1. تطبيقات تقنية النانو في مجال البيئة

إن التقدم الهائل الذي حدث في تقنية النانو حفز منظمة الأمم المتحدة إلى الاهتمام بها، ورصد خطة للاستفادة من تطبيقاتها في المجالات المختلفة؛ فتقنية النانو تمكِّن من امتلاك الإمكانية لزيادة كفاءة استهلاك الطاقة، وتساعد في تنظيف البيئة والمحافظة عليها، وتحل العديد من المشاكل الصحية. كما أن تقنية النانو قادرة على زيادة الإنتاج الصناعي بشكل هائل وبتكاليف منخفضة جدًا. ومن المتوقع أن تسهم تقنية النانو في تحقيق تقدم في مجالات كثيرة؛ مثل: المجال الطبي، والصناعة، والطاقة، والزراعة، والغذاء، والبيئة، والفضاء، بالإضافة إلى المجال العسكري. وفيما يلي سيتم سرد بعض الأمثلة لتطبيقات تقنية النانو في مجال البيئة [11، 12].

لقد بُدِئَ في استخدام تقنية النانو لحل مشاكل التلوث البيني أو على الأقل تخفيفها؛ فقد استخدمت تقنية النانو في تطوير طرق جديدة لتوفير ومعالجة مياه الشرب واكتشاف تلوث الهواء؛ وهذا بدوره وفر فرصة كبيرة لتطوير بعض الاستراتيجيات لحماية البيئة من التلوث، وإنتاج مصادر طاقة نظيفة، وحل مشكلة تلوث المياه والهواء وغيرها من المشاكل البيئية. وسنوضح فيما يلي بعض الطرق والتقنيات النانوية التي استُخدمت لتنقية ومعالجة المياه واكتشاف تلوث الهواء [2، 13].

(٤-٤) تقنية النانو وتنقية المياه (Nano and water purification)

يعدّ النقص في المياه من المشكلات الخطيرة التي تواجه دولاً نامية كثيرة؛ لذا فإنّ استخدام تقنية النانو في تطوير تقنيات معالجة المياه التقليدية التي تضمّ المعالجات الكيميائية، وتحلية المياه، والتنقية والمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية، وغيرها من وسائل تقنية المياه، سيؤدي إلى رفع كفاءة هذه التقنيات، حيث سيوفر المياه للمحتاجين إليها. وتقدم تقنية النانو حاليًّا إلى هذا المجال الحيوي ثلاثة تقنيات معالجة تضمّ: أغشية أنابيب النانو الكربونية (CNT membranes)، وشباك النانو (Nano mesh)، ومسام الخزف النانوية (Nano porous ceramics) وتعمل هذه التقنيات بطرق مختلفة، وذلك وفقاً للمميزات الخاصة بكل تقنية، فعلى سبيل المثال: تعمل تقنية مسام الخزف النانوية على حجز ومنع مرور العوالق الدقيقة، والفطريات، والطفيليات، والكائنات الحية الدقيقة، والفيروسات، والمواد الضارة من مصادر المياه العذبة: كالأنهار، والبحيرات، والبرك.

ويجري العمل حاليًّا على تسويق مرشحات نانو (Nano filters) عملية، تنقي المياه تنقية سريعة، بحيث يستطيع الشخص شرب الماء المرشح مباشرة من مختلف مصادره: كالمياه الجوفية، والمياه الراكدة، ومياه الوحل. كما تتميز تقنيات النانو الحديثة بانخفاض كمية الطاقة المستخدمة في تنقية المياه، بالإضافة إلى ارتفاع جودة المياه المعالجة.

1.1. تنقية ومعالجة المياه

إن استخدام تقنية النانو في تطوير طرق وتقنيات المعالجة التقليدية للمياه (التي تشتمل على المعالجة الكيميائية وتحلية المياه والمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية وغيرها من طرق التنقية)، سيؤدي إلي رفع كفاءة هذه التقنيات؛ وهذا بدوره سيؤدي إلى تقليل التلوث وتوفير المياه الصالحة للشرب. لقد بُدِئَ فعليًّا في استخدام تقنية النانو لمعالجة المياه (ماء الشرب ومياه الصرف الصحي

والمياه الجوفية)، وتم ذلك بثلاث آليات تشمل ما يلي [13]:

أ- **التحفيز الضوئي** (Photocatalysis)

يعتبر استخدام المواد المحفزة النانوية لمعالجة المياه أكثر كفاءة من استخدام مواد محفزة ضخمة؛ وذلك لأن المواد النانوية تتميز بمساحة سطحية كبيرة لتحتكَّ بالمواد المتفاعلة. وتتضمن طريقةُ التحفيز الضوئي تفاعلاتٍ منشطةً بضوء الشمس لتدمير الملوثات والكائنات الحية، ويتم ذلك باستخدام مادة نشطة ضوئيًّا، مثل الجسيمات النانوية لثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2)، وهي مادة شفافة أظهرت فاعلية فائقة للقضاء على بكتيريا *Clostridium perfringens* المقاوِمة للكلور. وتعتبر هذه العملية اقتصادية ولا تنتج عنها مواد جانبية؛ حيث يستطيع أي إنسان وضع المياه الملوثة في زجاجات، وتنقَّى المياه فيها بمجرد تعريضها للشمس. كما استخدمت طريقة التحفيز الضوئي في وجود الجسيمات النانوية لثاني أكسيد التيتانيوم لتنقية الهواء الجوي؛ فقد وجد أن بعض الملوثات، مثل أكاسيد النيتروجين، ترتبط بجسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم؛ ولهذا تم طلاء المباني بطبقة من ثاني أكسيد التيتانيوم الشفاف، الذي يمتص ضوء الشمس، محولًا أكاسيد النتروجين إلى حمض النيتريك، الذي يغسل بمياه الأمطار [2، 13].

ب- **الترشيح النانوي** (Nano-filtration)

إن تقنية النانو ساعدت على إنتاج أغشية ذات ثقوب صغيرة جدًّا (قد تصل إلى 1 نانومتر)، تستطيع أن تحتجز المواد العضوية (مثل جزيئات المبيدات)، وتسمح لجزئيات الماء فقط بالمرور خلالها. ولقد استخدمت مرشحات من سليكات الألومونيوم النانوية لتنقية المياه من الشوائب والميكروبات دون الحاجة إلى استخدام مطهرات كيمائية أو مرسبات للأوساخ. يمكن أيضًا أن تتم عملية الترشيح باستخدام عدة أغشية مرتبة في طبقات؛ حيث تعمل كل طبقة على احتجاز نوع معين من المواد الملوثة الموجودة في الماء. وفي هذا الصدد تم إنتاج غشاء من أكسيد الحديد الخزفي المعروف باسم ferroxane، الذي يستخدم لإزالة الملوثات والمخلفات العضوية من الماء. وتم إنتاج أغشية أنابيب الكربون النانوية ومسام الخزف النانوية لأكسيد الألومونيوم، التي يمكن تغيير سُمكها وحجم مسامها وقابليتها للنفاذ، لحجز ومنع مرور العوالق، والفطريات، والطفيليات، والفيروسات، والمواد الضارة؛ بمصادر المياه العذبة كالبحيرات والأنهار. ويُجرى العمل حاليًّا على تسويق مرشحات نانوية تعطي تنقية سريعة للمياه؛ حيث يستطيع الشخص شرب الماء المرشح النقي مباشرة من مختلف مصادره؛ كالمياه الجوفية والمياه الراكدة [14].

