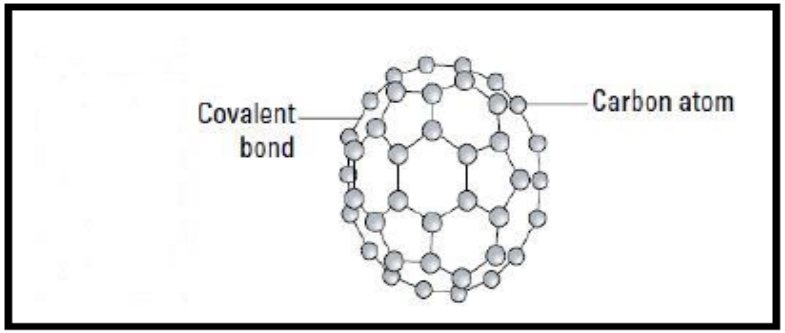
الرسم رقم (1): تركيب الجرافيت والماس [7].

يُستخدم في تقنية النانو، كغيرها من التقنيات، عددٌ من المصطلحات الخاصة منها «**علم النانو**»، وهو العلم الذي يهتم بدراسة المبادئ الأساسية والخواص التركيبية للمواد في مقياس النانو. وتعرف «**الجسيمات النانوية**» بأنها تجمُّع ذري أو جزيئي يتراوح عددها من بضع ذرات (أو جزيئات) إلى مليون ذرة، مرتبطة بعضها ببعض بشكل كروي تقريبًا، له نصف قطر أقل من 100 نانومتر. إن جسيماً نانوياً نصف قطره نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة، أغلبها على سطح الجسيم. وتؤدي أبعاد الجسيم النانوي لحدوث ظواهر فيزيائية معينة، مثل تغيير متوسط المسار الحر الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادُمين متتاليَين مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربية. كما أن الخواص الميكانيكية للجسيمات تتغير؛ فمثلًا تعتبر جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها إلى أقل من 50 نانومترًا ذات صلابة عالية وغير قابلة للطرق أو السحب،

وذلك عكس ما يحدث لمادة النحاس في القياس العادي؛ حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة. ومن الخصائص الأخرى للجسيمات النانوية إمكانيةُ تعليقها داخل سائل أو محلول من دون أن تطفو أو تغمر؛ وذلك لأن التفاعل بين سطح الجسيمات والسائل يكون قويًّا بحيث يتغلب على فرق الكثافة بينهما. وحديثًا تم تصنيع جسيمات نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجَّنة (مثل الجسيمات النانوية المغلفة)، وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية شبه صلبة، وهي الليبوسومات. كما يستخدم مصطلح «**المركَّبات النانوية**» للتعبير عن ناتج إضافة جسيمات نانوية إلى مواد عادية أخرى لتصنيع مواد جديدة، وينتج عن ذلك تحسنٌ كبيرٌ في خصائص تلك المواد. فعلى سبيل المثال تؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية لمادة

أخرى إلى تغيير الخصائص التوصيلية الكهربية والحرارية للمركَّبات النانوية، كما يؤدي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النانوية لتحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي، وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة. وتُجرى الأبحاث حاليًّا للحصول على مركَّبات نانوية جديدة ذات خصائص ومميزات تختلف عن المواد الأصلية. ومن المركَّبات النانوية المعروفة الآن المركَّبات البوليمرية النانوية [3].

لقد تم تصنيف المواد النانوية حسب تركيب المواد المكونة لها إلى نوعين رئيسيين؛ هما: الفولورينات (Fullerenes)، والجسيمات النانوية غير العضوية (أو الجسيمات النانوية المعدنية) [2، 8]. وتعتبر الفولورينات أحد الأشكال التركيبية لذرة الكربون؛ بحيث تَكُون كل 60 ذرة من ذرات الكربون مرتبطة ثلاثيًّا ومرتَّبة في حلقات أو كُرَات سداسية وخماسية، كما في الرسم (2). ويصل قُطر هذه الحلقات إلى 1 نانومتر، ويطلق عليها أيضًا كرات الكربون النانوية (Buckball)، ولهذه التراكيب خصائص ميكانيكية وتوصيلية عالية جدًّا [6، 9].

