



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEKUBAT ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

RETREATMENTTA REZİDÜEL DOLGU  
MATERYALLERİNİN UZAKLAŞTIRILMASINDA  
KULLANILAN FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON  
YÖNTEMLERİNİN BAĞLANMA DAYANIMINA ETKİSİ

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

Berat Akın ERDEM

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA

2025-ALANYA

T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

RETREATMENTTA REZİDÜEL DOLGU  
MATERYALLERİNİN UZAKLAŞTIRILMASINDA  
KULLANILAN FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON  
YÖNTEMLERİNİN BAĞLANMA DAYANIMINA ETKİSİ

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

Berat Akın ERDEM  
Endodonti Anabilim Dalı

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA

2025-ALANYA

## ONAY SAYFASI



## ETİK BEYAN

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “*bilimsel intihal tespit*” programıyla tarandığını ve “*intihal içermediğini*” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

**Berat Akın ERDEM**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tezimin hazırlanması sürecinde bilgi ve deneyimleriyle bana her zaman yardımcı olup yol gösteren, desteğini ve ilgisini benden esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA'ya,

Uzmanlık eğitimimde bana destek olan bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Alanya Alaaddin Keykubat Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Başkanı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hatice BÜYÜKÖZER ÖZKAN'a,

Şağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı'nda asistanlık dönemim boyunca her zaman kapısının bana açık olduğunu hissettiren ve yardımlarını esirgemeyen canım hocam Sayın Doç. Dr. Zeliha UĞUR AYDIN'a,

Ayrıca, Gülhane Endodonti Ailesine ve başta eş kıdemlim Sayın Dt. Sevgi BULAK olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma,

Desteği, yardımları ve sohbeti ile lisans ve uzmanlık hayatımda bana destek olan Sayın Dt. Mehmet Sinan SİNECAN'a,

Hayatım boyunca yanımda olup bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan sevgi ve desteklerini benden hiç esirgemeyen aileme ve canım kardeşim Yeşim ERDEM'e,

Sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı, retreatment (RT) sırasında rezidüel kök kanal dolum materyallerini uzaklaştırmak için kullanılan standart iğne irrigasyonu (Sİİ), sonik (EDDY), pasif ultrasonik (PUİ), foton kaynaklı fotoakustik akım (PIPS) ve şok dalgası ile geliştirilmiş emisyon fotoakustik akım (SWEEPS) irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, kök kanal dolum maddesi ile radiküler dentinin bağlanma dayanımına etkisini karşılaştırmaktır.

**Yöntem:** Bu çalışmada toplamda 80 adet tek kök ve tek kanala sahip insan maksiller kesici dişi kullanıldı. Dişlerin kronları, kök uzunlukları  $18 \pm 0,1$  mm olacak şekilde uzaklaştırıldı. Kök kanalları ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) eğe sistemi ve endomotor (VDW, Münih, Almanya) kullanılarak X3'e kadar preparasyon yapıldı. Kök kanalları TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) kök kanal dolgu patı ve uygun güta-perka kullanılarak, tek kon tekniği ile dolduruldu. RT işleminde ProTaper Universal Retreatment (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) eğe sistemi ve endomotor (VDW) ile kök kanal dolgusu uzaklaştırıldı. Ek olarak kök kanallarında X4 nolu eğe kullanılarak preparasyon yapıldı. Ardından örnekler final irrigasyon aktivasyon yöntemlerine göre 5 gruba ayrıldı (n=16); Sİİ irrigasyonu, EDDY, PUİ, PIPS ve SWEEPS. Tüm gruplarda aktivasyon işlemi, 1 mL irrigasyon solüsyonunun 30 sn boyunca 3 aktivasyon döngüsü şeklinde uygulanması ile gerçekleştirildi. Aktivasyon işlemlerinin ardından, kök kanalları aynı malzemeler ve teknik ile yeniden dolduruldu. Kök kanal dolgu patının tamamen sertleşmesi amacıyla dişler  $37^{\circ}\text{C}$ 'de 14 gün boyunca bekletildi. Daha sonra köklerden koronal, orta ve apikal bölgeleri temsil etmek üzere  $1,5 \pm 0,1$  mm kalınlığında kesitler alındı. Elde edilen kesitlere evrensel test cihazı (AGS-X, Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) kullanılarak, 1 mm/dk hızda push-out testi uygulandı ve cihazda ölçülen Newton değerleri MPa'ya dönüştürülerek istatistiksel analiz yapıldı. Elde edilen verilerin normalliği Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi ve normalliğin sağlanamaması nedeniyle grup içi ve gruplar arası karşılaştırmalar için Kruskal-Wallis testi uygulandı. Anlamlı farklılık tespit edilen durumlarda, hangi gruplar veya kesitler arasında fark olduğunu belirlemek için Mann-Whitney U testi uygulandı.

**Bulgular:** Mevcut çalışmada koronal kesitte SWEEPS'te kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı EDDY, Sİİ ve PUI'ye kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı olarak daha yüksek bulundu ( $P<0,05$ ). Koronal kesit için diğer gruplar arasında bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. Orta ve apikal kesitlerde gruplar arasında kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. Grup içi yapılan değerlendirmede ise SWEEPS'te koronal kesitte, orta ve apikal kesitlere kıyasla radiküler dentine bağlanma dayanımı istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulundu ( $P<0,05$ ). Sİİ, PUI, EDDY ve PIPS'ta kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından koronal, orta ve apikal kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı.

**Sonuç:** Özellikle SWEEPS yönteminin koronal kesitte diğer yöntemlere göre anlamlı düzeyde daha yüksek bağlanma dayanımı sağladığını ortaya koymuştur. Orta ve apikal kesitlerde ise gruplar arasında anlamlı fark gözlenmemiştir. En sık karşılaşılan başarısızlık tipi koheziv kırıklar olup, SWEEPS'te bu başarısızlık tipinin koronal bölgede daha belirgin olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular, irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin özellikle koronal düzeyde bağlanma dayanımını etkilediğini ve SWEEPS'in bu açıdan avantaj sağlayabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Cerrahi olmayan retreatment, irrigasyon aktivasyon yöntemleri, push-out bağlanma dayanımı sonik aktivasyon, fotoakustik akımlanma, kalsiyum-silikat içerikli pat

## ABSTRACT

**Objective:** This study aimed to compare the effects of standard needle irrigation (SNI), sonic activation (EDDY), passive ultrasonic irrigation (PUI), photon-induced photoacoustic streaming (PIPS), and shock wave-enhanced emission photoacoustic streaming (SWEEPS) used during retreatment (RT) on the bond strength of a calcium silicate-based root canal sealer to radicular dentin.

**Methods:** A total of 80 extracted human maxillary central incisors with single roots and canals were used. The crowns were removed to obtain root lengths of  $18 \pm 0.1$  mm. Root canals were prepared up to size X3 using the ProTaper Next (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) system and an endomotor (VDW, Munich, Germany). All canals were filled with TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) and gutta-percha using the single-cone technique. For RT, the fillings were removed with the ProTaper Universal Retreatment (Dentsply Maillefer) system and an additional preparation with size X4 was performed. The specimens were then randomly divided into five groups ( $n=16$ ) according to the final irrigation activation method: SNI, EDDY, PUI, PIPS, and SWEEPS. In all groups, 1 mL of irrigant was activated for three 30-second cycles. After activation, canals were refilled using the same materials and technique and stored at  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 14 days to allow complete sealer setting. The roots were sectioned into  $1.5 \pm 0.1$  mm slices representing coronal, middle, and apical thirds. Push-out bond strength was measured using a universal testing machine (AGS-X, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) at a crosshead speed of 1 mm/min, and values in Newtons were converted to MPa. Data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test, and since normality was not satisfied, the Kruskal–Wallis and Mann–Whitney U tests were applied.

**Results:** In the coronal third, bond strength was significantly higher with SWEEPS compared with EDDY, SNI, and PUI ( $P<0.05$ ). No significant differences were observed among groups in the middle and apical thirds. Within-group analysis showed that in the SWEEPS group, coronal bond strength was significantly higher than in middle and apical thirds ( $P<0.05$ ). No significant intra-group differences were observed for SNI, EDDY, PUI, or PIPS.

**Conclusion:** SWEEPS provided significantly higher bond strength in the coronal third compared to other methods, while no differences were found at middle and apical levels. Cohesive failures were the most frequent, with coronal predominance in SWEEPS. These findings suggest that irrigation activation methods particularly affect coronal bond strength, and SWEEPS may offer a clinical advantage in this regard.

**Keywords:** Non-surgical retreatment; irrigation activation techniques; push-out bond strength; photoacoustic streaming; sonic activation; calcium silicate-based sealer.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Kök Kanal Tedavisi.....	4
2.2. Kök Kanal Tedavisinin Başarı Kriterleri .....	5
2.2.1. Kanal Tedavisinde Başarısızlık ve Nedenleri .....	6
2.2.2. Başarısızlıkta Tedavi Yaklaşımları .....	7
2.3. Final İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri .....	8
2.3.1. Sİİ.....	10
2.3.2. Sonik Aktivasyon .....	11
2.3.3. Ultrasonik Aktivasyon .....	12
2.3.4. Lazer Destekli İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri .....	13
2.3.5. Diğer Teknikler .....	15
2.4. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Kök Kanal Patları.....	16
2.4.1. Kalsiyum-Silikat İçerikli Kanal Patları.....	19
2.5. Bağlanma Dayanımı.....	22
2.5.1. Push-out Bağlanma Dayanımı .....	22
2.5.2. Push-out Testi Sırasında Oluşan Başarısızlık Tipleri .....	23
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	24
3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması .....	26
3.2. Kök Kanal Preparasyonu.....	26
3.3. Kök Kanallarının Obturasyonu .....	27

3.4. RT Prosedürü .....	28
3.5. Örnek Gruplarının Oluşturulması ve Final İrrigasyon Aktivasyon İşlemlerinin Uygulanması .....	29
3.6. Kök Kanallarının Yeniden Obturasyonu.....	34
3.7. Örneklerden Kesit Alınması.....	34
3.8. Push-out Testinin Uygulanması .....	35
3.9. Başarısızlık Tiplerinin Analizi .....	37
3. 10. İstatistiksel Analiz.....	38
4. BULGULAR.....	39
4.1. RT Sonrası Kök Kanal Patının Dentin Bağlanma Dayanım Bulguları.....	39
4.2. Push-out Testi Sonrası Başarısızlık Tiplerinin Bulguları .....	40
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR .....	53
EKLER.....	72
Ek-1. Etik Kurul Kararı.....	72
ÖZGEÇMİŞ .....	73

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C	Derece Santigrat
<	Küçüktür
=	Eşittir
>	Büyüktür
±	Artı veya eksi
≥	Büyük ve eşit
#	Numara
%	Yüzde
W	Watt

### Kısaltmalar

<b>ALKÜ</b>	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
<b>Ark.</b>	Arkadaşları
<b>CBCT</b>	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
<b>ÇB</b>	Çalışma Boyu
<b>Dk</b>	Dakika
<b>EDTA</b>	Etilen Diamin Tetraasetik Asit
<b>Er: YAG</b>	Erbium Yitrium Aluminium Garnet
<b>G</b>	Gauge
<b>Hz</b>	Hertz
<b>ISO</b>	Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>ml</b>	Mililitre
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>N</b>	Newton
<b>n</b>	Numune sayısı
<b>NaOCl</b>	Sodyum Hipoklorit
<b>Nd: YAG</b>	Neodymium: Yitrium Aluminium Garnet

<b>Ni-Ti</b>	Nikel Titanyum
<b>P</b>	İstatistiksel anlamlılık, p değeri
<b>pH</b>	Power of hydrogen (hidrojenin gücü)
<b>PIPS</b>	Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım
<b>PTN</b>	ProTaper Next
<b>PTUR</b>	ProTaper Universal Retreatment eğeleri
<b>PUI</b>	Pasif ultrasonik irrigasyon
<b>R1</b>	Kök kanal dolgusunun apikal yarıçapı
<b>R2</b>	Kök kanal dolgusunun koronal yarıçapı
<b>RT</b>	Retreatment
<b>SAF</b>	Self Adjusting File
<b>TEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>Sİİ</b>	Standart İğne İrrigasyonu
<b>Sn</b>	Saniye
<b>SWEEPS</b>	Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım
<b>XPFR</b>	XP-Endo Finisher R

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Trikalsiyum Silikat içerikli kök kanal patları ve içerdiği bileşenler .....	21
Tablo 4. 1. RT sonrası kök kanal patının radiküler dentine bağlanma dayanımı (MPa; ortalama $\pm$ standart sapma).....	40
Tablo 4. 2. Push-out testi sonrası oluşan başarısızlık tipleri ve yüzdeleri.....	41



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. İçeriklerine göre kök kanal dolum patları sınıflandırması (188) .....	19
Şekil 3. 1. Deneysel protokolün akışını özetleyen diyagram .....	25
Şekil 3. 2. Örneklerin kök kanal uzunluğunun standardizasyonu .....	27
Şekil 3. 3. Örneklerin obturasyonunda kullanılan TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG) kök kanal patı .....	28
Şekil 3. 4. Sİİ’de kullanılan 30 G uç çapına sahip yandan delikli iğne. ....	29
Şekil 3. 5. Çalışmada kullanılan sonik cihaz ve EDDY. ....	30
Şekil 3. 6. Çalışmada kullanılan ultrasonik endodontik uç .....	31
Şekil 3. 7. PIPS ve SWEEPS’te kullanılan Light Walker Er: YAG lazer .....	32
Şekil 3. 8. PIPS Radyal 400/14 ucu .....	32
Şekil 3. 9. Er: YAG lazer ile kullanılan SWEEPS ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması .....	33
Şekil 3. 10. SWEEPS Radyal 600/9 ucu .....	33
Şekil 3. 11. Örneklerden bazılarının obturasyon sonrası CBCT görüntüsü .....	34
Şekil 3. 12. Koronal, orta ve apikal bölgelerden elde edilen $1,5 \pm 0,1$ mm kalınlığındaki kesitler .....	36
Şekil 3. 13. Bağlanma dayanımı testi için kullanılan evrensel test cihazı .....	36
Şekil 3. 14. Bağlanma dayanım verilerinin gösterildiği cihazın ekran görüntüsü .....	37
Şekil 3. 15. Çalışmada değerlendirilen örneklerde gözlemlenen başarısızlık tiplerine ait görseller .....	38
Şekil 4. 1. RT sonrası kök kanal patının dentine bağlanma dayanımı (MPa; ortalama $\pm$ standart sapma) .....	40
Şekil 4. 2. Push-out testi sonrası oluşan başarısızlık tipleri ve yüzdeleri .....	41

## 1. GİRİŞ

Kök kanal tedavisinin amacı, kök kanallarının kemomekanik olarak temizlenmesi, şekillendirilmesi, kanal içindeki ve dentin tübüllerindeki mikroorganizmaların elimine edilerek oluşan kanal boşluğunu sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır (1). Başarılı bir kök kanal tedavisi pulpa odasındaki ve periradiküler dokulardaki enfeksiyonun kontrol altına alınması ile yapılır bu iyi bir temizlemenin ve şekillendirmenin ardından kök kanal boşluğunun, aksesuar ve lateral kanalların üç boyutlu olarak doldurulması ile sağlanabilir (2). Salehrabi ark. (3) ve Chen ve ark. (4) yaptıkları epidemiyolojik çalışmada kök kanal tedavisinde % 92'lik bir başarı oranı bildirilmişlerdir. Kök kanal tedavileri yüksek başarı oranına sahip bir tedavi prosedürü olmasına rağmen ideal şartlarda yapılmayan tedaviler genellikle başarısız olduğu bildirilmiştir (5). Yetersiz kemomekanik temizlik, yetersiz obturasyon, taşkın ya da kısa kök kanal obturasyonu, kanal içinde veya dışında dirençli mikroorganizmalar, alet kırıkları, restorasyon kaynaklı koronal sızıntı başarısızlığın yaygın nedenleri arasında gösterilmiştir (5, 6). Çoğu tedavinin başarısız olma sebebi apikal bölgelerinde kalan mikroorganizmalar olarak gösterilmiştir (7). Apikalde mikroorganizmaların kalması kanalların yeterince debride edilmemesine, yeterli irrigasyon yapılmamasına ve kanal içi düzensizliklerin yeterince dezenfekte edilememesine bağlı olabilir. Ayrıca, başarısız kök kanal tedavilerinin, düzgün yapılmamış kök kanal obturasyonu ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (8, 9).

Kök kanal tedavisi başarısında irrigasyon aktivasyon önemli bir rol oynar. Irrigasyon aktivasyonu kök kanallarının yeterli mekanik ve kimyasal irrigasyonunun yapılmasını sağlar. Irrigasyon aktivasyon aynı zamanda kök kanal eğelerinin mekanik olarak ulaşmadığı bölgelerde smear tabakasının kaldırılmasına; lateral kanallar, isthmuslar, apikal deltalar gibi düzensiz kanallardaki biyofilmlerin dezenfeksiyonuna olanak sağlar (9).

Başarısız kök kanal tedavilerinin ardından retreatment için endikasyon konulurken hekimin çok dikkatli bir muayene yapması doğru endikasyon konulması açısından önemlidir. Muayenede ağrı, perküsyon ve palpasyona duyarlılık, ekstraoral ve intraoral şişlik, sinüs yolu varlığı ve radyolojik değerlendirmeler sonucu yeni periapikal lezyon oluşumu, mevcut lezyonun büyümesi veya iyileşmemesi gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır (10, 11). Kök kanal tedavisinin başarısız olduğu

durumlarda ilk tercih cerrahi olmayan retreatment işlemidir. Retreatmentta başarı oranının %40-100 arasında değiştiği bildirilmiştir (12). Retreatmentın (RT'nin) temel amacı periradiküler dokuların iyileşmesine uygun bir ortam hazırlamaktır. Bu ortamın sağlanması için daha önceden kanala yerleştirilen kök kanal dolum materyalinin kanaldan tamamen uzaklaştırılması, kök kanal sisteminin kemomekanik dezenfeksiyonu ve sonrasında hermetik olarak obture edilmesi önem taşımaktadır (13). Son yıllarda geliştirilen kalsiyum silikat içerikli patların en büyük avantajı yüksek biyouyumluluğudur. Bunun yanında kalsiyum silikat içerikli patlar kalsiyum-fosfat içerir bu durum kanal dolum materyallerinin radiküler dentine bağlanmasını iyileştirebilir ve hermetik obturasyona katkı sağlayabilir (14, 15).

