

## Derleme

# Diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinlerin güçlendirilmesi

Nihal Pehlivan,\* Özgül Karacaer

Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara, Türkiye

## ÖZET

Diş hekimliğinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan kompozit rezinlerin sahip oldukları pek çok avantaja karşın mekanik özelliklerinin yeterli olmaması önemli bir dezavantajdır. Bu nedenle günümüzde mekanik özelliklerin geliştirilmesine yönelik çalışmalara ilgi giderek artmaktadır. Bu derlemede kompozit rezinlerin içeriğindeki organik matriks, inorganik doldurucular ve silanların modifiye edilerek güçlendirilmesine yönelik yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** İnorganik doldurucu; kompozit rezin; nanodoldurucu; nanofiber; nanopartiküller; organik matriks; prostodonti; restoratif diş hekimliği

**KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:** Pehlivan N, Karacaer Ö. Diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinlerin güçlendirilmesi. *Acta Odontol Turc* 2014;31(3):160-6.

[Abstract in English is at the end of the manuscript]

## GİRİŞ

İki ya da daha fazla farklı materyalin bir araya getirilmesiyle oluşturulan materyale kompozit adı verilir.<sup>1</sup> Kompozit rezinler biyolojik açıdan uyumlu olmaları, estetik olmaları, diş dokusuna adezyonları ve adaptasyonları nedeniyle diş hekimliğinde sıklıkla kullanılırlar.<sup>2-5</sup>

Kompozit rezinlerin kimyasal yapısı üç kısımdan oluşur: Organik polimer matriks (taşıyıcı faz), ara bağlayıcılar (silan faz) ve inorganik doldurucular (dağılan faz).<sup>1,6,7</sup>

## Organik polimer matriks

Bu faz içinde monomerler, komonomerler, polimerizasyon başlatıcıları, inhibitörler plastize edici maddeler ve pigmentler bulunmaktadır.<sup>1,7,8</sup>

Monomerler genelde bisfenol A glisidil metakrilat (Bis-GMA) ya da üretan dimetakrilat (UDMA)'dır.<sup>4-7</sup> Yüksek viskoziteye sahip bu iki monomeri dilüe etmek amacıyla tri etilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) komonomeri kullanılır.<sup>5,7</sup> Kullanılan diğer monomerler etoksi bisfenol-A-dimetakrilat (Bis-EMA), dekanediyl dimetakrilat (D<sub>3</sub>MA), bis(metakriloksilometil) trisiklikdekan ve üretan tetrametakrilattır (UTMA).<sup>9,10</sup>

Polimerizasyon başlatıcıları; kimyasal veya fiziksel aktivasyon ile monomerin çift bağları ile reaksiyona giren enerjiden zengin serbest radikallerin ve polimer zincirlerinin oluşmasını sağlar.<sup>1,5,7,11</sup>

İnhibitörler, kompozit rezinlerin kendi kendine polimerizasyonunu önlemek için kullanılan fenol türevi bileşiklerdir.<sup>1</sup>

Pigmentler, kompozit rezinlere dişlerle uyumlu renkte olması için ilave edilen inorganik oksitlerdir.<sup>8</sup>

## Ara bağlayıcılar

Kompozit rezinlerde organik faz ile inorganik faz arasındaki kimyasal bağlanma ara bağlayıcılar ile gerçekleşir.<sup>1,6,12</sup> Bu faz silisyum bileşiği olan silanlardan oluşur. Günümüzde doldurucu partiküllerin yüzeyi silan bağlayıcı ajanlar ile kaplanmıştır.<sup>7,9,12</sup> Silan bağlama ajanları rezinin mekanik özelliklerini geliştirdiği gibi rezin-partikül ara yüzü boyunca suyun geçişini önleyerek hidrolitik dengeyi sağlar, rezinin çözünürlüğünü ve su emilimini azaltır ve böylece fiziksel özelliklerin artmasını sağlar.<sup>13,14</sup>

## İnorganik doldurucular

Matriks içerisinde dağılmış olarak bulunan bu fazı çeşitli şekil ve büyüklükte cam partikülleri, alüminyum ve litium silikat, bor silikat, hidroksiapatit gibi inorganik doldurucular oluşturur.<sup>6,9,12</sup> Baryum, çinko, stronsiyum, zirkonyum gibi iyonlar ilave edilerek radyopak, aşınmaya dirençli kompozitler elde edilebilir.<sup>1,7</sup> Kompozit rezinde, küçük boyutta ağırlıkça fazla inorganik doldurucu kullanılması, aşınmaya direnci ve elastikiyet modülünü artırırken; ısıl genleşme, polimerizasyon büzülmesi, su emilimi ve akışkanlığı azaltır.<sup>6,7,9</sup> Kompozit materyaller polimerizasyon büzülmesi göstermeleri, yüzey sertliğinin zamanla değişmesi, su absorbe etmeleri, suda

Makale gönderiliş tarihi: 12 Nisan 2012; Yayına kabul tarihi: 23 Ekim 2012  
\*İletişim: Nihal Pehlivan, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Bişkek Cd.  
(8. Cd.), 82. Sk., No:4, 06510 Emek, Ankara, Türkiye;  
e-posta: dtnihalpehlivan@gmail.com

