الفصل العاشر

الآثار السلبية لتقنية "النانو"

الفصل العاشر – الآثار السلبية لتقنية "النانو"

في الوقت الذي تفتح فيه تقنية "النانو" آفاقاً جديدة وواعِدة أمام مستقبل البشرية، فإنها تحمل بطبيعة الحال محاذير وعواقب وتترُك الباب مفتوحاً أمام العديد من المخاطر على الصحّة والبيئة ولمزيد من المعلومات أحببت أن أشارك القراء حول تجارب بعض الدول في هذا المجال

تكنولوجيا "النانو" في سويسرا

لقد قامت جمعيات المستهلِكين في سويسرا وجامعة لوزان إلى دقّ ناقوس الخطر وإطلاق حمْلة توعية بشأن هذه المواد المستقبلية، التي عمّت كافة مجالات الحياة وما زال في جعبة العلماء الكثير لتطويرة.

فيا ترى، ماذا يجمع بين مُنتَج مثل الكريم الواقي من الشمس ونسيج أو قماش مضاد للبُقَع أو حتى ثلاجة مقاوِمة للروائح أو جنزير دراجة من آخر طِراز؟ ربما يندهِش القارئ حين يعلَم أنها صُنِعت جميعها بتقنية "النانو"، وكلها مُنتجات تحتوي على مواد نانوية لا تراها أعيُننا، وبالرغم من أنها تتمتع بمواصفات هائلة، لكنها أيضاً قد تُخفي مخاطر جمّة لم يتوصّل إليها العِلم ولم يكتشفها بعد.

والعجيب، أن المواد النانوية أصبحت حالياً تدخل ضِمن محتويات أكثر من 1000 من المنتجات المطروحة في الأسواق وأكثر من 500 شركة سويسرية تستخدِم هذه التقنية الجديدة في مجال البحث والإنتاج، في حين لا توجد دراسة معمّقة حول المخاطر المُحتملة للتكنولوجيا الجديدة ولا يعرِف المواطنون عواقِبها على الصحة والبيئة.

يقول مارك أوديتا، الباحث في قسم العلوم والمجتمع في جامعة لوزان: "على مدى العقدين الماضيين، جرى ترويج تكنولوجيا "النانو" على أنها ثورة عِلمية قادرة على تحسين عمليات الإنتاج وتحقيق تقدّم وتطوّر في مجال تكنولوجيا الإلكترونيات والطِبّ والطاقة المتجدِّدة والزراعة"، لدرجة أن من الباحثين مَن تحدّث عن إمكانية تصنيع مادّة هُلامية (جِل) قادِرة على إعادة نمُو الأسنان وإبطاء آثار الشيخوخة.

لقد كانت هذه الإختراعات لا تزال مجرّد تخيّلات، حتى هذه اللحظة على أقل تقدير، فإن الشكوك المتعلّقة بهذه التكنولوجيا الجديدة حقيقية وواقعية، وهي التي كانت وراء إتِّخاذ إتحاد المستهلكين ومعه قسم العلوم والمجتمع في جامعة لوزان، قرارهما بالإنطلاق في حملة التوعِية بهدف نقل النقاش إلى المنصّات العامة وتحفيز المواطنين للإطلاع على إيجابيات وسلبيات تقنية "النانو". وكجزء من الحملة، تمّ مؤخّرا في المنطقة المتحدثة

بالفرنسية (سويسرا الرومانية)، إفتتاح معرض متنقّل، يبدأ بجولة يجوب فيها البلاد خلال عام 2012م.

جودة هائلة.. ولكن!

والغريب في الأمر، أنه من الصعب البتّ في حقيقة هذه الجُسيْمات النانوية وما إذا كانت طبيعية أو صناعية، وكل أمرها أنها تتكوّن من بضعة آلاف من الذرات وتتحدّد خصائصها تبَعاً لعدد ذراتها.

وقد ذكرت لنا هوما خميس[209]، عالمة الأحياء والمختصّة بملف التقنية النانوية لدى إتحاد المستهلكين في منطقة سويسرا المتحدثة بالفرنسية، قائلة: "بعض المواد، عندما يتمّ تصغيرها إلى أحجام مُتناهية، تتغيّر خصائصها، كما على سبيل المثال، في حالة ثاني أكسيد التيتانيوم، الذي يُستخدَم في الحالة الطبيعية كدهان على هيئة مسحوق أبيض اللّون، وعندما يتمّ تصغيرة إلى جُسيمات متناهية الصِّغر، يتحوّل إلى لوْن شفّاف ويصبح مرشّحا (فلتر) للأشعة فوق البنفسجية".

ومن حيث المبدأ، يترجّح أن نحصّل بواسطة المنتجات النانوية على مواصفات جوْدة مُذهلة، إلا أن من الصعوبة بمكان التنبُّؤ بها، نظراً للحساسية المُفرطة للجُزيئات النانوية. فمجرّد ذرّة واحدة زائدة أو ناقصة، يجعلها تتغير تغيُّرا جِذرياً، أضف إلى ذلك، أنها تتفاعل بسهولة مع أوساطها لما لها من سطح تماس كبير مع الخارج.

مخاطر عديده للنانو تكنولوجي:

رغم الجوانب الإيجابية التي قد تحملَها تقنية "النانو" إلى المستقبل من تطوير وتسهيل للحياة إلا أن هناك كثير من الخبراء الذين يرون أن إستخدام هذه التقنية في مجالات معينة من الحياة قد يكون له عواقب غير محمودة.

وتعتمد تكنولوجيا "النانو" على تصغير الجزء إلى حجم يساوي واحداً على بليون من المتر ومن ثم أستعمال المادة الجديدة في منتجات وصناعات متعددة. ولا تفي العلوم كالفيزياء والكيمياء التقليدية للتعامل مع هذه الأحجام بل يلجأ لعلم الميكانيك الكمي كوسيلة بحث ودراسة.

وتعقد منظمات البيئة والصحة العالمية في كافة أنحاء العالم مؤتمرات لبحث المخاطر التي قد تنجم عن أستخدام هذه التقنية وقد نظَم أول أجتماع عالمي لبحث أضرار النانوتكنولوجي في بروكسل العام الماضي. ونشرت منظمة Green peace العالمية أخيراً بياناً بينَت فيه أنها لن تدعو إلى الحظر على أبحاث "النانو". مشيرة إلى أن الانسان اليوم هو على أبواب عصر جديد في جميع النواحي فلا يجب الوقوف بوجه هذا التطور لكنها دعت إلى محاولة تقليص السلبيات قدر الإمكان.

