

أثر النانوتكنولوجيا في تنمية المجتمع

Nanotechnology: Its influence on society development

ا. د. يعرب قحطان الدُّوري

جامعة مالايا - ماليزيا

الملخص

يعتبر النانوتكنولوجيا أحدث العلوم وأهمها في الوقت الراهن. ونظراً لأهميته النظرية والتطبيقية فقد ظهرت فوائده المتميزة لخير البشرية. نستعرض في مقالتنا نظرة عامة عن النانوتكنولوجيا تمهيداً للتعريف به، ثم تفصيلاً لأهم التطبيقات النانوية في مختلف مجالات الحياة، منها الطبية، والطاقة، والفضاء، والانشاءات والمصانع وتصنيع المركبات، واستهلاك السلع، والأدوات المنزلية والبصريات، والأنسجة ومستحضرات التجميل، والزراعة. ثم تناولنا عرض للفوائد المتوقعة للنانوتكنولوجيا والمخاطر المحتملة بما فيها الآثار الصحية والاجتماعية.

Abstract

The nanotechnology has proved it is an important invention for the two decades ago. Due to its theoretical and application studies, its advantages have been arisen. This study presents an overview of nanotechnology, followed by its applications in different fields of medicine, energy, space, constructions, factories, manufacturing, consumption, housewares, optics, tissues, cosmetics, agriculture. Finally, the advantages and disadvantages including healthy and society affects have been presented.

أولاً: المقدمة

يظهر التقدم التكنولوجي عبر موجات متتالية، ويعتبر النانوتكنولوجي التجسيد العلمي الأبرز في الحضارة الانسانية المعاصرة. بل تمثل بؤرة اهتمام مراكز البحث العلمية والجامعات العالمية. يتبين ان للنانوتكنولوجي فوائد جمة غير أن معارضوه يتخوفون من مخاطره، فقد كثرت الأبحاث العلمية الخاصة بالنانوتكنولوجي تأخذ مجالاً متسارعاً في شقيه النافع للانسانية ومخاطره التي لا تخطر بالبال. لكن ما يبرز أهمية النانوتكنولوجي هو خدمة الانسانية في مجالات عدة منها تنقية وتحلية المياه، والطاقة البديلة، والصناعة، والطب، والصحة، والزراعة وغيرها من مجالات الحياة العديدة^(١-٣).

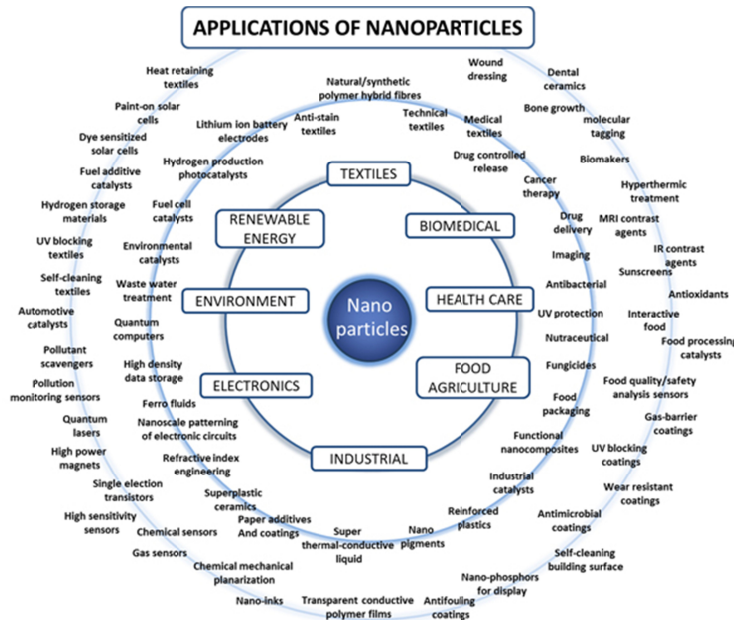
تشتق كلمة النانو وهي أغريقية الأصل من شيء صغير جداً، علماً أن النانومتر يساوي جزء من مليار جزء من المتر، بحيث لا يرى بالعين المجردة. فمجرد معرفة أن شعرة الانسان لها سمك يساوي مليون نانومتر، نعرف مدى صغر القياس النانومتري. فعلى افتراض جسيم نانوي قطره ٣٠ نانومتر، فاذا ضاعفنا قطره مائة مليون ضعف فسنحصل على ملعب كرة قدم، واذا ضاعفنا هذه الكرة مائة مليون ضعف فسنحصل على حجم القمر^(٤-٦).

تعتبر المجاهر الضوئية التقليدية مناسبة لرؤية شعرة على ساق ذبابة مثلاً، لكن يصعب رؤية شيء على المقياس النانوي. لذا وجب استخدام المجهر النفقي الماسح STM الذي يظهر صوراً ثلاثية الأبعاد لجميع الأجسام على المقياس النانوي. تخيل ١ سم من مكعب السكر، فأنا حوالي ١ من ١٠ ملايين من الذرات على سطح المكعب، (١ سم يساوي ١٠ ملايين نانومتر). واذا تخيلنا ١ نانومتر من السكر فستوجد ٨٠% من الذرات على السطح. يتطلب منا ٣٤ مليون سنة لحل حبة رمل في كوب من الماء. أما اذا تعلق الأمر بنانومتر مكعب من الرمال فستغرق العملية ١ ثانية. وفي الواقع تحدث تطورات هائلة في الخصائص الفيزيائية للمواد منها الوزن، والمقاومة، والتوصيلية، والانعكاسية الضوئية، والامتصاصية وغيرها من الصفات^(٧-٨). يحاول العلماء اليوم نشر التطبيقات النانوية لفائدة البشرية والانسانية وخدمة للتنمية والمجتمع.

