



## USE OF HIGH-PERFORMANCE POLYMERS IN ENDODONTIC PRACTICE YÜKSEK PERFORMANSLI POLİMERLERİN ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ DİŞLERİN RESTORASYONLARINDA KULLANIMI

Ömer Faruk YENİLMEZ<sup>1</sup>, Bülent YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate, Department of Endodontics, Faculty of Dentistry, Istanbul University, Istanbul /TÜRKİYE,

**ORCID ID:** 0000-0002-1970-8848

<sup>2</sup>Asst. Prof., Department of Endodontics, Faculty of Dentistry, Istanbul University, Istanbul /TÜRKİYE,

**ORCID ID:** 0000-0003-4118-3475

***Corresponding Author:***

Ömer Faruk YENİLMEZ,

İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Kalenderhane Mahallesi Vezneciler Cad. No:2 34116,  
Fatih/İstanbul/TÜRKİYE,

**e-mail:** [ofyenilmez@gmail.com](mailto:ofyenilmez@gmail.com) , **Phone:** +90 544 923 1843



## Abstract

When considering aesthetic expectations in dentistry, the interest in metal-free restorations is increasing day by day. High-performance polymers (HPP) are biocompatible materials that have recently been used in dentistry. They can be produced in tooth-colored shades, meeting aesthetic requirements, and they exhibit high resistance to oral forces and corrosion without containing any metal alloy. HPP was initially introduced in the field of implantology and later found its place in prosthodontics in dentistry. The search for an ideal material to be used in the restoration of teeth that have undergone root canal treatment (RCT) continues in today's dentistry. Due to their superior properties, numerous studies have been conducted to evaluate the use of HPPs in the restoration of teeth that have undergone RCT. This review aims to examine the use of HPPs as a restorative material option in teeth that have undergone RCT.

**Keywords:** high-performance polymers, PEEK, PEKK, post-core, endocrown.

## Özet

Diş hekimliğinde estetik beklentiler dikkate alındığında metal içermeyen restorasyonlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Yüksek performanslı polimerler (YPP) yakın zamanda diş hekimliğinde kullanılmaya başlamış biyoyumlu, diş renginde üretilebilen dolayısıyla estetik gereksinimleri karşılayabilen, ağız içi kuvvetlere ve korozyona direnci yüksek olan, metal alaşım içermeyen malzemelerdir. YPP ilk olarak implantoloji alanında daha sonralarda ise protetik açıdan diş hekimliğinde yer almıştır. Kök kanalı tedavisi (KKT) görmüş dişlerin restorasyonlarında kullanılacak ideal materyal arayışı günümüzde devam etmektedir. Üstün özellikleri sayesinde KKT görmüş dişlerin restorasyonlarında değerlendirilmek üzere pek çok araştırma yapılmıştır. Bu derleme çalışmasında YPP'lerin KKT görmüş dişlerde restoratif materyal seçeneği olarak kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** yüksek performanslı polimerler, PEEK, PEKK, post-kor, endokuron.



## OVERVIEW / GENEL BAKIŞ

Endodontik tedavilerin en önemli amacı pulpa ve periapikal doku hastalıklarını tedavi ederek restore edilmiş dişin ağızda fonksiyon görmesine olanak sağlamaktır (1).

Cerrahi olmayan endodontik tedaviler, vital tedavi prosedürlerini ve kök kanalı tedavisini (KKT) içermektedir. KKT temelde; dişte bulunan tüm çürük dokuların uzaklaştırılması, açılan endodontik giriş kavitesi doğrultusunda kök kanalının kemomekanik olarak şekillendirilmesi, dezenfeksiyonu ve sızdırmaz bir şekilde doldurulmasını hedeflemektedir. KKT tamamlanmış dişlerde restoratif işlemler diş ve çevre dokuların sağlığı için büyük bir önem arz etmektedir (2).

Geri dönüşümsüz pulpa iltihabı bulunan dişlerde çürük diş dokusunun tamamı uzaklaştırıldıktan sonra uygun endodontik giriş kavitesi hazırlanmaktadır. Ardından uygun teknikle çeşitli kök kanalı aletleri kullanılarak kök kanalında bulunan pulpa dokusunun, enfekte dentin dokusunun, bakteri ve bakteri artıklarının kök kanalı içerisinden uzaklaştırılması ve kanalın anatomisine uygun bir şekilde genişletilmesi sağlanmaktadır bu prosedüre "kemomekanik şekillendirme" denmektedir. Şekillendirmesi tamamlanan kök kanalında çeşitli kanal içi medikamanlar, yıkama solüsyonları ve aktivasyon teknikleriyle dezenfeksiyon sağlanmaktadır. Dezenfeksiyonu sağlanmış kök kanallarına, biyouyumlu dolgu materyalleriyle sızdırmaz bir şekilde kök kanalı dolgusu yapılarak KKT tamamlanmaktadır (2,3).

Tüm bu aşamalardan geçerek kök kanalı dolgusu tamamlanan dişlerde hem mekanik hem de biyolojik bir takım değişiklikler meydana gelmektedir. Koronal bölgede oluşan madde kaybı ve kök kanalı anatomisinde oluşan değişiklikler (4), vital pulpanın kaybı sonucu dentinin nemini kaybetmesi (5), uygulanan yıkama protokolü sonrası dentin dokusunda oluşan değişiklikler (6) diş dokularında oluşabilecek kırık riskini arttırmaktadır. Ayrıca bu değişiklikler dentin-restorasyon bağlantısını da etkilemektedir. Bu sebeplerle KKT görmüş dişlerdeki restorasyon işlemleri vital dişlere göre çok daha komplike olmaktadır (7,8).

