

Yüksek performanslı polimerlerin bazı dental materyaller ile bağlanma dayanımlarının değerlendirilmesi: Bir derleme

The evaluation of bond strengths of high performance polymers with some dental materials: A review

Gülfem ERGÜN 

Bahar TEKLİ 

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



Öz

Polietereterketon ve polieterketonketon, poliarileterketon ailesine ait termoplastik polimerlerdir. Kabul edilebilir kırılma dayanımı ve şok absorbe etme özellikleri nedeniyle, bu yüksek performanslı polimerler diş hekimliğinde alternatif dental alt yapı malzemeleri olarak kullanıma başlanmıştır. Bununla birlikte grimsi beyaz rengi ve düşük yarı saydırlılığı poliarileterketon materyallerinin monolitik diş restorasyonu olarak kullanımını sınırlamaktadır. Estetik kabulü için mutlaka kaplama (veneer) materyali ile birlikte kullanımı gerekmektedir. Fakat veneer materyali ile bağlanması için polietereterketon ve polieterketonketon yüzeylerine mekanik veya kimyasal işlem uygulama gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı, poliarileterketon termoplastik polimerlerin dental materyaller ile bağlanma dayanımlarını değerlendirmek ve bu konuda yapılan çalışmalarını irdelemektir. Ocak 1988'den Haziran 2021'e kadar hem Pubmed, Cochrane Library, Evidence Based Dentistry veri tabanlarında hem de ilave olarak el ile arama yöntemi kullanılarak; "PEEK or PEKK" and "surface treatment or surface modification" and bond strength anahtar kelimeleriyle gerçekleştirilen tarama sonucunda; 72 adet literatür bulundu. Bunların incelenmesi sonrası henüz yayınlanmamış 4, tam metin erişimi olmayan 1, poliarileterketon materyallerinin biyomedikal uygulamalarda osseointegrasyon kapasitesini değerlendiren (dental materyallerin bağlanma dayanımı ile ilişkin olmayan) 4 adet olmak üzere toplam 9 adet çalışma elendi. 52 in vitro araştırma makalesi, 1 in vivo araştırma makalesi, 8 derleme ve 2 vaka raporu olmak üzere toplam 63 literatür derlemeye dahil edildi. Yapılan irdelemeler, polietereterketon veya polieterketonketon polimerleri ile dental materyaller arasında bir bağlanma oluşturmak için polietereterketon ve polieterketonketon yüzeylerinin mekanik ve/veya kimyasal bir yüzey işlemi ile pürüzlendirilmesinin; ilave olarak da bir adeziv ajanın yüzeye uygulanmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırıcılar, polietereterketon, polieterketonketon, kayma mukavemeti, gerilme direnci

ABSTRACT

Polyetheretherketone and polyetherketonketone are thermoplastic polymers belonging to the polyaryletherketone family. Due to their acceptable fracture strength and shock absorption properties, these high-performance polymers have been used as alternative dental framework materials in dentistry. However, its grayish white color and low translucency limit the use of polyaryletherketone materials as monolithic dental restorations. For aesthetic acceptance, it must be used together with the veneer material. However, in order to obtain bonding with the veneer material, the polyetheretherketone and polyetherketonketone surfaces need to be treated mechanically or chemically. The aim of this review is to evaluate the bond strengths of polyaryletherketone thermoplastic polymers with dental materials and to examine the studies on this subject. From January 1988 to June 2021, both in Pubmed, Cochrane Library, Evidence Based Dentistry databases, and additionally by using manual search method, as a result of the search with the keywords "PEEK or PEKK" and "surface treatment or surface modification" and bond strength, 72 literature was found. After reviewing these, 4 unpublished, 1 without full text access,

Geliş Tarihi/Received: 17.08.2021

Kabul Tarihi/Accepted: 03.12.2021

Yayın Tarihi/Publication Date: 21.10.2022

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
Bahar TEKLİ

E-mail: dtbahartekli@gmail.com,
bahartekli@gazi.edu.tr

Cite this article as: Ergün G, Tekli B.
The evaluation of bond strengths of
high performance polymers with some
dental materials: A review. *Curr Res
Dent Sci.* 2022; 32(4): 315-323.



Content of this journal is licensed under
a Creative Commons Attribution-
NonCommercial-NoDerivatives 4.0
International License.

4 evaluating the osseointegration capacity of polyaryletherketone materials in biomedical applications (not related to the bond strength of dental materials); totally 9 studies were eliminated. 52 in vitro research articles, 1 in vivo research article, 8 reviews, and 2 case reports; totally 63 literatures were included in this review. The investigations revealed the necessity of roughening the polyetheretherketone and polyetherketoneketone surfaces with a mechanical and/or chemical surface treatment and additionally applying an adhesive agent to the surface in order to form a bond between polyetheretherketone or polyetherketoneketone polymers and dental materials.

Keywords: Adhesives, polyetheretherketone, polyetherketoneketone, shear strength, tensile strength

GİRİŞ

Dental seramikler doğal dentisyonu en iyi şekilde taklit eden, optimum estetik özelliklere sahip materyaller olarak değerlendirilmektedir.¹ Metal destekli seramiklerin estetik görünümünün yeterli olmaması, marjinal uyum problemleri, protezin artan ağırlığı, metalik tat ve metallere karşı alerjik reaksiyonlar diş hekimliğinde alternatif alt yapı materyalleri arayışlarını artırmıştır.²

Günümüzde polimerler; düşük ağırlığa, metallere göre daha düşük yoğunluğa sahip, kırılmaya karşı dirençli, inert, biyouyumlu ve ekonomik dental malzemelerdir.³ Kabul edilebilir kırılma dayanımı, iyi stres dağılımı ve şok absorbe etme özelliği nedeniyle, yüksek performanslı polimerler diş hekimliğinde alternatif dental alt yapı malzemeleri olarak kabul edilmektedir.⁴ Polietereterketon (PEEK) ve polieterketoneketon (PEKK), poliarileterketon (PAEK) ailesine ait termoplastik polimerlerdir.^{5,6} PEKK, PAEK ailesinin yeni bir üyesini temsil etmektedir. İkinci keton grubuna sahip olması sayesinde daha iyi polisajlanabilme, %80 daha yüksek basınç mukavemeti, kemik benzeri elastik modülü gibi daha iyi mekanik ve fiziksel özellikler ortaya koymaktadır.^{7,8}

Polimerler tüm bu avantajlı özellikleri ve biyouyumlulukları nedeniyle, sabit kronlar, hareketli protezler ve implant destekli protezler için alt yapı materyali olarak metal yapıya alternatif geniş bir kullanım alanına sahip materyallerdir.⁹⁻¹¹ Aynı zamanda diş implantları, bireysel abutmentler, maksiller obturator protezler ve ortodontik teller gibi çeşitli dental uygulamalarda metale göre daha estetik, metal içermeyen ve fonksiyonel bir malzeme olarak sunulmuşlardır. İlave olarak bu yüksek performanslı polimerlerin, uygun yüzey işlemleri ve yapıştırıcı siman bağlama sistemlerinden faydalanılarak dental post malzemesi¹² veya sabit restorasyon¹³⁻¹⁵ olarak kullanılabilceği de ortaya konmuştur.

Bu literatür derlemesi, Ocak 1988'den Haziran 2021'e kadar hem Pubmed, Cochrane Library, Evidence Based Dentistry veri tabanlarında; ayrıca el ile arama yöntemi kullanılarak; "PEEK or PEKK" and "surface treatment or surface modification" and bond strength anahtar kelimeleriyle gerçekleştirildi. Tarama sonucunda 72 adet literatür bulundu. Literatür incelemesi sonrası henüz yayınlanmamış 4 adet, tam metin erişimi olmayan 1 adet, PAEK materyallerinin biyomedikal uygulamalarda osseointegrasyon kapasitesini değerlendiren (dental materyallerin bağlanma dayanımı ile ilişkin olmayan) 4 adet olmak üzere toplam 9 adet çalışma elendi. 52 in vitro araştırma makalesi, 1 in vivo araştırma makalesi, 8 derleme ve 2 vaka raporu olmak üzere toplam 63 literatür derlemeye dahil edildi.

