View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by CORE

provided by NOPR

भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 27 अंक (1&2) जून एवं दिसम्बर 2019 पृ. 34-42

नैनोप्रौद्योगिकी और नैनोमैटेरियल विषाक्तता

आलोक कुमार पाण्डेय, कविता दूबे एवं चन्द्र मोहन तिवारी
नैनोमैटेरियल विष विज्ञान समूह, सीएसआईआर-भारतीय विष विज्ञान अनुसंधान संस्थान
विषविज्ञान भवन, 31, महात्मा गाँधी मार्ग, लखनऊ 226 001 (उत्तर प्रदेश)

सारांश : नैनोप्रौद्योगिकी, अनुसंधान और नवाचार का एक ऐसा क्षेत्र है जिसका संबंध आम तौर पर, परमाणुओं और अणुओं के पैमाने पर पदार्थों और उपकरणों के निर्माण से है। नैनोप्रौद्योगिकी को ऊर्जा खपत की दक्षता को विकसित करने, पर्यावरण को साफ करने में मदद करने और प्रमुख स्वास्थ्य समस्याओं को हल करने में सक्षम माना जाता है। माना जाता है कि यह काफी कम लागत पर विनिर्माण उत्पादन में बड़े पैमाने पर वृद्धि करने में भी सक्षम है। विभिन्न क्षेत्रों में नैनोप्रौद्योगिकी द्वारा किए गए नए और अद्वितीय अनुप्रयोगों ने इसे इतना लोकप्रिय बना दिया है कि आज दैनिक जीवन के लगभग सभी पहलुओं में इसे लागू किया जा रहा है। हालांकि नैनोकणों के छोटे आकार और बड़े सतह क्षेत्रफल के कारण, इनमें कुछ बेहद उपयोगी और विशिष्ट गुण समाहित होते हैं जो इन्हें जैविक प्रणालियों के साथ परस्पर क्रिया पर अनपेक्षित और अप्रत्याशित परिणामों के कारण और अधिक सक्रिय बनाता है। नैनोकणों की बायोकाइनैटिक्स बड़े कणों से अलग होती है। श्वास लेने पर, वे श्वसन पथ के सभी क्षेत्रों में कुशलतापूर्वक जमा होते हैं; वे विशिष्ट रक्षा तंत्र से बचने में सक्षम हैं; और विभिन्न मार्गों और तंत्र (एंडोसाइटोसिस और ट्रांजिटोसिस) के माध्यम से श्वसन पथ से बाहर स्थानांतरित हो सकते हैं। निर्मित नैनोमैटेरियल के कई तरीकों से पर्यावरण में प्रवेश करने की संभावना है। इन नैनोमैटेरियल में से कुछ का बड़ी मात्रा में उत्पादन विनिर्माण, प्रवाह व ढुलाई और हैंडलिंग के दौरान छलकाव से पर्यावरण तक पहुंचने की संभावना बढ़ गयी है। उनका उपयोग कॉस्मैटिक्स और सनस्क्रीन जैसे व्यक्तिगत प्रसाधन उत्पादों में किया जा रहा है और इसलिए उपभोक्ता उत्पादों में निरंतर उपयोग से ये वातावरण में प्रवेश कर सकते हैं। चूंकि इनका इस्तेमाल टायर, सोलर सेल और कई अन्य उत्पादों में किया जा रहा है, अतः यह ज्ञात करना भी अति आवश्यक है कि इनमें से कुछ सामग्री उपयोग की अवधि के दौरान बाहर निकल सकती है या घिस सकती है कि नहीं। इन्हें डिस्पोजेबल सामग्रियों जैसे फिल्टर और इलेक्ट्रॉनिक्स में भी इस्तेमाल किया जा रहा है और इसलिए लैंडफिल और निपटान के अन्य तरीकों के माध्यम से यह पर्यावरण तक पहुंच सकते हैं। जलीय पर्यावरण में नैनोमैटेरियल की नियति कई जैविक/एबायोटिक प्रक्रियाओं जैसे घुलनशीलता/फैलावशीलता के कारण पारिस्थितिक तंत्र में नैनोमैटेरियल एवं प्राकृतिक/मानवजनित रसायनों के बीच परस्पर क्रिया को नियंत्रित करता है। नैनोटेक्नोलॉजी का तेजी से बढ़ता क्षेत्र, इंजीनियर नैनो-सामग्री के लिए श्वसन, अंतर्ग्रहण, त्वचा के द्वारा और इंजेक्शन के माध्यम से एक नए विषाक्तता स्रोत बनने की संभावना है। नैनोकणों से उत्पन्न पारिस्थितिक जोखिम, सुरक्षा और संभावित खतरों के बारे में जानकारी की तत्काल आवश्यकता है। इंजीनियर नैनोकणों की सुरक्षा का आकलन करने में उचित और प्रासंगिक सांद्रता, जीवों में बढ़े हुए प्रभावों की संभावना और संभावित वांछनीय प्रभावों के लाभ भी शामिल हैं। अनजाने में पर्यावरण के मिट्टी और पानी में नैनोमैटेरियल की भारी मात्रा फेंकने से पहले, हमें इसकी घुलनशीलता व अपघटन की जांच करने की आवश्यकता है, जिससे इंजीनियर नैनोमैटेरियल से सुरक्षा पर आधारभूत जानकारी स्थापित की जा सके।

Nanotechnology and nanomaterial toxicity

Alok Kumar Pandey, Kavita Dubey & Chandra Mohan Tewari
Nanomaterial Toxicology Group, CSIR-Indian Institute of Toxicology Research
Vishvigyan Bhawan, 31, Mahatma Gandhi Marg
Lucknow 226 001 (Uttar Pradesh)

Abstract

Nanotechnology, a field of research and innovation concerned with building 'things' - generally, materials and devices - on the scale of atoms and molecules. Nanotechnology is hailed as having the potential to increase the efficiency of energy consumption, help clean the environment, and solve major health problems. It is said to be able to massively increase manufacturing production at significantly reduced cost. The new and unique applications offered by nanotechnology in diverse areas have made it so popular that it is being applied today in almost all aspects of daily life. Although the small size and subsequent larger surface area of nanoparticles endow them with some highly useful and specific properties, it also renders them more active leading to unexpected and unanticipated consequences on interaction with biological systems. The biokinetics of nanoparticles are different from larger particles. When inhaled, they are efficiently deposited in all regions of the respiratory tract; they evade

specific defence mechanisms; and they can translocate out of the respiratory tract via different pathways and mechanisms (endocytosis and transcytosis). Some of these nanoparticles not only possess inflammatory and pro-oxidant potential for biological systems, but also have antioxidant activity, which can explain early findings showing mixed results in terms of toxicity of nanoparticles to environmentally relevant species. Manufactured nanomaterials are likely to enter the environment for several reasons. Some are and others will be produced in tons, and any material produced in such mass quantities is likely to reach the environment from manufacturing effluent or from spillage during shipping and handling. They are being used in personal-care products such as cosmetics and sunscreens and can therefore enter the environment on a continual basis from washing off of consumer products. They are being used in electronics, tires, fuel cells, and many other products and it is still unknown whether some of these materials may leak out or be worn off over the period of use. They are also being used in disposable materials such as filters and electronics and may therefore reach the environment through landfills and other methods of disposal. The fate of nanomaterials in aqueous environment is controlled by many biotic/abiotic processes such as solubility, interactions between the nanomaterials and natural/anthropogenic chemicals in the ecosystem. Although humans have been exposed to airborne nanosized particles throughout their evolutionary stages but such exposure has increased dramatically over the last century due to anthropogenic sources. The rapidly developing field of nanotechnology is likely to become yet another source of toxicity through inhalation, ingestion, skin uptake, and injection of engineered nano-materials. Information about ecological risk, safety and potential hazards is urgently needed. Additional considerations for assessing safety of engineered nanoparticles include careful selections of appropriate and relevant doses/concentrations, the likelihood of increased effects in a compromised organism, and also the benefits of possible desirable effects. Before unknowingly dumping a huge amount of dangerous nanomaterials into the environment, we need to investigate the solubility and degradability of engineered NPs in soils and waters, to establish baseline information on their safety.