Diş dokusu kaybının fazla olduğu bu vakalarda restorasyon için yeterli tutuculuğu sağlamak adına pulpa odasından veya kök kanalından tutuculuk sağlayacak restoratif prosedürler uygulanmaktadır. Kök kanalında hazırlanan kavitelere tutuculuk sağlayan post sistemleri uzun zamandan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak birtakım komplikasyonlara sebep olmasından dolayı restoratif seçenekler araştırılmaktadır. Adeziv sistemlerin gelişmesiyle birlikte endokuron adı verilen, pulpa odasından makro-mekanik tutuculuk ve dentine uygulanan adezivlerle mikro-mekanik tutuculuk sağlayan ve tek parça halinde üretimi gerçekleştirilen indirekt restorasyonlar geliştirilmiştir (9,10).



Günümüzde her iki sistem de uygun endikasyonlar doğrultusunda tedavi seçeneği olarak değerlendirilirken, KKT uygulanmış dişlerde restorasyon açısından uygun materyal seçenekleri hala tartışılmaktadır.

## Yüksek Performanslı Polimerler (YPP)

Diş hekimliğinde estetik beklentiler dikkate alındığında metal içermeyen restorasyonlara olan ilgi günden güne artmaktadır. Bu duruma paralel olarak yüksek performanslı polimerlerin estetik açıdan sorun yaratmaması, mekanik değerlerinin iyi olması ve biyouyumlu olmaları sebebiyle diş hekimliği alanında kullanımı artmaktadır. Yüksek performanslı polimerler diş hekimliğinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır (implantoloji, implant üstü sabit protezler, kuron protezlerinin alt yapısında, geçici kuron protezi, hibrit protezlerin alt yapısında). Diş hekimliğinde ilk olarak implantoloji açısından değerlendirilmiştir. Yüksek performanslı polimerler estetik gereksinimlerin tamamını karşılayamasa da diş dokusuna benzer renklerde olması sebebiyle çeşitli tekniklerle estetik gereksinimi karşılayacak hale getirilebilmektedir. YPP ailesine dahil olan poliaril-eter-keton (PAEK) grubu günümüzde yapılan çalışmalarda endodontik tedavi görmüş dişlerde estetik restoratif seçenek olarak değerlendirilmektedir (11).

## Genel Özellikleri

- Yüksek sıcaklıklarda bile mekanik dayanımını koruması
- Darbelere karşı şok emici görevi görmesi ve yapısında oluşan stresi iyi dağıtması
- Aşınmaya karşı yüksek dirençli olması
- Düşük su absorpsiyonu
- Korozyona karşı dirençli olması
- Radyasyona karşı dirençli olması
- Radyolüsent olması
- Biyouyumlu olması (12,13)

## Poliaril-Eter-Keton (PAEK)

PAEK, 1980'lerde mühendislik alanında kullanıma giren, moleküler omurgasında değişen oranlarda keton ve eter grupları içeren, yüksek sıcaklık ve mekanik dayanıma sahip, yarı kristal yapıda bulunan, termoplastik bir yüksek performanslı polimer grubudur. Yapısında bulunan eter ve keton gruplarının oranlarına göre fiziksel ve mekanik özellikleri değişmektedir (14). PAEK, eter ve keton gruplarının çok çeşitli oranlarda ve polimer kompozisyonlarında birleşmesine izin vermesine karşın



günümüzde iki çeşidi sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlar polieter-eter-keton (PEEK) ve polieter-keton-keton (PEKK) polimerleridir (15,16).

Yapılan çalışmalarla hem PEEK hem de PEKK materyallerinin sitotoksik ve mutajenik olmadığı, yapısında artık monomer bulundurmadığı ve kararlı yapısı sayesinde canlı dokularda irritasyon oluşturmadığı ortaya konmaktadır. Dolayısıyla literatürde, biyouyumlu bir materyal olduğu gösterilmektedir (12,17,18). Radyolusent olması ve elektrik iletkenliğinin olmaması sebebiyle; manyetik rezonans görüntüleme (MRI), konvansiyonel radyografi yöntemleri ve bilgisayarlı tomografi görüntüleme yöntemi ile güvenle kullanılabilmekte, görüntülerde bozulmalara yol açmamaktadır. Ayrıca, yüksek sıcaklık stabilizasyonu ve kimyasal direnci sebebiyle sterilizasyon için uygun durumdadır (19).

Metalik alaşımlar yüksek elastiklik modülü sebebiyle kemik ve diş dokularında önemli stresler oluşturmaktadır. PEEK ve PEKK materyallerinin en önemli özelliği yapısında oluşturulan modifikasyonlarla kemiğe benzer fiziksel ve mekanik özellikler göstermektedir. PAEK'ler bu özellikleri sayesinde ortopedi alanında yıllardır kullanılmaktadır. 2000'li yıllarda PEEK materyali diğer PAEK'ler arasında daha ön plana çıkmış ve tıpta kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde PEEK, PEKK'ye göre daha sık tercih edilen bir materyaldir (20). Yapısına katılan çeşitli materyallerle fiziksel ve mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir. Bu sayede dentine benzer mekanik özelliklere sahip hibrit polimer materyaller elde edilmektedir. Modifikasyon içermeyen PEEK materyalinin elastiklik modülü yaklaşık 4 GPa ve gerilim direnci 100 MPa'dır. Bu mekanik değerler içeriğine çeşitli oranlarda eklenecek karbon fiberler, cam fiberler, titanyum dioksit gibi materyallerle modifiye edilebilir. Bu sayede elde edilen hibrit materyalin mekanik özellikleri dentin dokusunun elastiklik modülüne ve gerilim direncine benzetilmektedir (21).

