

## DİŞ HEKİMLİĞİNDE NANO TEKNOLOJİ

### *Nanotechnology in Dentistry*

Z. Selin SIRIK<sup>1</sup>, Gülbahar IŞIK ÖZKOL<sup>1</sup>

*Makale Gönderilme Tarihi: 18/11/2013*

*Makale Kabul Tarihi: 30/12/2013*

### ÖZ

Nano teknoloji, atomik seviyede gerçekleşen bilimsel gelişmenin doğal bir sonucudur. Nano teknoloji nano metre düzeyindeki materyalleri manipüle etme bilimidir ve aynı uygulama diş hekimliğine kullanıldığında nano diş hekimliği ismini almaktadır. Nano ölçek boyut olarak küçük olmasına rağmen, potansiyeli çok büyüktür. Bu makale nano ürünlerdeki gelişmelere örnekler verirken, diş hekimliğindeki nano teknoloji uygulamalarına genel bir bakış sağlar. Diş hekimliğinde yeni potansiyel tedavi olanakları ağız bakımı sırasında kullanılan mekanik dentifrobotlar, kovalent olarak yapıştırılmış elmas mine, tek seansta ortodontik sıralama ve aşırı duyarlılık tedavisi olarak özetlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Nano teknoloji, nano parçacıklar, nano materyaller, kuantum noktaları, diş hekimliği*

### ABSTRACT

Nanotechnology is a natural result derived from scientific development occurring on an atomic level. Nanotechnology, basically, is the science of manipulating matter at nanometer level and its application in dentistry is called nanodentistry. Although the nanoscale is small in size, its potential is vast. This paper includes examples for recent development of nanoproducts and provides a glimpse of nanotechnological applications in dentistry. New potential treatment opportunities in dentistry can be summarized as mechanical dentifrobots used for chair-side oral health maintenance, covalently bonded diamondised enamel, orthodontic realignments via single office visit and hypersensitivity cure.

**Keywords:** *Nanotechnology, nanoparticles, nanomaterials, quantum dots, dentistry*

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi A.D.

## Giriş

Kusursuzluk büyüklükten değil sürpriz bir şekilde küçük parçacıklardan gelmektedir. “Nano” ön eki yunanca cüce kelimesinden türetilmiştir (1-3). Nano ölçek, mikro ölçekten 1000 kat daha küçüktür yani yaklaşık olarak insan saç teli çapının 1/80.000’i kadardır (4), metre ile kıyaslandığında ise dünya ile bir bilyenin büyüklüğü örnek olarak verilebilir (5). Nano materyaller 100nm den daha küçük parçalardan oluşurlar bu nano parçalar tek boyutlu olursa tabaka, iki boyutlu olursa nano tel veya nano tüp, üç boyutlu olursa kuantum noktaları olarak adlandırılırlar (2). Nano teknoloji ise metrenin milyarda biri veya 2-3 atom büyüklüğündeki parçaları maniple etme bilimi olarak tanımlanmaktadır (1, 3, 6). Bu derlemede nano teknolojinin tarihsel gelişimi ile birlikte medikal dünyaya girişi ele alınmakta bu gün nano teknoloji yardımı ile geliştirilen diş hekimliği materyalleri anlatılmaktadır.

Nano materyalleri diğer materyallerden ayıran 2 önemli faktör bulunmaktadır bunlar; yüzey alanının artması ve kuantum etkisidir. Örneğin 30nm’lik bir parça atomlarının %5’ini kendi yüzeyinde bulundururken, 10nm’lik bir parçanın atomlarının %20’sini ve 3nm’lik bir parça atomlarının %50’sini yüzeyinde bulunur. Buna yüzey alanı etkisi denir. Yüzey alanı etkisi ile kuantum etkisi birlikte maddenin özelliklerini oluştururlar. Yani büyüklük nano boyuta indirildiğinde maddenin optik, elektriksel ve manyetik davranışları etkilenebilir örneğin nano kristalin nikel sertleştirilmiş çelik kadar dayanıklıdır (5). Boyuta bağlı değişen özellikler nano ölçekli nesnelerin inanılmaz bir potansiyele sahip olmasının en önemli nedenidir.

