



DİŞ HEKİMLİĞİNDE NANOPARTİKÜLLERİN KULLANIM ALANLARI

NANOPARTICLES APPLICATION AREAS IN DENTISTRY

Yrd. Doç. Dr. Perihan OYAR*

Makale Kodu/Article code: 1521

Makale Gönderilme tarihi: 27.02.2014

Kabul Tarihi: 03.06.2014

ÖZET

Nanoteknoloji, nanoboyuttaki (atom ve molekül) yapılar ve bu yapıların içerikleriyle ilgilenir. Nanomateryaller üstün özelliklerinden dolayı tüm bilim dallarında yeni bir ilgi alanı oluşturmuştur. Nanopartiküller büyük yüzey alanı-hacim oranına sahip olduklarından dolayı en etkili antibakteriyel ajan olarak kullanılmaktadırlar. Nanopartiküller biyofilm oluşumunun önlenmesi, çürük kontrolü, remineralizasyon, periodontal enfeksiyon, kök kanal dezenfeksiyonu, dentin hassasiyetinin giderilmesi gibi diş hekimliğinin pek çok alanında kullanılmaktadırlar. Ancak bazı nanopartiküller oral dokular için toksik olabilirler. Bunun için nanopartiküllerin etkileri ile ilgili daha ileri çalışmalar yapılmalıdır. Gelecekte nanoteknoloji diş hekimliği, sağlık ve insan hayatını geçmişte yapılmış olan buluşlardan çok daha etkili bir şekilde değiştirecektir.

Anahtar kelimeler: Diş hekimliği, nanopartikül, nanoteknoloji

ABSTRACT

Nano-structured materials have been receiving Nano-technology deals with the properties of structures and their components at nanoscale (atoms and molecules) dimensions. Nano-structured materials have created a new interesting field in all sciences for continuous investigations due to their unique properties. Nanoparticles have been used as one of the most effective antibacterial agents due to their large surface area to volume ratios. Nanoparticles can be used in dentistry as oral biofilm management, caries control, remineralization, management of dentinal hypersensitivity, periodontal infection, root canal disinfection. However, certain nanoparticles may be toxic to oral tissues. For this reason, the effect of nanoparticles should be investigated in future studies. Nano-technology will change dentistry, healthcare, and human life more profoundly than many developments of the past.

Keywords: Dentistry, nanoparticles, nanotechnology

GİRİŞ

"Nano" çok küçük anlamına gelen yunanca bir kelimedir. Nanopartiküller yaklaşık olarak 1-100 nm arasındaki nanoboyutlu materyallerdir ve prizma, çubuk, küp, küre gibi farklı morfolojilere sahiptirler. Nanopartiküller nanoyapılar, nanokristaller, nanokaplamalar, nanotüpler, ve nanofiberler gibi yapı ve formlarına göre sınıflandırılırlar.^{1,2} Nano-metrik

partiküllerin en önemli özelliği mikro-metrik partiküllere göre çok daha geniş spesifik yüzey alanına sahip olmalarıdır.³⁻⁵ Nanopartiküller yüksek yüzey enerjilerinden dolayı diğer materyallere ve birbirlerine güçlü bağlanırlar (agglomeration).^{6,7}

İnorganik ve metal esaslı nanoyapılı materyaller eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı tüm bilim dallarında yeni bir ilgi alanı oluşturmuştur. Bunların kullanımı, yeni pratik ürünlerin gelişmesine yol açmıştır.⁸ Nanopartiküller metal-mikrop

* Hacettepe Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Diş-Protez Teknolojisi,



etkileşimleri, mikrobiyal korozyon ve biyomineralizasyon alanlarını içeren pek çok biyoteknolojik uygulamalarda büyük role sahiptirler.⁹ Bakterilerin konvansiyonel ve dar spektrumlu antibiyotiklere göre nanopartiküllere karşı direnç kazanma ihtimalleri daha azdır.¹⁰ Son yıllarda yapılan çalışmalar özellikle metal oksit nanopartiküllerin iyi antibakteriyel etkiye sahip olduğunu göstermiştir.^{11,12} Nanopartiküllerin dental materyallerin suya direncini ve dental restorasyonların mekanik özelliklerini arttırdığı bulunmuştur.^{3,13-16}

Bu derlemenin ana hedefi nanopartiküllerin diş hekimliği alanında kullanımları hakkında bilgi vermektir.