## Yüksek Performanslı Polimerlerin İşlenmesi

Diş hekimliği laboratuvarlarında yüksek performanslı polimerler iki yöntemle işlenmektedir; bunlardan ilki "Bilgisayar Destekli Tasarım-Bilgisayar Destekli Üretim" (CAD-CAM) yöntemi, diğeryse metal alaşımlarda uygulanan döküm yöntemine benzer "Kalıp Enjeksiyon" yöntemidir.

**CAD-CAM Yöntemi:** Üç aşamadan oluşan bilgisayar destekli bir üretim yöntemidir. İlk aşamada ağız içi kayıtlar özel tarayıcı cihazlar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılır ve dokuların 3-boyutlu modellenmesi oluşturulur. İkinci aşamada elde edilen dijital model üzerinde restorasyon modellenmesi yapılır. Son aşama olan üretim kısmında ise 5 yönlü CNC cihazlarında restorasyonların üretimi gerçekleştirilir (22). En önemli avantajı hassas restorasyonları hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlamasıdır (23).

**Kalıp Enjeksiyon Yöntemi:** Bu yöntemde modellenmesi yapılmış restorasyonun bir kalıbı oluşturulur, ardından kontrollü bir şekilde eritilen PEEK ve PEKK partikülleri sıcaklık ve basınç altında



bu kalıplar içerisinde şekillenecek şekilde gönderilir ve yine kontrollü bir şekilde soğuması sağlanır. Kalıp enjeksiyon tekniği ile üretilen restorasyonlar daha homojen bir yapıya sahip olur, bu nedenle daha dayanıklı ve uzun ömürlü olabilmektedirler. Ancak bu yöntem diğer tekniklere göre daha yavaş ve maliyetli olmaktadır; buna karşın, karmaşık ve büyük yapıların üretimi için idealdir (24).

## Yüksek Performanslı Polimerlerin Adezyonu

Diş tedavileri uygulamalarında kullanılan materyallerin mekanik veya kimyasal olarak diş dokularına bağlanması istenmektedir. Yüksek performanslı polimerlerin üstün mekanik özelliklerine karşın dentin bağlayıcı ajanlarla bağlantısının zayıf olduğu belirtilmektedir. Bu durum restoratif işlemlerde kullanılmasını güçleştirmektedir. Dentin bağlayıcı ajanlarla bağlantısını artırmak açısından literatürde; asit uygulamaları, mikro partikül kumlama ile pürüzlendirme, plazma uygulaması, lazer yüzey işlemleri ve farklı yüzey adezivlerinin uygulanması gibi pek çok yöntem tartışılmaktadır.

PAEK'lerin yüzey bağlantısını arttırmak için sülfürik asit (SA) uygulamasının, diğer yöntemlere kıyasla yüzey bağlantısını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (25). Araştırmalarda elde edilen verilere göre SA için optimum konsantrasyon %98 olarak belirtilmiş fakat asitin %90'ın üzerindeki diğer konsantrasyonlarda da işlevselliğini koruduğu belirtilmektedir. Uygulama süresi materyalin işleme prosedürüne göre farklılık göstermektedir. 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş örnekler için 30 saniye, CAD-CAM bloktan kazıma yöntemi ile elde edilmiş materyaller için 120 saniye, kalıp enjeksiyon tekniği ile üretilmiş olan materyaller için ise en az 5 dakika süreyle %98 konsantrasyonda SA ile muamele edilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, hidroflorik asit ve pirana solüsyonları (sülfürik asit ve hidrojen peroksit karışımı) da yüzey bağlantısı açısından değerlendirilmişler fakat SA kadar iyi bulunmamışlardır (26, 27, 28, 29).

YPP'nin yüzey bağlantısını önemli derecede arttıran diğer bir yöntem ise yüzeylerinin mikro partikül kumlama işlemi ile pürüzlendirilmesidir. Kumlama yöntemi tek başına uygulandığında asit uygulamaları kadar iyi sonuç vermese de, diğer yöntemlerle kombine olarak kullanıldığında dentin bağlayıcılarla bağlantıyı artırmaktadır. Çalışmalar, kumlama işleminin ıslanabilirliği ve yüzey bağlantısını arttırdığını göstermesine karşın uygulamanın ne kadar süreyle, hangi partikül boyutlarında ve ne kadar basınçta yapılması gerektiği konusunda ortaya net bir sonuç koymamaktadır (29,30,31).

Plazma uygulamaları, polimerlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişiklik yapmaksızın, ürünlerin yüzeylerine özel cihazlar yardımıyla oksijen, hidrojen, helyum, argon, nitrojen gibi elementlerin plazma halleri uygulanarak yüzeyde bağlantıyı arttıran ince pürüzlü bir tabaka oluşturan bir işlemdir. Dentine bağlanma kuvvetini diğer yöntemlere kıyasla daha az arttırsa da ikincil işlem gereksinimi olmaması ve uygulanmasının diğer yöntemlere göre daha kolay olması bir avantajdır. Fakat, bu işlem için özel cihazlara gereksinim duyulması sebebiyle maliyeti yüksek bir yöntemdir (31).



YPP'in dentin bağlayıcı ajanlar ile dentine bağlantısını artırmak için literatürde pek çok adeziv sistem ve yüzey işlemi araştırması bulunmaktadır. Tek başına SA uygulaması veya alüminyum mikropartiküllerle kumlama ile kombine kullanımı ardından adezyonu en fazla arttıran yöntem ise metil metakrilat (MMA), pentaeritrol triakrilat (PETIA) ve üretan dimetakrilat (UDMA) gibi bağlayıcı ajanların uygulanması olduğu belirtilmektedir (32).