PAEK Yüzeyinin Dental Materyaller ile Bağlanması

PAEK materyallerinin kullanımında grimsi beyaz rengi ve düşük yarı saydamlılığı hedeflenen estetik sonuçların elde edilebilmesi için bir veneer malzeme (kompozit rezin) ile kaplanmasını zorunlu

kılmaktadır.¹⁶ Restorasyonların stabilitesi için önemli ve gerekli olan adeziv özellikler, yüzey işlemi ve yapıştırıcı olarak yaygın olarak kullanılan rezin simandan önemli ölçüde etkilenmektedir. Resin siman, geleneksel simanlara göre yüksek retansiyon, iyi kenar sızdırmazlığı ve daha dayanıklı bağlanma sağlayabilmekte, bağlanacağı gözenekli yüzeye nüfuz ederek mikromekanik bir tutuculuk ortaya koymaktadır. PAEK materyallerinin de sabit restorasyon olarak kullanımında rezin siman ile bağlanma dayanımları büyük önem taşımaktadır.^{9,17} PAEK materyallerinin hareketli protezlerde metal alt yapıda kroşe olarak kullanımında ise, akrilik rezin ile olan bağlantısı öne çıkmaktadır.^{18,19}

PEEK yüzeyinin dental materyaller ile bağlanması

PEEK ile kompozit rezin^{4,10,20-29}, rezin siman^{12-14,17,30-34}, cam iyonomer siman¹⁵ ve akrilik rezin^{18,19} arasındaki bağlanma dayanımını değerlendiren çalışmalar literatürde yer almaktadır. PEEK'nin bir kaplama materyali olarak kompozit rezinlere bağlanmasıyla ilgili daha önceki araştırmalar, yüzey işlemi uygulanmadığında bağ kuvvetinin yetersiz olduğunu vurgulamıştır.^{17,23,35} PEEK düşük yüzey enerjisi sergilemektedir. Düşük yüzey enerjisinin yanı sıra farklı mekanik ve kimyasal işlemlerle yüzey modifikasyonuna karşı direnç göstermesi nedeniyle kompozit rezinler ile PEEK yüzeyleri arasında yeterli bir bağ kuvveti sağlamak ek bir zorluk oluşturmaktadır. Bu durum PEEK'nin klinik olarak kullanımında bir problem olarak güncelliğini korumaya devam etmektedir.¹⁷ Bunların hareketli protez alt yapısı olarak kullanımında, akrilik rezin ile olan bağlantısını değerlendiren çalışmalar bağlanma öncesi PEEK materyaline çeşitli yüzey işlemleri uygulanması gerekliliğini rapor etmiştir.^{18,19}

PEKK yüzeyinin dental materyaller ile bağlanması

Günümüzde çok yeni bir dental materyal olan PEKK'nin dental materyaller ile bağlanma dayanımına ilişkin veriler literatürde çok kısıtlı sayıdadır. PEKK üstü veneer materyali olarak kompozit rezin kullanılabilirken,^{5,8,16,36-40} teleskobik alt yapı üzerine litium disilikat cam seramik kronlar rezin siman ile yapıştırılarak da kaplama yapılabilir. PEKK ile rezin siman^{9,41} ve akrilik rezin¹⁹ arasındaki bağlanma dayanımını inceleyen çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır. PEKK'nin kullanımına üretici firmanın önerileri ve PEEK ile ilgili kısıtlı sayıdaki önceki çalışmalar rehberlik etmektedir.^{17,23,35}

PAEK Materyallerine Uygulanan Bazı Yüzey İşlemleri

Genel olarak materyalin ıslanabilirlik ve sürtünme katsayısı gibi birçok özelliği yüzey pürüzlendirme işlemlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir.³⁵ PEEK materyalleri ile rezin esaslı materyaller arasında iyi bir bağlanma elde etmenin ilk adımı, yüzey işlemleriyle yüzey pürüzlülüğünü artırmak ve rezin materyalinin oluşan mikrorentatif alanlara akmasını sağlamaktır. Artan yüzey pürüzlülüğü; yüzey gerilimini azaltarak hidrofilitiyi ve yüzey alanını artırmakta, böylece mikromekanik tutuculuğa katkı sağlamaktadır.²³

Yüzey işlemleri genel olarak mekanik ve kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Mekanik işlemler, silika veya alüminyum oksit (Al_2O_3) partikülleri ile kumlama, lazer ve plazma uygulamalarını kapsamaktadır. Kimyasal işlemler ise, sülfürik asit ve piranha solüsyonu gibi asitler ile olan yüzey işlemlerinin yanı sıra çeşitli adeziv ajanların yüzeye uygulanmasını içermektedir.⁴²

Rezin esaslı materyaller ile yeterli bağlanma dayanımı oluşturabilmek için PEEK yüzeyinin mekanik ve/veya kimyasal olarak işlem görmesi gerekmektedir. PEEK yüzeyi ile kompozit rezin, siman veya akrilik rezin arasında optimal bir bağlanma dayanımı sağlamak için PEEK yüzeylerine asit, silika kaplama, kumlama, plazma ve lazer gibi mekanik ve/veya kimyasal bazı yüzey işlemleri uygulanmaktadır.^{13,17-19,22,24,31,43}

PEKK de PEEK'ye benzer şekilde düşük yüzey enerjisine sahiptir. Bununla birlikte kimyasal yapı olarak farklıdır. Benzer şekilde PEKK yüzey enerjisini yükseltmek amacıyla çeşitli mekanik ve/veya kimyasal bazı yüzey işlemleri uygulanan çalışmalar bulunmaktadır.^{5,16,37,38}

Alüminyum oksit partikülleri ile kumlama yüzey işlemi

Kumlama; diş hekimliğinde yüzey pürüzlülüğünü artırmak ve dental adezivlerin yüzeylere mikromekanik kilitlenmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılan mekanik bir yüzey işlemidir.⁴⁴ Al_2O_3 ve titanyum oksit (TiO_2) gibi maddeler kullanılarak yüzey düzensizliğini ve yüzey alanını artırmayı hedefleyen kumlama işlemi ile materyallerin yüzeylerinde farklılıklar oluştuğu bilinmektedir.⁴⁵ Kumlama için Al_2O_3 kullanıldığında, alaşım yüzeyinde, belirli elementlerin ayrılmasından ve birikmesinden oluşan karmaşık reaksiyonlar söz konusudur. Böylece materyalin artan ıslanabilirliği ile birlikte oldukça aktive edilmiş bir yüzeyi olmaktadır.⁴⁶

Yüzey özelliklerini değiştirmek ve mikroretantif alanlar yaratarak bağlanma dayanımını artırmak amacıyla Al_2O_3 ile kumlama yüzey işlemi pek çok araştırmacı tarafından önerilmektedir. PEEK'nin Al_2O_3 ile pürüzlendirildiği çalışmalarda genellikle 50 μm veya 110 μm partiküller kullanıldığı, 10 mm uzaklıktan 10 veya 15 sn süre ile 0,1; 0,2; 0,25; 0,3 veya 0,4 MPa (1, 2; 2,5; 3, 4 bar) basınçlarda uygulandığı görülmektedir. Mevcut çalışmalar PEEK yüzeyini Al_2O_3 ile kumlamanın, yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeyine kıyasla kompozit rezin, rezin siman veya akrilik rezinin PEEK materyaline bağlanma dayanımını artırdığını rapor etmişlerdir.^{17,18,22,23,31,44,47}

Stawarczyk ve diğerleri¹⁰ 110 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, 50 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerine göre anlamlı olarak daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda 110 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan makaslama bağlanma dayanımı değerlerinin ise, 50 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımından daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. 50 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımı ile hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımı arasında anlamlı bir fark olmadığını ancak 110 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan makaslama bağlanma dayanımının hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımından daha yüksek değerlere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Schmidlin ve diğerleri⁴³ ise, 50 μm ve 110 μm partikül büyüklüğünde Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan makaslama bağlanma dayanımı değerleri arasında anlamlı bir farklılık elde etmediklerini bildirmişlerdir. Yüzey işlemi uygulanmayan PEEK

yüzeyleri ile karşılaştırıldığında ise, kumlama yüzey işlemi uygulanmış PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımını daha yüksek bulmuşlardır.

Benli ve diğerleri¹² PEEK materyalinden üretilmiş postlara, kimyasal yüzey işlemi olarak sülfürik asit ve fosforik asit; mekanik yüzey işlemi olarak ise, 50 μm partikül büyüklüğünde Al_2O_3 ile kumlama olmak üzere çeşitli yüzey işlemleri uygulamışlardır. Kanal tedavisi yapılmış dişlere postları rezin siman ile bağladıkları çalışmaları; sülfürik asit yüzey işlemi uygulanmış deney grubunda en yüksek çekme bağlanma dayanımı değerleri ortaya konmuştur. Bununla birlikte kumlama yüzey işlemi uygulanmış grupta fosforik asit yüzey işlemi uygulanmış gruba göre daha yüksek bağlanma dayanımı değerlerine ulaşmışlardır.

Lee ve diğerleri¹⁶ yapmış oldukları çalışmada taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) görüntülerini incelediklerinde, 50 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilmiş PEKK yüzeylerinde, %95'lik sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEKK yüzeylerine göre daha düzensiz, belirgin ve dağınık yüzey görüntüleri elde etmişlerdir. Kontak açılarının ise, sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEKK yüzeylerine ve herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış PEKK yüzeylerine göre daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ise, daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Al_2O_3 ile kumlama yüzey işleminin, PEKK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımını artırdığını, sülfürik asit ile yapılan yüzey işlemine göre ise, daha iyi değerlere sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Fokas ve diğerleri⁹ ise, 110 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirilen PEKK test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerlerini, hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEKK test örneklerine göre daha yüksek, %98'lik sülfürik asit uygulanan PEKK test örneklerine göre ise, daha düşük bulmuşlardır. Kompozit rezin ile olan çekme bağlanma dayanımları için istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde etmemişlerdir.

