

Fiberle Güçlendirilmiş Rezin Kompozitler

Fiber-Reinforced Resin Composites

Ümit CANDAN Nesrin ERONAT

Ege Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Pedodonti AD, İZMİR

Özet

Fiber ile güçlendirilmiş kompozit (FGK) restorasyonlar, resin kompozitlerin fiziksel özelliklerinin güçlendirilmesi amacıyla yapılan, fiber ilave edilmiş resin esaslı restorasyonlardır. Fiberle güçlendirilmiş kompozit materyallerle yapılan çalışmalarda, kompozitin içine yerleştirilen fiberlerin, polimer matrise bağlanmasının ve kırılma direncinin mükemmel olduğu bildirilmiştir. Bu derlemede, dişhekimliğinde kullanılan fiber çeşitleri, fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin kullanım alanları, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen ve kullanımları sırasında dikkat edilmesi gereken faktörler anlatılarak bilimsel araştırmalar için bir kaynak oluşturulması amaçlandı.

Anahtar sözcükler: Fiberle güçlendirilmiş kompozit; Rezin kompozit; Dental materyal

Abstract

Fiber-reinforced composite restorations are resin-based restorations containing fibers aimed at improving their properties. It is reported that the bonding of the fibers within the composite to the polymer matrix and fracture resistance is perfect. In this review paper, types of fibers used in dentistry, their current clinical dental applications, the factors that effect the physical and mechanical properties of the fiber-reinforced composites, as well as factors to be considered in clinical applications are discussed in order to provide a source for scientific research.

Keywords: Fiber-reinforced composite; Resin composites; Dental material

Giriş

Dişhekimliğinde, kullanılan materyallerin güçlendirilmesi yıllardan beri üzerinde çalışılan konulardan biri olmuştur. Fiberle güçlendirilmiş kompozitler tanım olarak; fiziksel özelliklerinin güçlendirilmesi amacıyla yapısına fiber katılmış resin bazlı restorasyonlardır.¹

Fiberler, tekne, otobüs, rüzgâr değirmeni, spor aletleri, roket motorları, uçak yapımı gibi endüstrinin çeşitli dallarında uzun yıllardan beri materyallerin güçlendirilmesi için kullanılmıştır. Ayrıca fiberler doğada da çeşitli şekillerde karşımıza çıkmaktadır; bitki ve ağaçların hücre duvarlarında selülozik fiber şeklinde yer alırlar ve esneklik, dayanıklılık verirler. Suda yaşayan bazı canlılarda ve denizkestanelerinin dikenlerinde fiberlerin bulunduğu bildirilmiştir.^{1,2} Fiber katkılı materyaller; esneklik, sertlik, basınca

karşı direnç gibi mekanik özelliklerinin çok iyi olmasının yanı sıra, düşük özgül ağırlığı, translüsensi, korozyona uğramaması ve bağlanma özelliklerinin iyi olması nedeniyle endüstrinin birçok dalında olduğu gibi dişhekimliğinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Fiberler dişhekimliğinde ilk kez 1960'lı yıllarda, akrilik rezinlerin (polimetil metakrilat) mekanik özellikleri ve boyutsal stabilitesi ile ilgili sorunların giderilmesi ve metal destekli seramik yapıların olumsuz özelliklerine alternatif arayışı ile kullanılmıştır.³⁻⁹ 1973 yılında avülse veya çekilmiş ön dişlerin kronlarının tek seansta asitle dağlama tekniği ve fiber kullanılarak yan dişlere yapıştırılması ile ilgili bir rapor yayınlanmıştır.⁹ 1980'li yıllarda implant için hazırlanan protetik iskeletlerde, sabit protezlerde, ortodontide *retainer* olarak ve splintlerde çeşitli tip fiberler kullanılmaya başlanmıştır. Metal

destekli seramik uygulamalarda ise; alt yapıyı oluşturan metalin ışığa karşı geçirgen olmayışı, metal alt yapıyı maskelemek üzere kullanılan opağı yansıtması ve bunu azaltmak için aşırı kontur yapılma gereği, gıda birikimine neden olması, estetik ve biyolojik uyumluluğun yeteri kadar sağlanamaması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenlerle fiberle güçlendirilmiş kompozitler, köprü veya kron yapımında da alternatif olarak ortaya çıkmıştır.¹⁰

Fiberle güçlendirme nedir?

Fiber kendi çapına göre 100 kez daha fazla uzunlukta olan, silindirik, ince ve esnek bir yapıdır. Dişhekimliğinde kullanılan fiberle güçlendirilmiş kompozitler (FGK) temel olarak rezin kompozitlere benzer yapıya sahiptir ve rezin kompozitlerdeki gibi organik matris ve inorganik doldurucu fazdan oluşur. Organik matris; polimetil metakrilat (PMMA), epoksi veya Bisfenol A diglisidil metakrilat (Bis-GMA), üretan dimetakrilat (UDMA), trietilenglikol dimetakrilat (TEGDMA) yapısındadır. İnorganik doldurucu fazını ise, organik matris yapıya ilave edilen çeşitli boy, çap, yapı ve yönde yerleştirilen fiberler oluşturur. Kompozit matris içindeki fiber, adeziv bir ara yüzey ile rezine bağlanır. Matris ve fiber arasındaki arayüz, kompozitten yükün fiberlere transfer edilmesinde önemli rol oynar. Güçlendirici komponent olan fiberler, dayanıklılık ve sertlik sağlarken, fiberleri saran rezin matris onların geometrik yapısını sabitler, nemin etkisinden korur ve optimal gücü sağlamak için onları önceden tespit edilen pozisyonda tutar, destek ve uygulanabilirlik sağlar.¹⁻³

Dişhekimliğinde kullanılan fiber tipleri ve özellikleri

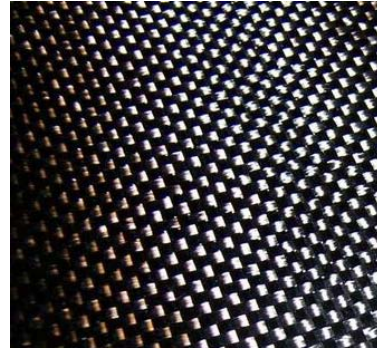
Dişhekimliğinde başlıca dört tip fiber kullanılmaktadır. Bunlar, karbon, aramit, polietilen ve cam fiberlerdir.^{6,7}

1. Karbon Fiber

Karbon fiberler ticari olarak ilk defa 1960'lı yılların başında pamuk lifinin karbonize edilmesi ile elde edilerek piyasaya sunulmuştur. Karbon

takviyeli polimer kompozitler spor aletleri yapımında, roket motorlarında, basınç kapları ve uçak yapımında kullanılmaktadır. Dişhekimliğinde 1970 yılında ticari olarak kullanılmaya başlanan karbon fiberlerin çoğu poliakrilonitrilin karbonizasyonu ile hazırlanmaktadır.^{6,7}