प्रस्तावना

नैनोप्रौद्योगिकी अनेक प्रौद्योगिकी एवं उद्योग क्षेत्रों जैसे सूचना प्रौद्योगिकी, सैन्य सुरक्षा, औषधि, परिवहन, ऊर्जा, खाद्य सुरक्षा, एवं पर्यावरण विज्ञान, एवं अनेक अन्य क्षेत्रों में अधिक उपयोगी बनाने, उन्नतिशील बनाने, यहां तक कि आमूल परिवर्तन करने में भी सहायता कर रही है। नैनोप्रौद्योगिकी का उपयोग करके, सामग्री को प्रभावी ढंग से मजबूत, हल्का, अधिक टिकाऊ, अधिक प्रतिक्रियाशील, अधिक छलनी (सीव) या श्रेष्ठतर विद्युत कंडक्टर एवं अनेक अन्य विशेषताओं वाला बनाया जा सकता है। सरकारी, उद्योग एवं सार्वजनिक समूहों में नैनोसुरक्षा (नैनोसेफ़्टी) मुद्दों के प्रति जागरूकता के साथ इंजीनियर्ड नैनोमैटेरियल एवं नैनोप्रौद्योगिकी अनुप्रयोगों का तीव्र गति से विकास हो रहा है।

नैनोप्रौद्योगिकी के अनुप्रयोग : नैनोप्रौद्योगिकी एक उभरती हुई तकनीक है जो व्यापक रूप से विनियोग के विभिन्न क्षेत्रों में तकनीकी समाधान और आर्थिक रूप से सफल उत्पाद प्रदान करती है।

दिन-प्रतिदिन की सामग्री एवं प्रक्रियाएं : फैब्रिक की बाह्य परत के उपचार अथवा नैनोस्केल योगशील (एडिटिव) व्यक्तिगत शरीर कवच में हल्के प्राक्षेपिक (बैलिस्टिक) ऊर्जा विक्षेपण प्रदान कर सकते हैं, या झुर्रियाँ, धुंधलापन, एवं बैक्टीरिया वृद्धि का प्रतिरोध करने में उनकी सहायता कर सकते हैं। निष्पादन (पर्फ़ॉर्मेंस) में सुधार के लिए नैनोस्केल सामग्री को विभिन्न प्रकार के व्यक्तिगत देखभाल उत्पादों में भी सम्मिलित किया जा रहा है। धूप से सुरक्षा प्रदान करने के लिए धूपरोधी के रूप में नैनोस्केल टाइटेनियम डाइऑक्साइड एवं जिंक ऑक्साइड का उपयोग वर्षो से किया जा रहा है जबकि त्वचा पर अदृश्य रहते हैं। चश्मे, कम्प्यूटर एवं कैमरा डिस्प्ले, खिड़कियां, एवं अन्य सतहों पर नैनोस्केल फिल्में उन्हें पानी एवं अवशेष-प्रतिरोधी, परावर्तनरोधी (एंटीरिफ्लेक्टिव), स्व-सफाई, पराबैंगनी या अवरक्त प्रकाश (इंफ्रारेड), एंटीफोग, एंटीमाइक्रोबियल, स्क्रैच-प्रतिरोधी, या विद्युत प्रवाहकीय प्रतिरोधी बना सकते हैं। मोटर वाहन उत्पादों में नैनो-इंजीनियर सामग्री में उच्च शक्ति रिचार्जेबल बैटरी सिस्टम; तापमान नियंत्रण हेतु थर्मोइलेक्ट्रिक सामग्री, कम रोलिंग प्रतिरोध वाले टायर सम्मिलित हैं। मशीन के पुर्जो हेतु नैनोस्ट्रक्चर्ड सिरेमिक कोटिंग्स पारंपरिक वियर-प्रतिरोध कोटिंग्स की तुलना में अधिक कठोर होती है। नैनो टेक्नोलॉजी-युक्त लुब्रिकेंट्स एवं इंजन ऑइल भी पुर्जो की टूट-फूट एवं घिसाई को कम करते हैं[8]। पॉलीमर मिश्रित सामग्रियों में नैनोस्केल योजक(एडिटिव) बेसबॉल बैट, टेनिस रैकेट, साइकिल, मोटरसाइकिल हैलमेट, ऑटोमोबाइल पार्ट्स, सामान, एवं पावर टूल हाउसिंग में उपयोग किए जा रहे हैं, जिससे ये हल्के, कठोर, टिकाऊ एवं लचीले हो जाएँ[11]।

इलेक्ट्रॉनिक्स एवं सूचना प्रौद्योगिकी अनुप्रयोग (आईटी एप्लिकेशन्स) : नैनोप्रौद्योगिकी ने कंप्यूटिंग एवं इलेक्ट्रॉनिक्स की बड़ी प्रगति में महत्वपूर्ण योगदान दिया है, जिससे छोटे एवं अधिक पोर्टेबल सिस्टम होते हैं जो कि तीव्रता से बड़ी से बड़ी मात्रा में सूचना/जानकारी/डाटा का प्रबंधन एवं भंडारण कर सकते हैं। ट्रांजिस्टर, मूल स्विच जो कि सभी आधुनिक कम्प्यूटिंग को सक्षम बनाते हैं, नैनोप्रौद्योगिकी के माध्यम से आकार में लघु से अति-लघु हो गए हैं। शताब्दी के अंत में, एक सामान्य ट्रांजिस्टर आकार में 130 से 250 नैनोमीटर था। 2014 में इंटेल ने 14 नैनोमीटर के ट्रांजिस्टर बनाया, फिर आईबीएम ने 2015 में पहला ट्रांजिस्टर सात नैनोमीटर का बनाया, तथा फिर लॉरेंस बर्कले नेशनल लैब ने

2016 में एक नैनोमीटर के ट्रांजिस्टर को प्रदर्शित किया। लीड-आधारित सोल्डर के विकल्प के रूप में सुरक्षित, सस्ता एवं अधिक विश्वसनीय नैनोपार्टिकल तांबा सस्पेंशन विकसित किया गया।

चिकित्सा एवं स्वास्थ्य देखभाल अनुप्रयोग : नैनोप्रौद्योगिकी, चिकित्सकों हेतु वर्तमान में उपलब्ध चिकित्सा उपकरण, ज्ञान एवं उपचार को बढ़ा रही है। नैनोमेडिसिन, औषधि, रोग की रोकथाम के लिए सटीक समाधान तैयार करने हेतु जैविक-घटना के प्राकृतिक पैमाने पर प्राप्त करने, निदान, एवं उपचार में नैनोप्रौद्योगिकी के अनुप्रयोग का उपयोग करती है। अनुप्रयोगों ने न्यूक्लिक एसिड के लक्षित अनुक्रमों की पहचान हेतु सोने के नैनोकणों को जांच के रूप में अनुकूलित (एडैप्टेड) किया है[18]। एवं कैंसर एवं अन्य रोगों के संभावित उपचार हेतु सोने के नैनोकणों की चिकित्सकीय रूप से जांच की जा रही है। एथेरोस्क्लेरोसिस का निदान एवं उपचार, या धमनियों में प्लेक का निर्माण, इन दोनों कार्यो हेतु नैनो तकनीक का अध्ययन किया जा रहा है। पुनरुत्पादक औषधि अस्थि एवं तंत्रिका ऊतक इंजीनियरिंग सहित कई अनुप्रयोग क्षेत्रों में नैनोप्रौद्योगिकी के उपयोग हेतु अनुसंधान हो रहा है[7]। उदाहरण के लिए, मानव अस्थि की क्रिस्टल खनिज संरचना हेतु बनावटी नवीन सामग्री (नॉवेल मटीरियल) डिज़ाइन की जा सकती है या दंत अनुप्रयोगों के लिए दृढ़ करने वाली राल के रूप में उपयोग किया जा सकता है।