## **Yüksek Performanslı Polimerlerin Endodontik Post Uygulamalarında Değerlendirilmesi**

İdeal post-kor materyali dentin ile monoblok bir yapı oluşturacak şekilde mekanik özelliklerinin dentin dokusuna benzer olması ve kök kanalı morfolojisine uyum göstermesi gerekmektedir. Bu sayede restorasyon ve diş dokuları arasında çiğneme kuvvetleri sebebiyle oluşacak stresler uygun bir biçimde dağıtılabılır. Bunların yanı sıra kırılma direncinin yüksek olması, materyal ömrünün uzun olması, biyouyumlu olması, kolay uygulanması ve maliyetinin de düşük olması istenmektedir (33).

Döküm post-korlar yüksek dayanıklılığı ve mekanik özellikleri sebebiyle klinik pratikte uzun zamandır kullanılmaktadır. Fakat yüksek elastiklik modülü ve kırılma dayanımı sebebiyle üzerlerine gelen kuvvetleri direkt olarak köke iletmektedirler. Bu durum kök yüzeyinde konsantre streslerin oluşmasına sebebiyet vermektedir dolayısıyla post-kor yapısı sağlam bir şekilde kalırken dişlerde tamir edilemeyen kök kırıklarına sebep olmaktadır. Klinik pratiğinde sıkça kullanılan diğer post çeşidi ise fiberlerle güçlendirilmiş kompozit prefabrike postlardır. Postun, kök kanalında hazırlanmış olan kaviteye simantasyonunun hemen ardından ağız içi ortamda kor yapımı gerçekleştirilmektedir. Fiber post-kompozit kor (FP) yapısı, uygulanmasının daha kolay olması ve kök yüzeyi-restorasyon arasında daha dengeli bir stres dağılımı sağlamasına karşın, birden çok yüzeyde bağlantı gerektirdiği için post kırıklarına ve desimantasyona daha yatkındır. Ancak kolay uygulanması, maliyetinin düşük ve tamir edilemeyen kök kırıkları riskinin daha az olması sebepleriyle sıkça tercih edilmektedir (34,35,36,37). Bunlara karşın metal post ve FP uygulamalarının klinik başarıya etkisinin tartışıldığı sistematik derleme/meta-analiz çalışmasının sonuçlarına göre uygulama bölgesinden ve metal postun türünden bağımsız olarak; FP ve metal postlar arasında başarısızlık oranları açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Materyal seçiminin başarıya katkısını ölçümlemek için yüksek kanıt oranına sahip iyi tasarlanmış klinik çalışmaların yapılması gerektiği önerilmektedir (38).

Dentine benzer elastiklik modülü ve yüksek mekanik özellikleri sebebiyle diş hekimliği alanında son zamanlarda kullanılmakta olan YPP endodontik postlar için önemli bir alternatif materyal olarak çalışmalarda değerlendirilmektedir.

Sonlu elemanlar stres analizleri (SEA) mühendislik alanında deneysel olarak tespit edilmesi zor olan materyal içi streslerin, materyalin geometrik ve metalürjik özelliklerinin önceden tanıtıldığı 3-boyutlu modellemeler ile bilgisayar ortamında hesaplanmasına olanak sağlayan analiz yöntemidir (39). PEKK post-korların, FP ve altın post-korlar ile karşılaştırmalı olarak incelendiği bir SEA



çalışmasında; PEKK post-korların gelen kuvvet karşısında oluşan stresleri diğer iki post-kor yapısına göre çok daha dengeli dağıttığı ve yüksek kırılma direnci gösterdiği belirtilmektedir. Restoratif yapıda oluşabilecek kırılma ihtimalleri üzerinde de bilgi veren aynı çalışmada PEKK post-korların tamir edilebilir kırıklara yol açtığı ya da desimantasyona daha yatkın olduğu gösterilmektedir (40). İncelenen diğer SEA çalışmalarında; altın da dahil olmak üzere metal alaşım post-korlar, zirkon post-korlar ve FP ile kıyaslandığında, yüksek performanslı polimerlerden üretilmiş post-kor (PP) materyallerinin gelen kuvvetleri daha iyi absorbe ettiği, kök dentini yüzeyinde oluşan stresleri azalttığı ve üzerinde diğer materyallere göre daha az stres oluştuğu tespit edilmektedir. Bunun yanı sıra, metal post-korlarda yüksek oranda oluşabilecek, dişin çekimini gerektiren kırılma türlerinin YPP post-korlarda rastlanma ihtimali oldukça azdır. YPP ile oluşan başarısızlık türleri daha çok desimantasyon ve tamiri mümkün kırıklar olarak belirtilmektedir (11,41,42,43,44).

Ancak SEA bilgisayar ortamında olan hesaplamalara dayalı olduğu için yaşamı tamamen simüle edememektedir; bu gerekçeyle, in vitro ve in vivo çalışmalara da ihtiyaç bulunmaktadır.

