ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

" تكنولوجيا النانو ، اكتشافها ، فوائدها ، تطبيقاتها "

د. محمد أحمد الشحنة

(جامعة المنارة ، كلية الصيدلة ، البريد الإلكتروني: Mohamad.alchahneh@manara.edu.sy)

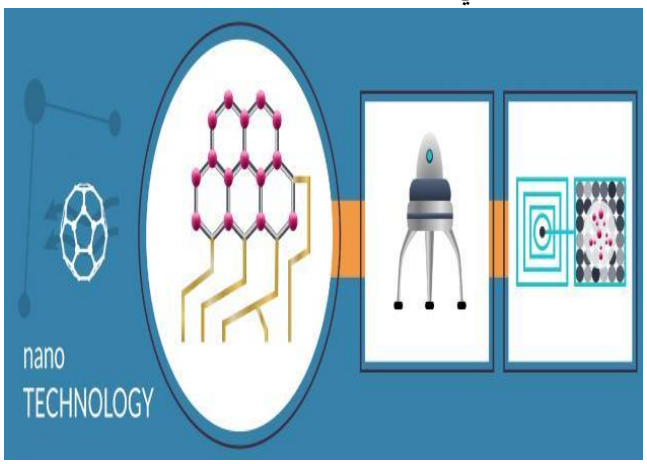
الملخص

تكنولوجيا النانو بالإنجليزية (Nanotechnology) هي تقنية تعمل على دراسة المادة وفهمها ومراقبتها بأبعاد تتراوح ما بين 1 و 100 نانومتر، والتي يمكن استخدامها في جميع المجالات العلمية المختلفة، مثل: الفيزياء، الكيمياء، البيولوجيا، علوم المواد والهندسة. من الجدير بالذكر أنّ مصطلح تقنية النانو أو تكنولوجيا النانو يتعلق بالفهم الأساسي للخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية على المقاييس الذرية والجزيئية، والتحكم بهذه الخصائص الخاضعة للرقابة لإنشاء مواد وأنظمة وظيفية ذات قدرات فريدة وتعتبر تقنية النانو من التقنيات التابعة لعلم المواد، وتتصل هذه التقنيات مع العلوم التالية: الفيزياء، الهندسة الكيميائية، الهندسة الحيوية، والهندسة الميكانيكية، وهو معلم متخصص ببحث المواد وإنتاجها في العالم الذري الصغير جدًا

الكلمات المفتاحية: مواد النانو ، اكتشاف النانو ، تحضير النانو ، تطبيقات النانو ، فوائد النانو .

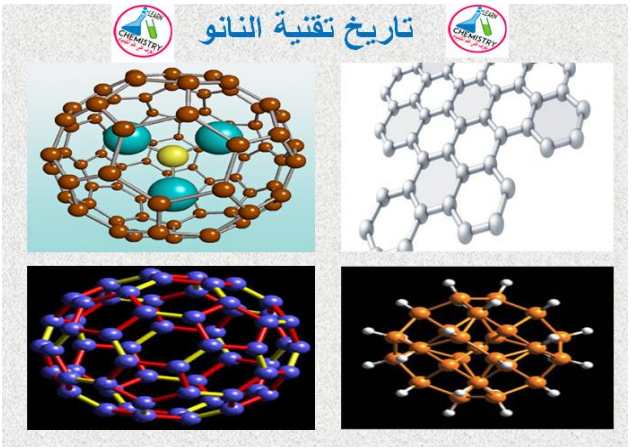
I. مقدمة:

تُعرف تقنية النانو تكنولوجي على أنها علم يهتم بدراسة عملية معالجة المواد بالاستعمال الجزيئي والذري، وتقاس هذه التقنية بالنانوميتر، والذي يعتبر جزءاً من أجزاء المليون المتواجدة في المليمتر، ويجدر بالذكر أنّ هذه التقنية تستخدم في العديد من المجالات، ومنها: الزراعية، البيئة، الصناعية والعسكرية، والتي لعبت دوراً كبيراً في إحداث الثورة التكنولوجية . [1]



تاريخ علم النانو تكنولوجي:

يُقال أن علم النانو تكنولوجي موجود منذ عصور قديمة، وتم التوصل لهذه الحقيقة من خلال أمثلة عديدة تم اكتشافها في الآثار، وكان أساس صناعتها يعتمد على الفهم الحرفي الصانع لفكرة تحوير بنية المادة الأصلية مستعيناً بالحرارة العالية لخلق مادة جديدة فريدة في خصائصها، ومن هذه الأمثلة ما يسمى بـ Lycurgus Cup من القرن الرابع، وخلال القرون ما بين التاسع حتى القرن السابع عشر كان استخدام السيراميك في الحضارة الإسلامية من الأمثلة على استخدام تقنية النانو .