ت- **الأكسدة الكهروكيميائية** (Electrochemical Oxidation)

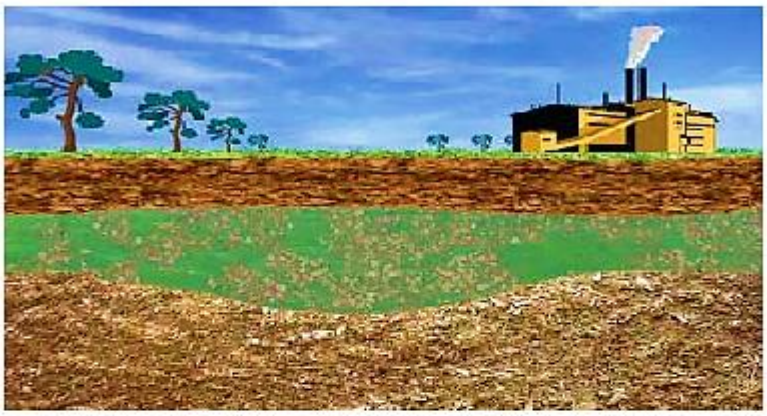
في هذه الآلية تحدث عملية أكسدة على سطح من أنابيب الكربون النانوية عند جهد معين، خاص بالمادة المراد أكسدتها [2].

شكل رقم (٤-١٢)تنقية المياه الجوفية من أهم أهداف تقنية النانو المستقبلية.

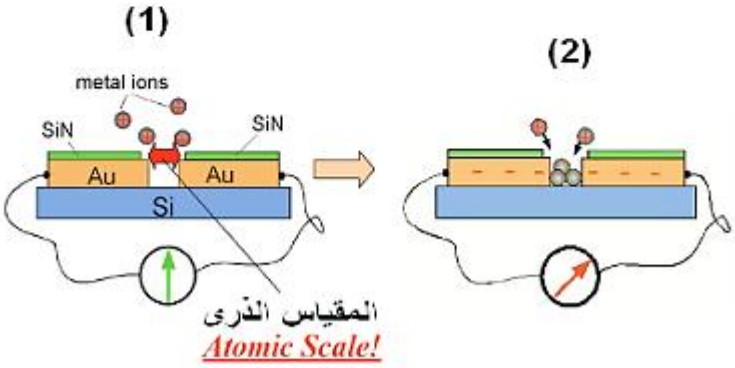
(٤-٥) النانو واكتشاف تلوث الهواء (Nano and the Air Pollution)

يواجه الإنسان في عصرنا الحالي مشكلة تلوث الهواء في كل مكان من حوله؛ ممّا يؤثر سلبًا في صحته، حيث أصبح يواجه خطر التلوث في مسكنه، وأماكن عمله، وفي كثير من المرافق العامة. ولعل أكثر أنواع التلوث خطورة يكمن في تلوث الهواء بالعناصر، والغازات السامة التي تكون في كثير من الحالات غير مرئية، وغير محسوسة. وعلى الرّغم من وجود عدد من التقنيات التقليدية التي تعمل على اكتشاف هذا التلوث فإنّ تقنية النانو تقدم كواشف ذات حساسية عالية جدًّا، وتسمى كواشف النانو، حيث تستطيع اكتشاف أي تلوث في الهواء بدقة متناهية جدًّا، قد تصل إلى حدّ اكتشاف بضعة جزيئات من الغازات، أو الأبخرة الملوثة. وتعتمد هذه التقنية على استخدام أنابيب النانو الكربونية CNTs، أو جسيمات البلاديوم النانوية (Palladium nanoparticles)، أو أسلاك النانو لأكسيد الزنك (zinc oxide nanowires)، حيث تتغير الخواص الكهربائية: كالمقاومة والسعة الكهربائية لهذه الكواشف، وذلك عند امتصاصها جزيئات الغاز الملوث. كما أنه

عند التقاط كواشف النانو جزيئات الغاز الملوث توصّل الدائرة الكهربائية؛ ممّا يؤدي إلى تشغيل كاشف النانو. ونلحظ أنّ دقة هذه الكواشف تصل إلى حدّ اكتشاف بضع أيونات؛ ممّا يجعلها ذات حساسية فائقة (انظر:الشكل رقم ٤-١٤) (١٠).



شكل رقم(٤-١٣) تلوث الهواء من الأشياء الخطيرة على صحة الإنسان (١٠).



شكل رقم (٤-١٤) تنقية الهواء باستخدام كواشف النانو(١٠).

1.2. اكتشاف تلوث الهواء

يعتبر تلوث الهواء بالغازات والعناصر السامة، التي تكون في معظم الأحيان غير مرئية وغير محسوسة، من أخطر أنواع التلوث البيئي. وفى هذا الصدد قدمت تقنية النانو مجسات ذات حساسية عالية جدًّا، تسمى مجسات النانو. إن هذه المجسات تستطيع اكتشاف أي تلوث في الهواء بدقة متناهية، تصل إلى حد اكتشاف بضع جزيئات من الأبخرة أو الغازات الملوثة. وتعتمد فكرة عمل المجسات النانوية على استخدام أنابيب الكربون النانوية، أو جسيمات البلاديوم النانوية، أو أسلاك أكسيد الزنك النانوية؛ حيث تتغير الخواص الكهربائية، كالمقاومة والسعة الكهربائية لهذه المجسات، عند امتصاصها لجزيئات الغاز الملوث [13، 14].

2. مصادر وسلوك الجسيمات النانوية في البيئة

تنتشر الجسيمات النانوية في البيئة (الهواء والماء والتربة) بصورة طبيعية أو من مصادر التلوث غير الطبيعية التي تتضمن العمليات الصناعية وعمليات الاحتراق، بالإضافة إلى العمليات المختلفة لإنتاج الجسيمات النانوية. وفي الجدول (1) تم إدراج أهم المصادر الأساسية للمواد النانوية المنتشرة في البيئة [15، 16].

جدول (1): المصادر الأساسية للمواد النانوية في البيئة .