---

[209] هوما خميس، عالمة أحياء مختصة في ملف تقنية النانو

وهناك مجالان ينتقد فيهما العلماء تقنيات "النانو"

- ✓ الأول هو أن "النانو" جزيئات صغيرة جداً إلى الحد الذي يمكنها من التسلل وراء جهاز المناعة في الجسم البشري وبإمكانها أيضاً أن تنسل من خلال غشاء خلايا الجلد والرئة وما هو أكثر إثارة للقلق أن بإمكانها أن تتخطى حاجز دم الدماغ.
- ✓ الثاني فهو الخوف من أن يصبح "النانو" بوت ذاتي التكاثر أي يشبه التكاثر الموجود في الحياة الطبيعية فيمكنه أن يتكاثر بلا حدود ويسيطر على كل شيء في الكرة الأرضية.

وأظهرت دراسة جامعة اكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجود في المراهم المضادة للشمس قد أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة في شهر (مارس) الماضي من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن أنابيب الكربون النانويه تعد أكثر ضرراً من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل.

وتقول رئيسة العربية لحماية الطبيعة رزان زعيتر إن المتلاعبين بالطبيعة والمصممين على السيطرة عليها لم يكتفوا بالتحوير الوراثي للمواد الطبيعية والبذور فبدأوا بالتلاعب بالمواد على مستوى الذرات والجزيئات. وتضيف "تكنولوجيا "النانو" تتسرب من المختبرات إلى حقول الحياة المختلفة من دون النظر في مخاطرها أو تطوير قوانين تنظيمية تتحكم بها".

وتشير زعيتر إلى أن صفات المادة بحجم النانومتر مختلفة تماماً عن صفاتها بحجمها الطبيعي وذلك من حيث التوصيل الكهربائي واللون والسمَية. فلون مادة حمراء قد يصبح أخضر عندما نأخذها بحجمها الصغير والكربون في مادة الجرافايت طيّع لكنه أقوى من الفولاذ عند التعامل مع جزيئاته التي هي بحجم "النانو".

وتوضح أن الخطير في الموضوع أن استعمالات هذه التكنولوجيا قد بدأت تتسرب إلى حقل المواد الغذائية والقطاع الزراعي من دون معرفة المستهلكين أو حتى فتح باب النقاش المجتمعي حولها وإجراء الإختبارات الكافية حول سلامتها.

وأظهرت تجربة جديدة من جامعة روتشيستر أجريت على فئران تنفست جزيئات "النانو" وتبيَن فيما بعد أنها أستقرت في الدماغ والرئتين ما أدى إلى مضاعفات صحية خطيرة. كما تبيَن آخر التطورات التي طرأت على تكنولوجيا "النانو" أنه تم تطوير جوارب تحتوي على جزيئات نانو سيلفر تمنع رائحة القدمين لكن تبين أن لها عواقب وخيمة على جسم الإنسان. فهذه الجزيئات بكتيرية وهي قادرة على قتل البكتيريا النافعة المهمة في تحطيم المواد العضوية في النفايات ومحطات المعالجة أو المزارع. كما بيَن "سيتون انتوني" من معهد طب في أدنبره (اسكتلندا) في دراسة نشرها أخيراً أن

أنابيب الكربون النانومترية التي تعد بثورة تكنولوجية غير مسبوقة قد تكون ضارة وقاتلة للكائنات الحية بما فيها الإنسان لذا، يجب التعامل مع هذا العلم بحرص شديد وقد طالب بإستبعاد الأغذية من هذا التطور التكنولوجي حفاظاً على البشر.

إصابة الفئران بالسرطان

أشارت دراسة قامت بها مؤسسة العلوم الوطنية، إلى أن الإستثمار والجهود المبذولة في مجال الأبحاث المتعلِّقة بمخاطر تقنية "النانو"، أقل بكثير عما هو موجود في مجالات البحث المتعلِّقة بالتطبيقات المُحتملة لهذه التكنولوجيا.

في حين، كشفت التجارب عن ظهور أعراض مَرَضية على الحيوانات، طالت أجهزتها التنفسية، كما ظهرت على الفئران أورام سرطانية في حالة ثاني أكسيد التيتانيوم المستخدَم في الكريمات الواقية من أشعة الشمس.

وحتى هذه اللحظة، لا تزال الأبحاث المتعلِّقة بسُميّة المواد النانوية في مرحلة جنينية، وبالتالي، من الصعب في الوقت الحاضر سَنّ قوانين أكثر صرامة على الجانب التجاري في سويسرا أو خارجها، وهذا لا يعني كما تقول هوما خميس السّماح بأن يصبح المستهلِكون بمثابة فئران إختبار، وأضافت: "يجب على المصنّعين أن يُثبتوا حقيقة بأن هذه المواد المتوافِرة في السوق غيْر ضارّة، خاصة مستحضرات التجميل، وبشكل عام جميع المنتجات ذات الصلّة بالجسد البشري، ليس فحسب من باب حقّ المواطن في معرفة المنتجات التي تحتوي على الجزيئات النانوية، بل أيضاً من باب الشفافية وحقّ المستهلك في الإختيار".

داء الأسبستوس

ومن جانب آخر، أثار إستِخدام الجُسيْمات النانوية أيضاً، بعض القلق بشأن تأثيره على العمّال، وغالباً ما يُؤخذ كمِثال على ذلك، داء الأسبستوس (تليّف الرئتين)، الذي يقتل نحو 100 ألف شخص في العالم سنوياً، على الرغم من أن المقارنة قد تبدو للوهلة الأولى وكأنها مُفرِطة.

غير أن أصابع الاتِّهام تتَّجه بشكل رئيسي نحو أنابيب الكربون النانوية، التي تمّ في العام الماضي إنتاج 700 طُن منها، ومع أن مواصفات الجودة فيها تبدو هائلة وواعدة بالنسبة للصناعة، إلا أن تأثيراتها على الصحة تبدو مشابهة جداً لتلك التي للاسبستوس.

فيما قال مارك أوديتا: "يُعلّمنا التاريخ مدى أهمية البحوث الأولية، لتحديد الآثار المحتملة للتكنولوجيات الجديدة وتجنّب مأساة مثل الأسبستوس"، وأفاد بأن جماعات الضغط اليوم أعجزت عن طمْس الحقائق التي مارستها في الماضي يوم تستّرت على حالات الأسبستوس، حين بدأت تطفو على السطح، وأكد قائلاً: "لا ينبغي إغفال حقيقة أن المعلومات عن عواقب المواد

النانوية لا تزال محدودة، وأننا بدلاً من شفافية التحاوُر ومواجهة المخاطر، قادمين في تخيّـلات تقدّم عِـلمي لم يتحقق بعدُ".