وبدأت الأفكار والمفاهيم تتكون لعلم وتكنلوجيا النانو قبل فترة طويلة من استخدامه، وذلك عندما اقترح الفيزيائي ريتشارد فينمان (Richard Feynman)في اجتماع الجمعية الأمريكية للفيزياء في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في التاسع والعشرين من شهر كانون الأول في عام 1959، موضوعاً بعنوان "هناك حيز كبير في القاع(There's Plenty of Room at the Bottom)، حيث قام فينمان بوصف عملية يتمكن فيها العلماء من التحكم والتأثير على الذرات الفردية والجزيئات، وبعد عقد من استكشافه للمعالجة الآلية فائقة الدقة (Ultra precision machining) ، قام الأستاذ نوريو تانيجوتشي (Norio Taniguchi) بابتكار مصطلح تكنولوجيا النانو، وحتى عام 1981 بدأت التكنولوجيا النانوية مع تطوير مجهر المسح النفقي :

(Scanning Tunnelling Microscope) الذي يمكن من خلاله رؤية الذرات الفردية الصغيرة. [2]

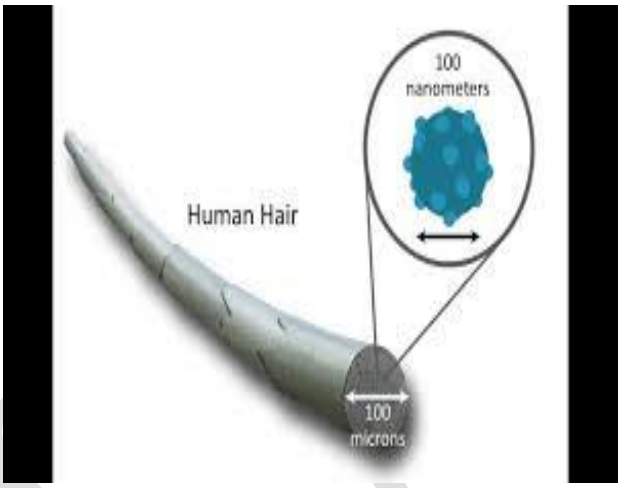
اختراع تقنية النانو: [3]

بعد صناعة المجاهر وتطويرها في عام 1930م، ظهرت العديد من القدرات التي استطاع العلم إضافتها إلى التقنية عن طريق صناعة الأجهزة الأقل حجمًا والأكثر قوة وكفاءة من الأحجام الأكبر، فتمكن المهندسون في بداية الأمر من صناعة قطع ولوحات إلكترونية تتعامل بوحدات الملي متر والتي يعبّر عنها من المتر بـ10^3 ولكن زادت الحاجة إلى لوحات وقطع إلكترونية أكثر تخصصًا ومصداقية، فكان ما تلا ذلك هو الميكرو، والذي يعبّر عنه بـ 10^6، والذي كان يعتبر نقلة نوعية في عالم صناعة التقنية، فاستطاع العالم عن طريقه إنتاج الهواتف الذكية والحواسيب الصغيرة ووحدات التخزين ذات الحجم الصغير، لكن لم يتوقف طمع العلم لهذا الحد بل فكّر في تجاوز ذلك مراحل متعددة فبدأ العمل على التقنية الأصغر والأكثر رسوخًا ودقة، وهي تقنية النانو الذي يعبر عنه من المتر بـ 10^9.

حجم النانو:

إنّ شعرة الإنسان تبلغ 50 ميكرو متر أي 50*10^6 أي أنّ الشعرة الواحدة تمتلك في سماكتها 50 ألف نانو متر، وأصغر طول يمكن للإنسان رؤيته بالعين المجردة هو 10 آلاف نانو متر، والنانو متر الواحد هو عبارة عن اصطفاف 10 ذرات هيدروجين بجوار بعضها البعض، وممّا يميز المواد النانوية أنّها لا تتبع الحجم في موصليتها للكهرباء أو الحرارة، فعند توصيل الكهرباء في موصل نانوني فإنّه لا يتبع لقانون أوم الشهير في المقاومة الكهربية للأجسام الذي تربط معادلته بين التيار والجهد والمقاومة، ففي الموصلات النانوية يعتمد التوصيل الكهربائي على التدفق الإلكتروني فقط كالتدفق النهري كمثال، وبالتالي فإنّ الإلكترون يحتاج إلى المرور بعملية تدفقية داخل الموصل كما لو أنني أصف بعض الكرات خلف بعضها البعض في طريق، ويبدأ كل واحدة من الكرات بالتدفق والخروج من الطرف الآخر واحدة تلو الأخرى؛ وهذا يحدث بسبب صغر سماكة الموصل التي لا تسمح بوجود أكثر من الكترون فوق بعضهما البعض

وبالتالي عدم وجود المجال الذي سيولد قانون أوم والمقاومة الكهربائية[4].