Fuhrmann ve diğerleri⁴⁸ PEKK yüzeyini 0,25 MPa basınç altında 15 sn Al_2O_3 ve 0,25 MPa basınç altında 15 sn tribokimyasal silika kaplama ile pürüzlendirdikleri çalışmalarında, tribokimyasal silika kaplamanın Al_2O_3 partikülleri ile kumlama göre PEKK ve rezin materyali arasında daha iyi çekme bağlanma dayanımı sonuçları verdiğini gözlemlemişlerdir.

Song ve diğerleri⁴¹ PEKK postlara çeşitli yüzey işlemleri uyguladıkları ve rezin siman ile çekme bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmalarında, 2-3 bar basınç altında 110 μm Al_2O_3 ile pürüzlendirdikleri PEKK yüzeyinin, hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEKK yüzeylerine göre rezin siman ile olan bağlanma dayanımı açısından daha yüksek değerler gösterdiğini ortaya koymuşlardır. En yüksek bağlanma dayanımı değerlerinin tribokimyasal silika kaplanmış PEKK yüzeyleri ile rezin siman arasında olduğunu, tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemi uygulanmış PEKK test örneklerinin ise, Al_2O_3 partikülleri ile kumlama ile karşılaştırılabilir düzeyde yüksek bağlanma dayanımı değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

PEKK yüzeyinin Al_2O_3 ile kumlama ile mekanik olarak pürüzlendirildiği pek çok çalışmada genellikle 50 μm veya 110 μm partiküller kullanıldığı, 1, 5, 10, 15 mm olarak farklı uzaklıklardan 5, 10, 15, 20 sn olarak farklı süreler ile 0,2; 0,5; 0,25; 0,3 MPa (2, 5; 2,5; 3 bar) basınçlarda uygulandığı görülmektedir.^{5,9,16,38,41,48}

Tribokimyasal silika kaplama ile yapılan yüzey işlemi

Tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemi silika ile modifiye edilmiş Al_2O_3 parçacıklarının yüzeye püskürtülmesi ile uygulanmaktadır.

Basınç ile püskürtülen silika ile modifiye edilmiş Al_2O_3 partiküllerinin yüzeye gömülmesi ve böylece rezinin bağlanması için mikromekanik tutuculuk ile birlikte kimyasal olarak daha aktif bir yüzey oluşturulması esasına dayanmaktadır.^{49,50}

PEEK yüzeyinin tribokimyasal silika kaplama ile pürüzlendirildiği ve bu yüzey işleminin, kompozit rezin ve rezin simanın PEEK ile olan bağlanma dayanımını artırdığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.^{22,48,51} Kurahashi ve diğerlerinin¹⁸ akrilik rezin ile PEEK materyalinin bağlanma dayanımını değerlendirdikleri çalışmalarında ise, benzer şekilde PEEK yüzeyine tribokimyasal silika kaplama yüzey işleminin uygulanmasının bağlanma dayanımını olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir. Benzer şekilde PEKK ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda da tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemi kullanılmıştır.^{5,16,48}

Lee ve diğerleri¹⁶, tribokimyasal silika kaplanmış PEKK yüzey pürüzlülük değerleri ile Al_2O_3 partikülleri ile kumlama yapılmış PEKK yüzey pürüzlülük değerleri arasında anlamlı bir farklılık tespit etmemişlerdir. Sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEKK yüzeylerine ve herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış PEKK yüzeylerine göre ise, tribokimyasal silika kaplanmış PEKK yüzey pürüzlülük değerlerini daha yüksek bulmuşlardır. Tribokimyasal silika kaplama yüzey işleminin; PEKK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımını artırdığı, sülfürik asit ile yapılan yüzey işlemine göre anlamlı derecede daha iyi değerlere sahip olduğunu vurgulamışlardır. Fokas ve diğerleri⁵ ise, 110 μm partikül büyüklüğünde tribokimyasal silika kaplanmış PEKK test örneklerinin, Al_2O_3 ile kumlama ve sülfürik asit ile pürüzlendirme yüzey işlemleri uygulanan PEKK test örneklerine göre daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Termal döngü öncesi tribokimyasal silika kaplama, sülfürik asit ve Al_2O_3 ile kumlama yüzey işlemi gruplarının kompozit rezin ile bağlanma dayanımı değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmadığını ifade etmişlerdir. Termal döngü sonrası tribokimyasal silika kaplanmış PEKK test örneklerinin herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış kontrol grubuna göre kompozit rezine bağlanma dayanımının anlamlı derecede yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Asit uygulanarak yapılan yüzey işlemi

PEEK materyalinin kimyasal bir yüzey işlemi olan asitleme ile pürüzlendirildiği çalışmalarda^{4,12,15,19,20,22,28,32,41,42,50,51} sülfürik asit kullanıldığı gibi piranha solüsyonu kullanılan çalışmalar da^{4,22,23,44,53,54} bulunmaktadır. PEKK yüzeyinin ise, benzer şekilde sülfürik asit ile pürüzlendirildiği çalışmalar^{5,16,37} olmasına karşın henüz piranha solüsyonu ile pürüzlendirildiği bir çalışma bulunmamıştır.

PEEK yüzeyine sülfürik asit uygulandığında, benzen halkaları arasındaki fonksiyonel karbonil ve eter gruplarına etki etmektedir. Bu kimyasal reaksiyon da daha fazla fonksiyonel grubun adeziv materyal ile etkileşime girebilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, yüzey polaritesinin artışı ile adeziv materyallerin PEEK polimerine difüzyonunun artışı, bağlanma dayanımlarının da daha yüksek olmasını sağlayabilmektedir.¹⁶ PEEK yüzeylerinin sülfürik asit ile pürüzlendirilmesi ile ilgili bazı çalışmalar; Al_2O_3 ile kumlama, tribokimyasal silika kaplama ve plazma gibi yüzey işlemlerine göre rezin esaslı materyaller ile bağlanma dayanımının daha iyi olduğunu ortaya koymuştur.^{17,43,44}

Sülfürik asit sadece PEEK'nin karbonil ve eter gruplarına etki ederek kimyasal bağlarını kırmakla kalmayıp aynı zamanda materyal yüzeyini sülfonatlandırır. PEEK ve PEKK'nin kimyasal yapıları birbirine çok benzerdir. Bu nedenle sülfürik asidin, PEKK'nin karbonil gruplarına veya eter bağlantılarına saldırabileceği ve sökülmesi

PEKK moleküler fragmanlarının asitleme prosedürü sırasında aşındırılabilmesi vurgulanmaktadır.³⁷

Lee ve diğerleri¹⁶ sülfürik asit yüzey işlemi ile PEEK yüzeylerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımının artırıldığını ancak Al_2O_3 ile kumlama ve tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemlerine göre daha düşük bağlanma değerlerine ulaşıldığını bildirmişlerdir. Fokas ve diğerleri⁵ ise, PEKK yüzeyine çeşitli yüzey işlemleri uyguladıkları çalışmalarında; 60 sn %98'lik sülfürik asit uygulanan ve 30 sn deiyonize su ile yıkanıp kurutulan PEKK test örneklerinin, diğer kumlama ve tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemleri uygulanan test örneklerine göre en yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEKK yüzeylerine tribokimyasal silika kaplama yüzey işlemi uygulanmasının kompozit rezinin PEKK yüzeyine bağlanma stabilitesini ve dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir.

Sakihara ve diğerleri³⁷ çeşitli konsantrasyonlarda sülfürik asidin (%80, %90, %98) farklı uygulanma sürelerinin (5 sn, 30 sn, 60 sn), kompozit rezinlerin PEKK yüzeyine olan bağlanma dayanımına etkisini karşılaştırmışlardır. En yüksek bağlanma dayanımı değerleri, %90'lık sülfürik asidin 5 sn süre ile PEKK yüzeyine uygulandığı grupta görülmüştür. %90 ve %98'lik sülfürik asit konsantrasyonlarının uygulama sürelerinin artmasının, kompozit rezin ile PEKK arasındaki bağlanma dayanımını olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir.