RT sırasında eski dolgu maddesini uzaklaştırırken nikel-titanyum (Ni-Ti) döner eğeler, lazerler ve çözücüler kullanılabilir. Ancak, bu işlemlerin eski kök kanal dolgu materyalini uzaklaştırmada yetersiz olduğu ve buna bağlı olarak, rezidüel kök kanal dolgu materyalinin bir bariyer oluşturduğu, patolojik bakteri çoğalmasına sebep olduğu, aynı zamanda kanal dolgu materyallerinin dentin tübüllerine penetrasyonunu engellediği bildirilmiştir (16). Kanal dolgusunun dentin tübüllerine penetre olamamasının zamanla sızıntıyı arttırdığı gösterilmiştir (17). Bu durumun önüne geçmek için ilave prosedürlerin kullanımı önerilmektedir (18). Bahsedilen ilave prosedürler aynı zamanda ilk defa veya yeniden yapılan kök kanal tedavisinin başarısız olmasını etkileyen, kök kanal eğelerinin ulaşmadığı isthmuslar ve lateral kanallardaki enfekte, nekrotik doku ve mikroorganizmaları elimine etmek için kullanılmaktadır (19, 20). Standart iğne irrigasyon (Sİİ) yöntemi dışında irrigasyon aşamasında kullanılan ilave irrigasyon aktivasyon sistemlerinden olan pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), sonik aktivasyon (EDDY), foton kaynaklı fotoakustik akım (PIPS) ve şok dalgası ile geliştirilmiş emisyon fotoakustik Akım (SWEEPS) kliniklerde rutinde uygulanan yöntemler arasındadır. Sİİ geleneksel ve temel sistem olmasına rağmen ulaşılamayan alanlarda yetersiz kalmakta ve iğnenin kanalda ilerlediği derinlik irrigasyon solüsyonunun penetrasyonunu etkilemektedir (9, 21). PUİ kök kanalında serbestçe titreşen ve akustik mikro akışı indükleyen bir uç ile kanallardaki mikroorganizmaları ve rezidüel kök kanal dolgu maddesini Sİİ'ye göre daha fazla uzaklaştırmaktadır (22). EDDY (VDW, Münih, Almanya) ise dentini kesmemesi ve kök kanal morfolojisini değiştirmemesi amacıyla esnek poliamin uç ile 5000-6000 hz frekansta kullanılan, akustik akım oluşturarak debrisi ve organik doku artıklarını Sİİ'ye göre daha iyi

uzaklaştıran bir sonik aktivasyon sistemidir (23, 24). PIPS prensibiyle çalışan, Er:YAG lazere takılan PIPS (Fotona, Ljubljana, Slovenya) ucu diğer lazerlerden farklı olarak yüksek güç yerine düşük güçte (20 mJ) uygulanır. Fotoakustik ve fotomekanik etki oluşturur. Er-YAG lazerin termal yan etkileri, karbonizasyon ve çatlak oluşumunu minimuma indirir (25, 26). PIPS'in diğer yöntemlere göre smear tabakasını daha etkili bir şekilde kaldırdığı belirtilmiştir (27). SWEEPS (Fotona) PIPS'in debris uzaklaştırma özelliğinin artırılması için şok dalgasıyla geliştirilmiş foto-akustik bir lazerdir (28). Fiber uçlara sahip olan PIPS ve SWEEPS kanal ağızlarına yerleştirilerek kullanılırlar (29, 30). RT işleminin başarısı, eski kök kanal dolgu maddeleri kanaldan uzaklaştırıldıktan sonra yapılan obturasyon işleminin kalitesiyle doğrudan ilişkili olduğundan (31), bu çalışmanın amacı RT sırasında rezidüel kök kanal dolum maddelerini uzaklaştırmak için kullanılan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı ile radiküler dentinin bağlanma dayanımına etkisini karşılaştırmaktır.

Mevcut çalışmanın H0 hipotezi RT'de rezidüel kök kanal dolum maddesinin uzaklaştırılmasında kullanılan Sİİ, EDDY, PUI, PIPS ve SWEEPS final irrigasyon aktivasyon yöntemleri sonrasında, kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanma dayanımları arasında farklılıklar bulunmayacağıdır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kök Kanal Tedavisi

Kök kanal tedavisinin amacı, kök kanallarının kemomekanik olarak temizlenmesi ve şekillendirilmesi ile kanal içindeki ve dentin tübüllerindeki mikroorganizmaların elimine edilerek kanalın sızdırmaz bir şekilde doldurulmasıdır (1). Kök kanal tedavisi protokolü; mekanik şekillendirme, irrigasyon, kök kanalının sızdırmaz bir şekilde doldurulması ve sızdırmaz bir üst restorasyon uygulanması gibi ardışık adımlardan oluşur (32, 33). Kök kanal tedavisinin en önemli adımı oluşturulan kök kanalının irrigasyon solüsyonları ile dezenfekte edilmesidir. Çünkü tedavi sonrasında kök kanal sisteminde mikroorganizmaların kalması, tedavi başarısızlığının ana nedeni olarak kabul edilir. Primer endodontik enfeksiyonlar genellikle polimikrobiyaldir. Bu enfeksiyonlarda ağırlıklı olarak *Bacteroides*, *Prophyromonas*, *Prevotella*, *Fusobacterium*, *Treponema*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium* ve *Campylobacter* türleri bulunur (34). Ayrıca, *Enterococcus faecalis* (*E. Faecalis*) gibi irrigasyon solüsyonlarına dirençli bakteriler tedavi için yeterli zaman ayrılmadığında dentin tübüllerinde hayatta kalabilir ve biyofilm benzeri yapılar oluşturabilir (35). Mikroorganizmalar kök kanallarında uygun koşullar sağlandığında genetik yapılarını değiştirerek biyofilm oluşturabilir ve yaşamlarını sürdürebilirler (36). Biyofilm ekstraradiküler yüzeyi etkileyebilen *Actinomyces spp.* (*Propionibacterium* ve *Actinomyces*) gibi mikroorganizmaları da içerebilir ve bu durum kalıcı ekstraradiküler lezyonlara yol açabilir (37). Kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklıkları ve bu biyofilmlerdeki bakterilerin organize yapısı dezenfeksiyonu zorlaştırarak irrigasyon solüsyonlarının etkili olmasına engel oluşturur. Sodyum hipoklorit (NaOCl) en çok tercih edilen temel irrigasyon solüsyonu olarak öne çıkmakla birlikte, final irrigasyonunda aralarında distile su kullanılarak NaOCl sonrası etilendiamintetraasetik asit (EDTA) gibi bir şelatlayıcı ajan kullanımı smear tabakasının kaldırılmasını destekler (19). İrrigasyon solüsyonlarının uygulanmasında ise enjektör ve iğne kullanımına ek olarak aktivasyon yöntemleri kullanılmaktadır (38). Bu irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin bir diğer katkısı ise smear tabakasını kaldırılmasına yardımcı olarak kök kanal dolgu maddelerinin dentin duvarlarına bağlanmasının optimize edilmesidir. Kök kanal dolgu maddelerinin radiküler dentine bağlantısının artması apikal mikrosızıntıyı minimize eder (9, 39, 40). Mikrosızıntının azalması kök

kanalına doku sıvılarının sızmasını önleyerek, biyofilmin gelişimi için gerekli besin kaynağını kök kanal sisteminden uzak tutar ve böylece mevcut enfeksiyonun devamını veya yeni bir enfeksiyon oluşumunu engeller (41, 42). Başarılı bir kanal tedavisi pulpa odasındaki ve periradiküler dokulardaki enfeksiyonun kontrol altına alınması ile yapılır (2).

## **2.2. Kök Kanal Tedavisinin Başarı Kriterleri**

Kök kanal tedavisinin başarısını değerlendirirken histolojik, radyolojik ve klinik olmak üzere üç farklı kriter kullanılmaktadır. Histolojik olarak başarı kök kanalında ve periapikal dokularda enflamatuvar belirtilerin görülmemesi olarak tanımlanır (43, 44). Brynolf (43) klinik olarak sağlıklı görünen vakaların histolojik incelemesinde %93 oranında histolojik başarısızlık olduğunu bildirmiştir. Ancak, kliniklerde yapılan rutin tedavilerde histolojik inceleme mümkün olmadığından bu durum çoğu zaman göz ardı edilmektedir (10, 45). Bununla birlikte bir dişin radyografik olarak normal görünmesi özellikle uzun süreli ağrıyla ilişkili bir durumda sağlık göstergesi olarak değerlendirilemez. Fonksiyonel ve semptomatik bir dişte kemik yoğunluğunun azalması da cerrahi müdahale veya dişin çekilmesi gereksiniminin işareti olabilir (46). Bu nedenle kök kanal tedavisinin başarısının değerlendirilmesinde klinik ve radyolojik bulgular birlikte değerlendirilir. (5, 7, 10, 47, 48).

Kök kanal tedavisinin başarılı olduğun gösteren klinik semptomlar; perküsyon ve palpasyonda hassasiyet olmaması, mobilitenin normal sınırlar içinde olması, enfeksiyon ve şişlik bulunmaması, sinüs yolu veya bağlantılı periodontal hastalığın olmaması, doku yıkımı ve fonksiyon kaybı olmaması, ağrı gibi subjektif belirtilerin olmaması olarak tanımlanabilir.

Başarı kriterlerinin belirgin olması endodontik tedavi sonuçlarının anlamlı bir şekilde değerlendirilmesi için gereklidir. Kök kanal tedavisi ardından semptomların bulunması bir patolojinin varlığını belirtir. Ancak semptomların bulunmaması patolojinin olmadığını doğrulamaz (44, 49). Bazı klinisyenler ağrının bulunmamasını başarılı bir tedavi göstergesi olarak kabul etse de bu yanıltıcı olabilir. Çünkü ağrı olmaması dişin tamamen sağlıklı olduğunu kanıtlamaz. Günümüzde ağrı şikayeti olmayan birçok kişide endodontik tedaviye rağmen patolojiye sahip dişler bulunmaktadır. Bu durum vücudun doğal bağışıklık sisteminin enfeksiyonları belirli ölçüde baskılamasıyla ilişkilendirilebilir (3, 50).

Literatürde radyolojik başarı periradiküler dokularda radyolusent bir alan bulunmaması, lamina duranın devamlılığının korunması veya mevcut radyolusent bölgenin küçülmesi ya da sabit kalması şeklinde tanımlanır (5, 10, 44). Radyolojik bir değerlendirme yapılabilmesi için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir (51, 52). Hepworth ve ark. (53) başarı ya da başarısızlığın değerlendirilmesi için postoperatif inceleme süresinin en az 6 ay-2 yıl olması gerektiğini bildirmiştir.

### **2.2.1. Kanal Tedavisinde Başarısızlık ve Nedenleri**

Kebke ve ark. (54) tarafından yapılan bir çalışmada, kök kanal tedavilerinin 10 yıllık sağkalım oranı %81,7 olarak bildirilmiştir. Endodontik tedavinin başarı potansiyeline ve endodontik prosedürler dikkatle uygulanmasına rağmen klinisyenler tedavi sonrası çeşitli semptom ve olumsuz radyolojik bulgularla karşılaşabilirler (55). Kök kanal tedavisi görmüş bazı dişlerde apikal patoloji sonucu periapikal radyolusensi kalıcı hale gelebilir. Eğer bu periapikal radyolusensiye klinik semptomlar eşlik ediyorsa tedavi başarısız olarak kabul edilir (56).

Başarısızlık durumunda RT, çekim veya apikal cerrahi gibi tedavi seçenekleri bütünüyle değerlendirilir. Prognozda hasta ile iş birliği içerisinde en uygun tedavi seçeneğinin belirlenmesi büyük önem taşır (13, 57). Günümüzde başarısız kök kanal tedavilerinde ilk seçenek olarak RT tercih edilmektedir. Bu tercihin temelinde, tedavi sırasında karşılaşılan problemlerin giderilmesinde yeni teknolojilerin ve tekniklerin kullanılması yatmaktadır. RT’de kanal dolgu materyalinin tam olarak uzaklaştırılması önemlidir ve eski kök kanal tedavisi sonucu kalan nekrotik doku ve mikrobiyal popülasyonun tamamen elimine edilmesi gerekmektedir (13, 58, 59).

Endodontik tedavinin başarısızlık nedenleri, koronal ve apikal sızıntı, taşkın veya kısa kök kanal dolumları, eğe kırılması, perforasyonlar, transportasyonlar, yetersiz kemomekanik temizlik, kanal anatomisinin karmaşıklığı, iatrojenik hatalar, periodontal prognozu kötü dişler, klinik beceri eksiklikleri ve hastanın sistemik sağlık durumu olarak sıralanabilir. Bu faktörler, kök kanal sisteminde *E. faecalis* gibi dirençli bakterilerin kalmasına ve tedavinin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olabilir (5, 44, 50).

Başarısızlığın en yaygın nedenlerinden biri, kök kanal içinde ve periradiküler bölgede bakteri ve ürünlerinin varlığıdır. Bu mikroorganizmalar arasında özellikle gram-pozitif

fakültatif anaerobik bakteriler, tedavi sonrası enfeksiyonlarda önemli rol oynar. Kök kanal sisteminde sıklıkla gözlenen *E. faecalis*, yüksek alkali toleransı ve dentin tübüllerine nüfuz edebilme kapasitesi nedeniyle dirençli bir enfeksiyon kaynağıdır. Bu özellikleri, enfeksiyonların kalıcı hale gelmesine ve tedavi başarısızlıklarına yol açar (60).

Bunların yanı sıra, ekstradiküler biyofilmler, apikal dokulardaki kolesterol kristalleri, kistik lezyonlar ve muayene sırasında gözden kaçan çatlaklar, göz ardı edilmesi durumunda tedavi başarısızlıklarıyla ilişkilendirilebilir (56).

### **2.2.2. Başarısızlıkta Tedavi Yaklaşımları**

Kök kanal tedavisi sonrasında periradiküler dokulardaki iyileşmenin gözlenememesi, dişin yeniden tedavi edilmesi gerektiğini gösterir. Bu tedavi seçenekleri arasında cerrahi ve cerrahi olmayan retreatment, son seçenek olarak da diş çekimi bulunmaktadır (61). Hasta için en uygun tedaviyi belirlemek amacıyla kapsamlı bir vaka analizi yapılmalıdır (62). Hekim tedavi alternatiflerini ve bu alternatiflerin olası sonuçlarını hastaya ayrıntılı bir şekilde açıklamalı ancak son kararı hastanın kendisinin vermesine olanak sağlamalıdır (63).

Ortograd olarak kök kanalına erişimin mümkün olduğu durumlarda öncelikli tedavi seçeneği cerrahi olmayan RT işlemi olarak kabul edilir. Ayrıca, yetersiz kök kanal dolgusuna sahip veya tedavi edilmemiş kanalları olan dişlerde başarı şansı düşük olacaktır (64). Cerrahi olmayan RT'nin pratik olmadığı ya da önceki tedavi sonuçlarını iyileştiremeyeceği düşünülen durumlarda endodontik cerrahi prosedürlerinin uygulanması gerekebilir (65). Bu cerrahi müdahale kök kanal anatomisinin karmaşık yapısı, periapikal kist ile ilişkili kalıcı lezyonlar, ekstradiküler bakteriler veya taşkın kanal dolgu maddesi gibi durumlarda enfeksiyonu gidermek için genellikle yeterli olmaktadır (66).

RT tekniklerinin sonuçlarının değerlendirilmesi, doğru vaka seçimi yapılması ve tedavi planlamasının yönlendirilmesi açısından büyük önem taşır (67). Stueland ve ark. (68) cerrahi uygulanmadan gerçekleştirilen RT'lerde %65,5, endodontik mikrocerrahi ile yapılan RT'lerde ise %77,6 başarı oranı rapor etmiştir. Cerrahi olmayan RT, cerrahiye göre daha az invazivdir ve postoperatif dönemde hasta için daha fazla konfor sağlamaktadır. Bu nedenle RT endodonti pratiğinde önemli bir yere

sahiptir (69). Ayrıca, cerrahi olmayan RT cerrahi tedaviden önce yapıldığında cerrahi tedavinin başarısını artırmaktadır (70).

Çalışkan ve ark. (64) ortograd RT yapılan vakaların 2-8 yıl takiplerinde 5 mm veya daha küçük lezyonlu dişlerde %80,5 , 5 mm'den büyük lezyonlu dişlerde ise %73 başarı oranı bildirilmiştir. Bununla birlikte, literatürde cerrahi RT işlemlerinin ardından vakaların büyük bir bölümünde tedavi sonrası ilk yılda lezyonların küçüldüğü, üçüncü yılda %50'den fazlasının iyileştiği ancak %25'inin tam olarak iyileşemediği bildirilmiştir (71, 72).

Torabinejad ve ark. (73) cerrahi olmayan RT ve cerrahi RT işlemlerinin klinik ve radyografik sonuçlarını karşılaştırmıştır. Bu derlemede, kısa dönemli takiplerde cerrahi RT'nin, uzun dönemli takiplerde ise cerrahi olmayan RT'nin daha başarılı sonuçlar gösterdiği bildirilmiştir (73).

### **2.3. Final İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri**

Kök kanallarının dezenfeksiyonunda yalnızca mekanik preparasyon yeterli değildir. Çünkü kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi nedeniyle yalnızca mekanik preparasyonla tam bir dezenfeksiyon sağlanamamaktadır. Araştırmalar (74-76) mekanik şekillendirme işlemi sonrasında kök kanal duvarlarının yaklaşık %10 ila %50'sinin şekillendirilmeden kaldığını ortaya koymaktadır. İrrigasyon solüsyonları kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında dezenfeksiyona katkı sağlar. Ayrıca, seanslar arasında kullanılan kanal içi medikamentlerin ve retreatment esnasında kalan rezidüel kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılmasına da yardımcı olur. Bu nedenle irrigasyon solüsyonlarının kullanımı kök kanal tedavisinin vazgeçilmez bir parçasıdır (77).

Kök kanallarında yapılan kemomekanik preparasyon sırasında 1-2 µm kalınlığında organik ve inorganik içerikli bir smear tabakası oluşur. Bu tabaka irrigasyon solüsyonlarının, kanal içi medikamentlerin ve kanal dolgu materyallerinin dentin tübüllerine penetrasyonunu olumsuz yönde etkiler (78, 79). Dentin tübüllerine penetrasyonun artması dolgu materyalinin yapışacağı yüzey alanını artırarak kanal dolgusunun sızdırmazlığını ve tutuculuğunu artırır ve bölgede kalan bakterilerin kök kanalının içine hapsolmesini sağlar (80, 81).

Bir irrigasyon solüsyonunun etkinliğinde dentin tübüllerine ne kadar derinlemesine nüfuz edebildiği ve kök kanal duvarları ile temas süresi belirleyici rol oynamaktadır. Güncel eğe sistemleri sayesinde kök kanalların daha düşük çap ve koniklik açısında şekillendirilmesi, preparasyon süresini kısaltmakta ancak irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini de sınırlandırmaktadır (82).

Kimyasal debridman kök kanalı içerisindeki pulpa artıklarını, nekrotik dokuları ve bakteri kalıntılarını uzaklaştırmayı amaçlar (83). Ancak, bu işlemi eksiksiz bir şekilde gerçekleştirebilecek tek bir kimyasal ajan bulunmamaktadır. En sık kullanılan irrigasyon solüsyonu olan NaOCl (80), organik doku çözücü özelliği ile etkin bir dezenfeksiyon sağlar, ancak smear tabakasının inorganik bileşenlerini uzaklaştırma yeteneğine sahip değildir. Bu nedenle kimyasal debridmanı desteklemek amacıyla şelatlayıcı ajanların kullanımı gereklidir.

Şelatlayıcılar dentin içindeki hidroksiapatiti kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girerek uzaklaştırır, smear tabakasında NaOCl'nin uzaklaştıramadığı inorganik kısmın uzaklaştırılmasını ve böylece kök kanal sisteminin daha etkin bir şekilde temizlenmesini sağlar (84). En yaygın kullanılan şelatlayıcının EDTA olmasının yanında daha az sıklıkta kullanılan maleik asit, sitrik asit, 1-hidroksietiliden 1,1-difosfonik asit (HEDP) gibi şelatlayıcılar da diş hekimliğinde kullanılmaktadır (85-87). Debris ve smear tabakasını ortadan kaldırmak için NaOCl ile EDTA solüsyonlarının sırasıyla kullanılması tavsiye edilmektedir (82). Smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılması kök kanal dolgu materyallerinin ve irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine daha iyi nüfuz etmesini sağlayarak mekanik kilitlemeyi ve sızdırmazlığı artırır (88-90).

Kullanılan irrigasyonun solüsyonlarının aktive edilmesi büyük önem taşır. Mikrobiyal biyofilmlerin kök kanallarından temizlenmesi ve irrigasyon solüsyonlarının kök kanal sistemindeki karmaşık anatomik yapılara ulaşabilmesi için aktivasyon gereklidir (91). Aynı zamanda aktivasyon sırasında kinetik enerji ısıya dönüşerek kimyasal reaksiyonların hızlanmasına ve antibakteriyel etkinliğin artmasına neden olur (92).