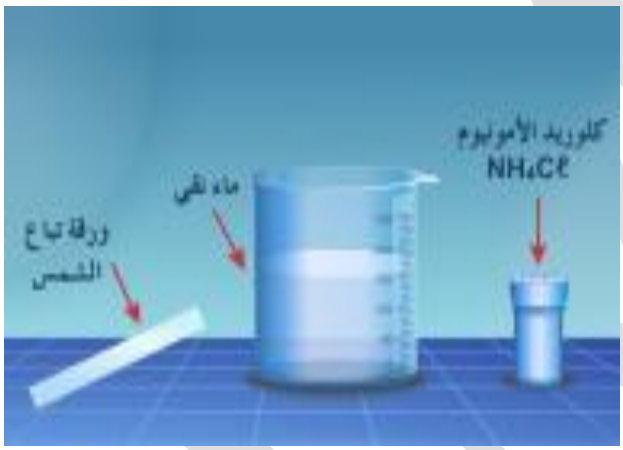


مواد النانو: [5]

مواد النانو عبارة عن مواد كيميائية متناهية في الصغر تستخدم بجودة عالية في العديد من التطبيقات الصناعية كالاتصالات والإلكترونيات والمجالات الطبية لاحتوائها على العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية، ويتم تحضيرها بعدة طرائق تشترك جميعها باعتمادها على المقياس الذري أي ذرة اتجاه ذرةً أخرى للحصول على نتائج مرغوبة، وكلما اختلف مقياس الحجم لكتلة المادة اختلفت الفعالية الكيميائية بمعنى كلما صغر المقياس زادت الفعالية الكيميائية للمادة .

تقنية النانو:

النانو هي عبارة عن وحدة قياس صغيرة جداً؛ حيث يساوي النانو واحد من مليون من الميليمتر أي إنّه تستحيل رؤيته بالعين المجردة أو بعض المكبّرات البسيطة، ويستخدم النانو في القياسات الذرية من أجل تحديد أحجام جزيئات المادّة فيها، بناءً على ذلك يمكن تعريف تقنية النانو على أنّها العلم الذي يدرس إمكانية تغيير المادّة على مستوى النانو، وذلك لإنتاج موادّ جديدة أو أجهزة متطوّرة لخدمة مصالح الإنسان في مجالات مختلفة، ولا بدّ من الإشارة إلى أنّ مصطلح النانو من المصطلحات العلمية القديمة التي تطرّق لها العالم ريتشر فينمان في عام 1959م خلال محاضرة ألقاها في الجمعية الفيزيائية الأمريكية؛ حيث إنّه قال يوجد حيز كبير داخل الذرة، إلا أنّ الأمر لم يؤخذ على محمل الجد في ذلك الوقت[6].

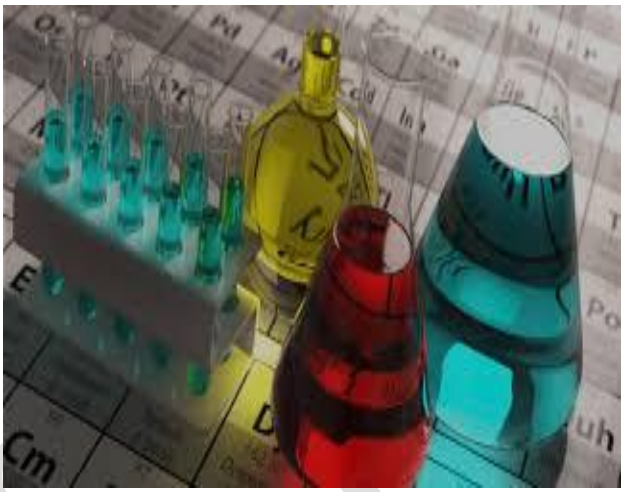


II. طرائق تحضير مواد النانو: [8]

2-1 الطرق الفيزيائية:

يتم تحضيرها ابتداءً من الحالة البخارية للمادة بتسخين المادة أو بقذفها بحزمة من الإلكترونات أو حلها حرارياً باستخدام أشعة الليزر، ثمّ يتم تبريد البخار من خلال صدمه بغاز محايد ليصبح أكثر إشباعاً وبعد ذلك يتم وضعه على سطح بارد بسرعة لتجنب حدوث بناء بلوري، ثمّ يتم تحضير مواد النانو باستخدام الموجات أو باستخدام الليزر أو عن طريق PVD أو Epistaxis.