المصدر	مصدر طبيعي الأصل	مصدر صناعي الأصل	الجسيمات النانوية المصممة هندسيًّا
الـهـواء	الانفجار البركاني	عمليات الحرق	عمليات تصنيع تقنية النانو
	نظام فوهات المياه الحارة	الانبعاثات الصناعية	
	العمليات الحيوية		
	التفكك والانحلال الناتج عن تأثير الأشعة فوق البنفسجية على النظم المائية		
	العمليات النووية		
الماء	كبريتيد المعادن النانوية	ترسب من الغلاف الجوي	تناثر وانتشار الجسيمات النانوية أثناء التصنيع والاستخدام
	الحديد المائي		
	أكسيد المنجنيز		
التربة	المعادن النانوية (مثل: هيدرات الحديد أو الحديد المائي)	ترسب من الغلاف الجوي	تناثر وانتشار الجسيمات النانوية أثناء التصنيع والاستخدام
	تجمعات المواد العضوية الطبيعية	الامتصاص والنقل من الأنظمة المائية	
	المصادر الحيوية (مثل: اليورنايت)		

3. مصادر المواد النانوية في البيئة

3.1 الغلاف الجوي

إن المصادر الطبيعية للجسيمات النانوية في الجو ــ كما هو موضح في جدول (1) ــ تشتمل على الانفجارات البركانية، وحرائق الغابات، وتهوية الأنظمة المائية الحرارية، والتعرية الفيزيائية والكيميائية للصخور وغيرها. ويمكن أن تنتشر الجسيمات النانوية غير العضوية في الجو بواسطة الإشعاع النووي [17]. وتعتبر الجسيمات النانوية وسائط مهمة لانتقال الجزيئات المختلفة من الطور الغازي إلى تكوين الرذاذ (المانع الهوائي)، والذي يتحول فيما بعد إلى قطرات معلقة في الهواء

3.2 البيئة المائية

تنتشر الجسيمات النانوية في البيئة المائية طبيعيًّا على شكل عدة موانع غروية (مثل عناقيد من كبريتيد المعادن الناتجة من الأنظمة الهيدروحرارية، والحديد الماني وأكاسيد المنجنيز). إن صغر حجم الجسيمات النانوية واتساع مساحتها السطحية تجعلها ذات أهمية في ربط الأطوار العضوية وغير العضوية للملوثات. وأظهرت دراسة أجريت في ألمانيا والسويد قدرة جسيمات الرصاص النانوية الموجودة في الماء أو التربة على الارتباط بأكسيد الحديد الغروي، الذي يعمل على نقلها وانتشارها بكفاءة عالية. إن ارتباط واستقرار الجسيمات النانوية (الطبيعية وغير الطبيعية) مع المواد العضوية، بما فيها الملوثات له علاقة وطيدة بتأثيرها السام في الأنظمة البيئية المائية. وبالرغم من عدم وجود معلومات أكيدة توضح مصير وسلوك المواد النانوية في النظام البيني الماني؛ إلا أن بعض الأبحاث العلمية أشارت إلى قدرة الجسيمات النانوية الحرة على التجمع والادمصاص؛ الأمر الذي يجعلها بطيئة الحركة والانتشار. وبإمكان الجسيمات النانوية المتجمعة الإفلاتُ من فتحات المرشحات والعوامل المرسبة [19، 20]. وتُجرى حاليًا دراسات عديدة لفهم سلوكِ وتصرفِ الجسيمات النانوية، والدور الذي تلعبه المواد العضوية الطبيعية لتغيير الخواص الفيزيوكيميائية للجسيمات النانوية وتأثير ذلك على تنقُّلها وسميتها في البيئة الطبيعية المائية [21، 22]. كذلك تُجرى دراسات لمعرفة التأثير الذي تحدثه بعض العوامل، مثل الأس الهيدروجيني والقوة الأيونية، على تجمعات بعض الجسيمات في القياس النانوي [23].

3.3 التربة

إن الجسيمات النانوية الموجودة في التربة تتمثل في معظمها بالمواد النانوية المعدنية (مثل الحديد والمنجنيز وأكاسيدهما وهيدروكسيداتهما)، بالإضافة للمواد العضوية الطبيعية والتجمعات الجرثومية [24]. إن المثال النموذجي للمواد النانوية الموجودة في التربة هو الحديد الماني (Ferrihydrite)، الذي يوجد في كل مكان في التربة [25].

4. تحليل المواد النانوية في العينات البينية

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 البينات المختلفة.

(٤-٦) تقنية النانو والزراعة (Nano and Agriculture)

تؤدي تقنية النانو دورًا كبيرًا في القطاع الزراعي، وذلك بتوفير عدد ضخم من مواد نانوية متعددة، تستخدم كأسمدة كيميائية تعمل على زيادة نمو المزروعات، وتحسين التربة؛ ممّا ينعكس إيجابًا على جودة المحاصيل، وزيادة إنتاج الأراضي الزراعية. كذلك تستخدم تقنية النانو في تصنيع أنواع خاصة من المبيدات الحشرية الآمنة، والمتوافقة بيئيًّا وبيولوجيًّا؛ وذلك بهدف المقاومة الفعّالة

والسريعة للآفات الضارة، واستهدافها.

ومن المتوقع أن يزداد دور تلك التقنية في السنوات القادمة، حيث تسهم مع تقنية الهندسة الوراثية في ابتكار سبل اقتصادية، وطرق جديدة وفريدة ترمي إلى تحسين المحاصيل الزراعية، ورفع جودتها، وذلك بالتحكم والتلاعب الجيني الآمن للمزروعات؛ ممّا يضمن زيادة في إنتاج وجودة المحاصيل الزراعية. وتقدم الشركات المنتجة المواد النانوية عددًا كبيرًا من المواد الكيميائية الزراعية القائمة على تصغير حجم حبيبات المواد الداخلة في تركيب المستحلبات التي يقل قطرها عن ١٠٠ نانومتر؛ ممّا يضمن زيادة هائلة في نشاطها وفاعليتها؛ وذلك نظرًا لتعاظم قيم مساحة سطوح تلك الحبيبات(٥٩).

