

NANOTEKNOLOJİ/NANOPARTİKÜL, ÇEVRE VE BAL ARILARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Yeşim DAĞLIOĞLU¹, Dilek KABAKÇI², Gökhan AKDENİZ²

¹Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ordu

²Arıcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ordu

ÖZET

Son yıllarda nanopartiküllerin sanayinin her alanında yaygın bir şekilde kullanılması ve artan üretim oranıyla birlikte gerek insan sağlığı üzerine etkileri gerekse çevre üzerine olan etkileri ülkemizde olduğu gibi dünya genelinde de endişe yaratmıştır. Bu nanopartiküllerin kullanılmadan önce toksik etkilerinin ve çevredeki akıbetinin sonuçlarının değerlendirilmesi için risk değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Nanotoksikoloji, nanopartiküllerden kaynaklanan sağlığa zararlı etkilerin açıklandığı toksikolojinin yeni bir dalı olarak ifade edilmektedir. Bu araştırmada bal arılarında bazı nanopartiküllerin titanyum dioksit, palladyum, platin ve bor nanopartiküllerinin bal arılarında toksik etkisiyle ilgili bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Bal arısı, nanopartikül, toksikoloji

THE RELATION BETWEEN NANOTECHNOLOGY/NANOPARTICLE, ENVIRONMENT AND HONEYBEES

ABSTRACT

Nanotoxicology is stated as a new discipline of toxicology that are expressed as unhealthy effects arising from nanoparticles. In recent years, using of nanoparticles in all areas of industry commonly and effects on both human health and environment with increasing production has worried around the world as well as in Turkey. Before using of these nanoparticles, in order to evaluate results of toxic and environment effects, risk assessment should be carried out. In this study, the aim is to give information about toxic effects of some nanoparticles (titanium dioxide, palladium, platinum and boron) on honeybees.

Keywords: Honey bee, nanoparticles, toxicology

1. Giriş

Nanoteknoloji, organik ve inorganik maddeler üzerinde atomik seviyede yeni tasarımlı üretimler yapmaya fırsat vermesi sayesinde, nanoteknoloji uygulamaları, tüm alanlarda temel bilimsel kuramları ve üretim teknolojilerini değiştirmiştir (Budak, 2012). “Nano” kelimesi teknik bir ölçü birimi olarak kullanılmakta ve herhangi bir birimin milyarda biri anlamını taşımaktadır. Bir nanometre (nm) bir milimetrenin milyonda birine eşit uzunluk birimidir

(Crane vd., 2008). Nanoteknolojinin yapı taşı nanopartiküllerdir (Nagarajan, 2008). Nanopartiküller, kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak karbon nanomalzemeleri, metal oksit, metal nanomalzemeleri, yarı iletkenler ve polimerik nanomalzemeler olarak gruplandırılmaktadır (Capek, 2010). Nanopartiküller, eşsiz fizikokimyasal özellikleri, yüksek penetrasyon yeteneği, geniş yüzey alanı ve kimyasal aktivite gibi özelliklere sahiptir (McWilliams, 2006; Handy vd., 2008).

Bu özellikleri sayesinde endüstriyel ve tıbbi teknolojilerin ilgisini çekmiştir. Şimdiye kadar, nanomatyaller ile üretilmiş 1000 den fazla ürün marketlerde yer almaktadır. Grand View Research'e göre, küresel nanotıp pazarının 2024 yılında 344.0 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Bunun sebebi ise yeni nanoteknoloji temelli ilaçların ve terapilerin geliştirilmesi ile geleneksel yöntemlere göre daha uygun maliyetli ve daha az yan etkili terapi ve ilaçların geliştirilmesidir. (<http://www.prnewswire.com/news>). Bu sebeple, büyük ölçüdeki mühendislik nanomatyallerinin kullanımı ve üretimi ile çevre ve insan sağlığı için potansiyel etkileri ve çevreye salınımı endişeleri artırmıştır.