2-2 الطرائق الكيميائية:



التفاعلات في الحالة البخارية: يدخل بخار المادة المراد تحضيرها في مفاعلCVD ، ثمّ تمتزج جزيئات المادة على سطح أساس بدرجة حرارة معينة وتتفاعل مع غازات أخرى لتكوين شريط صلب على سطح الأساس، وتستخدم هذه الطريقة لتحضير مواد النانو مثل كميمات أشباه النواقل. التفاعلات في وسط سائل: يعتبر الماء أو السوائل العضوية الأكثر استخداماً، ويتم تحضير مواد النانو من خلال تغيير شروط التوازن الكيميائي الفيزيائي من خلال تفاعلات الترسيب الكيميائي المزدوج أو التحليل بالماء للحصول على جزيئات كروية يمكن التحكم بأبعادها ، أو من خلال استخدام تقنيات sol gel باستخدام محاليل غروية على درجات حرارة منخفضة[7] .

طرائق الفصل في الكيمياء التحليلية

2-3 الطرائق الميكانيكية:

2-3-1 التركيب الميكانيكي:

من خلال سحق مادة مكوّنة من جزيئات ميكرو مترية من (1 إلى 30) إلى عدة خلائط ومزجها، وتتميز هذه التقنية بأنّها تسمح بتحضير مواد نانو متجانسة، كما تسمح بإنتاج مواد ضخمة من عدة أطنان.

عملية الرصد والتزجيج الأولى:

من خلال تحويل المادة الذرية إلى قطعة ضخمة خلال مرحلتين، مرحلة الرص الميكانيكي، ومرحلة إذابة مسحوق المعادن لتشكيله بعد التبريد .

2-3-2 تقنيات التشوهات القوية:

من خلال تشويه مادة بلورية بقوة كالمعدن أو الخزف بهدف تحسين خصائص التصلب واللدانة للمواد.

2-3-3 طريقة الطحن:

تستخدم لإنتاج مواد نانو على شكل مسحوق حيث يتم تعريض المادة الأساسية لطاقة عالية جداً، ثمّ طحنها باستخدام كرات مصنوعة من الفولاذ تتحرك بشكل اهتزازي أو كوكبي أو رأسي، ويتراوح حجم مواد نانو التي يتم تصنيعها ما بين 3 إلى 25 نانومتراً .

2-3-4 طريقة الحك:

من خلال وضع شرائح السيلكون النحيفة جداً في مواد كيميائية مثلHF ، وحك شرائح السيلكون للحصول على جزيئات السيلكون على سطح الشرائح، ووضع هذه الشرائح في محلول مثل الأيزوبروبانول وبعد ذلك في جهاز الموجات فوق الصوتية لإسقاط الجزيئات داخل المحلول.

2-4 الطريقة الالكتروكيميائية:

من خلال وضع شريحة السيلكون في القطب الموجب وشريحة البيكربونات في القطب السالب في محلول كيميائي، وتعريض الشرائح إلى تيار كهربائي.

2-5 طريقة الاستئصال الليزري :

من خلال تعريض المادة إلى ليزر نبضي ذي طاقة عالية جداً، بحيث يتفاعل شعاع الليزر مع الهدف مما يؤدي إلى تطاير جزيئات المادة وتكوين البلازما التي تترسب على القاعدة وتكون أفلام رقيقة.

2-6 طريقة التثفيل:

من خلال تعريض المادة إلى ضغط منخفض جداً مفرغ من الهواء وبقاعدة باردة يتم تعريضها إلى مجال مغناطيسي ، مما يؤدي إلى انتزاع جزيئات المادة وترسبها في القاعدة مكوّنة فلماً رقيقاً.

III. تطبيقات تقنية النانو تكنولوجي :

تستعمل تقنية النانو تكنولوجي في مجالات متعددة [8]

3-1 الطاقة:

إنتاج بطاريات تخزين تخزّن كميات كبيرة من الطاقة ولفترات طويلة ، وبالتالي إنتاج سيارات تعمل بالطاقة النظيفة بتكلفة أقلّ ، وغير معتمدة على النفط .

ومنها: التحويل، التخزين وتحسين التصنيع، فيوجد المصباح الثنائي المصدر للضوء ، والذي يساهم في ترشيد استخدام الطاقة الكهربائية في مجال الإضاءة ، إضافة لذلك فهي تساهم في زيادة نشاط عملية تحول الضوء الحراري بوساطة استعمال الهياكل النووية المتواجدة في الحزم ذات الثقوب والفجوات ، والجدير ذكره أنّ هذه التقنية تلعب دوراً كبيراً في تحسين كفاءة وفعالية محرك الاحتراق الداخلي من خلال تطوير بعض المواد النووية الجزئية التي يتم نثرها على السطح ، مما يؤدي إلى تحوله لمصدر للطاقة الشمسية ، عدا عن أن الطاقة النانوية تعتبر صديقة للبيئة ، إذ أنها تلعب دوراً كبيراً في تقليل التلوث المنبعث من محرك الاحتراق ، ويكون ذلك بوساطة مرشحات مسام نانوية تساهم في تنظيف وتنقية العوادم عن طريق جزيئات نبيلة نانوية ومحولات محفزة[8].