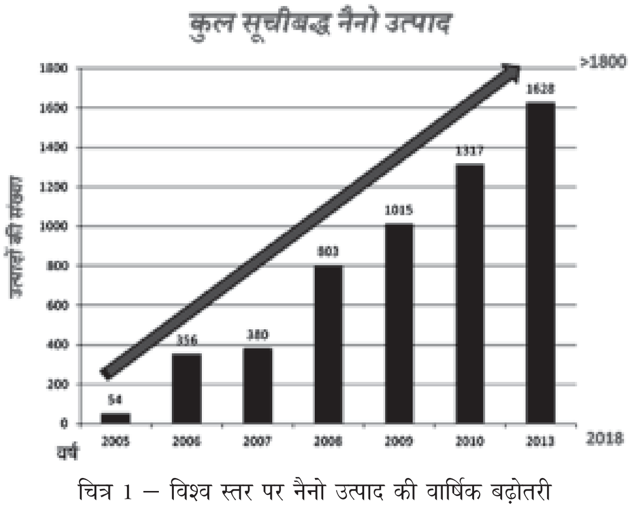
ऊर्जा अनुप्रयोग : नैनोप्रौद्योगिकी, पारंपरिक ऊर्जा स्रोतों में एप्लिकेशन्स खोज रही है एवं विश्व की बढ़ती ऊर्जा मांगों को पूरा करने के लिए सहायता हेतु वैकल्पिक ऊर्जा दृष्टिकोण को काफी बढ़ा रही है[2]। अनेक वैज्ञानिक ऊर्जा खपत को कम करने एवं पर्यावरण पर विषाक्तता के बोझ को कम करने के साधनों के साथ स्वच्छ, किफायती एवं अक्षय ऊर्जा स्रोत विकसित करने की विधि की खोज में कार्यरत हैं। नैनोप्रौद्योगिकी श्रेष्ठतर कैटालिसिस के माध्यम से अपरिष्कृत (रॉ) पेट्रोलियम सामग्रियों से परिष्कृत ईंधन उत्पादन दक्षता में सुधार कर रही है। यह वाहनों एवं विद्युत-संयंत्रों में अति उच्च दहनता एवं घर्षण में कमी के माध्यम से ईंधन की खपत को कम करने योग्य बनाता है। इलेक्ट्रॉनिक्स के क्षेत्र को नैनोप्रौद्योगिकी द्वारा क्रांतिकारी बनाने के लिए सेट किया गया है। क्वांटम डॉट्स, उदाहरण के लिए, लघु हल्के उत्पादक कोशिकाएं हैं जिनका उपयोग प्रकाश हेतु या डिस्प्ले स्क्रीन जैसी सामग्री में किया जा सकता है। सिलिकॉन चिप्स में पहले से ही लाखों घटक हो सकते हैं, लेकिन तकनीक इसकी सीमा तय कर रही है; एक निश्चित बिंदु तक, सर्किट इतने लघु हो जाते हैं कि यदि एक अणु उसमें से निकल जाए तो सर्किट उचित रूप में कार्य नहीं करेगा। नैनोप्रौद्योगिकी से परमाणु स्तर के सर्किट विशुद्धता से निर्मित किए जा सकते हैं।

पर्यावरण उपचार : नैनोप्रौद्योगिकी, जल की अशुद्धियों के त्वरित, कम लागत में पहचान एवं उपचार के माध्यम से किफायती, स्वच्छ पेयजल की आवश्यकता को पूर्ण करने में सहायता कर सकती है। प्रदूषकों को हानिरहित बनाने वाली रासायनिक प्रतिक्रियाओं के माध्यम से भूजल में औद्योगिक जल प्रदूषकों को साफ करने के लिए नैनोपार्टिकल्स विकसित किए जा रहे हैं। शोधकर्ताओं पोटैशियम मैंगनीज ऑक्साइड के लघु तारों से बुनी हुई एक नैनोफैब्रिक ‘‘पेपर तौलिया” विकसित किया है जो सफाई अनुप्रयोगों हेतु तेल में इसके 20 गुना वजन को अवशोषित कर सकता है। इंजीनियरों ने ऊर्जा-कुशल विलवणीकरण (डीसैलिनैशन) हेतु नैनोपोरों के साथ एक पतली फिल्म (झिल्ली) विकसित की है। इस मोलिब्डेनम डाइसल्फाइड (MoS_2) झिल्ली ने वर्तमान पारंपरिक फिल्टर की तुलना में दो से पांच गुना अधिक पानी फ़िल्टर किया। नैनोटेक्नोलॉजी युक्त सेंसर एवं समाधान अब वायु एवं मिट्टी में रासायनिक या जैविक एजेंटों को पहचानने में अधिक सक्षम हैं तथा पहले से कहीं अधिक संवेदनशील हैं।

नैनोप्रौद्योगिकी का भविष्य : नैनोप्रौद्योगिकी, चिकित्सकों हेतु वर्तमान में उपलब्ध चिकित्सा उपकरण, ज्ञान एवं उपचार को बढ़ा रही है। नैनोमेडिसिन, औषधि, रोग की रोकथाम के लिए सटीक समाधान तैयार करने हेतु जैविक-घटना के प्राकृतिक पैमाने पर प्राप्त करने, निदान, एवं उपचार में नैनोप्रौद्योगिकी के अनुप्रयोग का उपयोग करती है। नैनोप्रौद्योगिकी द्वारा सक्षम श्रेष्ठतर इमेजिंग एवं डायग्नोस्टिक टूल्स पहले निदान, अधिक व्यक्तिगत उपचार विकल्पों एवं श्रेष्ठतर चिकित्सीय सफलता दर के लिए मार्ग प्रशस्त कर रहे हैं। नैनोप्रौद्योगिकी शोधकर्ता अनेक अलग-अलग चिकित्सा विधान पर कार्य कर रहे हैं जहां एक नैनोपार्टिकल प्रावरण करने अथवा कैंसर कोशिकाओं को सीधे औषधि पहुंचाने एवं स्वस्थ ऊतक को क्षति के जोखिम को कम करने में सहायता कर सकते हैं। पुनरुत्पादक औषधि अस्थि एवं तंत्रिका ऊतक इंजीनियरिंग सहित कई अनुप्रयोग क्षेत्रों में नैनोप्रौद्योगिकी के उपयोग हेतु अनुसंधान हो रहा है। उदाहरण के लिए, मानव अस्थि की क्रिस्टल खनिज संरचना हेतु बनावटी नवीन सामग्री (नॉवेल मटीरियल) डिज़ाइन की जा सकती है या दंत अनुप्रयोगों के लिए दृढ़ करने वाली राल के रूप में उपयोग किया जा सकता है। शोधकर्ता अंग प्रत्यारोपण हेतु एक दिन बढ़ने वाले मानव अंगों के लक्ष्य के साथ जटिल ऊतकों को विकसित करने के तरीकों की खोज में कार्यरत हैं। रेस्पिरोसाइट्