2. Çevre Üzerine Etkileri

Nanoteknoloji uygulamaları, geleneksel materyallerin boyutunun nano ölçeklere küçültülmesiyle, benzersiz elektrik, optik ve mekanik özellikler gibi temel fiziksel ve kimyasal özelliklerin değişmesiyle yeni malzemeleri bizlere sunar. Ayrıca, nanoteknoloji hava, su ve toprak çevresinin kalitesini iyileştirme gibi konularda da büyük potansiyele sahiptir. Çevredeki toksikantların (kirleticilerin) algılanmasını ve keşfini geliştirebilir ve iyileştirmek için yeni teknolojilerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Nanoteknoloji çevresel kaliteyi geliştirme potansiyeline sahip olmasına rağmen, çevrenin yeni bir tehlike ile karşı karşıyayakabileceği yönünde endişelerde vardır (Masciangioli ve Zhang, 2003; Colvin, 2003; Biswas ve Wu, 2005). Bu nanoteknoloji güvenliğinin, doğru ve dikkatlice yapılan araştırmalar ile elde edilen bulguların erken safhada birleştirilmesi ile sağlanabilir (Biswas ve Wu, 2005).

Nanopartiküller ve çevre konusu oldukça geniş bir alandır ve basit bir inceleme ile açıklanamaz. Son zamanlarda, ödenek miktarlarının artmasıyla birlikte araştırma ve geliştirme projelerinde artış olmasıyla birlikte bilimsel yayın sayısında artmıştır. Çevresel nanopartiküllerin oluşumunda birkaç kaynak vardır. Bu nanopartiküller, kömür ve çöp yakma sistemleri gibi sabit

endüstriyel kaynaklar (Chang vd., 2004), otomobiller ve dizel motorlu araçlar gibi mobil (hareketli) kaynaklar (Kittelson vd.,1998) ve kaynak işlemleri ile mühendislik nanopartiküllerinin kasıtlı olarak sentezlendiği yerler gibi mesleki çevrelerdir (Vincent vd.,2000). Ayrıca, bazı doğal kaynaklı ve biyolojik orijinli (Hogan vd., 2004) nanopartiküller de vardır ki bunlarda dikkat çekicidir. Örneğin, polen taneleri alerjilerin potansiyel nedenlerinden biridir. Yine viral nanopartiküller, aşı olarak kullanılabilir veya hastalığın yayılmasında önemli rol oynayabilir. Nanopartiküller atmosfere salınıncaya kolayca dönüştürülürler ve bunun sonucunda nanopartiküllerin ilk hallerinin boyut ve bileşimlerinde değişikliğe neden olabilir. Ayrıca, nanopartiküller fotokimyasal işlemlerden kaynaklanan çekirdeklenme sonucu atmosferde oluşur. Bu nanopartiküller bulut oluşumu için önemlidir. Çünkü bulut oluşumuyla nanopartiküller atmosferde uzak mesafelere taşınabilirler ve sonunda inhalasyon yoluyla insan maruziyetine kadar neden olabilirler (Donaldson, 1998). Ayrıca, nanopartiküller toprak ve su kütleleri üzerine çökmesiyle ikincil kontaminasyona veya diğer çevresel etkilere neden olabilir. Bulutlarla taşınan nanopartiküller, bitkilerin üzerine çökmesi sonucu tozlaşmayı sağlayan bal arılarında bundan etkilenmesi muhtemeldir. Nanopartikül bilim ve teknolojisi sayesinde, toksikantların oluşum ve emisyonlarını azaltabilir. Nanopartikül bazlı teknolojilerin çeşitli çevresel alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; ikame malzeme, sensör algılama, emisyon kontrol süreci, atık arıtma ve iyileştirme, H2 üretimi ve depolama, yakıt hücresi ve bataryalardır. Nanopartiküllerin çevresel teknolojilerdeki uygulamalarının tamamı "çevre nanoteknolojisi" olarak adlandırılır. Çünkü, nanopartiküllerin sahip oldukları yapısal, manyetik, elektriksel ve optik özelliklerinin artırılmasıyla mevcut malzemelerin yerini almasında önemli bir potansiyele sahiptir. Üstün özellikleri nedeniyle, maliyeti düşürmekle kalmayıp çevresel izleri/etkileri de azaltabilecek daha düşük miktarlarda kullanılacaktır. Nanopartiküllerin, çevrede daha düşük konsantrasyonlarda bulunan kirleticileri tespit etmek için, daha hassas ve seçici

yeni algılama teknoloji uygulamaları buluyor. Nanopartiküllerin doğasında olan boyut (nano) avantajlarından dolayı, yüzey altı ortam veya karmaşık mühendislik sistemleri gibi ulaşılması daha zor olan bölgelerin araştırılması için de kullanılabilirler. Nanopartiküller aynı zamanda, emisyonları azaltmak veya önlemek, atıkları yararlı yan ürünler haline dönüştürmek gibi mevcut proseslerde uygulanabilirlik bulmaktadır. Nanopartiküller, geçmişte uygulanan zararları yüzünden çevrede bulunan kontaminantların temizlenmesi için de kullanılabilir (Biswas ve Wu, 2005).