Bu tip fiberlerin uzun eksenine dik yöndeki darbelerle dayanıksız olması en önemli dezavantajıdır. Bunu gidermek için, fiberler üretim esnasında matris içerisine çapraz veya birbirine dik biçimlerde yerleştirilmiştir (Resim 1). Kötü estetiğine rağmen biyolojik uyumunun, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi olması nedeniyle, dişhekimliğinde akrilik rezinlerin kırılma dayanıklılığını arttırmak amacıyla uzun yıllar kullanılmıştır.^{4,7}

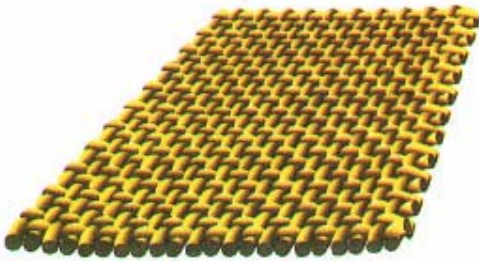


Resim 1: Karbon fiber

Son yıllarda diğer fiber tiplerinin karbon fiberlerden daha başarılı olduğunu gösteren çalışmalar vardır. Vallittu ve arkadaşları,¹¹ cam, karbon ve aramit fiberler ile güçlendirdikleri ısı ile sertleşen akrilik rezinin kırılma direncini incelemişler, cam fiberle güçlendirmenin diğer fiber tiplerine göre daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Yaptıkları SEM incelemelerinde karbon fiberle güçlendirilen örneklerde fiberler arasında boşluklar meydana geldiğini saptamışlar ve buna neden olarak da metil metakrilat rezinlerin, polimerizasyon sırasında daha fazla büzülme gösterdiğini belirtmişlerdir. Büzülmenin en fazla karbon ve aramit fiberde gözlemlendiğini, bunun nedeninin bu fiberlerin daha fazla metilmetakrilat likidini abzorbe etmesine bağlı olduğu öne sürmüşlerdir.

2. Aramit Fiber

Aramit fiberler, ticari adı "Kevlar" olan yoğunluğu düşük organik bir bileşiktir (Resim 2). Organik polimerik yapıdaki bu fiberler, poliparafenil terafalamit olarak da adlandırılmaktadır. Aramit fiberlerin elastisite modülünün yüksek, yoğunluğunun düşük olduğu bildirilmiştir. Aramit fiberlerin ıslanabilirliğinin çok iyi olmasından dolayı bağlayıcı ajanla işlem görmesine gerek yoktur. Toksik olduğuna dair herhangi bir veriye rastlanmamıştır. Hafiflik ve güvenilirliğin ön planda olduğu üretimlerde tercih edilen fiber çeşididir. Tenis raketi, gemi halatı yapımında, yelkenlerde, madenci giysileri ve pilot üniformalarının üretiminde, tank üretiminde, uçak kanatlarında, güvenlik amacıyla yekek üretimi, spor ürünleri, füze kılıfı, conta, otomotiv fren sistemi, halat ve dış lastik yapımında aramit fiberden yararlanılmaktadır.^{6,7}



Resim 2: Aramit Fiber

Dişhekimliğinde aramit fiberler ilk kez 1985 yılında polimetilmetakrilatı güçlendirmek için kullanılmış ancak eğilme direncini istenilen ölçüde arttırmadığı belirtilmiştir.¹² Mullarky¹³ ve Saygılı¹⁴ yaptıkları çalışmalarda, aramit fiber katılmış akrilik rezinlerin eğilme direncinde artma olduğunu, ancak cam fiberle elde edilen dayanıklılığın aramit fiberlerden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

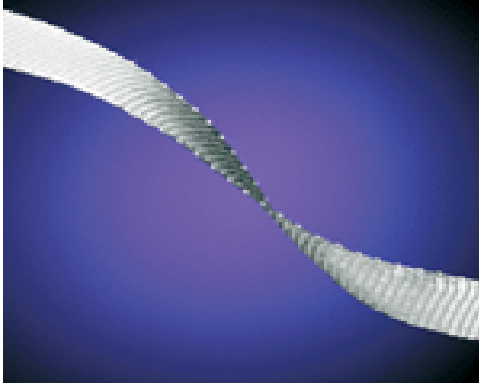
Berrong ve arkadaşları¹⁵ Kevlar fiberi polimetilmetakrilata ilave etmişler ve lif içeriği arttıkça kırılma direncinin arttığını belirtmişlerdir. Bu tip fiberler, karbon fiberlere kıyasla daha estetik olmalarına rağmen, renklerinin sarı olmasından dolayı estetiğin ön planda olduğu bölgelerde uygun değildir.

3. Polietilen Fiber

Cappacio ve Ward'ın¹⁶ 1973 yılında geliştirdikleri polietilen fiber, doğal kristalin polimeridir. Renginin doğal olması, düşük yoğunluğu, yüksek elastisite modülü, biyolojik uyumluluğu ve kimyasal olarak inert, hidrofobik ve erimeye dirençli olması avantajlarıdır. Ancak sayılan avantajlarına karşın yüzey enerjisinin düşük, dolayısıyla ıslanabilirliğinin az olması gibi dezavantajları vardır. Polietilen fiberlerin ıslanabilirliğini arttırmak için kimyasal işlemler uygulanmaktadır. Akrilik rezinin polietilen fiberle (UHMWPE) güçlendirilmesinin; estetik görünüm, iyi cilalanabilmenin yanı sıra, özellikle çarpma dayanımı gibi mekanik özelliklerini arttırdığı bildirilmiştir.^{6,7,16}

Polietilen fiberler, akrilik rezine sürekli tek yönlü/paralel, dokuma/örgü ve kısa kesilmiş ve rastgele dağılmış gibi değişik formlarda katılabilir. Herhangi bir işleme tabi tutulmadan doğrudan rezine katılan fiberlerin yabancı madde gibi davranarak, gerçekte yapıyı güçlendirmek yerine zayıflattığı bildirilmiştir. Bu sorunu çözmek için polietilen fiberler, kimyasal oksidasyon, elektrik plazma işlemi, ekstra akrilik monomer kullanımı ve kimyasal kaplama ajan uygulaması gibi birçok tekniklerden yararlanılarak üretilmektedirler.^{1,2,6,7}

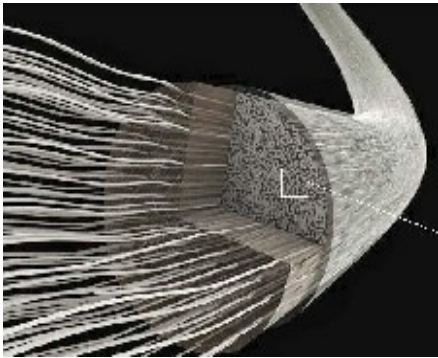
Piyasada örgü formunda "Ribbond" adıyla üretilen ve kompozit rezin veya akril ile birlikte kullanılan polietilen fiberler yer almaktadır (Resim 3). Biyolojik olarak zararlı olmayan, ışığı geçirebilme özelliğinde, estetik ve kolayca uygulanabilen bir materyal olan Ribbond, kilitli ve kafes şeklinde bir yapıdadır. Ancak bu tip polietilen fiberler, kullanımları öncesinde plazma ile pürüzlendirilmeden ve aktive edilmeden, dental rezinlerle kimyasal olarak bağlanamazlar. Materyalin, endodontik post ve kor yapımı, periodontal splint, direkt adeziv köprü, ortodontik uygulamalar, indirekt kompozit rezin restorasyon, *overdenture* protezleri güçlendirmek ve kırılmış köprü ve protez tamiri gibi kullanım alanları olduğu bildirilmiştir. Üretici firma tarafından, şerit şeklindeki ürünün, kullanımından önce bir adeziv ile ıslatılması önerilmektedir. Bunun daha fazla bağlanma yüzeyi ve daha yüksek dayanım sağladığı bildirilmiştir.¹⁷