çözünmeleri ve düşük mekanik özellikler göstermeleri gibi dezavantajlara sahiptir, klinik ömürleri kısadır.<sup>2,15,16</sup> İnorganik, organik ve silan fazının modifiye edilmesi ile kompozit rezinleri güçlendirmeye ve klinik ömrünü uzatmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.<sup>12</sup> Bu sayede sadece küçük restorasyonlarda, inleylerde değil büyük restorasyonlarda kullanılabilirler düşünülmemektedir.<sup>4,17</sup>

### **İnorganik fazın modifiye edilmesi**

Kompozit rezinlerin güçlendirilmesinde inorganik doldurucuları modifiye etmek oldukça etkili bir yöntemdir.<sup>18</sup> Bu amaçla matriks içerisine şu materyaller ilave edilir: fiber, seramik parçacıklar (whisker), nanodoldurucular, mineral salan doldurucular, nanofiber, TiO<sub>2</sub> nanotüpler, mezoporöz doldurucular.

#### *Fiber ile güçlendirme*

Fiberle güçlendirilen kompozitler, diş hekimliğinde kullanılan geleneksel restoratif kompozitler gibi organik matriks ve inorganik doldurucu fazdan oluşur. Ancak burada doldurucu faz geleneksel restoratif kompozitlerdeki partiküllerden farklı olarak fiberlerden oluşur. Fiberler uzunluklarının, çaplarından çok daha büyük olması ile karakterizedir. Amerikan Standart Test Metoduna (ASTM) göre fiber uzunluğunun çapına oranı en az 10/1 ve kesiti de <0.005 mm<sup>2</sup> den küçük olmalıdır. Fiberin matriks yapı içerisine yerleştirilmesi ile fiber etrafında sürekli bir faz elde edilir.<sup>19</sup> Diş hekimliğinde fiberin kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Hareketli protezlerde protez kadesinin güçlendirilmesi
- Sabit protetik restorasyonlarda
- Direkt/indirekt inley destekli köprülerde
- Adeziv köprülerde
- Geçici köprülerde
- Direkt/indirekt post-kor yapımında
- Periodontal splintlemelerde
- Ortodontik aparey güçlendirilmesinde<sup>20,21</sup>

Diş hekimliğinde başlıca dört tip fiber kullanılmaktadır: karbon, aramid, cam ve polietilen fiberler.<sup>20</sup> Karbon ve aramid fiberler rezinlerin güçlendirilmesinde cam fiberlere oranla daha az etkili olmaları ve estetik olmamaları nedeniyle tercih edilmez.<sup>22</sup> Cam fiberler estetik, biyouyumlu, esnek, dirençli ve bağlanma özellikleri yüksek olduklarından diş hekimliğinde sık kullanılır.<sup>20,21</sup> Cam fiberler kompozit rezinlerin bükülme direncini ve elastikiyet modülünü yükseltir.<sup>22</sup> Kompozit rezinlerde klinik olarak kabul edilebilir düzeyde mikrosertlik sağlar ancak bu değer geleneksel kompozit rezinlerden daha düşüktür.<sup>23</sup> Diş hekimliğinde sıkça kullanılan bir diğer fiber türü polietilen fiberlerdir. Polietilen fiberler estetik, biyouyumlu ve elastikiyet modülü yüksek materyaller-

dir ve kompozit rezinlerin mekanik özelliklerini artırır.<sup>22,50</sup> Ayrıca hasta başında tek seansta restorasyon hazırlanmasına olanak tanır.<sup>25</sup> Bu avantajlarına karşın yüzey enerjisinin düşük olması nedeniyle rezine bağlanma özelliği düşüktür. Bağlanma özelliklerinin artırılması amacıyla polietilen fiberlere çeşitli yüzey işlemleri (silan, plazma, helyum, kromik asit, zirkonat bağlayıcı ajan, benzoil peroksit vb.) uygulanmaktadır.<sup>26-30</sup> Rezinlerin fiberle güçlendirilmesinde fiberin yapısı, yönü, kullanım oranı, fiberin rezinle bağlanma kalitesi etkilidir.<sup>22,31</sup>

Fiberler mekanik özelliklerinin iyi olması sayesinde restorasyonların daha ince hazırlanmasına olanak sağlarlar. Direkt uygulamalarda zaman kazandırılırlar. Elastikiyet modülünün dentine yakın olması sayesinde dişte yıkıcı hasar oluşturma olasılıkları düşüktür. Ayrıca hafif ve ekonomiktirler.<sup>32</sup> Ancak fiberlerle sağlanan güçlendirme sınırlıdır. Ayrıca fiberle güçlendirme zor, zaman alan ve kimi zaman da estetik olmayan sonuçlar doğuran bir uygulamadır. Fiberle güçlendirilen materyaller nemli ağız ortamında uzun süre stabil kalamazlar ve mekanik özellikleri düşer. Tek başına iken dağılıbilir, matriks dışına taşabilir ve böylece irritasyona neden olabilir. Dezavantajları nedeniyle üretici firmalar tarafından rezin matrikse ilave edilmesi tercih edilmez.<sup>32,33</sup>