3- 2 معالجة المياه:

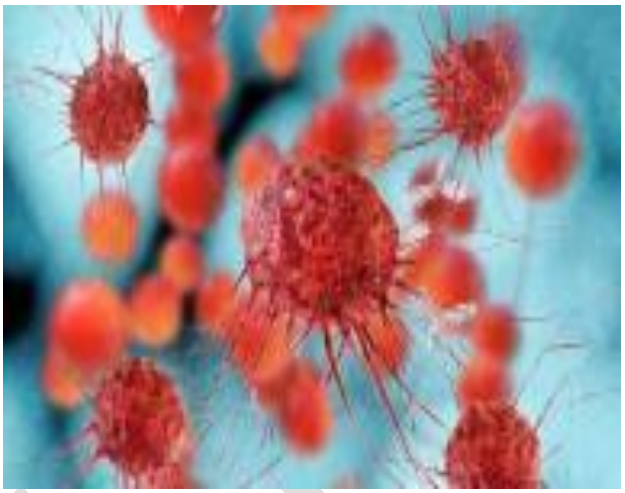
تستخدم هذه التقنية في عملية تصنيع المواد النانوية ، والتي تساهم في معالجة المياه السطحية ، والمياه الجوفية ، ومياه الصرف الصحي ، فلديها قدرة كبيرة على التخلص من جميع الملوثات.

3- 3 الطب النانوي:

تمكن العلماء من صنع آلات دقيقة بحجم كريات الدم لعلاج العديد من الأمراض التي تتطلب إجراء العمليات الجراحية مثل: الانسدادات داخل الشرايين وكذلك الأورام ، كما قام الباحث الإيطالي سيلفانو دراغونييري من جامعة باري باختراع أنف إلكتروني باستخدام أنابيب كربون نانوية تعمل على تشخيص أمراض السرطان عن طريق تحليل الهواء الذي يخرج من الرئتين خلال عملية الزفير . [9]

حماية الأسنان من التسوس عبر تقنية النانو

حيث تساهم هذه التقنية في علاج الأمراض السرطانية، وذلك من خلال استعمال الجسيمات النانوية في عملية التصوير بوساطة الرنين المغناطيسي، حيث يتم بواسطتها تحديد مكان الورم السرطاني بشكل دقيق ،

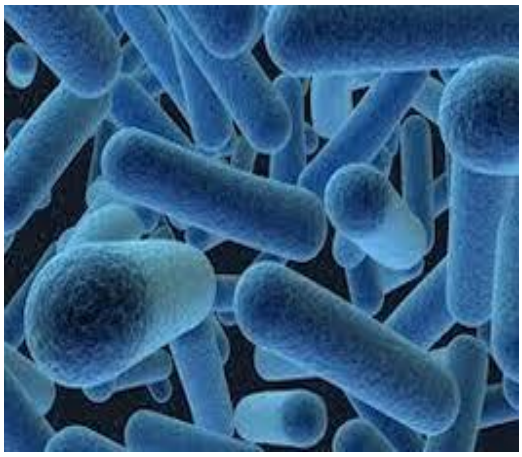


علاج السرطان

طب النانو لعلاج سرطان الكبد

إضافة لذلك تستخدم هذه التقنية في تصنيع العقاقير والأدوية باستعمال مسحوق النانو ، والذي هو مركب نانومتري لا يتجاوز قطره 100 نانوميتر ، عدا عن تقنية توصيل العقاقير والأدوية بوساطة الأنابيب النانو مترية .

في عالم الطب قدّمت تقنية النانو عملًا مدهشًا وبراقًا في إضافات مدهشة على ذلك العالم ، فقام العلماء في الآونة الأخيرة بصناعة الروبوتات الصغيرة جدًا المجهرية وفقًا لتقنية النانو التي تستطيع الحركة في الشرايين الدموية وداخل الجسم ، ممّا سيسمح لاحقًا لعلاج الجلطات الدموية عن طريق أسطول كامل من الروبوتات التي يتم حقنها للمنطقة المريضة أو ابتلاعها للعلاج الفوري للمريض عن طريقها[10] .



تشخيص البكتريا والفيروسات

3-4 الأغذية النانوية:

باتت عملية إنتاج وتصنيع الأطعمة تعتمد على هذه التقنية ، وذلك عن طريق مشروع تقنية النانو الناشئة PIN ، والذي يضم ثلاثة أصناف من الأطعمة ، فعلى سبيل المثال يحتوي زيت الكانولا على قطرات نانوية مكونة من معادن ، وفيتامينات ، ومواد كيميائية نباتية ، إضافة إلى الشاي النانو تي ، وشوكولاتة الحمية ، والتي تحتوي على العديد من الكتل النانوية التي تساهم في تحسين المذاق[11].