Resim 3: Ribbond (Örgü fiber)

4. Cam Fiber

Cam fiber, camın ince filamentler şeklinde üretilmiş halidir. Camın kristalizasyona uğramadan hızlı soğuyabilme kapasitesi camın oluşumundaki en önemli etkidir. Camı bilindiği gibi silisyum oksit (SiO_2), boron oksit (B_2O_3), germanyum oksit (GeO_2), fosfor oksit (P_2O_5) ve arsenik oksit (As_2O_3) gibi bileşikler oluşturur. Cam fiberler 1960'ların başından itibaren dişhekimliğinde kullanılmaktadır. Cam fiberler, amorf (kristalsız), izotropik, üç boyutlu ağ yapısındadır (Resim 4). Renksiz, doku ile uyumlu, estetik, esnek ve dirençli olması tercih edilmesini sağlamıştır.^{1,2} Ayrıca bağlanma özelliklerinin çok iyi, translüens olması, korozyona uğramaması gibi avantajlara sahiptir.^{18,19} Cam fiberlerin; E-cam, S-cam, C-cam ve M-cam olmak üzere değişik türleri vardır. Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerde kullanılan fiberler elektriksel cam yani E-cam olarak bilinmektedir. E-cam, SiO_2 - CaO - Al_2O_3 - MgO sistemine dayanır ve bu sistem iyi kalitede camın oluşmasını sağlar.



Resim 4: Cam fiberin SEM görüntüsü

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörler

Fiberler, materyalin mekanik özelliklerini arttırmalarına rağmen, başlangıçta klinik olarak istenen başarının sağlanamamasından dolayı fazla kabul görmemişlerdir. Bunun nedenleri, fiber ile matris arasındaki bağlantının ve fiber miktarının yeterli olmaması ve dolayısıyla mekanik özelliklerde bir gelişme kaydedilememesi; resin matris içerisindeki fiber oranının hacim olarak düşük olması ve fiberin resinle yeterli ıslatılmasına bağlı olarak fiberle resin arasında boşluk meydana gelmesidir. Nitekim endüstriyel ürünlerde kullanılan fiberlerin oranı hacim olarak %50–70 iken, dental rezinlerdeki fiber oranının %15'den az olması, daha düşük mekanik özellikler elde edilmesine neden olmuştur.^{1,2}

Dişhekimliği uygulamalarında, aşınmaya karşı direnç ve yüksek mekanik özellikler elde etmek için fiber ile matris arasındaki etkili bağlanmanın önemine dikkat çekilerek, fiberlerin doldurucusuz bir polimer veya kompozit resin matris ile kaplanması gerektiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda 1990'lı yıllarda fiberin, resin ile doyurulmasının (ıslatılması/emdirilmesi) fiber ile matris arasında etkili bir bağlanmayı sağlayabileceği bildirilmiştir.^{1,2}

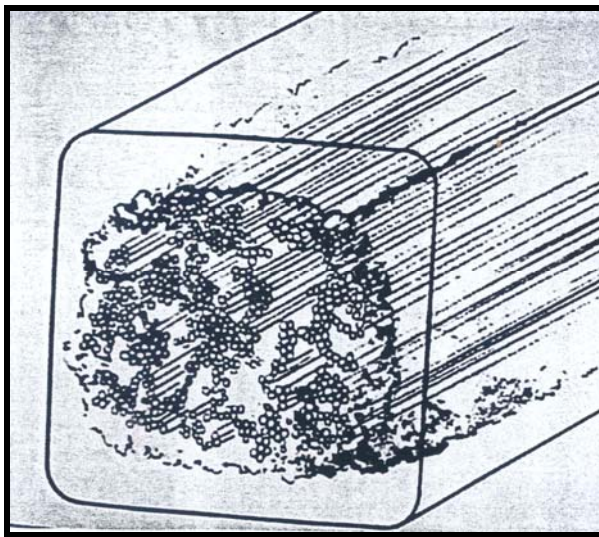
Fiberlerin resinle işlem görmesi (ıslatılması) iki şekilde yapılabilmektedir; Bunlardan birincisi, dişhekimisi veya laboratuvarında teknisyen tarafından, önceden kuru halde bulunan fiber demetlerine düşük viskoziteli resin uygulanması ve fiberin resin ile ıslatılmasının sağlanmasıdır. Bu uygulama, uygun fiber ve resinin seçilmesi ve el becerisi gerekmesi gibi oldukça tekniğe hassas bir yöntemdir. İkinci teknik ise ticari olarak hazır ve önceden doyurulmuş (ıslatılmış) fiber demetlerinin kullanılmasıdır. Bu tip fiberlerde resinin fiber yığını içerisine girmesi fabrikasyon olarak sağlanmıştır.²

Yukarıdaki bilgilerin ışığında fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerin, fiberin yapısı ve yönü, restorasyon içindeki fiber yoğunluğu, fiberin

rezin matrise adezyon kalitesi ve fiberin polimer matris ile doyrurulması olduğu bildirilmiştir.^{9,20}

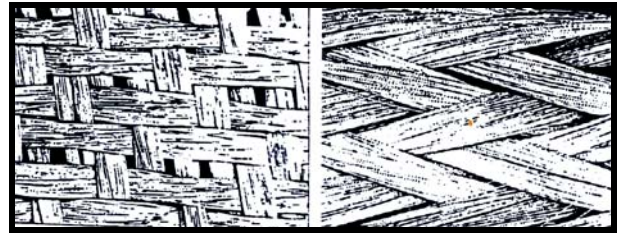
1. Fiberlerin yapısı ve yönü

Fiberler yapılarına (konfigürasyonlarına) göre üçe ayrılırlar. Tek yönlü (çubuk şeklindeki) fiberler, birbirlerine paralel, tek bir doğrultuda uzanan, 6-7 µm kalınlığında, sayıları 1000 ile 200000 arasında değişen fiber demetlerinin oluşturduğu tek bir (blok) fiber çeşididir (Resim 5). Kompozitlere anizotropik yapıda (tüm yönlerde aynı özelliğe sahip olmayan) mekanik özellik kazandırılırlar. Bu tip fiberler tek doğrultuda; fiberin doğrultusunda yüksek bir direnç sağlar ve meydana gelen stres fiberin doğrultusu boyunca olduğunda FGK materyaline maksimum güç verirler. Oluşan stres, fiberin doğrultusuna oblik veya dik gelirse FGK'nin direnci azalır. Önceden tahmin edilen en yüksek strese maruz kalınan bölgelerde kullanımları en uygundur. Sonlu eleman çalışmalarını, üç üyeli bir köprüde en yüksek stres bölgesinin dişsiz alana en yakın köprü ayağı etrafında meydana geldiğini göstermiştir. Bu nedenle, FGK ile köprü yapımında restorasyonların gerilme alanları göz önüne alınarak fiberin çapanının gövdeyle birleştiği noktaya yerleştirilmesi başarı için gereklidir. Tek yönlü fiberler, periodontal splint olarak da kullanılmaktadırlar.^{1,2,9,19}