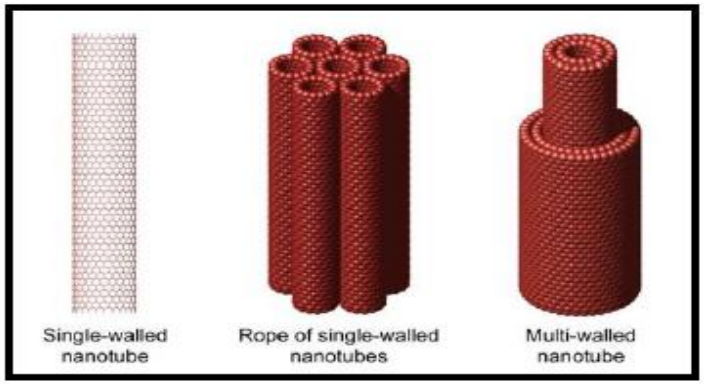


الرسم رقم (2): 60 ذرة كربون في ترتيب حلقي لتكوين الفولورين [6، 9].

في عام 1990 تم إنتاج أنابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotube- CNT)، وذلك بتكبير الكرات النانوية (الفولورين) لتكوين أسطوانات كربونية. وبالإمكان إنتاج عدة أشكال من الأنابيب الكربونية النانوية؛ فهي إما أن تكون أنابيب كربونية أحادية الجدار (Single Wall Carbon Nanotubes -SWCNT). وبالإمكان إدخال عدة أنابيب ذات أقطار مختلفة ومتدرجة في الصغر لتكوين أنابيب الكربون النانوية المتعددة الجدران (Multi Walls Carbon Nanotubes- MWCNT)، أو إلصاق (ربط) هذه الأنابيب خارجيًّا بعضها ببعض لتكوين ما يسمى بحبل الأنابيب الكربونية (Rope of nanotubes)، كما هو موضح في الرسم (3). ويصل قطر هذه الأنابيب إلى 1 نانومتر، وطولها إلى عدة مئات من النانومترات [8، 2، 9، 10].

أما أنابيب الكربون النانوية ذات الكؤوس المكدسة (Cup-stacked Carbon Nanotubes- CSCNT) الموضحة بالرسم (4)، فهي تتكون من طبقات كربونية مخروطية الشكل. ويجمع هذا النوع من أنابيب الكربون بين الشكل الأنبوبي

المجوف ووجود عدد كبير من الحواف السطحية النشطة؛ الأمر الذي يسمح بوظائف إضافية [10].



الرسم (3): أنابيب الكربون النانوية الأحادية الجدار والمتعددة الجدران [10].

الرسم (4): أنابيب الكربون النانوية ذات الكؤوس المكدسة [10].

وتتميز أنابيب الكربون بخاصية كمية تُدعى «نفق الإلكترون (Electron Tunneling)»، والتي تسمح للأنابيب الكربونية ببثِّ إشارات كهربائية على مستويات يستحيل أن يسري فيها التيار العادي، كما أصبحت أنابيب الكربون تتصرف كأشباه موصلات بفضل إمكانية تغيير تصميمها. ولقد استُخدمت أنابيب الكربون النانوية كأسلاك مصغرة لتوصيل المكونات المنفصلة في الحواسيب، مع العلم بأن الصفات الكهربائية الفريدة لأنابيب الكربون ليست هي الخواص الوحيدة التي يمكن

الاستفادة منها؛ فهذه الأنابيب تمتاز بالقوة الشديدة والمتانة؛ فإضافتها بنسب ضئيلة يمكن أن تُحسن خواص الألياف والمواد بشكل كبير. كما تمتاز أنابيب الكربون بأنها لا تتآكل ولا تحترق في الظروف العادية، ويمكن إضافتها إلى البلاستيك لجعله موصلًا، وغيرها من التطبيقات [2، 8، 9].