ومع أن الصندوق العمومي للتأمين ضد الحوادث (سوفا) أصدر قبل عدّة سنوات توصيات تخصّ الشركات العاملة في ميدان تكنولوجيا "النانو"، إلا أنه لا يوجد حتى هذه اللحظة قانون فدرالي بهذا الشأن، لكن، يُشار إلى أن الحكومة الفدرالية من جانبها، وضعت في عام 2008م خطّـة عمل بشأن المواد النانوية الإصطناعية وعززتها بـ "رزمة إحتياطات" موجّـهة إلى المصانع وشركات البيع بالتجزئة، لكي تُساهِم في دعم التعرّف على المخاطر المُـحتملة لمُنتجات التقنية النانوية.

وخلاصة القول، بحسب هوما خميس، أنه "لا يمكن إنكار أهمية مثل هكذا مبادرات، ولكنها غير كافية. فسويسرا بحاجة إلى مزيد من الإستثمار في الأبحاث حوْل مخاطر المواد النانوية على الصحة، بحيث يمكن وضع لوائح تنظّـم إستخدامات هذه التكنولوجيا في الصناعة والزراعة والتغذية"، وتختم قائلة: "على الرغم من الجهود المبذولة، فإن الأوساط العِلمية لم تتوصّـل لغاية الساعة إلى توافق حول تعريف الجُـسيمات النانوية ولا حول الإحتياطات الواجب اتِّـخاذها بخصوصها".

هل تشكل "النانو" خطورة على صحتنا[210]

تبقى الفواكه الموضوعة في الحاويات المحكمة الغلق طازجة لأيام ، وتظل الأقمشة وواجهات المباني خالية من الجراثيم حيث يمكن تحقيق ذلك من خلال تكنولوجيا "النانو" والتي باتت تستخدم الآن في جميع الصناعات تقريبا. ورغم ذلك ، يحذر معارضو هذه التكنولوجيا من مخاطر صحية محتملة.

الشكل (112) جسيمات النانو ومخاطرها
http://www.alrai.com/article

[210] مقال بجريدة الرأي الأردنية، العدد15099،الجزء الرابع، 2012/2/23

يعادل النانومتر ، وهو وحدة قياس غاية في الدقة إلى حد لا يمكن تصوره ، واحد على مليون من المليمتر. وجزيئات ‘‘النانو’’ هي جزيئات يبلغ أحد أبعادها على الأقل مئة نانومتر أو أقل ولعل ما يميّز هذه الجزيئات عن غيرها نسبة مساحة سطحها الكبيرة إلى حجمها.

يقول "ديتر سبورن" رئيس مركز المواد الذكية بمعهد فراونهوفر لأبحاث السيليكات في مدينة فورتسبورج الألمانية: (**تتيح تكنولوجيا ‘‘النانو’’ الإمكانية لتحقيق تأثيرات كبيرة للغاية بأقل قدر من المواد)** وأضاف: (**إنها مطلوبة حيثما يتطلب الأمر إستعمال أرق طبقات ممكنة من المواد أو إستخدام المواد ذات التكلفة العالية)**

تتغير الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمواد وفقاً لحجم الجزيئات وشكلها الهندسي. ويمكن لجزيئات ‘‘النانو’’ على سبيل المثال تسريع العمليات الصناعية مثل زيادة صلابة الطلاء الزيتي ، كما يمكنها أن تزيد من تأثيرات المواد الكيميائية للمواد النانونية المختلفة استخدامات مختلفة ، سواء أكانت تدخل في تركيب المنتج أو تستخدم في طلائه. وتستعمل دقائق الفضة ‘‘النانو’’ في المنسوجات وطلاءات الجدران والأجهزة المنزلية مثل الثلاجات لما بها من خصائص مضادة للجراثيم.

وتجعل العناصر التركيبية في جزيئات ‘‘النانو’’ لثاني أكسيد السيليكون الأقمشة المستخدمة في الأماكن المفتوحة مضادة للأتربة. غير أن هذه الإبتكارات لها سلبياتها. فالخصائص المتغيرة التي تزيد من إهتمام الباحثين بمواد ‘‘النانو’’ قد تكون ضارة للإنسان والحيوان والبيئة.

يقول يان برينجر ، وهو كيميائي بمعهد هوهنشتاين للإبتكار في مجال المنسوجات: (**الأفضل أن يتم إجراء البحث الخاص بالمخاطر (المحتملة) بالتوازي مع تطوير المنتجات**). غير أن الأمر ليس كذلك، فالأبحاث الخاصة بالمخاطر والآثار الجانبية المحتملة تأتي بعد فترة كبيرة من تطوير المنتج والتسويق له. ويقول برينجر إنه على الرغم من إجراء عدد كبير من الدراسات حول المخاطر الصحية المحتملة ، لكن «كل منها لا يخص سوى منتجات محددة بعينها ، ومن ثم فإن إمكانية تطبيق النتائج على المنتجات الأخرى تكون محدودة (ورغم ذلك ، تشيرالدراسات إلى مخاطر محتملة).

تقول مونيكا بونينج ، الخبيرة في مجال سلامة المنتجات لدى إتحاد منظمات المستهلك الألمانية الذي يتخذ من برلين مقراً له: «جزيئات ‘‘النانو’’ غاية في الصغر ، وحتى الآن لم يتم تحديد الحواجز التي يمكن أن تخترقها.«وأضافت:» لقد أظهرت التجارب على الحيوانات أن جزيئات ‘‘النانو’’ ، على سبيل المثال ، تدخل الرئة وتنتقل إلى مجرى الدم والدماغ. وربما تدخل أيضاً إلى الخلايا (وقالت كاترين شفيرن ، من وزارة البيئة والحفاظ على الطبيعة والسلامة النووية الإتحادية الألمانية ، إن هناك مؤشرات تظهر أن المواد ذات الخصائص السامة قد تكون أكثر تسميماً في

شكل جزيئات "النانو" نظراً لكبر مساحة السطح. جرى تسليط الضوء بصورة خاصة على إستخدام الدقائق الفضية، لأسباب منها الحاجة إليها في بعض المجالات، مثل تصنيع المطهرات المستخدمة في المستشفيات والجوارب الطبية لمرضى السكر .وحذر بونينج قائلا: غير أن الناس ينفرون من الفضة. وعندما يتعرضون بكثرة للفضة "النانو" ، فلن تكون فعالة في المواضع التي تكون ضرورية فيها حقا ،ورغم البوادر التي تشير إلى وجود مخاطر محتملة ، لايوجد هناك دليل علمي حتى الآن يثبت أن أنواعا معينة من جزيئات "النانو" لها أضرار بطريقة أو بأخرى

التحديات التي تواجه "النانو"

مع التطورات التكنولوجية الهائلة أصبح مستخدموا الكمبيوتر يفضلون بأن تكون أجهزتهم صغيرة الحجم وتتميز بالكفاءة والدقة والسرعة في الأداء. وفي بداية عصر الثورة التكنولوجية لاحظ "جوردن مور" أحد مؤسسي شركة "إنتل للإلكترونيات" أن كثافة مكونات جهاز الكمبيوتر تتضاعف سنوياً، وهذا بدورة سيؤدي إلى زيادة كثافة مكونَات شريحة الكمبيوتر الحالية التي تحمل 50 مكوناً في الدائرة لتصبح 65000 مكوَن لكل دائرة بحلول عام 1975م [211].