3- 5 بصريات النانو:

تم إنتاج نظارات شمسية صممت باستخدام طلاءات سطحية مكافحة للخدش باستخدام مكوّنات نانوية ، هذا عدا عن أن بصريات النانو تساهم في زيادة دقة عملية تصحيح بؤبؤ العين ، كما تستعمل في مجال صناعة قرنيات العيون والأدوات المنزلية بات هناك أصنافاً متعددة من الزجاج والسيراميك ، والتي تحتوي على العديد من الجزيئات النانوية التي تساهم في زيادة نعومتها ، كما تجعلها أكثر مكافحةً للحرارة ، وأسهل في عملية التنظيف .

3- 6 الزراعة النانوية: [12]

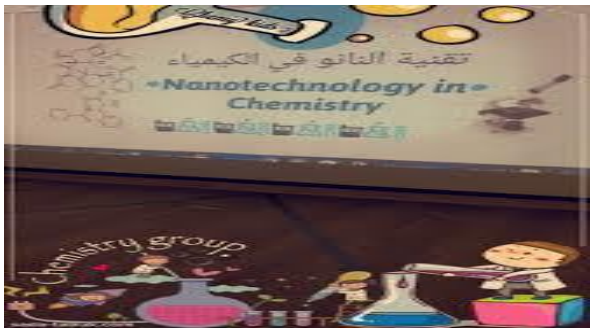
تساهم هذه التقنية في تحسين عملية إنتاج الغذاء والأطعمة بدءاً من عملية التصنيع ، ووصولاً إلى تعبئة المنتجات ومعالجة النفايات ، هذا عدا عن دورها الكبير في خفض الكفاءة الإنتاجية للأراضي المزروعة.

3-7 الأجهزة الالكترونية:

تعتبر هذه التقنية هي أهم تطور تقني في القرن العشرين حيث ساهم في صناعة واختراع إلكترونيات السيليكون أو الترانزستور والمعامل الإلكتروني ، وظهرت ما تسمى بالشرائح الصغيرة التي أدّت إلى ثورة تقنية في جميع المجالات : كالاتصالات ، الحاسوب والطب فاختراع الشرائح الصغيرة بعد عام 1950م أدى الى أبسط تطبيق ومساعدة للتقنية في العالم الحديث حيث أنّها أوجدت التلفاز الملون الذي لم يكن يعهد قبله إلّا تلفزيون الأبيض والأسود عالي الثمن جدًا ، ممّا سهّل حصول الجميع على تلفاز ملون خاص به وبعائلته .

صناعة الملابس الذكية التي تعمل على إنتاج الطاقة ، أو إزالة الأوساخ والجراثيم بشكل ذاتي ، وكذلك صناعة مواد صلبة تفوق صلابة الفولاذ مع خفّة وزنها ، وصناعة زجاج طارد للأتربة وغير الموصل للحرارة ، بالإضافة إلى صناعة شاشات ثلاثية الأبعاد تتميّز بشفافيتها وقدرتها على الانثناء وفي مجال الطيران قامت وكالة الطيران والفضاء الأمريكية ناسا بصنع آلات دقيقة تعمل بتقنية النانو من أجل حقنها في أجسام روّاد الفضاء ، بهدف مراقبة الأوضاع الصحية لجسمهم ، والتعامل معها بشكل فوريّ دون إرسال طبيب [13] .

3-8 الكيمياء :



يقوم عمل الكيمياء على المواد ذات نطاق الحجم الكبير ، حيث إن مقدار غرام واحد من أي مادة يُعد كبيراً جداً لاحتوائه على ملايين الملايين من الجزيئات ، والتفاعلات الكيميائية التي تؤثر على الذرات فيما بينها في العينة الواحدة ، أما علم النانو كيمياء فيعمل ضمن نطاق المواد ذات الحجم المتناهي في الصغر ، والذي يصل لمستوى حجم الذرة .

أسهمت ثورة النانو في علم الكيمياء في خلق بيئة للعمل المشترك بين الكيميائيين وغيرهم من المختصين في حقول الفيزياء ، الأحياء والهندسة ، حتى وصلت للتعاون مع علماء المادة، والصناعة ، وحتى يتمكّن العلماء والمتخصّصون في كلّ صنف من العلوم من النهوض بعلومهم وبسرعة فإنّه من الضروري أن يتفهّموا متطلبات علوم غيرهم لكي يصلوا إلى آلية تعاون بكفاءة فيما بينهم ، وأصبح مختصو النانو كيمياء يعملون هذه الأيام في الكيمياء العضوية الطبية ، وكيمياء البوليمرات ، وتركيب المنتجات ، ومجالات أخرى ، فهم يستندون إلى مجموعة خيارات واسعة النطاق لتحضير وابتكار قطع متناهية الصغر ذات خصائص إلكترونية ، مغناطيسية، ضوئية وكيميائية ، وتكون منظومتها الميكانيكية قابلة للتفسير ضمن الحيّز المتناهي في الصغر؛ أي حيز النانو.[14]