#### *Seramik parçacık (whisker) ile güçlendirme*

Parçacıklar birkaç mikron ya da onlarca mikron boyunda uzatılmış formdaki materyallerdir.<sup>32,34</sup> Bu materyallerde boy enin 5-10 katıdır. Parçacık boyutunun küçük olması rezin içerisinde eşit dağılım ve kolay cilalanabilme sağlar, abrazyonu azaltır. Seramik parçacıklar üstün mekanik özelliklere sahiptir ve stabildirler.<sup>32,35,36</sup> Ancak bu parçacıklar opak olmaları nedeniyle rezinin polimerizasyonunu olumsuz etkilerler.<sup>34</sup>

Xu ve ark.<sup>32</sup> silanizasyonunu kolaylaştırmak ve matriks ile daha iyi tutunmasını sağlamak amacıyla seramik parçacıkların yüzeyini silika partiküller ile kaplamışlardır. Farklı oranlarda (0-%70) katılan seramik parçacıkların Bis-GMA/TEGDMA esaslı kompozitin elastikiyet modülü, bükülme direnci ve sertlik değerlerinde artış sağladığı ayrıca doldurucu oranı ile bu değerler arasında doğru orantı olduğu bildirilmiştir. Çalışmacılar elde edilen bükülme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin, aynı oranda silika doldurucu içeren geleneksel kompozitlere göre iki kat yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

#### *Nanodoldurucu ile güçlendirme*

Nanoteknoloji ya da nanobilim maddenin çok küçük boyutta (0.1-100 nm) elde edilmesini sağlar. Kompozit rezinlerde inorganik faz nanoboyuta indiğinde nanokompozit adını alır. Teorik olarak nanodoldurucu oranı ağır-

lıkça %90-95 olabilir. Nanodoldurucular alev piroliz, alev sprej piroliz ve sol-jel gibi yöntemlerle elde edilir.<sup>9,18</sup>

Yüzey/hacim oranı çok büyük olan nanodoldurucular rezin içerisindeki doldurucu oranının artmasına olanak tanır. Nanodoldurucuların yüzey alanının geniş olması organik matriks ile daha iyi bağlanabilmeyi sağlar. Nanodoldurucular, doldurucu oranının artmasına olanak sağlayarak rezinin polimerizasyon büzülmesini, su absorpsiyonunu, suda çözünmesini azaltırken sertlik, gerilme direnci, basma direnci, aşınma direnci, bükülme direnci, elastikiyet modülü değerlerinde artış sağlar. Görülebilir ışık dalga boyundan daha küçük olan nanodoldurucular ışığı absorbe edemedikleri ya da yansıtamadıkları için estetikler ve polimerizasyon derinliğini olumsuz etkilemezler.<sup>2,9,10,18,37,38</sup> Güçlendirme amacıyla kullanılan nanodoldurucular rezin içerisinde kümeleşerek rezinin mekanik özelliklerini düşürebilir.<sup>18,38</sup>

Rastelli ve ark.<sup>18</sup> nanodoldurucu, nanohibrid, mikrohibrid kompozitleri karşılaştırdıkları çalışmada nanohibrid ve mikrohibrid doldurucuların düzensiz yapıda olduğunu, nanodoldurucuların ise daha yuvarlak yapıda olduğunu ve bunun daha fazla doldurucu kullanımına olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Kalsiyum fosfat, kalsiyum florid, titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), silika gibi farklı nanodoldurucular hazırlanabilmektedir. TiO<sub>2</sub> nanopartiküller üstün mekanik özelliklere sahiptir, elastikiyet modülü 230 GPa civarındadır. Dental materyallerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için TiO<sub>2</sub> kullanılması oldukça etkilidir fakat materyal içerisinde kümeleşmesi önemli bir dezavantajdır. Kümeleşmeyi önlemek amacıyla TiO<sub>2</sub> yüzeyine çeşitli işlemler uygulanabilir.<sup>38</sup>

#### Mineral salan doldurucu ile güçlendirme

Mineral salan kompozit rezinlerin üretiminde hidroksiapatit (HAP), amorf kalsiyum fosfat (ACP), tetrakalsiyum fosfat (TTCP), dikalsiyum fosfat anhidroz (DCPA) gibi farklı kalsiyum fosfat türleri kullanılmıştır. Kompozit rezinlerde bu doldurucuların kullanımı ile çürük oluşumu durdurulmaya çalışılır.<sup>2,9</sup>

Mineral salan doldurucuların kullanımının rezinin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini bildiren çalışmalar varsa da bu sonuç daha çok kullanılan diğer inorganik doldurucuların etkisiyle elde edilir.<sup>2</sup>