Piranha solüsyonu; %98 sülfürik asit ve %30 hidrojen peroksidin 10:3 oranında karışımıdır. Genellikle 100 μL solüsyon PEEK yüzeyine uygulanmakta, 30 sn deiyonize su ile yıkanmakta ve 10 sn hava ile kurutulmaktadır.⁴ Sülfürik asit, asit içindeki oksijenin varlığı nedeniyle PEEK'nin kimyasal özelliklerini değiştirirken, piranha solüsyonu benzen halkasını kırmaktadır.⁵³

Hallmann ve diğerleri⁵⁴ PEEK yüzeyine piranha solüsyonunun uygulanmasının sadece yüzeyin pürüzlülüğünü artırmadığını, aynı zamanda fonksiyonel grup sayısını da artırdığını belirtmişlerdir. PEEK yüzeyine sülfürik asit uygulandığında sülfürik asit sadece karbonil ve eter gruplarına saldırılmaktadır. Piranha solüsyonu uygulandığında ise, hidrojen peroksidin sülfürik asit ile reaksiyonu sırasında salınan atomik oksijen, benzen halkası ile reaksiyona girmektedir. Bu durumun PEEK polimerinin oksidasyonuna, yüzey polaritesinin artmasına ve aromatik halkanın açılmasına sebep olacağı; böylece adezivle reaksiyona girebilen daha fazla fonksiyonel grubun açığa çıkacağı vurgulanmaktadır. Aynı zamanda Al_2O_3 ile kumlama yüzey işlemi ile birlikte piranha solüsyonu uygulamasının sinerjistik bir etki sağlayacağını ve rezin materyalleri ile PEEK materyali arasındaki bağlanma dayanımını olumlu yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir. Al_2O_3 ile kumlama ve piranha solüsyonu ile pürüzlendirilmiş PEEK test örneklerinin kompozit rezin ile olan çekme bağlanma dayanımı, sadece piranha solüsyonu ile pürüzlendirilmiş PEEK test örneklerine göre daha yüksek değerler ortaya koymuştur.

Stawarczyk ve diğerleri⁴ sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEEK yüzeylerinin serbest yüzey enerjisinin ve yüzey pürüzlülüğünün piranha solüsyonu ile pürüzlendirilmiş PEEK yüzeylerinden daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte kompozit rezin ile olan çekme bağlanma dayanımı açısından sülfürik asit ile piranha solüsyonu arasında anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Silthampitag ve diğerleri⁴⁴ ise sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEEK yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğünün piranha solüsyonu ile pürüzlendirilmiş PEEK yüzeylerinden daha iyi olduğunu tespit

etmişlerdir. Kompozit rezin ile olan makaslama bağlanma dayanımını ise, sülfürik asit ile pürüzlendirilmiş PEEK test örneklerinde piranha solüsyonu ile pürüzlendirilenlere göre daha yüksek değerlerde bulmuşlardır.

Plazma uygulanarak yapılan yüzey işlemi

Maddenin dördüncü hali olarak kabul edilen plazma, oldukça uyarılmış atomik, moleküler, iyonik ve radikal gruplardan oluşmaktadır. Termal dengedeki katı bir madde, genellikle sabit basınçta sıcaklığının artırılması ile sıvı hale; sıcaklığın artırılmaya devam edilmesiyle gaz haline geçmektedir. Yeterince yüksek bir sıcaklıkta gaz içindeki moleküller, rastgele doğrultularda serbestçe hareket eden gaz atomlarını oluşturmak için ayrışmaktadır. Eğer sıcaklık daha fazla artırılırsa gaz atomlarından bir ya da birkaç elektron kopmakta ve serbest hareket eden yüklü parçacıklara (pozitif iyonlar ve elektronlar) ayrışarak plazmayı oluşturmaktadır.⁵⁵

Polimer malzemelerin yüzey işleminde yaygın olarak kullanılan plazma türleri azot, oksijen, argon ve hidrojenidir. Tipik olarak plazma yüzey işlemi; yüzey temizliğini, mikrositlemeyi, yüzey aktivasyonunu ve ablasyonunu kapsamaktadır. Düşük sıcaklıklı plazma; serbest yüzey enerjisini, materyalin ıslanabilirliğini ve PEEK yüzeylerinde fonksiyonel grupların oluşumunu artırmaktadır. Düşük sıcaklıkta plazma işlemi, polar olmayan bir yüzeyi polar bir yüzeye dönüştürebilmekte ve materyalin yapıştırıcı ajan ile etkileşimini artıran yoğun bir çapraz bağ tabakasının üretilmesini sağlayabilmektedir. Böylece bağlanma dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir.^{17,25,26} Ek olarak, plazma deşarjına maruz kalma karbon-karbon (C-C), karbon-hidrojen (C-H) kimyasal bağlarını kırmak için yeterli bir yol oluşturmaktadır. Yüzeyde veya yakınında serbest radikaller bırakılmaktadır. Bu serbest radikaller, diğer yüzey radikalleri ile veya rezin siman ile ilave bağlanma alanları sağlamaktadır.^{56,57}

Comyn ve diğerleri⁵⁸ PEEK yüzeyine uyguladıkları plazma yüzey işleminden sonra PEEK yüzeyinde çok sayıda hidroksil (OH) ve karboksil (COOH) grubu gözlemlemişlerdir. Oluşturulan karboksil grubunun, adeziv ile polimer arasında kovalent bağlar oluşturmak için metakrilat esaslı dental adeziv sistemlerinin epoksit grubuyla reaksiyona girmesi beklenmektedir. Benzer şekilde Okawa ve diğerleri³² de PEEK ile rezin siman arasındaki makaslama bağlanma dayanımını değerlendirdikleri çalışmalarında, PEEK yüzeyine helyum atmosferik basınçlı plazma yüzey işlemi uyguladıklarında OH fonksiyonel grupların açığa çıkması ile birlikte mekanik ve kimyasal bir bağlanma oluştuğunu ve bağlanma dayanımının olumlu yönde etkilendiğini bildirmişlerdir.

Zhou ve diğerleri¹⁷ argon plazma yüzey işleminin, hidroflik asit yüzey işlemi ve Al₂O₃ ile kumlama yüzey işlemlerine göre PEEK ile rezin siman bağlanma dayanımını önemli ölçüde artırdığını ifade etmişlerdir. Stawarczyk ve diğerlerinin⁵⁹ yaptıkları bir diğer in vitro çalışma ise, aksine helyum plazma yüzey işleminin PEEK ve kendinden adezivli rezin siman (self adeziv rezin siman) arasında bağlanma dayanımını geliştirmediğini rapor etmiştir.

Younis ve diğerleri²⁹ PEEK yüzeyine uygulanan çeşitli plazma gazlarının (argon, nitrojen, oksijen, hava), PEEK ile kompozit rezin arasındaki makaslama bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmalarında; nitrojen yüzey işleminin en yüksek bağlanma dayanımı değerlerini gösterdiğini aynı zamanda nitrojen, oksijen, argon ve hava plazma yüzey işlemlerinden herhangi birinin tek başına uygulanmasının, PEEK ve kompozit rezin arasında optimum bağlanma dayanımını sağlamak için geçerli yüzey işlemleri olduğunu belirtmişlerdir. Younis ve diğerleri³⁹ PEEK yüzeyine uygulanan

çeşitli plazma gazlarının (asetilen, argon, nitrojen, oksijen, hava), PEKK ile kompozit rezin arasındaki makaslama bağlanma dayanımını incelemişler, asetilen plazma yüzey işlemi uygulanan PEKK test örneklerinin kompozit rezin ile en yüksek bağlanma değerlerine ulaştığını bildirmişlerdir.

Labriaga ve diğerleri⁹ termal olmayan plazma yüzey işleminin PEKK ile rezin siman bağlanma dayanımını önemli ölçüde geliştirdiğini ortaya koymuşlardır. Al₂O₃ ile yapılan kumlama yüzey işleminden sonra plazma yüzey işleminin uygulanmasının ise, bağlanma dayanımını anlamlı derecede daha da artırdığını ifade etmişlerdir. Dede ve diğerleri⁴⁰ ise, PEKK yüzeyine uygulanan çeşitli yüzey işlemlerinin PEKK ile kompozit rezin arasındaki makaslama bağlanma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında, tribokimyasal silika kaplama ve tribokimyasal silika kaplama ile birlikte termal olmayan plazma yüzey işlemi uyguladıkları grupların bağlanma dayanımı değerlerini, hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış kontrol grubundan anlamlı olarak daha yüksek bulmuşlardır. Termal olmayan plazma yüzey işlemi uygulanan grup ile kontrol grubu arasında ise, istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. En yüksek bağlanma dayanımı verilerinin ise, tribokimyasal silika kaplama ile birlikte termal olmayan plazma yüzey işlemi uygulanan grupta elde edildiğini vurgulamışlardır. Stawarczyk ve diğerleri³⁸ plazma ile PEKK yüzeylerinin pürüzlendirilmesinin ancak adezivler ile birlikte uygulandığında kompozit rezinler ile PEKK'nin bağlanma dayanımını artırdığını bildirmişlerdir.

