

DERLEME

Nanoteknoloji kavramı ve diş hekimliğindeki uygulamaları The nanotechnology concept and its applications to dentistry

Işın Kürkcüoğlu¹, Ayşegül Köroğlu², Serhat Emre Özkır³, Meryem Ateş⁴

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Isparta, Türkiye.

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Zonguldak, Türkiye.

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Afyonkarahisar, Türkiye.

⁴Uzman Dr, İstanbul, Türkiye.

Özet

Son yıllarda hızla gelişen nanoteknoloji uygulamalarının tıp ve diş hekimliği alanlarındaki yansımaları umut vericidir. Nanoteknoloji kavramı, genel anlamıyla, maddenin moleküler ve atomik seviyelerdeki manipülasyonunu ifade eder. Nanoteknolojinin amaçları kısaca; nanometre ölçekli yapıların imalatı ve analizi ile fiziksel özelliklerinin irdelenmesi, nano hassasiyetli ve ölçekli cihazların geliştirilmesi, nanoskobik ve makroskobik dünya arasında uygun birtakım metodların geliştirilmesi ve bağ kurulması şeklinde özetlenebilir. Nano diş hekimliği, nano yapıları materyaller kullanılarak, ağız ve diş hastalıklarının teşhisi, tedavisi ve önlenmesi, ağrı giderme ve diş sağlığının iyileştirilmesi bilimi ve teknolojisi olarak tanımlanabilir ve nano materyalleri, doku mühendisliğini içeren biyoteknolojiyi ve dental nano robotları kullanarak kapsamlı ağız sağlığının idamesini mümkün kılar. Bu derlemede, nanoteknoloji kavramı ve diş hekimliğindeki uygulama alanlarının kısaca özetlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, Nano-diş hekimliği, nano materyaller.

Giriş

Nanoteknoloji kavramı, maddenin moleküler ve atomik seviyelerdeki kontrolünü ifade etmektedir (1). Başka bir tanıma göre ise nanoteknoloji çeşitli kimyasal ve fiziksel metodlar kullanarak 0.1 ila 100 nanometre boyutları arasında değişen fonksiyonel materyaller ve yapıların molekül mühendisliği ile üretimidir (2). Yunanca “nan(n)os” kelimesinden türemiş olan ve “cüce” anlamına gelen “nano”, bir fiziksel ölçünün milyarda birine işaret eden bir ön ektir. Örneğin 1 nanometre, 10⁻⁹ metredir ve yaklaşık olarak 2 veya 3 atom boyutundadır (3, 4). Nanoteknolojinin kavramsal temelleri, ilk olarak 1959 yılında fizikçi Richard P. Feynman’ın “Aşağıda Daha Çok Yer Var” adlı sunumunda atılmıştır. Feynman, bu konuşmasında, atom ve molekül boyutlarındaki üretimin yeni buluşlara neden olacağını bildirmiş ancak spesifik olarak nanoteknoloji terimini kullanmamıştır (4). “Nanoteknoloji” terimi Tokyo Üniversitesi’nden araştırmacı Taniguchi’nin 1974 yılında nanometre seviyesinde hassas mühendislik materyallerinin özelliklerini değerlendirmek amacıyla ilk defa kullanılmıştır (5).

Abstract

In recent years, the reflections of the rapidly developing nanotechnology applications on medicine and dentistry seem to be very promising. The term “nanotechnology” in general meaning refers to the manipulation of matter at atomic and molecular scale. The aims of nanotechnology basically are to investigate the physical properties of structures by manufacturing and analysing nanoscale structures, to evolve nano-scale devices with nano-precision, and to link nanoscopic and macroscopic universes by developing appropriate methods. Nanodentistry can be described as the science and technology of diagnosis, treatment and prevention of oral and dental diseases, pain relief and improvement of dental health using nanostructured materials and enables the maintenance of oral health using nanomaterials, biotechnology comprising tissue engineering and dental nanorobots. In this review, making a brief description on nanotechnology concept and its applications to dentistry has been aimed.