الجسيمات النانوية وتأثير القياس

إن تواجُد المواد في قياس النانو يكسبها عدة مميزات وخصائص مختلفة وفريدة من نوعها، عن خصائص المواد في القياس التقليدي، أهمها زيادة المساحة السطحية ونشاطية سطح الجسم؛ فمن المعروف أن تصغير قياس جسمٍ ما سيؤدي إلى ميله

للتأثر بسلوك الوحدات الأساسية المكونة لذلك الجسم (الذرات والجزيئات)؛ وبالتالي تظهر خصائص مختلفة عن خصائص الأجسام ذات القياس التقليدي؛ مثل التغير في الخصائص الفيزيائية كدرجة الانصهار، والخصائص النوعية كثابت العزل، وتحدُث تغيُّرات في النشاطية والذوبانية وجميع الخصائص المتعلقة بالكتلة وانتقال الحرارة، بالإضافة إلى تغيُّرات في سرعة التفاعلات وغيرها. وتسمى التغيُّرات في الخصائص الناتجة عن التغيُّرات في قياس الجسيمات بـ «تأثير القياس (Size Effect)» . ويرجع السبب في ذلك إلى تغير ارتباط الذرات والجزيئات المكوِّنة لتلك الأجسام. كما أن الذرات والجزيئات الموجودة على السطح تكون نشطة جدًّا، مما يُسهل ارتباطها بمواد أخرى، معطيةً بذلك خصائص مغايرة لخصائص الأجسام الكبيرة [8].

4. تحليل المواد النانوية في العينات البيئية

يشتمل تحليل الجسيمات النانوية في أوساط مختلفة على تعيين التركيب والتركيز، بالإضافة إلى دراسة سلوك وسُمِّية هذه الجسيمات وتأثيرها الضار على البيئة. إن صعوبة الحصول على تحليل كمِّي، ذي حساسية عالية، أدَّى إلى استخدام تقنية فصلٍ (لفصل الجسيمات النانوية) مرتبطة بتقنية قياس آلية [16]. وسنستعرض هنا أهم التحاليل والتقنيات المستخدمة لتعيين المواد والجسيمات النانوية في البيئات المختلفة.

4.1 التحليل النوعي للجسيمات النانوية

أ- استخدام المجاهر

لقد استُخدِمت عدة مجاهر للتعرف على جسيمات النانو، بالإضافة إلى تحريكها وتصويرها وغير ذلك من العمليات. ومن أمثلة هذه المجاهر: المجاهر الضوئية والإلكترونية، ومنها المجهر الإلكتروني الماسح (Screening Electron Microscope)، والمجهر النفقي الماسح (Scanning Tunneling Microscope)، ومجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopy) [2، 3].

ب- استخدام تقنية المطيافية الضوئية

لقد استُخدمت عدة تقنيات ضوئية في التحليل النوعي للجسيمات والمواد النانوية، ومن أهم هذه التقنيات: مطيافية الرنين النووي المغناطيسي، التي استُخدمت لتحديد التركيب الثلاثي الأبعاد للعينات؛ ومطيافية الأشعة السينية، التي تعطي معلومات عن التركيب البلوري للطبقات السطحية والطبقات المطلية للجسيمات النانوية؛ ومطيافية رامان، التي تعتبر التقنية المناسبة لتحديد الخصائص التركيبية للجسيمات النانوية. وقد تم دمج وربط عدة تقنيات ضوئية ببعضها، لتعيين أنابيب الكربون النانوية في

المياه السطحية [26]. كما استُخدمت عدة تقنيات وطرق لفصل وتعيين خصائص الجسيمات النانوية. واشتملت هذه الطرق على طريقة الطرد المركزي، والترشيح، والفصل التجزيئي باستخدام الأغشية، وقياسات السطح والشحنة، وقياسات المساحة السطحية والتحليل الوزني الحراري [16].