Nanopartiküllere maruz kalmanın belirlenmesi, olası sağlık etkileri için önemli bir husustur. Mesleki ortamlarda kimyasal maddelere ve partiküllere maruz kalma ile ilgili pek çok çalışma olmasına rağmen nanopartiküllere maruz kalma ile ilgili veriler henüz yeni yeni ortaya çıkmaktadır. Sadece mesleki ortamlarda değil, aynı zamanda araştırma laboratuvarlarında nanopartiküllerle çalışmak ve kullanmak için sınırlı sayıda veri ve yönergeler bulunmaktadır. Spesifik nanopartikül sistemi uygulamaları için solunum koruyucu (örn, maske) seçimi için bilgi yetersizliği nedeniyle yeterli kurallar bulunmamaktadır. Kasıtlı olmayan nanopartiküllerin çevreye salınması ile bilinmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir (Örn. yeni bir toksin sınıfını araştıran nanotıp). Bunların çevresel etkileri birçok faktör tarafından belirlenir, en önemli faktörlerden birincisi ortamda kalış süresi (maruziyet süresi) dir. Nanopartiküller, yüzeylere hızlı difüze olması ve çökmesi ile daha büyük parçacıklarla pıhtı oluşturması ve yarı-uçucu bileşenlerin buharlaşması nedeniyle ortamda kısa kalış sürelerine sahiptir. Bununla birlikte, birikim modu partiküllerine bağlı olan nanopartiküller esasen birikim modu partikülleri kadar atmosferde kalır ve atmosferik kimya ve fizikte yer alırlar (Jakab vd., 1992).

Nanopartiküller çevreye salındığında, çevreye taşınmaları, maruz kalma ve etkilerinin değerlendirilmesinde kritik parametredir. Tehlike altındaki sistemler arasında, yeraltı akiferi ve su arıtma tesisi filtreleri de bulunmaktadır. Çevreye serbest bırakılması amaçlanmayan nanopartiküller için düşük mobilitelere sahip olması arzu edilmekle birlikte, çevreye dağılmak üzere tasarlanan nanomalzemeler için yüksek hareketlilik arzulanmaktadır (Zhang ve Wang, 1997). Nanopartiküllerin biyoyararlanımı ve toksisitesi büyük oranda bilinmemektedir. Nanoteknolojinin alanı, farklı sektörlerde geniş bir vaat ve uygulanabilirliğe sahiptir. Yukarıdada bahsedildiği gibi atmosferdeki nanopartiküller ya sabit yada hareketli kaynaklardan gelir. Bu nanopartiküllerin bir kısmı doğrudan yanma (combustion) kaynaklarından diğer kısmı ise aşırı sıcak doymuş buharların ortam sıcaklığına kadar soğutulması ile çekirdeklenme ve yoğunlaşma süreçleri ile oluşur. Ayrıca, atmosferde kimyasal reaksiyonlar, nükleasyon parçacıkları üreterek oldukça düşük bir doyma basıncına sahip kimyasal türlere yol açabilir (Friedlander ve Pui; Biswas ve Wu, 2005; Sioutas vd., 2005; Navarro vd., 2008). Bu sebeple, bu süreçlerde yer alan herhangi bir çevresel veya meteorolojik faktörler örneğin sıcaklık, bağıl nem, atmosferik türbülans vs. atmosferdeki nanopartiküllerin konsantrasyonunu etkileyebilir (Navarro vd., 2008). Aynı zamanda, farklı kaynaklardan gelen bu nanopartiküllerin fizikokimyasal özellikleride farklı olabilir. Organizmalarla etkileşen bu nanopartiküller organizmaları daha fazla etkileyebilir. Çünkü nanopartiküllerin toksisitesi başlıca boyut ve yüzey alanına bağlı olduğu bulunmuştur (Nel vd., 2006; Navarro vd., 2008). Bu sebeple, nanoteknolojinin hızla gelişmesiyle üretilen nanopartiküllerin, çevresel etkileri ve potansiyel sağlık üzerine tehlikeleri hakkında endişeleri ortaya çıkarmıştır (Nel vd., 2006; Service, 2005).