Keywords: Nanotechnology, nanodentistry, nano materials.

Taniguchi, nanoteknolojiyi “atom atom ya da molekül ayırımı, birleştirme, bozma süreci” olarak ifade etmiştir. Terim tam anlamıyla, 1980’lerde nanoölçek fenomeninin teknolojik önemini vurgulayan Drexler tarafından icat edilmiştir (3). Drexler 1981’de ilk nanoteknoloji makalesini yayınlamıştır. Nanoteknolojinin gelişmesini sağlayan buluş ise 1981’de Binnig ve Rohrer tarafından Tarama Tünelleme Mikroskobu’nun keşfedilmesidir. Bu gelişmeyi 1986’da fullerenerin ve karbon nanotüplerin keşfi izlemiştir (6). Nanoteknolojinin dar bir ifadeyle temel amacı, atomları ve molekülleri fonksiyonel yapılar inşa etmek üzere kullanmaktır (7). Daha geniş bir ifadeyle, nanoteknolojinin amaçları kısaca; nanometre ölçekli yapıların imalatı ve analizi, nanometre boyutundaki yapıların fiziksel özelliklerinin irdelenmesi, nano hassasiyetli ve ölçekli cihazların geliştirilmesi, nanoskobik ve makroskobik dünya arasında, uygun birtakım metodların geliştirilmesiyle, bağ kurulması şeklinde özetlenebilir (8).

Nanoteknoloji uygulama alanları ağır sanayi, savunma sanayi, uzay ve uçak teknolojileri, bilişim ve haberleşme sistemleri,

enerji sistemleri, kimya, çevre, moleküler biyoloji, gen mühendisliği, medikal alan ve diş hekimliği olmak üzere geniş bir yelpazede dağılım göstermektedir.

Nanoyapıların elde edilmesinde; aşağıdan yukarıya (bottom up), yukarıdan aşağıya (top down) ve fonksiyonel (functional) olmak üzere 3 farklı yöntem ve yaklaşımdan yararlanılmaktadır. Aşağıdan yukarıya olan yaklaşım küçük bileşenleri daha karmaşık yapılar içinde düzenlemede etkindir. Çeşitli nanopartiküller bu metotla üretilirler. Bunlardan nanogözenekler, nanotüpler, kuantum noktaları, nanokabuklar, dendrimerler, lipozomlar, nanoçubuklar, nanoküreler, nanoteller, nanokapsüller vs. diş hekimliğinde kullanım alanı bulmaktadır. Yukarıdan aşağıya olan yaklaşım, nanoölçekli yapıların üretimi için daha büyüklerinin kullanılmasını gerektirir. Fonksiyonel yaklaşımda ise istenilen işlevselliğin bileşenleri, nasıl monte edildiğine bakılmaksızın geliştirilirler (6, 9).

Nano diş hekimliği

Nano diş hekimliği, nano yapılı materyaller kullanılarak, ağız ve diş hastalıklarının teşhisi, tedavisi ve önlenmesi, ağrı giderme ve diş sağlığının iyileştirilmesi bilimi ve teknolojisi olarak tanımlanır ve nano materyalleri, doku mühendisliğini içeren biyoteknolojiyi ve dental nanorobotları kullanarak kapsamlı ağız sağlığının idamesini olası kılar. Dental nanorobotlar, gerçek zamanlı olarak seyir hassasiyeti ve enerji eldesi ile çevrelerini hissederek ve manipüle ederek insan dokularına penetre olmak için özel hareket mekanizmasını kullanan yapılardır. Saniyede yaklaşık 1000 ya da daha az hesaplama kapasitesine sahip basit onboard bilgisayarlara sahip olduklarından bilgi işlem ihtiyaçları da küçüktür. Cihaz ile iletişim yayın tipi akustik sinyallerle gerçekleştirilebilir (10-12).