TEDAVİ ALANINDA

Biyofilm oluşumunun sekonder çürük oluşumuna ve bunun rezin esaslı dental kompozitlerin başarısızlığına sebep olacağı bilinir. Enfeksiyon oluşumu bakterilerin yüzeye tutulumu ile başladığı için bakterinin aktivite göstermeden inhibisyonu gerekir.¹³ Dental kompozite ilave edilmiş çinko oksit nanopartikülleri *S. Sorbrinus* biyofilm oluşumunu 10% dan daha az olmayan konsantrasyonlarda 3 günlük test süresinde önemli derecede inhibe ettiği görülmüştür. Nanopartikül doldurucu dental kompozitler diş dokusuna adezyonu ve materyalin kırılma dayanıklılığını artırmıştır.¹⁷

Küçük miktarlarda (%3 w/w) titanyum dioksitin (TiO₂) cam ionomere eklenmesinin materyalin antibakteriyel ve mekanik özelliklerini geliştirdiği bulunmuştur.¹⁸ Moshaverinia ve arkadaşları,¹⁹ hidroksiapatit (HA) ve florapatit nanobiyoseramiklerin cam ionomer simana eklenmesinin simanın dentine bağlanma ve mekanik direncini artırdığını bulmuşlardır.

Gümüş iyonları dental rezin kompozitlerde antimikrobiyal bileşenler olarak düşünülür.²⁰ Işıklı sertleşen akışkan kompozit rezin materyalleri gümüş hidrosolün ilavesiyle antibakteriyel ürün olarak fonksiyon görebilirler. Diş çürüğü oluşumunu azaltmak için gümüş hidrosolü rezin kompozit matrisinden zamanla artan bir oranda salınır.²¹ Gümüş nanopartikülleri ile doldurulmuş epoksi kompozitlerin bükülebilme özelliklerinin arttığı görülmüştür.²² Gümüş nanopartiküllerinin ilave edildiği adezivlerin konvansiyonel adezivlere göre daha kaba yüzeylere sahip olduğu ve bakteriyel adezyonun daha az olduğu gösterilmiştir.²⁰

Quaternary ammonium poly (ethylene imine) (QA-PEI) nanopartikülleri restoratif kompozit rezinin antibakteriyel etkisini artırmak amacıyla geliştirilmiştir.^{23,24} % 1 w/w konsantrasyonunda QA-PEI nanopartiküllerinin 3 aylık *S. Mutans*'in in vitro büyümesini inhibe ettiği bulunmuştur.²²

HA partiküllerinin remineralizasyonu sağladığı ve oral biyofilm oluşumu üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir.²⁵

Nanopartiküller bonding ajanlara (nanosolüsyon) ilave edilebilirler. Bunlar mükemmel karışım ve homojenlik sağlarlar. Silika nanodoldurucular yüksek bağlantı dayanıklılığına katkıda bulunurken,²⁶ partikül birikimini önler ve bonding ajanın kullanmadan önce çalkalamasını gerektirmezler.

PROTEZ ALANINDA

Diş hekimliğinde karbon nanomateryal uygulamalarının bir kullanım alanı karbon-fiber ile kuvvetlendirilmiş epoksi rezin postlardır. Bunlar dentine yakın elastik modülüsüne sahip oldukları için aşınmazlar, geleneksel metal döküm post işlemlerinden daha kısa sürede yapılırlar ve daha ucuz klinik işlemler gerektirirler.²⁷

Poli metil metakrilat (PMMA) çiğneme kuvvetleri altında kırığa hassas olan nispeten düşük kırılma dayanıklılığına sahiptir.²⁸ Protez kaidesinin dayanıklılığını artırmak için PMMA'ın içine belirli oranlarda karbon nanopartikülleri katılması polimerin bükülme dayanıklılığı ve yorulma performansını arttırmıştır. Mekanik özellikleri önemli oranda artmış olsa da karbon nanotüp uygulamalarının bir dezavantajı protez kaidesinin siyah renkli olmasıdır.^{29,30}

Protez kaide materyalleri içinde gümüş nanopartikülleri kullanılarak antibakteriyel etki sağlanmıştır ve protez stomatitisini önlemek için potansiyel bir yaklaşım olabileceği ileri sürülmüştür.^{22,31}