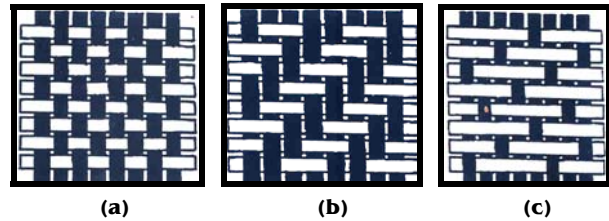
Resim 5: Tek yönlü fiberlerin şematik görüntüsü

Ağ/örgü formunda fiberler; iplik şeklindeki fiberlerin iki farklı yönde düzenlenmesi ile meydana getirilmiştir (Resim 6). Örgü şeklinde fiberler, uzunlamasına ve enine olmak üzere eşit olarak ikiye ayrılır. Bu tip fiberler kompozite ortotropik (tüm yönlerde aynı özelliklere sahip) mekanik özellik verir ve bu yüzden stresin yönünün önceden tahmin edilemediği durumlarda kullanılırlar. Çok yönlü fiberler, tek doğrultuda uzanan fiberlerin anizotropik özelliklerini minimuma indirmek için uygulanmaktadırlar. Örneğin bir diş tam kron yapılması planlandığında bu tip fiber kullanılmaktadır.^{1,2, 19,20}



Resim 6: (a) Dokuma ve (b) örgü tarzı cam fiberler³⁸

Dokuma fiberler keten, saten ve çapraz dokunmuş kumaşa benzer tarzda farklı tekstil yapılarında üretilmektedir (Resim 7).



Resim 7: Farklı yapıda dokuma fiberler (a) Keten (b) Çapraz (c) Saten dokuma¹⁹

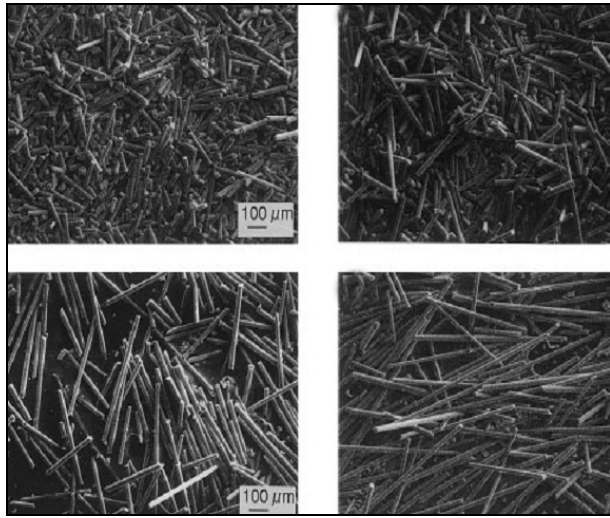
Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin klinik olarak; uygulama şekline, kullanımlarına, yüzeyin doyrurulmuş olmasına, fiberin yapısı ve materyalin kompozisyonuna göre yapılan sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir.²

Kırılmış (*chopped*) fiberler, Akrilik içerisine yerleştirilmesi en kolay fiber tipi olup, yerleştirilmeden önce gerekli uzunlukta kesilerek sıvı ile

Tablo 1. Piyasada bulunan bazı fiberlerin, yapısı, tipi, önceden ıslatılmış olması ve uygulama şekline göre sınıflandırılması²

Materyal	Üretici Firma	Fiber tipi	Fiber Yapısı
Önceden ıslatılmış (pre-impregnated) laboratuvar ürünleri			
Fibre-Kor	Jeneric/Pentron	Cam	Tek yönlü
Vectris Pontic	Ivoclar	Cam	Tek yönlü
Vectris Frame	Ivoclar	Cam	Örgü
Everstick-Net	Stick Tech Ltd	Cam	Örgü
Önceden ıslatılmış (pre-impregnated) klinik uygulama ürünleri			
Splint-It	Jeneric/Pentron	Cam	Tek Yönlü
Splint-It	Jeneric/Pentron	Cam	Örgü
Everstick	Stick Tech Ltd	Cam	Tek Yönlü
Önceden ıslatılmamış (impregnated) klinik uygulama ürünleri			
Connect	Kerr	Polietilen	Örgü
DVA fibres	Dental/Ventures	Polietilen	Tek Yönlü
Fibre-splint	Polydentia Inc.	Cam	Örgü
Fibreflex	Biocomp	Kevlar	Tek Yönlü
Glassspan	Glassspan	Cam	Örgü
Ribbon	Ribbon	Polietilen	Örgü

işleme tabi tutulup, daha sonra toz ilave edilerek hazırlanır (Resim 8). Ancak bu tip fiberler düşük oranda (ağırlıkça %1–2) fiber katılması istendiğinde kullanılabilir. Zira yüksek oranda kullanıldığında kuru, katı bir karışım elde edildiğinden uygulanması zor olmaktadır. Ayrıca bu yapıdaki fiberlerin materyal üzerinde açığa çıkması iritasyona neden olur. Parlatılmış yüzeyde açığa çıkmasının ise polisajı güçleştirerek pürüzlü bir yüzey oluşmasına neden olduğu rapor edilmiştir.³⁴

**Resim 8:** Kırpılmış formda çeşitli fiberlerin SEM görüntüsü³⁵

Çeşitli uygulamalarda uygun fiber seçimi ve rezin içerisindeki konumu

Fiberlerin rezin içine yerleştirilmesinde çeşitli fiber formları ve bunların özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin akrilik rezinlerde uzunlamasına yerleştirilen fiberlerin, dayanıklılığı önemli ölçüde arttırmasına rağmen, akrilik tepimi esnasında uygulanan basınçla, konumlarının değiştiği, paralelliğin bozulduğu ve fiberin istenilen bölgeye yerleştirilmesinin zor olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle protez kaidesine fiber uygulanmasında parçalar halinde kesilmiş (kırpılmış) fiberler kullanılır. Bu uygulama "fiberle total güçlendirme" olarak adlandırılmaktadır.³⁶

Fiberle total güçlendirme; ısıyla polimerize olan PMMA'nın muflaya alma aşamasında yapılmaktadır. Bu aşamada fiberler rezine gömülmektedir. Ancak akrilik rezinlerin bitirme işlemleri aşamasında fiberler açığa çıkabilmekte ve alerjik reaksiyon ve yumuşak doku iritasyonları oluşabilmektedir. Ayrıca PMMA'nın viskozitesi yüksek olduğu için başarılı bir doyum işlemi sağlanamamaktadır. Gerilimin yüksek ve rezinin en zayıf olduğu ve kırılmaya eğilimli kısımlara yerleştirilen fiberin otopolimerizan rezinlerle uygulanması ile yapılan güçlendirme ise "fiberle parsiyel güçlendirme" olarak adlandırılmaktadır.