#### Nanofiber ile güçlendirme

Kompozit rezinlerin başarısızlığında birçok faktör etkilidir ama bunlardan en önemlisi inorganik dolduruculardır. İronik bir şekilde kompoziti güçlendirmek için eklenen inorganik doldurucular aynı zamanda restorasyonların kaybına sebep olur. Gıdaların çiğnenmesi sırasında oluşan okluzal kuvvetler doldurucu partiküllere iletilir. İnorganik doldurucular matriksten çok daha sert olduğundan kuvvet matrikse iletilir. İnorganik doldurucuların düzen-

siz şekilli ya da köşeli olduğu alanlarda stres konsantrasyonu çok daha yüksek olur ve bu alanlarda oluşan mikro çatlaklar matriksi lokal olarak zayıflatır.<sup>4,5</sup> Nanofiberler ise köşesiz, düzenli bir yapıya sahip olduklarından stres konsantrasyonları oluşturmazlar. Yüzey/hacim oranı çok büyük olan nanodoldurucular rezin içerisindeki doldurucu oranının artmasına olanak tanır. Bu sayede rezinin polimerizasyon büzülmesini düşürür, su absorpsiyonunu ve suda çözünmesini azaltır. Kompozitlerin gerilme direnci, bükülme direnci, elastikiyet modülü gibi mekanik özelliklerini iyileştirir. Nanodoldurucuların yüzey alanının geniş olması organik matriks ile daha iyi bağlanabilmeyi sağlar. Ayrıca görülebilir ışık dalga boyundan daha küçük olan nanodoldurucular ışığı absorbe edemedikleri ya da yansıtamadıkları için estetik avantaj sağlarlar, polimerizasyon derinliğini düşürmezler.<sup>2-5</sup> Ancak nanofiberlerin rezin içerisine yüksek oranda katılması kümeleşmeye dolayısıyla mekanik özelliklerde düşüşe sebep olur.<sup>3,4</sup>

Kompozit rezini güçlendirmek amacıyla nylon 6, polimetil metakrilat (PMMA), poliakrilonitril (PAN), hidroksiapatit (HAP), zirkonyum dioksit (ZrO<sub>2</sub>) gibi farklı nanofiberler kullanılabilir.<sup>2,4,5,36</sup> Elektro çekim nanofiber üretilmesinde kullanılan bir yöntemdir.<sup>4,5</sup> Elektro çekim yöntemiyle çeşitli polimerik solüsyon ve eriyiklerden nanofiber elde edilir. Bu yöntemde yüksek voltaj güç kaynağı, besleme ünitesi (şırınga, metal iğne vb), topraklanmış bir toplayıcı (plaka, silindir, disk, vb.) ve sıvı polimer olmak üzere dört ana eleman bulunur. Elektro çekim yönteminde polimer çözeltisine yüksek değerlerde voltaj uygulanır. Elektrik gücü, sıvının yüzey gerilimi değerini aştığında besleme ünitesi iğnenin ucunda bir jet oluşur ve solüsyonda buharlaşma sağlanır. Oluşan jet, karşısında bulunan topraklanmış toplayıcıya doğru akar ve nano boyutlarda lif tabakası toplayıcı üzerinde birikir. Üretilen nanofiber kompozit rezin içerisine genellikle tabakalama ya da toz haline getirme yöntemlerinden biri ile yerleştirilir. Ancak tabakalama yönteminin zor olduğu belirtilmiştir.<sup>3,5</sup> Yüzde 5 oranında nylon 6 nanofiber ilavesi, rezinlerin bükülme direncini ve elastikiyet modülünü artırırken polimerizasyon büzülmesini düşürür.<sup>39</sup> Nylon 6 nanofiberler silika kristalleri ile birlikte kullanıldığında ise bahsedilen mekanik değerlerde çok daha fazla artış sağlanır.<sup>5</sup> PAN-PMMA nanofiberlerin ilavesi de rezinin mekanik özelliklerinde artış sağlamıştır. Son zamanlarda nanofiberin post-drawing (germe) ile mekanik özelliklerinin artırılmasına yönelik uygulamalar araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Germe işleminin nanofiberin oryantasyonu ve polimer kristalleşmesini etkilediği düşünülmektedir. Germe uygulanmış PAN/PMMA nanofiberler rezinlerin bükülme direncini %51.6 ve elastikiyet modülünü %64.3 oranında artırır. Germe uygulanan nanofiberler de rezin içerisine yüksek oranda katıldığında kümeleşir.<sup>3</sup>

Partikül halindeki kalsiyum fosfat türevlerinin de nanofiber haline getirildiğinde kompozit rezinin mekanik özelliklerini iyileştirdiği, SEM görüntülerinde HAP nanofiber içeren rezinlerde fiberin kırık oluşumunu durdurmaya yönelik bir yapı oluşturduğu bildirilmiştir.<sup>2</sup>

ZrO<sub>2</sub> stabil, biyoyumlu, dayanıklı, kırılmaya dirençli bir materyaldir. ZrO<sub>2</sub> nanofiberlerin kullanımı rezine bu özellikleri sağlar ayrıca küçük boyutları sayesinde ışık saçılımına neden olmadıklarından polimerizasyonu olumsuz etkilemez.<sup>36</sup>

#### *TiO<sub>2</sub> nanotüpler ile güçlendirme*

Artroplastide, diş hekimliğinde kemik simanı (bone cement) ve restoratif materyal olarak kullanılan polimer esaslı kompozitler pek çok avantajı olmasına rağmen henüz mekanik olarak istenen özelliklere sahip değildirler. Güçlendirilmeleri amacıyla TiO<sub>2</sub> nanotüpler kullanılabilir. TiO<sub>2</sub> nanotüpler hacimlerine oranla çok daha geniş yüzey alanına sahiptir. Bu sayede rezin matrisi ile bağlanması yüksektir.<sup>15</sup>