से (एक प्रकार की कृत्रिम लाल रक्त कोशिकाएं) भविष्य के आकर्षक आविष्कार है, यह कल्पित नैनो मशीन है, जो मनुष्यों में लाल रक्त कोशिका की तरह बरताव कर करने में सक्षम हैं। इसका उपयोग रक्त प्रवाह में ऑक्सीजन एवं कार्बन डाइऑक्साइड के वाहक के रूप में अपने स्वयं के लाल रक्त कोशिकाओं के बढ़ाने या पूर्णतया परिवर्तित करने हेतु किया जा सकता है[19]। सबसे महत्वपूर्ण अनुप्रयोग एक कुशल, सार्वभौमिक, दीर्घ अवधि तक चलने वाले कृत्रिम रक्त-प्रतिस्थापन तरल पदार्थ का निर्माण करना होगा, रक्त-आधान (ट्रांसफ्यूजन) में उपयोग हेतु, एवं प्राथमिक चिकित्सा परिदृश्यों (सिनैरियो) में। रेस्पिरोसाइट्स का उपयोग श्वसन रोगों जैसे निमोनिया के उपचार में सहायता हेतु भी किया जा सकता है, एवं संभावित रूप से चिरकालिक रोगों जैसे एनीमिया या अस्थमा के उपचार में भी किया जा सकता है। दूसरी ओर, माइक्रोबिवोरस एक कृत्रिम यांत्रिक भक्षक कोशिकीय एवं एक नैनोरोबोटिक उपकरण है, जो सुरक्षित रूप से उपकरणों की अपेक्षाकृत कम मात्रा का उपयोग करते हुए रक्त जनित रोगाणुओं की त्वरित एवं पूर्ण उन्मूल कर सकता है, चिकित्सक के कम चिकित्सीय साधन उपयोग करना इसका एक स्वागत योग्य अतिरिक्त लाभ हो सकता है। शोधकर्ता एक वैस्कूलॉइड पर भी कार्य कर रहे हैं, यह एक व्यक्तिगत नैनोमेडिकल उपकरण है जिससे हम रक्त को परिवर्तित कर सकते हैं। कोलोटासाइट्स विकसित किए जा रहे हैं जो कि कृत्रिम यांत्रिक प्लेटलेट्स हैं[1]।

बाजार में नैनो आधारित उत्पाद : नैनो आधारित उत्पाद खेल, सौंदर्य प्रसाधन सामग्री, कपड़ा, इलेक्ट्रॉनिक्स, इमेजिंग, ड्रग डिलिवरी, रोगनिदान, उत्प्रेरण, बायोसेंसर सहित अनेक अन्य क्षेत्रों में उपलब्ध हैं। बाजार में 1800 से अधिक नैनो उत्पाद पहले से ही उपलब्ध हैं (चित्र-1)। कुछ महत्वपूर्ण उत्पादों का विवरण निम्नलिखित है-



चित्र 1 – विश्व स्तर पर नैनो उत्पाद की वार्षिक बढ़ोतरी

नैनोप्रौद्योगिकी से नैनोविषविज्ञान की ओर : वर्तमान नैनोसामग्री (नैनोमैटेरियल) विषाक्तता अनुसंधान का पूर्ण ध्यान (मुख्य फोकस) डिज़ाइन किए गए नैनोकणों (नैनो पार्टिकल्स) पर केंद्रित है, जैसे कि धातु, धातु-ऑक्साइड, एकल एवं बहु परत वाली कार्बननैनोट्यूब, सी-60 (फुलरीन), औषधि वाहक एवं क्वांटम डॉट्स हेतु उपयोग किए जाने वाले पॉलीमरिक नैनोकण। सापेक्ष सतह क्षेत्र बढ़ाना जो कि नैनो स्केल पर कण के आकार में कमी के रूप में घटित होता है तथा सामग्री में नवीन (नॉवेल) एवं वर्धित गुणों को उत्पन्न करता है, परंतु यह उन्हें अधिक जैविक प्रतिक्रियाशीलता भी प्रदान करता है। विभिन्न प्रक्रियाओं के माध्यम से पर्यावरण में नैनोकणों का निर्गमन हो सकता है, जैसे कि स्पिलिंग एवं धुलाई वाले उपभोक्ता उत्पादों के द्वारा नैनोकणों को सम्मिलित करना; संश्लेषण एवं उत्पादन के दौरान; परिवहन या उपयोग के दौरान एक आकस्मिक रूप में छूटने से; उद्योग जो नैनोप्रौद्योगिकी का उपयोग कर लाभ उठाते हैं, उदाहरण के लिए अपशिष्ट जल उपचार एवं औषधि वितरण। नैनोआकार देने के लिए कणों को छोटा करने से वह बायोलॉजिकल सिस्टम के दूरस्थ क्षेत्रों तक पहुंच जाते हैं जहाँ सामान्य तौर पर बड़े कण पहुंचने योग्य नहीं होते हैं। पर्यावरण संदूषण एवं पारिस्थितिक तंत्र में बाधाएं अभी तक अन्य विषयों का प्रतिनिधित्व करती हैं। नैनोकणों से संबंधित आशंकाएं उनके उत्पादन एवं अनुप्रयोग के साथ-साथ विषाक्तता मूल्यांकन की मांग करती हैं। अनेक कारणों से निर्मित नैनोसामग्री के पर्यावरण में प्रवेश करने की संभावना है। कुछ हैं एवं अन्य

सारणी – 1 बाजार के मुख्य उत्पादों में नैनोकणों का विवरण

क्र.सं.	उत्पाद का विवरण	वर्ग	अपेक्षित नैनो सामग्री
1.	डायपर क्रीम	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	ZnO
2.	खाद्य कंटेनर	घरेलू उत्पाद एवं गृह सुधार	Ag
3.	लिप बॉम	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	ZnO @ TiO_2
4.	जूता क्रीम	कपड़ा एवं जूते	SiO_2
5.	मुलायम खिलौने	कपड़ा एवं जूते	Ag
6.	आंतरिक दीवार पेंट	घरेलू उत्पाद एवं गृह सुधार	Ag
7.	एंटी रिंकल क्रीम	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	TiO_2
8.	फ़ेस मास्क	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	TiO_2
9.	टी शर्ट, मोजे	कपड़ा एवं जूते	Ag
10.	सनस्क्रीन	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	TiO_2 @ZnO_2
11.	डिओडरेंट	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	Ag
12.	टूथब्रश	व्यक्तिगत देखभाल एवं सौंदर्य प्रसाधन	Ag