المحور الثانيً- التنمية المستدامة

1- تطور مفهوم التنمية المستدامة: تعتبر التنمية شرط أساسي للنهوض بالدول والمجتمعات فأصبحت التنمية مطلب دولي ولكافة الدول وفي مختلف الميادين لقد مر مفهوم التنمية بعدة مراحل وتفسر تبعا لطبيعة المشاكل العالمية في حينها وحسب اهتمامات الخبراء وتوجهاتهم العالمية ذات الأبعاد الإنسانية والثقافية والاجتماعية والاقتصادية. ففي القرن العشرين تميزت التنمية بمفاهيمها الكلاسيكية المتميزة بأنها ذات طابع "اقتصادي فقط" فخلال الأربعينيات والخمسينيات من القرن الماضي كانت التنمية تفسر كمصطلح على أنها تنمية مستوى الدخل للافراد اي كانت تعطي معنى اقتصادي مرادفا لمفهوم النمو الاقتصادي وفي نظر بعض الاقتصاديين حينها تفسر بأنها عملية يزداد فيها متوسط دخل الفرد والدخل القومي. ثم قامت المنظمات المختصة بإعادة توضيح مفهوم التنمية في السبعينات من القرن العشرين لتكون عملية تخفيض معدلات الفقر في العالم و القضاء عليه ،والقضاء على سوء توزيع الدخل والبطالة(الركابي، 2014: 15). أما في منتصف الثمانينيات من القرن الماضي فقد بدأ المجتمع الدولي، يدرك مدى الحاجة إلى التركيز لحل مشاكل البيئة عندها لزم الامر بذل الجهود السياسية والعلمية(من خلال تكوين المنظمات ذات اطراف دولية وكفاءات علمية) فأصبحت التنمية المستدامة تأخذ مفهوما ذا "طابع بيني". وظهر التأكيد على التنمية الإنسانية، من خلال تقرير التنمية الإنسانية العالمي الصادر عام 1995، جاء فيه التأكيد على عدم إلحاق الضرر بالأجيال القادمة من خلال حفظ حقهم بالموارد الطبيعية وعدم تلويث البيئة أو اثقالهم بالديون العامة التي تتحمل عبئها بسبب الاجيال السابقة لها مما يخلق ظروفًا صعبة فى المستقبل نتيجة خيارات الحاضر

المحور الثالث- تطبيقات تكنولوجيا النانو الخضراء

1-ماهي تكنولوجيا النانو الخضراء؟ فيما يتعلق بالاستدامة والبيئة ، يمكن أن يكون تطبيق تقنية النانو مفيد للغاية ، على سبيل المثال في عمليات تنقية المياه ، في إنتاج الألواح الكهروضوئية الاكثر كفاءة من التقليدية أو في إنتاج أجهزة الاستشعار المؤتمتة، وكذلك في إنتاج بطاريات جديدة لتخزين الطاقة بينيا (Hernández, et,2017: 38). ترى الباحثتان أن مصطلح تكنولوجيا النانو الخضراء هو مصطلح شاملٍ يقصد به كيفية توظيف واستثمار تكنولوجيا النانو وعلم النانو بشكلٍ عام لدعم البيئة والحفاظ عليها، لذا تم تسميتها بالتكنولوجيا النظيفة أيضًا. وتتعدد المجالات التي يمكن الاستفاده فيها من تكنولوجيا النانو الخضراء بما فيها مجالات الطاقة النظيفة والامن الغذائي وتنقية الهواء والمياه وغيرها الكثير. وقد عرفت تكنولوجيا النانو الخضراء بأنها استخدام تكنولوجيا النانو لجعل عمليات التصنيع الحالية لمواد النانو أكثر ملائمة للبيئة ، فمثلا يمكن أن تساعد أغشية النانو على فصل المواد الكيميائية الضارة عن مواد النفايات، فضلا عن إستخدام نظم الطاقة البديلة ، وهي وسيلة أخرى لعمليات تصنيع التكنولوجيا الخضراء(http://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=330).

2-تطبيقات تكنولوجيا النانو الخضراء: يعد مجال حماية البيئة من أبرز المجالات التطبيقية التي توليها تكنولوجيا النانو اهتماماً كبيراً. يمكن للنانو تكنولوجي أن تستخدم في عملية التنظيف الذاتي للأسطح عن طريق استخدام مواد نانوية صديقة للبيئة تتفاعل مع الأشعة الفوق بنفسجية كما في : زجاج السيارات والشبابيك

والدهانات، وكذلك استخدام الجسيمات النانوية التي تعمل على التخلص من الملوثات والتخلص من الروائح الكريهة مثل استخدام جسيمات الفضة وثاني أكسيد التيتانيوم TiO2 ويمكن للآلات المجهرية ازالة الكيماويات السامة من مياه الصرف التي تطرح في الانهار، وقد تتمكن من استخلاص بعض النظائر المشعة من تصريف المفاعلات النووية. (https://units.imamu.edu.sa/)* كما أنها يمكن أن تقلل من الانبعاثات المسببة للاحتباس الحراري بنسبة 2٪ عند الشروع باستخدامها وتصل إلى 20٪ بحلول عام 2050 ويمكن توضيح ذلك في الجدول التالي:

جدول (1)

المواد الملوثة للبيئة والحلول المعالجة لها بتكنولوجيا النانو

المواد الملوثة للبيئة	القيمة المضافة للحد من الغازات المسببة للاحتباس الحراري
المواد المضافة للوقود Fuel additives	زيادة كفاءة الوقود في محركات الديزل بنحو 5 % بإضافة جسيمات النانو مما يؤدي إلى توفير 2-3 مليون طن سنوياً من إصدار CO2 في المملكة المتحدة Uk.
الخلايا الشمسية Solar cells	خفض في تكاليف إنتاج الخلايا الشمسية وتعديل أدائها ليصل لخمس مرات أكثر إنتاجية من الخلايا التقليدية .
اقتصاد الهيدروجين The Hydrogen Economy	-تطوير كفاءة تخزين الهيدروجين يمكن لمركبات الهيدروجين -القضاء على جميع الانبعاثات الضارة من النقل البري، الذي من شأنه أن يحسن الصحة العامة ، القضاء على جمّع انبعاثات CO2 .
البطاريات و المكثفات Batteries and Super capacitors	تكنولوجيا البطاريات والسيارات الكهربائية لا تزال تعاني من مشكلة وقت الشحن ، فتوفر تكنولوجيا النانو علاج لهذه المشكلة من خلال السماح للمركبات الكهربائية إلى إعادة شحنها بسرعة أكثر .
العزل Insulation	تقدم لنا تكنولوجيا النانو العديد من أساليب عزل البناء من خلال مواد عزل جديدة بجانب رفع أداء المواد التقليدية بالاضافة الى دمجها ببعض المواد الاخرى .

2-1تكنولوجيا النانو الخضراء والطاقة النظيفة(الطاقة الخضراء): أن الطاقة الخضراء هي الطاقة التي لا تترك اثاراً او مخلفات تضر البيئة كما هو الحال عند استخدام الوقود الذي يتم الحصول عليه من مصادر الطبيعة المتجددة مثل (الرياح والمد والجزر ، وطاقة الشمس و الطاقة الجوفية)، لتكون بديلاً عن مصادر الوقود الاحفوري او التقليدي (الفحم الحجري والنفط والغاز) والتي تسبب زيادة التلوث البيني و وظاهرة الاحتباس الحراري و ثقب الاوزون وندر ة بعض الموارد الطبيعية واستنزافها (البيرماني، 2016: 66).أن حبيبات السليكون النانوية عند استخدامها في مجال توليد الطاقة الكهربائية والشمسية تتميز بزيادة انتاج الطاقة الكهربائية بالإضافة الى اطالة عمر الخلية وتقليل الحرارة فيها، كما تسهم تكنولوجيا النانو في صنع البطاريات الموفرة للطاقة، وطاقة الرياح الميكانيكية باستخدام مراوح خفيفة الوزن فتزداد الطاقة الناتجة من الرياح(الطيار،2016: 16).كما تعمل تكنولوجيا النانو على تحسين كفاءة البطاريات عن طريق استخدام أنابيب الكاربون النانوية والاغشية ذات البنية متناهية الصغر ، مما يؤدي الى تسريع عملية شحن البطاريات الجافة ويجعل عمرها الانتاجي اطول كل ذلك (البيرماني،2016: 67)

ومن تحسينات تكنولوجيا النانو في مجال توليد الطاقة هو(Luther,2008: 30-49)

1-زيادة كفاءة الكهرباء التي تولدها الطواحين الهوائية: باستخدام انابيب الكربون النانوية التي تتميز بخفة الوزن والقوة، لصنع ريش طواحين الهواء .