ثانياً: تعريف النانو

كلمة «نانو» مشتقة من لفظة «نانوس» الإغريقية، ومعناها: القزم، وبالتالي فعلم النانو، بداية، يهتم بالمقاسات الصغيرة للمواد والتي تسمى بالمواد النانومترية Nanomaterials هذا من الناحية اللغوية والتاريخية، أما من الناحية العلمية فإن مصطلح نانو يعني جزءاً من المليار، فالنانومتر هو واحد من على المليار من المتر 10^{-9} ولكي نتخيل صغر النانو متر نذكر ما يلي:

أصغر الأشياء التي يمكن للإنسان رؤيتها بالعين المجردة يبلغ عرضها حوالي ١٠٠٠٠٠ نانو متر، وعندما تصطف عشر ذرات من الهيدروجين فإن طولها يبلغ نانو متر واحد، فإله من شيء دقيق للغاية. والعلم الذي يتعامل مع هذه المواد ودراسة خصائصها هو علم النانو Nanoscience أما تطبيق هذه العلوم وهندستها لانتاج مخترعات مفيدة فهو تقنية النانو Nanotechnology والذي يتعامل مع المواد ذات الأبعاد التي لا تتجاوز ١٠٠ نانومتر. الشيء الفريد في مقياس النانو أو الـ Nano Scale هو أن معظم الخصائص الأساسية للمواد والآلات كالتوصيلية الحرارية أو الكهربائية، والصلابة ونقطة الانصهار والخواص الفيزيائية، تعتمد على الحجم size dependent بشكل لا مثيل له في أي مقياس آخر أكبر من النانو، فعلى سبيل المثال السلك أو الموصل النانوي الحجم لا يتبع بالضرورة قانون أوم الذي تربط معادلته التيار والجهد والمقاومة، فهو يعتمد على مبدأ تدفق الإلكترونات في السلك كما تتدفق المياه في النهر؛ فالإلكترونات لا تستطيع المرور عبر سلك يبلغ عرضه ذرة واحدة، بل يمُ عبه إلكترونات بعد الآخر. وكذلك فإن لون المواد يتغير فالذهب بحجم النانو سيكون مائلاً للاحمرار على غير الطبيعي الذي يكون أصفر، وقد يكون الكربون النانوي Nano carbon فائق التوصيل للكهربائية super conductive على عكس الكربون في حالته الطبيعية. إن أخذ مقياس الحجم بعين الاعتبار بالإضافة إلى المبادئ الأساسية للكيمياء والفيزياء والكهرباء هو المفتاح إلى فهم علم النانو الواسع^(٩).



الشكل (١): تطبيقات النانوتكنولوجي في مختلف مجالات الحياة.

ثالثاً: تطبيقات النانوتكنولوجي

سننظر لهذا التطبيقات التي سنواجهها في حياتنا اليومية بما يعود بالنفع للجميع حيث بدأت تطبيقاته في حدود العام ١٩٩١، حيث يوضح الشكل (١) تطبيقات موسعة للنانوتكنولوجي في مختلف مجالات الحياة.

١. الطب

استفادت المجموعات البحثية الحيوية والطبية الخصائص الفريدة من المواد النانوية المرتبطة بالتطبيقات المختلفة مثل عوامل التباين لتصوير الخلية وعلاجات السرطان. فقد بدأ استخدام مصطلحات ومنها النانوتكنولوجي البيوطبية والنانوتكنولوجي الحيوية وطب النانو بهدف وصف ذلك المجال الواسع. كما يمكن إضافة الوظائف للمواد النانوية من خلال تواصلها وتفاعلها مع غالبية الجزيئات والتركيبات الحيوية. ويعد حجم المواد النانوية متماثل مع حجم غالبية الجزيئات والتركيبات الحيوية، ومن ثم قد تعد المواد النانوية مفيدة لمجالي الأبحاث والتطبيقات الحيوية والصناعية. وقد أسفر دمج وتكامل المواد النانوية مع الأحياء عن تنمية الأجهزة التشخيصية، عوامل التباين، الأدوات التحليلية، تطبيقات العلاج الطبيعي وأدوات توصيل الدواء.

تستخدم الجزيئات النانوية والمرتبطة بالجسم المضاد الملائم من أجل تصنيف بعض الجزيئات والجسيمات المحددة والكائنات الدقيقة. كما يمكن استخدام جزيئات الذهب النانوية والموسومة بالشرائح القصيرة للحامض النووي بهدف التعرف على التسلسل الجيني لعينة ما. وتسفر عملية تضمين النقاط الكمومية مختلفة الحجم داخل الكريات البوليمرية الدقيقة عن وقوع ترميز متعدد الألوان للفحوصات الحيوية. وتحول تكنولوجيا المسام النانوية الخاصة بتحليل الأحماض النووية سلاسل النيوكليوتيدات مباشرة إلى توقيعات إلكترونية.

يعد النانوتكنولوجي ضرباً من الازدهار والتقدم في المجال الطبي مع إمكانية توصيل الدواء إلى خلايا محددة باستخدام الجزيئات النانوية. ويمكن تقليص عملية الاستهلاك الكلية للدواء بالإضافة إلى الأعراض الجانبية بشكل واضح من خلال إيداع العامل النشط في المنطقة المريضة فقط وبدون أية جرعات أعلى مما هو مطلوب. حيث يقلل هذا الأسلوب الانتقائي من التكلفة والمعاناة البشرية كذلك. ويمكن التعرف على أحد تلك الأمثلة في المواد النانوية المسامية. ومثالاً آخراً من خلال استخدام بوليمرات الكتلة المشتركة، والتي تشكل مركب ميسليس (micelles) المستخدم في تغليف الدواء^(١٠). والتي تستخدم في الحفاظ على جزيئات الدواء الصغيرة للمساعدة في انتقالها إلى وجهتها المقصودة. هذا بالإضافة إلى رؤية أخرى مبنية على الأنظمة الإلكترونية ميكانيكية الصغيرة، حيث تم البحث في مجال النظم الكهروميكانيكية النانوية والتي تعد الجيل الأصغر من النظم الكهروميكانيكية الصغرى بغرض الإطلاق النشط للأدوية. وتتضمن بعض التطبيقات الهامة في المجال علاج السرطان باستخدام جزيئات الحديد النانوية أو دروع الذهب. ويقلل الدواء المستهدف أو الشخصي من عملية استهلاك الدواء ونفقات العلاج كذلك تحقيق فائدة اجتماعية شاملة من خلال تقليص التكلفة لنظام رعاية الصحية العامة. كما تفتح النانوتكنولوجي فرصاً جديدة في أنظمة توصيل الدواء القابلة للزرع، والتي غالباً ما يفضل استخدامها مع الأدوية المحقونة، نتيجة أن الأخيرة غالباً ما تستعرض حركات من الدرجة الأولى (حيث يرتفع تركيز الدم بسرعة، ولكنه ينخفض بشكل ضعيف مع مرور الزمن). وقد يسبب الارتفاع السريع ذلك صعوبات مع السمية وكفاءة الدواء قد تتلاشى نتيجة انخفاض تركيز الدواء عن المعدل المطلوب له.