TiO<sub>2</sub> nanotüp ilavesi rezinin mekanik özelliklerini iyileştirir, reolojik özelliklerini ve biyoyumluluğunu olumsuz etkilemez. TiO<sub>2</sub> nanotüp ilavesinin PMMA esaslı kemik simanına etkisinin araştırıldığı bir çalışmanın sonuçları dental kompozitler açısından da değerlendirilmiştir. Çalışmada TiO<sub>2</sub> nanotüp ile matris arasındaki bağlantının yüksek olması sayesinde rezinin elastikiyet modülü ve bükülme direnci değerlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni kırık oluşumunda matris ile doldurucu arasındaki bağlantıyı koparmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmasıdır. Ancak %1'den daha yüksek oranda TiO<sub>2</sub> nanotüp yüklemesi yapıldığında kümeleşme görüldüğünden güçlenme sağlanamaz. Akışkan kompozitlerin kırılma tokluğunu ve bükülme direncini yükseltmek için TiO<sub>2</sub> nanotüpler kullanılabilir. Doldurucu oranı diğer kompozitlere oranla daha düşük olan akışkan kompozitler, kaviteye daha iyi adaptasyon ve uygulama kolaylığına sahiptir ancak oklüzal yüklerle karşı dayanıksızdır. Akışkan kompozitlere çok düşük oranda TiO<sub>2</sub> nanotüp yüklemesi yapılarak viskozitesi değişmeksizin daha iyi mekanik özelliklere sahip materyaller hazırlanabilir.<sup>15</sup>

#### *Mezoporöz doldurucular ile güçlendirme*

Kompozit rezinlerin birçoğu farklı büyüklük ve şekilde poröz olmayan inorganik doldurucu içerirler. Kullanılan inorganik doldurucular ile matris arasındaki bağlantı silanlar ile sağlanır. Bazı araştırmacılar silan kullanımının kompozit rezinin ömrünü kısalttığını belirtmişlerdir. Bu nedenle doldurucular ile organik faz arasında silan kullanılmaksızın bağlanma sağlanması için poröz inorganik doldurucu kullanılması fikri ortaya atılmıştır. Bu

yöntemde matris inorganik doldurucularda bulunan porlara basınç ve vakum ile gönderilir.<sup>40</sup>

Poröz doldurucuların yüzey alanının geniş olması organik-inorganik faz arasındaki bağlanmayı artırır. Çalışmalarda poröz inorganik doldurucu kullanılan rezinlerin aşınma direncinin arttığı, nem ortamından daha az etkilendiği, mekanik özelliklerinin iyileştiği ve polimerizasyon büzülmesinin azaldığı belirtilmiştir.<sup>40,41</sup>

#### **Organik fazın modifiye edilmesi**

Diş hekimliğinde kullanılan metakrilat esaslı rezinler bünyelerindeki polimerize olan ünitelerin özellikleri doğrultusunda belli bir büzülme gösterirler.<sup>9,42</sup> Kompozit rezinlerde meydana gelen polimerizasyon büzülmesi restorasyonun marjinal adaptasyonunu bozarak mikrosızıntıya sebep olur. Polimerizasyon büzülmesini azaltmak için rezinin küçük kitleler halinde ve tabakalama yöntemiyle yerleştirilmesi, inorganik doldurucu oranının artırılması gibi önlemler alınabilir. Doldurucu miktarının artırılması belirli sınırlar dahilinde yapılabilir. Çünkü matris belli oranda doldurucu ile bağlanabilir.<sup>42</sup>

Polimerizasyon büzülmesini azaltmak için alınan bir diğer önlem ise organik matrisin modifiye edilmesidir. Oksetanlar, oksibismetakrilatlar polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla kullanılan monomerlerdendir. Kompozit rezinlerin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla epoksi polyol, silseskuoksan (SSQ), epoksi rezin ERL4221 gibi farklı monomerler de kullanılabilir.<sup>43-45</sup>

Epoksi polyol ve SSQ polimerizasyon büzülmesini azaltır.<sup>44,45</sup> Epoksi rezin ERL4221 içeren kompozitlerin polimerizasyon büzülmesi geleneksel kompozitlerin ¼'i kadardır. Ayrıca rezin ve doldurucu arasındaki bağlantının iyi olması dayanıklı rezin üretimini sağlar.<sup>43</sup>

Siloran ve ormoserler organik fazın modifiye edilmesiyle üretilen kompozitlerdendir.

#### *Siloran*

Siloran adını kimyasal yapısında bulunan siloksan ve oksiran'dan alır. Siloksan materyale hidrofobik özellik kazandırır ve oksiran polimerizasyon büzülmesini düşürür.<sup>9,16,42</sup> Su ve tükürük ortamında stabildirler ve alkolden çok az etkilenirler.<sup>42</sup>

Siloran düşük polimerizasyon büzülmesi, yüksek reaktiflik, biyoyum özelliklerine sahiptir ve mekanik özellikleri iyidir. Yüzey özellikleri zamanla çok az değişir. Ayrıca su absorpsiyonu ve suda çözünme oranı düşüktür.<sup>9,16,42</sup>

Schneider ve ark.<sup>16</sup> siloran, ormoser ve dimetakrilat esaslı kompozitleri karşılaştırdıkları çalışmada en düşük su absorpsiyonu ve suda çözünme ile yüzey özelliklerinde en az değişimi siloranlarda bulmuşlardır.