3. Bal Arıları Üzerine Etkileri

Bal arıları insan hayatının ve bitki aleminde doğal hayatın devam etmesi gibi önemli roller üstlenmektedir. Arılar, polen toplarken çiçek ve ağaçların döllenmesinde büyük katkıları olmaktadır. Dünyanın pek çok kısmında yetiştiriciliği yapılan bal arılarından bal, balmumu, arı sütü, arı zehri, polen, propolis gibi insan sağlığı ve beslenmesi yönünden son derece değerli ürünleri üretmesi ve toplaması yanında doğal ve tarımı yapılan bitkilerde tozlaşma hizmetleri ile de doğal denge ve tarım üretiminde de hayati öneme sahiptirler (DevillersvePham-Delegue 2002).

Günümüzde, nanopartiküllerin bal arıları üzerine etkisini değerlendiren çalışmalar oldukça az sayıda olup, titanyum dioksit, palladyum, platin ve bor nanopartiküllerinin bal arıları üzerine etkisinin değerlendirildiği çalışmalar vardır. Platin grubu elementler doğada nadiren bulunur ve sadece antropojenik aktivitelerle çevreye yayılır. Birçok teknoloji, tıp ve özellikle katalitik konvertör gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Bu kullanımına rağmen, çevre, bunları ortadan kaldırmaya (yok etme) yönelik yetersizliğinden dolayı platin grubu elementler çevrede birikmektedir (Ek vd., 2004). Özellikle, palladyum (Pd) yol kenarındaki tozlarda ve topraklarda gözlenmiştir (Whitely ve Murry, 2003; Zereini, 2007; Leopold vd., 2008). Çiçekler, rüzgarların etkisiyle yol kenarındaki bu tozlarla kirlenir ve arıların tozlaşma sırasında bunlara maruz kalması beklenir. Dağlıoğlu vd., 2015, bal arısını (*Apis mellifera*) 48 ve 96 saat, PVF+(Polivinil ferrosen) K₂PdCl₄ ve Pt/PVF+ nanopartikülüne maruz bırakmışlardır. Hesaplanan LC₅₀ değerine göre Pd/PVF+ nanopartikülü de dahil olmak üzere her üç maddenin maruz kalma süresi uzadıkça aynı toksik etkiyi gösterebilmesi için gerekli miktarlarının azaldığı kaydedilmiştir. Ayrıca, toksik etki, maruz kalma süresine bağlı olarak oldukça arttığını kaydetmişlerdir. Dağlıoğlu vd., 2016 Pd/PVF+ nanopartikülünde Pt/PVF+ nanopartikülü gibi toksik etkisinin maruz kalma süresine bağlı olarak değiştiğini kaydetmişlerdir. Titanyum dioksit nanopartikülü (TiO₂), güneş kremi, kozmetik