٢. الطاقة

وتتمثل أكثر المشروعات تقدماً والمرتبطة بمجال الطاقة في: التخزين، التحويل، تحسينات التصنيع بالإقلال من المواد المستخدمة ومعدلات العملية التصنيعية، توفير الطاقة (من خلال أفضل طريقة للعزل الحراري)، وكذلك توفير مصادر متجددة للطاقة.

يمكن التوصل إلى تقليص أقل للطاقة من خلال تطبيق أفضل لأساليب العزل، وذلك من خلال استخدام الإضاءة الكافية أو أساليب الإحراق، بالإضافة إلى استخدام مواد أقوى إضاءة تستخدم في قطاعات النقل. وتحول اللمبات الضوئية المستخدمة حالياً نحو ٥% فقط من الطاقة الكهربائية إلى ضوء. إلا أن الأساليب النانوتكنولوجية ومنها المصباح الثنائي الباعث للضوء والتي يرمز لها بـ (LED) أو الذرات المحددة كميّاً والتي يرمز لها بالرمز (QCA) قد تؤدي إلى ترشيد استهلاك الكهرباء لأغراض الإضاءة.

تحتوي أفضل الخلايا الشمسية المستخدمة في يومنا هذا على طبقاتٍ للعديد من أشباه الموصلات المكسدة معاً وذلك بهدف امتصاص الضوء في صورٍ عدةٍ للطاقة، إلا أنها ما زالت

مصنعة بأسلوب لا يسمح سوى باستخدام ٤٠% فقط من طاقة الشمس. وللخلايا الشمسية المتوافرة حالياً كفاءات منخفضة تتراوح بين (١٥-٢٠%). إلا أن النانوتكنولوجيا قد تساعد على زيادة كفاءة تحول الضوء من خلال استخدام الهياكل النانوية ذات استمرارية من الحزم ذات الفجوات.

لقد وصلت درجة كفاءة محرك الاحتراق الداخلي لما يتراوح بين ٣٠-٤٠% في الوقت الحالي. إلا أن النانوتكنولوجيا قد تحسن من معدل الاحتراق من خلال تصميم محفزات خاصة ذات مساحة سطحية أعظم. ففي عام ٢٠٠٥، قام العلماء بتطوير مادة جزيئية نانوية قابلة للرش والتي عندما تتم رشها على السطح، تحوله في التو واللحظة إلى مجمع للطاقة الشمسية^(١).

وتتمثل إحدى نماذج الطاقة الصديقة للبيئة في استخدام خلية وقود تشتعل بواسطة الهيدروجين، والتي تنتج بصورة مثالية من الطاقات المتجددة. ولعل أفضل مادة نانوية مستخدمة بخلية الوقود تتمثل في المحفز المكون من جزيئات المعادن النبيلة المدعومة بالكربون ذات قياسات ١-٥ نانومتر. وتحتوي المواد المناسبة لتخزين الهيدروجين على عدد ضخم من المسام النانوية الصغيرة. ومن ثم يتم الاستفادة من العديد من المواد النانوية ومنا الأنابيب النانوية والزيولايت والألوانيت في مجال البحث والتحقيق. كما قد تساهم النانوتكنولوجيا في زيادة تقليص الملوثات المنبعثة من محرك الاحتراق من خلال استخدام مرشحات المسام النانوية، والتي تستطيع تنقية وتنظيف العوادم ميكانيكياً من خلال المحولات المحفزة والقائمة على جزيئات المعادن النبيلة النانوية أو من خلال المغلفات المحفزة على جدران الاسطوانة والجزيئات النانوية المحفزة والتي قد تستخدم كذلك كإضافات للوقود.

نتيجة قلة كثافة الطاقة بالبطاريات بصورة نسبية فإن وقت التشغيل محدود بالإضافة إلى الحاجة إلى إعادة الإحلال أو الشحن مرة أخرى. هذا بالإضافة إلى أن العدد الضخم للبطاريات والمجمعات المستنفذة تخلق مشكلة في التخلص منها. ومن ثم فإن استخدام البطاريات ذات كمية الطاقة الأعلى بداخلها أو تلك القابلة لإعادة الشحن مرة أخرى أو حتى استخدام المكثفات الفائقة ذات معدلات إعادة الشحن العالية باستخدام المواد النانوية قد تكون مفيدة بصورة واضحة لحل مشكلة التخلص من البطاريات المستهلكة.

تقوم عمليات إنتاج التكنولوجيا العالية حالياً على الاستراتيجيات التقليدية من أعلى إلى أسفل، حيث تم تقديم ودمج النانوتكنولوجيا بصورة صامتة. ويصل مقياس الطول الحرج للدوائر المتكاملة إلى ٥٠ نانومتر فما أقل مراعاة لطول البوابة الخاص بالترانزستورات. اعتمدت تصميمات الذاكرة الإلكترونية فيما مضى على بنية الترانزستورات. إلا أن البحث في مجال الإلكترونيات القائمة على شكل أنبوب قد وفرت بديلاً من خلال استخدام الربطات الداخلية المعاد تشكيلها فيما بين حزم وصفائف الأسلاك العمودية والأفقية وذلك بهدف إنتاج ذاكرة مرتفعة الكثافة. اعتمدت إحدى تلك الأجهزة المستخدمة حديثاً على حقل البحث التجريبي الفيزيائي الدوران الإلكتروني. حيث يُطلق

على اعتماد مقاومة المادة (بسبب دوران الإلكترونات) على المجال الخارجي المقاومة المغناطيسية . وقد يتم تضخيم ذلك التأثير بصورة كبيرة (المقاومة المغناطيسية الهائلة) في حالة الأجسام النانوية، وعلى سبيل المثال عندما يتم فصل طبقتين من الحديد الممغنط باستخدام طبقة نانوية مغناطيسية، والتي يتسم سمكها بأنه نانوي المقياس ومنها (Co-Cu-Co) وقد أسفرت المقاومة المغناطيسية الهائلة (GMR) عن زيادة قوية في كثافة تخزين البيانات على الأقراص الصلبة وأتاحت الفرصة لاستخدام مدى الغيغا بايت. ويعد نفق المقاومة المغناطيسية (TMR) شبيه الحال بدرجة كبيرة بالمقاومة المغناطيسية الهائلة (GMR) وهو قائم على النفق الناتج من دوران الإلكترونات عبر الطبقات الحديدية الممغنطة المتجاورة. وقد تستخدم نتائج وتأثيرات كلاً من GMR و TMR في إنتاج ذاكرة كمبيوترية غير متقلبة، ومنها ما يطلق عليه ذاكرة الوصول العشوائي المغناطيسية^(١١).