Nano diş hekimliği alanı hala gelişmekte ve birçok sorun konvansiyonel metotlarla zaten çözülmekte ise de, diş hekimliğindeki yeni nanoteknoloji çağı insanların diş hekimine ortak bakış açısını değiştirebilecektir. Bununla birlikte hastanın bilgilendirilmesi ve eğitimi bu alandaki gelişmeleri ve tedavi uygulama seçeneklerini anlayabilmeleri açısından önemlidir (10, 13).

Nano diş hekimliğindeki yeni olası tedavi fırsatları nanomateryaller, lokal anestezi, dentin hassasiyeti, dişlerin yeniden pozisyonlandırılması (ortodontik tedavi), dişlerin onarımı, dişlerin renaturalizasyonu ve dental implantlar ile ağız kanserlerinin teşhis ve tedavisi alanlarında irdelenebilir (14).

1.Nano materyaller

A. Nano dolduruculu kompozitler/nanokompozitler

Nanoteknoloji ile kompozit rezinlere uyumlu olan ve rezinlere tek tek ya da nanokümeler halinde katılacak olan nano-boyuttaki (görünür ışığın dalga boyundan daha küçük boyuttaki (0.4-0.8 µm) doldurucu parçaların üretimi ve rezin içine büyük miktarlarda ilavesi mümkün hale gelmiştir. Nano doldurucular ile nano kompozitlerde, kolay şekillendirme ve parlatılabilme özellikleri, yüksek esneme dayanımı, sertlik, aşınma direnci ve elastik modülüs gibi fiziksel özellikler, yüksek translusensi, estetik görünüm ve %50 oranında azalmış polimerizasyon büzülmesi, elde edilen avantajlardandır. Bu nedenle nanopartikül içeren rezinlerin

kullanım alanı hibrit ve mikrodoldurucular içeren rezinlere göre daha geniştir (4, 14, 15). Deshmuck ve Nandlal nanokompozit ve konvansiyonel kompozit rezinleri karşılaştırdıkları çalışmalarında, nano kompozitlerin dentin üzerinde makaslama kuvvetlerine karşı olan dayanımının daha iyi olduğu sonucuna ulaşmışlardır (16). Chen ve arkadaşları, 2006 yılında yaptıkları çalışmada, geliştirdikleri ışıkla sertleşen nano kompozitlerin düşük polimerizasyon büzülmesi ve sitotoksisiteye ve yüksek dayanıklılığa sahip olduğunu ifade etmişlerdir (17).

B. Nano adezivler

Nano adezivler, aglomerasyonu (küçük tanelerin bir araya gelerek kompakt hale gelmesi) önlemek koşuluyla dağılabilir, benzersiz nanopartiküller üreten nanosolüsyonlardır. Bu nanosolüsyonlar çeşitli çözücü materyallere ve polimerlere ilave edilerek homojen bir şekilde dağılım gösterebilirler. Bonding ajanlardaki nanoteknoloji homojeniteyi ve böylelikle kullanıcının adezivin her defasında mükemmel bir şekilde karıştığından emin olmasını sağlar. Yüksek dentin ve mine bağlantı dayanımı, uzun raf ömrü, yüksek stres emilimi, flor salınımı, ayrıca asitlemeye gerek olmaması ve marjinal sızıntı mukavemeti nanoteknolojiyle hazırlanmış adezivlerin avantajlarından (13, 14).

C. Nano ölçü materyalleri

Nanoteknoloji uygulamaları ölçü materyallerinde de kullanılabilir. Vinil polisiloksan içine nanodoldurucular entegre edilerek ilave siloksan ölçü materyalleri elde edilebilir. Materyal içine ilave edilen nano doldurucular, sonuç materyalin akışkanlığı, hidrofilik özellikleri, distorsiyon, yırtılma ve ısıya karşı direnci ile detaylı ölçü alımı üzerine olumlu etkiler sağlayarak, materyal başarısını artırır (8, 15, 18).