2-شرائح من الانابيب النانوية التي يمكن استخدامها للحد من فقدان الطاقة في أسلاك نقل الكهرباء.

3-تحسين أداء البطاريات وتحسين الكفاءة والحد من تكلفة خلايا الوقود.

فترى الباحثتان ان هذه التكنولوجيا تساهم في خفض استهلاك الوقود الاحفوري الذي ينتج عنه انبعاثات ضارة، من خلال توفير بدائل لمصادر الطاقة تتميز بالكفاءة مقارنة بالمصادر التقليدية، وتجنب البيئة الملوثات والاضرار الناتجة عنها. ويوضح الشكل التالي الطاقة المستنفذة في العالم في قطاعات النقل والاستعمالات المنزلية والخدمات والصناعة حيث يستنفذ قطاع الصناعة معدلاً اعلى مقارنة مع باقي القطاعات وهذا يشير الى اهمية ايجاد طرق ترشيد الاستهلاك وتوفير البدائل الانظف للبيئة

2-2 تكنولوجيا النانو الخضراء في الزراعة والامن الغذائي: ان التطبيقات الحديثة لتكنولوجيا النانو شملت قطاع الزراعة والامن الغذائي، وانعكست في تغيير وتطوير التكنولوجيا المستخدمة في قطاع الزراعة ، مثل تحسين خصوبة التربة ورفع قدرتها على انتاج محاصيل ذات جودة عالية وقدرة على مقاومة الامراض والآفات الزراعية. حيث يمكن استخدام تكنولوجيا النانو في مجالات انتاج وتجهيز وتعبئة وسلامة الاغذية، فمثلا كبسولات النانو('Nana capsules) التي تستخدم بالاضافة الى تعزيز نكهة الاغذية، في معالجة وازالة المواد الكيمياوية والمسببات المرضية في الاغذية كما تدخل في مجال التغليف والتعبئة ليتم صناعة العبوات النانوية التي تطلق بعض المواد الكيمياوية الحافظة للمواد الغذائية، كما تستخدم حبيبات السليكيا النانوية التي تمنع جزيئات الغازات مثل الاوكسيجين من اختراق تلك العبوات وافساد الاغذية. فضلاً عن تحسين عمل المبيدات الكيمياوية للمحاصيل الزراعية بدون أن تترك اثاراً صحية على بقية الكائنات الحية (بيرماني، 2016: 61-63). كما تعمل على تطوير أسطح نشطة مضادة للميكروبات والفطريات، فيتم إدراج جزيئات أكسيد الزنك في التعبئة والتغليف البلاستيكية لمنع الاشعة فوق البنفسجية، وتوفير الحماية ومضادات الجراثيم . ttps://www.understandingnano.com/food.html

3-2 تكنولوجيا النانو في مجال تنقية المياه: عملت تكنولوجيا النانو على تقديم الحلول لمشكلة نقص المياه الآمنة للاستخدام البشري من خلال ايجاد تقنية لتصفية المياه، رخيصة الثمن وتستطيع القضاء على ملوثات المياه وتنظيفها بدون استخدام الطاقة الكهربائية. وتستخدم تقنية النانو لتنقية المياه، التحلية و الترشيح النانوي nano filtration and desalination وهي ما يسمى بمرشح انابيب الكربون CNT Membranes. هذه الاغشية خاصة لترشيح وتحليل المياه فتعمل على ازالة الاملاح المذابة من المياه ومعالجة الفضلات وازالة الملوثات البيئية مثل المكروبات والزرنيخ. وقد تم استغلال فكرة وجود علاقة بين الفضة والكهرباء وقتل البكتريا وذلك بنشر اسلاك الفضة النانوية على مادة الفضة ثم تغليفها بأنابيب الكاربون النانوية لتكتسب فاعلية فائقة على تصفية وتعقيم المياه واختزال مراحل التصفية بمرحلتين فقط وتعد هذه الطريقة طريقة مثالية لمعالجة المياه إذ ان المرشحات النانوية لا تتعرض للانسداد وبالتالي تعمر طويلا اضافة الى سلاسة مرور الماء من خلالها ولا تتطلب مواد كيمياوية اضافة لسهولة صيانتها ولا تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة. كما تم تصنيع جهاز تصفية صغير يعمل بدون استخدام الكهرباء ويستطيع تصفية وتعقيم(5) لترات من المياه في الساعة الواحدة، لا يتجاوز سعره 16$ وقادر على ازالة جميع المكروبات والمواد الكيمياوية الخطرة من مياه الشرب.(بيرماني، 2016: 61) و (https://ro-blog.com/nanotechnology-for-water-

4-2 معالجة مياه الصرف الصحي: في العصر الحالي وفي ظل ندرة الموارد المائية ، تعتبر معالجة مياه الصرف الصحي شرطا أساسيا لتحقيق الاستدامة لما له من اثار بيئية تضر الاجيال الحالية والاجيال المستقبلية، لذا يجب الاستفادة من تطور العلوم والتكنولوجيا لتطوير تقنيات متقدمة لمعالجة مياه الصرف الصحي بكفاءة عالية، ومن بين المعالجات لمشكلة مياه الصرف المختلفة هو إستخدام مواد نانو لها القدرة على توفير حلول عملية و إقتصادية مستدامة بهذا المجال ويمكن تلخيصها في أربع فئات:(Das et al,2014: 99)

أ-إستخدام بعض مواد النانو مثل الكربون النشط وأنابيب الكربون النانوية، و أكسيد التيتانيوم ، وأكسيد الزنك ، و أكسيد الماغنيسيوم ، وأكسيد الحديد، التي يتم تطبيقها لإزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي .

ب- إستخدام محفزات النانو مثل التحفيز الضوئي ، ومؤكسد كيمياني لإمكانية إزالة كل من الملوثات العضوية وغير العضوية.

ج- إستخدام أغشية النانو لإزالة الأصباغ والمعادن الثقيلة عن طريق أغشية أنابيب النانو كربون ، وألياف النانو الكهربية وأغشية النانو الهجينة.