لقد طُور بمعمل الإلكترونيات وتكنولوجيا المعلومات بغرينوبل بفرنسا، حدود المباديء الخاصة بترانزستور موسفت ذات قياس ١٨ نانومتر (و التي وصلت إلى ٧٠ ذرة تقريباً وضعت بجانب بعضها البعض). حيث كان حجم ذلك الترانزستور غالباً عُشر حجم أصغر ترانزستور صناعي صُنع عام ٢٠٠٣ م (١٣٠ نانومتر عام ٢٠٠٣، ٩٠ نانومتر في ٢٠٠٤، ٦٥ نانومتر في ٢٠٠٥، و ٤٠ نانومتر في ٢٠٠٧). حيث مكّن التكامل النظري لسبعة بلايين تقاطع على عملة الواحد جنيه إسترليني. تحل الأجهزة البصرية محل الأجهزة التناظرية الإلكترونية التقليدية في تكنولوجيا الاتصالات الحديثة نتيجة عرض نطاقها الترددي وتزايد قدرتها وكفاءتها على التوالي. ومن الأمثلة الواحدة هي البلورات الضوئية والنقاط الكمومية. حيث تعد البلورات الضوئية مواداً ذات اختلاف دوري في معامل الانكسار مع شعرية ثابتة يصل طولها إلى نصف الطول الموجي للضوء المستخدم. مما يجعلها تسمح بتوفير وعرض فجوة حزمية اختيارية لانتشار طول موجة محدد، ومن ثم فهي تتشابه مع شبه الموصلات، ولكن في مجال الضوء أو الفوتونات بدلاً من الإلكترونات. في حين تعد النقاط الكمومية أجسام نانوية والتي يمكن استخدامها فيما بين العديد من الأشياء الأخرى لإنتاج أشعة الليزر. وتتسم ميزة استخدام ليزر النقاط الكمومية عن ليزر شبه الموصل التقليدي في أن طول الموجة المنبعثة يعتمد على قطر النقطة. كما أن الليزر المنتج بواسطة النقاط الكمومية يكون أرخص في سعر التكلفة ويوفر جودة إشعاع أفضل وأعلى من ثنائيات الليزر التقليدية.

٣. الفضاء

ستمثل المواد الأخف والأقوى فائدة هائلة في مجال تصنيع الطائرات، مما يزيد من كفاءة الأداء. كما ستستفيد مركبات الفضاء من تلك المواد حيث يلعب الوزن عاملاً حيوياً. كما ستساعد النانوتكنولوجيا من تقليص حجم المعدة ومن ثم تقليص استهلاك الوقود المطلوب لتحليقها في الجو.

ولربما يسفر استخدام تكنولوجيا المواد النانوية عن تقليل وزن الطائرة بدون محرك إلى النصف تقريباً في حين يتم زيادة قوتها ومتانتها. هذا بالإضافة إلى أن النانوتكنولوجيا تقلل من كتلة المكتفات الفائقة والتي ستستخدم بصورة متزايدة في توفير القوة للمحركات الكهربائية المساعدة وذلك بهدف إقلاع الطائرة بدون محرك عن الأرض المنبسطة إلى التحليق في الأجواء العالية^(١٢).

٤. الإنشاءات والمصانع وتصنيع المركبات

للنانوتكنولوجيا القدرة على زيادة معدل الإنشاءات وجعلها عملية أسرع وأرخص وأكثر تنوعاً. حيث قد تسمح عملية التشغيل الآلي للنانوتكنولوجيا للإنشاءات إلى إنشاء هياكل وبنيات تتنوع من المنازل المتقدمة إلى ناطحات السحاب الهائلة وذلك بصورة أسرع وبتكلفة أقل بكثير.

نتيجة استخدام تطبيقات النانوتكنولوجيا، ستكون للمصانع المنتجة للمواد ومنها الصلب والألومنيوم القدرة على إزالة والتخلص من أية شوائب في المواد التي تقوم إنتاجها^(١٣). تماماً كما هو الحال في مجال تصنيع مركبات الفضاء، فإن المواد الأخف والأقوى تمثل مصدر إفادة كبيرة في تصنيع المركبات والسيارات والتي تنسم بأنها أسرع وأكثر أمناً. كما تستفيد محركات الاحتراق من الأجزاء التي تنسم بالصلابة والمقاومة للحرارة.

٥. استهلاك السلع

تؤثر النانوتكنولوجيا بالفعل في وقتنا الحاضر على مجال استهلاك السلع المختلفة، حيث توفر منتجات ذات وظائف جديدة تتراوح من السهلة- إلى النظيفة - إلى المقاومة للخدش. حيث تقاوم المنسوجات الجديدة الانكماش بالإضافة إلى أنها طاردة للبقع؛ حيث تصبح الملابس بالمعنى المتوسط "ذكية"، وذلك من خلال دمج "إلكترونيات قابلة للارتداء". وتتوافر في متناول الاستخدام بالفعل العديد من السلع المحسنة باستخدام الجزيئات النانوية. وبخاصة في مجال مستحضرات التجميل، حيث أن للمنتجات الجديدة قدرات واعدة في مجال الاستهلاك.

توفر النانوتكنولوجيا حلاً لمجموعة مركبة من التحديات الهندسية والعلمية في مجال الأغذية والصناعة الحيوية لتصنيع أغذية آمنة عالية الجودة من خلال استخدام وسائل لها القدرة على التحمل. وتعد عمليات ضبط جودة الأغذية والتعرف على البكتيريا باستخدام المستشعرات الحيوية ومنها؛ أنظمة حفظ الغذاء الذكية والنشطة؛ وكذلك عملية التغليف النانوية لمكونات الأغذية أمثلة قليلة لعمليات دمج النانوتكنولوجيا في مجالات تصنيع الأغذية^(١٤). ومن ثم يمكن تطبيق النانوتكنولوجيا في مجالات إنتاج وتجهيز وسلامة وتعبئة الأغذية. حيث قد تحسن عملية التغطية والتغليف باستخدام المكونات النانوية في تحسين تعبئة الغذاء من خلال إضافة عوامل مضادة للبكتيريا مباشرة على سطح الشريط المغلف. كما قد تزيد المكونات النانوية أو تقلل من عملية نفاذ الغاز في طبقات الحشو

المختلفة وفقاً لما هو مطلوب في المنتجات المختلفة. هذا بالإضافة إلى أنها تحسن من خصائص المقاومة للحرارة والخصائص الميكانيكية كذلك كما أنها تقلص من معدل انتقال الأكسجين. وتجرى العديد من الأبحاث بهدف تطبيق النانوتكنولوجي في عملية الكشف عن المواد الكيميائية والحيوية لـ (sinsanges) في الأغذية المختلفة.