## Tarihçe

Nano parçaların tarihçesi ise Antik Roma’ya kadar uzanmaktadır. Romalılar sıvı cama altın klorid ilave ederek nano boyutta altın küreler oluşturmuşlar ve böylece kiliseleri için kullandıkları vitray camları üretmişlerdir. Vitray camların bu gün hala solmayan renkleri bu teknoloji ile açıklanabilmektedir (7). 1959 yılı Nobel Ödülünü kazanan fizikçi Richard P Feynman, Amerikan Fizik Topluluğunun yıllık toplantısında yaptığı konuşmasında maddenin atomik seviyede işlenebileceğini bu yöntemlerle Britannica Ansiklopedisinin bir toplu iğne başına yazılabileceğinden bahsederek nano teknoloji dünyasının kapılarını aralamıştır (8).

Tokyo Bilim Üniversitesi’nden Norio Taniguchi 1974 de “Nano teknoloji” kelimesini ilk defa kullanan bilim adamı olmuştur. Taniguchi nano teknolojiyi genel olarak “Malzemelerin atom atom ya da molekül molekül işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi ve bozulmasıdır.” olarak tanımlamıştır (9).

1981 yılında Taramalı Tünelleme Mikroskobunun (STM/TTM) Binnig ve Rohrer tarafından keşfi ile atomlar tek başına izlenebilmiştir. Bu mikroskobun icat edilmesinden kısa bir süre sonra keşfedilen Atomik Kuvvet Mikroskobu ile TTM’nin bazı kısıtlamaları giderilmiştir. Atomik Kuvvet Mikroskobunun, TTM’den farkı mikroskobun organik moleküller gibi yalıtkan örnekleri de inceleyebilmesidir (10). K Eric Drexler’in, 1986’da moleküler nano teknolojiyi anlattığı “Yaratma Makineleri” adlı kitabı, bu alanda yazılan ilk kitaptır (10).

1980’lerde TTM’lerin kullanılmaya başlanması ile bir çeşit karbon formu olan fullerenler ve karbon nano tüpler keşfedilmiştir. 1985-1986 yıllarında önce karbon bucky topları ardından bucky tüpleri tanımlanmıştır (11).

Nano büyüklükteki yarı iletken kristaller olan kuantum noktalarının, ultraviyole ışıkla uyarıldıklarında kırmızı ışık yayma özellikleri keşfedilmiş ve bu parçacıklar medikal görüntüleme ve lazerlerde kullanılmaya başlanmıştır (4).

Kuantum noktaları, vücuda enjekte edildiklerinde kanserli dokuyla karşılaşana kadar hiçbir yerle yapışmazlar. Kanserli doku ile karşılaştıklarında ise hasarlı hücreler, kuantum noktaları üzerindeki özel yapıya kilitlenerek, hekimin, hastalığın yayılmasını izlemesine imkân veren bir işaret ışığı gibi davranırlar. Tutundukları alana reaktif oksijen vererek hedef hücrelerde öldürücü etki yapabilirler (2, 4, 5, 10, 12).

Günümüzde piyasada yüzlerce nano teknoloji kullanılan ürün bulunmaktadır. Nano teknolojinin aynı hızla medikal uygulamalarda da yerini almasıyla birlikte nano tıp adı verilen bir alan ortaya çıkmıştır. Nano tıp, nano boyutta materyaller, biyoteknoloji, biyomühendislik ve nano robotlar kullanılarak teşhis, tedavi, önleyici tedavi, yaralanmalarda ağrının azaltılması, sağlığın geliştirilmesi ve korunması bilimi olarak tanımlanmıştır (13, 14). Hastalığın bulunduğu spesifik hücrelere saldırarak ilaç veren makineler, hastalığı mümkün olan en erken aşamada tespit eden teşhis araçları nano teknolojinin tıp alanındaki potansiyel uygulamaları olarak gösterilebilir (4, 5-15).