فحص الذهب النانوي بإظهار شعاع

استخدام تقنية النانو في العلم الجنائي

4-صعوبات تواجه تقنية النانو:

تكمن الصعوبات في الآتي :

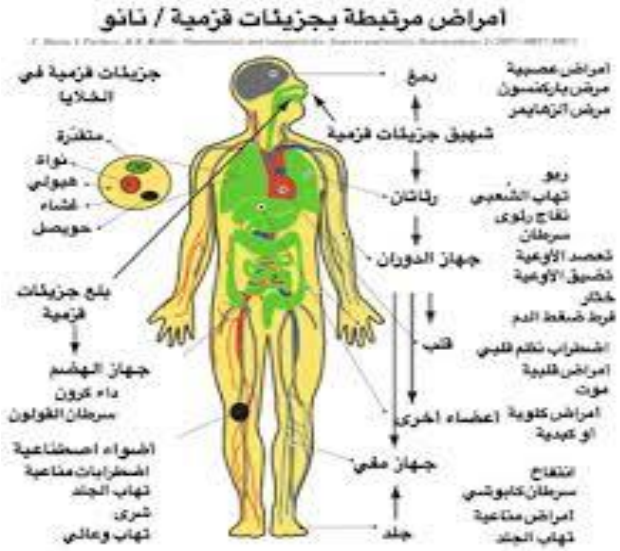
1- صغر حجم جزيئات المادة ، مما يعني صعوبة التحكم فيها ، أو حتى إدراكها .

2- صعوبة التحكم في جزيئات المواد بعد إزالتها من أماكنها بهدف توجيهها إلى أماكن جديدة .

3- عدم القدرة على التنبؤ بنتائج تغيير الجزيئات ، مما قد يعني ظهور نتائج غير مرغوب فيها.

5-الأضرار الصحية لتقنية النانو: [15]

تتسبب في ظهور أورام خبيثة عند الذين يتعاملون معها بشكل مباشر . تكمن خطورة الموادّ المصنّعة باستعمال الأنابيب النانوية على صحّة الإنسان ، وسهولة دخولها عبر مسام الجلد أو عن طريق الاستنشاق بسبب طابعها المجهري ، وفي حال دخلت إلى الجسم فإنّه من الصعب التخلّص منها ؛ بحيث لا يوجد علاج طبيّ لها.



6-فوائد تكنولوجيا النانو:

توفر تكنولوجيا النانو العديد من الفوائد التي تدخل في العديد من المجالات الحياتية ، فهي تساعد على تحسين العديد من القطاعات التكنولوجية والصناعية إلى حد كبير ، مثل: تكنولوجيا المعلومات ، الطاقة ، الطب، الأمن الوطني، علوم البيئة، سلامة الأغذية والعديد من الأمور الأخرى ، كما أنها تعمل على تكييف هياكل المواد في مقاييس صغيرة جداً لتحقيق خصائص محددة لها ، حيث يمكن من خلالها تقوية فعالية المواد ، مع أن تكون خفيفة الوزن ، وأكثر متانة ، وتفاعلاً وتشابكاً ، فالعديد من المنتجات التجارية اليومية الموجودة في السوق تعتمد على تكنولوجيا النانو ، فعلى سبيل المثال يمكن أن تساعد الأغشية أو الطبقة الرقيقة النانوية الشفافة على شاشات الحاسوب، الكاميرا، النظارات، النوافذ

والأسطح الأخرى ،أن تجعلها مقاومة للماء، ومضادة للانعكاس، ومقاومة للأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة تحت الحمراء ، أو مقاومة للخدش ، أو موصلة للكهرباء.

[Volume 40%] كما دخلت تكنولوجيا النانو في المنتجات الاستهلاكية ، حيث تم ربط المليارات من شعيرات النانو المجهرية (microscopic Nano whiskers)، التي يبلغ طول كل منها حوالي 10 نانومتر، جزيئياً على الألياف الطبيعية والاصطناعية لإضافة خاصية مقاومة البقع في الملابس والأقمشة ، كما أنه تم استخدام البلورات النانوية أكسيد الزنك لصنع واق من أشعة الشمس غير مرئية ، فهي تحمي من الأشعة فوق البنفسجية، كما أنه قد تم تضمين البلورات الفضية النانوية في الضمادات لقتل البكتيريا ومنع العدوى.[16]

وهناك مجموعة من الأسئلة المستقبلية تطرح في هذا المجال :

هل ستكون تقنية النانو بوابة المستقبل للبشر على الأرض؟

هل ستؤدي التقنيات والعلوم التي يتم تطويرها مع تكنولوجيا النانو لإحداث اختراقات هائلة ، مثل :

a) تحسين جودة المياه .
b) الحصول على طعام وماء نوعيين للجميع .
c) االقضاء على معظم الأمراض المزمنة .
d) االحصول على مصادر طاقة وفيرة متحررة من الاعتماد على النفط والغاز أو غيرها من أنواع الوقود الأحفوري .