تعد عملية إنتاج الأغذية الجديدة ضمن مجال المنتجات الاستهلاكية القائمة على النانوتكنولوجي والتي تظهر بالأسواق بمعدل من ٣ إلى ٤ سلع أسبوعياً، وهذا بناء على ما أورده مشروع النانوتكنولوجي الناشئة (PIN)، والذي اعتمد في تقريره هذا على جرد أجري على نحو ٦٠٩ منتج نانوي سواء معروف أو مذكوم^(١٥). وتتضمن قائمة (PIN) ثلاثة أطعمة – وهي نوعاً من زيوت الكانولا ويطلق عليه (كانولا أكتف أويل)، ونوعاً من الشاي يطلق عليه (نانو تي) بالإضافة إلى موجة من شكلاته الحمية يطلق عليها (نانوسيوتيكال سليم شيك شوكلات).

وبناء على معلومات شركة نشرتها على موقع (PIN) الإلكتروني، فإن زيت كانولا والذي تنتجه شركة شيمن الصناعية بإسرائيل يحتوي على مادة مضافة تسمى "نقاط نانوية" والتي صممت لحمل الفيتامينات والمعادن والمواد الكيميائية النباتية عبر الجهاز الهضمي واليوريا. كما أنه بناء على معلومات من مصنع شركة "آر بي سي علوم الحياة" الأمريكية الصناعية، فإن الموجة تستخدم مكسب الكوكا "كتل نانوية" بهدف دعم وتحسين المذاق والفوائد الصحية للكوكا بدون الحاجة إلى إضافة المزيد من السكر.

٦. الأدوات المنزلية والبصريات

لعل أشهر تطبيق للنانوتكنولوجي في مجال الأدوات المنزلية هو التنظيف الذاتي أو الأسطح "سهلة التنظيف" على السيراميك أو الزجاج. حيث حسنت جزيئات السيراميك النانوية من نعومة ومقاومة الحرارة للأجهزة المنزلية العامة ومنها المكواة^(١٦).

تتوافر بالأسواق الآن أول نظارة شمسية تستخدم طلاءات البوليمر الراقية جداً والحامية والمضادة للانعكاس. كما توفر النانوتكنولوجي في مجال البصريات طلاءات سطحية مقاومة للخدش باستخدام مكونات نانوية. هذا بالإضافة إلى بصريات النانو قد تسمح بزيادة دقة تصحيح بؤبؤ العين والأشكال الأخرى من جراحات ليزر العين، وايضا تستخدم في صناعة قرنية للعين^(١٧).

٧. الأنسجة ومستحضرات التجميل

تستخدم الألياف النانوية بالفعل في تصنيع أقمشة طاردة للمياه والبقع بالإضافة إلى كونها مقاومة للانكماش والتجعد. كما قد يتم غسل الأقمشة ذات التشطيب النانوي مرات أقل وعلى درجات حرارة

أكثر انخفاضاً. في حين استخدمت النانوتكنولوجيا لتكامل ودمج أغشية جزيئات الكربون الصغيرة وكذلك ضمان حماية كامل السطح من التغيرات الكهربائية الساكنة بالنسبة لمرتدي تلك الأقمشة.

تتمثل أحد مجالات تطبيقات النانوتكنولوجيا في الواقيات من أشعة الشمس. حيث تعاني طريقة الحماية التقليدية من الأشعة فوق البنفسجية من افتقارها إلى الاستقرار على المدى الطويل. إلا أن الواقيات من الشمس القائمة على جزيئات النانو المعدنية ومنها ثاني أكسيد التيتانيوم توفر المزيد من المزايا، حيث يكون لجزيئات أكسيد التيتانيوم النانوي تأثيراً مقارناً في خاصية الحماية من أشعة الشمس فوق البنفسجية كما هو الحال في المواد السائبة ولكنها تفقد عملية التبييض الغير مرغوبة للمستحضرات الأخرى حيث أن حجم الجزيء يتناقص^(١٨).

٨. الزراعة

لتطبيقات النانوتكنولوجيا القدرة على تغيير قطاع الزراعة وسلسلة إنتاج الغذاء بالكامل، من عملية الإنتاج وحتى عملية الحفظ، التجهيز، التعبئة، النقل وحتى معالجة النفايات. حيث يكون لأفكار علوم النانو وتطبيقات النانوتكنولوجيا القدرة على إعادة تنظيم دائرة الإنتاج، إعادة بناء التجهيزات وعمليات الحفظ كذلك، بالإضافة إلى إعادة تعريف المستهلكين بعادات الغذاء. هذا بالإضافة إلى أن بعضاً من التحديات الرئيسية والمرتبطة بمجال الزراعة ومنها انخفاض الكفاءة الإنتاجية في المساحة المزروعة، كبر حجم المساحة الغير مزروعة، تقليص الأراضي القابلة للزراعة، فقدان الموارد ومنها المياه والمخصبات ومبيدات الحشرات وضياع المنتجات. هذا بالإضافة إلى الأمن الغذائي للأعداد النامية، يمكن مواجهتها من خلال التطبيقات المختلفة للنانوتكنولوجيا^(١٨).

رابعاً: الفوائد المتوقعة

يرى العديد في تطبيقات النانوتكنولوجيا أن لها العديد من الفوائد ومنها^(١٩):

- وفرة المواد الحميدة بيئياً والمستخدمة لتوفير موارد نظيفة للمياه.
- المحاصيل والأغذية المهندسة وراثياً تسهم في وفرة وزيادة الإنتاجية الزراعية بأقل متطلبات للعمل.
- تعزيز ودعم الناحية التغذوية التفاعلية الذكية للأغذية.
- توليد الطاقة الرخيصة والقوية.
- زيادة القدرة التصنيعية النظيفة وذات الكفاءة العالية.
- تحسين صياغة وتركيبات الأدوية بصورة جذرية بالإضافة إلى عمليات التشخيص واستبدال الأعضاء.
- زيادة سعة تخزين المعلومات وإمكانيات الاتصال.

- تصنيع الأجهزة التفاعلية الذكية: بزيادة الأداء البشري من خلال التكنولوجيات المتقاربة.