Nano tıptan sonra benzer şekilde nano dişhekimliği gündeme gelmiştir. Nano materyaller, biyoteknoloji, doku mühendisliği ve dental nano robotların birlikte kullanılmasıyla mükemmel ağız sağlığına ulaşılabileceği bildirilmiştir (9, 12, 14-16). Nano diş hekimliğinin getirdiği yeni tedavi olanakları ile aşırı duyarlılık tedavisi, tek seansta ortodontik sıralama, kristalize minenin kovalent bağlarla yapıştırılması ve dentifrobotların kullanımı ile gelecekte sürekli ağız sağlığı ve

bakımının sağlanabileceği belirtilmektedir (6, 15, 17, 18).

## **Diş Hekimliğinde Kullanılan Nano Materyaller;**

### **1. Nano Kompozitler**

Geleneksel kompozitlerin parçacık büyüklüğü hidroksiapatit (HA) kristallerinin yapısal büyüklüğünden çok farklıdır. Nano kompozit sistemler diş yapısı ve nano büyüklükteki dolgu parçaları arasında daha stabil bir ara yüz geliştirmek için üretilmişlerdir. Bu tip kompozit sistemlerin içinde topaklanmayan silika nano parçalar, baryum cam ve prepolimerize doldurucular olmak üzere 3 farklı tip doldurucu komponent bulunur. Nano kompozitler için üretilen rezinlerin içinde, 1/4 oranında, alümina ve silika karışımından oluşan, topaklanmayan, ayrık nano parçacıklar homojen bir şekilde dağılmıştır. Kullanılan nano parçacıkların ortalama büyüklüğü 80nm'dir (4, 12). Premise ( KerrHawe Bioggio, İsviçre), Filtek Supreme universal restorative pure nano ( 3M Espe, St. Paul, USA), Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Ceram X (Dentsply DeTrey, Konstanz, Almanya), Grandio (Voco, Cuxhaven, Almanya) bu gün kullanılabilen nano kompozitlere örnektir (19-22).

Nano dolduruculu kompozitler; yüzey sertliği, aşınma direnci, bükülme dayanımı, elastik modülüsü, translüensliği, polimerizasyon büzülmesinin %50 daha az olması ve geliştirilmiş manipülasyon özellikleri nedeni ile tercih edilmektedir (5, 12, 15, 23, 24). Bütün bu özellikler nano kompozitlerin doğal dişe daha iyi bir birleşim oluşturmasını sağlamakta ve nano kompozitleri geleneksel kompozitlerden üstün kılmaktadır.

De Paulo ve ark.ları (25) restoratif materyallerin biyomekanik dayanıklılığı üye-

rine yaptıkları çalışmada nano dolduruculu materyallerin daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Kompozitlerin yüzey özellikleri ve cilalanabilirliğini inceleyen çalışmalarda da nano donduruculu kompozitlerin cilalanabilme özelliğinin daha üstün olduğu bildirilmiştir (26, 27). Nano donduruculu restoratif materyallerin başarısını bildiren benzer klinik çalışmalar mevcuttur (28, 29).

## 2. Nano Çözeltiler

Nano çözeltiler, nano boyutta yayılabilen parçalardan oluşurlar. Bu nano parçalar boyalar ve polimerler gibi birçok çözücünün içinde homojen olarak dağılabilir. Nano büyüklüğündeki sferik silika parçaları sayesinde çözeltiler yığılma yapmaz ve kolloid süspansiyon özelliğini korur. Böylece kullanmadan önce çalkalamak gerekmez. Adper O Single Bond (3M Espe, St. Paul, USA) bu tip nano çözeltilere bir örnektir.

Adezivlerde kullanılan nano doldurucular dentine ve mineye olan bağlantıyı güçlendirirler, stres emme miktarları daha fazladır, raf ömürleri daha uzundur, floru serbestler ve dayanıklı marjinal kapama sağlarlar (2, 4, 12, 18).