بالإضافة إلى البعد الفني من خلال قانون "مور" فهناك بعد آخر وهو البعد الإقتصادي، حيث تتضاعف تكلفة تصميم المكونات الإلكترونية بالمصانع كل عام تقريباً. ففي عام 2005م كان حجم المكونات حوالي 130 نانومتر، وكانت الدائرة الواحدة تحمل الملايين من المكونات، لذلك فكرت بعض المصانع في تأسيس خطوط تصنيع لإنتاج مكونات يصل حجمها إلى 65 نانومتر تقريباً، وبهذا الحجم يمكن إنتاج مكونات بعرض 300 ذرة. وهذا الإنكماش في حجم المكونات يتحرك بخطى سريعة للغاية، وعند نقطة معينة سيكون حجم أصغر المكونات بحجم الذرة الواحدة. لذا، لا بد من إحداث قفزة كمية في عملية نقل المعلومات[212]

فقانون مور الأول ينص على أن المساحة اللازمة لوضع الترانزيستور في شريحة يتضاءل بحوالي النصف كل 18 شهرا . هذا يعني أن المساحة التي كانت تتسع لترانزستور واحد فقط قبل 15 سنة يمكنها أن تحمل حوالي 1000 ترانزستور في أيامنا هذه.

قانون مور الثاني يحمل أخباراً قد تكون غير مشجعة ؛ كنتيجة طبيعية للأول فهو يتنبأ بأن كلفة بناء خطوط تصنيع الشرائح تتزايد بمقدار الضعف كل 36 شهرا.

---

[211] سميت هذه النظرية بقانون "مور" ومنذ ذلك الحين اصبحت المعيار المتخذ في صناعة أشباة الموصلات.

[212] انظر على معلومات عن نظرية الكم

إن مصنعي الشرائح قلقون بشأن ما سيحدث عندما تبدأ مصانعهم بتصنيع شرائح تحمل خصائصاً نانوية . ليس بسبب إزدياد التكلفة الهائل فحسب ، بل لأن خصائص المادة على مقياس "النانو" تتغير مع الحجم ، ولا يوجد هناك سبب محدد يجعلنا نصدِّق أن الشرائح ستعمل كما هو مطلوب منها ، إلا إذا تم إعتماد طرق جديدة ثورية لتصميم الشرائح المتكاملة .

نظرية الكم[213]

- إن قدرة تكنولوجيا "النانو" على تكوين مواد من أسفل إلى أعلى ذرة بعد ذرة لا ترتبط فقط بنمنة الأجسام فصناعة أشباة الموصلات تحتاج إلى أدوات ومكونات صغيرة للغاية لكي تواصل إنتاج أجيال جديدة من الشرائح.
- وتكنولوجيا "النانو" هي من سيقوم بتصغير حجم المادة حتى المستوى الجزيئي. وتقسيم المادة إلى جسيمات نانو متناهية الحجم يؤدي إلى مضاعفة مساحة سطحها بشكل كبير، فكلما زادت مساحة السطح، كانت القدرة التفاعلية أكبر.
- تعتبر مواد "النانو" ذات قدرة عالية على الإنصهار والإشتعال والإمتصاص والتي تحدث بسرعة كبيرة، وعلى سبيل المثال " يعتبر خاتم الذهب عنصراً خاملا"[214] بينما يعتبر الذهب "النانو"ي مادة محفزة قوية.
- تصبح مواد "النانو" في بعض الأحيان شفافة، حيث يجري تصغيرها لتكون أصغر من الطول الموجي للضوء المرئي، وهذا بدوره يتيح للعلماء والمهندسين الفرصة لتحويل مواد غير شفافة مثل السليكون بحيث تكون قادرة على نفاذ الضوء.
- في بعض الأحيان تزداد قوة بعض مواد "النانو" بعد تصغيرها، إذ تصبح أنابيب "النانو" الكربونية التي تتسم بتشابة تركيبها الذري مع الماس أكثر قوة ومرونة في الوقت نفسه.
- تعنى نظرية الكم بكيفية إمتصاص الطاقة أو إنبعاثها بصفة مستمرة في هيئة تدفقات ومضاعفات لوحدات طاقة معين لا يمكن تقسيمها وتسمى الكمَات.
- تتعامل ميكانيكا الكم[215] مع سلوك المادة عند المستويات الذرية والنووية والجسيمية. فعند هذه المستويات لا تتغير الطاقة أو كمية الحركة أو الكتلة أو غيرها من الخواص بصفة مستمرة، على عكس ما يحدث في حالة الأجسام الكبيرة.
- تفسر قوانين "نيوتن" الفيزيائية حركة الأجسام بشكل كلاسيكي "الميكانيكا الكلاسيكية"، أما الميكانيكا الكمية فهي تتناول حركة الجزيئات عند مستوى "النانو"أو أصغر من ذلك.
- تعتبر نظرية الكم عماد البحث في مجال الإلكترونات وأشباة الموصلات.

---

[213] ليندا ويليامز، د.واد آدمز، مصدر سبق ذكرة ص.237.
[214] لا يتسم العنصر الخامل بخواص نشطة إلا فيما ندر، كما أنه لا يتفاعل مع الأجسام المحيطة به.
[215] مكياتيكا الكم هي أحد فروع علم الفيزياء

الليثوغرافيا[216]