Lazer uygulanarak yapılan yüzey işlemi

Lazerin (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) temeli 1900'lü yıllarda Einstein'in geliştirdiği lazer ışığının elde edilmiş teorisini açıklayan fiziksel temeline dayanmaktadır. Lazer teknolojinin temel ilkesi uyarılmış fotonların yayılması esasına dayanmaktadır. Dış hekimliğinde kullanımı 1960'larda yakut (ruby) lazerin kullanımı ile başlamıştır. Lazer; görülebilir bölge, kızılötesi ve ultraviyole bölgedeki kromatik radyasyonu çeşitli frekanslardaki ışığa dönüştürebilmektedir.^{60,61}

Düşük yüzey serbest enerjili polimerlerde adezyonu artırmak amacıyla kimyasal olarak reaktif yüzey fonksiyonel gruplarının dahil edilmesi avantajlı olmaktadır. Geçmişte lazer yüzey işlemi, birçok düşük enerjili polimerin yüzeylerini işlevselleştirmek, böylece çoklu uygulamalarda kullanılabilirliklerini artırmak için uygulanmıştır. Lazer yüzey işlemleri; yüksek çözünürlükleri, yüksek çalışma hızları, düşük maliyetleri ve materyalin genel özelliklerini değiştirmemeleri sebebiyle PEEK'nin yüzey özelliklerini değiştirmek için de bir alternatif oluşturmaktadır.⁶² Erbium: Yttrium Aluminium Garnet (Er:YAG), Neodymium: Yttrium Aluminium Garnet (Nd:YAG) ve karbondioksit (CO₂) lazerler gibi çeşitli lazer türleri bulunmaktadır.²⁰

Çağlar ve diğerleri³¹ lazer ile pürüzlendirilen PEEK yüzeyinin hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeyine göre daha yüksek pürüzlülük değeri olduğunu; fakat Er:YAG lazer ile PEEK yüzeyini pürüzlendirmenin rezin siman ile bağlanma dayanımı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir. Artmış yüzey pürüzlülüğüne rağmen bağlanma dayanımının düşük olması ise, lazer yüzey işlemi uygulanmış yüzeylerin derin fakat rezinin akmasına izin vermeyecek kadar dar çukurcuklardan (pit) oluşan komplike bir yüzey olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ateş ve diğerleri⁴⁷ ise Al₂O₃ ile kumlama, silika kaplama veya bunların Er:YAG lazer sistemi ile kombine kullanımının PEEK ve kompozit rezin arasında dayanıklı bir bağ oluşumunu sağlayacağını;

ancak sadece Er:YAG lazer yüzey işleminin rezin ile PEEK arasındaki bağlanma dayanımı üzerinde olumlu bir etkisinin olmadığını göstermişlerdir.

Çulhaoğlu ve diğerleri²⁴ PEEK yüzeyine silika kaplama, Al₂O₃ ile kumlama, aseton, sülfürik asit, Pulsed Ytterbium (Yb:PL) lazer gibi çeşitli yüzey işlemleri uyguladıkları çalışmalarında, en yüksek PEEK yüzey pürüzlülük değerine lazer yüzey işlemi yapılmış grupta ulaştıklarını bildirmişlerdir. Kompozit rezin ile en yüksek bağlanma dayanımı ise, sülfürik asit yüzey işlemi uygulanan grupta gözlemlenirken; lazer yüzey işlemi uygulanan PEEK test örneklerinin kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımını, Al₂O₃ ile kumlama, silika kaplama, aseton yüzey işlemi yapılan PEEK örneklerine göre daha yüksek bulmuşlardır.

Tsuka ve diğerleri¹³ Neodymium-Doped Yttrium Orthovanadate (Nd:YVO₄) lazer yüzey işlemi uygulanan PEEK yüzeyinin yüzey pürüzlülük değerinin, Al₂O₃ ile kumlama yüzey işlemi yapılmış PEEK yüzeylerine ve hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeylerine göre daha yüksek pürüzlülük değerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Resin siman ile PEEK arasındaki bağlanma dayanımının ise, yine lazer yüzey işlemi uygulanmış PEEK test örneklerinde en yüksek değerlere sahip olduğunu göstermişlerdir.

Jahandideh ve diğerleri²⁰ PEEK yüzeyine uygulanan Er:YAG ve CO₂ lazer yüzey işlemlerinin PEEK ile kompozit rezin arasındaki makaslama bağlanma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmalarında; Er:YAG lazer yüzey işlemi uygulanan grubun CO₂ lazer yüzey işlemi uygulanan gruba göre bağlanma dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda her iki lazer yüzey işleminin de lazer yüzey işlemi uygulanmayan kontrol grubuna göre bağlanma dayanımını istatistiksel olarak anlamlı ve olumlu yönde etkilediğini ve lazer yüzey işleminin PEEK ile kompozit rezinlerin bağlanmasında etkili bir yüzey işlemi olduğunu vurgulamışlardır. Henriques ve diğerleri³⁰ de benzer şekilde PEEK yüzeylerine CO₂ lazer yüzey işlemi uygulamışlardır. Resin siman ile olan makaslama bağlanma dayanımını değerlendirmişlerdir. Lazer yüzey işleminin PEEK yüzeyinde tutucu deliklerin oluşmasıyla yüzey modifikasyonunu teşvik etmesine rağmen, resin simanın, etkili bir mekanik kilitleme oluşturmak için pürüzlü modifiye edilmiş yüzeye tamamen akmadığını tespit etmişlerdir. Bu durumun Jahandideh ve diğerlerinin²⁰ yapmış oldukları çalışmadan farklı olarak, PEEK ve resin siman bağlanma dayanımını olumsuz yönde etkilediğini ifade etmişlerdir.

PEEK materyali ile bahsedilen çalışmalarda lazer yüzey işlemi uygulanmış olmasına karşın; PEKK materyali ile dental materyaller (kompozit rezin, rezin siman, akrilik rezin) arasındaki bağlanma dayanımını inceleyen çalışmalarda, henüz PEKK yüzeyine lazer yüzey işlemi uygulanan bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Yüksek Performanslı Polimerlere (PAEK) Adeziv Ajanların Uygulanması

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) 10477'ye göre, rezin esaslı malzemeler ile substrat arasında kabul edilebilir minimum bağlanma dayanımı 5 MPa'dır. Bununla birlikte, ilk veriler sadece rezin esaslı malzemeler ile bağın erken değerlerini vermektedir ancak termal döngü veya uzun süreli depolama ile yaşlandırma sonrasında elde edilen bağlanma dayanımı verileri, oral koşullarda uzun süreli bağlanma dayanımının sağlanıp sağlanamayacağına dair tahmine izin verebilmektedir. Bu bağlamda, 10 MPa'nın üzerindeki makaslama bağlanma dayanımı değerlerinin kabul edilebilir olduğu çeşitli literatürlerde tartışılmıştır.^{22,47,63}

Yüksek performanslı polimer ve dental materyaller (kompozit rezin, rezin siman, akrilik rezin) arasında uygun ve dayanıklı bir bağlanma oluşturmak için ise, yüksek performanslı polimer dental protezlerinin mekanik ve/veya kimyasal bir yüzey işlemi ile pürüzlendirilmesi gerektiği bilinmektedir. İlave olarak bu yüzey işlemlerine ek bir kimyasal yüzey işlemi adeziv ajanın da yüzeye uygulanması gerekliliği yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır.^{19,42} Resin esaslı materyallerin PEEK yüzeyine stabil ve uzun süreli bağlanmasında tek başına PEEK yüzeyine uygulanan yüzey işlemleri yeterli düzeyde etkili olamamaktadır.²²

PEEK yüzeyine metil metakrilat (MMA) içerikli⁵¹, asidik ester içerikli,⁵⁹ 10-metakriloloksidesil dihidrojen fosfat (10-MDP) içerikli, 10-MDP ve silan içerikli,²⁷ pentaeritritol triakrilat (PETIA), MMA ve ilave dimetakrilatlar içerikli adezivlerin²³ uygulandığı ve PEEK materyalinin resin siman veya kompozit rezin materyalleri ile olan bağlanma dayanımını olumlu yönde etkilediğini bildiren birçok çalışma mevcuttur.

Self-adeziv resin siman uygulanmasından önce, kumlama veya asitleme yüzey işlemi uygulanmamış PEEK yüzeyine bile adeziv (Visio.link, Bredent, Senden, Almanya; Signum PEEK Bond, Heraeus Kulzer, Hanau, Almanya; Ambarino P60, Creamed, Marburg, Almanya) uygulanmasının termal yaşlandırmadan sonra bile resin siman ile bağlanmasını sürdürebileceği rapor edilmiştir.⁵⁹ Self-adeziv resin simanlar ile kombinasyon halinde MMA içerikli adezivlerin (Visio.link, Signum PEEK Bond) kullanımı ile yeterli başlangıç bağlanma değerleri elde edilebilmektedir. Ancak asidik esterler içeren adezivlerin (Ambarino P60) PEEK ile resin siman arasındaki bağlantıyı sağlayamadığı bildirilmiştir.⁵⁹

Barto ve diğerleri²⁸ PEEK materyalinin kompozit rezin ile olan makaslama bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmalarında; PEEK yüzeyine kumlama yüzey işlemi ve MMA, PETIA içerikli adeziv ajan (Visio.link) uygulanmamış grubun; kumlama yüzey işlemi+adeziv ajan uygulanmış, tek adeziv ajan uygulanmış ve tek kumlama yüzey işlemi uygulanmış gruplara göre anlamlı olarak daha düşük makaslama bağlanma dayanımı değeri verdiğini bildirmişlerdir. Kumlama ve/veya adeziv ajan uygulanmış üç grup arasında ise, istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Kompozit rezin ile kaplanmış PEEK restorasyonlarının tamirinde PEEK yüzeyine kumlama ve/veya adeziv ajan kullanımını önermişlerdir.