د- تكامل تكنولوجيا النانو مع العمليات البيولوجية مثل وجود مفاعل حيوي للأغشية وخلية الوقود الميكروبية للوصول إلى أحدث إمكانات تنقية مياه الصرف الصحي. وقد طور فريق من العمل تابع لمركز تكنولوجيا النانو للعلوم البيئية والبيولوجية التابع لجامعة رايس الأمريكية مرشحات الأغشية ، عن طريق تصنيع مرشحات مصنوعة من مواد سيراميكية من أكسيد الحديد Iron Oxide Ceramic Membrane (عبارة حبيبات نانو) ، وتُعرف هذه الأغشية بالأغشية التفاعيلية (Reactive Membranes) لقدرتها الفائقة في إزالة وتحليل الملوثات و النفايات العضوية من الماء وتطهيرها من أجل كفاءة وإعادة تدوير المياه بطريقة مستدامة عن طريق تكنولوجيا النانو الخضراء من أجل بيئة افضل(B.I. Harman et al,2010: 27-29)

المحور الرابع- دور التكنولوجيا في تحقيق ابعاد التنمية المستدامة

1-البعد البيني: فتساهم تكنولوجيا النانو في تحقيق البعد البيني للتنمية المستدامة وذلك باستخدام تقنيات الانتاج الانظف كمدخل لتطبيق تكنولوجيا النانو، خاصة وانها تمثل استراتيجية للمنشأة الصناعية ككل وليست خاصة بالقسم الانتاجي فقط . إن الهدف الرئيسي للإنتاج الأنظف يتمثل في العمل على استدامة الأنتاج الصناعي والطاقة وتقليل التلوث البيني الناتج عن المنشآت الصناعية، وهذا هو ما ينتجه ادخال تكنولوجيا النانو في المجال الصناعي، على ان تأخذ بعين الاعتبار التكلفة المالية لتطبيقها.نظرا لما لحق بالبيئة من آثار سلبية واضرارا بالغة خاصة في القرن الحالي نتيجة اللاعقلانية في عملية التصنيع، فقد لجأت العديد من الدول إلى تبني تكنولوجيا صناعية مستدامة ومنها (التكنولوجيا الخضراء وأساليب الانتاج الانظف)، للحفاظ أو التقليل من الأخطار البيئية من جهة والمحافظة على الموارد الطبيعية من جهة اخرى لضمان حصة الاجيال القادمة فيها، بالاضافة الى الأثار الإيجابية لها في التنمية المستدامة والمتمثلة في تنويع مصادر الطاقة البديلة بما يساهم في تقليل نسبة التلوث الصادرة عنها وتدنية التكاليف. كذلك إنتاج بدائل للمواد النادرة والتقليدية، أكثر فعالية من حيث الخصائص وأقل تلوثا مما يساهم في إرتفاع مرونة العمل الإنتاجي. من خلال تخفيض حجم المخلفات إلى الحد الأدنى واستخدام المواد النانوية فان تكاليف الطاقة اللازمة لمعالجة الملوثات ستنخفض ، ويؤدي ذلك بالتالي إلى خفض تكاليف رأس المال و التشغيل والصيانة . و من خلال تطبيق تقنية الإنتاج الأنظف (CPT) فإن خفض حجم المخلفات سوف يحدث تلقائيا ، و نتيجة لذلك تتحسن عملية استخدام الموارد ككل

2-البعد الاقتصادي: ان تكنولوجيا النانو تعتبر ثورة صناعية مشابهة للثورة الصناعية التي احدثت التغيرات الاقتصادية واوصلت العالم الى ما هو عليه اليوم وترجع الاهمية الاقتصادية لتكنولوجيا النانو الى: 1- قدرة تكنولوجيا النانو على بناء مواد جديده بديله للمواد التقليدية ذات الكلف المرتفعة. 2-ان المواد النانوية الجديدة ذات خصائص مميزه مقارنه بالتقليدية كالقوة والصلابة والتوصيل الكهربائي. 3-امكانية استخدام المواد النانويه في مختلف الصناعات ومجالات الحياه. 4-أمكانية استغلال بعض النفايات واعاده تدويرها لتصنيع مواد نانويه جديده. ان هذه المميزات تسمح بانتاج اي سلعة و بكلفة اقل من خلال استخدام مواد موجوده بالطبيعه ذات خصائص فيزيائية وكيميائية رديئة وتحويلها عن طريق تكنولوجيا النانو الى مواد ذات خصائص ممتازه عن طريق اعاده رصف ذراتها للتحول من مواد لا قيمه لها الى مواد ذات قيمه و بديله لأغلب المعادن والمواد الاولية المعرضة للندرة.ان ما سبق سيؤدي الى النهوض بالانتاج المحلي اذا تم استغلال تكنولوجيا النانو بصورة صحيحة، تجعل المنتج المحلي قادر على منافسة المنتجات المستوردة مما يتيح النهوض بالواقع الاقتصادي وتحقيق التنمية الاقتصادية من خلال تقديم منتجات قادرة على كسب المنافسة من خلال الجودة والكفاءة والتكلفة المنخفضة.ان تكنولوجيا النانو كثورة تقنية جديدة تحتاج في بدايتها الى استثمارات مالية مكلفة في بعض تطبيقاتها ومعداتها، وهو ذاته ما حدث في عند الثورة الصناعية التي حولت العالم الى الانتاج الالي عن طريق المعدات والمكائن الصناعية ، ولكن يمكن تطبيق تكنولوجيا النانو بشكل غير مكلف ولا يحتاج الى استثمار مليارات الدولارات وذلك عن طريق بعض المواد الحيوية النانوية منخفضة التكلفة.

3-البعد الاجتماعي: يتمثل في حق الانسان في العيش في بيئة نظيفة وأمنة، مع الحصول على حقه من الموارد والثروات بشكل عادل و يسمح له بتلبية احتياجاته من الخدمات البيئية والاجتماعية ويضمن حصوله على احتياجه من المأوى والملبس والغذاء. ان خصائص المواد النانوية الفريدة عند مقياس النانو (1-100نانومتر) عند احكامها في الصناعة التحويلية تحقق منافع مادية واجتماعية عالية ومن ثم تحقق الرفاهية الاجتماعية للمجتمع (الطيار،2016:ص 13) كما ان تكنولوجيا النانو عند خفضها للتكاليف ستتيح توظيف الوافر من التكاليف في مجالات اخرى مما يعني القضاء على البطالة المقنعة بتوفير فرص عمل حقيقية منتجة وليس اعمالاً تمثل تكاليف غير منتجة وعبئ على الشركات الصناعية تودي مع الاستمرار الى استنزاف الموارد الاقتصادية وتأكل المجتمع اقتصادياً. فبالنتيجة ان توظيف تكنولوجيا النانو سيدعم رفاهية المجتمع ويحسين نوعية الحياة.ترى الباحثتان ان ما سبق ذكره يثبت فرضية البحث والتي مفادها(أن اعتماد تكنولوجيا النانو في القطاع الصناعي العراقي من شأنه ان يسهم في تحقيق ابعاد التنمية المستدامة الاقتصادية والبيئية والاجتماعية).