भारी मात्रा में उत्पादित किया जाएगा, एवं ऐसी भारी मात्रा में उत्पादित किसी भी सामग्री में से माल ढ़ोने तथा हैंडलिंग के दौरान कुछ सामग्री के विनिर्माण उत्प्रवाह या गिरने/छलकने से पर्यावरण में पहुंचने की संभावना है। कुछ नैनो उत्पादों का उपयोग कॉस्मैटिक्स एवं सनस्क्रीन जैसे व्यक्तिगत देखभाल उत्पादों में किया जा रहा है इसलिए धोने वाले उपभोक्ता उत्पादों के निरंतर उपयोग से ये वातावरण में प्रवेश कर सकते हैं। इनका इलेक्ट्रॉनिक्स, टायर, ईंधन सेल्स, एवं अनेक अन्य उत्पादों में उपयोग किया जाता है, एवं यह अज्ञात है कि इनमें से कुछ सामग्री उपयोग के दौरान रिसकर या घिसाई से बाहर निकल सकती है[6]। इनका डिस्पोजेबल सामग्री जैसे फिल्टर्स एवं इलेक्ट्रॉनिक्स में भी उपयोग किया जा रहा है एवं इसलिए ठोस अपशिष्ट भराव क्षेत्र (लैंडफिल) एवं अन्य प्रकार के अपशिष्ट निपटान माध्यमों से ये नैनो कण पर्यावरण तक पहुंच सकते हैं। वैज्ञानिकों ने उपचार में नैनोसामग्री का उपयोग करने के तरीके भी बनाए हैं। यद्यपि, इनमें से अनेक अभी परीक्षण चरणों में हैं, दर्जनों साइटों में पहले से ही नैनो लौह सहित विभिन्न नैनोसामग्री डाली गयी है। पर्यावरणीय रूप से उपयुक्त प्रजातियों के उपचार हेतु उपयोग किए गए इन नैनोकणों की सुरक्षा निर्धारित करने के लिए अभी तक परीक्षण नहीं किया गया है। यद्यपि अधिकांश लोग बड़े वन्यजीवन पर असर से चिंतित हैं, परंतु कई खाद्य श्रृंखला (फ़ूड चेन) के आधार पर मृदा के वनस्पतियों एवं जीवों पर निर्भर करता है, जहां नैनोसामग्री डालने से व्यापक रूप से प्रभावित हो सकते हैं। इसके अतिरिक्त, जैसा किलेकोनेट एवं अन्य द्वारा उल्लेख किया गया है। उपचार में मूल्यवान नैनोआकार सामग्री तीव्रता से पर्याप्त दरों पर मृदा के माध्यम से विस्थापित नहीं हो सकती है। भविष्य में प्रयोगशाला एवं क्षेत्र परीक्षण उपचार एवं संदूषण के बीच विकास क्रम (टाइमलाइन) को स्पष्ट करने में सहायता करेंगे।

इन-विट्रो एवं इन-वीवो मॉडल्स : विषाक्तता अध्ययन सामान्य तौर पर नैनोकणों की पारिस्थितिकी के मामले के अतिरिक्त इन-विट्रो(कोशिकाओं में) या इन वीवो (जंतुओं में) में संचालित किए जाते हैं। इन-वीवो प्रयोग डिज़ाइन किए जाने से पूर्व अनेक मामलों में साइटोटोक्सिसिटी के तंत्र को समझने के लिए पहले इन-विट्रो अध्ययन संचालित किए जाते हैं। विभिन्न प्रयोगात्मक एवं सैद्धांतिक उपकरण विकसित किए गए हैं तथा कुशल नैनोटॉक्सिसिटी परीक्षण के लिए किफ़ायती दृष्टिकोण के रूप में लागू किए गए हैं, जहां कि प्रयोगात्मक एवं नैनोटॉक्सिकोलॉजिकल डेटा अभी भी अपर्याप्त है। परिणामतः आणविक डॉकिंग, आणविक गतिशीलता सिमुलेशन, मात्रात्मक संरचना-गतिविधि/गुण संबंध सहित विभिन्न कम्प्यूटेशनल तकनीकों ने नैनो पार्टिकल-सेल परस्पर क्रिया (इंटरैक्शन) की जांच करने, बीबीबी पारगम्य दरों का पूर्व अनुमान बताने एवं कोशिकाओं पर नैनो पार्टिकल के संभावित हानिकारक प्रभावों का मूल्यांकन करने का मार्ग प्रशस्त किया है[21]। सीएसआईआर-आईआईटीआर में नैनोकणों एवं उत्पादों के विषाक्तता/सुरक्षा मूल्यांकन के लिए न्यूरोटॉक्सिसिटी, जीनोटॉक्सिसिटी, इम्यूनोटॉक्सिसिटी, नेफ्रोटॉक्सिसिटी, हेपेटोटॉक्सिसिटी, फोटोटॉक्सिसिटी एवं डर्मल टोक्सिसिटी हेतु विभिन्न इन-विट्रो मॉडल उपलब्ध हैं।

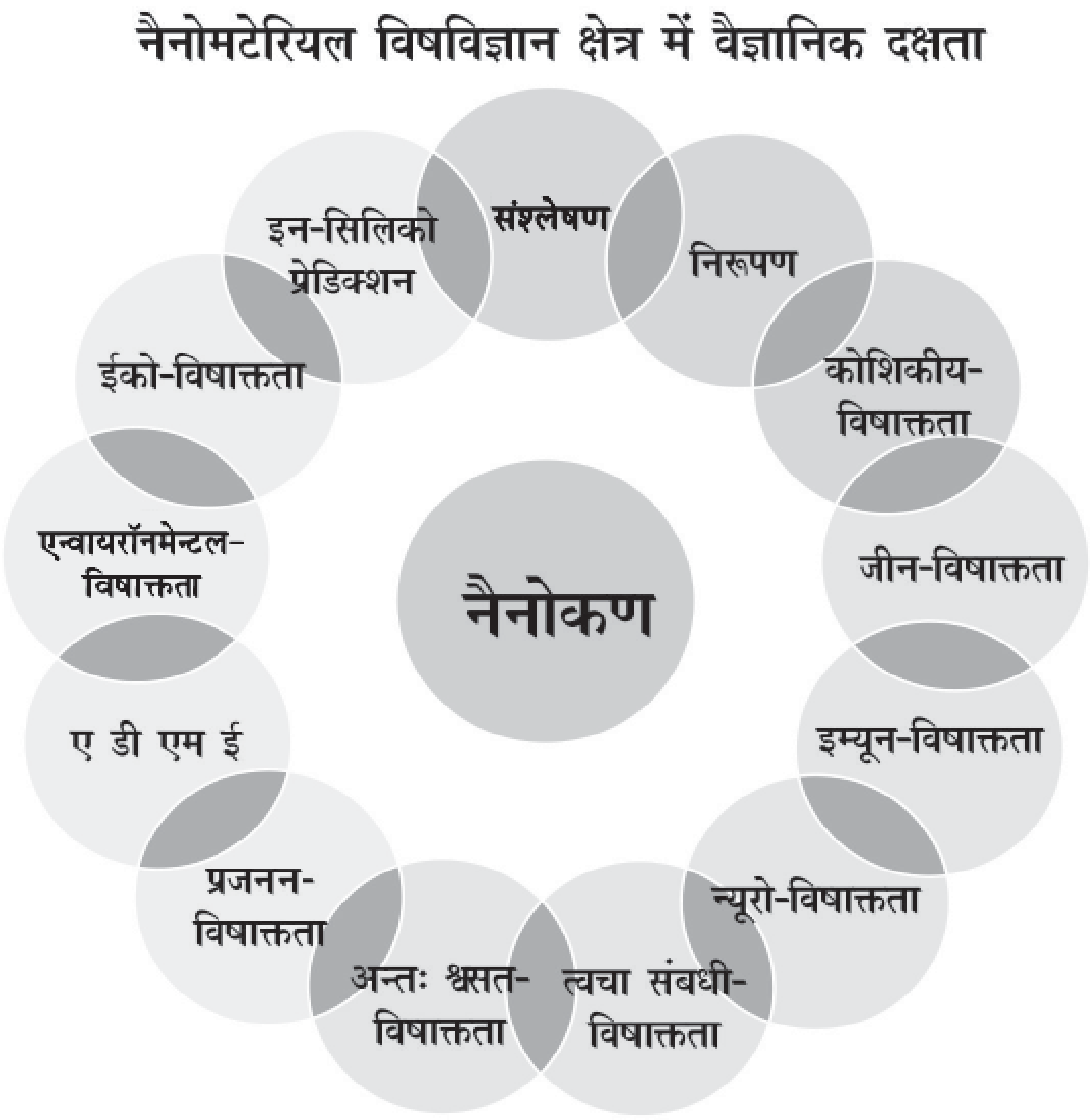
इन-विट्रो एवं इन-वीवो विषाक्तता : धातु ऑक्साइड नैनोकण की संभावित विषाक्तता अध्ययन ने ध्यान आकर्षित किया है। चाँदी के नैनोकण (सिल्वर नैनो पार्टिकिल,) जो सर्वाधिक गहन अध्ययन नैनोसामग्री के बीच रैंक किए जाते हैं, का उपयोग विभिन्न व्यावसायिक उत्पादों में उनके असाधारण एंटीमाइक्रोबियल गुणों के कारण कीटाणु शोधन एजेंट के रूप में किया जाता है। बायोजेनिक SnO_2(टिन डाइऑक्साइड) नैनोकणों की साइटोटॉक्सिसिटी का मूल्यांकन हेपैटोसैल्यूलर कार्सीनोमा सेल लाइन ($HepG_2$) के प्रतिकूल किया गया था। SnO_2 (टिन डाइऑक्साइड) नैनोकणों ने खुराक एवं समय-निर्भर तरीके से सेल प्रसार को रोक दिया। टाइटेनियम डाइऑक्साइड नैनोकणों (TiO_2) विभिन्न क्षेत्रों में व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले नैनो संरचनाओं में से एक हैं। इंट्रागैस्ट्रिकली एडमिनिस्टर्ड TiO_2 नैनोकणों के 90 दिनों की वर्धित खुराक (2.5 से 10 एमजी/केजी शरीर भार) के परिणामस्वरूप चूहों में प्लीहा (स्प्लीन) क्षति एवं प्रतिरक्षा अकार्यता (डिसफंक्शन) में कमी आई। लेखकों ने तनाव प्रतिक्रियाओं, सेल प्रसार, एपोप्टोसिस, चयापचय प्रक्रियाओं, एवं ऑक्सीडिएटिव तनाव से संबंधित जीन की प्रकटन में परिवर्तन का भी उल्लेख किया है। व्यावसायिक रूप से उपलब्ध SiO_2 (सिलिकॉन डाइऑक्साइड) नैनोकणों (10 एवं 300 नैनो मीटर) की विषाक्तता की जांच रॉ (आर ए डब्ल्यू) 264.7 माउस मैक्रोफेज सेल लाइन में हुई थी। लेखकों ने पाया कि 10 नैनो मीटर SiO_2 (सिलिकॉन डाइऑक्साइड) नैनोकणों ने सेल प्रसार, मॉर्फ़ोलॉजी एवं सेल चक्र को प्रभावित किया। लघु SiO_2 (सिलिकॉन डाइऑक्साइड) नैनोकणों के साथ उपचारित कोशिकाओं ने फैगोसाइटोसिस को बहुत कम कर दिया, जैसा कि रॉ (आरएडबल्यू) 264.7 कोशिकाओं द्वारा *ई. कोलाई* के अपटेक द्वारा निगरानी की गई थी। मैक्रोफेज के भीतर लघु रॉ (आरएडबल्यू) नैनोकणों का जैव संचय बैक्टीरियल अपटेक को दबा सकता है एवं जीवाणुरोधी गतिविधि को क्षति पहुंचा सकता है। हाल ही में इन-वीवो अध्ययन में विस्टार चूहों को मौखिक नलिका-पोषण (गैवाज) के माध्यम से दिए गए सिलिका नैनोकणों (333 एमजी/