Zeolit bir alüminyum silikat kristal yapısıdır. Gümüş-çinko-zeolit PMMA'ya antibakteriyel amaçla düşük oranda eklenmiştir,³² fakat materyale %25 zeolit ilavesi çarpma dayanıklılığı ve bükülme dayanıklılığının azalmasına yol açmıştır.³¹⁻³³

Diş hekimliğinde implant uygulamaları için, karbon nanotüpler titanyum implantların yüzeyini kaplamada kullanılabilir.^{34,35}

Yumuşak astar materyallerine antifungal etki için belirli konsantrasyonlarda gümüş nanopartikülleri ilave edilmiştir.^{36,37}



Nanodoldurucular polivinilsiloksanın özelliklerini geliştirmek amacıyla ölçü materyaline ilave edilerek daha akışkan, daha az boşluklu ve daha hassas detay özelliği göstermişlerdir.^{26,38,39} Belirli konsantrasyonlarda nanopartiküller silikon esaslı elastomerlere materyalin mekanik özelliklerini arttırmak için eklenmiştir.^{40,41} Gümüş-zirkonyum fosfat nano-inorganik antibakteriyel ajanların silikon yapı içinde iyi denecek derecede dağılabildiği, kümelenmediği ve gümüş nanopartiküllerinin akril formülasyonu ile uyumlu olduğu gösterilmiştir.⁴² Enfekte ölçüden alçı modele virüs, mantar, bakteri kontaminasyonunu azaltmak amacıyla ölçü maddesine gümüş nanopartikülleri eklenmiştir.⁴³

Nanokompozitten yapılmış yapay dişler üretilmiştir. Bu yapay dişlerde, nano boyutlu inorganik doldurucular matris içinde herhangi bir birikim olmaksızın homojen olarak dağılırlar. Bu yüzden, yüzeyin düzgünlüğü dişler aşındığında bile korunabilir. Testler nanokompozit dişlerin akrilik dişlerden daha uzun ömürlü ve aşınmaya karşı yüksek dirence sahip olduğunu göstermiştir.⁴⁴⁻⁴⁶

Organofilik montmorillonite'in, PMMA'nın termal stabilitesini önemli oranda arttırdığı, polimerizasyon büzülmesi problemini azalttığı ve mükemmel biyouyumluluk gösterdiği bulunmuştur.⁴⁷

CERRAHİ ALANINDA

Hücrelerin birbirleriyle ve çevresiyle çoklu etkileşimleri iyileşmeyi etkilemektedir.⁴⁸ Kemik defektlerinin tedavisinde *chitosan-çok duvarlı karbon nanopartikül* bileşimi fibroblastlara adezyonu sağlayarak nanopartikül yüzeyi üzerine apatit kristal formasyonu ve osteoblast proliferasyonunu sağlayabilir.⁴⁹ Çalışmalar karbon nanotüp/karbon nanofiberlerin osteokondüktif olmalarından dolayı kemik rejenarasyonu için çok iyi olduğunu göstermiştir.⁵⁰

Nanopartiküller diş hekimliğinde lokal anestezi amacıyla kullanılırlar. Milyonlarca aktif analjezik mikron boyutlu suspansiyon hastanın diş etine aşılır ve nanorobotlar gingival sulkus, lamina propia, dental tübüller yoluyla pulpaya ulaşırlar. Diş hassasiyetini azaltmak amacıyla analjezik dental robotlar pulpaya aşılabilirler.^{51,39}

Nano elektrokimyasal sistemler bakteri, virüs, mantar ve DNA tespiti için kullanılabilirler. Bunlar oral kanserlerin tespitinde de çok faydalıdır.⁴⁰

Nanopolimerik kristal HA'nın mikropürüzlendirilmiş titanyuma eklenmesinin kemik-implant birleşim yüzeyini artırmış olduğu bulunmuştur.⁵²

ENDODONTİ ALANINDA

Biyofilm oluşumunu önlemek ve anti adeziv yüzeyler yaratmak için biyomateryal yüzeyinin fizikokimyasal modifikasyonu gerekir.⁵³ Kışon ve arkadaşları⁵⁴ yalnızca çinko oksit veya chitosan nanopartikülleri ile çinko oksitin kombinasyonu gibi katyonik antibakteriyel nanopartiküller ile tedavi edilen kök kanal yüzeyi üzerinde dentine yapışmış *E. Faecalis*'in sayısında azalma olduğunu göstermiştir.