D. Nano kompozit protez dizim dişleri

Aşınma direnci, yapay protez dizim dişlerinin en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Söz konusu yapay dişlerde, nano boyuttaki inorganik doldurucular matris yapısında herhangi bir yığılma oluşturmada homojen bir dağılım göstermektedir. İyi cilalanabilme, renklenme ve çarpma direnci, canlı estetik görünüm, iyi yüzey sertliği ve aşınma direnci nano kompozit dizim dişlerinin avantajları arasındadır (4, 8).

E. Nano robotik diş macunları ve ağız gargaraları

Nano robotik diş macunları ve ağız gargaraları (Dentifrobotlar) yakaladığı organik maddeleri metabolize ederek zararsız ve kokusuz buhara çevirmek suretiyle, tüm supragingival ve subgingival yüzeylere en az bir gün boyunca tutunabilirler. Dentifrobotlar, ağız içi zararsız floranın sağlıklı bir ekosistemde idamesini sağlarken, plak ve diğer yerlerde bulunan patojen bakterileri tespit ve yok edebilirler. Dentifrobotlar ayrıca halitozise karşı sürekli engel oluştururlar. Bu tip bir günlük ağız bakımının erken yaşlardan itibaren uygulanması konvansiyonel diş çürükleri ve gingival hastalıkları tarihe gömecektir (13, 19). Dentifrobotlar yutulduklarında güvenli bir biçimde kendilerini inaktif yapan mekanik cihazlardır (10).

F. Ortodontik teller

Nanoteknolojiyle üretilmiş ortodontik teller gingiva, periodontal ligament ve alveoler kemiği de içine alan periodontal dokuları dakikalar veya saatler içinde manipüle ederek hızlı ve ağrısız diş uzatma, rotasyon ve vertikal yeniden pozisyonlandırma işlemlerine izin verir. Özellikle tamamlanması haftalar veya aylar alan molar diş vertikal yönde repozisyon işlemleri için bu durum büyük avantaj sağlamaktadır (9).

G. Kemik greft materyalleri

Kemik, inorganik yapıyla güçlendirilmiş organik bileşiklerden oluşmuş bir doğal nanoyapıdır. Nanoteknoloji, bu doğal yapıyı, ortopedik ve dental uygulamalar için ve özellikle nanokemik geliştirmek için taklit etmeyi amaçlarken, kemikte hücrel dokuların onarımına ve yenilenmesine yardımcı olacak akıllı malzeme oluşturmak için kullanılır. Nanokristaller, kristaller arasına yerleşmiş nanogözenekler ile gevşek bir mikroyapı sergilerler. Gözeneklerin yüzeyleri, protein adsorpsiyonu, silika moleküllerinin ilavesine bağlı olarak modifikasyonlar gösterir. Kemik defektleri bu hidroksiapatit nanopartikülleri kullanarak tedavi edilebilir (11, 20).

2. Lokal anestezi indüksiyonu

Diş hekimliğinde en sık uygulanan prosedürlerden bir tanesi süresi uzun olan, hastaya huzursuzluk veren ve birçok komplikasyonla bağlantılı olabilen lokal anestezi enjeksiyonlarıdır. Nanodışhekimliği kapsamında ileriki yıllarda, etkili bir şekilde lokal anestezi sağlanması da mümkün olacaktır. Mikron boyutta dental nanorobotlar içeren milyonlarca aktif analjeziğe sahip koloidal süspansiyonun hastanın dişetine yerleştirilmesiyle, nanorobotların kron ya da mukozaya temasının hemen ardından dişeti oluşuna doğru hareketi ve ağrısız bir şekilde hedef alana göç etmesi vasıtasıyla dentine ulaşabilmesi mümkün olmaktadır. Dentine ulaştığında ise diş hekimisi tarafından yönetilen onboard bilgisayarların kontrolü altında, kimyasal içeriği, hedef yer yönelimleri ve ısı değişimleri de kontrol altında olan nanorobotlar 1 ile 4 µm çapındaki dentin tübüllerine girerek ve pulpaya doğru ilerleyerek, analjezik dental robotların tedavi gerektiren ilgili dişin tüm duyarlılığını yok edebilmektedir. Ağız içi prosedürlerin tamamlanmasından sonra, diş hekiminin nanorobotlara sinir iletiminin üzerindeki kontrolü bırakmaları ve diş giriş yolundan terk etmeleri talimatı ile ve aspirasyonla işlem sona ermektedir.