Sİİ'de kullanılan kapalı uçlu iğnelerde solüsyonun iğne ucundan yalnızca 1-1,5 mm öteye ulaşmasını sağladığından, kök kanal sisteminin karmaşık yapısı göz önüne alındığında genellikle yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple kök kanallarının final

irrigasyonunda ek yöntemlerin kullanımı önerilmektedir (93). Bu yöntemler arasında sonik ve ultrasonik cihazlar, lazerler ve multisonik aktivasyon yer almaktadır (94-97).

### 2.3.1. Sİİ

Sİİ kök kanallarının dezenfeksiyonunda en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve hem genel diş hekimleri hem de endodontistler tarafından sıkça tercih edilmektedir (98-102). Bu teknik farklı kalınlıklardaki iğne/kanüller kullanılarak irrigasyon solüsyonunun kanala pasif ya da aktivasyon uygulanarak iletilmesini içerir. İğnenin kanal içerisinde yukarı ve aşağı hareket ettirilmesi, irrigasyonun etkinliğini artırmak için yaygın bir tekniktir. Bazı iğneler solüsyonu uç kısımlarından iletirken, diğerleri kapalı uçlu ve yandan açılan kanallar aracılığıyla lateral iletim sağlar (103, 104). Yandan açılan iğneler hidrodinamik aktivasyonu artırmak ve apikal taşma riskini azaltmak amacıyla tasarlanmıştır (105). Ucu açık iğnelerin optimum pozisyonu çalışma boyunun (ÇB) 2-3 mm gerisindeyken, ucu kapalı iğnelerin ise ÇB'den 1 mm kısa konumlandırılması gerekmektedir (38, 106). Genel bir prensip olarak irrigasyon solüsyonunun apikalden ekstrüzyonunu önlemek için Sİİ her zaman iğne kanala sıkıştırılmadan yapılmalıdır (107). Bununla birlikte Sİİ'nin mekanik temizleme etkisi sınırlıdır. Özellikle dar kanallarda iğne ucunun koronal üçlüden veya geniş kanallarda orta üçlüden öteye ulaşamaması ciddi bir dezavantaj yaratmaktadır (108). Sonuç olarak irrigasyon solüsyonunun dentin tübüllerine nüfuzu ve dezenfeksiyon etkinliği sınırlı kalır (109-111). O'Connell ve ark. (112) NaOCl ve EDTA solüsyonlarının 27 gauge (G) iğne ile dönüşümlü uygulanmasının, smear tabakasını uzaklaştırmada kanalların koronal üçlüsünde etkili olduğu, ancak apikal üçlüye ulaşamadığı belirtilmiştir (113-115). Kök kanal tedavisi sırasında kimyasal debridman yapılırken 30-31G iğneler kullanıldığında bile iğne ucunun sıkışmasını önlemek için kök kanalının apikal boyutunun en az 30-35'e kadar genişletilmesi gereklidir. Ayrıca, irrigasyon solüsyonunun iğnenin ilerisine ulaşabilmesi için yapılan bu genişletme, özellikle dar kök kanal sistemlerinde solüsyonun viskozitesinden dolayı akışın sınırlanmasını engeller (113).

Sİİ'nin etkinliğini artırmak için bazı stratejiler geliştirilmiştir. Bunlar arasında iğne ucunun kanalın apikal bölgesine daha yakın konumlandırılması (108, 115, 116), daha fazla hacimde irrigasyon solüsyonu kullanılması (116) ve daha ince çaplı iğnelerin tercih edilmesi yer almaktadır (98, 108, 116). İnce çaplı iğneler solüsyonun daha

ileriye ulaşmasını sağlayarak irrigasyon solüsyonunun etkinliğini artırır. Ancak, iğne ucunun apikal dokulara çok yakın yerleştirilmesi irrigasyon solüsyonunun apikalden taşma riskini artırır (108, 117). Bu riski azaltmak için yavaş irrigasyon akışı ve iğnenin elle sürekli hareket ettirilmesi, NaOCl kazalarını en aza indirir (118).

Bununla birlikte iğne ile yapılan irrigasyonda sıvı akış hızını standartlaştırmak ve kontrol etmek zordur (119). Bu nedenle irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine daha derinlemesine nüfuz etmesini sağlayacak yeni sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sistemler hazırlanan kök kanallarının daha kapsamlı bir şekilde temizlenmesini sağlarken, NaOCl gibi irrigasyon solüsyonlarının periapikal dokularda neden olabileceği sitotoksik etkileri de en aza indirebilmektedir (120, 121). Sonuç olarak Sİİ tek kök kanalı ve basit kök kanal anatomisi olan dişlerde yeterli bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak, kök kanallarındaki dar bölgeler ve lateral kanallar gibi anatomik düzensizliklere derinlemesine nüfuz edemediğinden, daha karmaşık anatomilere sahip vakalarda ek irrigasyon aktivasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Ultrasonik, sonik ve lazer ile irrigasyon aktivasyon sistemleri bu hedeflere ulaşma potansiyeline sahiptir (38, 122-124).

### **2.3.2. Sonik Aktivasyon**

Ultrasonik aktivasyon cihazlarına alternatif olarak geliştirilen ve daha düşük frekansta salınım yapan sonik cihazlar, uzun süredir irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu amacıyla kullanılmaktadır (24, 125). Plastik uçların kök kanalı içinde gerçekleştirdiği salınım, irrigasyon solüsyonlarının akışını sağlasa da genliğin yüksek olması ve frekansın düşük kalması nedeniyle akustik akış veya akustik kavitasyon oluşturamaz (125, 126).

Sonik aktivasyon uçlarının etkin bir şekilde salınım yapabilmesi için yeterli boşluğun sağlanması çoğunlukla mümkün olmadığından, plastik uçların kök kanal duvarları ile sık sık temas etmesi kaçınılmazdır (125). *İn vitro* ve *ex vivo* ortamlarda ana kök kanalındaki temizlik ve dezenfeksiyonun büyük ölçüde irrigasyon solüsyonunun aktivasyonundan ziyade doğrudan fiziksel temasın etkisiyle gerçekleştiği düşünülebilir. Ancak, bu etki ana kök kanalının ötesine ulaşamadığı için mekanik preparasyon ve standart iğne irrigasyonundan sonra uygulanması çoğunlukla gereksiz hale gelmektedir (127). Ayrıca plastik uçların kök kanal duvarlarına teması salınımı

zayıflatır ve bu uçların yaygın inanişin aksine dentini prepare ederek smear tabakası oluşturabileceği rapor edilmiştir (93, 128).

Sonik aktivasyon sistemlerinden biri olan EndoActivator (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, ABD) cihazı plastik uçların düşük frekansta osilasyon yapması ile çalışır. Frekans aralığı 160-190 Hz' dir. Frekansının düşük ve osilasyonun amplitüdünün yüksek olması nedeniyle akustik akış veya kavitasyon oluşturmaz (24, 125).

Sonik aktivasyonla çalışan bir diğer sistem EDDY (VDW, Münih, Almanya) yaklaşık 6 kHz frekansta ve 350 µm osilasyon amplitüdü ile çalışır. Bu değerler Endoaktivatöre göre daha etkili olmasını sağlar (24, 129). Smear tabakasını uzaklaştırmada standart iğne irrigasyonundan daha etkili olduğu ve bazı çalışmalarda (23, 130) ultrasonik aktivasyona yakın etkinlikte olduğu bildirilmiştir. Ancak, Linden ve ark. (131) smear tabakasının kaldırılmasında EDDY'nin ultrasonik aktivasyona kıyasla daha az etkinlikte olduğunu ortaya rapor etmiştir.

### **2.3.3. Ultrasonik Aktivasyon**

Endodontide kullanılan ultrasonik aktivasyon sistemleri ilk olarak Richman tarafından 1957 yılında tanımlanmıştır (132). Yıllarca literatürde 2 farklı ultrasonik irrigasyon sistemi tanımlanmıştır (99-102). Birinci sistem ultrasonik irrigasyon ve enstrümantasyonun eşzamanlı kullanımını içerirken, ikinci sistem ise enstrümantasyon olmaksızın yalnızca irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu sağlayan PUI yöntemi (133). Bu yöntemin pasif olarak tanımlanma sebebi ultrasonik uçların kök kanal duvarına temas etmeden salınım yapabileceği düşüncesiydi (134, 135). Ancak, bu hipotez defalarca çürütülmüştür bu da geçmişte yapılan tanımlamaların hatalı olduğunu göstermektedir (136-140). Bu nedenle PUI yerine ultrasonik aktivasyon terimini kullanmak daha doğru olacaktır (38).

Ultrasonik aktivasyon yaklaşık 30 kHz frekansında salınım yaparak çevresindeki irrigasyon solüsyonunu hareketlendirir ve bu sayede akustik akımlar oluşturur (125, 141) Oluşan bu akustik akım kök kanal sisteminin uzak noktalarında irrigasyon solüsyonunun iletilmesini sağlayarak solüsyonun etkinliğini artırır (142). Ayrıca aktivasyon sırasında kinetik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşerek kimyasal reaksiyonların hızlanmasına katkı sağlar (92, 143). Ultrasonik aktivasyon uygulanırken farklı tipte ultrasonik eğeler ve iğneler kullanılmaktadır. Ancak,

herhangi bir türün diğerlerinden belirgin bir üstünlüğü bulunmamıştır (144). Yaygın olarak tercih edilen K-eğeleri ve Irrisafe eğelerinin etkili bir akustik akım oluşturmak için kök kanalında ÇB'den 2-3 mm kısa bir mesafede yerleştirilmesi önerilmektedir (145). Ortalama salınım genliği dikkate alındığında etkili bir irrigasyon için kök kanalının apikalinin en az 30-35 numaraya kadar genişletilmesi önerilir (142, 145). Bununla birlikte ultrasonik aktivasyonda etkinliğin artması için cihazın yüksek güçte kullanılması düşünülebilir (146) ancak bu durum eğe kırılması (147, 148), kök kanal duvarlarında dentin kaybı gibi riskleri beraberinde getirir (137, 140). Üreticiler bu riskleri elimine etmek ve maksimum verim sağlamak için cihazın %30-50 gücünde kullanılmasını önermektedir (149).

Ultrasonik aktivasyonda sürekli aktivasyon yerine, biyofilm uzaklaştırma etkinliğini artıran ve kimyasal reaksiyonlar sonucu tükenen irrigasyon solüsyonunun sık sık yenilenmesine olanak sağlayan aralıklı olarak her biri 20 sn süren 3 döngüden oluşan protokoller tercih edilmektedir (125, 144, 150).

Güncel araştırmalar (125, 140, 141) ultrasonik aktivasyonun, şekillendirilmemiş alanların temizlenmesinde Sİİ'den daha etkili olduğunu göstermektedir (142, 144). Ancak, literatürde kök kanallarının bu bölgelerdeki antimikrobiyal etkisi konusunda hâlâ sınırlı bilgi bulunmaktadır ve şu ana kadar uzun vadeli klinik sonuçları iyileştirdiğine dair net bir kanıt bulunmamaktadır (144).

#### **2.3.4. Lazer Destekli İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri**

Lazerlerin kök kanal tedavisindeki ilk uygulamaları kanal şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra lazerin doğrudan kök kanal duvarlarına tutulması şeklinde olmuştur. Bu yöntemde temizlik ve defeksiyonu arttırmak için lazer ucu apikal bölgeye yerleştirilir ve geri çekilerek kök kanal duvarları ve tübüller gibi ikincil anatomik yapılar lazer ışığına maruz bırakılır (151). Bunun yanı sıra dentin tübüllerinin tıkanması ve smear tabakasının uzaklaştırılması da hedeflenmiştir (152). Genellikle görünür ya da kızılötesi spektrumda lazerler tercih edilir; çünkü bu dalga boyları, esnek ve ince cam fiber çubuklar aracılığıyla iletilerek şekillendirilmiş kök kanalına rahatlıkla yerleştirilebilir (153).

Bu yöntemde kök kanal duvarlarının eşit şekilde ışınlanmasının zorluğu (154) ve kullanılan dalga boylarının yetersiz antimikrobiyal etkisi, istenilen temizlik ve

dezenfeksiyon sonuçlarına ulaşamamasına sebep olmaktadır (155, 156). Bu durum lazerlerin dolaylı yoldan kullanıldığı yöntemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. İrrigasyon solüsyonunun atımlı şekilde kök kanalında aktive edilmesiyle uygulanan yöntemler solüsyonun kök kanal sistemine daha iyi nüfuz etmesini sağlamak ve dezenfeksiyon etkinliğini arttırmayı hedeflemektedir (157).

Er:YAG lazer ile birlikte kullanılan PIPS ve SWEEPS gibi irrigasyon solüsyonunun atımlı şekilde aktive eden fiber optik uçların, pulpa odasında oluşturulan rezervuar alana yerleştirilerek kullanılması önerilmektedir. Bu yöntemler özellikle minimal şekillendirilmiş kök kanallarının temizlenmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir (158, 159).

#### **2.3.4.1. PIPS**

PIPS, lazer destekli irrigasyon aktivasyon (LAI) yönteminin gelişmiş bir uygulaması olarak tasarlanmıştır. Bu teknikte, 2940 nm dalga boyuna sahip Er:YAG lazer ve 600 µm çapta ve 9 mm uzunlukta (160) konik bir fiber uç kullanılır. PIPS ile irrigasyon aktivasyonu kök kanalının irrigasyon solüsyonları ile doldurulmasının ardından, fiber ucun kök kanalının giriş kavitesindeki rezervuar alana sabitlenmesiyle gerçekleştirilir. Düşük enerjili lazer darbeleri ile irrigasyon solüsyonlarının kanal boyunca derinlemesine akışı sağlanır. PIPS'in kanal içine değil kanal ağzına yerleştirilmesi daha geniş kanallar oluşturma zorunluluğunu ortadan kaldırır (161).

Bu yöntemde fiber uç buhar kabarcıkları oluşur. Bu kabarcıklar önce genişler, maksimum hacmine ulaştıktan sonra çöker. Çökme işlemi sırasında şok dalgaları üretilir (160). Belirli koşullarda bu çöküş ikinci bir kabarcığın oluşumunu tetikleyebilir. Kabarcıklar irrigasyon solüsyonlarını kök kanal sistemi boyunca üç boyutlu bir şekilde hareket ettirir. Geleneksel yöntemlere kıyasla lateral kanallara ve kök kanalının apikal bölgesindeki dallanmalara ulaşmada çok daha etkilidir. PIPS'in temel mekanizması lazer kaynaklı kavitasyon baloncuklarının titreşimleriyle oluşan sıvı girdaplarının etkili akışı sağlamasına dayanır (150-154).

Kök kanalları gibi sınırlı hacimli alanlarda, geniş sıvı rezervuarlarından farklı olarak, şok dalgalarının (sesten daha hızlı hareket eden dalgalar) oluşmadığı tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni dar kanallarda kavitasyon dinamiklerinin kanal duvarlarındaki

sürtünme ve sıvının balon genişlemesi ve büzülmesi sırasında hızla yer değiştirmesi için yeterli alanın bulunmamasıyla önemli ölçüde yavaşlamasıdır (162, 163).

#### **2.3.4.2. SWEEPS**

Son zamanlarda geliştirilen SWEEPS ise LAI yöntemine önemli bir yenilik getirmiştir. SWEEPS'in çalışma sistemi PIPS'e benzerdir. SWEEPS'te 2940 nm dalga boyunda Er: YAG lazer fiber uç yardımıyla pulpa odasına tek bir lazer darbesi gönderen PIPS'ten farklı olarak aynı cihazın farklı modu yardımıyla optimum zaman aralığında ultra kısa atım çiftleri uygulanır. SWEEPS tekniğinde, birincil kavitasyon baloncuğunun çöküşü sırasında sıvıya ikinci bir lazer darbesi uygulanır. Bu işlem, ikinci baloncuğun büyümesiyle birincil baloncuğun çöküşünü hızlandırır ve şiddetli bir çöküş sırasında güçlü şok dalgaları oluşur. Bu şok dalgaları, kanalın tüm uzunluğu boyunca etkili bir temizlik sağlarken, ikincil baloncukların kanal duvarlarına yakın çöküşleri smear tabakasını ve partikülleri uzaklaştıran kesme akımları oluşturur. (164, 165).

Bu yöntemler, kök kanal irrigasyonunda sıvı akışını ve temizleme etkinliğini artırmada önemli adımlar olarak görülse de sınırlı sıvı rezervuarlarında daha fazla optimizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, geleneksel irrigasyon solüsyonları ile birlikte kullanılarak etkilerinin artırılması hedeflenmektedir (166-169)

#### **2.3.5. Diğer Teknikler**

Günümüzde farklı irrigasyon yöntemleri kullanılmakla birlikte, bu teknikler genellikle bölgesel kullanımın ötesine geçememiştir (99, 100, 170). Bunlar fırçalar, self-adjusting file (SAF) sistemi, XP-Endo Finisher eğesi, negatif basınç prensibi ile çalışan irrigasyon aktivasyon yöntemi şeklinde çeşitlendirilebilir. Örneğin, negatif basınçlı irrigasyon, ince bir kanülden irrigasyon solüsyonu verilirken, çalışma uzunluğunda konumlandırılan bir başka kanül aracılığıyla solüsyonun pulpa odasından kök kanalına doğru emilmesini sağlar. Ancak, bu teknik irrigasyon solüsyonunu aktive eden bir yöntem değildir ve kök kanalındaki penetrasyon düzeyi genellikle standart iğne irrigasyonuna benzer ya da daha düşük bulunmuştur (171). Şu ana kadar, negatif basınçlı irrigasyonun standart iğne irrigasyonuna üstünlüğünü gösteren bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemin en önemli avantajı, irrigasyon solüsyonunun apikal foramen yoluyla ekstrüze olma miktarını azaltmasıdır (172).

Multisonik aktivasyon (GentleWave; Sonendo, Laguna Hills, CA, ABD), irrigasyon solüsyonunun kök kanal sisteminin tamamına ulaşmasını ve sistemin etkin bir şekilde dezenfekte edilmesini sağlayan bir yöntem olarak tanıtılmıştır. Her ne kadar bu yöntemin herhangi bir preparasyon yapılmadan kullanılabilmesi öne sürülmüş olsa da (173), yapılan çalışmalarda kök kanallarının genellikle apikal boyut 15-25'e kadar genişletildiği rapor edilmiştir (174-178). Bu tekniğin temel yeniliği, hidrodinamik kaviteasyon kabarcıklarının çöküşü sırasında geniş bir frekans aralığında akustik dalgalar üretebilmesidir. Bu akustik dalgaların, kök kanalının temizlenmesine ve dezenfekte edilmesine katkı sağladığı düşünülmektedir (177, 178). Tanıtımının ardından yapılan ilk çalışmalar, bu yöntemin Sİİ ve ultrasonik aktivasyona kıyasla üstün olduğunu göstermiştir (173, 175). Ancak, daha güncel ve bağımsız araştırma grupları tarafından yürütülen çalışmalar farklı sonuçlar bildirmiştir. Bu nedenle, yöntemin etkinliği konusunda görüşler çeşitlilik göstermektedir (174, 176).

İrrigasyon solüsyonunun aktivasyonu için kullanılan yöntemlerden biri de, kök kanalı formuna uyum sağlayan bir güta perka noktasının korono-apikal yönde ileri-geri hareket ettirilmesi prensibine dayanan manuel dinamik aktivasyon tekniğidir (179). Standart iğne irrigasyonuna kıyasla kanal içindeki düzensizliklerin temizlenmesinde daha etkili olduğu gösterilmiş olsa da (180-182), bu yöntemin apikal foramen yoluyla irrigasyon solüsyonunun daha fazla miktarda ekstrüze olmasına yol açtığı da bildirilmiştir (183).