Hoshika ve ark.ları (30) antioksidan ve güçlü bir katalitik etkiye sahip, koloidal platin nanoparçaları farklı konsantrasyonlarda kullanarak dentin ve rezin arasındaki bağlanma dayanımını ölçmüşlerdir. Çalışmada koloidal platin nano parçaların kullanımının dentine bağlanma dayanımını artırdığını bildirmişlerdir. Atabek ve ark.ları (31) 2 farklı tip nano kompozitin yüzey pürüzlülüğüne nano teknoloji likit cila sisteminin etkisini incelediği çalışmalarında alüminyum oksit emdirilmiş polimer parçaları, elmas emdirilmiş mikropolish parçaları ve nano teknoloji likit cila sistemini kullanmışlardır. Nano teknoloji likit cila sisteminin diğer bitirme

ve cila sistemleri ile birlikte kullanıldığında etkili olduğu bildirilmiştir (31). Nano kompozitlerle ilgili yapılan bir diğer çalışmada Poly (methyl methacrylate) ve PMMA/monmorillonite (MMT) süspansiyonu ile oluşturulan nano kompozitlerin biyouyumlu bir protez kaide materyali olduğu bildirilmiştir. Çalışmada siotoksisite testi, hemoliz testi, akut sistemik toksisite testi, oral mukoz membran irritasyon testi kullanılmıştır (32).

## 3. Ölçü Maddeleri

Vinilpolisiloksan içine nano doldurucular yerleştirilerek ilave tip silikon ölçü maddesi üretilmiştir. Bu parçalar 200nm büyüklüktedirler atomik ve moleküler etkileşim sağlarlar. Diğer ölçü maddelerinden, akıcılık ve hidrofilik özelliklerinden dolayı detaylı ölçü alabilmesi, yırtılma ve distorsiyon dayanımı bakımından üstün olduğu bildirilmiştir. Nanotech elite H-D plus ( Zhermack Italy) bu tip ölçü maddelerinin piyasada bulunan formuna bir örnektir (2, 4, 12, 16, 18).

## 4. Nano Enkapsülasyon

Enkapsülasyon, South West Research Enstitute (SWRI) tarafından “hedefli salınım sistemi” ismi ile geliştirmiştir. Bu nano partiküller yeni aşılar, antibiyotikler ve ilaç salınımında yan etkileri azaltmak için kullanılmıştır. Japonya Osaka Üniversitesi 2003 yılında insan karaciğerine hedefli ilaç ve gen salınımı yaparak karaciğerin gelişmesini sağlamıştır.

SWRI tarafından üretilen diğer ürünler antipatojenik emülsiyonlar, nano parçalar kullanılarak üretilen koruyucu elbiseler ve filtreli maskeler olarak sayılabilir. Biyolojik olarak çözünebilen nanofiber hemostatik yara pansumanlarında kullanılmıştır. Bu bandajlar gümüşün antimikrobiyal özelliği

sayesinde nano kristalin gümüş parçalar kullanılarak geliştirilmiştir (12, 16).

Pulpa dokusunun rejenerasyonu amacıyla yapılan bir çalışmada poli lisin, melanokortin, poli glutamik asit birlikte kullanılarak antienflamatuar reaksiyonu artırmanın mümkün olduğu bildirilmiştir. Fioretti ve ark.ları (33, 34) dentigraft polimer DGL(G4) aracılığı ile bu materyalleri nano yapıda taşıyarak endodontik rejenerasyonun sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Monteiro ve ark.ları (35) gümüş nano parçaların kandida üzerine etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında 5nm çapındaki gümüş nitrat parçalarını yapışık kandida hücrelerine ve kandida biyofilmine uygulamışlardır. Gümüş nano parçaların, kandidaya bağlı stomatit de kullanılan geleneksel antifungal ajanlara etkili bir alternatif olabileceği bildirilmiştir.

Piñón-Segundo ve ark.ları (36) periodontal hastalıkların tedavisinde yeni bir ilaç taşıyıcı sistem geliştirmek için 500nm büyüklüğündeki triclosan yüklü nano parçacıkları kullanmışlardır. Deney alanında bu parçacıkların önemli miktarda enflamasyonu azalttığı bildirilmiştir.