PERİODONTAL TEDAVİ ALANINDA

Nanopartiküller bazı hücreler içine penetre olabildikleri için ilaç salınımında kullanılabilen çok popüler bir materyaldir.^{55,56} ve bu amaçla periodontal tedavide kullanılabilirler.^{57,58}

ORTODONTİ ALANINDA

Gümüş nanopartikülleri ortodontik tedavide dental braketerin dişe bağlanmasında kullanılan adezivlere eklendiğinde antibakteriyel etki sergilerler.^{59,60} Gümüş nanopartiküllerinin ilave edildiği adezivlerin konvansiyonel adezivlere göre daha kaba yüzeylere sahip olduğu ve bakteriyel adezyonun daha az olduğu gösterilmiştir.⁶¹

RADYOLOJİ ALANINDA

Nanophosfor scintilatorlar kullanılarak elde edilen dijital radyograflarda, radyasyon dozu azaltılır ve yüksek kalitede görüntü elde edilir.⁶²

DİĞER ALANLARDA

Gümüş-zeolit nanopartikülleri ağız gargaralarına ve diş macunlarına ilave edilmişlerdir.³² Toz çinko sitrat ve asetat dental plak oluşumunu kontrol etmek için, toz titanyum dioksit ise beyazlaştırıcı olarak diş macunlarına eklenmiştir.^{63,64}

Karbon nanotüplerin proteine tutunma yeteneğinin bulunmuş olması bunların protein veya gen dağılımı için bir taşıyıcı olarak potansiyel role sahip olduğunu göstermiştir.^{65,66}

Quantum dot'lar (inorganik nanopartikül) hedeflenmiş hücresel yıkımında kullanılabilirler. Bunlar hedef hücrenin yüzeyindeki antikora bağlanır ve UV ışığı ile uyarıldığında, reaktif oksijen türleri açığa çıkarır



ve bu hedef hücre için öldürücü olabilir. Bu terapi malin hücreler ile mücadelede kullanılabilir.⁴⁹ Ag-zeolit ve Ag-zirkonyum fosfatın oral mikroorganizmalara karşı etkili olduğu bulunmuş ve oral bakım ürünlerinde kullanılmasının faydalı olabileceği ileri sürülmüştür.⁶⁷

ORAL KAVİTE İLE NANOPARTİKÜLLERİN BİYUYUMLULUĞU

Nanoteknoloji ürünlerinin insanlar için muhtemel toksisitesi ile ilgili bilgi sınırlıdır.⁶⁸ Nanomateryaller biyolojik membranlara geçebilirler, hücrelere, dokulara ve normalde daha büyük partiküllerin giremediği organlara girebilirler. Nanopartiküller inhalasyon ve sindirim yoluyla kana geçebilirler ve bazıları deriye penetre bile olabilirler. Katyonik partiküller veya yüksek yüzey reaktivitesine sahip partiküller çok daha toksik olabilirler. Daha hidrofobik ve daha zayıf dağılan partiküllerin daha toksik olduğu görülür.⁶⁹ ZnO genellikle güvenilir ve biyoyumlu olarak kabul edilir.⁷⁰ Çalışmalar göstermiştir ki, ZnO gibi bazı nano boyutlu metal oksitler seçici toksik etkiye sahiptirler.^{71,72} TiO₂'in normalde kullanılan konsantrasyonlarda toksik olmadığı düşünülür, fakat nano-TiO₂'in tehlikeli olabileceği düşüncesi son zamanlarda vardır.⁷³

Bazı çalışmalar karbon nanotüplerin memeli hücreleri için toksik olduğunu rapor etmişken.^{74,75} Diğerleri biyoyumlu olduğunu ileri sürmüşlerdir.^{76,77} Karbon nanotüp/karbon nanofiberler'de toksisitenin birinci kaynağı kobalt, nikel gibi katalizör metal artıklarından gelir.⁷⁸ Karbon nanotüp/karbon nanofiberler'de toksisitenin ikinci kaynağı bunların iğne şekilli, uzun fibröz yapılarından kaynaklanabileceğidir.⁷⁹ Nanotüplerin toksisitesi için en az 2 ya da daha çok bağımsız testlerin kullanılması önerilmiştir.⁸⁰