Dişlerin nanorobotlarla analjezisinin sağlanmasında amaç, yüksek hasta konforu, anksiyetenin azaltılması, iğnenin olmayışı, analjezik madde etkilerinin seçimi ve kontrolünün sağlanması, hızlı ve tamamen geri dönüşümlü bir aksiyon sağlanması, yan etkilerden ve komplikasyonlardan korunma gibi prensiplere dayanmaktadır (10, 11, 18, 19-22).

3. Dentin hassasiyeti

Dentin hassasiyeti, patolojik bir olgu olup, basınçtaki değişikliklerin hidrodinamik olarak pulpaya iletilmesiyle oluşabilmektedir. Özellikle aşırı duyarlı dişlerin dentin tübüllerinin yüzeydeki yoğunlukları hassas olmayanlara göre sekiz kat daha fazladır (19). Doğal biyolojik malzemeleri kullanan rekonstrüktif dental nanorobotlar dakikalar içinde seçici ve hassas bir biçimde spesifik tübüllerini tıkayarak hastalara daimi ve hızlı bir tedavi sunabilmektedir.

Bu analjezik teknik anksiyeteyi, iğne korkusunu azalttığından en önemlisi hızlı ve tamamen geri dönüşümlü etkili olduğundan hasta dostudur (20).

4. Dişlerin onarımı

Büyük diş onarımı için gerekli nanodışhekimliği teknikleri; genetik mühendisliği, doku mühendisliği ve doku yenilemesi gibi teknolojik gelişmelerin etkisiyle gelişmektedir. Gelecekte bir gün yeni bir dişin in vitro olarak oluşturulması ve böylelikle bütün bir dentisyonun yeniden oluşturulması tedavisinin, sıradan bir klinik ziyaretinin zaman ve ekonomik sınırlamaları dahilinde, diş hekimisi kliniğinde uygun masaüstü üretim ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmesi de mümkün olacaktır. Bazı araştırmacıların doğal biyomineralizasyon sürecini taklit ederek kalsiyum hidroksiapatit kristalleri gibi birbirlerine kabaca paralel olarak yönlendirilmiş nanorodları kullanarak minereyi oluşturmaları, gelecekteki bu günün çok da uzak olmadığına göstergesidir (4, 14, 22, 23).

5. Dişlerin renaturalizasyonu

Dentisyonun renaturalizasyon işlemleri günlük dental pratiğe popüler bir katkı ile estetik diş hekimliğinde mükemmel tedavi metotları sağlayacaktır. Bu yöntem sayesinde hastaların eski amalgam dolguları doğal biyolojik materyaller ile değiştirilecektir. Bu işlemler, dolgulu, full kronlu ya da doğal dişten ayırt edilebilen herhangi bir tedavi uygulanmış dişler için de geçerli olacaktır. Etkilenmiş dişlerin bu teknikle yeniden oluşturulması ile doğal dentisyonun ayırt edilemez yapılar oluşturulabilecektir (21, 23).