- تشبة الليثوغرافيا (Lithography) عملية التصوير الفوتوغرافي العادية من حيث إنها تعتمد على الضوء في نقل الصور إلى طبقة تحتية، تستعين الكاميرا بالفيلم كطبقة تحتية، أما الإلكترونات فتعتمد على السليكون كطبقة تحتية.
- عند إنشاء نموذج دائرة متكاملة للميكروبروسيسور، يسلَط الضوء على قناع وهو عبارة عن لوح من الإستانسل تنقش عليه الحروف أو الرسوم له نموذج معين للدوائر المتكاملة.
- يخترق الضوء القناع ثم عدداً من العدسات البصرية التي تعمل على تصغير الصورة أكثر فأكثر، تسقط هذه الصورة الصغيرة على شريحة السيليكون أو أحد أشباة الموصلات.
- تحتوي هذه الشريحة (شريحة السيليكون) على طبقة لدائنية سائلة حساسة للضوء تسمى المقاوم الضوئي (Photoresist)[217].
- يوضع القناع فوق الشريحة، وحين تخترق الأشعة فوق البنفسجية (بأطوال موجية تصل تقريبا إلى 248 نانومتر) القناع وتصل إلى شريحة السيليكون، فإنها تقوم بتصليد ذلك الجزء من المقاوم الضوئي الذي لا يحمية القناع، أما المقاوم الضوئي المحمي (الذي لا يتعرض للضوء)، فإنه يبقى لزجاً ويزال كيميائياً، مخلفاً ورائة المقاوم الضوئي المتصلد المعالج وشريحة السيليكون.
- تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يصبح سطح السليكون بأكملة منمشاً بشكل الترانزستور المطلوب، فإذا إستخدمنا أطوال موجية للضوء تصل إلى 248 نانومتر، فسوف نحصل على دوائر متكاملة عرضها حوالي 200نانومتر، توضح ملايين الترنزستورات في المئات من وحدات الميكروبروسيسور اللازمة لكي يعمل الكمبيوتر بأقصى سرعة له. لذلك تحاول شركات الكمبيوتر تصميم الترانزستورات بأحجام متناهية الصغر حتى يتمكنوا من وضع المزيد منها على شرائح السيليكون.
- يعتبر حجم الطول الموجي للضوء أحد العوامل التي تؤثر على زيادة كفاءة الميكروبروسيسور، فكلما قصر الطول الموجي، أمكن تنميش المزيد من الترانزستورات على شريحة السليكون. وكلما زاد عدد الترانزستورات، زادت كفاءة وسرعة الميكروبروسيسور، لذلك فإن معالج Pentium 4 الذي أبتكرته شركة Intel للإلكترونيات ويحمل 42 مليون ترانزستور يعمل بسرعة أكبر من معالج Pentium3 والذي يحتوي على 28 مليون ترانزستور

---

[216] الليثوغرافيا هي عملية طباعة نماذج معينة على مواد شبة موصلة لاستخدامها في الدوائر المتكاملة

[217] ليندا ويليامز، د. واد آدمز، مصدر سبق ذكره ص.243

- تتحكم اليثوغرافيا التي تقوم بنسخ الدائرة المتكاملة رقاقة بعد رقاقة أو شريحة بعد شريحة أو طبقة بعد طبقة في سرعة نقل البيانات بالأنظمة الإلكترونية وتكلفته.
- يشتمل النظام القائم على اليثوغرافيا على أداة لتسليط الضوء وقناع ومقاوم وخطوات معينة للمعالجة لإتمام عملية النقل من القناع إلى المقاوم ومنه إلى أجهزة الدائرة المتكاملة، فإذا أمكن تقليص هذه المراحل أو رفع كفاءتها، إنخفضت التكلفة بالتبعية.
- تكتظ شرائح السليكون اليوم بالترانزستورات عن طريق عملية اليثوغرافيا بالأشعة فوق البنفسجية الفائقة، وهي طريقة أشبة بالتصوير الفوتوغرافي، حيث يسلط شعاع الضوء على عدة عدسات مكوناً نماذج للدوائر المتكاملة على شرائح السليكون، إلا أن الأطوال الموجية للضوء أو الفيزيائية تقيد مصممي الشرائح الإلكترونية بالنسبة لما يتعلق بحجم الشريحة وإلى أي مدى يمكنهم تصغيرها.
- إذا أستخدم المصممون الأشعة فوق البنفسجية الفائقة (التي يتراوح طولها الموجي بين 10 إلى 15 نانومتر) لوضع الترانزستورات في شرائح السليكون، لأمكنهم صناعة ميكروبروسيسور تزيد سرعة ادائة 100 مرة تقريباً عن شرائح التشغيل وشرائح الذاكرة المستخدمة اليوم، كما ستكون سعة تخزين الذاكرة أكبر لهذا السبب تحاول العديد من المصانع المتخصصة في صناعة الشرائح الإلكترونية إستخدام الليثوغرافيا الأشعة فوق البنفسجية الفائقة كي تمتد فائدة شرائح السليكون حتى عام 2010م.

تأثيرات تقنية "النانو"

إن لتأثيرات تقنية "النانو" سيلٌ من التطبيقات البشرية والطبية والأخلاقية والنفسية والقانونية والبيئية، والمرتبطة بالعديد من المجالات ومنها الهندسة، وعلم الأحياء، والكيمياء، والحوسبة، وعلوم المواد، والتطبيقات العسكرية، والإتصالات بل إن تأثيراتها يصعب حصرها.

وتشمل فوائد تقنية "النانو" تحسين أساليب التصنيع، وأنظمة تنقية المياه، وشبكات الطاقة، وتعزيز الصحة البدنية، الطب النانوي، وتحسين طرق إنتاج الأغذية والتغذية على نطاق واسع والبنية التحتية لصناعة السيارات. المنتجات المصنوعة مع تقنية "النانو" قد تتطلب العمل قليلاً، والأرض، أو الصيانة، وتكون ذات إنتاجية عالية، وإنخفاض في التكلفة، ولها متطلبات متواضعة للمواد والطاقة.

إلا أن المخاطر قد تكون مرتبطةً بكلٍ من المجالات البيئية والصحية، وقضايا السلامة والآثار السلبية للجسيمات الدقيقة التي يتم دراستها ؛ الآثار الإنتقالية مثل النزوح من الصناعات التقليدية ومنتجات تكنولوجيا "النانو" أصبحت مهيمنة ؛ التطبيقات العسكرية مثل الأسلحة البيولوجية، والمراقبة

من خلال مجسَات "النانو"، والتي تثير قلق المدافعين عن حقوق الخصوصية.

هناك جدل حول ما إذا كان موضوع تقنية "النانو" خاصا بالتنظيمات الحكومية، والهيئات التنظيمية، كوكالة حماية البيئة الأمريكية ومديرية الصحة وحماية المستهلك التابعة للمفوضية الأوروبية والتي قد بدأت التعامل مع المخاطر المحتملة لهذه التقنية. ومن الجدير بالذكر أن العالم العربي يفتقر إلى هذه المؤسسات. كما كان لقطاع الأغذية العضوية السبق في التعامل مع الإستبعاد المنظم للجسيات النانوية من عملية الإنتاج العضوية المعتمدة في كلٍ من أستراليا والمملكة البريطانية المتحدة[218]

المخاطر المحتملة

يمكن إجمال مخاطر تطبيقات تقانة الصغائر بشكلٍ واسعٍ ضمن المجالات التالية:

- **قضايا صحية** : تأثيرات المواد النانوية على حيوية الجسم البشري.
- **قضايا بيئية** : تأثيرات المواد النانوية على البيئة.
- **قضايا إجتماعية**: التأثيرات الناجمة عن إمكانية إستخدام الأجهزة النانوية على الشؤون السياسية والتفاعل البشري.