केजी/दिन, 10-15 नैनो मीटर) के सस्पेंशन के विषाक्तता प्रभावों का मूल्यांकन किया। लेखकों ने कोलेस्ट्रॉल, यूरिया, कुल प्रोटीन, एलडीएल, एचडीएल, एस्पार्टेट अमीनोट्रांसफेरस गतिविधि एवं क्षारीय फॉस्फेट गतिविधि में महत्वपूर्ण परिवर्तनों का उल्लेख किया। मानव स्तन कैंसर सेल लाइन (एमसीएफ 7) में CuO (कॉपर ऑक्साइड/क्यूपरिक ऑक्साइड) नैनोकणों ने खुराक एवं समय-निर्भर तरीके से ऑटोफेगी प्रेरित किया। एक रोचक निष्कर्ष से पता चला कि स्प्रेग-डॉली चूहे की प्रतिरक्षा प्रणाली अंगों में जमा Ag नैनो पार्टिकल (चाँदी के नाइनोकण), एवं हल्के एरिटेशन को थाइमस एवं एजीनैनो पार्टिकल (चाँदी के नाइनोकण) उपचारित जंतुओं के प्लीहा में देखा गया था, परंतु Ag$ के साथ नहीं। यकृत एवं गुर्दे एजीनैनो पार्टिकल (चाँदी के नैनोकण) की अत्यधिक आईवी खुराक द्वारा सबसे अधिक प्रभावित अंग हो सकते हैं, एवं उल्लेखनीय रूप से गुणसूत्र टूटने में वृद्धि हुई एवं बहुगुणित (पॉलीप्लॉइडी) सेल दर में भी एजी नैनो पार्टिकल के संभावित जीनोटोक्सिसिटी निहित थी। चो एवं अन्य ने CuO, SiO_2, ZnO एवं Co_3O_4 नैनोकणों की इन-वीवो गंभीर फेफड़ों (लंग्स) इन्लेमोजेनीसिटी एवं इन विट्रो साइटोक्सिसिटी की तुलना किया। CuO एवं ZnObu विट्रो एवं इन-वीवो जाँच दोनों में सर्वाधिक विषाक्त नैनोकण थे। CuO के ZnO के बाद सर्वाधिक विषाक्त नैनोकण होने एवं TiO_2 नैनोकणन्यूनतम विषाक्त नैनोकण होने की जानकारी प्राप्त हुई है।

पर्यावरिक विषाक्तता : घरेलू और औद्योगिक स्रोतों से अपशिष्ट जल, अंततः जल चक्र में प्रवेश करता है जिससे नैनो मैटीरियल एक्सपोजर से जलीय पर्यावरण पर होने वाले प्रभाव की जांच में वैज्ञानिक विशेष रुचि ले रहे हैं। इसके अलावा, अपशिष्ट जल उपचार के लिए नैनोमैटेरियल का उपयोग के जल को उपचारित करने की तकनीकों में भी वृद्धि हुई है (जैसे लौह नैनो पार्टिकल)। *ड्रोसोफिला मेलानोगैस्टर* का कार्बन नैनोट्यूब, सेरियम ऑक्साइड, या चांदी जैसे कई नैनोमैटेरियल की विषाक्तता के परीक्षण करने में प्रयोग किया गया है। चांदी के नैनो पार्टिकिल उच्च यूकेरियोटिक जीवों की तुलना में प्रोकैरियोटिक जीवाणु व जीवों को अधिक कुशलता से मार देते हैं। ड्रोसोफिला जीव चांदी नैनो पार्टिकल के कम सांद्रता के संपर्क में आने पर क्रमशः चांदी नैनो पार्टिकिल के इस दीर्घकालिक जहरीले अनावरण के लिए अनुकूलित हो जाते हैं और उनकी प्रजनन क्षमता उनके अनुकूलन के कारण सामान्य स्तर पर लौट आती है। व्यावसायिक नैनोमीटर आकार में चांदी के Ag$ आयन जलीय वातावरण में जमा हो सकते हैं और ज़ेब्राफिश भ्रूण के विकास को गंभीर रूप से नुकसान पहुंचाते हैं। *विब्रियो फिशरी, क्रस्टेसियन डेनिया मैग्ना* और *थैमोनोसेफलस प्लैट्यूरस* के लिए ZnO, CuO और TiO_2 के नैनो पार्टिकल की विषाक्तता का मूल्यांकन धातु ऑक्साइड फॉर्मूलेशन (नैनो या बड़े आकार) पर प्रमुखता के साथ किया गया था। प्राप्त परिणामों से पता चला कि चांदी के नैनो पार्टिकल 25 मिलीग्राम प्रति लीटर की सांद्रता के नीचे परीक्षण किए गए यूनीकल्युलर यूकैरियोटिक जीव पर किसी भी विषाक्तता कार्रवाई को प्रदर्शित नहीं करते हैं जबकि आयनिक Ag, 0.4 मिलीग्राम प्रति लीटर की सांद्रता पर भी इसकी विषाक्तता बरकरार रखती है। यह भी देखा गया है कि सी. *एलीगेंस* के विकास, प्रजनन और व्यवहार सभी पर ZnO नैनो पार्टिकल के विभिन्न आकार (35 एनएम, 50 एनएम और 100 एनएम) का भिन्न-भिन्न प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है। धातु ऑक्साइड कणों को कोशिकाओं में विषाक्तता उत्पन्न करने के लिए उनमें प्रवेश करने की आवश्यकता नहीं होती है। कोशिका (बैक्टीरियल कोशिका भित्ति या क्रस्टेशियन आंत पर्यावरण) और कण के बीच घनिष्ठ संपर्क होने के लिए बहुत अधिक महत्वपूर्ण लगता है। इससे जीव-कण संपर्क क्षेत्र के आस-पास सूक्ष्म पर्यावरण में परिवर्तन हो सकते हैं और या तो धातुओं के घुलनशीलता में वृद्धि हो सकती है या आरओएस उत्पन्न किया जा सकता है जो सेल झिल्ली को नुकसान पहुंचा सकता है।