6. Dental implantlar

Mevcut klinik dental implant tedavisi eğilimleri, nanoölçekli yüzey özellikleri ile geliştirilmiş kemik içi implantların kullanımını içermektedir. Titanyum kemik içi implant yüzeylerinin nanoölçekli modifikasyonları implant tedavisine, hücrel cevabı ve doku cevabını değiştirerek, fayda sağlar (6). Doğal kemik yüzeyi pürüzlülüğünün yaklaşık 100 nm olduğu düşünüldüğünde nanoölçek kavramı kapsamındaki nano detayların implant yüzeylerinde ne kadar önemli olduğu aşikardır. İmplant yüzeyinde nano boyutlu partiküllerin oluşturulması osteoblast proliferasyonunu indükleyecektir. Nanoölçek seviyelerinde implant yüzeyinde yapılacak pürüzlendirmeler dokuda oluşan hücre cevabı ve biyolojik çevre ile reaksiyonda olan artmış implant yüzey alanı sağlaması açısından önemlidir. Kullanımda olan 3 nanoyapılı implant yüzey kaplaması; sertliği ve dayanıklılığı artıran ve düşük sürtünme sağlayan elmas; artmış osteoblast adezyon proliferasyonunu sağlayan hidroksiapatit ve adezyon problemlerinin üstesinden gelme yeteneğine sahip dereceli metal-seramiklerdir (4, 6).

7. Ağız kanserlerinin teşhis ve tedavisi

Kanserin erken evrede saptanması kanser tedavisinin başarısında oldukça etkilidir. Nanogözenek, kuantum nokta, nanotüp ve kantilever gibi nanopartiküller kanserin tesbitinde yeni metotların gelişimi için anahtar rol oynamaktadır. Bununla birlikte Nanoelektromekanik Sistemler (Nems), biyokimyasal sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürürken,

Çoğullama Yöntemi ile aynı anda çok sayıda farklı biyomolekül gerçek zamanlı olarak algılanabilir. Kantilever Dizi Sensörü ise, ultrasensitif kitle algılama teknolojisi olup pikogram, femtogram ve attogram seviyelerinde sırasıyla bakteri, virüs ve DNA'ları tespit eder. Ağız kanserleri için tükürükteki biyomarkerlerin multipleks algılamasında Oral Sıvı Nanosensör Testi (OFNASET) teknolojisi kullanılmaktadır. Bütün bunlar, ağız kanserlerinin ve diyabetin teşhisi ile bakteri, mantar ve virüslerin tespitinde oldukça etkili uygulamalardır (7, 18, 22).

Ağız kanserlerinin tedavisi kapsamında; "BrachySil" gibi brakiterapi için olan nanomateryaller, klinik araştırma safhasındadır. Kan beyin bariyerini geçebilir ilaç verme sistemi, nanoteknoloji vasıtasıyla geleceğin vizyonudur. Bu teknoloji sayesinde Parkinson, Alzheimer hastalıkları ve beyin tümörleri etkili bir biçimde yönetilebilecektir. Moleküler seviyedeki hastalıkların düzeltilebilmesinde etkili gen terapisi için gerekli nanovektörler gelişme aşamasındadır. Hidrofobik porfirinler ise solid kanserlerin veya oküler vaskülarizasyon hastalıklarının fotodinamik terapisi (PDT) için ilgi çekici moleküllerdir. Bütün bunlar, ağız kanserlerinin tedavisinde yer alan seçeneklerdendir (18, 24, 25).

İnsan sağlığında risk faktörü olarak nanoteknoloji

Nanomateryallerin kullanımının gittikçe yaygınlaşmasıyla birlikte, nanoteknolojik ürünlerin olası riskleri hakkındaki kaygılar da artmaktadır. Nanomateryallerin insan vücuduna birçok yoldan girdiği gösterilmiştir. Nanopartiküllerin yüzey alanı-hacim oranı yüksektir. Spesifik yüzey alanı ne kadar büyükse, deri, akciğer ve sindirim kanalı yoluyla absorpsiyon oranı da o kadar artış göstermektedir. Bu durum da akciğerlerde ve vücuttaki diğer organlarda istenmeyen etkilere ve birikimlere sebep olabilir.

Birçok nanoboyuttaki küresel katı materyal kolaylıkla akciğerlere girerek alveollere ulaşır. Solunum sistemindeki enflamasyonu artıran bu primer toksik etki, doku hasarına ve sistemik etkilere neden olabilir. Kan yoluyla diğer canlı organlara veya dokulara taşınarak da kardiyovasküler ve diğer ekstra pulmoner etkilere yol açabilir. Deri yoluyla penetrasyonlar ise hücre hasarına neden olabilecek reaktif moleküllerin oluşumuyla sonuçlanabilir (5, 10).