## 5. Nano İğneler

Nano büyüklükteki paslanmaz çeliklerin birleşiminden oluşan sutur iğneleri geliştirilmiştir. Sandvik Bioline, RK 91 (AB Sandvik, İsveç) iğneleri piyasada bulunan nano iğnelere örnek olarak gösterilebilir. Yakın gelecekte hücre cerrahisini mümkün kılacak olan nano cımbızlar üzerine çalışmalar devam etmektedir (6, 12, 16).

## 6. Kemik Materyalleri

Kemik karmaşık organik bileşenlerden (kollajen) oluşan inorganik (hidroksi apa-

tit) yapılarla güçlendirilmiş doğal bir nano yapıdır. Bileşenleri 100nm den daha küçük boyutludur. Nano teknolojinin amacı ortopedik ve dental uygulamalarda bu doğal nano yapıyı taklit etmektir. Ostim (Osartis GmbH, Germany), VITOSS (Orthovita, Inc., USA) ve NanOss (Angstrom Medica, USA) bu gün kullanılabilen nano kemik materyallerdir (2, 12, 36). Bu gün çalışmalar karbon nano tüpler kullanılarak doku mühendisliği ile kemik elde etme yönünde ilerlemektedir (37-39).

## 7. İmplant Yüzey Uygulamaları

İmplant yüzeyinin nano seviyede pürüzlendirilmesi dokunun hücre sel cevabı açısından önemlidir (40-42). Nano boyuttaki karbon fiberlerin, osteoblastların selektif adezyonunu artırdığı bildirilmiştir (15, 43). Tavşan tibialarına yerleştirilen nano kalsiyum yüzeyli titanyum implantların entegre olan kemik miktarını artırdığı bulunmuştur (44). Benzer bir çalışmada nano yapının titanyum yüzeylerinde hücre adezyonu ve ekstraselüler matriks mineralizasyonundan sorumlu protein olan osteopontin birikimini artırdığı bildirilmiştir (45). Bu durum ortopedik ve dental implant uygulamalar için büyük önem taşımaktadır.

## Gelecekte Nano Uygulamalar

**Dentifrobotlar;** Subokluzal yerleşmiş nano robotik diş macunları ağız duşu ile yayılıp günde en az bir kez supragingival ve subgingival yüzeylere ulaşabilir. Sıkışmış zararlı organik maddeleri sindirebilir, sürekli diş taşı temizliği ve kokusuz bir nefes sağlayabilir. Dentifrobotlar 1-10 mikron büyüklüğündedirler (2, 5, 6, 15, 17, 18). Bu mekanizmalar dakikada 1-10 mikron sürünerek ağız içinde gezerler. Yutulduğunda pasif hale geçecek şekilde programlanabilirler (12).

**Dental Dayanıklılık ve Kozmetik;** Dişin

dayanıklılığı ve görüntüsü, seramik vengerlerden daha sert ve biyo uyumlu olan elmas ve safir gibi malzemelerin dentine kovalent bağlarla yapıştırılmasıyla geliştirilebilir. Saf safir ve elmas kırılmandır. Karbon nano tüpler materyale gömülerek kırılğan olmayan elmas ve safir sistemler geliştirilebilir (12).

**Ortodonti Tedavisi;** Bir diş tel ile kaydırmak bu harekete direnç gösteren bir sürtünme kuvvetine neden olur. Aşırı kuvvet uygulanması ise ankraj kaybı ve kök rezorpsiyonu ile sonuçlanabilir (11). Redlich ve ark.ları (46) yaptığı çalışmada ortodontik teller, mükemmel yağlama özellikleri ile bilinen tungsten disülfid nanoparçalarla (IF-WS2) kaplandığında sürtünmede azalma olduğu bildirilmiştir.

Ortodontik nano robotlar periodontal dokuları doğrudan maniple edip diş sıralaması, rotasyonu ve vertikal repozisyonunu saatler içerisinde hızlı ve ağrısız yapabileceklerdir (6, 12, 17, 47).