المراجع:

[1]. Khamhaengpola,A. &Sripromb,M. &Chuamchaitrakoola ,P. (2021) .Development of STEAM activity on nanotechnology to determine basic science process skills and engineering design process for high school students. Thinking Skills and Creativity,(39), March https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871187121000110 .

[2]. Laherto, A. (2010).An Analysis of the Educational Significance of Nano science and Nanotechnology in Scientific and Technological Literacy Science Education International, (21) 3, 160-175 .

[3]. Bhushan B.(2016). Introduction to Nanotechnology: History, Status, and Importance of Nano science and Nanotechnology Education. In: Winkelmann K., Bhushan B. (eds) Global Perspectives of Nano science and Engineering Education. Science Policy Reports. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31833-2_1.

[4]. Michailidi E. & Stavrou D. (2022). Supporting the implementation of a nanotechnology teaching-learning sequence through post-induction science teacher mentoring. International Journal of Science Education, DOI: 10.1080/09500693.2021.2024914 .

[5]. Bauer, J.(2021).Teaching Nanotechnology through Research Proposals Journal Chemical. Education., (98),2347−2355. https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.jchemed.0c0 .

[6]. Mandrikas, A., Michailidi, E. & Stavrou, D. (2021). In-service Teachers' Needs and Mentor's Practices in Applying a Teaching–Learning Sequence on Nanotechnology and Plastics in Primary Education. Journal Science Education Technol ,(30), 630–641. https://doi.org/10.1007/s10956-021-09908 .

[7]. Blonder, R. (2010). The influence of a teaching model in nanotechnology on chemistry teachers' knowledge and their teaching attitudes. Journal of Nano Education, 2(1–2), 67–75 .

[8]. Gardner, G.; Jones, G.; Taylor, A.; Forrester, J.; Robertson, L. (2010).Students' Risk Perceptions of Nanotechnology Applications: Implications for science education. .International Journal of Science Education , (32)14,19511969. https://doi.org/10.1080/09500690903331035 .

[9]. Modi, S.; Prajapati, R.; Inwati, G.K.; Deepa, N.; Tirth, V.; Yadav, V.K.; Yadav, K.K.; Islam, S.; Gupta, P.; Kim, D.-H.; et al. (2022). Recent Trends in Fascinating Applications of Nanotechnology in Allied Health Sciences. Crystals,(12)39. https://doi.org/10.3390/ cryst12010039 .

[10]. Jim D. (2008).Nanotechnology its impact on food safety. Journal of Environmental Health,January/February, 47-50 .

[11]. Henrietta M.C. de Azeredo. (2009) .Nano composites for food packaging applications Food Research International (42)9 ,1240–1253 https://www.sciencedirect.com/ science/ article/abs/pii/S096399690900091X .

[12]. Babu, P.J., Tingirikari, J.M.R. (2022). A review on polymeric nanomaterial's intervention in food industry. Polym. Bull. https://doi.org/10.1007/s00289-022-04104-6 .

[13]. Chin B.L.F., Juwono F.H., Yong K.S.C. (2022). Nanotechnology and Nanomaterial's for Medical Applications. In: Mubarak N.M., Gobi S., Balakrishnan P. (ends) Nanotechnology for Electronic Applications. Materials Horizons: From Nature to Nanomaterial's. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6022-1_4 .

[14]. Chellaram C., Murugaboopathi G., John A.A., Siva Kumar R., Ganesan S., Krithika S., Priya G.(2014) Significance of Nanotechnology in Food Industry. APCBEE Procedia (8), 109-113. https://www.sciencedirect .com/science /article /pie/S2212670814000906 .

[15]. Humaira M., SunishthaS Y., Sidra A., Yadav B. Muhammad S. Aqsa,Khurshid M. (2022).Applications of nanotechnology in biological systems and medicine. Nanotechnology for Haematology, Blood Transfusion, and Artificial Blood: Micro and Nano Technologies,215-235. .https://www.sciencedirect.com /science/article/pie/B9780128239711000192# .

[16]. Hart, Dean.(2012) "Closing the Nanotechnology Workforce Gap [Nano Safety and Education], IEEE Nanotechnology Magazine, 6 (2) ,27-28 . doi: 10.1109/MNANO.