ويمكن تلخيص ما سبق بأهمية تكنولوجيا النانو في تحقيق ابعاد التنمية، ان الابعاد الثلاثة الرئيسية للتنمية المستدامة لها قاعدة صلبه وهي رأس المال، والذي يقسم الى خمسة انواع رئيسية وهي (طبيعي، مالي، انتاجي، بشري، اجتماعي)، وتتحقق التنمية المستدامة اذا تم الانتاج بطرق وتقنيات وممارسات تعمل على صيانة رأس المال بأنواعه الخمسة.فتكنولوجيا النانو تعمل على زيادة كفاءة العمليات الصناعية، وترشيد استخدام الموارد، وتقليل التأثيرات البيئية عن طريق الحد من المخلفات بأنواعها، وبالتالي الوصول الى تكلفة انتاج منخفضة، وذلك بأستعمال مواد نانوية منخفضة التكلفة وذات قوه ومتانة اعلى من المواد التقليدية.

(٤-٧) التطبيقات الصناعية (Industrial application)

تتلخص فكرة استخدام تقنية النانو في إعادة ترتيب الذرات التي تتكوّن منها المواد في وضعها الصحيح، وكلما تغيّر الترتيب الذري للمادة تغيّر الناتج منها إلى حدّ كبير. وبمعنى آخر، فإنّ المنتجات المصنعة من الذرات تصنع مرة أخرى، وتعتمد خصائص هذه المنتجات على كيفية ترتيب هذه الذرات، فإذا أعدنا ترتيب الذرات في الفحم، فإنه يمكننا الحصول على الماس، أمّا إذا أعدنا ترتيب الذرات في الرمل، وأضفنا إليه بعض العناصر القليلة، فإنه يمكننا تصنيع رقائق الحاسوب. وإذا أعدنا ترتيب الذرات في الطين والماء والهواء، فإنه يمكننا الحصول على البطاطس. وما يعكف عليه العلم الآن أن يغيّر طريقة ترتيب الذرات في البناء، وذلك باستخدام تقنية النانو من مادة إلى أخرى.

(٤-٧-١) تقنية النانو والحاسوب (Nano and computer)

لقد كان أول تطبيق لعلم تقنية النانو على مجال علم الحاسوب، وخاصة الأقراص الصلبة، ففي عام ١٩٨٨م توصّل العالم (فير) الفرنسي والعالم (جرونبرج) الألماني عبر بحوث مستقلة إلى اكتشاف نظرية عن المقاومة، تظهر عند التعامل مع التيار الكهربائي، والحقل المغناطيسي على مستوى الذرات، وسمياها «المقاومة المغناطيسية العملاقة». وقد طبّقت عمليًّا على تخزين المعلومات في الأقراص الصلبة. ويعمل الحاسوب على تحويل المجالات المغناطيسية إلى تيار كهربائي، حتى يتمكن من قراءتها، والمعلومات الرقمية تحفر حفرًا على المادة المخزنة فيها، على هيئة حقول مغناطيسية، وتكون على مستوى الذرة، وأقل من ذلك بكثير، وفي الوقت نفسه، تحتاج إلى آليات دقيقة جدًّا؛ لقراءتها، حيث تحوّل عملية القراءة الحقول المغناطيسية إلى تيار كهربائي، وبذلك يتمكن جهاز الحاسوب من التعرف عليها، وفهمها. وفي حال تمكّن العلماء من تصغير الأجهزة إلى حدود فائقة في الصغر باستخدام تقنية النانو، فقد يصل الأمر إلى استخدامات مثيرة، مثل: صناعة أجهزة قياس صغيرة جدًّا، تدخل في عروقنا؛ لنسافر فيها، وتشخص كل ما تراه، ثم ترسل تقاريرها إلى حاسوب يثبت على الجسم من الخارج(٢٧).

شكل رقم (٤-١٦) ذاكرة الحاسب بتقنية النانو (٢٧).

(٤-٧-٣) الطاقة النانوية (Nano Energy)

جرت مساعي حثيثة على مدى العقود القليلة الماضية في مجالات العلوم والهندسة؛ لتطوير أنواع جديدة ومحسّنة لتقنيات الطاقة التي قد تؤدي إلى القدرة على تحسين الحياة في جميع أنحاء العالم.

ويعدّ التصنيع النانوي أحد الحقول الفرعية المهمّة من تقنية النانو المرتبطة بالطاقة. وهو عملية تصميم وتصنيع أجهزة حسب المقياس النانوي، حيث يساعد تصنيع أجهزة أصغر من ١٠٠ نانومتر على إيجاد وتطوير طرق جديدة؛ للحصول على الطاقة، وتخزينها، ونقلها. وسيقدم ذلك إلى العلماء والمهندسين مستوى جيّدًا من التحكم، بحيث يؤهلهم لحل مشكلات كثيرة متعلّقة بالجيل الحالي من تقنيات الطاقة التي يواجهها العالم اليوم. وقد بدأ العاملون في حقول العلوم والهندسة العمل على تطوير طرق استخدام تقنية النانو في تطوير منتجات استهلاكية. ومن مزايا تصميم تلك المنتجات زيادة فاعلية الإنارة والتدفئة، وزيادة سعة التخزين الكهربائية، وإنقاص التلوث الناجم عن استخدام الطاقة؛ ممّا أعطى استثمار رأس المال في بحث وتطوير التقنية النانوية أولوية قصوى (٦٤).

(٤-٧-٤) النانو والطاقة الشمسية (Nano and Solar Energy)

تعدّ الشمس مصدرًا مهمًّا جدًّا للطاقة لجميع أشكال الحياة على سطح الأرض، ومنذ اكتشاف الظاهرة الكهروضوئية بدأ الإنسان ينظر إلى الشمس كمصدر للطاقة الكهربائية، يتميز بالاستمرارية، وبالوفرة والنقاء. وبناء على ذلك، بدأ العلماء تصميم خلايا الطاقة الشمسية، وتطويرها؛ لتحويل طاقة الشمس الضوئية إلى كهرباء. ومنذ أوائل القرن العشرين عكف الباحثون على تطوير الخلايا الشمسية من أجل رفع كفاءتها، وخفض تكلفة إنتاجها، ولكن للأسف مازال استخدام تقنية الطاقة الشمسية محدودًا جدًّا، وذلك لعدة أسباب منها: انخفاض كفاءة الخلايا الشمسية التقليدية، بالإضافة إلى ارتفاع تكلفة إنتاجها.