4.2 التحليل الكمي للجسيمات النانوية

هناك بعض المعوقات والتحديات التي تواجه التحليل الكمي للجسيمات النانوية؛ أهمها عملية أخذ العينات وتحضيرها للتحليل؛ حيث إن هاتين العمليتين تؤديان إلى تغيير حالة انتشار الجسيمات النانوية. كما أن وجود الجسيمات النانوية الطبيعية والمواد

العضوية في العينة يؤدي إلى صعوبة إجراء التحليل الكمي، بالإضافة إلى احتمالية ادمصاص الجسيمات النانوية العضوية وغير العضوية على جُدُر أوعية العينة. ويعتبر تحليل الجسيمات النانوية في التربة عملية صعبة؛ نتيجةً لوجود كميات كبيرة من الجسيمات الطبيعية ذات القياس المشابه للجسيمات النانوية المراد تحليلها. إن استخدام المواد المساعدة على الانتشار (Surfactants) أو استخدام جهاز باعث للاهتزازات أو الذبذبات؛ يساعد على تحرر الجسيمات النانوية المطلوبة، كذلك تستخدم أجهزة الطرد المركزي لفصل التجمعات النانوية، هذا بالإضافة لطرق الكروماتوجرافيا، التي تعرف بالترشيح الهلامي، والكروماتوجرافيا الهيدروديناميكية، وفصل التدفق الحقلي، بالإضافة إلى الفصل الكهربي الشعري. وتعتبر طريقة الترشيح الهلامي من أكثر الطرق الكروماتوجرافية المستخدمة في فصل الجسيمات ذات القياس الأصغر من 100 نانومتر. وقد تم ربط طريقة الترشيح الهلامي مع عدد من تقنيات القياس، لتعيين الجسيمات النانوية. ومن أهم التقنيات القياسية المستخدمة: القياسات الفولتية، ومقياس الكتلة، ومقياس تشتت الضوء، ومقياس الضوء الليزري المتعدد الزوايا، الذي أمكن بواسطته قياس خصائص

الجسيمات النانوية للذهب [27] وأنابيب الكربون الأحادية الجدار [28]. إن انتشار الجسيمات النانوية في البيئة يتأثر بعوامل مختلفة؛ مثل التعرض للضوء وللمواد المؤكسدة والميكروبات. وينتج عن هذه التأثيرات تحولات وانحلالات كيميائية وفيزيائية على سطح المجموعات الوظيفية المرتبطة بالجسيمات النانوية. وقد ينتج عن هذه التحولات الكيميائية إدخال مواد من الوسط ترتبط بالمجموعات الوظيفية؛ ومن ثم انطلاق جسيمات نانوية حرة إلى البيئة المحيطة [20].

يوجد العديد من منظمات البحث والأجهزة الحكومية تعمل جاهدة لتطوير طرق وأساليب لتحليل وتقييم أخطار تصنيع واستعمال المواد النانوية على الصحة والبيئة. إن نتائج الدراسات التي تمت حتى الآن أوضحت أن آليات الدفاع الطبيعية لجسم الإنسان تعامِل الجسيمات النانوية كالكائنات الحية (micro-organisms). إن هذه الجسيمات بإمكانها أن ترتبط بعضها ببعض لتكون أليافًا كبيرة الحجم لا يمكن لكرات الدم البيضاء (macrophages) ابتلاعها. هذا بالإضافة إلى أن الجسيمات النانوية المحتوية على نسبة عالية من المعادن الانتقالية ذات الأسطح النشطة، يمكنها الارتباط بجسيمات أخرى؛ وبالتالي تتغير قدرتها على إيذاء وإتلاف الخلايا [29].

Thank you