Endodontik post-kor yapısının kök kırıkları üzerine etkisinin araştırıldığı in vitro bir çalışmada, döküm metal postlar ve FP sistemleri ile güncel PEEK post-kor yapısı insan premolar dişlerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, döküm metal postlar gelen kuvvetlere karşı en üstün kırılma dayanımı sergilerken, diş dokusunda tamir edilemeyecek kök kırıklarına da en fazla yol açan grup olmuştur. PEEK post-kor yapısı, FP'dan daha üstün kırılma dayanımı sergilerken, aralarında anlamlı bir fark bulunmamıştır. PEEK postlarda oluşan başarısızlıklar daha çok tamiri mümkün olan başarısızlık türündedir (45). Diğer in vitro çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanmış olup pek çok çalışmada, desimantasyon başarısızlık tipi YPP ile üretilen post-korlarda diğer post-kor sistemlerine kıyasla daha fazla rastlanmaktadır. Bu durumun en önemli sebebi kırılma dayanımı için yapılan çalışmalarda, kullanılan deney gruplarındaki YPP üzerinde yüzey bağlantısını arttıracak herhangi bir işlem yapılmamasıdır (45,46,47).

Bağlantı kuvvetinin araştırıldığı çalışmalar göstermektedir ki; doğru bir şekilde yapılan yüzey işlemleri ve uygun simantasyon tekniği ile yapılan YPP post-kor sistemleri bağlantı açısından sorun yaratmayacaktır. Bu hipotezin test edildiği bir in vitro çalışmada PEEK, döküm metal ve fiber post-kor sistemlerinin yüzey sertliği ve yüzey bağlantı kuvvetleri test edilmiştir. Simantasyon işlemi her post sistemi için aynı self-adeziv sistemle gerçekleştirilmiş ve her bir sistem için yüzey bağlantı özelliklerini geliştirdiği kanıtlanmış uygulamalar yapılmıştır. Deneylerin sonucunda yüzey sertliği en az olan ve dentin bağlanma kuvveti en yüksek olan grup, PEEK post-kor grubu olarak tespit edilmiştir (48).

## **Yüksek Performanslı Polimerleri ile Endokuron Uygulamaları**

Endokuronlar, adeziv sistemlerin de gelişmesiyle post-kor uygulamalarına önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Hazırlanan kavite preparasyonu doğrultusunda pulpa odası ve kavite duvarlarından sağlanan makro-mekanik tutuculuk ve adeziv sistemlerin karşıladığı mikro-mekanik tutuculukla diş-





restorasyon bütünlüğünü sağlayan, ve minimal invaziv endodontik yaklaşımla monoblok kavramını karşılayan üstün restoratif uygulamalardır. Post-kor yaklaşımının aksine, kök kanallarında kavite hazırlanmadığı için dikey kök kırıkları ihtimalini azaltmaktadır. Literatürde ilk olarak 1995 yılında Pissis tarafından "monoblok porselen teknik" olarak bahsedilse de "endokuron" olarak, 1999'da Bindl ve Mörmann'ın yayınladıkları olgu raporuna dayanmaktadır (49,50).

Literatürde tanımlanan ilk endokuronlar CAD-CAM üretim metoduyla porselen bloklardan üretilmiştir. Ancak porselenin dentin dokusuna göre oldukça fazla olan elastiklik modülü ve düşük şok emici özelliği yeni materyal arayışını doğurmaktadır. Bu doğrultuda, çeşitli maddelerle güçlendirilmiş rezin materyallerin endokuron yapımında kullanılması gündeme gelerek kompozit bloklar, nano-seramikle güçlendirilmiş kompozitler ve fiberle güçlendirilmiş rezinler endokuron üretiminde kullanılmıştır (51,52). Ancak kullanılan materyallerin çeşitli dezavantajları sebebiyle ideal materyal arayışı günümüzde hala devam etmektedir. YPP'in dentine yakın elastiklik modülü, yüksek şok emici özelliği, stresleri dengeli bir biçimde dağıtması ve diş dokuları ile monoblok yapı oluşturması sebebiyle endokuron materyali olarak kullanılması araştırılmaktadır.

Bu yeni materyalin üretimi doğrultusunda oluşan değişikliklerin restorasyonun marjinal ve internal uyumuna etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, lityum disilikat endokuronlar ile PEEK endokuronlar karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda PEEK endokuronun marjinal ve internal adaptasyonunun lityum disilikat materyallere göre daha zayıf olsa da her ikisinin de klinik olarak kabul görülen sınırlar içerisinde olduğu, dolayısıyla PEEK'in de endokuron materyali olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (53). Ghajghouj ve Tasar-Faruk'un yaptığı in vitro çalışmada farklı koronal derinliklerde lityum disilikat, zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik ve PEEK endokuronlar kırılma dirençleri açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kavite derinliğinden bağımsız olarak PEEK endokuronlar anlamlı derecede en yüksek kırılma direnci göstermiştir (54).

PEEK endokuronların dentin bağlantısının alternatiflerine göre karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği başka bir çalışmada, deney gruplarında lityum disilikat (IPS e.max), seramik-polimer ağ yapısına sahip hibrit seramik (Vita Enamic), kısmen stabilize tetragonal zirkonya (Katana), PEEK-Seramik hibrit (BioHPP) endokuronlar bulunmaktadır. Her bir grup için kendisine özgü yüzey işlemi uygulanmıştır. Yüzey işlemlerinin ardından hepsi aynı adeziv siman sistemi (Panavia F2.0) ile simante edilmiştir. Uygulanan dentin bağlantı testleri sonucunda en yüksek dentin bağlantısı Vita Enamic ve IPS e.max gruplarında bulunmuştur. Buna karşın bu iki grupta oluşan başarısızlık türleri koheziv kırıkları (diş dokusunun içerisinde bulunduğu kırıklar) içerirken, Katana ve PEEK grupları daha çok desimante olarak tamir edilebilir kırıklar oluşturmuştur. Çalışmada PEEK üzerinde ispatlanmış bir yüzey işlemi yapılmamasına karşın PEEK endokuronlarda oluşan adeziv başarısızlıklar diş dokularına zarar vermediği için tamir edilebilir ve düzeltilebilir sonuçlar ortaya koymaktadır (55).