#### **2.4. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Kök Kanal Patları**

Kök kanal tedavisinde dentin duvarı ile kor materyali arasında oluşabilecek boşlukların kapatılması için kök kanal patları kullanılır. Ayrıca, bu patlar kök kanal sistemindeki boşlukları ve düzensizlikleri, yan kanalları ve aksesuar kanalları doldurmada etkilidir. Obtürasyon sürecinde, patlar aynı zamanda lubrikant olarak da işlev görerek işlemi kolaylaştırır (184). Endodontik kanal patlarının ideal özelliklere sahip olması, kök kanal tedavisinin başarısını doğrudan etkiler. İdeal özelliklere sahip kök kanal patı kök kanal sistemi boyunca tam bir mikroskobik sızdırmazlık sağlayarak mikroorganizmaların geçişine engel olmalıdır. Ayrıca, periradiküler patojenlere karşı antimikrobiyal özellik göstermeli ve bunu yaparken konak dokularda iltihaplanmaya veya toksik etkilere neden olmamalıdır (185). İdeal kök kanal patının özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (186);

**Sızdırmazlık:**

- Bakteriyel yeniden enfeksiyona karşı etkili bir bariyer oluşturmalıdır.
- Kanal sisteminin tamamında uzun süreli bir sızdırmazlık sağlamalıdır.

**Biyoaktivite:**

- Periapikal iyileşmeyi ve sert doku oluşumunu teşvik etmelidir.
- Çevre dokularla biyolojik bir uyum içinde çalışmalı ve rejeneratif süreçlere katkıda bulunmalıdır.

**Antibakteriyel Etki:**

- Özellikle *E. faecalis* gibi dirençli bakterilere karşı etkili olmalıdır.
- Antifungal özellikler sergileyerek *Candida albicans* gibi mikroorganizmalara karşı koruma sağlamalıdır.

**Fizikokimyasal Özellikler:**

- **Radyopaklık:** ISO 6876:2012 standartlarına uygun olacak şekilde radyopak olmalıdır.
- **Film Kalınlığı:** Film kalınlığı 50 µm'nin altında olmalıdır.
- **Akışkanlık:** ISO normlarına göre akıcılık 17 mm'den büyük olmalıdır.
- **Çözünürlük:** Suda çözünürlüğü düşük olmalı, %3'ten az ağırlık kaybı göstermelidir.

**Bağlanma Dayanımı (PBS):**

- Dentinle güçlü bir bağlanma kapasitesine sahip olmalı ve dentinal tübüllere derinlemesine nüfuz edebilmelidir.
- Uzun vadede yapışma gücü kaybolmamalıdır.

### **Toksisite ve Sitotoksisite**

- Çevre dokulara zarar vermemeli, düşük toksisiteye sahip olmalıdır.
- Sitotoksik olmamalı ve biyolojik hücrelerle uyumlu bir yapıda olmalıdır.

### **Dentin ve Diş Dayanıklılığına Etkisi:**

- Dentin mikrosertliğini olumsuz etkilememelidir.
- Kök kanal dolgusundan sonra dişin kırılma direncini artırmalıdır.

### **Retreatment sırasında kanaldan uzaklaştırılabilirlik:**

- Retreatment sırasında kök kanalından kolayca çıkarılabilir olmalıdır.
- Minimum kalıntı bırakacak şekilde temizlenebilmelidir.

### **Su Emme ve Çözünürlük:**

- Su emilimi düşük olmalı ve uzun süre stabilitesini koruyabilmelidir.
- Hafif çözünürlük göstererek biyoaktif etkileri desteklemelidir ancak bu durum sızdırmazlığı bozmayacak düzeyde olmalıdır.

### **Dentin Tübüllerine Penetrasyon:**

- Derin dentinal tübül penetrasyonu sağlayarak kök kanalı ile etkili bir bağlanma gerçekleştirmelidir.

### **Uzun Süreli Stabilite:**

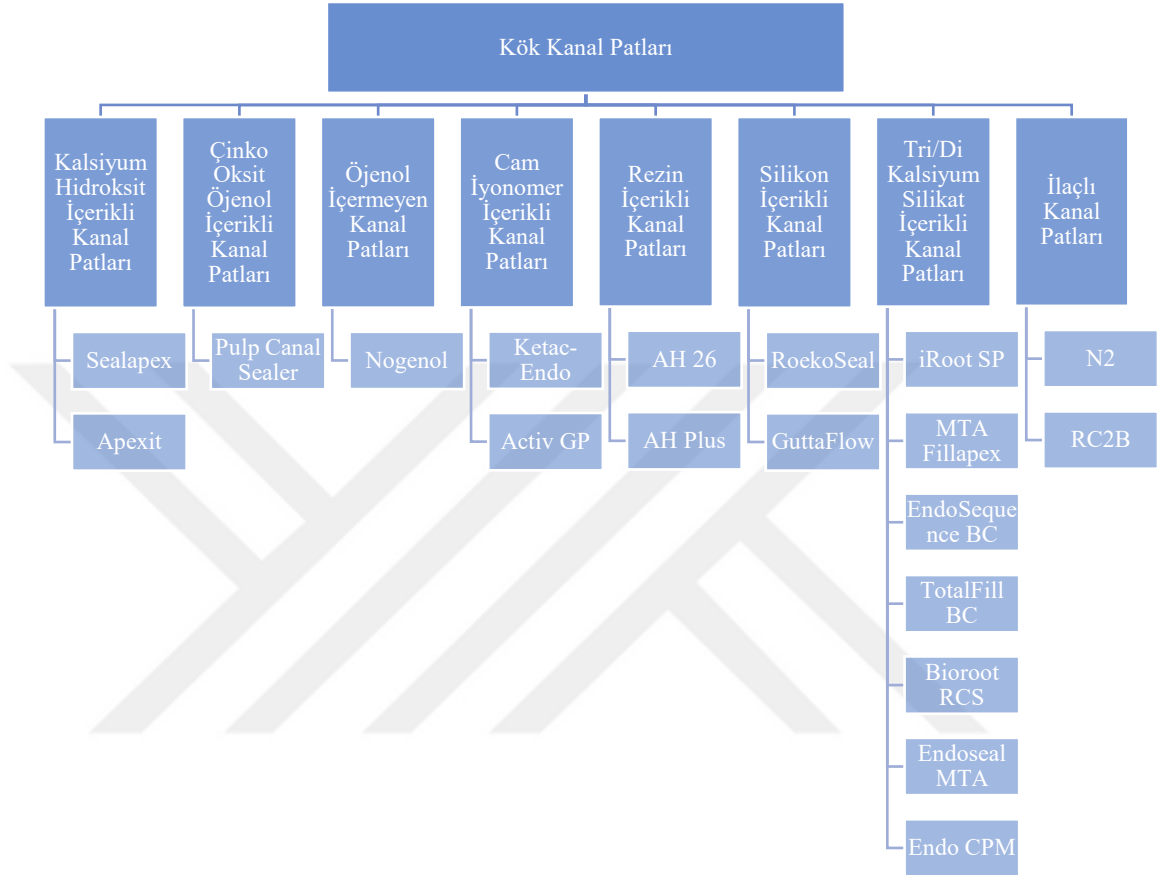
- Zamanla hacmini korumalı ve herhangi bir genişleme ya da büzülme göstermemelidir.

### **Diş Renklenmesi:**

- Özellikle ön dişlerde kullanılacaksa, diş renklenmesine neden olmamalıdır.

Kök kanal patları farklı özellikleriyle birbirlerine göre farklı alanlarda üstünlük gösterirler. Ancak, ideal bir patın sahip olması gereken tüm kriterleri tam olarak

karşılayamazlar (187). Farklı içeriklere sahip kök kanal patları bulunmaktadır. Kök kanal patları içeriklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (188).



Şekil 2. 1. İçeriklerine göre kök kanal dolum patları sınıflandırması (188)

#### 2.4.1. Kalsiyum-Silikat İçerikli Kanal Patları

Mineral Trioksit Agregat (MTA), kalsiyum silikat içerikli hidrofilik bir siman olarak 1990'ların başında diş hekimliğinde kullanılmaya başlanmış, üstün biyolojik ve fiziksel özellikleri sayesinde klinik uygulamalarda hızla yer bulmuştur (189-192). Başlangıçta kök ucu dolgu materyali olarak kullanılan MTA, zamanla kök perforasyon tamiri, pulpa-dentin kompleksinin rejenerasyonu, apikal bariyer oluşturma, pulpa örtülmesi, pulpotomi ve kök kanal obturasyonu gibi çeşitli endodontik işlemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (191-193). Bu başarının arkasında kalsiyum silikat içerikli simaların üstün biyoyumluluğu ve iyi sızdırmazlık yeteneği

yatmaktadır. Bu özelliklere dayanarak kalsiyum silikat içerikli kök kanal patları geliştirilmiştir. Bu simanlar nemli ortamlarda reaksiyona girerek sertleşme özelliğine sahiptir. İlk üretilen kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı iRoot SP (Innovative Bioceramics, Kanada), 2007 yılında piyasaya sunulmuş ve biyouyumluluğu ile hidrofilik yapısı nedeniyle dikkat çekmiştir (186). 2010'lu yıllara gelindiğine yeni nesil kalsiyum silikat içerikli kök kanal patları geliştirilmiştir. Ancak bu ürünlerin birçoğu hâlâ araştırma aşamasındadır.

iRoot SP, biyoseramik olarak sınıflandırılmıştır. Ancak, biyoseramikler tıbbi alanda çok geniş bir yelpazeyi kapsar ve kalsiyum silikat içerikli simanlar bu yelpazenin yalnızca küçük bir bölümünü oluşturur (194). Kalsiyum silikatların sertleşme reaksiyonu, kalsiyum fosfat çökeltisi oluşturarak biyoaktiviteyi artırabilir ve doku yenilenmesini teşvik edebilir (195). Bu nedenle çevre dokularla etkileşime girebilen dayanıklı malzemeler olarak kalsiyum silikatlar biyoaktif biyoseramikler arasında sınıflandırılır (194).

Kalsiyum silikat içerikli patlar, su ile reaksiyona girerek sertleşen hidrolik bir süreç ile polimerize olur (195). Bu özelliklerinden dolayı, bu tür materyaller “hidrolik patlar” olarak da adlandırılmıştır (196, 197). Ancak, bu patların biyolojik etkisi, sertleşme sırasında yan ürün olarak oluşan kalsiyum hidroksit ile doğrudan ilişkilidir (196-198). Bununla birlikte bu patların hafif çözünürlük sorunları bulunduğu için, yalnızca “hidrolik” terimi bu ürünleri tanımlamak için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bu malzemeler ana bileşenlerine göre “kalsiyum silikat bazlı patlar (CSBS)” olarak adlandırılmıştır (186).

Lim ve ark. (199) tarafından yapılan içeriklerine göre CSBC sınıflaması aşağıdaki tabloda verilmiştir.

,

**Tablo 2. 1.** Trikalsiyum Silikat içerikli kök kanal patları ve içerdiği bileşenler

Ürünler	Üreticiler	İçerik
iRoot SP	Innovative Bioceramix, Vancouver, BC, Kanada	Zirkonyum oksit, kalsiyum silikatlar, kalsiyum fosfat monobazik, kalsiyum hidroksit, dolgu maddesi, kalınlaştırıcı ajan
MTA Fillapex	Angelus, Londrina, PR, Brezilya	Paste A: Salisilat reçinesi, bizmut trioksit, füme silika Paste B: Füme silika, titanyum dioksit, MTA (%40, trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum oksit, trikalsiyum alüminat), baz reçine (pentaeritrol, rosinat, p-toluenesülfonamid)
EndoSequence BC	Brasseler, Savannah, GA, ABD	Zirkonyum oksit %35–45, dikalsiyum silikat %7–15, trikalsiyum silikat %20–35, kalsiyum hidroksit %1–4, dolgu maddeleri
TotalFill BC	FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre	Zirkonyum oksit %35–45, dikalsiyum silikat %7–15, trikalsiyum silikat %20–35, kalsiyum hidroksit %1–4, dolgu maddeleri
Bioroot RCS	Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Fransa	Toz: Trikalsiyum silikat, zirkonyum oksit ve yardımcı maddeler Likit: Kalsiyum klorür ve yardımcı maddeler
Endoseal MTA	Maruchi, Wonju, Kore	Kalsiyum silikat, kalsiyum alüminatlar, kalsiyum alüminoferrit, kalsiyum sülfatlar, opaklaştırıcı, kalınlaştırıcı ajan
Endo CPM	EGEO S.R.L., MTM Argentina S.A. Lisansı Altında, Buenos Aires, Arjantin	Silikon dioksit, kalsiyum karbonat, bizmut trioksit, baryum sülfat, propilen glikol aljinat, sodyum sitrat, kalsiyum klorür, aktif bileşenler

## 2.5. Bağlanma Dayanımı

Bağlanma dayanımı kimyasal veya fiziksel olarak birbirine bağlanan iki yüzeyin birbirinden ayrılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır (200). Bu moleküler çekim kuvveti adezyon olarak adlandırılır ve bu kuvvetin oluşabilmesi için iki ana bileşene ihtiyaç vardır: adeziv ve aderent. Adeziv, adezyonun sağlanması için kullanılan ek maddeyi ifade ederken; aderent, bu adezivin uygulandığı yüzeyi temsil eder. Kimyasal bağlantı, yüzeylerin atomik ya da moleküler düzeyde etkileşerek bir araya gelmesidir. Mekanik bağlantı ise yüzeylerin birbirine fiziksel olarak kenetlenmesidir (201).

Diş hekimliğinde kullanılan materyallerin hem birbirine hem de diş dokusuna güçlü bir şekilde bağlanması, ileride oluşabilecek mikrosızıntı ve buna bağlı yeniden enfeksiyon riskinin önlenmesi açısından büyük önem taşır (202).

Endodontide adezyon, kök kanal dolgu materyalinin kök kanal yüzeyinden ayrılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Radiküler dentine güçlü bir şekilde bağlanmış bir kök kanal dolgusu, dentin tübüllerinde mikroorganizmaların ve atıklarının hapsolmasını sağlayarak periradiküler bölgede enfeksiyon oluşumunu önler. Kök kanal patının adezyonunda smear tabakasının varlığı, kanal patının tipi ve dolum tekniği gibi faktörler etkilidir (203).

Endodontik tedavide kullanılan materyallerin adezyon başarısını ölçmek için *in vivo* deneyler, yüksek maliyetli ve standardizasyon açısından zorluklar içerdiğinden, maliyeti düşük, uygulanması kolay ve parametreleri değiştirilebilir *in vitro* deneyler tercih edilmektedir. Makro ve mikro olarak ikiye ayrılan bağlanma dayanımı lme testleri makaslama, çekme ve itme testleridir. Bu testlerin uygulanmasında evrensel test makinesi kullanılır (204, 205).

### 2.5.1. Push-out Bağlanma Dayanımı

Laboratuvar ortamında bağlanma dayanımını test etme olanağı sağlayan push-out testi diş hekimliğinde ilk kez 1970 yılında kullanılmaya başlanmıştış (206). Adezivlerin dentine bağlanma dayanımını test etmek amacıyla push-out testi uygulandığında, 1-2 mm kalınlığında bir dentin dilimi hazırlanır. Bu testte dilime apikalden koronale doğru, yani dar uçtan geniş uca doğru bir kuvvet uygulanır. Kuvvetin bu yönde uygulanması, adeziv-dentin ara yüzeyinde kesme gerilimi oluşturur (207).

Bağlanma dayanımı, uygulanan ekstrüzyon kuvvetinin, test edilen bölgenin yan yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanır. Kuvvetin bu şekilde uygulanması, kopmanın doğal olarak dentin ve adeziv ara yüzeyine paralel gerçekleşmesini sağlayarak klinik şartlara daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlar (208).

### **2.5.2. Push-out Testi Sırasında Oluşan Başarısızlık Tipleri**

Bağlanma dayanımı sırasında oluşan başarısızlık tipleri adeziv, koheziv ve karışık olarak sınıflandırılmaktadır ve bu tipler mikroskop veya görsel sınıflandırma yöntemleriyle tespit edilmektedir. Koheziv başarısızlıklar, materyalin kendi iç yapısında meydana gelen ayrılmalar; adeziv başarısızlıklar, farklı materyaller arasındaki ayrılmalar; karışık başarısızlıklar ise her iki başarısızlık tipinin bir arada gözlemlendiği durumlardır. Koheziv başarısızlıklara kök kanal patının kendi içinde kopması, adeziv başarısızlıklara ise güta perka ile kök kanal patı arasındaki bağın kopması örnek olarak verilebilir (209, 210).

### 3. GEREÇ ve YÖNTEM

Mevcut çalışma için gerekli olan etik kurul onayı Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik ve Gözlemsel Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 16.10.2024 tarihinde ve 2-1 karar numaralı kararla alındı (Ek-1). Benzer metodolojik tasarıma sahip literatürdeki bir çalışma (211) temel alınarak örneklem büyüklüğü hesaplandı (G \* Power 3.1 Yazılımı, Heinrich Heine Üniversitesi, Düsseldorf, Almanya). Etki büyüklüğü 0,50 alfa hata %5 ve güç %95 (1-beta hata) kriterleri göz önüne alındığında deney grupları için her bir grupta örnek sayısı en az 16 diş olacak şekilde toplamda 80 adet diş kullanılmasının istatistiksel açıdan yeterli olduğu saptandı. Mevcut çalışmada her bir grup için 16 diş, toplamda 80 diş kullanıldı. Deneysel protokolün akışını özetleyen diyagram Şekil 3.1'de gösterildi.



### 3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Dişlerin çalışmaya dahil edilme riterleri; dahil edilme kriterleri; tek köklü ve tek kanallı, apikal oluşumunu tamamlamış, kök rezorpsiyonu bulunmayan, önceden kök kanal tedavisi uygulanmamış, kalsifikasyon bulunmayan, restorasyon bulunmayan, kök çürüğü bulunmayan, apikal çapı #20 K tipi eğeden küçük olan, Schneider'e (212) göre 10° ve daha küçük olduğu dişler çalışmaya dahil edildi.

Farklı açılardan alınan periapikal radyografiler ile mevcut çalışmada kullanılan örneklerin tek kanala sahip olduğu onaylandı. Mevcut çalışmaya kırık, çatlak ve kök obliterasyonu olan dişler dahil edilmedi.

Kriterlere uygun olan dişler üzerindeki yumuşak ve sert doku artıkları periodontal küret yardımıyla uzaklaştırıldı. Örnekler çalışma sürecine kadar distile su içinde, oda sıcaklığında saklandı.

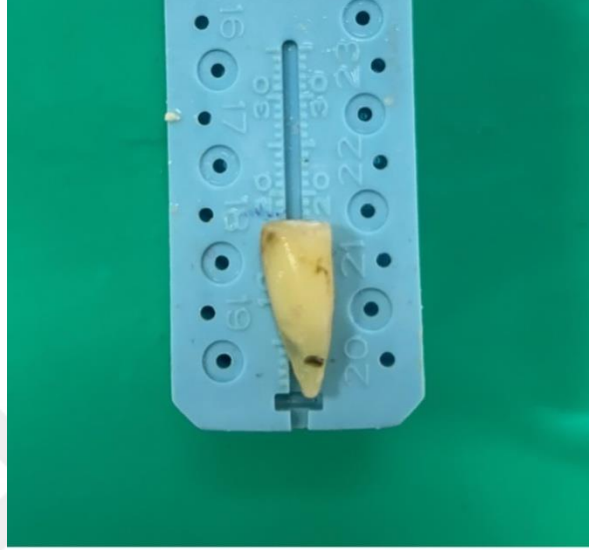
### 3.2. Kök Kanal Preparasyonu

Örneklerin uzunluklarını standardize etmek amacıyla, kronlar Şekil 3.2'deki gibi kök kanal uzunlukları  $18 \pm 1$  mm olacak şekilde elmas separe (Sunshine, Langenhageni Almanya) ile uzaklaştırıldı. Apikal açıklığın kontrolü için #10 K-tipi (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, İsviçre) eğe kullanıldı. Ardından ÇB anatomik apekten 1 mm kısa olacak şekilde belirlendi. Kullanılacak irigasyon ajanları için rezervuar alan oluşturmak amacıyla 5 numara Gates Glidden (Proud, Londra, İngiltere) frez ile dişin en koronali referans alınarak  $4 \pm 1$  mm uzunluğunda preparasyon yapıldı.