### Ormoserler

1998 yılında restoratif diş hekimliğine tanıtılan ormoserler adını organik-modifiye-seramik (organically-modified-ceramics) kelimelerinin ilk hecelerinden almıştır.<sup>1,6,14</sup>

Ormoserlerde geleneksel polimerlerden farklı olarak silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) üzerine inorganik iskelet inşa edilmiş ve bu iskelet üzerine de polimerize olan organik üniteler eklenmiştir. Çapraz bağlı inorganik ve organik ağ matriks ile doldurucu partiküller birleştirilmiştir. Organik ve inorganik fazlar sol-jel metoduyla nanoboyutta hazırlanmıştır. Ormoserlerde doldurucu olarak özel cam, seramik ve yüksek oranda silika kullanılır.<sup>6,16</sup> İçlerine ilave edilen ZrO<sub>2</sub> sayesinde radyoopaktırlar. Ormoserler geleneksel kompozitlere oranla basınca ve aşınmaya karşı daha dayanıklıdır ve polimerizasyon bütümlümesi önemli ölçüde azdır.<sup>1,6,7</sup>

### Silanların modifiye edilmesi

Silanlar, kompozit rezinlerin organik ve inorganik fazlarını birbirine bağlamalarının yanı sıra doldurucu yüzeyini kırık oluşumundan korurlar, polimer matriksin sınır katmanını güçlendirirler.<sup>12</sup>

Kompozit rezinlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla 3-metakriloksi-propiltrimetoksisilan (MPS), üretan dimetakrilat silan (UDMS), 10-metakriloksi-propiltrimetoksisilan (MPTS), 10-(metakriloksi)de-siltrimetoksisilan (MDTMS), oktiltrimetoksisilan (OTMS), 3-metakriloksi-propiltrimetoksisilan (MPTMS) gibi farklı silanlar kullanılabilir.<sup>12,46-52</sup>

En sık kullanılan MPS silanların adezyonları yüksektir ancak nemli ağız ortamında stabil kalamazlar. Bu silanların inorganik doldurucular ile yaptığı kovalent bağ iyonik karakterde olduğundan nemden daha fazla etkilenirken organik matriks ile yaptığı karbon-karbon kovalent bağ nemden daha az etkilenir.<sup>46,48-50</sup>

Kullanılan silan tipi, kompozit rezinin suda çözünürlüğünde ve su absorpsiyonunda etkilidir. Hidrofilik üretan dimetakrilat silanlar (UDMS) yüksek su absorpsiyon oranı gösterirler. Metakrilat içermeyen OTMS silanların ise suda çözünme oranı yüksektir. Ayrıca MPS silanın su/etanol absorpsiyonu OTMS ve UDMS silanlardan daha azdır.<sup>47</sup>

Bazı araştırmacılar MDTMS gibi hidrofobik ve elastik silan kullanımının kompozit rezinin mekanik özelliklerini geliştireceğini belirtmişlerdir.<sup>46,48,49</sup>

UDMS silan kullanılarak üretilen kompozitler suda bekletildikten sonra düşük oranda kırılma gösterirler. Ayrıca MDTMS silanlardan daha iyi mekanik özellikler sağlarlar.<sup>51</sup>

Silan ile silika arasında bağ oluşması hidrofilik alanların sayısını azaltır ve bu nedenle düşük oranda silan-

lama ile materyalin su absorpsiyonu ve suda çözünmesi artar. Kompozit rezinlerdeki ideal UDMS silan oranı %2.5'tir ve silan oranının artması materyalin özelliklerini geliştirmez.<sup>12</sup>

Wilson ve ark.<sup>52</sup> MPTS silanların, doldurucuların rezin içerisinde kümeleşmesini önlediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca MPTS ve OTMS silanların birlikte kullanımının kompozitlerin çalışılabilirliğini artırdığını belirtmişlerdir.

McDonough ve ark.<sup>49</sup> MPTMS ve MDTMS silanları karşılaştırdıkları çalışmada hidrofobik MDTMS silanların MPTMS silanlara göre nemli ortamda daha stabil olduğunu belirtmişlerdir.

Sideridou ve Karabela<sup>50</sup> farklı silanların kompozitlerin elastikiyet modülüne etkisini araştırdıkları çalışmada UDMS silanların MPS silanlardan daha yüksek elastikiyet modülü sağlamadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar karşılaştırdıkları üç silan arasında en düşük elastikiyet modülünü OTMS silanlar ile hazırlanan rezinlerde elde ettiklerini belirtmişlerdir.

### SONUÇ

İlk kez 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanan kompozit rezinleri geliştirmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Mekanik ve fiziksel özelliklerinin güçlendirilmesi ile kompozit restorasyonların ömrü uzatılabilir ve bu sayede daha büyük restorasyonların yapımında kullanılabilir. Kompozit rezinlerin zayıf olan mekanik özelliklerini artırmaya yönelik çalışmalara ihtiyaç olduğu kanısındayız.

**Çıkar çatışması:** Yazarlar bu çalışmayla ilgili herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını bildirmişlerdir.