Stawarczyk ve diğerleri²⁷ PEEK ile kompozit rezin kaplama materyalinin bağlanma dayanımları ile ilgili yapmış oldukları bir çalışmada Al₂O₃ ile kumladıkları PEEK test örneklerine çeşitli adezivler uygulamışlardır. Adeziv uygulanmayan, 10-MDP içerikli adeziv (Z-Prime Plus, Bisco, Schaumburg, IL, ABD) uygulanan ve asidik ester içerikli adeziv (Ambarino P60) uygulanan PEEK test örneklerinden oluşan gruplar bağlanma dayanımı göstermezken, 10-MDP ve silan içerikli adeziv (Monobond Plus, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) uygulanan PEEK test örneklerinin kompozit rezin ile bağlanma dayanımını artırdığı bildirilmiştir. PEEK ile test edilen tüm kompozit rezinler arasındaki termal döngüden önce ve sonra en yüksek bağlanma dayanımı MMA içerikli (Visio.link ve Signum PEEK Bond) adezivler uygulanan PEEK örneklerinde gözlemlenmiştir. Kern ve diğerleri⁵¹ de Al₂O₃ ile kumlanmış PEEK yüzeylerine MMA içerikli adeziv ajanların (Luxatemp Glaze & Bond, DMG, Hamburg, Almanya) uygulanmasının kompozit rezinler ile olan bağlanma dayanımını olumlu yönde etkilediğini ve klinik kullanıma uygun olduğunu bildirmeleri ile Stawarczyk ve diğerlerinin²⁷ çalışmalarını desteklemektedirler.

Çağlar ve diğerleri³¹ her ikisi de MMA içerikli adeziv ajan (Visio.link, Signum PEEK Bond) olmasına rağmen; Visio.link adeziv ajan uygulanan PEEK yüzeylerinin, Signum PEEK Bond adeziv ajan uygulanan PEEK yüzeylerine göre rezin siman ile olan bağlanma dayanımı bakımından anlamlı olarak daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu durumun Visio.link adeziv ajanın içinde bulunan PEEK yüzeyini modifiye etmek için yüksek potansiyele sahip PETIA'dan kaynaklandığını vurgulamışlardır. Keul ve diğerleri²³ de benzer çalışmalarında PETIA, MMA ve ilave dimetakrilatlar içeren adezivin (Visio.link) en yüksek bağlanma potansiyelini gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu durumun PETIA'nın PEEK yüzeyini çözmesi, MMA monomerlerinin çözünmüş yüzeyi şişirmesi ve böylece dimetakrilat monomerlerinin iki metal grubu ile kompozit rezine bağlanma sağlamasından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. 10-MDP içeren adezivin (Clearfil Ceramic Primer, Kuraray, Osaka, Japonya) ise, çok düşük bir bağlanma dayanımı sağladığını rapor etmişlerdir. Bu durumu, bifonksiyonel MDP monomerinin bir fonksiyonel grubunun, PEEK veya kompozit rezin ile kimyasal olarak reaksiyona giremeyen bir fosfat grubu tarafından işgal edilmesiyle açıklamışlardır.

Aynı zamanda Hallmann ve diğerleri⁵⁴ adezivin çözücüsünün de polimerlerin çapraz bağlanmasında önemli bir faktör olduğunu; çünkü alt tabakada başlayacak olan polimerizasyon için adezivin plastiğe nüfuz etmesine yardımcı olacağını ifade etmişlerdir. İlave olarak 10-MDP içeren adezivin (Clearfil Ceramic Primer), aşındırılmış PEEK yüzeyinde daha derine nüfuz edebilen çözücü olarak etanole sahip olmasına rağmen adezivin aşındırılmış PEEK yüzeyi içinde kaybolması ve rezin siman ile adeziv arasında herhangi bir reaksiyonun gerçekleşmemesi sonucunda olumsuz bir etkiye sebep olacağını ortaya koymuşlardır.

Escobar ve diğerleri²¹ adeziv ajanların uygulama süresinin de, fiziksel özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin yanında, PEEK'nin kompozit rezinlere bağlanmasını etkileyen anahtar bir faktör olduğunu ileri sürmüşlerdir. Sülfürik asit yüzey işlemi uygulanmış PEEK yüzeylerine farklı sürelerde (0, 1, 3, 5 dk) 10-MDP içerikli asidik adeziv ajan (Ambar Universal Adhesive, FGM, Brezilya) uygulanmasının, PEEK ve kompozit rezin arasındaki makaslama bağlanma dayanımına etkisini değerlendirdiklerinde, bağlanma dayanımının adeziv ajan uygulama süresinin artması ile arttığını tespit etmişlerdir.

Yapılan pek çok çalışma, MMA içerikli adezivlerin uygulanmasının, PEEK'nin kompozit rezinlere veya rezin simanlara bağlanma dayanımında daha yüksek değerlere ulaşabilmesini sağladığını bildirirse de^{23,27,51} Lee ve diğerleri¹⁶ PEKK ve kompozit rezinlerin bağlanma dayanımında, PEKK yüzeyine MMA içerikli (Luxatemp Glaze & Bond, Visio.link) veya MDP içerikli (All-Bond Universal, Bisco Inc, Schaumburg, IL, ABD; Single Bond Universal, 3M ESPE, Almanya) adeziv ajan uygulanması arasında anlamlı bir fark bulunmadığını ileri sürmüşlerdir. Aynı zamanda ikisi de MDP içerikli adeziv olmasına rağmen Single Bond Universal (3M ESPE, Almanya) adezivi uygulanan PEKK yüzeylerinin, All-Bond Universal (Bisco Inc, Schaumburg, IL, ABD) adezivi uygulanan PEKK yüzeylerine göre kompozit rezinler ile daha yüksek bağlanma dayanımı değerlerine ulaştığı bildirilmiştir. Benzer içerikli iki adeziv ajan arasındaki bu farkın Single Bond Universal adezivi içerisinde ayrıca bulunan silandan kaynaklandığını vurgulamışlardır. Silan, çeşitli organik ve inorganik materyaller ile kimyasal reaksiyona giren iki farklı reaktif fonksiyonel gruba sahip bir adeziv destekleyicidir. Farklı materyallerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Hidrolize edilebilir fonksiyonel gruplar, bir siloksan bağı (Si-O-Si) üreten inorganik

substratların hidroksil grupları ile reaksiyona girebilmekte, C-C çift bağına sahip hidrolize edilemeyen organik fonksiyonel grup ise, kompozit rezinin monomerleri ile polimerize olabilmektedir. Yüzey işlemine maruz kalan PEKK materyalinde de bu reaksiyonu gerçekleştirecek bir miktar hidroksil grubunun bulunduğu öngörülmektedir.

Fuhrmann ve diğerleri⁴⁸ PEKK ile rezin siman arasındaki bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmalarında MMA içerikli adeziv ajanların (Luxatemp Glaze & Bond) uygulanmasının PEEK için olduğu gibi PEKK için de rezin siman bağlanmasında güçlü ve dayanıklı bir bağ elde etmek için ön koşul olduğunu saptamışlardır. Multifonksiyonel metakrilatların, adezivin PEKK yüzeyine infiltre olmasını kolaylaştıracağını ve bu durumun dayanıklı mikromekanik kilitlenme ve kimyasal bağlanma sağlayacağı savını bildirmişlerdir.

Stawarczyk ve diğerleri³⁸ yapmış oldukları çalışmada PEKK yüzeyinin kompozit rezin ile bağlanmasında MMA, dimetakrilat ve PETIA içerikli adeziv ajan (Visio.link) uygulanan yüzeylerin MMA, difenil fosfin oksit içerikli adeziv ajan (Pekk Bond, Anaxdent, Stuttgart, Almanya) uygulanan yüzeylere göre daha iyi bağlanma dayanımı gösterdiğini bulmuşlardır. Benzer içeriklere sahip adeziv ajanlar arasındaki bu farkın Visio.link içerisindeki PETIA'dan kaynaklandığını, PETIA'nın bir çözücü olarak PAEK materyalleri üzerinde çok etkili olduğunu düşündüklerini ifade etmişlerdir. Adeziv ajanlar uygulanmadan sadece plazma yüzey işlemi yapılmış PEKK yüzeylerinin ise, en düşük bağlanma dayanımı değerlerini gösterdiğini belirtmişlerdir.

Fokas ve diğerleri⁵ PEKK yüzeyine adeziv (Visio.link) uygulanmadan önce silan içerikli primerin (Monobond-S, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) uygulanmasının kompozit rezin ile olan bağlanma dayanımını olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Kompozit rezinlerin PEKK ile bağlanması sırasında adeziv ajan (Visio.link) içerisindeki akrilat gruplarının silan primeri ile reaksiyona girdiği ve bu durumun PEKK ve kompozit rezin arasında hidrolitik olarak daha stabil bir bağlanma ile sonuçlanmasını sağladığı düşüncesini savunmuşlardır.