Örneklerin kök kanalları çalışma boyunda ProTaper Next (PTN) (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, İsviçre)döner eğe sisteminin X1 (17.04), X2 (25.06), X3 (30.07) eğeleri kullanılarak şekillendirildi. Şekillendirmede tork kontrollü bir endomotor (VDW, Münih, Almanya) eğeleri üreten firmanın önerdiği rpm ve tork değerlerine ayarlanarak kullanıldı. Her eğeden sonra 30G uç çapına sahip yandan delikli iğne (Cermaked, Stalowa Wola, Polonya) ÇB'den 1 mm geride 3-4 mm genlikte kullanılarak 2 ml %5 NaOCl (Microvem, İstanbul, Türkiye) ile irrige edildi. Apikal açıklık 10 K tipi eğe ile tekrar kontrol edildi.

Şekillendirmenin ardından smear tabakasının kaldırılması amacıyla final irrigasyonuna geçildi. Final irrigasyonunda sırasıyla 5 mL %5 NaOCl , 5 mL %17

EDTA (Werax, İzmir, Türkiye) ve 5 ml distile su kullanıldı. Kanallar son olarak X3 (30.07) boyutunda steril kağıt konlar (Pearl Dent, Ho Chi Minh City, Vietnam) ile kurulandı.



Şekil 3. 2. Örneklerin kök kanal uzunluğunun standardizasyonu

### 3.3. Kök Kanallarının Obturasyonu

Kök kanallarının şekillendirilmesinin, irrigasyonunun ve kurulanmasının ardından, kök kanallarına PTN Ni-Ti döner eğe sisteminin X3 egesine uygun olarak üretilmiş olan PTN X3 güta perka kon (Dentsply Maillefer) yerleştirilerek tug-back varlığı kontrol edildi. Kanal dolum patı (TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG)) (Şekil 3.3) kendi basınçlı enjektörü yardımıyla kök kanalı orta üçlüsünden kanal ağızlarından görülene kadar sıkıldı, güta perkaların apikalleri pata bulanarak kanal içlerine yerleştirildi. Tüm örnekler tek kon tekniğine uygun şekilde obture edildi. Kök kanalının koronalinde kalan güta perka ısıtılmış bir el aleti ile kesildi ve vertikal olarak kondanse edildi. Doldurulan edilen kök kanalları geçici dolgu maddesi (Cavit-G; 3M Espe, Seefeld, Almanya) ile kapatıldı.

Örneklerden alınan konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) ile obturasyonun homojen olup olmadığı kontrol edildi. Obturasyonu homojen olmayan örnekler

yenisiyle değiştirilip aynı prosedür uygulandı. Kök kanal patının tamamen sertleşmesi için tüm örnekler 14 gün boyunca 37 °C'de bekletildi.



Şekil 3. 3. Örneklerin obturasyonunda kullanılan TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG) kök kanal patı

### 3.4. RT Prosedürü

RT için önce geçici dolgu maddeleri uzaklaştırıldı. Kanallardaki güta perka ve patı uzaklaştırmak için ProTaper Universal Retreatment eğeleri (PTUR) (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanıldı. Kullanılan eğeler üreten firmanın önerdiği rpm ve tork değerlerinde tork kontrollü bir endomotor ile birlikte kullanıldı. Retreatment sırasında herhangi bir çözücü, solvent kullanılmadı. D1 (30.09) eğesi kökün koronal üçlüsündeki güta perka ve patı uzaklaştırmak için, D2 (25.08) eğesi kökün orta üçlüsündeki güta perka ve patı uzaklaştırmak için, D3 (20.07) eğesi ise kökün apikalindeki güta perka ve patı uzaklaştırmak için kullanıldı. D3 eğesinin ÇB'ye ulaşması hedeflendi. Tüm örneklerde PTN döner eğe sisteminin X4 eğesi üretici firma önerileri doğrultusunda apikal genişletme ve son şekillendirme için kullanıldı. Her eğe değişiminde 2 mL %5 NaOCl toplamda örnek başına 10 mL NaOCl kullanıldı. ÇB'ye ulaşamayan ve apikal açıklık sağlanamayan dişler için #10-K tipi eğe ile apikale ulaşmaya ve açıklık sağlanmaya çalışıldı. Tüm eğeler sadece bir örneği prepare etmek için kullanıldı. Apikale ulaşamayan apikal açıklık sağlanamayan dişler

çalışmadan çıkarılarak daha önceden aynı prosedürlere uyularak seçilmiş ve hazırlanmış dişler çalışmaya dahil edildi.

Mekanik preparasyon PTN X4 eğesi üzerinde herhangi bir dolgu maddesinin kalmaması ve sonrasında NaOCl ile yapılan irrigasyonda debris gözlemlenmemesi dikkate alınarak tamamlandı. Ardından final irrigasyon yönteminin belirlenmesi için örnek grupları oluşturma aşamasına geçildi.

### 3.5. Örnek Gruplarının Oluşturulması ve Final İrrigasyon Aktivasyon İşlemlerinin Uygulanması

Örnekler RT ardından final aktivasyon yöntemlerinin uygulanması için rastgele olarak ([www.random.org](http://www.random.org)) 5 deney grubuna ayrıldı ( $n=18$ ).

Sİİ: Kök kanallarının final irrigasyonu 3 döngü olarak yapıldı. 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi (Şekil 3.4) ÇB'den 1 mm kısa olarak kök kanalına yerleştirildi ve 3-4 mm genlikte irrigasyon yapıldı. Standardizasyonu sağlamak amacıyla irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığı 37 °C olacak şekilde vücut sıcaklığına uygun şekilde ayarlandı. İlk döngüde 6 mL %5 NaOCl, ikinci döngüde 6 mL %17 EDTA, üçüncü döngüde ise tekrar 6 mL %5 NaOCl kullanıldı. Son olarak 5 mL distile su ile final irrigasyonu tamamlandı.



Şekil 3. 4. Sİİ'de kullanılan 30 G uç çapına sahip yandan delikli iğne

EDDY: Kök kanallarının final irrigasyonu 3 döngü olarak yapıldı. Standardizasyonu sağlamak amacıyla irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığı 37 °C olacak şekilde vücut sıcaklığına uygun şekilde ayarlandı. 25.04 boyutunda polimer sonik uç (VDW) ve Sonicmax sonik cihaz (Maximum Dental Inc., Secaucus, NJ, ABD) kullanıldı (Şekil 3.5). İlk aktivasyon döngüsünde 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi ÇB'den 1 mm geriye yerleştirilerek 1 mL %5 NaOCl kanala uygulandı. Sonik cihaz 6000 Hz frekansa

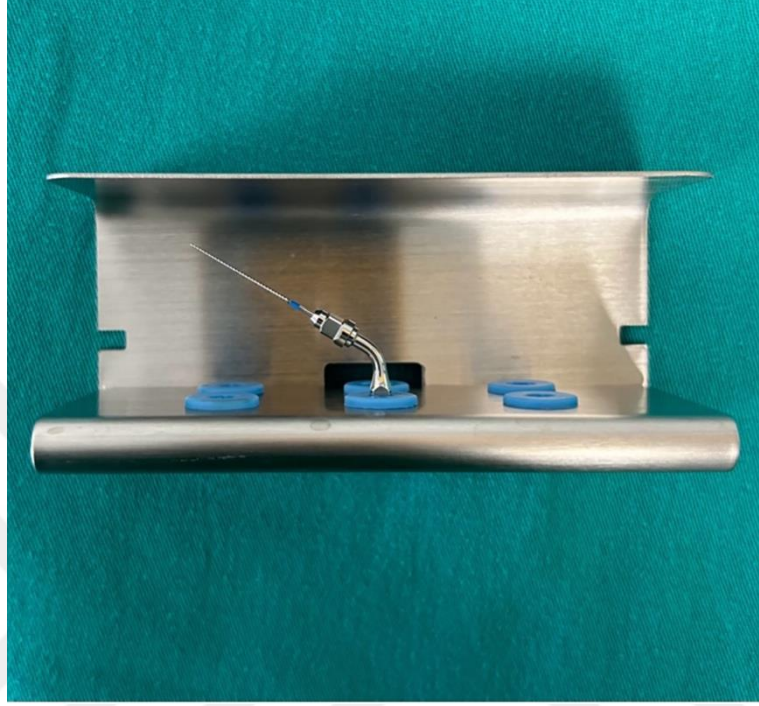
ayarlandı. EDDY sonik uç ÇB'den 1mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi ve 5 mm genlikte 30 sn aktivasyon işlemi yapıldı. Aktivasyonun ardından 5 mL %5 NaOCl ile irrigasyon yapıldı ve ilk aktivasyon döngüsü tamamlandı. İkinci aktivasyon döngüsünde NaOCl yerine %17 EDTA uygulanarak aynı prosedür tekrarlandı. Üçüncü döngüde ise birinci döngü tekrarlandı. Aktivasyon işlemlerinin ardından kanal 5 mL distile su ile irrigate edilerek final irrigasyonu tamamlandı.



Şekil 3. 5. Çalışmada kullanılan sonik cihaz ve EDDY

PUİ: Kök kanallarının final irrigasyonu 3 döngü olarak yapıldı. Standardizasyonu sağlamak amacıyla irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığı 37 °C olacak şekilde vücut sıcaklığına uygun şekilde ayarlandı. Satelec P5 Newtron XS ultrasonik cihaz (Satelec Acteon, Merignac, Fransa) ve #25 Irrisafe (Acteon) ultrasonik endodontik uç (Şekil 3.6) tüm döngülerde kullanılarak aktivasyon yapıldı. İlk döngüde 30 G uç çapında yandan delikli bir irrigasyon iğnesi ÇB'den 1 mm geriye yerleştirildi ve kök kanalına 1 mL %5 NaOCl uygulandı. Ardından ultrasonik cihaz 5 güç ayarında ayarlanarak endodontik uç ÇB'den 1 mm kısa olacak şekilde yerleştirildi. Endodontik uç kanal duvarlarına temas etmeyecek şekilde 30 sn boyunca aktivasyon işlemi yapıldı. Sonrasında 5 mL %5 NaOCl uygulanarak ilk aktivasyon döngüsü tamamlandı. İkinci döngüde NaOCl yerine %17 EDTA kullanılarak aynı prosedür tekrar edildi. Üçüncü

döngüde ise birinci döngü tekrarlandı. Bu işlemlerden sonra 5 mL distile su ile final irrigasyonu tamamlandı.



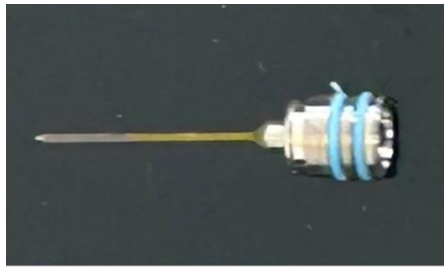
Şekil 3. 6. Çalışmada kullanılan ultrasonik endodontik uç

PIPS: Kök kanallarının final irrigasyonu 3 döngü olarak yapıldı. Standardizasyonu sağlamak amacıyla irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığı 37 °C olacak şekilde vücut sıcaklığına uygun şekilde ayarlandı. Bu grubun irrigasyon aktivasyonunda Fotona Light Walker (Fotona, Ljubljana, Slovenya): Er:YAG lazer cihazı ve 300 µm'lik fiber optik PIPS ucu (Radyal 400/14) (Fotona) (Şekil 3.7) kullanıldı. İlk aktivasyon döngüsünde 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi ÇB'den 1 mm geriye yerleştirilerek 1 mL %5 NaOCl kanala uygulandı. Uygulanan solüsyonun ardından fiber PIPS ucu kanalın hemen üstünde, rezervuar alanın merkezinde olacak şekilde yerleştirildi. Er:YAG lazer üretici talimatlarında belirtildiği gibi atım enerjisi 20 mJ, frekansı 15 Hz, cihaz gücü 0,30 W değerlerinde, SSP(Süper Kısa Atım) modunda hava-su soğutması kapalı şekilde, 30 sn çalıştırılarak aktivasyon yapıldı. Aktivasyonun ardından 5 mL %5 NaOCl ile kanal yıkandı ve ilk döngü tamamlanmış oldu. İkinci aktivasyon döngüsünde NaOCl yerine %17 EDTA uygulanarak aynı prosedür tekrarlandı. Üçüncü

döngüde ise birinci döngü tekrarlandı. Aktivasyon işlemlerinin ardından kök kanalı 5 mL distile su ile irrigate edilerek final irrigasyonu tamamlandı.



Şekil 3. 7. PIPS ve SWEEPS'te kullanılan Light Walker Er: YAG lazer



Şekil 3. 8. PIPS Radyal 400/14 ucu

SWEEPS: Kök kanallarının final irrigasyonu 3 döngü olarak yapıldı. Standardizasyonu sağlamak amacıyla irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığı 37 °C olacak şekilde vücut sıcaklığına uygun şekilde ayarlandı. Bu grubun irrigasyon aktivasyonunda Fotona Light Walker Er:YAG lazer cihazı, fiber optik SWEEPS ucu

(Radyal 600/9) (Fotona, Ljubljana, Slovenya) (Şekil 3.10.) ile kullanıldı. İlk aktivasyon döngüsünde 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 1 mm geriye yerleştirilerek, 1 mL %5 NaOCl kanala uygulandı. Uygulanan solüsyonun ardından fiber SWEEPS ucu kanalın hemen üstünde, rezervuar alanın merkezinde olacak şekilde yerleştirildi. Er: YAG lazer üretici talimatlarında belirtildiği gibi atım enerjisi 20 mJ, frekansı 15 Hz, cihaz gücü 0,60 W değerlerinde, oto-SWEEPS modunda, hava-su soğutması kapalı şekilde 30 sn çalıştırılarak aktivasyon yapıldı. Aktivasyonun ardından 5 mL %5 NaOCl ile kanal yıkandı ve ilk döngü tamamlanmış oldu. İkinci aktivasyon döngüsünde NaOCl yerine %17 EDTA uygulanarak aynı prosedür tekrarlandı. Üçüncü döngüde ise birinci döngü tekrarlandı. Aktivasyon işlemlerinin ardından kök kanalı 5 mL distile su ile irrigate edilerek final irrigasyonu tamamlandı.



**Şekil 3. 9.** Er: YAG lazer ile kullanılan SWEEPS ile final irrigasyon aktivasyon uygulaması

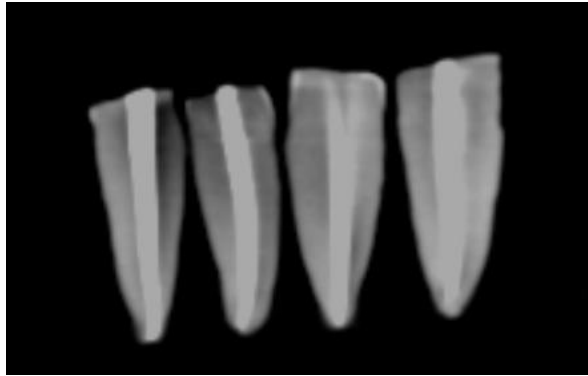


**Şekil 3. 10.** SWEEPS Radyal 600/9 ucu

### 3.6. Kök Kanallarının Yeniden Obturasyonu

Örneklerin final irrigasyon aktivasyonlarının tamamlanmasının ardından örnekler steril kağıt konlar yardımıyla kurulandı. Örneklerin kök kanallarına PTN X4 eğesine uygun PTN X4 güta perka yerleştirildi. Tug-back varlığı ve güta perkaların ÇB'ye ulaştığı doğrulandıktan sonra TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG) kanal patı kendi basınçlı enjektörü yardımıyla kanal ağzlarından görülene kadar kök kanallarına gönderildi. Ardından X4 güta perkalar pata bulanarak kök kanalına yerleştirildi. Kök kanalları tek kon obturasyon yöntemi ile dolduruldu. Kanal ağzının koronalinde kalan güta perkalar ısıtılmış bir el aleti yardımıyla kesildi ve vertikal olarak kondanse edildi. Doldurulan kök kanalları geçici dolgu maddesi (Cavit-G; 3M) ile kapatıldı.

Örneklerden alınan CBCT (Şekil 3.11) ile kök kanal obturasyonun homojen olup olmadığı kontrol edildi. Obturasyonu homojen olmayan örnekler yenisiyle değiştirilip aynı prosedür uygulandı. Kök kanal patının tamamen sertleşmesi için tüm örnekler 14 gün boyunca 37 °C'de bekletildi.



Şekil 3. 11. Örneklerden bazılarının obturasyon sonrası CBCT görüntüsü

### 3.7. Örneklerden Kesit Alınması

Her örneğin apikalinden koronaline doğru ölçüm yapılarak apikal, orta ve koronal üçlüyü temsilen sırasıyla; 2-3,5 mm, 5-6,5 mm ve 8-9,5 mm aralıklarından,  $1,5 \pm 0,1$  mm kalınlığında kesit alındı (Şekil 3.12). Bu kesitler kökün uzun aksına dik olarak, su

soğutması altında IsoMet cihazı (IsoMet5000, Buehler, IL, ABD) ve düşük hızda dönen 0,3 mm kalınlığında elmas diskler kullanılarak alındı. Örneklerden elde edilen 240 adet horizontal kesit kalınları, 0,001 mm hassasiyete sahip dijital bir kumpas (Gomax, Hong-Kong, Çin) kullanılarak kontrol edildi. Kesitler ilgili gruptaki diş ve ilgili diş bölgesine göre numaralandırıldı.

### 3.8. Push-out Testinin Uygulanması

Örneklerden alınan kesitler push-out testinin uygulanması için evrensel test cihazına (AGS-X, Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) apikal yüzeyleri yukarı bakacak şekilde yerleştirildi. Plungerların ucunun sadece kök kanal dolgu materyaline temas etmesine dikkat edildi. Her örnekten 3 kesit kullanıldı ve toplamda 240 değer elde edildi. Koronal, orta ve apikal üçlü için sırasıyla; 0,8 mm, 0,6 mm ve 0,4 mm kalınlığında paslanmaz çelik plungerlar kullanıldı. Test cihazı 1 mm/dk hızına ayarlandı ve kuvvet apikalden koronale doğru uygulandı (Şekil 3.13). Kök kanal dolgu materyalinin kök kanalından ayrıldığı maksimum kuvvet Nexygen veri analiz yazılımı (Lloyd Instruments Ltd, Largo, FL, ABD) kullanılarak Newton (N) biriminde kaydedildi (Şekil 3.14). Bağlanma dayanımı aşağıdaki formülü kullanarak Megapaskala (MPa) çevirildi.