الآثار الصحية والسلامة من الجسيمات النانوية[219]

لا يمثل التواجد البحت للمواد النانوية (وهي المواد التي تحتوي على جسيم نانوي) أي تهديدٍ في حد ذاته. إلا أن هناك سماتٍ معينةٍ تجعل منها محفوفةً بالمخاطر، وعلى الأخص حركة تفاعلها المتزايدة. ولو تبين بأنه في حالة أن خصائص معينةً لبعض الجزئيات النانوية كانت ضارة للكائنات الحية أو البيئة فإن ذلك سيسفر عن مواجهتنا لخطرٍ جلٍ. وفي هذه الحالة يمكن أن نطلق علي ما يسمى الناتج بالتلوث النانوي.

كما أننا في حاجةٍ إلى التمييز بين نوعين للبنية النانوية وذلك عند مواجهة التأثير البيئي والصحي للمواد النانوية ويتمثلان في:

1. مركبات "النانو" والأسطح النانوية ومكونات "النانو" (سواءً الإلكترونية أو البصرية أو الحساسة...إلخ)، حيث تدمج الجزئيات على صعيد "النانو" ضمن خلاصة المادة أو المادة نفسها أو حتى الأجهزة (الجزئيات النانوية "الثابتة")
2. الجزئيات النانوية "الحرة"، حيث تتواجد جزئيات "النانو" الفردية لمادةٍ ما ضمن بعض مراحل عملية الإنتاج والإستخدام. وقد تندرج جزئيات "النانو" تلك ضمن أحد أصناف نطاق "النانو" للعناصر أو المركبات البسيطة وكذلك

---

[218] Nanotechnology: No Free Lunch, Platter, 1(1) 8-17،Paull, John (2010)

[219] www.ar.wikipedia.com

المركبات المعقدة حيث يكون الجسيم النانوي مطليّاً بمادةٍ أخرى (جسيم نانوي "مطليّ" أو جسيم نانوي "جوهري القشرة").

وهناك إجماعٍ للرأي أنه: على الرغم من أنه يجب على المرء أن يكون واعياً بالمواد المحتوية على جزئياتٍ نانويةٍ ثابتةٍ، إلا أن القلق الحالي يتمثل في الجزئيات النانوية الحرة.

هذا بالإضافة إلى أن الجزئيات النانوية مختلفةً بصورةٍ كبيرةٍ عن نظرائها الحاليين، ومن ثم لا يمكن اشتقاق تأثيراتها المتنوعة والمتعددة من السمية المعروفة للمواد دقيقة- الحجم. وتسفر تلك النقطة عن إثارة قضايا هامة لمواجهة التأثيرات الصحية والبيئية للجزئيات النانوية الحرة.

ولتعقيد الأمور أبعد من ذلك، فمن الضروري عند التحدث عن الجزئيات النانوية ألا يكون المسحوق أو السائل المحتوي على جزئيات نانوية أحادي التشتت أبداً[220]، ولكنه يحتوي بدلاً من ذلك مدىً متنوعاً من أحجام الجزيئات ويسفر ذلك عن تعقيدٍ للتحليل التجريبي حيث أن الجزئيات النانوية الأكبر في الحجم قد يكون لها خصائص مختلفةٍ عن تلك الأصغر في الحجم. هذا بالإضافة إلى أن الجزئيات النانوية تظهر توجهاً للتجمع، ومثل تلك التجمعات غالباً ما يكون أداؤها مختلفاً عن الجزئيات المتفردة.

وقد تميزت جرعة الإيثيل والمشتملة على أنواعٍ مختلفةٍ من الجزئيات النانوية والتي كان يتم إعطائها لفئران المعامل على مدى ستة أشهرٍ، بمؤشر سكوفكجائير، تيمناً باسم العالم كاسبر سكوفكجائير[221]

ويجري المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة العديد من الأبحاث حول كيفية تفاعل الجزئيات النانوية مع أنظمة الجسم وكيفية إحتمالية تعرض العاملين في المصانع أو أثناء الإستخدام الصناعي للمواد النانوية للجزئيات النانوية الحجم. حيث يُصدر المعهد القومي للسلامة المهنية والصحة الإرشادات المتوافقة مع أفضل المعرفة العلمية والهادفة للتعامل مع المواد النانوية.

وقد اقترحت إ. مارلا فلتشر من "لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية وتقانة النانو[222] أن: لجنة سلامة المنتجات الاستهلاكية، والتي تعد مسؤولةً عن حماية الجمهور من أية مخاطرٍ غير مبررةٍ للإصابة أو الموت المصاحب لمنتجات المستهلك، غير مجهزةٍ بشكلٍ جيدٍ للإشراف على سلامة المنتجات المعقدة عالية التقنية والمنتجة بواسطة تقانة ‘‘النانو’’.

---

[220] www.chemicool.com/definition/monodipers

[221] http://library.kiwix.org

[222] http://library.kiwix.org

كما تركز أهتمامات المدى الأطول على التأثيرات الخاصة بالتقنيات الجديدة على المجتمع بقطاعاته العريضة، وكذلك على ما إذا كان من الممكن لتلك التأثيرات أن تؤدي إلى ظهور إقتصاد ما بعد الندرة، أو قد تؤدي إلى تفاقم فجوة الثروة فيما بين الأمم المتطورة والنامية. هذا بالإضافة إلى أن تأثيرات تقانة "النانو" على المجتمع ككل وعلى صحة البشر والبيئة كذلك، بالإضافة إلى تأثيراتها على التجارة والأمن وأنظمة الغذاء، بل حتى على تعرف مصطلح "البشري" لم يتم تحديد ملامحها بعد أو تسييسها كذلك.

علم السموم النانوي

يقصد بالحجم متناهي الصغر للمواد النانوية بأنها أكثر قدرة على القابلية للإمتصاص داخل الجسم البشري عن الجزيئات كبيرة الحجم. وتمثل قضية كيفية التعامل مع تلك الجزيئات النانوية داخل الجسم البشري إحدى تلك القضايا التي تتطلب التوصل لحلٍ لها. ويتمثل سلوك الجزيئات النانوية في وظيفة حجمها وشكلها وتفاعلها السطحي مع النسيج المحيط بها. حيث قد يكون لها حملاً زائداً على البلاعم أو الخلايا البالعة وهي تلك الخلايا التي لديها القدرة على إبتلاع وتدمير الأجسام الغريبة، ومن ثم تثير ردود فعل مجهدةٍ والتي يسفر عنها إلتهاباً وتضعف من مقاومة الجسم ضد مسببات الأمراض الأخرى. هذا بالإضافة إلى أن ملمحاً آخراً مما قد يحدث في حالة تجمع الجزيئات النانوية الغير قابلة للتحلل أو تلك التي تتحلل ببطءٍ داخل الأعضاء البشرية يتمثل في إثارة مخاوفٍ أخرى مرتبطةٍ بقدرتها على التفاعل مع العمليات الحيوية داخل الجسم: حيث أنه بسبب مساحة سطحها الضخمة، ففي حالة تعرض سطح الأنسجة والسوائل للجزيئات النانوية، سيتم إمتصاص تلك الأسطح لبعضاً من جزيئاتها الدقيقة والتي تحتويها الجزيئات النانوية في التو واللحظة. وقد يؤثر ذلك وبشكلٍ لحظيٍ على الآليات التنظيمية للإنزيمات والبروتينات الأخرى.