Peng ve diğerleri¹⁹ ise PEEK ve PEKK materyallerine çeşitli yüzey işlemleri uyguladıkları ve akrilik ile olan bağlanma dayanımını değerlendirdikleri çalışmalarında; sadece kumlama ve sadece adeziv ajan (Visio.link) uygulanmış gruplara kıyasla kumlama yüzey işlemi ile birlikte adeziv ajan uyguladıkları PEEK ve PEKK yüzeylerinin akrilik ile istatistiksel olarak anlamlı yüksek bağlanma değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

SONUÇ

Genel olarak mevcut çalışmalar irdelendiğinde kompozit rezin, rezin siman ve akrilik dental materyallerin polimer yüzeyine stabil ve uzun süreli bağlanmasında tek başına yüzey işlemi uygulanmasının yeterli olmadığı sonucu ortaya konmuştur. PAEK ailesine ait PEEK ve PEKK polimerleri ile dental materyaller arasında uygun ve dayanıklı bir bağlanma oluşturmak için PEEK ve PEKK yüzeylerinin mekanik ve/veya kimyasal bir yüzey işlemi ile pürüzlendirilmesinin gerektiği ve bu yüzey işlemlerine ek olarak, bir adeziv ajanın da yüzeye uygulanmasının klinik başarıya katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir – B.T.; Tasarım – B.T.; Denetleme – G.E.; Kaynaklar – B.T., G.E.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi – B.T.; Analiz ve/veya Yorum – G.E.; Literatür Taraması – B.T.; Yazıyı Yazan – B.T.; Eleştirel İnceleme – G.E.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept – B.T.; Design – B.T.; Supervision – G.E.; Resources – B.T., G.E.; Data Collection and/or Processing – B.T.; Analysis and/or Interpretation – G.E.; Literature Search – B.T.; Writing Manuscript – B.T.; Critical Review – G.E.

Declaration of Interests: The authors have no conflicts of interest to declare.

Funding: The authors declared that this study has received no financial support.

KAYNAKLAR

- Webber B, McDonald A, Knowles J. An in vitro study of the compressive load at fracture of pro-cera AllCeram crowns with varying thickness of veneer porcelain. *J Prosthet Dent.* 2003;89(2):154-160. [\[CrossRef\]](#)
- Karunagaran S, Paprocki GJ, Wicks R, Markose S. A review of implant abutments-abutment classification to aid prosthetic selection. *J Tenn Dent Assoc.* 2013;93(2):18-23.
- Simsiriwong J, Shrestha R, Shamsaei N, Lugo M, Moser RD. Effects of microstructural inclusions on fatigue life of polyether ether ketone (PEEK). *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015;51:388-397. [\[CrossRef\]](#)
- Stawarczyk B, Jordan P, Schmidlin PR, et al. PEEK surface treatment effects on tensile bond strength to veneering resins. *J Prosthet Dent.* 2014;112(5):1278-1288. [\[CrossRef\]](#)
- Fokas G, Guo CY, Tsoi JKH. The effects of surface treatments on tensile bond strength of polyether-ketone-ketone (PEKK) to veneering resin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2019;93:1-8. [\[CrossRef\]](#)
- Çulhaoğlu AK, Özkır SE, Türkkal F. Polieter Eter Keton (PEEK) ve dental kullanımı. *Curr Res Dent Sci.* 2019;29:711-718.
- Dawson JH, Hyde B, Hurst M, Harris BT, Lin WS. Polyetherketone ketone (PEKK), a framework material for complete fixed and removable dental prostheses: A clinical report. *J Prosthet Dent.* 2018; 119(6):867-872. [\[CrossRef\]](#)
- Klur T, Hasan I, Ottersbach K, et al. PEKK-made indirect temporary crowns and bridges: A clinical pilot study. *Clin Oral Investig.* 2019; 23(2):771-777. [\[CrossRef\]](#)
- Labriaga W, Song SY, Park JH, Ryu JJ, Lee JY, Shin SW. Effect of non-thermal plasma on the shear bond strength of resin cements to Polyetherketoneketone (PEKK). *J Adv Prosthodont.* 2018;10(6): 408-414. [\[CrossRef\]](#)
- Stawarczyk B, Beuer F, Wimmer T, et al. Polyetheretherketone - A suitable material for fixed dental prostheses? *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2013;101(7):1209-1216. [\[CrossRef\]](#)
- Taş N, Eçilmez F. İmplant destekli hibrit protezlerin yapımında kullanılan materyaller ve üretim yöntemleri. *Curr Res Dent Sci.* 2021;31:305-315.
- Benli M, Eker Gümüş B, Kahraman Y, Huck O, Özcan M. Surface characterization and bonding properties of milled polyetheretherketone dental posts. *Odontology.* 2020;108(4):596-606. [\[CrossRef\]](#)
- Tsuka H, Morita K, Kato K, et al. Effect of laser groove treatment on shear bond strength of resin-based luting agent to polyetheretherketone (PEEK). *J Prosthodont Res.* 2019;63(1):52-57. [\[CrossRef\]](#)
- Rocha RF, Anami LC, Campos TM, Melo RM, Souza RO, Bottino MA. Bonding of the polymer polyetheretherketone (PEEK) to human dentin: Effect of surface treatments. *Braz Dent J.* 2016;27(6): 693-699. [\[CrossRef\]](#)
- Teng R, Meng Y, Zhao X, et al. Combination of Polydopamine coating and plasma pretreatment to improve bond ability between PEEK and primary teeth. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021;8:1-9.
- Lee KS, Shin MS, Lee JY, Ryu JJ, Shin SW. Shear bond strength of composite resin to high performance polymer PEKK according to surface treatments and bonding materials. *J Adv Prosthodont.* 2017;9(5):350-357. [\[CrossRef\]](#)
- Zhou L, Qian Y, Zhu Y, Liu H, Gan K, Guo J. The effect of different surface treatments on the bond strength of PEEK composite materials. *Dent Mater.* 2014;30(8):e209-e215. [\[CrossRef\]](#)
- Kurahashi K, Matsuda T, Ishida Y, Ichikawa T. Effect of surface treatments on shear bond strength of polyetheretherketone to autopolymerizing resin. *Dent J (Basel).* 2019;7(3):1-8. [\[CrossRef\]](#)
- Peng TY, Shimoe S, Fuh LJ, Lin CK, Lin DJ, Kaku M. Bonding and thermal cycling performances of two (poly)aryl-ether-ketone (PAEKs) materials to an acrylic denture base resin. *Polymers (Basel).* 2021; 13(4):1-14. [\[CrossRef\]](#)
- Jahandideh Y, Falahchai M, Pourkhalili H. Effect of surface treatment with Er:Yag and CO₂ lasers on shear bond strength of polyether ether ketone to composite resin veneers. *J Lasers Med Sci.* 2020;11(2): 153-159. [\[CrossRef\]](#)
- Escobar M, Souza JCM, Barra GMO, Fredel MC, Özcan M, Henriques B. On the synergistic effect of sulfonic functionalization and acidic adhesive conditioning to enhance the adhesion of PEEK to resin-matrix composites. *Dent Mater.* 2021;37(4):741-754. [\[CrossRef\]](#)
- Rosenritt M, Preis V, Behr M, Sereno N, Kolbeck C. Shear bond strength between veneering composite and PEEK after different surface modifications. *Clin Oral Investig.* 2015;19(3):739-744. [\[CrossRef\]](#)
- Keul C, Liebermann A, Schmidlin PR, Roos M, Sener B, Stawarczyk B. Influence of PEEK surface modification on surface properties and bond strength to veneering resin composites. *J Adhes Dent.* 2014;16(4):383-392. [\[CrossRef\]](#)
- Çulhaoğlu AK, Özkır SE, Şahin V, Yılmaz B, Kılıçarslan MA. Effect of various treatment modalities on surface characteristics and shear bond strengths of polyetheretherketone-based core materials. *J Prosthodont.* 2020;29(2):136-141. [\[CrossRef\]](#)
- Bötel F, Zimmermann T, Sütel M, Müller WD, Schwitalla AD. Influence of different low-pressure plasma process parameters on shear bond strength between veneering composites and PEEK materials. *Dent Mater.* 2018;34(9):e246-e254. [\[CrossRef\]](#)
- Schwitalla AD, Bötel F, Zimmermann T, Sütel M, Müller WD. The impact of argon/oxygen low-pressure plasma on shear bond strength between a veneering composite and different PEEK materials. *Dent Mater.* 2017;33(9):990-994. [\[CrossRef\]](#)
- Stawarczyk B, Keul C, Beuer F, Roos M, Schmidlin PR. Tensile bond strength of veneering resins to PEEK: Impact of different adhesives. *Dent Mater J.* 2013;32(3):441-448. [\[CrossRef\]](#)
- Barto A, Vandewalle KS, Lien W, Whang K. Repair of resin-veneered polyetheretherketone after veneer fracture. *J Prosthet Dent.* 2021; 125(4):704.e1-704.e8. [\[CrossRef\]](#)
- Younis M, Konkovskiy A, ElAyouti A, Geis-Gerstorfer J, Spintzyk S. The effect of various plasma gases on the shear bond strength between unfilled polyetheretherketone (PEEK) and veneering composite following artificial aging. *Materials (Basel).* 2019;12(9):1-9. [\[CrossRef\]](#)
- Henriques B, Fabris D, Mesquita-Guimarães J, et al. Influence of laser structuring of PEEK, PEEK-GF30 and PEEK-CF30 surfaces on the shear bond strength to a resin cement. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018;84:225-234. [\[CrossRef\]](#)
- Caglar I, Ates SM, Yesil Duymus Z. Z. An in vitro evaluation of the effect of various adhesives and surface treatments on bond strength of resin cement to polyetheretherketone. *J Prosthodont.* 2019; 28(1):e342-e349. [\[CrossRef\]](#)
- Okawa S, Taka N, Aoyagi Y. Effect of modification with helium atmospheric-pressure plasma and deep-ultraviolet light on adhesive shear strength of fiber-reinforced poly(ether-ether-ketone) polymer. *J Funct Biomater.* 2020;11(2):27. [\[CrossRef\]](#)
- Okawa S, Aoyagi Y, Kimura T, Izumi K. Effect of pre-coating with methyl methacrylate containing UV photoinitiators on the bond