ürünler, boyalar, gıda katkı maddelerinin yanısıra hava, toprak ve suyun çevresel dekontaminasyonu ve inşaat malzemelerinde dahil olduğu geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Aitken vd., 2006; Choi vd., 2006; Esterkin vd., 2005). Bu tür ürünlerin yaygın kullanımıyla birlikte çevreye salınımının artması muhtemel olacaktır. Metal ve metal oksit nanopartiküllerinin arılar üzerindeki etkisine Özkan vd 2014 çalışmasında akut toksisitesini değerlendirmişlerdir. Buna göre, TiO₂, ZnO-TiO₂ ve Ag-TiO₂ nanopartiküllerinin toksik etkileri maruz kalınan konsantrasyona ve maruz kalma süresine bağlı olarak arttığını kaydetmişlerdir. 96 saat için LC₅₀ değerleri TiO₂ için 5.865 mgL⁻¹, ZnO-TiO₂ için 6.315 mgL⁻¹ ve Ag-TiO₂ için ise 312.845 mgL⁻¹ olarak hesaplanmışlardır. Bor nanopartikülleri, potansiyel bir yakıt kaynağı olarak ve ayrıca tıp araştırmalarında kullanılmıştır (Petersen vd., 2008). Roketler için katı bir itici olarak ve hızlı enerjisi salınımı ve istenen yanma ısısı nedeniyle silah itici olarak kullanılır (Risha vd., 2003; Kaste ve Rice, 2004; Liu vd., 2010). Dağlıoğlu, vd., 2015, *Apis mellifera* (bal arısı) üzerinde nano bor ve non-nano bor partiküllerinin akut toksisitesini karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Bal arısının 48 ve 96 saat maruz kalma süresinde, 0.001, 0.01, 0.1 ve 1 mg/L konsantrasyonlarında nano ve non-nano bor parçacıklarının LC₅₀ değerleri hesaplanmıştır. Sırasıyla bu değerler; 229.0 mg/L, 0.339 m/L ve 62.3 mg/L, 4.6 mg/L dir. Bu sonuçlara göre, nano bor 96 saatte oldukça toksik olduğu kaydedilmiştir. Genel olarak, bor partiküllerinin maruz kalma süresi uzadıkça tüm konsantrasyonların toksik etkilerinin arttığını kaydedilmiştir.

4. Literatür

Aitken, R.J., Chaudhry, M.Q., Boxall, A.B.A., Hull, M., (2006). Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends. *Occup. Med.* 56, 300e306. Biswas, P., Wu, W. C-Y. 2016. Nanoparticles and the Environment. *SSN 1047-3289 J. Air & Waste Manage. Assoc.* 55:708–746.

Biswas, P., Wu, W. C-Y. (2016). Nanoparticles and the Environment. *SSN 1047-3289 J. Air & Waste Manage. Assoc.* 55:708–746.

Budak GG, (2012) Gıda sektöründe nanoteknoloji ve insan sağlığı.

Capek, I. 2010. Nanosensors based on metal and composite nanoparticles and nanomaterials. Nanoscience and nanotechnologies. UNESCO EOLSS Publication.

Chang, M.C.O., Chow, J.C., Watson, J.G., Hopke, P.K., Yi, S.M., England, G.C. (2004). Measurement of Ultrafine Particle Size Distributions From Coal-, Oil-, and Gas-Fired Stationary Combustion Sources; *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 54, 1494-1505.

Choi, H., Stathatos, E., Dionysiou, D.D. (2006). Sol-gel preparation of mesoporous photo catalytic TiO₂ films and TiO₂/Al₂O₃ composite membranes for environmental applications. *Appl. Catal. B Environ.* 63, 60-67.

Crane, M., Handy, R.D., Garrod, J., Owen, R. (2008). Ecotoxicity test methods and environmental hazard assessment for engineered nanoparticles. *Ecotoxicology*, 17, 421-437.

Dağlıoğlu, Y., Kabakçı, D., Akdeniz D., 2015. Toxicity of Nano and non-nano Boron Particles on *Apis mellifera* (honey bee). *Res. J. Chem. Env. Sci.* Vol 3 [3] June 2015. 06-13.

Dağlıoğlu, Y., Kabakçı, D., Akdeniz D., Çelebi, M.S. (2015). Determining the acute toxic effects of Poly(vinylferrocenium) supported platinum nanoparticles (Pt/PVF⁺) on *Apis mellifera*. *Mugla journal of science and technology*, vol 2, no 2, pp.1-8.

Dağlıoğlu, Y., Önalın, Ş., Çelebi, S.M., Kabakçı, D., Akdeniz, G. (2015). The Evaluation of Toxic Effects of Poly(vinylferrocenium)-Supported Palladium NPS (Pd/PVF⁺) on *Apis mellifera* (Honey bee) ". *International journal of development research*. Vol. 5, Issue, 06, pp. 4577-4583.

Devillers, J, (2002). Acute toxicity pesticides to *honey bee*. In: Devillers, J, Pham-Delegue, MH,eds. *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*, Taylor and Francis, London, pp 56-66.

Donaldson, K., Li, X.Y., MacNee, W. (1998). Ultrafine (Nanometre) Particle Mediated Lung Injury; *J. Aero. Sci.* 29, 553-560.