وتتضمن بعضاً من الخصائص الأخرى للمواد النانوية المؤثرة على علم السموم في: التركيب الكيميائي، الشكل، البنية السطحية، التغير السطحي، التجمع والذوبان [223] وكذلك الحضور والغياب للمجموعات الوظيفية الخاصة بالمواد الكيميائية الأخرى.[224] ويقصد من العدد الكبير للمتغيرات المؤثرة على علم السموم أنه من الصعب تعميم المخاطر الصحية المصاحبة للتعرض للمواد النانوية – حيث يجب تقييم كل مادة نانوية جديدة بصورةٍ فرديةٍ بالإضافة إلى أنه يجب أن يوضع في الاعتبار الخصائص النانوية جميعها.

علم السموم النانوي (Nanotoxicology) هو دراسة سمَّية المواد النانوية[225] بسبب تأثيرات الحجم الكمي والمساحة السطحية الكبيرة. ويعتبر

---

[223] www.wikipedia.com

[224] http://library.kiwix.org

[225] المواد النانوية لها خصائص فريدة من نوعها مقارنة مع نظرائها من المواد الكبيرة

علم السموم النانوي فرع من فروع علم الأحياء النانوي الذي يتناول دراسة وتطبيق سميَة المواد النانوية. كما أن المواد النانوية (أو تسمى المواد المتناهية الصغر)، حتى عندما تكون مصنوعة من العناصر الخاملة مثل الذهب، فأنها تصبح نشطة للغاية في الأبعاد النانومترية. وتهدف دراسات علم السموم النانوي إلى تحديد ما إذا كانت وإلى أي مدى هذه الخصائص قد تشكل خطراً على البيئة والبشر.

على سبيل المثال، الجسيمات النانوية بالديبزل تبين أنها تسبب الضرر في نظام القلب والأوعية الدموية في الفئران

مخاطر تقنيات "النانو" على صحة الإنسان[226]

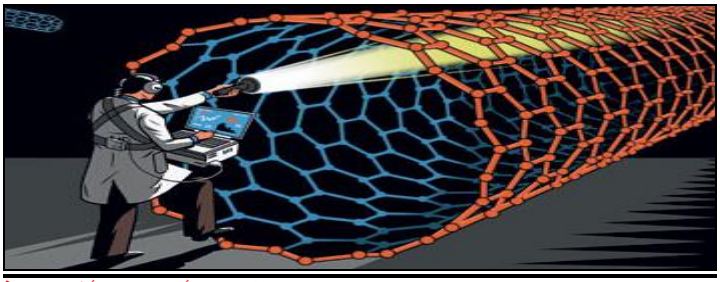
أهم المخاطر التي تواجه الإنسان في تعامله مع تقنية "النانو" المخاطر المتعلقة بجسيمات "النانو" فنحن نعلم مدى صغر هذه الجسيمات وكيف أن بعض هذه الجسيمات تقارب في حجمها كريات الدم الحمراء، وبالرغم من المميزات الرائعة لهذه الجسيمات بناءاً على حجمها إلا أن لهذا الحجم مخاطر محتملة حيث أن جسيمات "النانو" لها القدرة على الدخول في جسم الإنسان بكل سهولة خلال مسامات الجسم وبدون إي مقاومة وتستطيع الإنتشار داخل الجسم مما قد يلحق الضرر بجسم الإنسان .

يتفق العلماء على أن جسيمات "النانو" وبسبب صغر حجمها لها القدرة على الدخول في جسم الإنسان، فلك أن تتخيل أن جسيم بحجم 300 نانومتر يستطيع وبكل سهولة الدخول في خلايا جسم الإنسان، والأخطر من ذلك أن جسيم بحجم 70 نانومتر يستطيع الدخول في نواة الخلية، مما يعني أن هذه الجسيمات قادرة على الدخول بسهولة إلى جسم الإنسان مما يعني الإحتمال الكبير لحدوث التفاعل بينها وبين خلايا الجسم مما قد يؤدي لتغير خصائصها أو تسميمها. وهذه المخاوف لها ما يبررها حيث أظهرت بعض الدراسات التي إجريت على الحيوانات في المختبر هذه الأثار السلبية لجسيمات "النانو" حيث وجد أن هذه الجسيمات وعند دخولها الجسم تتجمع في الدماغ وخلايا الدم والأعصاب، وهذا بالطبع يعني خطورة بالغة جدا، مما يعني أن جسيمات "النانو" يمكن أن تصنف على أنها مواد تدميرية لجسم الإنسان، ويتخوف بعض العلماء بأن تقنية "النانو" سوف تقود البشرية إلى طريق طويل مليء بالمشاكل الصحية والمادية

والجدير بالذكر، أن الدراسات التي أجريت لمعرفة مخاطر تقنية "النانو" لازلت محاولات فردية و قاصرة وتحتاج إلى دعم حكومي لفهم الطرق التي تتصرف بها جسيمات "النانو" داخل جسم الإنسان، ونذكر هنا إن معظم الدراسات أظهرت أن تقنية "النانو" آمنة ، ولكن من الضروري فهم مواد "النانو" ودراستها جيداً لمعرفة إمكانية خطرها على حياة الإنسان

---

[226] المركز السعودي لتقنية النانو http://www.saudicnt.org



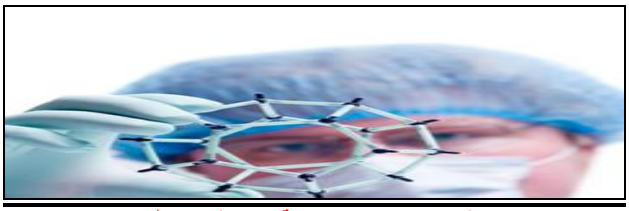
الشكل (113)جسيمات "النانو" عالم جديد من المواد يحتاج الكثير من الأبحاث لسبر أغوراها و فهم مخاطرها المحتملة

مخاطر تقنية "النانو" على البيئة[227]

بصرف النظر عن المخاطر المخيفة المحتملة لتقنية "النانو" على صحة الإنسان، فإن هناك مخاوف وقلق من أن مواد "النانو" لها تأثيرات سلبية كبيرة على البيئة، فنجد أن هناك نوعين رئيسين من المخاوف وهما التراكم البيولوجي الذي ينشأ من تراكم مواد "النانو" الغير مرغوب فيها، فبعض العلماء أشار إلى مخاوف من أن مواد "النانو" المتراكمة في البيئة قد تكون لها إمتصاصية عالية للمواد الملوثة عالية التركيز مثل الكادميوم والمبيدات، فإذا إستهلكتها الحيوانات فإن هذه المواد الملوثة سوف تدخل في السلاسل الغذائية مما يحدث عنه تلوث غذائي كبير. أما النوع الآخر من المخاوف فإنه يرجع لصغر حجم مواد "النانو" مما يصعب عمليا من طرق كشفها أو تنظيفها وإزالتها من البيئة .