Toksikoloji ve biyodinamik çalışmalar silika, silikon ve chitosan nanopartiküllerinin oral yolla gelmesi durumunda nispeten güvenilir olduğunu göstermiştir.⁶⁸ Modifiye edilmemiş kompozitler ile kıyaslandığında kompozit rezin içinde bulunan OA-PEI nanopartikülleri toksik etki göstermemiştir.²² Gümüş diğer metaller ile kıyaslandığında, insan hücresi için daha az toksiktir ve yalnızca in vivo olarak çok düşük konsantrasyonlarda kullanılmıştır.⁸¹

SONUÇ

Nanoteknoloji diş hekimliği alanında bugün tahmin dahi edemeyeceğimiz pek çok yeni gelişmelere imkan sağlayacaktır. Gelecekte yeni dental mater-

yaller, yeni teşhis ve tedavi teknikleri ve farmakolojik yaklaşımlar gelişecek ve doku mühendisliği, biyoteknoloji, nanorobotlar ve nanomateryallerin kullanılmasıyla oral sağlığın mükemmel yakın olması sağlanacak ve ayrıca hastalıklardan korunma, teşhis ve tedavi alanında çok önemli gelişmeler olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Fayaz AM, Balaji K, Girila M, Yadav R, Kalaichelvan PT, Venketesan R. Biogenic synthesis of silver nano-particles and their synergistic effect with antibiotics: a study against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanomedicine* 2010;6:3-9.
2. Kavaz D. Nanoteknoloji. *Nanobülten* 2011;13:12-9.
3. Zhao J, Xie D. Effect of nanoparticles on wear resistance and surface hardness of a dental glass-ionomer cement. *J Compos Mater* 2009;43:2739-51.
4. Kuo MC, Tsai CM, Huang JC, Chen M. PEEK Composites reinforced by nano-sized SiO₂ and Al₂O₃ Particulates. *Mater Chem Phys* 2005;90:185-95.
5. Bayram C. İmplant teknolojisine nano yaklaşımlar. *Nanobülten* 2011;13:8-11.
6. Ibrahim Mohamed Hamouda. Current perspectives of nanoparticles in medical and dental biomaterials. *Journal of Biomedical Research*, 2012;26:143-51.
7. Preeti Satheesh Kumar, Satheesh Kumar, Ravindra C. Savadi, Jins John. Nanodentistry: A paradigm shift from fiction to reality. *J Indian Prosthodont Soc* 2011;11:1-6.
8. Dastjerdi R, Montazer M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on antimicrobial properties. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2010;5-18.
9. Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, ParR SJ, Lee HJ. Anti-microbial effects of silver nanoparticles. *Nanomed* 2007; 3: 95-101.
10. Pal S, Tak YK, Song JM. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol* 2007;27:1712-20.
11. Stobie N, Duffy B, McCormack DE, Colreavy J, Hidalgo M, McHale P. Prevention of *Staphylococcus*