Koronal harabiyeti bulunan premolar dişlerin modellemesi kullanılarak uygulanan SEA testlerinde krom-kobalt ve PEEK materyalleri ile üretilmiş post-kor ve endokuron restorasyonları analiz



edilmiştir. Endokuron tekniğinin post-kor-kuron tekniğine göre avantajları tespit edilmiştir, ayrıca krom-kobalt restorasyonların PEEK restorasyonlara göre daha iyi stres dağılımı gösterdiği belirtilmektedir (56).

Premolar diş modellemesinin kullanıldığı bir başka SEA çalışmasında lityum disilikat materyal ile üretilmiş konvansiyonel endokuron (Grup C) ile PEKK materyalinden endokuron formunda üretilmiş olan kor yapının üzerine simante edilen lityum disilikat kuron protezi (Grup P) analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre stres oluşumu en az olan ve oluşan bu stresi en iyi şekilde dağıtan grup P olarak belirlenmiştir. Ayrıca öngörülen başarısızlık için gerekli olan kuvvet de C grubuna göre P grubunda daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Başarısızlık türleri arasında anlamlı bir fark bulunmuş olup tamir edilebilir kırıklar P grubunda daha yüksek bulunmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre yüksek performanslı materyallerden üretilmiş endokuronların altyapı olarak kullanıldığı ve estetik sonuçlarının çok iyi olduğu seramik kuron protezlerinin bu endokuronlara simante edildiği tedavi prosedürünün klinik şartlarda da test edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (57).

## SUMMARY / SONUÇ

PEEK ve PEKK kullanılarak üretilen post-kor ve endokuron yapıları diğer materyallere göre aynı kuvvette daha az stres oluşturmaları, oluşan stresleri daha iyi dağıtmaları, kırılma dayanımlarının yüksek olması, başarısızlık tiplerinin daha çok tamir edilebilir, desimantasyonla sonuçlanması, yeterli sızdırmazlığı sağlaması ve biyoyumlu olması nedenleriyle endodontik alanda restoratif bir alternatif olarak değerlendirilebilirler. Ancak, bu avantajlarına karşın düşük bağlantı değerleri, düşük estetik özellikleri, sıvı absorpsiyonunun diğer materyallere göre daha fazla olması gibi dezavantajları üzerinde çalışılması gerekmektedir. İdeal restoratif materyal özelliklerinin bir kısmını karşılasalar da YPP'ler üzerinde daha fazla geliştirmeler yapılması gerekmektedir.

## Acknowledgements / Teşekkürler

*Funding: None*

*Conflict of interest: None*

## References / Referanslar

1. Taleghani, M., & Morgan, R. W. (1987). Reconstructive materials for endodontically treated teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 57(4), 446-449. doi:10.1016/0022-3913(87)90012-6
2. Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18, 269-296.



3. Ruddle, C. J. (2015). Endodontic Triad For Success: The Role of Minimally Invasive Technology. *Dentistry Today*, 1-7.
4. Patil, P., Newase, P., Pawar, S., Gosai, H., Shah, D., & Parhad, S. M. (2022). Comparison of Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth With Traditional Endodontic Access Cavity, Conservative Endodontic Access Cavity, Truss Endodontic Access Cavity, and Ninja Endodontic Access Cavity Designs: An In Vitro Study. *Cureus*, 14(8), e28090. <https://doi.org/10.7759/cureus.28090>
5. Papa, J., Cain, C., & Messer, H. H. (1994). Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endodontics & dental traumatology*, 10(2), 91-93. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1994.tb00067.x>
6. Garcia, A. J., Kuga, M. C., Palma-Dibb, R. G., Só, M. V., Matsumoto, M. A., Faria, G., & Keine, K. C. (2013). Effect of sodium hypochlorite under several formulations on root canal dentin microhardness. *Journal of investigative and clinical dentistry*, 4(4), 229-232. <https://doi.org/10.1111/j.2041-1626.2012.00158.x>
7. González-López, S., De Haro-Gasquet, F., Vílchez-Díaz, M. A., Ceballos, L., & Bravo, M. (2006). Effect of restorative procedures and occlusal loading on cuspal deflection. *Operative Dentistry*, 31(1), 33-38. doi:10.2341/04-165
8. Ferrari M, Pontoriero DIK, Ferrari Cagidiaco E, Carboncini F. Restorative difficulty evaluation system of endodontically treated teeth. *J Esthet Restor Dent*. 2022;34(1):65-80. doi:10.1111/jerd.12880
9. Mannocci, F., & Cowie, J. (2014). Restoration of endodontically treated teeth. *British Dental Journal*, 216, 341-346. doi:10.1038/sj.bdj.2014.198
10. Slutzky-Goldberg, I., Slutzky, H., Gorfil, C., & Smidt, A. (2009). Restoration of endodontically treated teeth review and treatment recommendations. *International Journal of Dentistry*, 2009, 150251. doi:10.1155/2009/150251
11. Tekin, S., Adiguzel, O., Cangul, S., Atas, O., & Erpacal, B. (2020). Evaluation of the use of PEEK material in post-core and crown restorations using finite element analysis. *American Journal of Dentistry*, 33(5), 251-257.
12. Başgöl, C., Spece, H., Sharma, N., Thieringer, F. M., & Kurtz, S. M. (2021). Structure, properties, and bioactivity of 3D printed PAEKs for implant applications: A systematic review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 109(11), 1924-1941. doi:10.1002/jbm.b.34845
13. Maloo, L. M., Toshniwal, S. H., Reche, A., Paul, P., & Wanjari, M. B. (2022). A Sneak Peek Toward Polyaryletherketone (PAEK) Polymer: A Review. *Cureus*, 14(11), e31042. doi:10.7759/cureus.31042
14. May, R. (1988). Polyetheretherketones. In H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, G. Menges, & J. I. Kroschwitz (Eds.), *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering* (pp. 313-320). John Wiley and Sons.
15. Kurtz, S. M., & Devine, J. N. (2007). PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*, 28(32), 4845-4869.
16. McKeen, L. W. (2012). High Temperature/High-Performance Polymers. In L. W. McKeen (Ed.), *Film Properties of Plastics and Elastomers* (3rd edition, pp. 315-337). William Andrew Publishing. (ISBN: 9781455725519)