Bu işlemde rezinin viskozitesi daha düşük olduğu için başarılı bir gömülme ve doyurulma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu tip güçlendirilmede ağ formunda veya devamlı tek yönlü fiberler kullanılmaktadır.³⁶

Mekanik testler, tek yönlü fiberlerin çok yönlü örgü şeklindeki fiberlere göre daha fazla dayanıklılığa ve sertliğe sahip olduğunu göstermiştir. Buna karşın, tek yönlü fiberler çok yönlü, örgü şeklindeki fiberler kadar kolay yerleştirilemezler. Splint uygulamalarında, çok yönlü örgü şeklindeki fiber uygulaması, daha kolay olması ve rotasyon veya malpozisyon gösteren dişlerde daha rahat yerleştirilmeleri nedeniyle önerilmektedir.³⁹

2. Restorasyon içindeki fiberlerin hacmi

Polimer matristeki artan fiber miktarının restorasyonun direncini arttırdığı yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.²¹ Fiber miktarı, fiberin matris içindeki ağırlığı ile değil, hacmi ile tanımlanmaktadır. Fiber miktarı fazla olsa bile, hacmi düşük ise direncinin beklenenden daha düşük olduğu saptanmıştır. Polimer matris içindeki fiberin hacmindeki artış ile protez kaide poli-merlerinin germe ve sertlik dayanımlarının arttığı bildirilmiştir.²²

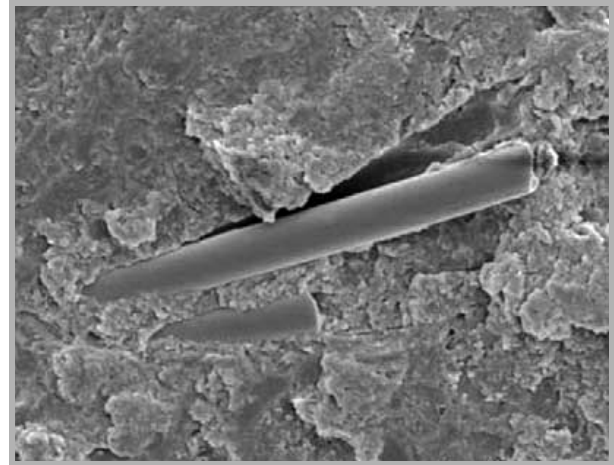
Polimer matrisindeki fiber miktarı hem ağırlık, hem de hacim yüzdesi olarak verilmektedir. Polimer matrisindeki fiberin hacim yüzdesi, fiber ile güçlendirilmiş kompozitin mekanik özelliklerini etkilediğinden, fiber miktarı genellikle hacim yüzdesi olarak verilir. Fiberin ağırlık yüzdesi olarak verilmesi halinde hacim yüzdesine aşağıdaki formülle çevrilir.^{19,20,22}

$$Vg = \frac{Wg / Pg}{Wg.Pg + Wr.Pr} \times 100 (\%)$$

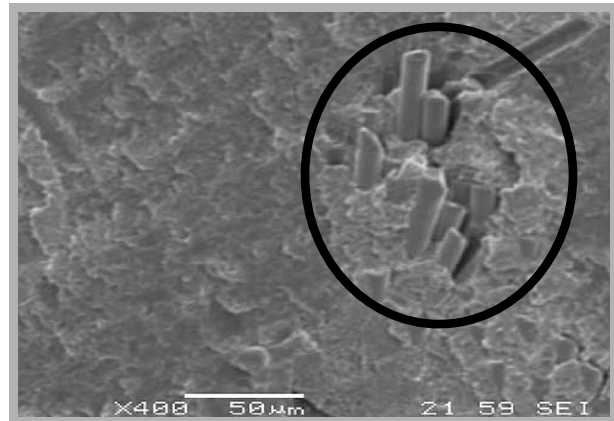
(Vg: Fiberin hacim oranı, Wg: Fiberin ağırlık oranı, Pg: Fiberin yoğunluğu, Wr: Resinin ağırlığı, Pr: Resin yoğunluğu)

Callaghan ve arkadaşları²³ fiberin hacim ve uzunluğunun cam fiberle güçlendirilmiş dental kompozitlerin aşınma özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, matrise hacim olarak %2 oranında ilave edilen fiberin %5,7 oranında fibere göre daha fazla aşınma değerleri gösterdiğini (Resim 9), bunun yanında %7,6

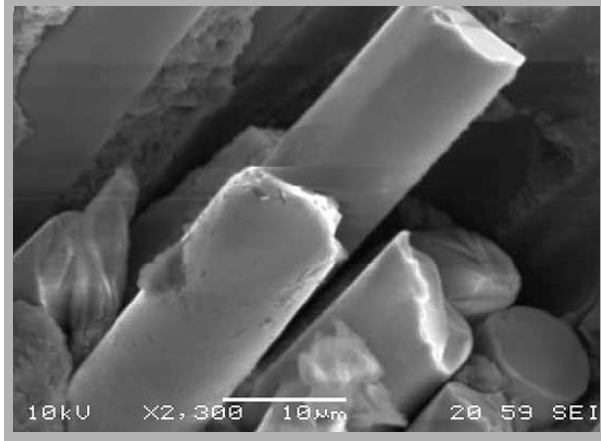
oranında fiber ilave edilmesinin daha fazla aşınmaya neden olduğunu bildirmişlerdir (Resim 10-a,b). Bunun nedeninin fiber yoğunluğunun artışı ile meydana gelen fiber öbeklerinin matrisle yeterli bağlanma sağlayamaması olduğunu ve aşınma direncinin yüksek olması için fiber miktarının %2-7,6 arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada fiber uzunluğunun aşınmaya karşı dirençle pozitif bir ilişkisinin bulunduğu, kısa fiberlerin kolaylıkla kümeleştiği, kümeleşen fiberlerin kompozit yapının içinde zayıf bölgeler oluşturduğu ve matristen ayrıldığı, fiberin kompozitle ne kadar çok temas ederse aşınma direncinin o kadar iyi olacağını belirtmişlerdir.



Resim 9: %2 fiberle güçlendirilmiş kompozit yapıda meydana gelen fiber fraktürünün SEM görüntüsü (X700)²⁵



Resim 10-a: % 7,6 oranında fiberle güçlendirilmiş kompozit yapıda meydana gelen (kümeleşme nedeniyle) fiber fraktürünün SEM görüntüsü (X400)²³



Resim 10-b: Aynı fiber fraktürünün yüksek büyütmedeki SEM görüntüsü (X2300)²⁵

3. Fiberin rezin matrise adezyon kalitesi

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli değişkenlerden biri fiberin matrise adezyonudur. Polimer ve cam fiberler arasında adezyonu sağlamak için silan kaplama ajanları (γ -metakriloksipropiltrimetoksilan gibi) kullanılmaktadır.²⁴