- epidermidis biofilm formation using a low temperature processed silver-doped phenyltriethoxysilane sol-gel coating. *Biomater* 2008;8:963-9.
12. Stoimenov PK, Klinger RL, Marchin GL, Klabunde KJ. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir* 2002; 18: 6679-86.
 13. Waltimo T, Brunner TJ, Vollenweider M, Stark WJ, Zehnder M. Antimicrobial effect of nanometric bioactive glass *J Dent Res* 2007;86:754-7.
 14. Türkün ŞL, Uzer Çelik E. Antibakteriyel adeziv ile uygulanan kompozit ve nanofil kompozit restorasyonların bir yıllık klinik performansı. *G Ü Diş Hek Fak Derg* 2007;24:1-8.
 15. Gökay N, Türkün LŞ. Farklı kompozit rezin materyallerin aşınma ve sertlik özelliklerin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *A Ü Diş Hek Fak Derg* 2002;28:263-70.
 16. Ulusoy N, Gökay O, Müjdeci A. Farklı kalınlıklarda uygulanan yeni geliştirilmiş üç kompozitin yüzey sertliği. *A Ü Diş Hek Fak Derg* 2000;27:29-35.
 17. Aydin Sevcik B, Hanley L. Antibacterial activity of dental composites containing zinc oxide nanoparticles. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2010;94:22-31.
 18. Elsaka SE, Hamouda IM, Swain MV. Titanium dioxide nanoparticles addition to a conventional glass-ionomer restorative: Influence on physical and antibacterial properties. *J Dent* 2011;39:589-98.
 19. Moshaverinia A, Ansari S, Moshaverinia M, Roohpour N, Darr JA, Rehman I. Effect of incorporation of hydroxyapatite and fluoroapatite nanobioceramics into conventional glass ionomer cements (GIS). *Acta Biomaterialia* 2008;4:432-40.
 20. Moszner N, Salz U. Recent developments of new components for dental adhesives and composites. *Macromol Mater Eng* 2007; 292: 245-71.
 21. Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M, Uchida M. Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions. *Dent Mater* 2000; 16: 452-5.
 22. Mariatti M, Azizan A, See CH, Chong KF. Effect of silane-based coupling agent on the properties of silver nanoparticles filled epoxy composites. *Compos Sci Technol* 2007; 67: 2584-91.
 23. Lee HH, Chou KS, Shih ZW. Effect of nano-sized silver particles on the resistivity of polymeric conductive adhesives. *Inter J Adhes Adhes* 2005;25:437-41.
 24. Beyth N, Yudovin-Farber I, Bahir R, Domb A. J, Weiss E. I. Antibacterial activity of dental composites containing quaternary ammonium polyethylenimine nanoparticles against *Streptococcus mutans*. *Biomaterials* 2006;27:3995-4002.
 25. Venegas SC, Palacios JM, Apella MC, Morando PJ, Blesa MA. Calcium modulate sinter actions between bacteria and hydroxyapatite. *J Dent Res* 2006;85:1124-8.
 26. Rybachuk AV, Chekman IS, Nebesna TY. Nanotechnology and nanoparticles in dentistry. *Pharmacol Pharm* 2009;1:18-20
 27. Fredriksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbonfiber-reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent* 1998;80:151-7.
 28. Meng T, Latta M. Physical properties of four acrylic denture base resins. *J Contemp Dent Practise* 2005;6:93-100.
 29. Larson WR, Dixon DL, Aquilino SA, Clancy JM. The effect of carbon graphite fiber reinforcement on the strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 1991;66:816-20.
 30. Ekstrand K, Ruyter IE, Wellendorf H. Carbon/graphite fiber reinforced poly (methylmethacrylate): properties under dry and wet conditions. *J Biomed Mater Res* 1987;21:1065-80.
 31. Homouda MI. Current perspectives of nanoparticles in medical and dental biomaterials. *J Biomed Res* 2012; 26: 143-51.
 32. Lee C, Lee M, Nam K. Inhibitory effect of PMMA denture acrylic impregnated by silver nitrate and silver nano-particles for candida albicans. *J Korean Chemic Soci* 2008; 52: 380-6.
 33. Casemiro LA, Gomes-Martins CH, Pires-de-Souza Fde C, Panzeri H. Antimicrobial and mechanical properties of acrylic resins with incorporated silver-zinc zeolite - Part 1. *Gerodontology* 2008;25:187-94.
 34. Kay JF. Calcium phosphate coatings for dental implants. *Dent Clin North Am* 1992;36:1-18.
 35. Zeng HT, Lacefield WF. XPS, EDX and FTIR analysis of pulsed laser deposited calcium phosphate bioceramic coatings: the effects of