**Hassasiyet Tedavisi;** Nano teknolojide kaydedilen ilerlemelerle birlikte araştırmalarda kullanılan cihazlar da gelişmiştir. Dr Sally Marshall ve ekibi nano boyuta inebilen bu cihazlar yardımıyla on yıldan daha uzun bir süredir dentinin yapısını araştırmaktadır (47-52). Dentin hassasiyeti pulpa içindeki basınç değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Hassas dişlerin, normal dişlere göre yüzeyinde 8 kat daha yoğun dentin tübülü bulunduğunu ve bu tübüllerin sağlıklı dişlerdeki tübüllerle kıyaslandığında 2 kat daha geniş olduğu bilinmektedir. Dental nano robotlar doğal biyolojik materyalleri kullanarak sorunlu tübüllerini bulup tıkayabilir ve dentin hassasiyetini kalıcı bir şekilde çözebilirler (12, 17, 51, 52).

## Sonuç

Nano teknoloji bilim dünyasında birçok yöntemin ve malzemenin gelişmesini sağladığı gibi diş hekimliğinin gelişiminde de önemli bir rol oynamaktadır. Materyaller nano boyuta indirildiğinde kendi kimyasal karakterlerinden uzaklaşabilir başka yeni özellikler edinebilirler. Bu nedenle materyalin bilinen toksik özellikleri nano boyuta inildiğinde tartışma konusudur. Ayrıca bazı doktorlar nano parçaların beyini koruyan kan beyin bariyerinden geçebilecek kadar küçük olmasından endişe duymaktadırlar. Nano parçacıkların içinde bulunduğu malzemeye kattığı üstün özelliklerin yanı sıra toksisite-lerini de değerlendiren daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gün diş hekimliğinde nano teknolojinin kullanımı piyasada bulunan az sayıda ürünle sınırlı olsa da hızla ilerleyen çalışmalar nano teknolojinin gelecekte ağız sağlığının vazgeçilmez bir parçası olacağını göstermektedir.

**KAYNAKLAR**

1. Kaehler T. Nanotechnology: basic concepts and definitions. *Clinical Chem* 1994;40(9):1797-9.
2. Nagpal A, Kaur J, Sharma S, Bansal A, Priyanka S. Nanotechnology – the era of molecular dentistry. *Int J Dent Sci* 2011;5:80-2.
3. Hernandez JF, Perez MAA, Valenzuela MCS. Use of new technologies in dentistry. *Odontologica Mexicana* 2011;15(3):158-63.
4. Gupta J. Nanotechnology applications in medicine and dentistry. *J Investig Clin Dent* 2011;2:81-8.
5. Kanaparthi R, Kanaparthi A. The changing face of dentistry: nanotechnology. *Int J Nanomedicine* 2011;6:2799-804.
6. Shetty NJ, Swati P, David K. Nanorobots: future in dentistry. *Saudi Dent J* 2013;25(2):49-52.
7. Chang K. Tiny is beautiful: translating nano into practical. (Çevrimiçi) <http://www.nytimes.com/2005/02/22/science/22nano.html>, Erişim Tarihi: 06 Ekim 2013.
8. Feynman RP. There is plenty of room at the bottom. *Eng Sci* 1960;23(5):22-36.
9. Kumar PS, Kumar S, Savadi RC, John J. Nanodentistry: A paradigm shift-from fiction to reality. *J Indian Prosthodont Soc* 2011;11(1):1-6.
10. Satyanarayana TSV, Rai R. Nanotechnology: the future. *J Interdiscip Dentistry* 2011;1(2):93-100.
11. 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(1):41-4.
12. Saravana KR, Vijayalakshmi R. Nanotechnology in dentistry. *Indian J Dent Res* 2006;17(2):62-5.
13. European Science Foundation. Nanomedicine European Medical Research Councils forward look report. France ESF: Strasbourg Cedex, 2004.
14. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. *J Indian Soc Periodontol* 2008;12(2):34-40.
15. Rybachuk AV, Cekman IS. Nanotechnology and nanoparticles in dentistry. *Pharmacol Pharm* 2009;1:18-21.
16. Ingle E, Gopal KS. Nanodentistry: a hype or hope *J Oral Health Comm Dent* 2011;5:64-7.
17. Freitas RA Jr. Nanodentistry. *J Am Dent Assoc* 2000;131(11):1559-65.
18. Gorav S, Kamlesh V, Nidhi P. Nanodentistry-the future ahead. *BFUDJ* 2010;1(1):143-5.
19. 3M Dental Products Filtek Supreme Plus Universal Restorative System. Technical Product Profile. St Paul MN, USA: y.y., 2005.
20. Grandio Voco light-curing nano-hybrid filling material, scientific documentation. Cuxhaven, Germany: y.y., 2003.
21. Dentsply DeTrey CeramX Nano ceramic restorative, scientific compendium. Konstanz, Germany: y.y., 2003.
22. Ivoclar Vivadent Tetric EvoCeram scientific documentation. Schaan, Liechtenstein: y.y., 2011.
23. Curtis AR, Palin WM, Fleming GJ, Shortall AC, Marquis PM. The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: the impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength. *Dent Mater* 2009;25(2):188-97.
- 24.