خامساً: المخاطر المحتملة

يمكن إجمال مخاطر تطبيقات النانوتكنولوجيا بشكل واسع ضمن الأربعة مجالات التالية^(٢٠):

- تأثيرات المواد النانوية على حيوية الجسم البشري.
- تأثيرات المواد النانوية على البيئة.
- التأثيرات الناجمة عن إمكانية استخدام الأجهزة النانوية على الشؤون السياسية والتفاعل البشري.
- المخاطر الخاصة المصاحبة للرؤية المتوقعة للنانوتكنولوجيا الجزيئية.

١. الآثار الصحية

لا يمثل التواجد البحثي للمواد النانوية أي تهديد في حد ذاته. إلا أنه هناك سمات معينة تجعل منها محفوفة بالمخاطر، وعلى الأخص حركتها تفاعلها المتزايد. وأنه فقط في حالة أن خصائصاً معينة لبعض الجزيئات النانوية كانت ضارة للكائنات الحية أو البيئة فن ذلك سيسفر عن مواجهتنا لخطر جل. وفي هذه الحالة يمكن أن نطلق علي ما الناتج تلوث نانوي.

كما أننا في حاجة إلى التمييز بين نوعين للبنية النانوية وذلك عند مواجهة التأثير البيئي والصحي للمواد النانوية ويتمثلان في: (١): مركبات النانو والأسطح النانوية ومكونات النانو، حيث يدمج الجزيئات على صعيد النانو ضمن خلاصة المادة أو المادة نفسها أو حتى الأجهزة (الجزيئات النانوية "الثابتة")؛ و(٢): الجزيئات "الحرّة"، حيث تتواجد جزيئات النانو الفردية لمادة ما ضمن بعض مراحل عملية الإنتاج والاستخدام. وقد تندرج جزيئات النانو تلك ضمن أحد أصناف نطاق النانو للعناصر أو المركبات البسيطة وكذلك المركبات المعقدة حيث يكون الجسيم النانوي مطلباً بمادة أخرى (جسيم نانوي "مطلّي" أو جسيم نانوي "جوهرى القشرة"). ومن ثم فهناك إجماع للرأي أن: على الرغم من أنه يجب على المرء أن يكون واعياً بالمواد المحتوية على جزيئات نانوية ثابتة، إلا أن القلق الحالي يتمثل في الجزيئات النانوية الحرة.

هذا بالإضافة إلى أن الجزيئات النانوية مختلفة بصورة كبيرة 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 للجزيئات النانوية الحرة. ولتعقيد الأمور أبعد من ذلك، فمن الضروري عند التحدث عن الجزيئات النانوية ألا يكون المسحوق أو السائل المحتوي على جزيئات نانوية أحادي التشتت^(٢١)، ولكنه يحتوي بدلاً من ذلك مدى متنوعاً من

أحجام الجزيئات. ويسفر ذلك عن تعقيد للتحليل التجريبي حيث أن الجزيئات النانوية الأكبر في الحجم قد يكون لها خصائص مختلفة عن تلك الأصغر في الحجم. هذا بالإضافة إلى أن الجزيئات النانوية تظر توجهاً للتجمع، ومثل تلك التجمعات غالباً ما يكون أداؤها مختلفاً عن الجزيئات المتفردة. وقد تميزت جرة الإيثيل والمشتمة على أنواع مختلفة من الجزيئات النانوية والتي كان يتم إعطاؤها لفئران المعامل على مدى ستة أشهر، بمؤشر سكوفكجائير، تيمناً باسم العالم كاسبر سكوفكجائير^(٢٢).

كما تركز اهتمامات المدى الأطول على التأثيرات الخاصة بالتكنولوجيات الجديدة على المجتمع بقطاعاته العريضة، وكذلك على ما إذا كان من الممكن لتلك التأثيرات أن تؤدي إلى ظهور اقتصاد ما بعد الندرة، أو قد تؤدي إلى تفاقم فجوة الثروة فيما بين الأمم المتطورة والنامية. هذا بالإضافة إلى أن تأثيرات النانوتكنولوجي 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.

تتمثل التأثيرات الصحية للنانوتكنولوجي في تلك الآثار المحتملة للمواد والأجهزة النانوية على صحة الإنسان. وبما أن النانوتكنولوجي هي مجال مستحدث، فقد أسفر ذلك عن قيام جدال واسع حول المدى الذي يمكن عنده الاستفادة أو التعرض للمخاطر الخاصة بالنانوتكنولوجي على الصحة الإنسان. ويمكن تقسيم التأثيرات الصحية للنانوتكنولوجي إلى قدرة أو إمكانية الاختراعات النانوية على أن يكون لها تأثيراتها الطبية في علاج الأمراض، وكذلك المخاطر الصحية المحتملة عند التعرض للمواد النانوية.

ويُعرف علم السموم النانوي على أنه ذلك المجال الذي يهتم بدراسة المخاطر الصحية المتوقعة للمواد النانوية. ويعني الحجم المتناهي الدقة والصغر للمواد النانوية أن لها القدرة على النفاذ داخل الجسم البشري عن غيرها من الجسيمات كبيرة الحجم. كما أن كيفية تحرك وتفاعل تلك الجسيمات النانوية داخل الكائن الحي تعد من القضايا الكبيرة والتي هي في حاجةٍ ليتم حلها والتعامل معها. ويعد سلوك الجسيمات النانوية مدلولاً لوظيفتها وحجمها وتفاعلها السطحي مع النسيج المحيط. وتتجمع الجسيمات النانوية داخل الأعضاء كجزء ناتج عن كونها لا تتحلل أو تتحلل بصورة بطيئة، ومما يدعو أيضاً للقلق هو تفاعلها المتوقع مع العمليات الحيوية داخل الجسم، حيث أنه بسبب سطحها الضخم، وبمجرد تعرض الجسيمات النانوية للنسيج والسوائل، يتم امتصاص بعض الجزيئات الدقيقة التي تحتوي عليها على أسطح تلك الأنسجة. كما أن العدد الضخم للمتغيرات المؤثرة على التسمم يعني أنه من الصعب تعميم القضايا المرتبطة بالمخاطر الصحية المرتبطة بالتعرض للمواد النانوية – حيث يجب تقييم كل مادة نانوية بصورةٍ فرديةٍ كما أنه يجب وضع خصائص المواد جميعها في الاعتبار. كما أنه يتم دمج كلٍ من القضايا الصحية والبيئية في بيئة عمل الشركات ذات الصلة بعمليات إنتاج واستخدام المواد النانوية بالإضافة إلى بيئة عمل المعامل المرتبطة بالعلوم النانوية

والأبحاث في مجال النانوتكنولوجيا. ومن الأمن أن نقول أن معايير التعرض للغبار ببيئة العمل الحالية لا يمكن تطبيقها بصورة مباشرة على غبار جسيمات النانو.