- various process parameters. *Biomaterials* 2000;21:23-30.
36. Chladek G, Kasperski j, Barszczewska-Rybarek I and Źmudzki J. Sorption, solubility, bond strength and hardness of denture soft lining incorporated with silver nanoparticles. *Int J Mol Sci* 2013;14:563-74.
37. Chladek, G, Mertas, A, Barszczewska-Rybarek, I, Nalewajek, T, Zmudzki, J, Król, W,
38. Lukaszcyk, J. Antifungal activity of denture soft lining material modified by silver nanoparticles-A pilot study. *Int J Mol Sci* 2011;12:4735-44.
39. Kumar SR, Vijayalakshmi R. Nanotechnology in dentistry. *Indian J Dent Res* 2006;17:62-9
40. Verma SK, Prabhat KC, Goyal L, Rani M, Jain A. A critical review of the implication of nanotechnology in modern dental practice. *Natl J Maxillofac Surg* 2010;1:41-4.
41. Han Ying. Kiat-amnuay S, Powers JM, Zhao Y. Effect of nano-oxide concentration on the mechanical properties of a maxillofacial silicone elastomer. *J Prosthet Dent* 2008;100:465-73.
42. Frogley MD, Ravich D, Wagner HD. Mechanical properties carbon nanoparticle-reinforced elastomers. *Comp Sci Technol* 2003;63:1647-54.
43. Xie D, Weng Y, Guo X, Zhao J, Gregory RL, Zheng C. Preparation and evaluation of a novel glass-ionomer cement with antibacterial functions. *Dent Mater* 2011;27:487-96.
44. Kassaei MZ, Akhavan A, Sheikh N, Sodaga A. Antibacterial effects of a new dental acrylic resin containing silver nanoparticles. *J Appli Polym Sci* 2008; 110: 1699-3.
45. Ghazal M, Hedderich J, Kern M. Wear of feldspathic ceramic, nanofilled composite resin and acrylic resin artificial teeth when opposed to different antagonists. *Eur J Oral Sci* 2008;116:585-92.
46. Ghazal M, Albashaireh ZS, Kern M. Wear resistance of nanofilled composite and feldspathic ceramic artificial teeth. *J Prosthet Dent* 2008;100:441-8.
47. Salahuddin N, Shehata M. Polymethylmethacrylate-montmorillonite composites: preparation, characterization and properties. *Polymer*. 2001;42:8379-85.
48. Lütfoğlu M. Periodontal rejenerasyon ve büyüme faktörleri. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2007; 17:35-43.
49. J. Yang, Yao Z, Tang C, Darvell BW, Zhang H, Pan L, Liu J, Chen Z. Growth of apatite on chitosan multiwall carbon nanotube composite membranes. *Appl. Surf. Sci.* 2009;255:8551-5.
50. Zanello LP, Zhao B, Hu H, Haddon RC. Bone cell proliferation on carbon nanotubes. *Nano Lett* 2006;6:562-7.
51. Freitas RA Jr. Nanodentistry. *J Am Dent Assoc* 2000;131:1559-66
52. Masahiro Yamada, Takeshi Ueno, Naoki Tsukimura, Takayuki Ikeda, Kaori Nakagawa, Norio Hori, Takeo Suzuki, Takahiro Ogawa. Bone integration capability of nanopolymorphic crystalline hydroxyapatite coated on titanium implants. *International Journal of Nanomedicine* 2012;7 859-73.
53. Rodrigues LR. Inhibition of bacterial adhesion on medical devices. *Adv Exp Med Biol* 2011;715:351-67.
54. Kishen A, Shi Z, Shrestha A, Neoh KG. An investigation on the antibacterial and antibiofilm efficacy of cationic nanoparticulates for root canal infection. *J Endod* 2008; 34: 1515-20.
55. Janes KA, Calvo P, Alonso MJ. Polysaccharide colloidal particles as delivery systems for macromolecules. *Adv Drug Deliv Rev* 2001;47:83-97.
56. Li X, Fan Y, Watari F. Current investigations into carbon nanotubes for biomedical application. *Biomed Mater* 2010;5:022001.
57. Kong LX, Peng Z, Li SD, Bartold M. Nanotechnology and its role in the management of periodontal diseases. *Periodontol* 2000 2006;40:184-196.
58. Derman S, Kızılbey K, Akdetse ZM. Polymeric nanoparticles. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2013;31:109-22.
59. Melo MA, Guedes SF, Xu HH, Rodrigues LK. Nanotechnology-based restorative materials for dental caries management. *Trends Biotechnol* 2013;31:459-67.
60. Borzabadi A, Borzabadi E, Edward L. Nanoparticles in orthodontics, a review of antimicrobial and anticaries applications. *Acta Odontol Scand* 2013;10 (basımda).
61. Ahn SJ, Lee SJ, Kook JK, Lim BS. Experimental antimicrobial orthodontic adhesives using nanofillers and silver nanoparticles. *Dent Mater*