Söderholm ve Shang²⁵ silan ve cam arasındaki adezyonun farklı iki tip kimyasal bağlanma ile olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar cam fiberlerin silika yüzeyleri ve silanol grupları arasındaki kondensasyon (yoğunlaşma) reaksiyonu tarafından oluşturulan siloksan köprüsü ve kondensasyon reaksiyonu esnasında silanol moleküllerinin karbonil gruplarının kendiliğinden oluşturduğu hidrojen bağlarıdır. Silan kaplama ajanları oda ısısından daha yüksek bir ısıda cam yüzeyine kondanse edilebilir. Örneğin, 80°C'de 2 saat ısı uygulanması γ -metakriloksipropiltrimetoksilan için yeterli bir kondensasyon sağlar. Protez kaide materyali yapımında ısıyla polimerize olan PMMA kullanıldığında, polimerizasyon için gerekli ısı, cam fiber yüzeyinde silan bağlama ajanlarının da polimerize olmasını sağlar. Böylece fiber ile polimer yapı arasında yeterli bir adezyon sağlanmış olur.²⁴

4. Fiberin polimer matrisle doyurulması

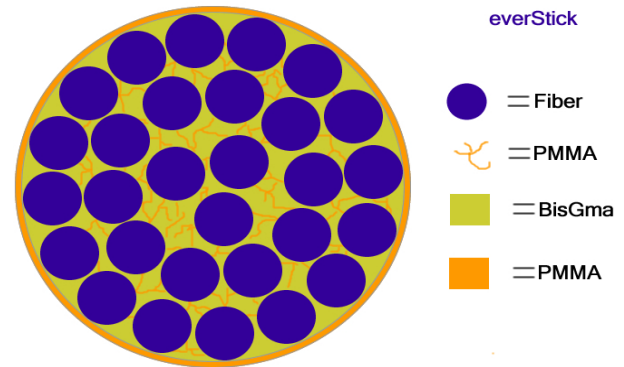
Doyurulma veya ıslatılma işlemi, rezin matriste yer alan her bir fiberin tüm yüzeyinin rezin monomer ile kontak haline geçmesi anlamına

gelmektedir.^{26,27} Doyurulmuş fiberlerin tüm fiberlere oranı, doyurulma derecesi (D_{imp}) olarak tanımlanmaktadır.

$$D_{imp} = \frac{\text{Doyurulmuş fiberlerin sayısı}}{\text{Tüm fiberlerin sayısı}}$$

Dişhekimliği uygulamalarında fiberlerin yeterli bir şekilde doyurulmasının, kompozit yapının mekanik ve fiziksel özelliklerinin daha iyi olmasını sağladığı bildirilmiştir.²¹

Dişhekimliğinde kullanılan fiberler ticari olarak gerek yalnızca ışıkla polimerize olabilen dimetakrilat monomer rezin (Bis-GMA, TEGDMA) gerekse polimer (PMMA) ve dimetakrilat monomerlerin kombinasyonunu içeren sistem ile doyurulmuş ve polimerizasyondan sonra semi interpenetrasyon polimer bir ağ oluşturan (semi-IPN) ve % 45 fiber içeren (Stick®) üretimlerdir. Son yıllarda ışıkla sertleşen jel bir matris içerisinde silanla kaplanmış % 65 E-cam fiber yapısı bulunduran fiber (EverStick®) piyasada yer almıştır. Bu materyalin matris yapısında etrafı PMMA tabaka ile kaplı Bisfenol-A diğlisidil metakrilat içerisinde yine PMMA'ın zincirleri yer almaktadır (Resim 11).²¹



Resim 11: Fiber demeti kesitinin şematik görünümü²¹

Fiberle, kompozit rezin materyal arasındaki bağlanma fiziksel ve kimyasal yollarla gerçekleşir.¹ Fiberler metakrilat içeren monomerle doyurulduğunda, kompozit materyali ile; mekanik kilitleme veya kompozit materyalin matrisinin reaksiyona girmemiş serbest radikallerinin

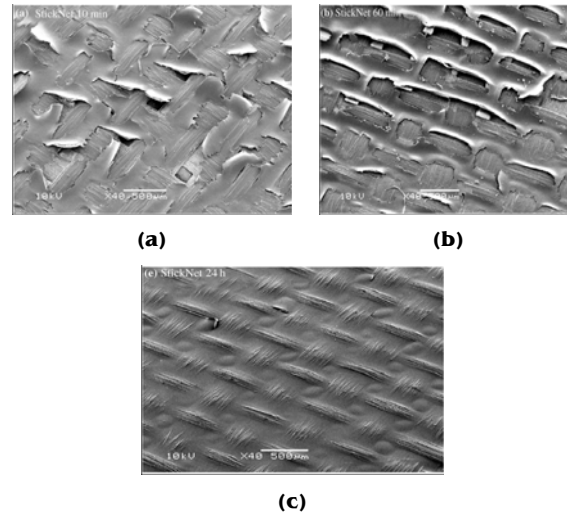
polimerizasyonu yoluyla bağlanırlar. Fiber yapının restoratif kompozit rezine bağlanmasındaki diğer mekanizma ise FGK yapısı içerisine kompozitteki resin monomerlerinin interdifüzyonu (geçışı), mikromekanik bağlantı ve böylece kısmen materyalin içine sızarak tutunan polimer ağ(Semi-IPN) oluşmasıdır.²⁶⁻²⁹

Fiberlerin resin matrisle yeterli doyurulmadığı durumlarda, FGK'nin eğilme direnci, elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği, FGK'lerin polimer matrisi içinde boşluklar meydana geldiği ve bu boşlukların yapının su abzorpsiyonunu arttırdığı, dental uygulamalarda FGK'nin uzun dönemde stabilitesini etkilediği SEM incelemelerinde gösterilmiştir.³⁰ Fiberin tam doyurulmadığı durumlarda oluşan boşluklarda oksijen rezervlerinin oluştuğu; bunun da, FGK materyalindeki artık monomer miktarını arttırdığı ve dolayısıyla polimerizasyonun yetersiz olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde çalışmalarda doyurulma işleminin yeterince gerçekleşmediği durumlarda oral mikroorganizmaların penetrasyonunun arttığı, renk değişikliğinin ortaya çıktığı bildirilmiştir.³¹

Fiberlerin resin ile yeterince doyurulmaması iki şekilde açıklanmaktadır. Bunlardan birincisi resinin fiberi yeterince ıslatamaması, diğeri de fiberlerin arasında yer alan resinin polimerizasyon sırasında büzülme göstermesidir. Fiberlerin önceden doyurulma işlemi aynı zamanda FGK yapının adeziv özelliklerini de etkilemektedir. Direkt restorasyonlarda ve fiberin alt yapı olarak kullanıldığı durumlarda, restorasyonun direnci fiber ile kompozit arasındaki adezyona bağlı iken, indirekt bir restorasyonda kompozit resin yapısında bir yapıştırma ajanı kullanılacaksa FGK alt yapısına yapıştırıcı resinin de adezyonu gereklidir.³⁰