नैनोटॉक्सिकोलॉजी में सीएसआईआर-आईआईटीआर का योगदान : सीएसआईआर-भारतीय विषविज्ञान अनुसंधान संस्थान पिछले एक दशक से नैनोटॉक्सिकोलॉजी के क्षेत्र में काम कर रहा है और विषाक्तता विज्ञान के इस उभरते क्षेत्र में 40% वैज्ञानिक शक्ति महत्वपूर्ण योगदान देकर इसमें विशेषज्ञता विकसित करने में सक्षम बना रही है। इस संस्थान ने इंजीनियर्ड नैनोमैटेरियल के संश्लेषण और विशेषता, विषाक्तता मूल्यांकन के लिए पद्धति/अस्से/तकनीकों के विकास, नैनोसुरक्षा के लिए दिशा-निर्देश, वैकल्पिक मॉडल, परितंत्र और जैविक प्रणालियों के साथ नैनोमैटेरियल के संपर्क के प्रभाव आदि में नेतृत्व किया (चित्र-2)।

नैनोमैटेरियल की सुरक्षा/विषाक्तता का आकलन करने के लिए, सबसे महत्वपूर्ण मुद्दों में से कुछ को संबोधित करने की आवश्यकता है- i) आकार और माप का प्रभाव; ii) डोसिमेट्री; iii) वितरण और ट्रैकिंग का मार्ग; iv) परीक्षण मॉडल का विकास और सत्यापन; v) इन वीवो बनाम इन-विट्रो एक्सट्रापोलेशन; vi) पारिस्थितिकता; vii) कम्प्यूटेशनल नैनोटॉक्सिसिटी और viii) जीवन चक्र जांच। सीएसआईआर-आईआईटीआर में नैनोटॉक्सिकोलॉजी के क्षेत्र में कुछ प्रमुख उपलब्धियां शामिल हैं: -



चित्र 2 – सीएसआईआर-भारतीय विषविज्ञान अनुसंधान संस्थान में नैनोमैटीरियल विष विज्ञान क्षेत्र में वैज्ञानिक दक्षता

- सीएसआईआर-आईआईटीआर ने 16 इन-विट्रो मॉडल, 7 इन-वीवो मॉडल की स्थापना और सत्यापन किया है, जो जीन-विषाक्तता के अध्ययन के लिए जीएलपी का अनुपालन करते हैं और पारिस्थितिकी अध्ययन के लिए 6 मॉडल हैं।
- लगभग 70 से अधिक प्रकाशन उच्च इम्पैक्ट फैक्टर वाली पत्रिकाओं में प्रकाशित हो चुके हैं।
- सीएसआईआर-आईआईटीआर एक सदस्य के रूप में, आईएसओ/टीसी 229 (नैनो-टेक्नोलॉजीज) के बीआईएस, भारत सरकार द्वारा अनुमोदित और अपनाए गए ग्यारह आईएसओ मानक प्राप्त करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा चुका है। कुछ और भी अभी स्वीकृति चरण की प्रक्रिया में हैं।
- ISO अनुमोदन के लिए, बीआईएस को जमा करने के लिए नैनोमैटेरियल विष विज्ञान में विधियों (Ecotoxicity विधियों) के लिए दो मानकों को तैयार किया जा रहा है।
- सीएसआईआर-आईआईटीआर में विभिन्न नैनोमैटेरियल की विषाक्तता/सुरक्षा मूल्यांकन किया गया है। उदाहरण के लिए कुछ निम्नलिखित हैः-

सारणी 2 – आईआईटीआर द्वारा किए गए नैनोमैटेरियल विषाक्तता/सुरक्षा मूल्यांकन का विवरण

वर्ग	नैनोकण
धातु NPs	Au, Ag, Pt
धातु आक्साइड NPs	ZnO, TiO_2, CeO_2, $Cr2O_3$, CuO, Fe_2O_3
क्वांटम डॉट्स	Mn&ZnS, CdTe
कार्बन आधारित	फुलरीन , कार्बन नैनो ट्यूब, ग्राफीन
NMs	ऑक्साइड
बहुलक	पीएलजीए, पीईआई, O-हैक्साडीसाइल- डेक्स्ट्रन
नैनो संपुटित यौगिक	• ब्रोमीलेन लोडेड पीएलजीए नैनोकण • जीलेन गम ब्लेंडेड पीईआई नैनोकम्पोजिट्स • O-हैक्साडीसाइल-डेक्स्ट्रन इनट्रैप्ड बरबरीन नैनोकण • निकोटीन संपुटित पीएलजीए नैनोकण • पॉलीग्लूटामिक एसिड बेस्ड नैनोकम्पोजिट्स • 1,4 -ब्यूटेनडाइऑल डाइग्लाइसेडेल एथर क्रॉस लिंक्ड पीईआई-जी-इमीडाजोल नैनोकण • लीनियर पीईआई नैनोकण • पॉलीएक्रिलओइल हाइड्राजाइड कैपड सिल्वर एंड गोल्ड नैनोजैल्स • पीईआई पीईजी-बिस (अमीनोएथिल फॉस्फेट) नैनोकण

भविष्य की रणनीतियां

सीएसआईआर-आईआईटीआर नैनोटॉक्सिकोलॉजी के निम्नलिखित प्रमुख क्षेत्रों के संदर्भ में पिछले कुछ दशकों से कड़ी मेहनत कर रहा है जिसे अनदेखा नहीं किया जा सकता है। उन्हें संक्षेप में सारांशित किया जा सकता है-

- मान्य परीक्षण मॉडल, मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण की सुरक्षा के लिए विषाक्तता और सुरक्षा मूल्यांकन के तरीकों विकसित करना।
- नैनो विनिर्माण उद्योगों के श्रमिकों में जोखिम को कम करने के लिए सामरिक योजना बनाना।
- जोखिम मूल्यांकन और नैनोमैटेरियल के खतरे की पहचान के क्षेत्र में विश्व स्तर की योग्यता की स्थापना, जो कि विश्वविद्यालयों, आईआईटी, फार्मा सेक्टर, इंडस्ट्रीज इत्यादि के लिए उपयोगी साबित हो सकती है।

सारणी 3 – सीएसआईआर-आईआईटीआर में नैनोमैटेरियल विषाक्तता/सुरक्षा के लिए उपलब्ध परीक्षण/विधियों का विवरण