- 2009;25:206-13.
62. Mupparapu, M. New nanophosphor scintillators for solid-state digital dental imagers. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:475-476.
63. Giersten E. Effects of mouth rinses with triclosan, zincions, copolymer, and sodium lauryl sulphate combined with fluoride on acid formation by dental plaque in vivo, *Caries Res* 2004;38:430-5.
64. Allaker RP. The use of nanoparticles to control oral biofilm formation. *J Dent Res* 2010; 89: 1175-1186.
65. Davis JJ, Green MLH, Hill HAO, Leung YC, Sadler PJ, Sloan J, Xavier AV, Tsang SC. The immobilization of proteins in carbon nanotubes. *Inorg Chim Acta* 1998;272:261-6.
66. Cui D. Advances and prospects on biomolecules functionalized carbon nanotubes. *J. Nanosci Nanotechnol* 2007;7:1298-1314.
67. Saengmee-anupharb S, Sriksirin T, Thaweboon B, Thaweboon S, Amornsakchai T, Dechkunakorn S, Suddhasthira T. Antimicrobial effects of silver zeolite, silver zirconium phosphate silicate and silver zirconium phosphate against oral microorganisms. *Asian Pac J Trop Biomed* 2013;3:47-52.
68. Seetharam R.N., Sridhar K.R., Nanotoxicity: threat posed by nanoparticles, *Curr. Sci* 2006;93:769-770.
69. Nel AE, Mädler L, Velegol D, Xia T, Hoek EM, Somasundaran P, Klaessig F, Castranova V, Thompson M. Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. *Nat. Mater* 2009;8:543-57.
70. Stoimenov PK, Klinger RL, Marchin GL, Klabunde KJ. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir* 2002;18:6679-86.
71. Reddy KM, Feris K, Bell J, Wingett DG, Hanley C, Punnoose A. Selective toxicity of zinc oxide nanoparticles to prokaryotic and eukaryotic systems. *Appl Phys Lett* 2007;90:213902.
72. Zhang LL, Jiang YH, Ding YL, Povey M, York D. Investigation in to the antibacterial behaviour of suspensions of ZnO nanoparticles (ZnO nanofluids). *J. Nanopart Res* 2007;9:479-89.
73. Blake DM, Maness PC, Huang Z, Wolfrum EJ, Jacoby WA, Huang J. Application of the photocatalytic chemistry of titanium dioxide to disinfection and the killing of cancer cells. *Sep Purif Methods* 1999;28:1-50.
74. Tian F, Cui D, Schwarz H, Estrada GG, Kobayashi H. Cytotoxicity of single-walled carbon nanotubes on human fibroblasts. *Toxicol In Vitro* 2006;20:1202-12.
75. Monteiro-Riviere NA, Nemanich RJ, Inman AO, Wang YY, Riviere JE. Multi-walled carbon nanotubes interactions with human epidermal keratinocytes. *Toxicol Lett* 2005;155:377-84.
76. Garibaldi S, Brunelli C, Bavastrello V, Ghigliotti G, Nicolini C. Carbon nanotube biocompatibility with cardiac muscle cells. *Nanotechnology* 2006;17:391-7.
77. Flahaut E, Durrieu MC, Remy-Zolghadri M, Bareille R, Baquey C. Investigation of the cytotoxicity of CCVD carbon nanotubes towards human umbilical vein endothelial cells. *Carbon* 2006;44:1093-9.
78. Vittorio O, Raffa V, Cuschieri A. Influence of purity and surface oxidation on cytotoxicity of multiwalled carbon nanotubes with human neuroblastomacells. *Nanomed Nanotechnol. Med* 2009;5:424-31.
79. Zhang YB, Xu Y, Li ZG, Chen T, Lantz SM, Howard PC, Paule MG, Jr Slikker W, Watanabe F, Mustafa T, Biris AS, Ali SF. Mechanistic toxicity evaluation of uncoated and PEGylated single-walled carbon nanotubes in neuronal PC12 cells. *ACS Nano* 2011;5:7020-33.
80. Worle-Knirsch JM, Pulskamp K, Krug HF. Oops they did it again! Carbon nanotubes hoax scientists in viability assays. *Nano Lett* 2006;6:1261-8.
81. I. SonDI, B. Salopek-SonDI, Silver nanoparticles as an antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria, *J. Colloid Interface Sci* 2004;275:177-82.

Yazışma Adresi

Yrd. Doç. Dr. Perihan Oyar
Hacettepe Üniversitesi
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu,
Dış-Protez Teknolojisi, D-Blok,
3. Kat, 06100 Sıhhiye-Ankara / TÜRKİYE,
Fax number: +90-312-3102730,
Telephone: +90-312-305 15 87 / 111,
e-mail: poyar73@gmail.com