- strength of poly(ether ether ketone). *Dent Mater J*. 2021;40(2): 519-524. [\[CrossRef\]](#)
34. Sproesser O, Schmidlin PR, Uhrenbacher J, Roos M, Gernet W, Stawarczyk B. Effect of sulfuric acid etching of polyetheretherketone on the shear bond strength to resin cements. *J Adhes Dent*. 2014;16(5):465-472. [\[CrossRef\]](#)
 35. Ourahmoune R, Salvia M, Mathia TG, Mesrati N. Surface morphology and wettability of sandblasted PEEK and its composites. *Scanning*. 2014;36(1):64-75. [\[CrossRef\]](#)
 36. Han KH, Lee JY, Shin SW. Implant- and tooth-supported fixed prostheses using a high-performance polymer (Pekkton) framework. *Int J Prosthodont*. 2016;29(5):451-454. [\[CrossRef\]](#)
 37. Sakihara M, Taira Y, Sawase T. Effects of sulfuric acid etchants on bond strength of resin composite to polyetherketone ketone. *Odontology*. 2019;107(2):158-164. [\[CrossRef\]](#)
 38. Stawarczyk B, Silla M, Roos M, Eichberger M, Lümekemann N. Bonding behaviour of polyetherketoneketone to methylmethacrylate- and dimethacrylate-based polymers. *J Adhes Dent*. 2017;19(4):331-338. [\[CrossRef\]](#)
 39. Younis M, Unkovskiy A, Drexler T, Qian J, Wan G, Spintzyk S. The impact of non-thermal plasma on the adhesion of polyetherketone ketone (PEKK) to a veneering composite system. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;112:104065. [\[CrossRef\]](#)
 40. Dede DÖ, Küçükekenci AS, Kahveci Ç. Influence of chairside surface treatments on the shear bond strength of PEKK polymer to veneering resin materials: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2021;125(4): 703.e1-703.e7. [\[CrossRef\]](#)
 41. Song CH, Choi JW, Jeon YC, et al. Comparison of the microtensile bond strength of a Polyetherketoneketone (PEKK) tooth post cemented with various surface treatments and various resin cements. *Materials (Basel)*. 2018;11(6):1-14. [\[CrossRef\]](#)
 42. Gama LT, Duque TM, Özcan M, Philippi AG, Mezzomo LAM, Gonçalves TMSV. Adhesion to high-performance polymers applied in dentistry: A systematic review. *Dent Mater*. 2020;36(4):e93-e108. [\[CrossRef\]](#)
 43. Schmidlin PR, Stawarczyk B, Wieland M, Attin T, Hämmerle CHF, Fischer J. Effect of different surface pre-treatments and luting materials on shear bond strength to PEEK. *Dent Mater*. 2010;26(6): 553-559. [\[CrossRef\]](#)
 44. Silthampitag P, Chaijareenont P, Tattakorn K, Banjongprasert C, Takahashi H, Arksornnukit M. Effect of surface pretreatments on resin composite bonding to PEEK. *Dent Mater J*. 2016;35(4):668-674. [\[CrossRef\]](#)
 45. Ananth H, Kundapur V, Mohammed HS, Anand M, Amarnath GS, Mankar S. A review on biomaterials in dental implantology. *Int J Biomed Sci*. 2015;11(3):113-120.
 46. Kern M, Thompson VP. Sandblasting and silica-coating of dental alloys: Volume loss, morphology and changes in the surface composition. *Dent Mater*. 1993;9(3):151-161. [\[CrossRef\]](#)
 47. Ateş SM, Çağlar I, Yeşil Duymuş Z. The effect of different surface pretreatments on the bond strength of veneering resin to polyetheretherketone. *J Adhes Sci Technol*. 2018;32(20):2220-2231. [\[CrossRef\]](#)
 48. Fuhrmann G, Steiner M, Freitag-Wolf S, Kern M. Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs) - Durability and influence of surface conditioning. *Dent Mater*. 2014;30(3):357-363. [\[CrossRef\]](#)
 49. Özcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater*. 2003; 19(8):725-731. [\[CrossRef\]](#)
 50. Peutzfeldt A, Asmussen E. Silicoating: Evaluation of a new method of bonding composite resin to metal. *Scand J Dent Res*. 1988;96(2):171-176. [\[CrossRef\]](#)
 51. Kern M, Lehmann F. Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketone (PEEK). *Dent Mater*. 2012;28(12):1280-1283. [\[CrossRef\]](#)
 52. Chaijareenont P, Prakhamsai S, Silthampitag P, Takahashi H, Arksornnukit M. Effects of different sulfuric acid etching concentrations on PEEK surface bonding to resin composite. *Dent Mater J*. 2018;37(3):385-392. [\[CrossRef\]](#)
 53. Uhrenbacher J, Schmidlin PR, Keul C, et al. The effect of surface modification on the retention strength of polyetheretherketone crowns adhesively bonded to dentin abutments. *J Prosthet Dent*. 2014;112(6):1489-1497. [\[CrossRef\]](#)
 54. Hallmann L, Mehl A, Sereno N, Hämmerle CHF. The improvement of adhesive properties of PEEK through different pre-treatments. *Appl Surf Sci*. 2012;258(18):7213-7218. [\[CrossRef\]](#)
 55. Kim JH, Lee MA, Han GJ, Cho BH. Plasma in dentistry: A review of basic concepts and applications in dentistry. *Acta Odontol Scand*. 2014;72(1):1-12. [\[CrossRef\]](#)
 56. Pelagade S, Singh NL, Shah S, et al. Surface free energy analysis for bipolar pulsed argon plasma treated polymer films. *J Phys Conf Ser* 23rd National Symposium on Plasma Science & Technology (PLASMA-2008). Bhabha Atomic Research Center, Trombay, Mumbai, India: IOP Publishing; 2008;208(1):012107.
 57. Kim S, Lee KJ, Seo Y. Polyetheretherketone (PEEK) surface functionalization by Low-Energy Ion-Beam irradiation under a reactive O₂ environment and its effect on the PEEK/copper adhesives. *Langmuir*. 2004;20(1):157-163. [\[CrossRef\]](#)
 58. Comyn J, Mascia L, Xiao G, Parker BM. Plasma-treatment of polyetheretherketone (PEEK) for adhesive bonding. *Int J Adhes Adhes*. 1996;16(2):97-104. [\[CrossRef\]](#)
 59. Stawarczyk B, Bähr N, Beuer F, et al. Influence of plasma pretreatment on shear bond strength of self-adhesive resin cements to polyetheretherketone. *Clin Oral Investig*. 2014;18(1):163-170. [\[CrossRef\]](#)
 60. Şen S, Ergün Kunt G, Ceylan G. Lazerler ve protez öncesi uygulama alanları. *Ege Univ Dişhekimliği Fak Derg*. 2010;31:1-8.
 61. Cernavin I, Pugatschew A, de Boer N, Tyas MJ. Laser applications in dentistry: A review of the literature. *Aust Dent J*. 1994;39(1):28-32. [\[CrossRef\]](#)
 62. Riveiro A, Soto R, Comesaña R, et al. Laser surface modification of PEEK. *Appl Surf Sci*. 2012;258(23):9437-9442. [\[CrossRef\]](#)
 63. Rosentritt M, Behr M, Van Der Zel JM, Feilzer AJ. Shear bond strength of cement to zirconia. *J Adhes Sci Technol*. 2009;23(7-8):1125-1132. [\[CrossRef\]](#)