مخاطر تقنية "النانو" في أماكن العمل

إضافة لما سبق من مخاطر على صحة الإنسان وعلى البيئة، فإن هناك خوف من أن مواد "النانو" قد تكون مواد عالية الإنفجار وذلك نظراً إلى كبر مساحة سطحها مقارنة بحجمها، فتخزين مواد "النانو" بكميات كبيرة في مكان واحد ولمدة كبيرة قد يعرضها للإنفجار، فمن المعروف تاريخياً إن الغبار عندما يتكون في أماكن العمل فإنه قد يتعرض للإنفجار لذلك فإن الخوف من إنفجار غبار مواد "النانو" الذي قد يتكدس في أماكن العمل أكبر وأشد.



مواد "النانو" جسيمات صغيرة قد يكون لها مخاطر كبيرة

[227] المركز السعودي لتقنية النانو http://www.saudicnt.org

جسيَّمات "النانو" ومدى سميتَّها[228]:

- أهتم العلماء كثيراً بخاصَية قابلية جسيَّمات "النانو" للذوبان، نظراً لإن الجزيئات القابلة للذوبات تستطيع إختراق الأجهزة الحيوية بجسم الكائن الحي في يسر وسهولة.
- لقد ثبت أن أول مجموعة من الفلورينات عام 1985م، جزيئات C_{60} كانت تتجمع على هيئة بلورات متناهية الصغر تنشط في البيئة الرطبة. إضافة إلى ذلك فقد أثبتت الأبحاث أن تجمعات جزيئات C_{60} القابلة للذوبان سامة بالنسبة للخلايا[229]
- إكتشف فريق من العلماء بجامعة "رايس" الأمريكية أن التصاق شطايا جزيئية صغيرة بسطح جزيئات C_{60} في عملية يطلق عليها التهيئة الوظيفية (Functionalization) يؤدي إلى إزالة التأثير السام الذي يضر بالخلايا. أما الفلورينات التي لا تمر بهذة العملية والمستخدمة في دراسة الأسماك ، فكانت سامة بالنسبة لـ 50% من الخلايا المستنبتة بتركيز يصل إلى 20 جزءاً من المليار.
- يمكن عن طريق إلصاق الكثير من شظايا الجزيئات إلى أسطح جزيئات C_{60} أن تتراجع سمَّية الخلية حتى يصبح سطح الفلورينات مغطى دون أن يتيح للكميات القليلة من جسيمات C_{60} متناهية الصغر تدمير نسبة 50% من الخلايا.
- قد أظهرت هذه الدراسة أن خطورة جسيمات "النانو" تكمن في شكل المادة وأن إستخدام أبسط الأساليب من شأنه أن يجنبنا هذه المخاطر.
- لذا، إستيعاب خصائص أسطح جزيئات "النانو" بشكل كامل يجعلنا نلجأ إلى طرق تعديل كيميائية بسيطة لتفادي المخاطر. ولكن، قد لا تفلح هذه الطريقة بالنسبة لجسيمات أو مواد نانو أخرى.
- تتطلب الخصائص الفريدة التي تميز مواد "النانو" (مثل كيمياء السطح، والمتانة، والتفاعلية، والقدرة على التوصيل الكهربي والحراري) حدوث تغيرات خاصة بتطبيقات معينة قبل استخدامها.
- تؤثر هذه التغيرات عادة على خصائص المادة، ففي بعض التطبيقات يؤدي تعديل خصائص الأسطح إلى القضاء على الخاصية المطلوبة.

---

[228] ليندا وليامز، د. وآد آدمز، تكنولوجيا النانو ، قابلية جسيمات النانو للذوبان ومدى سميتها، مكتبة الأسرة، 2008 ص. 352

[229] أي تقضي عليها في البيئة الصناعية خارج جسم الكائن الحي (أي في المعمل) ، وأنها السبب في تلف أنسجة المخ لدى الأسماك

الإشتقاق[230]:

- لا يعدَّ الحجم هو العامل الوحيد الذي يبيِّن لنا مدى سمَّية جسيَّمات "النانو"، فالتركيب الكيميائي وتجمع الجسيَّمات وشحنات السطح وشكل الجسيَّم وبنيته وخصائص وطبقات السطح من العوامل الأخرى التي يجب أن نأخذها بالإعتبار.
- أثبتت نتيجة إختبارات مدى تسمم الخلايا الجلدية نتيجة التعرض لجزئ C_{60} أن سمَّية هذا الجزئ بصورته النانوية في حالة الخلايا المستنبته تصل إلى 20 جزءا من المليار. وعلى الرغم من أن تلك نسبة سامة مقارنة بالمواد الكيميائية الأخرى السامة بالنسبة للخلايا، فإن سمَّية جزئ C_{60} النانوي وغيره من الفلورينات القابلة للذوبان في الماء ترتبط إرتباطاً وثيقاً بمستوى الإشتقاق[231].
- في الغالب تنتج المجموعة الوظيفية للمركب الكيميائي في أثناء عملية التفاعل، مما يؤدي إلى تغير المركب الأصلي ليتحول إلى منتج جديد مع تغير الخواص التفاعلية ودرجة الغليان ودرجة الإنصهار والقابلية للذوبان والتركيب الكيميائي.
- تمثل عملية الإشتقاق أهمية كبيرة في تعديل الخصائص غير المرغوب فيها مثل (السمَّية) في أثناء العمليات البيولوجية أو عمليات التركيب والتخليق.
- تؤثر سميَّة الفلورينات على إغشية الخلايا بإفراز شق أحادي الأكسجين، وقد أثبتت التجارب إمكانية التخلص من هذة السمَّية عن طريق إشتقاق جزئ C_{60}.

[230] ليندا ويليامز، د. وآد آدمز، تكنولوجيا النانو، مكتبة الأسرة 2008 . ص. 354

[231] تحدث عملية الإشتقاق حين يتحول المركب الكيماني إلى مادة جديدة لها تركيب متشابه وتسمى في هذه الحالة بالمشتق