### KAYNAKLAR

1. Aktürk H. Kompozit rezinin yüzey sertlik değerleri üzerine farklı ışık ci-hazlarının etkisi [tez]. Ankara: Ankara Üniversitesi; 2007.
2. Chen L, Yu Q, Wang Y, Li H. BisGMA/TEGDMA dental composite containing high aspect-ratio hydroxyapatite nanofibers. Dent Mater 2011;27:1187-95.
3. Sun W, Cai Q, Li P, Deng X, Wei Y, Xu M, et al. Post-draw PAN-PMMA nanofiber reinforced and toughened Bis-GMA dental restorative composite. Dent Mater 2010;26:873-80.
4. Tian M, Gao Y, Liu Y, Liao Y, Hedin NE, Fong H. Fabrication and evaluation of Bis-GMA/TEGDMA dental resins/composites containing nano fibrillar silicate. Dent Mater 2008;24:235-43.
5. Tian M, Gao Y, Liu Y, Liao Y, Xu R, Hedin NE, et al. Bis-GMA/TEGDMA Dental Composites Reinforced with Electrospun Nylon 6 Nanocomposite Nanofibers Containing Highly Aligned Fibrillar Silicate Single Crystals. Polymer 2007;48:2720-8.
6. Altun C. Kompozit dolgu materyallerinde son gelişmeler. Gülhane Tıp Derg 2005;47:77-82.
7. Önal B. Restoratif diş hekimliğinde maddeler ve uygulamaları, 1. Baskı. İzmir: Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları; 2004.
8. Craig RG, Powers JM. Restorative dental materials, 11th ed. St Louis: CV Mosby; 2002.

9. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res* 2010;89:549-60.
10. Şahin D, Kapdan A, Ünal M, Hürmüzlü F. Farklı yapıdaki kompozit rezin materyallerinin su emilimi ve suda çözünürlük değerlerinin karşılaştırılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2009;12:22-8.
11. Çelik Ç, Yonca Ö. Rezin restoratif materyallerin polimerizasyonunda kullanılan ışık kaynakları. *ADO Klinik Bilimler Dergisi* 2008;2:109-15.
12. Karabela MM, Sideridou ID. Synthesis and study of physical properties of dental light-cured nanocomposites using different amounts of a urethane dimethacrylate trialkoxysilane coupling agent. *Dent Mater* 2011;27:1144-52.
13. Dayangaç B. Kompozit rezin restorasyonlar, 1. Baskı. Ankara: Güneş Kitabevi; 2000.
14. Philips RW. Skinner's science of dental materials, 8th ed. London: WB Saunders Company; 1982.
15. Khaled SM, Miron RJ, Hamilton DW, Charpentier PA, Rizkalla AS. Reinforcement of resin based cement with titania nanotubes. *Dent Mater* 2010;26:169-78.
16. Schneider LF, Cavalcante LM, Silikas N, Watts DC. Degradation resistance of silorane, experimental ormocer and dimethacrylate resin-based dental composites. *J Oral Sci* 2011;53:413-9.
17. Xu HH, Schumacher GE, Eichmiller FC, Peterson RC, Antonucci JM, Mueller HJ. Continuous-fiber preform reinforcement of dental resin composite restorations. *Dent Mater* 2003;19:523-30.
18. Rastelli AN, Jacomassi DP, Faloni AP, Queiroz TP, Rojas SS, Bernardi MI, *et al.* The filler content of the dental composite resins and their influence on different properties. *Microsc Res Tech* 2012;75:758-65.
19. Landel RF, Nielsen LE. Mechanical properties of polymer and composites, 2nd ed. New York: Marcel Dekker Inc; 1993.
20. Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Goldberg AJ. Fiber reinforced composites in clinical dentistry, 1st ed. London: Quintessence Publishing Co Inc; 2000.
21. Tunçdemir AR, Aykent F. Fiberle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş ışıkla sertleşen kompozitlerin translusenslerinin incelenmesi. *SÜ Dişhek Fak Derg* 2009;18:13-9.
22. Candan Ü, Eronat N. Fiberle güçlendirilmiş rezin kompozitler. *EÜ Dişhek Fak Derg* 2008;29:1-12.
23. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV. Depth of cure and surface microhardness of experimental short fiber-reinforced composite. *Acta Odontol Scand* 2008;66:38-42.
24. Schlichting LH, de Andrada MA, Vieira LC, de Oliveira Barra GM, Magne P. Composite resin reinforced with pre-tensioned glass fibers. Influence of prestressing on flexural properties. *Dent Mater* 2010;26:118-25.
25. Güner ÇA, Karacaer Ö. Polietilen fiber ile güçlendirilmiş rezin tutuculu köprü restorasyonu: Olgu sunumları. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2007;10:26-30.
26. Andreopoulos AG, Papaspyrides CD, Tsilibounidis S. Surface treated polyethylene fibres as reinforcement for acrylic resins. *Biomaterials* 1991;12:83-7.
27. Braden M, Davy KW, Parker S, Ladizesky NH, Ward IM. Denture base poly(methyl methacrylate) reinforced with ultra-thin modulus polyethylene fibers. *Br Dent J* 1988;164:109-13.
28. Ertem G, Şimşek E, Karacaer Ö. İki farklı polimerizasyon yönteminin polietilen fiberle güçlendirilmiş akrilik rezinlerin artık monomer miktarına etkisi. *GÜ Diş Hek Fak Derg* 2011;28:9-16.
29. Samadzadeh A, Kugel G, Hurley E, Aboushala A. Fracture strengths of provisional restorations reinforced with plasma-treated woven polyethylene fiber. *J Prosthet Dent* 1997;78:447-50.
30. Solnit GS. The effect of methyl methacrylate reinforcement with silane-treated and untreated glass fibers. *J Prosthet Dent* 1991;66:310-4.
31. Karacaer O, Polat TN, Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of length and concentration of glass fibers on the mechanical properties of an injection- and a compression-molded denture base polymer. *J Prosthet Dent* 2003;90:385-93.
32. Xu HH. Dental composite resins containing silica-fused ceramic single-crystalline whiskers with various filler levels. *J Dent Res* 1999;78:1304-11.
33. Goldberg AJ, Freilich MA. An innovative pre-impregnated glass fiber for reinforcing composites. *Dent Clin North Am* 1999;43:127-33, vi-vii.
34. Xu HH, Martin TA, Antonucci JM, Eichmiller FC. Ceramic whisker reinforcement of dental resin composites. *J Dent Res* 1999;78:706-12.
35. Xu HH, Quinn JB, Giuseppetti AA, Eichmiller FC, Parry EE, Schumacher GE. Three-body wear of dental resin composites reinforced with silica-fused whiskers. *Dent Mater* 2004;20:220-7.
36. Xu X, Guo G, Fan Y. Fabrication and characterization of dense zirconia and zirconia-silica ceramic nanofibers. *J Nanosci Nanotechnol* 2010;10:5672-9.
37. Fujita K, Ikemi T, Nishiyama N. Effects of particle size of silica filler on polymerization conversion in a light-curing resin composite. *Dent Mater* 2011;27:1079-85.
38. Sun J, Forster AM, Johnson PM, Eidelman N, Quinn G, Schumacher G, *et al.* Improving performance of dental resins by adding titanium dioxide nanoparticles. *Dent Mater* 2011;27:972-82.
39. Fong H. Electrospun nylon 6 nanofiber reinforced Bis-GMA/TEGDMA dental restorative composite resins. *Polymer* 2004;45:2427-32.
40. Samuel SP, Li S, Mukherjee I, Guo Y, Patel AC, Baran G, *et al.* Mechanical properties of experimental dental composites containing a combination of mesoporous and nonporous spherical silica as fillers. *Dent Mater* 2009;25:296-301.
41. Zandinejad AA, Atai M, Pahlevan A. The effect of ceramic and porous fillers on the mechanical properties of experimental dental composites. *Dent Mater* 2006;22:382-7.
42. Ilie N, Hickel R. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dent Mater* 2009;25:810-9.
43. Chen MH, Chen CR, Hsu SH, Sun SP, Su WF. Low shrinkage light curable nanocomposite for dental restorative material. *Dent Mater* 2006;22:138-45.
44. Soh MS, Yap AU, Sellinger A. Physicomechanical evaluation of low-shrinkage dental nanocomposites based on silsesquioxane cores. *Eur J Oral Sci* 2007;115:230-8.
45. Tilbrook DA, Clarke RL, Howle NE, Braden M. Photocurable epoxy-polyol matrices for use in dental composites I. *Biomaterials* 2000;21:1743-53.
46. Antonucci JM, McDonough WJ, Schutte CL, Moon CK. Shear strength measurements of dental polymer/glass fiber interface via the microbond test. *Polymer Prepr* 1995;36:821-2.
47. Karabela MM, Sideridou ID. Effect of the structure of silane coupling agent on sorption characteristics of solvents by dental resin-nanocomposites. *Dent Mater* 2008;24:1631-9.
48. McDonough WG, Antonucci JM, Dunkers JP. A study of dental adhesion by means of the microbond test. *Polymer Prepr* 1997;36:112-3.
49. McDonough WG, Antonucci JM, Dunkers JP. Interfacial shear strengths of dental resin-glass fibers by the microbond test. *Dent Mater* 2001;17:492-8.
50. Sideridou ID, Karabela MM. Effect of the structure of silane-coupling agent on dynamic mechanical properties of dental resin-nanocomposites. *J Appl Polym Sci* 2008;110:507-16.
51. Venz S, Antonucci JM. Silanization and modification of fillers for dental composites. *J Dent Res* 1986;65:191. [Abstr. No. 191].
52. Wilson KS, Zhang K, Antonucci JM. Systematic variation of interfacial phase reactivity in dental nanocomposites. *Biomaterials* 2005;26:5095-103.

## Reinforcement of dental composite resins

### ABSTRACT

Composite resins are commonly used as dental restorative materials in dentistry and have many advantages, whereas their insufficient mechanical properties are among the main disadvantages. Therefore, efforts to im-

prove the mechanical properties are now becoming increasingly popular. In this review article, studies on strengthening the composite resin by modifying the organic matrix, inorganic fillers and silans are discussed.

**KEYWORDS:** Composite resin; inorganic filler; organic matrix; nanofiber; nanofiller; nanoparticles; prosthodontics; restorative dentistry