Ek, K.H. (2004). Morrison GM, Rauch S: Environmental routes for platinum group elements to biological materials – a review. *Science of the Total Environment*, 334–335, 21– 38. doi: 10.1016/j.scitotenv.04.027.

Esterkin, C.R., Negro, A.C., Alfano, O.M., Cassano, A.E. (2005). Air pollution remediation in a fixed bed photocatalytic reactor coated with TiO₂, *AIChE J.* 51, 2298-2310.

Handy, R.D., Owen, R., Valsami-Jones, E. (2008). The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. *Ecotoxicology* 2008, 17, 287–314

Hogan, C.J., Lee, M.H., Biswas, P. (2004). Capture of Viral Particles in Soft X-Ray-Enhanced Corona Systems: Charge Distribution and Transport Characteristics; *Aero. Sci. Technol.* 38, 475-486.

Jakab, G.J., Risby, T.H., Hemenway, D.R. (1992). Use of Physical Chemistry and In Vivo Exposure to Investigate the Toxicity of Formaldehyde Bound to Carbonaceous Particles in the Murine Lung; Boston: Health Effects Institute, Report no. 53.

Kaste, P.J., Rice, B.M. (2004). Novel energetic materials for future force: the army pursues the next generation of propellant and explosives. *The AMPTIAC Quarterly*, 8 (2004) pp 84-90.

- Kittelson, D.B. (1998). Engines and Nanoparticles: A Review; J. Aero. Sci. 1998, 29, 575-588.
- Leopold, K., Maier, M., Weber, S., Schuster, M. (2008). Long-term study of palladium in road tunnel dust and sewage sludge ash.- *Environmental Pollution* 156, 341-347, 2008.
- Liu X, Wazne M, Han Y, Christodoulatos C, Jasinkiewicz LK (2010). Effects of natural organic matter on aggregation kinetics of boron nanoparticles in monovalent and divalent electrolytes. *Journal of colloid and interface science* 348 pp 101-107.
- McWilliams A. 2006. BBC Report highlights. nanotechnology: a realistic market assessment, [http://www. Bccresearch.com/report/NANO31B.html](http://www.Bccresearch.com/report/NANO31B.html).accessed.
- Nagarajan, R. (2008). Nanoparticles: Building Blocks for Nanotechnology. Chapter DOI:10.1021/bk-2008-0996.ch001.
- Özkan, Y., Irende, İ., Akdeniz, G., Kabakçı, D., Sökmen M., 2014. Evaluation of the Comparative Acute Toxic Effects of TiO₂, Ag-TiO₂ and ZnO-TiO₂ Composite Nanoparticles on Honey Bee (*Apis mellifera*) J. Int. Environmental Application & Science, Vol. 10(1): 26-36.
- Petersen MS, Petersen CC, Agger R, Suttmuller M, Jensen MçR, Sorensen PG, Mortensen MW, Hansen T, Bjornholm T, Gundersen HJ, Huiskamp R, Hokland M (2008). Boron nanoparticles inhibit tumour growth by boron neutron capture therapy in the murine B16-OVA model. *Anticancer Res.*, 28 pp 571-576.
- Risha GA, Evans B J, Boyer E, Wehrman RB, Kuo KK (2003). "Nano-sized aluminum and boron-based solid-fuel characterization" 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE joint propulsion conference and exhibit, Huntsville, AL.
- Vincent, J.H.; Clement, C.F. (2000). Ultrafine Particles in Workplace Atmospheres; *Philos. Trans. Royal Soc. Lond. Series a-Math. Phys. Eng. Sci.* 358, 2673-2682.
- Whitely, JD. and Murry, F. (2003). Anthropogenic platinum group element (Pt, Pd and Rh) concentrations in road dusts and roadside soils from Perth.- *Western Australia, Sci Total Environ Dec* 30; 317(1-3):121-35.
- Zereini, F., C. Wieseman and W. Pütwann, (2007). Changes in palladium, platinum and rhodium concentrations and their spatial distribution in soils along a major highway in Germany from 1994 to 2004.- *Environmental Science and Technology* 41, 451-456, 2007.
- Zhang, W.; Wang, C. (1997). Nanoscale Metal Particles for Dechlorination of PCE and PCBs; *Environ. Sci. Technol.* 1997, 31, 2154-2156.