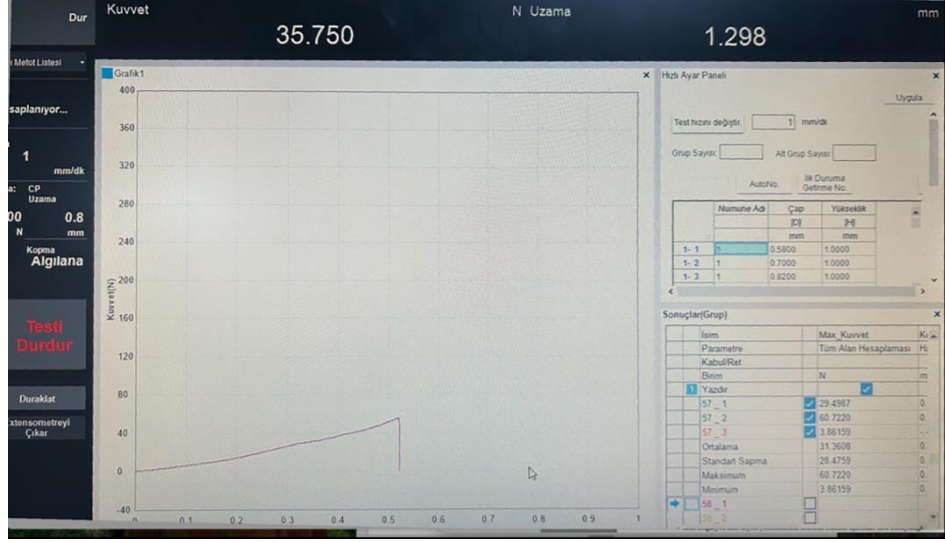
- Bağlanma dayanımı (MPa) =  $N / A$  ( $\text{mm}^2$ )
- N: Ölçülen maksimum kuvvet
- A: Kanal dolgu materyalinin bağlanma yüzey alanı [  $2\pi g (R1 + R2)$  ]
- $g^2: h^2 + (R2-R1) / 2$  ( $\text{mm}^2$ ) ( $\pi = 3,14$ )
- h: Örneklerin kalınlığı
- R1: Örneklerin apikal yüzey kanal çapı
- R2: Örneklerin koronal yüzey kanal çapı



Şekil 3. 12. Koronal, orta ve apikal bölgelerden elde edilen  $1,5 \pm 0,1$  mm kalınlığındaki kesitler



Şekil 3. 13. Bağlanma dayanımı testi için kullanılan evrensel test cihazı



Şekil 3. 14. Bağlanma dayanım verilerinin gösterildiği cihazın ekran görüntüsü

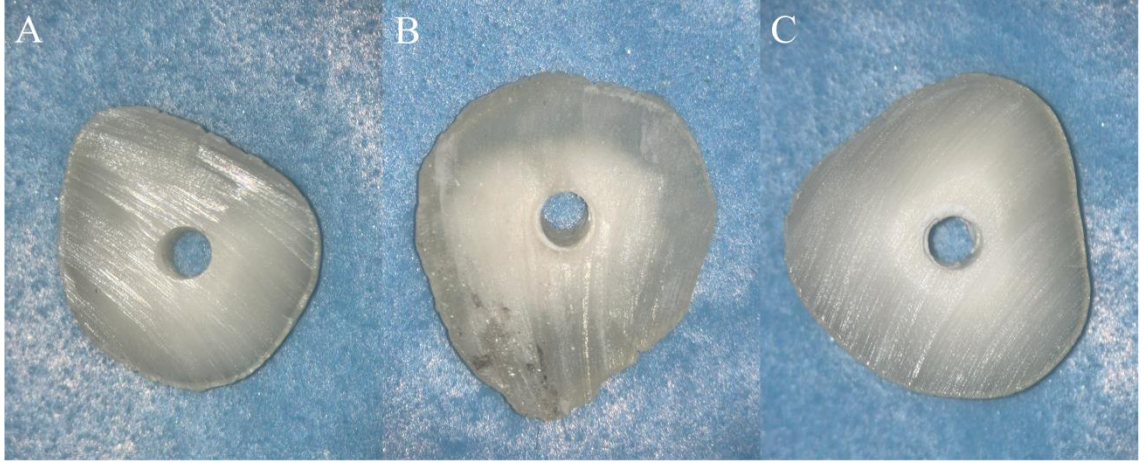
### 3.9. Başarısızlık Tiplerinin Analizi

Tüm örnekler push-out testi sonrası başarısızlık tiplerinin analizi için dental operasyon mikroskobu (Zumax OMS2380, Zumax Medical Co., Ltd., Suzhou, Çin) İE x20 büyütme altında incelenmiştir. İnceleme sırasında başarısızlık tipleri aşağıda belirtilen sınıflamaya göre kaydedilmiştir:

Koheziv tip başarısızlıklar materyalin kendi iç yapısında meydana gelen ayrılmalar;

Adeziv tip başarısızlıklar farklı materyaller arasındaki ayrılmalar;

Karışık tip başarısızlıklar ise her iki başarısızlık tipinin bir arada gözlemlendiği durumlardır (209, 210).



\*A: Adeziv tip başarısızlık, B: Koheziv tip başarısızlık, C: Karışık tip başarısızlık

Şekil 3. 15. Çalışmada değerlendirilen örneklerde gözlemlenen başarısızlık tiplerine ait görseller

### 3. 10. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics v20.0 (IBM Corp., ABD) ile gerçekleştirilmiştir. Verilerin dağılımı Shapiro-Wilk testi ile incelendi. Normalliğin sağlanamaması nedeniyle Kruskal-Wallis testi uygulandı. Anlamlı farklılık tespit edilen durumlarda, hangi gruplar veya kesitler arasında fark olduğunu belirlemek için Mann-Whitney U testi uygulandı. Başarısızlık tipleri Ki-kare testi ile analiz edildi. Anlamlılık düzeyi  $P < 0,05$  olarak belirlendi.

## 4. BULGULAR

Bu *in vitro* çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda RT sırasında rezidüel kök kanal dolgu maddesinin uzaklaştırılması için kullanılan Sİİ, EDDY, PUİ, PIPS ve SWEEPS final irrigasyon aktivasyon yöntemleri sonrası kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından farklılık oluşturmayacağına yönelik sıfır hipotezi reddedildi.

### 4.1. RT Sonrası Kök Kanal Patının Dentin Bağlanma Dayanım Bulguları

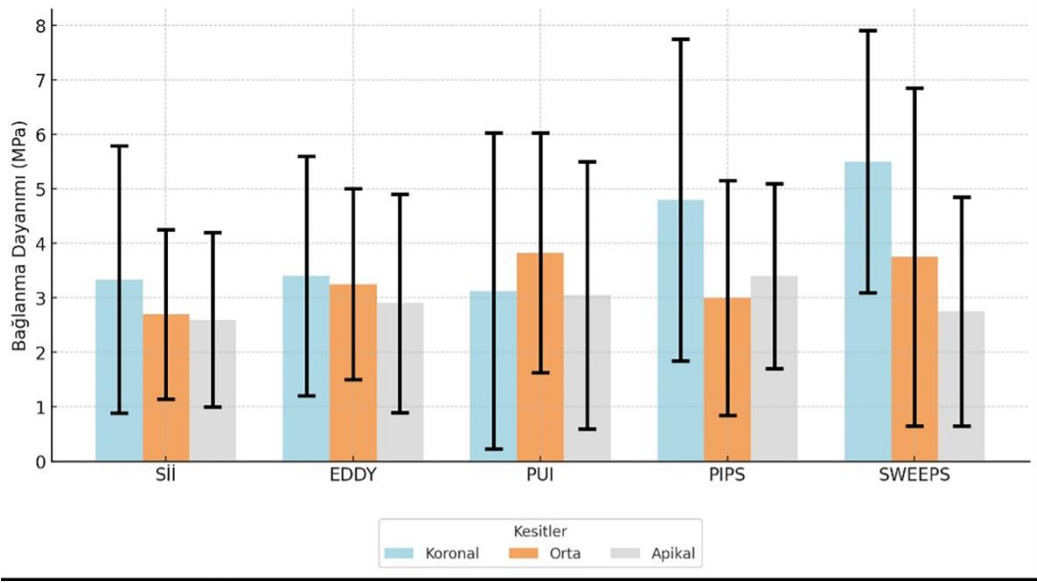
RT işleminin ardından koronal, orta ve apikal üçlüden alınan kesitlerde kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanma dayanımının ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterildi.

Gruplar arası yapılan değerlendirilmede;

Koronal kesitte SWEEPS'te kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı EDDY, Sİİ ve PUİ uygulanan örneklerde kıyasla istatistiksel açıdan anlamlı olarak daha yüksek bulundu ( $P < 0,05$ ). Koronal kesit için diğer gruplar arasında yapılan değerlendirmede, kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. Orta ve apikal kesitlerde kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı.

Grup içi yapılan değerlendirmede ise;

SWEEPS'te koronal kesitte, orta ve apikal kesitlere kıyasla radiküler dentine bağlanma dayanımı istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulundu ( $P < 0,05$ ). Sİİ, PUİ, EDDY ve PIPS uygulanan örneklerde kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımı açısından koronal, orta ve apikal kesitler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı.



Şekil 4. 1. RT sonrası kök kanal patının dentine bağlanma dayanımı (MPa; ortalama ± standart sapma)

Tablo 4. 1. RT sonrası kök kanal patının radiküler dentine bağlanma dayanımı (MPa; ortalama ± standart sapma)

	SII	EDDY	PUI	PIPS	SWEEPS
<b>KORONAL</b>	3.32 ± 2.47 <sup>Aa</sup>	3.39 ± 2.32 <sup>Aa</sup>	3.11 ± 2.92 <sup>Aa</sup>	4.80 ± 2.96 <sup>Aab</sup>	5.55 ± 2.34 <sup>Bb</sup>
<b>ORTA</b>	2.67 ± 1.56 <sup>Aa</sup>	3.22 ± 1.76 <sup>Aa</sup>	3.82 ± 2.18 <sup>Aa</sup>	3.03 ± 2.08 <sup>Aa</sup>	3.74 ± 3.23 <sup>Aa</sup>
<b>APIKAL</b>	2.60 ± 1.97 <sup>Aa</sup>	2.90 ± 2.00 <sup>Aa</sup>	3.04 ± 2.38 <sup>Aa</sup>	3.40 ± 2.10 <sup>Aa</sup>	2.77 ± 2.11 <sup>Aa</sup>

\*Satırlar arası istatistiksel farklar a, b; sütunlar arası fark ise A, B ile ifade edilmiştir.

#### 4.2. Push-out Testi Sonrası Başarısızlık Tiplerinin Bulguları

Mevcut çalışmada push-out testi sonrası karşılaşılan başarısızlık tiplerinin sayısal (n) ve yüzde (%) dağılımları Tablo 4.2 ve Şekil 4.2’de gösterildi.

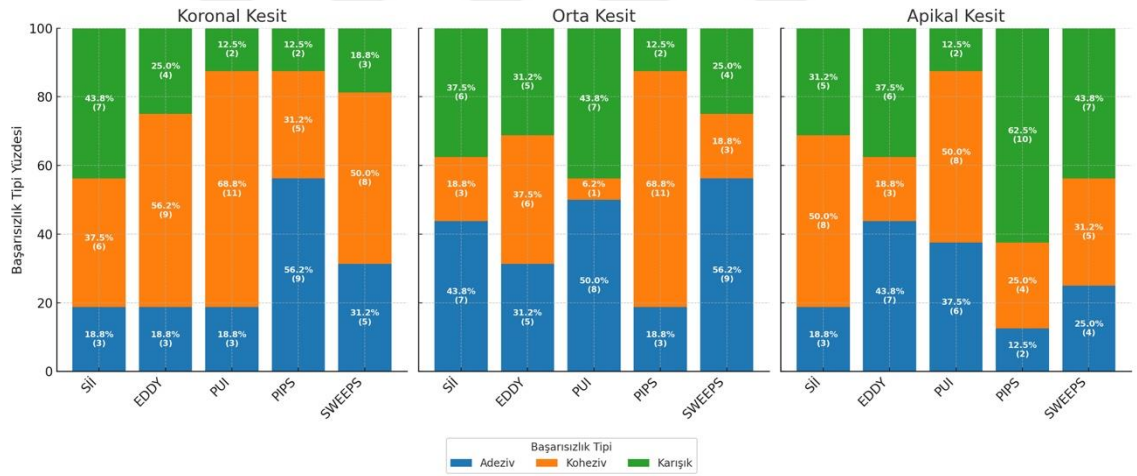
Push-out testi sonrasında oluşan başarısızlık tipleri incelendiğinde, tüm gruplarda en sık koheziv, en az ise karışık tip başarısızlık gözlenmiştir. Gruplar arası karşılaştırmada sadece koronal kesitte PUI’de koheziv başarısızlık tipi, PIPS’ta adeziv başarısızlık tipi diğer gruplara göre anlamlı düzeyde daha fazla bulundu

Grup içinde Sİİ, EDDY ve SWEEPS’de bütün kesitlerde başarısızlık tipi açısından anlamlı fark bulunmadı. PUI’de koronal kesitte, PIPS’de ise orta kesitte koheziv tip başarısızlık anlamlı olarak daha fazla bulundu ( $P < 0.05$ ).

**Tablo 4. 2.** Push-out testi sonrası oluşan başarısızlık tipleri ve yüzdeleri

Gruplar	Koronal			Orta			Apikal		
	K	A	M	K	A	M	K	A	M
Sİİ	6 (%37,5)	3 (%18,75)	7 (%43,75)	3 (%18,75)	7 (%43,75)	6 (%37,5)	8 (%50,0)	3 (%18,75)	5 (%31,25)
EDDY	9 (%56,25)	3 (%18,75)	2 (%12,5)	6 (%37,5)	5 (%31,25)	5 (%31,25)	3 (%18,75)	7 (%43,75)	6 (%37,5)
PUI	11 (%68,75)	3 (%18,75)	2 (%12,5)	1 (%6,25)	8 (%50,0)	7 (%43,75)	8 (%50,0)	6 (%37,5)	2 (%12,5)
PIPS	5 (%31,25)	9 (%56,25)	2 (%12,5)	11 (%68,75)	2 (%12,5)	3 (%18,75)	4 (%25,0)	2 (%12,5)	10 (%62,5)
SWEEPS	8 (%50,0)	5 (%31,25)	3 (%18,75)	3 (%18,75)	9 (%56,25)	4 (%25,0)	5 (%31,25)	4 (%25,0)	7 (%43,75)

\*K; Koheziv, A; Adeziv, M; Karışık



**Şekil 4. 2.** Push-out testi sonrası oluşan başarısızlık tipleri ve yüzdeleri

## 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut çalışmanın bulgularına göre, RT’de rezidüel kök kanal dolum maddesinin uzaklaştırılmasında kullanılan Sİİ, EDDY, PUI, PIPS ve SWEEPS final irrigasyon aktivasyon yöntemleri sonrasında, kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanma dayanımları arasında farklılıklar bulunduğundan çalışmanın sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Kök kanal tedavisi doğru şekilde uygulandığında klinik ve radyolojik açıdan yüksek başarı sağlayan etkili bir tedavi yöntemidir (213, 214). Ancak dişsel, bakteriyel veya sistemik faktörler tedavinin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olabilir ve kalıcı periapikal radyölüseni, şişlik ve ağrı gibi olumsuz klinik semptomlara neden olabilirler. Bu tür durumlarda ilk tercih cerrahi olmayan RT’dir (215, 216).

RT’nin amacı mevcut kök kanal dolgu materyalini tamamen uzaklaştırarak kanal içi dezenfeksiyonu sağlamak ve ardından kanalları hermetik bir şekilde yeniden obture etmektir. RT’nin hedefi patolojiye neden olan unsurları, kanal dolgu maddelerine gömülü nekrotik dokuları ve bakterileri ortadan kaldırmak, böylece sağlıklı bir periodontal ortamın oluşmasını desteklemektir (217-219). Kök kanal tedavisinde mekanik preparasyon sonrasında kanal yüzeyinin yaklaşık %35’lik bir kısmının dokunulmadan kalması, kimyasal debridmanı zorunlu hale getirmektedir (74, 220). Ancak, standart irrigasyon yöntemleri genellikle kök kanalının karmaşık bölgelerine ulaşmada yetersiz kalır (221). Bu dezavantajların üstesinden gelmek için rezidüel kök kanal dolgu materyallerinin ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonunu sağlayan çeşitli yöntemlerin kullanılması önerilmektedir (222). Literatürde hiçbir teknik veya enstrümantasyonun dolgu materyalini tamamen uzaklaştıramadığı bildirilmiştir. Bu durumun tedavi başarısını olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır (223-228). Özellikle oval şekilli kanallarda döner eğelerin ya da diğer enstrümanların ulaşamadığı noktalardan smear tabakası ve rezidüel kök kanal dolgu materyalinin uzaklaştırılması zor olmaktadır (223, 229). Bu çalışmada, RT sırasında rezidüel kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılması için farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanılmış ve yeniden obtürasyon sonrası kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı ile radiküler dentin arasındaki bağlanma

dayanımına etkileri değerlendirilmiştir. Bu sayede mevcut zorlukların aşılması hedeflenmiştir.

Kök kanal tedavisinde kemomekanik preparasyonun ardından hermetik bir obturasyon sağlamak için çeşitli dolum yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında tek kon (230), soğuk lateral kondansasyon (231), vertikal kondansasyon, taşıyıcılı dolum sistemleri (232) ve ısı ile aktive edilen (233) obturasyon sistemleri yer almaktadır. Tek kon tekniği uygulanabilirliğinin kolay olması, kök kanal dolgu maddesinin homojen bir şekilde dağılmasını sağlaması ve rotasyon hareketiyle çalışan ege sistemleriyle uyumlu kullanıldığında dolgu maddesi ile dentin duvarları arasında iyi bir adaptasyon elde edilmesine olanak tanınması gibi önemli avantajlara sahiptir (223). Ayrıca tek kon tekniğinde obturasyon sırasında fazla basınç uygulanmasına gerek duyulmaması, dentin çatlaklarının oluşma riskini azaltmaktadır (234). Bu nedenle mevcut çalışmada hem kök kanal tedavisi sırasında hem de RT sırasında tek kon tekniği kullanılmıştır.

Kök kanal tedavisinin obturasyon aşamasında sıklıkla kalsiyum silikat içerikli (235), epoksi rezin içerikli (200), çinko oksit ojenol içerikli (236) kök kanal patları kullanılmaktadır. Khoury ve ark. (200) kök kanal obturasyonunda kalsiyum silikat içerikli patların epoksi rezin içeriklilere göre daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte Kaplan ve ark. (237) kalsiyum silikat içerikli ve epoksi rezin içerikli kök kanal patlarının dentin tübül penetrasyonunda fark olmadığını bildirmiştir. Kalsiyum silikat içerikli kök kanal patları dentin yüzeyinde hidroksiapatit oluşumunu teşvik ederek hem kimyasal hem mekanik bağlanma sağlar. Ayrıca, düşük büzülme özellikleri ve boyutsal stabiliteye sahip olmaları uzun vadeli sızdırmazlık sağlar (235). Ozasir ve ark. (238) epoksi rezin içerikli patların, kalsiyum silikat içerikli patlara göre daha yüksek kök dentin tübül penetrasyonu gösterdiğini bildirmiştir. Ancak, epoksi rezin içerikli patlar kök kanal tedavisinde yüksek bağlanma dayanımı ve dentin tübüllerine penetrasyonunun yüksek olması gibi özelliklere sahip olsa da polimerizasyon sırasında büzülme stresine neden olması bağlanmasını olumsuz etkiler (235). Bu durum uzun vadede apikal tıkanmanın bozulmasına ve mikrosızıntılara neden olabilir. Ek olarak kalsiyum-silikat içerikli patlarla kıyaslandığında biyouyumluluğu daha düşüktür (235). Bu nedenle çalışmamızda kalsiyum silikat içerikli kök kanal patları tercih edilmiştir.