Kaynaklar

1. Nagpal A, Kaur J, Sharma S, Bansal A, Sacchdev P. Nanotechnology-the era of molecular dentistry. *Indian J. Dent. Sci* 2011; 5: 80-82.
2. Kosla R. Nanotechnology in Dentistry. *Famdent Practical Dentistry Handbook* 2009. 2009; 9: 69-84.
3. Ingle E, Gopal S. Nanodentistry: a hype or hope. *J Oral Health Comm Dent* 2011; 52: 64-67.
4. Ozak ST, Ozkan P. Nanotechnology and dentistry. *Eur J Dent* 2013; 7: 145-151.
5. Sahoo SK, Parveen MS, Panda JJ. The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine* 2007; 3: 20-31.

6. Satyanarayana TSV, Rai R. Nanotechnology: the future. *J Interdiscip Dentistry* 2011; 1: 93-100.
7. Saravana KR, Vijayalakshmi R. Nanotechnology in dentistry. *Ind J Dent Res* 2006; 17: 62-65.
8. Cenger Yeşim. Bitirme Tezi, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği, Ankara, Türkiye; 2006.
9. Chandki R, Kala M, Kumar K, Brigit B, Banthia P, Banthia R. Nanodentistry: exploring the beauty of miniature. *J Clin Exp Dent* 2012; 4: 119-124.
10. Mantri SS, Mantri SP. The nano era in dentistry. *J Nat Sc Biol Med* 2013; 4: 39-43.
11. Shetty NJ, Swati P, David K. Nanorobots: future in dentistry. *Saudi Dent J* 2013; 25: 49-52.
12. Babel S, Mathur S. Nanorebotics-headway towards dentistry. *Int J Res Sci Tech* 2011; 1, 1-9.
13. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. *J Indian Soc Periodontol* 2008; 12: 34-40.
14. Gorav S, Kamlesh V, Nidhi P. Nanodentistry - the future ahead. *BFUDJ* 2010; 1: 43-45.
15. Kaira LS, Singh R. Nanotechnology- the new era of technology. *NUJHS* 2012; 2: 88-92.
16. Deshmukh S, Nandlal B. Evaluation of the shear bond strength of nanocomposite on carious and sound deciduous dentin. *Int J Clin Pediatr Dent* 2012; 5: 25-28.
17. Chen M-H, Chen C-R, Hsu S-H, Sun S-P, Wei-Fang S. Low shrinkage light curable nanocomposite for dental restorative material. *Dent Mater* 2006; 22: 138-145.
18. Verma SK, Chauhan R. Nanorobotics in dentistry- a review. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijid.2012.12.010>
19. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. *J Indian Soc Periodontol* 2008; 12: 34-40.
20. Mikkilineni M, Rao AS, Tummala M, Elkanti S. Nanodentistry: new buzz in dentistry. *Eur J Gen Dent* 2013; 2: 109-113.
21. Gupta J. Nanotechnology applications in medicine and dentistry. *J Investig Clin Dent* 2011; 2: 81-88.
22. Gambhir RS, Sogi GM, Nirola A, Brar R, Sekhon T, Kakkar H. Nanotechnology in dentistry: current achievements and prospects. *J Orofac Sci* 2013; 5: 9-14.
23. Yılmaz N, Akkaya M. Nanoteknoloji. *Türk Diş Hekimleri Birliği Dergisi* 2007; 101: 76-82.
24. Kanaparthi R, Kanaparthi A. The changing face of dentistry: nanotechnology. *Int J Nanomedicine* 2011; 6: 2799-2804.
25. Chandra Mouli PE, Manoj Kumar S, Parthiban S. Nanotechnology in Dentistry- a review. *Int J Biol Med Res* 2012; 3: 1550-1553.