ويُعبر مصطلح طب النانو عن التطبيقات الطبية للنانوتكنولوجيا^(٢٣). وتتنوع أساليب طب النانو من الاستخدام الطبي للمواد النانوية إلى أجهزة استشعار العوامل البيولوجية المرتبطة بالالكترونيات النانوية وكذلك التطبيقات المستقبلية للنانوتكنولوجيا الجزيئي. ويهدف طب النانو إلى التوصل إلى مجموعة قيمة من الأدوات البحثية بالإضافة إلى الأجهزة المفيدة في عيادات العلاج في المستقبل القريب. وتتوقع مبادرة النانوتكنولوجيا القومية أن يتم التوصل إلى تطبيقات تجارية جديدة في مجال توصيل الدواء والتي قد تشمل على أنظمة متقدمة لتوصيل الدواء، بالإضافة إلى علاجات جديدة. كما أن واجهات التفاعل العصبية الإلكترونية والمحسات الأخرى المرتبطة بالالكترونيات النانوية تمثل هدفاً نشيطاً آخر للبحث في ذلك المجال. ويؤمن المجال التنبؤي للنانوتكنولوجيا الجزيئي أن آلات إصلاح الخلية قد يكون لها القدرة على إحداث ثورة في مجال الطب والأدوية كذلك^(٢٤).

٢. الآثار الاجتماعية

وبعيداً عن المخاطر المصاحبة للجيل الأول من النانوتكنولوجيا والتي تؤثر على كل من الصحة البشرية والبيئة المحيطة، توجد مجموعة أوسع من التأثيرات الاجتماعية والبيئية المزدوجة من التحديات الاجتماعية عريضة المدى. حيث اقترح علماء الاجتماع أن يجب فهم وتقييم القضايا الاجتماعية المصاحبة للنانوتكنولوجيا بشكل ليس باليسيط؛ حيث لا يُنظر إليها على أنها مجموعة من التأثيرات أو المخاطر الجارية فقط. وبدلاً من ذلك، يجب أن توضع مثل تلك التحديات في الحسبان على أنها أبحاث وصناعة قرارات "ضد التيار" وذلك بهدف التأكد أن تنمية وتطوير تلك التكنولوجيا تتماشى وتتوافق مع الأهداف الاجتماعية^(٢٥).

وقد افترض العديد من علماء الاجتماع بالإضافة إلى منظمات المجتمع المدني أن عملية تقديم التكنولوجيا والإدارة لابد أن تتضمن المشاركة العامة للمواطنين. ومن هنا فقد ظهرت قضية المخاطر الاجتماعية لاستخدام النانوتكنولوجيا. وعلى المستوى الأساسي، تشمل تلك المخاطر على إمكانية التطبيقات العسكرية للنانوتكنولوجيا مثل ما يحدث من استخدام الزراعات والوسائل الأخرى لتدعيم وتعزيز المجندين كما هو الحال في معهد مجندي التكنولوجيا النانوية بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا هذا بالإضافة إلى زيادة إمكانيات المراقبة المعززة من خلال استخدام المحسات النانوية^(٢٦).

وقد شهدت الأعوام الماضية دفعة مميزة إلى الحصول على براءات اختراع في مجال النانوتكنولوجيا. حيث تسعى الهيئات المختلفة حالياً للحصول على براءات اختراع واسعة المجال بالإضافة إلى الاكتشافات النانوية المتنوعة كذلك. ومثال على ذلك، حصول براءات الاختراع الرئيسية في مجال الأنابيب النانوية الكربونية، والتي تعد إحدى أعمدة الأساس التي تقوم عليها النانوتكنولوجيا. وللأنابيب النانوية الكربونية مجال واسع من الاستخدامات، وشارفت أن تصبح حيوية في مجال العديد من الصناعات المختلفة؛ من الإلكترونيات وصناعة الكمبيوتر إلى المواد المدعومة في صناعة الدواء والتشخيصات. كما تستعد أنابيب الكربون النانوية كذلك لتصبح مجتمعاً تجارياً رئيسياً مع قدرتها على أن تحل محل المواد الخام التقليدية التقليدية. وبالرغم من ذلك، ومع توسع مجال استخدامها، فيجب على كل فرد يسعى (بصورة مشروعة) ليصنع أو يبيع الأنابيب النانوية الكربونية، بغض النظر عن نوع التطبيق المستخدمة لأجله، أن يشترى أولاً رخصة لذلك إما من شركة (إن إي سي) أو شركة (آي بي إم)^(٢٧).

وغالباً ما تعاني حماية البيئة وصحة البشر وسلامة العاملين بالدول النامية من مجموعة مركبة من العوامل والتي قد تشتمل على سبيل المثال وليس الحصر، نقص التشريعات القوية لحماية البيئة والصحة البشرية وسلامة العاملين؛ عمليات سوء التنظيم أو التنظيمات الغير مطبقة والمرتبطة بنقص القدرة المادية والبشرية. وغالباً ما تحتاج تلك الدول للمعونة وبصورة خاصة المعونة المالية، بهدف تنمية القدرات العلمية والمؤسسية وذلك لتقييم ومواجهة المخاطر بصورة كافية، ومنها على سبيل المثال الحاجة لبنية تحتية ضرورية كالمعامل والتكنولوجيا المساعدة على الكشف والاستنتاج.

على الرغم من ذلك، فكثيراً ما تثار المخاوف حول مسألة أن فوائد النانوتكنولوجيا لا يمكن حتى توزيعها، ومن ثم فأيّة فوائد (سواء أكانت تكنولوجية أو اقتصادية) والمصاحبة للنانوتكنولوجيا لن تستفيد منها سوى الدول الغنية^(٢٨). ونلاحظ أن غالبية الأبحاث في مجال النانوتكنولوجيا وصور التنمية وبراءات الاختراعات الخاصة بالمواد والمنتجات النانوية مقتصرة فقط على الدول المتقدمة ومنها الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وألمانيا وكندا وفرنسا. هذا بالإضافة إلى أن براءات الاختراعات المرتبطة بمجال النانوتكنولوجيا متركزة فقط لدى مجموعة قليلة من الشركات متعددة الجنسيات^(٢٩-٣٠). مما أسفر عن إثارة المخاوف كذلك بأن الدول النامية قد لا تتمكن من الوصول إلى تلك البنية التحتية المطلوبة، وكذلك التمويل المطلوب والموارد البشرية اللازمة كذلك لدعم وتعزيز البحث والتنمية في مجال النانوتكنولوجيا ومن المرجح أن تتفاقم أزمة عدم المساواة نتيجة لكل ذلك.