RT’de kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılmasında çeşitli aletler ve yöntemler tercih edilmektedir. Bu amaçla sıklıkla el eğeleri (15), döner eğeler (239), çözücüler (240) kullanılmaktadır. RT’de rezidüel kök kanal dolgu maddelerinin uzaklaştırılmasında kullanılan döner aletlerde kullanılan döner ege sistemine bağlı olarak rotasyon hareketi veya resiprokasyon hareketi tercih edilebilir. Çapar ve ark. (241) RT sırasında rotasyon hareketi yapan eğelerin yüksek kesme etkinliği sayesinde dolgu materyalini etkili bir şekilde uzaklaştırabildiğini ve apikal bölgede daha az rezidüel kök kanal dolgu materyali bıraktığını bildirmiştir. Bununla birlikte, Bürklein ve ark. (242) yaptıkları bir çalışmada resiprokasyon hareketi yapan ege sistemlerinin özellikle apikal bölgedeki dolgu maddesini sıkıştırarak ekstrüzyona neden olabileceği ve bu durumun uzaklaştırma etkinliğini sınırlayabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada kök kanal tedavisi sırasında ve RT’de rezidüel dolgu materyalini uzaklaştırmada rotasyon hareketiyle çalışan ege sistemleri tercih edilmiştir.

Literatürde push-out testi dentine uygulanan restoratif malzemelerin (243), intraradiküler postların (244), kök kanal dolgu materyallerinin (245) bağlanma dayanımını değerlendirmek için kullanılmıştır. Kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine olan bağlanma dayanımını değerlendiren çalışmalarda kökün koronal üçlüsü, orta üçlüsü ve apikal üçlüsü olmak üzere üç bölgeyi temsilen farklı kalınlıklarda dentin kesitleri hazırlanmıştır. Pane ve ark. 1 mm (246), Paulson ve ark. 1,5 mm (247), Nagas ve ark. 2 mm (248), Duran ve ark. 3 ve 5 mm (249) kalınlığında dentin kesitleri kullanmış olup, bu kesitler bağlanma dayanımındaki bölgesel farklılıkları değerlendirmek için kullanılmıştır. Koronal bölgede geniş çaplı kök kanalları bağlanma dayanımını artırırken, apikal bölgede dar çap ve sınırlı dentin yüzeyi nedeniyle dayanımın daha düşük olduğu bildirilmiştir (250). Kesit kalınlığı bağlanma dayanımını etkileyen önemli bir faktördür ve 1 mm’lik ince kesitler hassas ölçümler için, daha kalın kesitler ise artan sürtünme etkisiyle dayanımı değerlendirmek için tercih edilmiştir (251). Literatürde bazı araştırmacılar (247, 251) 1,5 mm veya daha ince kesitlerin kullanılmasını önermektedir. Bunun temel nedeni daha kalın kesitlerin artırılmış sürtünme alanı nedeniyle bağlanma dayanımını olduğundan daha yüksek ölçmesine yol açabilmesidir. Bununla birlikte kesitlerin 1,5 mm kalınlığında kullanılmasının avantajı bağlanma dayanımının sürtünme kuvvetinin daha az katkı sağladığı bir ortamda değerlendirilmesine ve materyal-dentin ara yüzündeki gerçek bağlanma dayanımını daha doğru bir şekilde ölçbilmesine olanak tanınmasıdır (252).

Martin ve ark. (253) daha kalın kesitlerde malzemenin homojen olmayan bir şekilde dağılabileceğini ve çatlakların bulunabileceği bölgelerin oluşabileceğini ve bu durumun sonuçların güvenilirliğini azaltabileceğini bildirmiştir. Buna karşın, Lamb ve ark. (252) 3-5 mm gibi daha kalın kesitlerin gerçek klinik durumları daha iyi temsil etme potansiyeline sahip olduğunu bildirmiştir. Ancak, kalınlık arttıkça malzeme içindeki boşluklar ve deformasyon bulunma ihtimali artar (252, 253). Bu nedenle mevcut çalışmada bu dezavantajların üstesinden gelmek için 1,5 mm kalınlığında dentin kesitleri test edilmiştir.

Push-out testinde piston hızı ve piston çapı test sonuçlarının doğruluğu ve tutarlılığı açısından önem taşır. Pane ve ark. (246) piston çapı kanal çapının %70-90'ı arasında olduğunda itme dayanımında anlamlı bir fark yaratmadığını ancak %55'in altındaki oranlarda dayanımın belirgin şekilde azaldığını rapor etmiştir. Benzer şekilde Nagas ve ark. (254) piston çapının büyümesini daha yüksek bağlanma dayanımı değerleri ile ilişkili bulmuştur. Chen ve ark. (255) ise yaptığı bir çalışmada piston ucunun çapının kök kanal dolgu maddesinin çapına yakın olduğu durumlarda kuvvetin dolgu materyali ile dentin ara yüzü yakınlarında yoğunlaştığı; bu nedenle piston ucu ile dolgu materyalinin çapı arasındaki oranın 0,85'ten daha küçük olması gerektiği bildirilmiştir. Mevcut çalışmada kullanılan piston uçlarının çapının kök kanal dolgu maddesinin çapına oranı 0,70 olarak belirlenmiştir.

Literatürde push-out testinde kullanılan piston hızları 0,5 mm/dk (246), 1 mm/dk (248) gibi farklı değerlerde tercih edilmektedir. Literatürde önerilen 1mm/dk hızı test sırasında kontrollü ve sabit bir yükleme sağlayarak bağlanma dayanımının güvenilir şekilde ölçülmesine olanak tanır ve mekanik gerilim kaynaklı hataları minimize eder (251, 256). Daha düşük bir hız (0,5 mm/dk) test süresini gereksiz yere uzatarak zamana bağlı deformasyon riskini artırabilirken (246), daha yüksek hızlar (2 mm/dk) materyal-dentin ara yüzünde ani stres birikimine yol açarak ölçüm sonuçlarında sapmalara neden olabilir (248, 257). Bu nedenle mevcut çalışmada piston ucu 1mm/dk hızda çalıştırılmıştır.

RT sırasında, rezidüel kök kanal dolgu maddesinin tamamen uzaklaştırılmasındaki yetersizlikler nedeniyle literatürde kullanılan irrigasyon aktivasyon yöntemleri arasında XP-Endo Finisher ile aktivasyon (258), sonik aktivasyon (259), ultrasonik aktivasyon (260), lazer ile aktivasyon (261) gibi teknikler yer almaktadır. Bununla

birlikte, mevcut literatürde RT sırasında Sİİ, PUİ, EDDY, PIPS ve SWEEPS gibi final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin etkinliğini, bağlanma dayanımına etkileri yönünden karşılaştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle mevcut çalışma sonuçlarından elde edilen bulgular önceki çalışmalarla doğrudan kıyaslanamamıştır. Sonuçlar RT yapılmayan, farklı final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalar (222, 262-265) karşılaştırmaya dahil edilerek tartışılmıştır. Bununla birlikte mevcut çalışma literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta ve tercih edilecek irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin belirlenmesine bilimsel katkı sağlamaktadır.

Mevcut çalışmada SWEEPS yöntemi koronal kesitte orta ve apikal kesitlere göre daha yüksek bağlanma dayanımı sergilemiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Lupita ve ark. (266) irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak post boşluğuna uyguladıkları SWEEPS'in, rezin siman ile simante edilen fiber postların, koronal kesitte daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, mevcut çalışmada test edilen diğer irrigasyon aktivasyon yöntemleri Sİİ, PUİ, EDDY ve PIPS arasında, kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanmasında koronal, orta ve apikal kesitler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Mevcut çalışmadan farklı olarak literatürde yapılan çalışmalarda (222, 262, 263, 265) kök kanal dolgu materyalinin koronal kesitte orta ve apikal kesitlere göre daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiği rapor edilmiştir. Akçay ve ark. (263) tek kanallı alt premolar dişlerde epoksi rezin içerikli kök kanal dolgu patı kullanarak kök kanal tedavisi yaptıkları çalışmada Sİİ, sonik aktivasyon, PUİ, PIPS aktivasyon yöntemlerinin kök kanal patınının radiküler dentine bağlanmasında koronal kesitte apikal kesite kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı rapor etmiştir. Ek olarak, Akyüz Ekim ve ark. (267) ise epoksi rezin içerikli kök kanal dolgu materyali kullanarak farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin fiber postların bağlanma dayanımına etkisini incelemiş ve Sİİ, PUİ, PIPS yöntemlerinin koronal bölgedeki bağlanma dayanımının apikal bölgeye kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda kullanılan değerlendirme yönteminin (örneğin, mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-CT), Taramalı elektron mikroskobu (TEM) veya skorlama sistemleri) hassasiyeti, numune sayısının istatistiksel güç üzerindeki etkisi ve irrigasyon solüsyonlarının konsantrasyonu ile uygulama sürelerinin standartlaştırılmış olması, farklı aktivasyon yöntemleri arasındaki potansiyel küçük farkların belirginleşmesini ve istatistiksel olarak anlamlı hale gelmesini engellemiş

olabilir. Ayrıca, Sfeir ve ark.(268) sonik aktivasyon kullanarak epoksi rezin ve kalsiyum silikat içerikli patlarla yapılan kök kanal obturasyonu sonrasında sonik aktivasyonun uygulandığı durumlarda apikal kesitte bağlanma dayanımının koronal kesite kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Mevcut çalışmada gruplar arasında yapılan karşılaştırmada tüm irrigasyon aktivasyon yöntemlerinde kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanmasında apikal ve orta kesitler arasında fark bulunamamış olup koronal kesitte SWEEPS'te Sİİ, EDDY ve PUİ'ye göre anlamlı derecede daha yüksek bir bağlanma değerine sahip olduğu bulunmuştur ancak PIPS'a göre anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yapılan kapsamlı literatür taramasında irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak SWEEPS kullanılan ve push-out testi yapılan yalnızca bir çalışmaya rastlanmıştır (266). Çalışmamıza benzer şekilde Lupita ve ark. (266) irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak SWEEPS'in koronal kesitte fiber postların bağlanma dayanımında daha yüksek bağlanma değerleri bildirmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak ise orta ve apikal kesitlerde de daha yüksek bağlanma dayanımı bildirmiştir. Koronal kesitte SWEEPS yönteminin diğer yöntemlere göre daha yüksek bağlanma dayanımı göstermesi, bu yöntemin koronal bölgede irrigasyon solüsyonunun daha iyi aktivasyonu ve dolayısıyla kök kanal dolgu maddesinin dentin yüzeyine daha iyi adaptasyonuna olanak sağladığını düşündürmektedir. Ayrıca, bu bulgu koronal bölgede daha geniş çaplı olan dentin tübüllerine irrigasyon solüsyonunun daha etkili dağılmasının bir sonucu olabilir (269, 270).

Mevcut çalışmada Sİİ, EDDY, PUİ ve PIPS'ta tüm kesitlerde kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentine bağlanma dayanımında fark bulunmamıştır. Çalışmamızdan farklı olarak literatürde, PUİ ve PIPS yöntemlerinin diğer yöntemlere kıyasla bağlanma dayanımında daha yüksek performans gösterdiği çalışmalara rastlanmıştır (222, 263, 267). Akcay ve ark. (263) tek kanallı alt premolar dişlerde, epoksi rezin içerikli kök kanal dolgu patı kullanarak yaptıkları kök kanal obturasyonunda, PIPS ve PUİ yöntemlerinin Sİİ ve sonik aktivasyona kıyasla tüm kesitlerde daha yüksek bağlanma dayanımı gösterdiğini bildirmiştir. Akyüz Ekim ve ark. (267) epoksi rezin içerikli kök kanal patını kullanarak farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, rezin siman kullanılara ksimate edilen fiber postların bağlanma dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada koronal kesitte bağlanma dayanımının

PIPS grubunda PUI ve SII'ye göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir (267). Ek olarak Abdelgawad ve ark. (222) epoksi rezin içerikli kök kanal patı kullanarak kanal tedavisi sırasında farklı final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin bağlanma dayanıma etkisini karşılaştırdıkları çalışmada PIPS yönteminin tüm kesitlerde SII'ye göre daha fazla bağlanma dayanımı gösterdiğini bildirmiştir. Bu farklılığın çalışmamızda RT uygulanmış örneklerin kullanılması ve kullanılan kök kanal patının içeriği gibi metodolojik değişkenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Literatürde kök kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonunun, bağlanma dayanımı ile pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (271, 272). Mevcut çalışmaya benzer olarak Coşkun Başoğlu ve ark. (28) alt çene premolar dişlerde, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden sonra kalsiyum silikat içerikli kök kanal patının dentin tübüllerine olan penetrasyonunda, SWEEPS'in PUI ve sonik aktivasyona kıyasla daha üstün performans gösterdiğini bildirmiştir. Koruk ve ark. (273) alt premolar dişlerde kullanılan farklı irrigasyon solüsyonlarının, çeşitli irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle birlikte uygulanmasının, kök kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve SWEEPS yönteminin sealer penetrasyonu açısından SII'ye göre daha yüksek etkinlik sağladığı rapor etmiştir. Mevcut çalışmadan farklı olarak Akcay ve ark. (270) alt çene premolar dişlerde, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle, kalsiyum silikat içerikli kök kanal patının, dentin tübüllerine olan penetrasyonunu incelemiş ve PIPS ve PUI yöntemlerinin SII'ye göre daha yüksek penetrasyon sağladığını rapor etmiştir. Ek olarak Kanmaz ve ark. (274) farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri ile kalsiyum hidroksit uzaklaştırmasının ardından yapılan kök kanal obturasyonunda, Endoaktivatör ve PIPS'in PUI ve SII'ye göre daha yüksek pat penetrasyonu gösterdiğini bildirmiştir.

Kök kanal dentininden daha iyi rezidüel madde uzaklaştırabilen irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle, kök kanal patının daha iyi penetre olabileceği kanal yüzeyi hazırlandığı düşünüldüğünden, literatürde bu konuda olan çalışmalar da mevcut çalışma sonuçlarıyla dolaylı olarak kıyaslanmıştır. Çalışmamıza benzer şekilde Zhang ve ark. (275) oval kanallı dişlerde, sıcak vertikal kompaksiyon yöntemi ve epoksi rezin içerikli kök kanal patı ile yaptıkları kök kanal obturasyonu sonrası, rezidüel kök kanal dolgu maddesinin uzaklaştırılmasında PIPS ve PUI arasında fark olmadığını rapor etmiştir. Özkan ve ark. (261) alt premolar dişlerde, epoksi rezin içerikli patlar ile kök kanal

obturyasyonu sonrası, rezidüel kök kanal dolgu maddesinin uzaklaştırma açısından PIPS ile Sİİ arasında bir fark olmadığını bildirmiştir. Benzer şekilde Sümbüllü ve ark. (276) alt premolar dişlerde, kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı ile kök kanal obturyasyonu sonrası, rezidüel kök kanal dolgu maddesinin uzaklaştırılmasında, koronal kesitte PUI ve EDDY arasında bir fark olmadığını bildirmiştir. Ek olarak, Baumeier ve ark. (277) alt çene molar dişlerin distal kanallarında, PUI ve sonik aktivasyon arasında rezidüel kök kanal dolgu maddesini uzaklaştırma açısından fark bulunmadığını rapor etmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak Petričević ve ark. (278) alt molar dişlerin distal kök kanallarının obturyasyonunda biyoseramik içerikli kök kanal patı kullandıkları çalışmada, rezidüel kök kanal dolgu maddesini uzaklaştırma etkinliğinde SWEEPS'in, ultrasonik irrigasyon ve Sİİ'den farklı olmadığını bildirmiştir. Bununla birlikte Petričević ve ark. (279) alt molar dişlerin mezio-bukkal kök kanallarında, kök kanal obturyasyonunda sıcak vertikal kompaksiyon yöntemi ile epoksi rezin içerikli kök kanal patı kullandıkları çalışmada, rezidüel kök kanal dolgu maddesini uzaklaştırma etkinliğinde, SWEEPS ve PUI arasında fark olmadığını bildirmiştir. Ek olarak, Çıkrık ve ark. (280) kök kanallarının obturyasyonunda biyoseramik içerikli kök kanal patı kullandıkları çalışmada, tüm kesitlerde PUI ve EDDY'nin, Sİİ'ye göre kök dentininden daha fazla rezidüel kök kanal dolgu maddesini uzaklaştırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte, Krishna Priya ve ark. (281) iki kanallı üst premolar dişlerde, termoplastik yöntem ile kalsiyum silikat içerikli pat kullanarak yaptıkları kök kanal obturyasyonu sonrası, PUI'nin EDDY'e göre daha fazla rezidüel kök kanal dolgu maddesini uzaklaştırdığını bildirmiştir. Çalışmalar arasındaki farklılıkların sebebi kullanılan irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin parametreleri, solüsyonun türü ve konsantrasyonu, kök kanal anatomisi, deneysel protokol ve kullanılan kök kanal maddeleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olabilir.

Mevcut çalışmada push-out testi sonrası örneklerdeki başarısızlık tipleri adeziv, koheziv ve karışık olarak değerlendirilmiştir. Kesitler arasında başarısızlık tipleri açısından bir farklılık bulunamamıştır ancak en baskın başarısızlık tipinin koheziv, en az görülen başarısızlık tipinin ise karışık tip olduğu bulunmuştur. Kapsamlı literatür taramasında irrigasyon aktivasyon yöntemlerini takiben gerçekleştirilen obturyasyonun ardından yapılan push-out testi sırasında oluşan başarısızlık tiplerinin değerlendirildiği sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır (263, 268). Bu nedenle mevcut çalışma sonuçları bu çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Çalışmamıza benzer olarak Sfeir ve ark. (268) tek

kanallı alt premolar dişlerde, farklı irrigasyon protokolleri sonrası, kök kanal obturasyonunda kullanılan kalsiyum silikat ve epoksi rezin içerikli patların radiküler dentine bağlanma dayanımına etkisini inceledikleri çalışmada, en baskın başarısızlık tipinin koheziv olduğunu rapor etmiştir. Ek olarak, Emekli ve ark. (282) tek kanallı alt premolar dişlerde, farklı irrigasyon solüsyonlarının, kalsiyum silikat ve epoksi rezin içerikli patların radiküler dentine olan bağlanma dayanımına etkisini değerlendirdikleri çalışmada, en baskın başarısızlık tipinin koheziv olduğunu bildirmiştir. Kalsiyum silikat içerikli kök kanal patlarıyla yapılan çalışmalarda çoğunlukla koheziv başarısızlık tipi görülmüş olup en az ise adeziv başarısızlık tipi görülmüştür (283-285). Mevcut çalışmanın aksine Mazzi-Chaves ve ark. (286) 3 farklı biyoseramik içerikli kök kanal patının bağlanma dayanımını kıyasladıkları çalışmada en baskın başarısızlık tipinin adeziv olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak Akçay ve ark. (263) tek kanallı alt premolar dişlerde kök kanal obturasyonunda epoksi rezin içerikli pat kullanarak yaptıkları çalışmada farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin bağlanma dayanımı üzerindeki etkilerini karşılaştırmış ve başarısızlık tipleri açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadığını bildirmiştir. Başarısızlık tipleri arasındaki farklılıkların push-out testi sırasındaki test hızına, numune kesit kalınlığı gibi parametrelere ve kullanılan kök kanal patının farklı olmasına bağlı olabileceğini düşünmekteyiz.