25. Watanabe H, Khera SC, Vargas MA, Qian F. Fracture toughness comparison of six resin composites. *Dent Mater* 2008;24(3):418-25.
26. de Paula AB, Fucio SB, Ambrosano GM, Alonso RC, Sardi JC, Puppini-Rontani RM. Biodegradation and abrasive wear of nano restorative materials. *Oper Dent* 2011;36(6):670-7.
27. Jung M, Sehr K, Klimek J. Surface texture of four nanofilled and one hybrid composite after finishing. *Oper Dent* 2007;32(1):45-52.
28. Joniot S, Salomon JP, Dejou J, Gregoire G. Use of two surface analyzers to evaluate the surface roughness of four esthetic restorative materials after polishing. *Oper Dent* 2006;31(1):39-46.
29. Ernst CP, Brandenbusch M, Meyer G, Canbek K, Gottschalk F, Willershansen B. Two-year clinical performance of nanofiller vs a fine-particle hybrid resin composite. *Clin Oral Investig* 2006;10(2):119-25.
30. Schirmeister JF, Huber K, Hellwig E, Hahn P. Two-year evaluation of a new nano-ceramic restorative material. *Clin Oral Investig* 2006;10(3):181-6.
31. Hoshika S, Nagano F, Tanaka T, Wada T, Asakura K, Koshiro K, Selimovic D, Miyamoto Y, Sidhu SK, Sano H. Expansion of nanotechnology for dentistry: effect of colloidal platinum nanoparticles on dentin adhesion mediated by 4-META/MMA-TBB. *J Adhes Dent* 2011;13(5):411-6.
32. Atabek D, Sillelioğlu H, Ölmez A. The efficiency of a new polishing material: nanotechnology liquid polish. *Oper Dent* 2010;35(3):362-9.
33. Zheng J, Su Q, Wang C, Cheng G, Zhu R, Shi J, Yao K. Synthesis and biological evaluation of PMMA/MMT nanocomposite as denture base material. *J Mater Sci Mater Med* 2011;22(4):1063-71.
34. Fioretti F, Mendoza-Palomares C, Avokaka-Boni MC, Ramarosan J, Bahi S, Richert L, Granier F, Benkirane-Jessel N, Haikel Y. Nano-odontology: nanostructured assemblies for endodontic regeneration. *J Biomed Nanotechnol* 2011;7(3):471-5.
35. Fioretti F, Mendoza-Palomares C, Helms M, Alam DA, Richert L, Arntz Y, Rickenbach S, Garnier F, Haikel Y, Gangloff SC, Benkirane-Jessel N. Nanostructured assemblies for dental application. *ACS Nano* 2010;4(6):3277-87.
36. Monteiro DR, Gorup LF, Silva S, Negri M, de Camargo ER, Oliveira R, Barbosa DB, Henriques M. Silver colloidal nanoparticles: antifungal effect against adhered cells and biofilms of *Candida albicans* and *Candida glabrata*. *Biofouling* 2011;27(7):711-9.
37. Piñón-Segundo E, Ganem-Quintanar A, Alonso-Pérez V, Quintanar-Guerro D. Preparation and characterization of triclosan nanoparticles for periodontal treatment. *Int J Pharm* 2005;294(1-2):217-32.
38. Cheng Q, Rutledge K, Jabbarzadeh E. Carbon nanotube-poly(lactide-co-glycolide) composite scaffolds for bone tissue engineering applications. *Ann Biomed Eng* 2013;41(5):904-16.
39. Pan L, Pei X, He R, Wan Q, Wang J. Multiwall carbon nanotubes/polycaprolactone composites for bone tissue engineering application. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2012;93:226-34.
40. Lin C, Wang Y, Lai Y, Yang W, Jiao F, Zhang H, Ye S, Zhang Q. Incorporation of carboxylation multiwalled