17. Skirbutis, G., Dzingutė, A., Masiliūnaitė, V., Šulcaitė, G., & Žilinskas, J. (2017). A review of PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. *Stomatologija*, 19(1), 19–23.
18. Alqurashi, H., Khurshid, Z., Syed, A. U., Rashid Habib, S., Rokaya, D., & Zafar, M. S. (2021). Polyetherketoneketone (PEKK): an emerging biomaterial for oral implants and dental prostheses. *Journal of Advanced Research*, 28, 87-95. doi:10.1016/j.jare.2020.09.004
19. Panayotov, I. V., Orti, V., Cuisinier, F., & Yachouh, J. (2016). Polyetheretherketone (PEEK) for medical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 27(7), 118. doi:10.1007/s10856-016-5731-4
20. Park, C., Jun, D. J., Park, S. W., & Lim, H. P. (2017). Use of polyaryletherketone (PAEK) based polymer for implant-supported telescopic overdenture: A case report. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 9(1), 74-76. doi:10.4047/jap.2017.9.1.74
21. Schwitalla, A. D., Abou-Emara, M., Spintig, T., Lackmann, J., & Müller, W. D. (2015). Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri-implant bone. *Journal of Biomechanics*, 48(1), 1-7. doi:10.1016/j.jbiomech.2014.11.017
22. Atsü, S., Aksan, M. E., & Bulut, A. (2019). Fracture Resistance of Titanium, Zirconia, and Ceramic-Reinforced Polyetheretherketone Implant Abutments Supporting CAD/CAM Monolithic Lithium Disilicate Ceramic Crowns After Aging. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 34(1), 92-100.
23. Beuer, F., Schweiger, J., Eichberger, M., Kappert, H., Gernet, W., & Edelhoff, D. (2009). High-strength CAD/CAM-fabricated veneering material sintered to zirconia copings — A new fabrication mode for all-ceramic restorations. *Dental Materials*, 25(1), 121–128.
24. Abduo, J., & Lyons, K. (2018). Clinical considerations for the use of PEEK dental implants: a systematic review. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(1), 1-9.
25. Attia, M. A., Shokry, T. E., & Abdel-Aziz, M. (2022). Effect of different surface treatments on the bond strength of milled polyetheretherketone posts. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 127(6), 866-874. doi:10.1016/j.prosdent.2020.08.033
26. Stawarczyk, B., Jordan, P., Schmidlin, P. R., Roos, M., Eichberger, M., Gernet, W., & Keul, C. (2014). PEEK surface treatment effects on tensile bond strength to veneering resins. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(5), 1278-1288.
27. 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.
28. Ma R, Wang J, Li C, Ma K, Wei J, Yang P, Guo D, Wang K, Wang W. Effects of different sulfonation times and post-treatment methods on the characterization and cytocompatibility of sulfonated PEEK. *J Biomater Appl*. 2020;35:342-352.
29. Zhang J, Yi Y, Wang C, Ding L, Wang R, Wu G. Effect of Acid-Etching Duration on the Adhesive Performance of Printed Polyetheretherketone to Veneering Resin. *Polymers*. 2021;13:3509. doi:10.3390/polym13203509
30. Taha D, Safwat F, Wahsh M. Effect of combining different surface treatments on the surface characteristics of polyetheretherketone-based core materials and shear bond strength to a veneering composite resin. *J Prosthet Dent*. 2022.
31. Wang B, Huang M, Dang P, Xie J, Zhang X, Yan X. PEEK in Fixed Dental Prostheses: Application and Adhesion Improvement. *Polymers*. 2022;14(12):2323. doi:10.3390/polym14122323