पैरामीटर	विधियाँ/परीक्षण
अपटेक/कोशिकाओं में उद्ग्रहण	इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी, फ्लो-साइटोमेट्री, माइक्रोस्कोपी
मॉर्फोलॉजी अध्ययन	माइक्रोस्कोपी
कोशिकीय विषाक्तता	एमटीटी, एलडीएच, एनआरयू, ट्राइपैन ब्लू, पीआई. अपटेक
म्यूटाजेनेसिस	एम्स टेस्ट, एचजीपीआरटी फॉर्वर्ड म्यूटेशन परीक्षण
अपोप्टोसिस	अनेक्सीन वी/पीआई, टनल, ईटीबीआर /एक्रीडीन ऑरेंज की दोहरी स्टेनिंग, डीएनए फ्रेग्मेंटेशन
ऑक्सीकारक तनाव	आरओएस, जीएसएच, एलपीओ, एसओडी, कैटालेज़
प्रणालीगत विषाक्तता	जीनो-, इम्यूनो-, हेपैटो-, न्यूरो-, डर्मल-, नेफ्रो-विषाक्तता
ओमिक्स दृष्टिकोण	ट्रांसक्रिप्टोमिक्स, प्रोटेऑमिक्स, मेटाबोलोमिक्स

- प्रयोगशाला और व्यावसायिक सेटिंग्स में नैनो-सामग्री के सुरक्षित संचालन के लिए दिशा-निर्देश।
- भारत में नैनो उत्पादों के लिए प्रमाणन उपलब्ध होना चाहिए।
- देश में नागरिक समाज को नैनोटेक्नोलॉजी के बारे में बेहतर जानकारी दी जाएगी।

अनावरण के बाद नैनोकण परिसंचरण तंत्र के द्वारा विभिन्न अंगों में जमा किया जा सकता है और अपशिष्ट के रूप में समाप्त हो जाएगा; इसके बाद उनके बाद के अवक्रमण पर्यावरण में कणों को मुक्त कर सकते हैं जहां वे खाद्य वेब में रह सकते हैं या फैल सकते हैं। इसलिए, ऊपर दिए गए नैनोमैटेरियल के फायदे और नुकसान को ध्यान में रखते हुए, संभावित भविष्य के परिणामों से निपटने के लिए एक विस्तृत रणनीतिक योजना तैयार की जानी चाहिए। अधिकारियों द्वारा नियमों को निर्धारित करने के संदर्भ में इन अध्ययनों की भूमिका बहुत महत्वपूर्ण है।

संदर्भ

1. Abeer S, Future medicine: nanomedicine, *JIMSA*, **25**(2012) 187-92.
2. Baibarac M, & Gómez-Romero P, Nanocomposites based on conducting polymers and carbon nanotubes: from fancy materials to functional applications,

Journal of nanoscience and nanotechnology, **6**(2) (2006) 289-302.

3. Bancos S, Stevens DL & Tyner KM, Effect of silica and gold nanoparticles on macrophage proliferation, activation markers, cytokine production, and phagocytosis in vitro. *International journal of nanomedicine*. **10** (2015) 183.
4. Cattaneo AG, Gornati R, Sabbioni E, Chiriva M, Cobos E & Jenkins MR, Bernardini G, Nanotechnology and human health: risks and benefits. *Journal of applied Toxicology*, **30**(8) (2010) 730-44.
5. Cho W S, Duffin R, Bradley M, Megson I L, MacNee W, Lee J K, Jeong J & Donaldson K, Predictive value of in vitro assays depends on the mechanism of toxicity of metal *oxide nanoparticles, Particle and Fibre Toxicology*, **10**(1) (2013) 55.
6. Daughton CG & Ternes TA, Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change. *Environmental Health Perspectives*, **107**(6) (1999) 907.
7. Ellis-Behnke R G, Liang Y X, You S W, Tay D K, Zhang S, K F So & Schneider GE, Nano neuro knitting: Peptide nanofiber scaffold for brain repair and axon regeneration with functional return of vision, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **103**(13) (2006) 5054-9.
8. Fleischer N, Genut M, Rapoport L, Tenne R, New nanotechnology solid lubricants for superior dry lubrication, In10th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, **524** (2003) 65-66.
9. Hall S, Bradley T, Moore JT, Kuykindall T & Minella L, Acute and chronic toxicity of nano-scale TiO_2 particles to freshwater fish, cladocerans, and green algae, and effects of organic and inorganic substrate on TiO_2 toxicity, *Nanotoxicology*, **3**(2) (2009) 91-7.
10. Hassankhani R, Esmaeillou M, Tehrani A A, Nasirzadeh K, Khadir F, Maadi H, In-vivo toxicity of orally administrated silicon dioxide nanoparticles in healthy adult mice, *Environmental Science and Pollution Research*, **22**(2) (2015) 1127-32.
11. http://www.immnet.com/articles? article=1750
12. Jacoby M, *Nanoscale electronics*, Chemical & Engineering News, **80**(39) (2002) 38-43.
13. Khare P, Sonane M, Nagar Y, Moin N, Ali S, Gupta KC & Satish A, Size dependent toxicity of zinc oxide nano-particles in soil nematode Caenorhabditis elegans, *Nanotoxicology*, **9**(4) (2015) 423-32.
14. Kvitek L, Vanickova M, Panacek A, Soukupova J, Dittrich M, Valentova E, Prucek R, Bancirova M, Milde D & Zboril R, Initial study on the toxicity of silver nanoparticles (NPs) against Paramecium caudatum. *The Journal of Physical Chemistry*, **113** (11) (2009) 4296-300.
15. Lecoanet HF & Wiesner MR, Velocity effects on fullerene and oxide nanoparticle deposition in porous media, *Environmental Science & Technology*, **38** (16) (2004) 4377-82.
16. Panacek A, Prucek R, Safarova D, Dittrich M, Richtrova J, Benickova K, Zboril R & Kvitek L, Acute and chronic toxicity effects of silver nanoparticles (NPs) on Drosophila melanogaster, *Environmental Science & Technology*, **45**(11) (2011), 4974-79.
17. Roopan S M, Kumar S H, Madhumitha G & Suthindhiran K, Biogenic-production of SnO_2 nanoparticles and its cytotoxic effect against hepatocellular carcinoma cell line ($HepG_2$), *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **75**(3) (2015), 1567-75.
18. Rosi N L, Mirkin C A, Nanostructures in biodiagnostics, *Chemical Reviews*, **105**(4) (2005) 1547-62.
19. Saha M, Nanomedicine: promising tiny machine for the healthcare in future-A review, *Oman Medical Journal*, **24** (4) (2009), 242.
20. Sheng L, Wang L, Sang X, Zhao X, Hong J, Cheng S, Yu X, Liu D, Xu B, Hu R, Sun Q, Nano-sized titanium dioxide-induced splenic toxicity: A biological pathway explored using microarray technology, *Journal of Hazardous Materials*, **278** (2014) 180-8.
21. Shityakov S, Roewer N, Broscheit JA, Förster C, In silico models for nanotoxicity evaluation and prediction at the blood-brain barrier level: A mini-review, *Computational Toxicology*, **2** (2017) 20-7.
22. Thompson S E, Parthasarathy S, Moore's law: The future of Si microelectronics, *Materials Today*, **9** (6) (2006) 20-25.
23. Wang J & Fan Y, Lung injury induced by TiO_2 nanoparticles depends on their structural features: size, shape, crystal phases, and surface coating, *International Journal of Molecular Sciences*, **15**(12) (2014) 22258-78.
24. Wen H, Dan M, Yang Y, Lyu J, Shao A, Cheng X, Chen L, Xu L, Acute toxicity and genotoxicity of silver nanoparticle in rats, PloS one, **12**(9) (2017).