Narva ve arkadaşları³² fiberle güçlendirilen akrilik resinlerin, fiberin laboratuvarında doyurulmasından sonra yaptıkları SEM incelemesinde, fiberler arasında boşluklar meydana geldiğini ve bunun monomerlerin polimerizasyon esnasında büzülme göstermesine bağlı olduğunu açıklamışlardır. Bu problemlerin giderilmesi amacıyla fiberlere fabrikasyon olarak ön doyurulma işlemi

uygulanmaktadır.^{31,33} Fiberlerin önceden doyurulma işlemi aynı zamanda FGK yapının adeziv özelliklerini de etkilemektedir. Direkt restorasyonlarda ve fiberin alt yapı olarak kullanıldığı durumlarda, restorasyonun direnci fiber ile kompozit arasındaki adezyona bağlı iken indirekt bir restorasyonda kompozit resin yapısında bir yapıştırma ajanı kullanılacaksa FGK alt yapısına yapıştırıcı resinin de adezyonu gereklidir.³⁰ Latsumaki ve arkadaşları²⁷ örgü cam fiberi düşük vizkoziteli diakrilat monomer ile 10, 60 dk, 2, 5 ve 24 saat gibi farklı sürelerde doyurduktan sonra SEM'de yaptıkları incelemelerinde, yüzey düzensizliklerinin en çok 10 ile 60. dakikada gözleendiğini (Resim 12-a,b), doyurulma süresi uzadığında yüzeyde homojen bir görüntü gözleendiğini (Resim 12-c), FGK yapısı içinde ayrıca ince bir PMMA-diakrilat (semi-IPN) tabakanın oluştuğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında makaslama kuvvetlerine karşı en yüksek dayanıklılık değerlerinin 24 saat süre ile doyurulan örgü cam fiber örneklerinde saptamışlardır.



Resim 12: Örgü cam fiberin doyurulma işleminden (a) 10 dakika sonraki, (b) 60 dakika (c) 24 saat sonraki görünümü²⁷

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin avantajları:

- Tedavi maliyeti düşüktür.
- Tek seansta tek diş kayıplarının tedavisi gerçekleştirilebilmektedir.

- Kısa veya uzun dönemli geçici restorasyonlar yapılabilir.
- Diş gelişimi devam eden genç hastalarda ve yaşlılarda kısa süreli kullanım için uygundur.
- Metal içermemesi, estetiğinin iyi olmasını sağlar.
- Laboratuvar işlemlerine gerek yoktur (Direkt uygulamalarda).
- Kısa sürede tamiri mümkündür.
- Kompozit veya akrilik protezin kırılan parçalarını bir arada tutabilme özelliğine sahiptirler.
- Diş preparasyonuna gerek olmadan ya da minimal düzeyde bir preparasyon ile restorasyon hazırlanır.
- Geleneksel metal-seramik restorasyonlara kıyasla karşıt dişlerde aşınma bu tip restorasyonlarda oldukça azdır.^{2,38}

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin dezavantajları:

- Fonksiyon bozukluğu olan hastalarda üzerindeki kompozitte aşınma gözlenir.
- Çok üyeli köprülerde rijidite yetersizdir.
- Nem kontrolünün sağlanamadığı durumlarda kullanılamamaktadır.
- Posterior okluzal bölgede metale kıyasla, okluzal yüzeyde daha fazla yer gereksinimi vardır.
- Ağızda kalma süresi ile ilgili kesin bilgi yoktur.

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin klinikte kullanım alanları

Dişhekimliğinde fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin birçok uygulama alanları bulunmaktadır.^{1,2,9,19,36,37,40-43}

- Direkt kompozit restorasyonlar
- İndirekt restorasyonlar (inley,onley, tam vener kronlar)
- Periodontal ve travma sonrası splint uygulaması
- Kısa veya uzun süreli geçici köprüler
- Ön ve arka sabit köprülerde (tek üyeli veya implant destekli)
- Protezlerin güçlendirilmesi ve tamiri

- Yer tutucular, pekiştirme apareyi
- Endodontik post olarak
- Sabit ortodontik retainer hazırlanmasında

Restorasyonların fiberle güçlendirilmesinde akışkan kompozitlerin kullanımı

Akışkan kompozitlerin, kompozit restorasyonların altında kullanılmasının kompozitin eğilme direncini arttırdığı, streslerin zararlı etkilerini azalttığı, polimerizasyonu olumlu etkilediği ve kavite tabanındaki düzensizlikleri giderdiği bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiş ve kullanımı önerilmiştir.⁴⁴⁻⁴⁶

Yapılan bazı çalışmalarda akışkan kompozit ile beraber fiberle güçlendirilmiş kompozit rezin uygulanan grubun eğilme direncinin, akışkan uygulanmayan fiber grubuna göre yüksek olduğu bulunmuştur.^{39,47,48}

Son yıllarda dişlerde gözlenen geniş madde kayıplarının giderilmesinde, çiğneme kuvvetlerine ve aşınmaya dayanıklı kompozit rezin restorasyonların kullanımı üzerinde çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Arka grup dişlerde çürüğe bağlı, ön dişlerde ise travma sonucu oluşan geniş madde kayıplarının giderilmesinde daha uzun ömürlü ve dayanıklı restorasyonların yapılabilmesi amacıyla fiberlerin kompozit rezin ile birlikte kullanılması gündeme gelmiştir. Candan⁴⁷ yaptığı çalışmada aşırı kron harabiyeti gösteren 1. büyük azı dişlerinde kavitenin tabanına akışkan kompozit ile fiber materyalini yerleştirip, üzerine kompozit uygulanmış restorasyonların 18 aylık takibinde genel başarı oranını %97,1 bulmuştur.

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin dişhekimliğinde kullanım alanları giderek genişlemekte ve alternatif uygulamalara potansiyel oluşturmaktadır. Dişhekimlerinin yaratıcılıkları ile birleştiğinde yeni kullanım alanlarının ortaya çıkacağı düşünülebilir. Bu konuda in vivo ve in vitro çalışmalar devam etmektedir.

Kaynaklar

1. Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 311-318.

2. Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Goldberg AJ. Fiber-Reinforced Composites in clinical dentistry. Quintessence Publishing Co., 2000, 9-22.
3. Brown D. Fibre-reinforced materials. *Dent Update* 2000; 27: 442-448.
4. De Boer J, Vermilyea SG, Brady RE. The effect of carbon fiber orientation on the fatigue resistance and bonding properties of two denture resins. *J Prosthet Dent* 1984; 51: 119-121.
5. Björk N, Ekstrand K, Rayter İE. Implant-fixed dental bridges from carbon/graphite reinforced polymethylmethacrylate. *Biomaterials* 1986; 7: 73-75.
6. Levent H, Karaağaçlıoğlu L. Protez kaide rezinlerinin güçlendirilmesi. *Gazi Üniv Dişhek Fak Derg* 2004; 21: 135-142.
7. Jagger DC, Harrison A, Jandt KD. The reinforcement of dentures. *J Oral Rehabilitation* 1999; 26: 185-194.
8. Smith, DC. Recent Developments and Prospects on Dental Polymer. *J Prosthet Dent* 1962; 12: 1066-1078.
9. Butterworth C, Ellakwa AE, Shortall A. Fibre-reinforced composites in restorative dentistry. *Dent Update* 2003; 30: 300-308.
10. Behr M, Rosentritt M, Handel, G. Fiber-reinforced composite crowns and FPDs: a clinical report. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 239-243.
11. Vallittu PK, Lassila VP. Reinforcement of acrylic resin denture base material with metal or fibre strengtheners. *J Oral Rehabil* 1992; 9: 225-230.
12. Grave AM, Chandler HD, Wolfaard JF. Denture base acrylic reinforced with high modulus fibre. *Dent Mater* 1985; 1: 185-187.
13. Mullarky RH. Aramit fiber reinforcement of acrylic appliances. *J Clin Orthod* 1985; 19: 655-658.
14. Saygılı G, Sahmal SM, Demirel F. The effect of placement of glass fibers and aramit fibers on the fracture resistance of provisional restorative materials. *Oper Dent* 2003; 28: 80-85.
15. Berrong JM, Weed RM, Young JM. Fracture resistance of Kevlar-reinforced poly(methylmethacrylate): a preliminary study. *Int J Prosthodont* 1990; 3: 391-395.
16. Braden M, Davy M, Pakers S, Ladizesky H, Ward M. Denture base poly (methyl methacrylate) reinforced with ultra high modulus polyethylene fibres. *Br Dent J* 1988; 164: 109-113.
17. Ribbond Bondable Reinforcement Ribbon, Ribbond" Seattle, WA.
18. Koutayas SO, Kern M, Feraresso F, Strub JR. Influence of design and mode of loading on the fracture strength all-ceramic resin-bonded fixed partial dentures: an in vitro study in a dual-axis chewing simulator. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 540-547.
19. Vallittu PK. Compositional and weave pattern analyses of glass fibers in dental polymer fiber composites. *J Prosthodont* 1998; 7: 170-176.
20. Garoushi SK, Lassila LVJ, Vallittu PK. Short fiber reinforced composite: the effect of fiber length and volume fraction. *J Contemporary Dental Practice* 2006; 7: 1-9.
21. Vallittu PK. Experiences of using glass fibers with multiphase acrylic resin systems. Theoretical background and clinical examples. in: Vallittu PK, editor. The first international symposium on fiber-reinforced plastics in dentistry, Turku, Finland, 1998.
22. Alp Y. Cam fiberle güçlendirilmiş PMMA (polimetilmetakrilat) kaide reçinelerinin mukavemetlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
23. Callaghan, DJ, Vaziri, A, Hashemi, HN. Effect of fiber volume fraction and length on the wear characteristic of glass fiber-reinforced dental composites. *Dent Mater* 2006; 22: 84-93.
24. Vallittu, PK. Curing of silane coupling agent and its effect on the transverse strength of autopolymerizing polymethyl methacrylate-glass fiber composite. *J Oral Rehabil* 1997; 24:124-30.
25. Söderholm JJ, Shang SW. Molecular orientation of silane at the surface of colloidal silica. *J Dent Res* 1993; 72: 1050-54.
26. Isaac DH. Engineering Aspects of Fibre Reinforced Composites. In: Vallittu PK, editor. The First International Symposium on Fiber-Reinforced Plastics in Dentistry, Turku, Finland 1998, 1-12.
27. Latsumaki TM, Lassila LVJ, Vallittu PK. The semi-interpenetrating polymer network matrix of fiber-reinforced composite and its effect on the surface adhesive properties. *J Mater Science* 2003; 14: 803-809.
28. Tezvergil A, Lassila LVJ, Urpo AY, Vallittu PK. Repair bond strength of restorative resin composite applied to fiber-reinforced composite substrate. *Acta Odontol Scand* 2004; 62: 51-60.

29. Lassila LVJ, Tezvergil A, Lahdenpera M, Alander P, Shinya A, Vallittu PK. Evaluation of some properties of two fiber-reinforced composite materials. *Acta Odontol Scan* 2005; 63:196-204.
30. Miettinen VM, Vallittu PK. Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture polymethyl methacrylate resin. *J Prosthet Dent* 1996; 76: 531-534.
31. Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven fibers. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 318-326.
32. Narva KK, Vallittu PK, Helenius H, Urpo AY. Clinical survey of acrylic resin removable denture repairs with glass-fiber reinforcement. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 219-224.
33. Vallittu PK. Impregnation of glass fibers with polymethyl methacrylate using a powder-coating method. *Appl Comp Mater* 1995; 2: 51-58.
34. Uzun G. Protez kaide rezinlerinin güçlendirilmesinde liflerin kullanımı. *Hacettepe Diş Hek Fak Derg* 2000; 24: 70-76.
35. Kanayama H, Kanie T, Inoue K. Dynamic viscoelastic properties of photo-activated composite resins containing short glass fiber. *J Oral Rehabil* 2000; 27: 1034-1041.
36. Kumbuloglu O, Ozcan M, User A. Fracture strength of direct surface-retained fixed partial dentures: effect of fiber reinforcement versus the use of particulate filler composites only. *Dent Mater J* 2008; 27:195-202.
37. Kırzioğlu Z, Ertürk MS. Success of reinforced fiber material space maintainers. *J Dent Child (Chic)* 2004; 71: 158-162.
38. Freilich MA, Duncan JP, Meiers JC, Goldberg AJ. Preimpregnated, fiber-reinforced prostheses, Part I. Basic rationale and complete-coverage and intracoronal fixed partial denture designs. *Quintessence Int* 1998; 29: 689-696.
39. Chong KH, Chai J. Strength and mode of failure of unidirectional and bidirectional glass fiber-reinforced composite materials. *Int J Prosthet Dent* 2003; 16: 161-166.
40. Garoushi SK, Lassila LV, Vallittu PK. Direct composite resin restoration of an anterior tooth: effect of fiber-reinforced composite substructure. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2007; 15: 61-66.
41. Geerts GA, Overturf JH, Oberholzer TG. The effect of different reinforcements on the fracture toughness of materials for interim restorations. *J Prosthet Dent* 2008; 99: 461-467.
42. Kumbuloglu O, Aksoy G, User A. Rehabilitation of advanced periodontal problems by using a combination of a glass fiber-reinforced composite resin bridge and splint. *J Adhes Dent* 2008; 10: 67-70.
43. Salameh Z, Sorrentino R, Ounsi HF, Sadig W, Atiyeh F, Ferrari M. The effect of different full-coverage crown systems on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary incisors restored with and without glass fiber posts. *J Endod* 2008; 34: 842-846.
44. Başeren M. Surface roughness of nanofill and nanohybrid composite resin and ormocer-based tooth-colored restorative materials after several finishing and polishing procedures. *J Biomater Appl* 2004; 19: 121-134.
45. Taher NM. Mechanical properties of flowable composites. *Saudi Dental Journal* 2001; 13: 20-24.
46. Bayne SC, Wilkerson M. A characterization of first generation flowable composites. *JADA* 1988; 129: 567-577.
47. Candan U. Pediatrik dişhekimliğinde fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin aşırı kron harabiyeti gösteren dişlerdeki başarısının incelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007.
48. Gömeç Y, Dörter C, Dabanoğlu A, Koray F. Effect of resin-based material combination on the compressive and the flexural strength. *J Oral Rehabil* 2005; 32: 122-127.

Yazışma Adresi:

Prof. Dr. Nesrin ERONAT
Ege Üniversitesi,
Dişhekimliği Fakültesi,
Pedodonti AD,
35100 Bornova, İZMİR
Tel : (232) 388 64 31
Faks : (232) 388 03 25
E-posta : nesrin.eronat@ege.edu.tr