32. Soares Machado P, Cadore Rodrigues AC, Chaves ET, Susin AH, Valandro LF, Pereira GKR, Rippe MP. Surface Treatments and Adhesives Used to Increase the Bond Strength Between Polyetheretherketone and Resin-based Dental Materials: A Scoping Review. *J Adhes Dent.* 2022;24(1):233-245. doi:10.3290/j.jad.b2288283
33. Freedman GA. Esthetic post-and-core treatment. *Dent Clin North Am.* 2001;45(1):103-116.
34. Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod.* 2004;30(5):289-301. doi:10.1097/00004770-200405000-00001
35. Jurema ALB, Filgueiras AT, Santos KA, Bresciani E, Caneppele TMF. Effect of intraradicular fiber post on the fracture resistance of endodontically treated and restored anterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent.* 2022;128(1):13-24. doi:10.1016/j.prosdent.2020.12.013
36. Badami V, Ketineni H, Pb S, Akarapu S, Mittapalli SP, Khan A. Comparative Evaluation of Different Post Materials on Stress Distribution in Endodontically Treated Teeth Using the Finite Element Analysis Method: A Systematic Review. *Cureus.* 2022;14(9):e29753. Published 2022 Sep 29. doi:10.7759/cureus.29753
37. Zarow, M., Vadini, M., Chojnacka-Brozek, A., Szczeklik, K., Milewski, G., Biferi, V., D'Arcangelo, C., & De Angelis, F. (2020). Effect of Fiber Posts on Stress Distribution of Endodontically Treated Upper Premolars: Finite Element Analysis. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 10(9), 1708. <https://doi.org/10.3390/nano10091708>
38. Martins, M. D., Junqueira, R. B., de Carvalho, R. F., Lacerda, M. F. L. S., Faé, D. S., & Lemos, C. A. A. (2021). Is a fiber post better than a metal post for the restoration of endodontically treated teeth? A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 112, 103750. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103750>
39. Bathe KJ. *Finite Element Procedures.* Springer; 2007:1-2.
40. Lee KS, Shin JH, Kim JE, et al. Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored with High Performance Polymer PEKK Post-Core System: A 3D Finite Element Analysis [published correction appears in *Biomed Res Int.* 2017;2017:7196847]. *Biomed Res Int.* 2017;2017:1373127. doi:10.1155/2017/1373127
41. Nahar R, Mishra SK, Chowdhary R. Evaluation of stress distribution in an endodontically treated tooth restored with four different post systems and two different crowns- A finite element analysis. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2020;10(4):719-726. doi:10.1016/j.jobcr.2020.10.004
42. Huang L, Nemoto R, Okada D, et al. Investigation of stress distribution within an endodontically treated tooth restored with different restorations. *J Dent Sci.* 2022;17(3):1115-1124. doi:10.1016/j.jds.2022.01.015
43. Ibrahim RO, Al-Zahawi AR, Sabri LA. Mechanical and thermal stress evaluation of PEEK prefabricated post with different head design in endodontically treated tooth: 3D-finite element analysis. *Dent Mater J.* 2021;40(2):508-518. doi:10.4012/dmj.2020-053
44. Yu, H., Feng, Z., Wang, L., Mihcin, S., Kang, J., Bai, S., & Zhao, Y. (2022). Finite Element Study of PEEK Materials Applied in Post-Retained Restorations. *Polymers*, 14(16), 3422. <https://doi.org/10.3390/polym14163422>
45. Pourkhalili H, Maleki D. Fracture resistance of polyetheretherketone, Ni-Cr, and fiberglass postcore systems: An in vitro study. *Dent Res J (Isfahan).* 2022;19:20. Published 2022 Feb 28. doi:10.4103/1735-3327.338783



46. Teixeira KN, Duque TM, Maia HP, Gonçalves T. Fracture Resistance and Failure Mode of Custom-made Post-and-cores of Polyetheretherketone and Nano-ceramic Composite. *Oper Dent.* 2020;45(5):506-515. doi:10.2341/19-080-L
47. Saisho H, Marcolina G, Perucelli F, Goulart da Costa R, Machado de Souza E, Rached RN. Fracture strength, pull-out bond strength, and volume of luting agent of tooth-colored CAD-CAM post-and-cores. *J Prosthet Dent.* 2023;129(4):599-606. doi:10.1016/j.prosdent.2022.06.012
48. 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. doi:10.1007/s10266-020-00484-1
49. Pissis P. Fabrication of a metal-free ceramic restoration utilizing the monobloc technique. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1995;7(5):83-94.
50. Bindl A, Mörmann WH. Clinical evaluation of adhesively placed Cerec endo-crowns after 2 years--preliminary results. *J Adhes Dent.* 1999;1(3):255-265.
51. Ree M, Schwartz RS. The endo-restorative interface: current concepts. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):345-374. doi:10.1016/j.cden.2009.12.005
52. Ramírez-Sebastià A, Bortolotto T, Roig M, Krejci I. Composite vs ceramic computer-aided design/computer-assisted manufacturing crowns in endodontically treated teeth: analysis of marginal adaptation. *Oper Dent.* 2013;38(6):663-673. doi:10.2341/12-208-L
53. Godil AZ, Kazi AI, Wadwan SA, Gandhi KY, Dugal RJS. Comparative evaluation of marginal and internal fit of endocrowns using lithium disilicate and polyetheretherketone computer-aided design - computer-aided manufacturing (CAD-CAM) materials: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2021;24(2):190-194. doi:10.4103/JCD.JCD\_547\_20
54. Ghajghouj O, Taşar-Faruk S. Evaluation of Fracture Resistance and Microleakage of Endocrowns with Different Intracoronary Depths and Restorative Materials Luted with Various Resin Cements. *Materials (Basel).* 2019;12(16):2528. Published 2019 Aug 8. doi:10.3390/ma12162528
55. Elashmawy Y, Aboushelib M, Elshahawy W. Retention of different CAD/CAM endocrowns bonded to severely damaged endodontically treated teeth: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2021;21(3):269-275. doi:10.4103/jips.jips\_91\_21
56. Unsal GS, Yusufoglu SI. Finite element analysis of endocrown and post-core abutments for removable partial dentures with different framework materials [published online ahead of print, 2021 Mar 27]. *Int J Prosthodont.* 2021;10.11607/ijp.7269. doi:10.11607/ijp.7269
57. Shams A, Elsherbini M, Elsherbiny AA, Özcan M, Sakrana AA. Rehabilitation of severely-destructed endodontically treated premolar teeth with novel endocrown system: Biomechanical behavior assessment through 3D finite element and in vitro analyses. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022;126:105031. doi:10.1016/j.jmbbm.2021.105031.