ولكن في عصرنا الحالي، نجد أنّ تقنية النانو القادمة تعد بتقديم حلول جذرية لهذه المشكلة، فالخصائص المذهلة لجسيمات النانو تمكنها من ريادتها في استغلال الطاقة الشمسية، فعلى سبيل المثال لا الحصر: تعدّ رقائق النانو (Nano-flakes) إحدى تراكيب النانو البلورية التي ستكون قادرة على تحويل أكثر من ٣٠٪ من الطاقة الشمسية إلى كهرباء (انظر: الشكل رقم ٤-٢١)، والسبب في ذلك الأبعاد الدقيقة (أبعاد النانو) التي تتميز بها هذه التراكيب.

(٤-٧-٧) النانو والصناعات الأخرى (Nano and other industries)

هناك صناعات كثيرة سيكون لتقنية النانو دور كبير في تطويرها في المستقبل القريب، ومن أهمها: تقنيات الإعلام والاتصال، والبيئة، والطاقة، والنسيج، والكيمياء، ومواد التجميل والعطور، والخزف، ومواد البناء، والمطاط، والمواد البلاستيكية، والزجاج والمواد المصنوعة منه، والسيارات، والطائرات (١٠).

ففي صناعة السيارات والطائرات تقدّم تقنية النانو الكثير؛ لتحسين الصناعة في هذين المجالين، فمثلا: تتدخل هذه التقنية في صناعة الأبواب، والمقاعد، والدعامات، ومن أهم مميزات هذه القطع المحسّنة صلابتها، ومرونتها العالية في الوقت نفسه، وكذلك تتميّز بخفة وزنها. كما تدخل تقنية النانو أيضًا في تحسين الزجاج على وجه العموم، وتحسين زجاج النوافذ على وجه الخصوص، حيث يصبح عالي الشفافية، وذلك باستخدام نوع معيّن من جسيمات النانو في صناعة نوع من الزجاج يعرف باسم «الزجاج النشط»، حيث إنّ هذه الجسيمات تتفاعل مع الأشعة فوق البنفسجية، فتهتز؛ ممّا يزيل الرواسب، والأوساخ، والغبار الملتصق بالسيارات. كما تتميّز هذه الجسيمات أيضًا بتشكيلها سطحًا طاردًا للماء؛ ممّا يجعل تنظيفها أمرًا سهلاً لدرجة أنه أطلق عليه اسم «زجاج التنظيف الذاتي».

وكذلك من ميزات القطع المحسنة المستخدمة في صناعة الأجزاء الداخلية، أنها تقلل استهلاك الوقود، وستساعد على صنع محركات نفاثة تتميز بهدوئها، وأدائها العالي.

كما تستخدم تقنية النانو في المجال الرياضي عمومًا في تحقيق هدفين هما: تقوية الأدوات الرياضية، وإكسابها المرونة والخفة، حيث إنّ بعض جسيمات النانو أقوى بمئة مرة من المعدن الصلب، وأخف منه. ومن المنتجات التي حسّنت: مضارب الهوكي، ومضارب البيسبول، ومضارب كرات التنس، وكرات الجولف.

وتستخدم تقنية النانو أيضًا في مجال الدهانات، حيث تتميز هذه الدهانات بقدرتها على مقاومة الخدش، والتآكل، والتفتت؛ ممّا سيجعلها مناسبة تمامًا لدهن السفن، والمراكب. وفي صناعة الشاشات التلفازية، وشاشات الحاسوب، فإنّ تقنية النانو لها تأثير ملحوظ في تحسين أدائها، وتوفير الطاقة اللازمة لتشغيلها، كما أنها ستتميّز بوضوح ودقة عاليتين. أمّا بشأن حجمها فتتميّز بصغر سماكتها، وخفة وزنها (١٠).

كما توجد استخدامات كثيرة تخدم مجال الصناعات الإلكترونية، مثل: مجال صناعة الترانزستورات، حيث بدأ مصنعو الترانزيستور الوصول إلى الحدود الطبيعية لمدى صغر رقائق السيلكون، والنحاس التي تصنع منها مثل هذه المواد. وقد ساعدت هذه التقنية هؤلاء العلماء على الوصول إلى طريقة مبتكرة؛ لتصنيع ترانزستورات أصغر بكثير من الرقائق الحالية، وليس ذلك عبر تقليل حجم الرقائق الحالية، ولكن بتصنيعها من الجزيئات الفردية. فقد ساعدت الأبحاث التي أجراها أربعة علماء يعملون في مركز الأبحاث التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) على تمهيد الطريق؛ لبناء ترانزستورات من الأنابيب الكربونية المتناهية في الصغر، والتي صنعت من طبقة واحدة من الذرات الكربونية التي تقاس من خلال النانومتر. واستنتج العلماء إمكانية تصنيع الترانزستورات من الأنابيب المتناهية في الصغر.

(٤-١١-٤) تقنية النانو والظواهر البيئية (Nano and environmental)

إذا نظرنا إلى المستقبل، فإنّ الخطوة التالية ستكون ربْط شبكات الاتصالات، مثل: الإنترنت بأجهزة نانوية؛ كي تُساعدنا على فهْم ما يحدُث داخل الكائن الحيّ، أو في البيئة. ولعلّ مراقبة المحيطات، تمثل أبسط الأمثلة المشاهَدة، حيث أنشئت بالفعل شبكة نانوية من أجهزة الاستشعار الزلزالية، وتوجد حاليًّا أجهزة استِشعار تُتيح إمكانية التنبُّؤ بأمواج تسونامي، بيد أنّ المطلوب هو تعميم هذه التقنية.

وباستخدام «نانو تيرا» على سبيل المثال يمكن تطوير أجهزة استشعار؛ لرصْد الأنهار الجليدية، إذ مع ارتفاع درجة حرارة الأرض، ووجود كُتَل جليدية معلَّقة، يُمكن أن تشكل خطرًا حقيقيًّا يتهدّد بعض المدن. ومن المعلوم أيضًا أنه يكفي سقوط الأمطار ليوميْن متتاليين؛ لتُحدِث فيضانات، قد تتسبّب في خسائر كبيرة، ومنها خسائر في الأرواح؛ الأمر الذي يستدْعي إنشاء شبكة من المجسّات الاستِشعارية التي ترصد الرطوبة، والجفاف، وبعض البيانات الخاصة بالغِلاف الجوي، بحيث يُمكننا عبرها التنبُّؤ بالأحوال المَناخية، ثمّ رفع المعلومات على الشبكة الإلكترونية، ومراقبة كاملة لأحوال الطقس في دولة ما. ويمكن في المستقبل إمداد الشبكة الإلكترونية بمعلومات حوْل المحاذير البيولوجية. كما يمكن أن تنشَأ خلال السنوات القادمة آلية رقابة على حدود الدول، بحيث تكون مهمَّتها الحيْلولة دون عبُور الجراثيم التي تنشر الأوبِئة، وتهدّد سلامة الإنسان(١٠).