- carbon nanotubes into biodegradable poly(lactic-co-glycolic acid) for bone tissue engineering. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2011;83(2):367-75.
41. Ellingsen JE, Thomsen P, Lyngstadaas SP. Advances in dental implant materials and tissue regeneration. *Periodontol* 2000. 2006;41:136-56.
  42. Braceras I, De Maeztu MA, Alava JI, Gay-Escoda C. In vivo low-density bone apposition on different implant surface materials. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38(3):274-8.
  43. Tomsia AP, Launey ME, Lee JS, Manikani MH, Wegst UG, Saiz E. Nanotechnology approaches to improve dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26 Suppl:25-44; discussion 45-9.
  44. Price RL, Ellison K, Haberstroh KM, Webster TJ. Nanometer surface roughness increases select osteoblast adhesion on carbon nanofiber compacts. *J Biomed Mater Res A* 2004;70(1):129-38.
  45. Suh JY, Jeung OC, Choi BJ, Park JW. Effects of a novel calcium titanate coating on the osseointegration of blasted endosseous implants in rabbit tibiae. *Clin Oral Implants Res* 2007;18(3):362-9.
  46. Bueno Rde B, Adachi P, Castro-Raucci LM, Rosa AL, Nanci A, Oliveira PT. Oxidative nanopatterning of titanium surfaces promotes production and extracellular accumulation of osteopontin. *Braz Dent J* 2011;22(3):179-84.
  47. Redlich M, Katz A, Rapoport L, Wagner HD, Feldman Y, Tenne R. Improved orthodontic stainless steel wires coated with inorganic fullerene-like nanoparticles of WS(2) impregnated in electroless nickel-phosphorous film. *Dent Mater* 2008;24(12):1640-6.
  48. Hosoya Y, Marshall SJ, Watanabe LG, Marshall GW. Microhardness of carious deciduous dentin. *Oper Dent* 2000;25(2):81-9.
  49. Kinney JH, Oliveira J, Haupt DL, Marshall GW, Marshall SJ. The spatial arrangement of tubules in human dentin. *J Mater Sci Mater Med* 2001;12(8):743-51.
  50. Marshall GW, Habelitz S, Gallagher R, Balooch M, Balooch G, Marshall SJ. Nanomechanical properties of hydrated carious human dentin. *J Dent Res* 2001;80(8):1768-71.
  51. Staninec M, Marshall GW, Hilton JF, Pashley DH, Gansky SA, Marshall SJ, Kinney JH. Ultimate tensile strength of dentin: evidence for a damage mechanics approach to dentin failure. *J Biomed Mater Res* 2002;63(3):342-5.
  52. Ho SP, Balooch M, Goodis HE, Marshall GW, Marshall SJ. Ultrastructure and nanomechanical properties of cementum dentin junction. *J Biomed Mater Res A* 2004;68(2):343-51.
  53. Ho SP, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW. Local properties of a functionally graded interphase between cementum and dentin. *J Biomed Mater Res A* 2004;70(3):480-9.

**Yazışma Adresi:****Zeliha Selin SIRIK**

İstanbul Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Protetik Diş Tedavisi A.D.

34093 Çapa- Fatih/İstanbul

Tel: (0212) 414 20 20 (30256)

e-posta:zelihaselin@gmail.com