كما أن المنتجين بالدول النامية قد يعانون من خسائر عملية إحلال المنتجات الطبيعية مثل المطاط والقطن والقهوة والشاي بسبب التنمية النانوية. حيث تمثل تلك المنتجات الطبيعية حاصلات مهمة للتصدير بالدول النامية، كما أن متطلبات معيشة العديد من الفلاحين تعتمد على تلك الحاصلات. وقد تم توضيح أن عملية استبدال تلك المنتجات الطبيعية بالمنتجات النانوية الصناعية قد

تؤثر سلباً على اقتصاديات الدول النامية والتي اعتمدت بصورة تقليدية على تصدير تلك الحاصلات^(٣١-٣٢).

مراجع الدراسة

- ١- يعرب الدوري، فوائد ومخاطر النانوتكنولوجيا، جريدة العرب اليوم، العدد ٥٣٩٥، ص ٤٠، ٢٤/٤/٢٠١٢
- ٢- يعرب الدوري، مبادئ وتطبيقات النانوتكنولوجيا، جريدة العالم، العدد ١١٠٩، ص ١٠، ٢٣/٩/٢٠١٤
- ٣- يعرب الدوري، الأنسجة النانوية، جريدة بانوراما، العدد ٣٢٢، ص ٣٠، ١٤/٥/٢٠١٥
- ٤- يعرب الدوري، الحشرات النانوية، جريدة بانوراما، العدد ٣٣٠، ص ٣٠، ٩/٧/٢٠١٥
- ٥- يعرب الدوري، عالم النانو، شبكة الجزيرة، ١٤/٧/٢٠١٥
- ٦- يعرب الدوري، الأنسجة النانوية بلا قيود، شبكة الجزيرة، ٧/١/٢٠١٦
- ٧- يعرب الدوري، عالم الغرافين، جريدة العالم، العدد ١٥١٢، ص ٤، ٧/٦/٢٠١٦
- ٨- يعرب الدوري، الجسيمات النانوية لعلاج السرطان، جريدة العالم، العدد ١٥٨٥، ص ١١، ٦/١٠/٢٠١٦
- ٩- عبدالسلام كردي المحمدي، النانوتكنولوجيا بين الواقع والخيال، المنتدى العراقي للنخب والكفاءات، <http://iraqi-forum.net>.

10-P. Boisseau, B. Loubaton, Nanomedicine, nanotechnology in medicine, Comptes Rendus Physique **12** (2011) 620-636

11-A. K. Hussein, Applications of nanotechnology in renewable energies—A comprehensive overview and understanding, Renewable and Sustainable Energy Reviews **42** (2015) 460-476

12-M.L. González-Rodríguez, A.M. Fernández-Romero, A.M. Rabasco, Towards the antioxidant therapy in Osteoarthritis: Contribution of nanotechnology, Journal of Drug Delivery Science and Technology **42** (2017) 94-106

- 13- T. Hillie, M. Hlophe, Nanotechnology and the challenge of clean water, *Nature Nanotechnology* **2** (2007) 663-664
- 14- M. L. Soriano, M. Zougagh, M. Valcárcel, Á. Ríos, Analytical Nanoscience and Nanotechnology: Where we are and where we are heading, *Talanta* **177** (2018) 104-121
- 15- X. He, H-M. Hwang, Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment, *Journal of Food and Drug Analysis* **24** (2016) 671-681
- 16- C. H. Choi, D. J. Lee, J-H. Sung, M. W. Lee, S-G. Lee, S-G. Park, E-H. Lee, B-H. O, A study of AFM-based scratch process on polycarbonate surface and grating application, *Applied Surface Science* **256** (2010) 7668-7671
- 17- K. Subannajui, The study of thermal interaction and microstructure of sodium silicate/bentonite composite under microwave radiation, *Materials Chemistry and Physics* **184** (2016) 345-350
- 18- A. Mihranyan, N. Ferraz, M. Strømme, Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics, *Progress in Materials Science* **57** (2012) 875-910
- 19- J. Paull, Nanotechnology: No Free Lunch, *Platter* **1** (2010) 8-17
- 20- P. D. Sia, Nanotechnology Among Innovation, Health and Risks, *Procedia- Social and Behavioral Sciences* **237** (2017) 1076-1080
- 21- V. Wagner, A. Dullaart, A. K. Bock, A. Zweck, The emerging nanomedicine landscape, *Nature Biotechnology* **24** (2006) 1211-1217
- 22- R. A. Freitas, What is Nanomedicine?, *Nanomedicine: Nanotech. Biol. Med.* **1** (2005) 2-9
- 23- J. E. Contreras, E. A. Rodríguez, Nanostructured insulators – A review of nanotechnology concepts for outdoor ceramic insulators, *Ceramics International* **43** (2017) 8545-8550

- 24- G. Scrinis, Nanotechnology and the Environment: The Nano-Atomic reconstruction of Nature, *Chain Reaction* **97** (2006) 23-26
- 25- D. Bowman, G. Hodge, A Small Matter of Regulation: An International Review of Nanotechnology Regulation, *Columbia Science and Technology Law Review* **8**(2007)1–32
- 26- D. Bowman, M. Fitzharris, Too Small for Concern? Public Health and Nanotechnology, *Australian and New Zealand Journal of Public Health* **31** (2007) 382-384
- 27- D. Bowman, G. Hodge, Nanotechnology: Mapping the Wild Regulatory Frontier, *Futures* **38**(2006) 1060–1073
- 28- C. Tahan, Identifying Nanotechnology in Society, *Advances in Computers* **71** (2007) 251-271
- 29- F. Munari, L. Toschi, Running ahead in the nanotechnology gold rush. Strategic patenting in emerging technologies, *Technological Forecasting and Social Change* **83** (2014) 194-207
- 30- T. Monahan, W. Tyler, Somatic Surveillance: Corporeal Control through Information Networks. *Surveillance & Society* **4** (2007)154-173
- 31- N. Invernizzi, G. Foladori, D. Maclurcan, Nanotechnology's Controversial Role for the South, *Science Technology and Society* **13** (2008)123–148
- 32- I. Iavicoli, V. Leso, D. H. Beezhold, A. A. Shvedova, Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks, *Toxicology and Applied Pharmacology* **329** (2017) 96-111