Mevcut çalışmada RT'de kullanılan farklı final irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin (Sİİ, PUİ, EDDY, PIPS, SWEEPS), kalsiyum silikat içerikli kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentine bağlanma dayanımı üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Bulgular, özellikle SWEEPS yönteminin koronal kesitte Sİİ, PUİ ve EDDY gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bağlanma dayanımı sağladığını göstermiştir. SWEEPS ve PIPS arasında ise koronal bölgede belirgin bir fark gözlenmemiştir. Diğer kesitlerde, yani orta ve apikal bölgelerde, gruplar arasında anlamlı bir fark ortaya çıkmamıştır. Bu durum, lazer destekli aktivasyon yöntemlerinin irrigasyon solüsyonlarının koronal bölgedeki etkinliğini artırarak dolgu maddesinin dentin ile daha güçlü bir şekilde bağlanmasını kolaylaştırdığını düşündürmektedir. Push-out testi sonrasında gözlemlenen başarısızlık tipleri incelendiğinde en sık koheziv kırıkların, en az ise karışık tip kırıkların görüldüğü belirlenmiştir. Özellikle SWEEPS uygulanan örneklerde, koronal bölgede yüksek bağlanma değerleri ile birlikte koheziv kırıkların ağırlıkta olması, bu yöntemin kanal duvarlarında bağlanma

açısından uygun bir yüzey hazırlığı sağladığını göstermektedir. Apikal kesitte gruplar arasında benzer bağlanma değerlerinin elde edilmesi ise bu bölgenin morfolojik yapısından kaynaklı irrigasyon etkinliğinin sınırlı kaldığını düşündürmektedir. Çalışmada kullanılan tek kon tekniği ile kalsiyum silikat içerikli pat kombinasyonu, hem işlem kolaylığı hem de uzun dönemli sızdırmazlık açısından etkili sonuçlar sunmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, irrigasyon aktivasyon teknikleri kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentin ile olan ilişkisini doğrudan etkilemektedir. Özellikle SWEEPS'in koronal kesitte sağladığı üstünlük, bu yöntemin RT işlemlerinde tercih edilebilirliğini desteklemektedir. Elde edilen bulgular irrigasyon protokolünün uygulama şekli ve yöntem seçiminin tedavi başarısı üzerinde belirleyici olabileceğini ortaya koymuştur.

Mevcut çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda özellikle koronal bölgede sağladığı yüksek bağlanma dayanımı ile SWEEPS yöntemi, RT uygulamalarında kullanılacak etkili bir irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak değerlendirilebilir. Ancak, orta ve apikal bölgelerde elde edilen benzer bağlanma değerleri bu alanlardaki anatomik kısıtlamalar nedeniyle irrigasyonun sınırlı kaldığını düşündürmektedir. Bu nedenle SWEEPS ve benzeri lazer destekli yöntemlerin farklı uygulama parametreleriyle optimize edilmesine yönelik yeni araştırmalar yapılması önerilmektedir. Ayrıca, mevcut çalışmanın sadece tek köklü ve tek kanallı dişlerle sınırlı kalması, farklı kök kanal morfolojilerine sahip dişlerde elde edilecek sonuçların farklı olabileceği ihtimalini doğurmaktadır. Bu nedenle, çeşitli anatomilere sahip dişlerde yapılacak araştırmalar yöntemin genellenebilirliğini artıracaktır. Çalışmada yalnızca kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı tercih edilmiştir. Farklı içeriğe sahip patlarla yapılacak benzer çalışmalar irrigasyon yöntemlerinin bağlanma dayanımı üzerindeki etkilerini daha bütüncül değerlendirmeye olanak sağlayacaktır. Kök kanal dolgu maddesinin radiküler dentin ile olan etkileşimini daha ayrıntılı inceleyebilmek adına, mikro-CT veya taramalı elektron mikroskobu (TEM) gibi ileri düzey görüntüleme teknikleriyle desteklenen analizlerin yapılması önerilmektedir. Ayrıca, irrigasyon solüsyonlarının konsantrasyonları ve uygulama sürelerinin değiştirilerek test edilmesi, bu solüsyonların etkinliğini daha net ortaya koyabilir. Push-out testi açısından değerlendirildiğinde piston çapı, uygulama hızı ve kesit kalınlığı gibi değişkenlerin etkileri de ilerleyen çalışmalarla araştırılmalıdır. Elde edilen verilerin klinik uygulamalara nasıl yansıdığını değerlendirebilmek için, *in vivo* koşullarda ya da

linik ortamda yapılacak randomize kontrollü çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Öte yandan push-out testi sonrası ortaya çıkan başarısızlık tiplerinin ayrıntılı şekilde analiz edilmesi yalnızca bağlanma dayanımı değil aynı zamanda kök kanal dolgu materyalinin radiküler dentin ile etkileşim şekli hakkında da daha fazla bilgi sağlayabilir. Gelecekteki çalışmalarda, yalnızca mekanik bağ değil; mikrosızıntı, biyouyumluluk ve uzun vadeli klinik başarı gibi parametrelerin de dikkate alınması irrigasyon aktivasyon tekniklerinin çok yönlü değerlendirilmesini mümkün kılacaktır.



## KAYNAKLAR

1. Rotstein I, Ingle JJ. Ingle's endodontics: PMPH USA; 2019.
2. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;85(1):86-93.
3. Salehrabi R, Rotstein I. Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod.* 2004;30(12):846-50.
4. Chen SC, Chueh LH, Hsiao CK, Tsai MY, Ho SC, Chiang CP. An epidemiologic study of tooth retention after nonsurgical endodontic treatment in a large population in Taiwan. *J Endod.* 2007;33(3):226-9.
5. Siqueira JF, Jr. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J.* 2001;34(1):1-10.
6. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *Eur J Dent.* 2016;10(1):144-7.
7. Nair PN, Sjögren U, Krey G, Kahnberg KE, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod.* 1990;16(12):580-8.
8. Chugal NM, Clive JM, Spångberg LS. Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96(1):81-90.
9. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *British dental journal.* 2014;216(6):299-303.
10. Friedman S, Stabholz A. Endodontic retreatment--case selection and technique. Part 1: Criteria for case selection. *J Endod.* 1986;12(1):28-33.
11. Van Nieuwenhuysen JP, Aouar M, D'Hoore W. Retreatment or radiographic monitoring in endodontics. *Int Endod J.* 1994;27(2):75-81.
12. Paik S, Sechrist C, Torabinejad M. Levels of evidence for the outcome of endodontic retreatment. *J Endod.* 2004;30(11):745-50.
13. Stabholz A, Friedman S. Endodontic retreatment--case selection and technique. Part 2: Treatment planning for retreatment. *J Endod.* 1988;14(12):607-14.
14. Hepworth MJ, Friedman S. Treatment outcome of surgical and non-surgical management of endodontic failures. *J Can Dent Assoc.* 1997;63(5):364-71.
15. Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod.* 2004;30(1):1-4.
16. Calt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod.* 1999;25(6):431-3.
17. Kim SK, Kim YO. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J.* 2002;35(7):623-8.

18. Yadav P, Bharath MJ, Sahadev CK, Makonahalli Ramachandra PK, Rao Y, Ali A, et al. An in vitro CT Comparison of Gutta-Percha Removal with Two Rotary Systems and Hedstrom Files. *Iran Endod J.* 2013;8(2):59-64.
19. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014;216(6):299-303.
20. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
21. Metzger Z, Solomonov M, Kfir A. The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics.* 2013;29(1):87-109.
22. Van der Sluis L, Versluis M, Wu M, Wesselink P. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International endodontic journal.* 2007;40(6):415-26.
23. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J.* 2017;50(10):976-82.
24. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A. Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *J Endod.* 2016;42(12):1799-803.
25. Stabholz A, Zeltser R, Sela M, Peretz B, Moshonov J, Ziskind D, et al. The use of lasers in dentistry: principles of operation and clinical applications. *Compend Contin Educ Dent.* 2003;24(12):935-48; quiz 49.
26. Arslan H, Akcay M, Capar ID, Saygili G, Gok T, Ertas H. An in vitro comparison of irrigation using photon-initiated photoacoustic streaming, ultrasonic, sonic and needle techniques in removing calcium hydroxide. *Int Endod J.* 2015;48(3):246-51.
27. Erdemir A, Ari H, Güngüneş H, Belli S. Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod.* 2004;30(2):113-6.
28. Coşkun Başoğlu E, Koçak S, Özdemir O, Koçak MM, Sağlam BC. Efficacy of various activation techniques on tubule penetration of resin-based and bioceramic root canal sealers: An in vitro confocal microscopy study. *Aust Endod J.* 2023;49 Suppl 1:381-9.
29. Balić M, Lucić R, Mehadžić K, Bago I, Anić I, Jakovljević S, et al. The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal *E. faecalis* biofilm. *Lasers Med Sci.* 2016;31(2):335-42.
30. Korkut E, Torlak E, Gezgin O, Özer H, Şener Y. Antibacterial and Smear Layer Removal Efficacy of Er:YAG Laser Irradiation by Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Primary Molar Root Canals: A Preliminary Study. *Photomed Laser Surg.* 2018;36(9):480-6.
31. de Mello Junior JE, Cunha RS, da Silveira Bueno CE, Zuolo ML. Retreatment efficacy of gutta-percha removal using a clinical microscope and ultrasonic instruments: part I—an ex vivo study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.* 2009;108(1):e59-e62.

32. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod.* 2001;27(1):1-6.
33. Carvalho MA, Lazari PC, Gresnigt M, Del Bel Cury AA, Magne P. Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach. *Braz Oral Res.* 2018;32(suppl 1):e74.
34. Neelakantan P, Romero M, Vera J, Daood U, Khan AU, Yan A, et al. Biofilms in Endodontics-Current Status and Future Directions. *Int J Mol Sci.* 2017;18(8).
35. Kayaoglu G, Ørstavik D. Virulence factors of *Enterococcus faecalis*: relationship to endodontic disease. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(5):308-20.
36. del Pozo JL, Patel R. The challenge of treating biofilm-associated bacterial infections. *Clin Pharmacol Ther.* 2007;82(2):204-9.
37. Siqueira JF, Jr., Rôças IN. Polymerase chain reaction detection of *Propionibacterium propionicus* and *Actinomyces radicidentis* in primary and persistent endodontic infections. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96(2):215-22.
38. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J.* 2022;55 Suppl 3(Suppl 3):588-612.
39. Celik D, Koca ATÖ, Koşar T, Taşdemir T. The effects of final irrigants on the push-out bond strength of two calcium silicate-based root canal sealers: an in vitro study. *European Oral Research.* 2021;55(3):146-51.
40. Donnermeyer D, Dornseifer P, Schäfer E, Dammaschke T. The push-out bond strength of calcium silicate-based endodontic sealers. *Head & face medicine.* 2018;14:1-7.
41. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *European journal of dentistry.* 2016;10(01):144-7.
42. Ashley M, Harris I. The assessment of the endodontically treated tooth. *Dental update.* 2001;28(5):247-52.
43. Brynolf I. A histological and roentgenological study of the periapical region of human upper incisors: Almquist & Wiksell; 1967.
44. Garg N, Garg A. *Textbook of endodontics*: Boydell & Brewer Ltd; 2010.
45. Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. *J Endod.* 1992;18(12):625-7.
46. Swartz DB, Skidmore AE, Griffin JA, Jr. Twenty years of endodontic success and failure. *J Endod.* 1983;9(5):198-202.
47. Crump MC. Differential diagnosis in endodontic failure. *Dent Clin North Am.* 1979;23(4):617-35.
48. Friedman S. Considerations and concepts of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endodontic Topics.* 2002;1(1):54-78.
49. Ruddle CJ. Nonsurgical endodontic retreatment. *Journal of the California Dental Association.* 1997;25(11):769-96.

50. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21(9):2681-7.
51. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J.* 2008;41(1):6-31.
52. Linu S, Lekshmi MS, Varunkumar VS, Sam Joseph VG. Treatment Outcome Following Direct Pulp Capping Using Bioceramic Materials in Mature Permanent Teeth with Carious Exposure: A Pilot Retrospective Study. *J Endod.* 2017;43(10):1635-9.
53. Hepworth MJ, Friedman S. Treatment outcome of surgical and non-surgical management of endodontic failures. *Journal (Canadian Dental Association).* 1997;63(5):364-71.
54. Kebke S, Fransson H, Brundin M, Mota de Almeida FJ. Tooth survival following root canal treatment by general dental practitioners in a Swedish county - a 10-year follow-up study of a historical cohort. *Int Endod J.* 2021;54(1):5-14.
55. Ruddle CJ. Nonsurgical endodontic retreatment. *J Calif Dent Assoc.* 2004;32(6):474-84.
56. Salehrabi R, Rotstein I. Epidemiologic evaluation of the outcomes of orthograde endodontic retreatment. *Journal of endodontics.* 2010;36(5):790-2.
57. Hülsmann M, Stotz S. Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J.* 1997;30(4):227-33.
58. Imura N, Kato AS, Hata GI, Uemura M, Toda T, Weine F. A comparison of the relative efficacies of four hand and rotary instrumentation techniques during endodontic retreatment. *Int Endod J.* 2000;33(4):361-6.
59. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E. Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod.* 2006;32(5):469-72.
60. Stock CJRN, Y.L. Root canal retreatment. In: Stock CJRG, K.; Walker, R.T, editor. *Endodontics.* 3rd ed. ed. London: Elsevier Limited; 2004. p. 269-78.
61. Torabinejad M, Anderson P, Bader J, Brown LJ, Chen LH, Goodacre CJ, et al. Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: a systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry.* 2007;98(4):285-311.
62. Torabinejad M, White SN. Endodontic treatment options after unsuccessful initial root canal treatment: Alternatives to single-tooth implants. *The Journal of the American Dental Association.* 2016;147(3):214-20.
63. Wong R. Conventional endodontic failure and retreatment. *Dental Clinics.* 2004;48(1):265-89.
64. Calişkan MK. Nonsurgical retreatment of teeth with periapical lesions previously managed by either endodontic or surgical intervention. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100(2):242-8.

65. Gutmann JL, Harrison JW. Posterior endodontic surgery: anatomical considerations and clinical techniques. *International Endodontic Journal*. 1985;18(1):8-34.
66. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *Journal of endodontics*. 2006;32(7):601-23.
67. Salehrabi R, Rotstein I. Epidemiologic evaluation of the outcomes of orthograde endodontic retreatment. *J Endod*. 2010;36(5):790-2.
68. Stueland H, Ørstavik D, Handal T. Treatment outcome of surgical and non-surgical endodontic retreatment of teeth with apical periodontitis. *International Endodontic Journal*. 2023;56(6):686-96.
69. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical oral investigations*. 2017;21:2681-7.
70. Roda RS, Gettleman BH. Nonsurgical Retreatment. *COHEN'S PATHWAYS of the PULP*. 10th ed: Elsevier; 2011. p. 890–952.
71. Rud J, Andreasen J, Jensen JM. Radiographic criteria for the assessment of healing after endodontic surgery. *International journal of oral surgery*. 1972;1(4):195-214.
72. Grung B, Molven O, Halse A. Periapical surgery in a Norwegian county hospital: follow-up findings of 477 teeth. *Journal of Endodontics*. 1990;16(9):411-7.
73. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):930-7.
74. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*. 2001;34(3):221-30.
75. Coelho BS, Amaral RO, Leonardi DP, Marques-da-Silva B, Silva-Sousa YT, Carvalho FM, et al. Performance of Three Single Instrument Systems in the Preparation of Long Oval Canals. *Braz Dent J*. 2016;27(2):217-22.
76. Perez Morales MLN, González Sánchez JA, Olivieri Fernández JG, Laperre K, Abella Sans F, Jaramillo DE, et al. TRUShape Versus XP-endo Shaper: A Micro-computed Tomographic Assessment and Comparative Study of the Shaping Ability- An In Vitro Study. *J Endod*. 2020;46(2):271-6.
77. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J*. 2010;43(1):2-15.
78. Orłowski NB, Schimdt TF, Teixeira CDS, Garcia L, Savaris JM, Tay FR, et al. Smear Layer Removal Using Passive Ultrasonic Irrigation and Different Concentrations of Sodium Hypochlorite. *J Endod*. 2020;46(11):1738-44.
79. Arslan D, Guneser MB, Dincer AN, Kustarci A, Er K, Siso SH. Comparison of Smear Layer Removal Ability of QMix with Different Activation Techniques. *J Endod*. 2016;42(8):1279-85.
80. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod*. 1987;13(4):147-57.

81. Mamootil K, Messer HH. Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *Int Endod J.* 2007;40(11):873-81.
82. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
83. Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod.* 1982;8(11):487-92.
84. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod.* 2002;28(1):17-9.
85. Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S. Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2009;35(11):1573-6.
86. Prado M, Gusman H, Gomes BP, Simão RA. Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod.* 2011;37(2):255-8.
87. Wright PP, Cooper C, Kahler B, Walsh LJ. From an assessment of multiple chelators, clodronate has potential for use in continuous chelation. *Int Endod J.* 2020;53(1):122-34.
88. Bodrumlu E, Parlak E, Bodrumlu EH. The effect of irrigation solutions on the apical sealing ability in different root canal sealers. *Braz Oral Res.* 2010;24(2):165-9.
89. Moura-Netto C, Palo RM, Camargo SE, Jent C, Leonardo Rde T, Marques MM. Influence of prior 810-nm-diode intracanal laser irradiation on hydrophilic resin-based sealer obturation. *Braz Oral Res.* 2012;26(4):323-9.
90. Kamaci A, Aydin B, Erdilek N. The effect of ultrasonically activated irrigation and laser based root canal irrigation methods on debris removal. *Int J Artif Organs.* 2017:0.
91. Svensäter G, Bergenholtz G. Biofilms in endodontic infections. *Endodontic topics.* 2004;9(1):27-36.
92. Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod.* 2010;36(9):1558-62.
93. Kanaan CG, Pelegrine RA, da Silveira Bueno CE, Shimabuko DM, Valamatos Pinto NM, Kato AS. Can Irrigant Agitation Lead to the Formation of a Smear Layer? *J Endod.* 2020;46(8):1120-4.
94. Boutsoukis C, Noula G, Lambrianidis T. Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *J Endod.* 2008;34(10):1239-42.
95. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod.* 2011;37(11):1547-9.
96. Tachinami H, Katsuumi I. Removal of root canal filling materials using Er:YAG laser irradiation. *Dent Mater J.* 2010;29(3):246-52.

97. Pirani C, Iacono F, Chersoni S, Sword J, Pashley DH, Tay FR, et al. The effect of ultrasonic removal of various root-end filling materials. *Int Endod J.* 2009;42(11):1015-25.
98. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2006;39(6):472-6.
99. Dutner J, Mines P, Anderson A. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *J Endod.* 2012;38(1):37-40.
100. de Gregorio C, Arias A, Navarrete N, Cisneros R, Cohenca N. Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists: A Web-based survey. *J Am Dent Assoc.* 2015;146(7):536-43.
101. Savani GM, Sabbah W, Sedgley CM, Whitten B. Current trends in endodontic treatment by general dental practitioners: report of a United States national survey. *J Endod.* 2014;40(5):618-24.
102. Willershausen I, Wolf TG, Schmidtman I, Berger C, Ehlers V, Willershausen B, et al. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *Int Endod J.* 2015;48(7):654-60.
103. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod.* 1995;21(5):277-80.
104. Boutsoukias C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010;36(5):875-9.
105. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J.* 2007;40(8):644-52.
106. Pereira TC, Boutsoukias C, Dijkstra RJB, Petridis X, Versluis M, de Andrade FB, et al. Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *Int Endod J.* 2021;54(3):427-38.
107. Psimma Z, Boutsoukias C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *J Endod.* 2013;39(4):521-4.
108. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983;9(11):475-9.
109. Cheung GS, Stock CJ. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *Int Endod J.* 1993;26(6):334-43.
110. Heard F, Walton RE. Scanning electron microscope study comparing four root canal preparation techniques in small curved canals. *Int Endod J.* 1997;30(5):323-31.
111. Langeland K, Liao K, Pascon EA. Work-saving devices in endodontics: efficacy of sonic and ultrasonic techniques. *J Endod.* 1985;11(11):499-510.
112. O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26(12):739-43.

113. Boutsoukis C, Gutierrez Nova P. Syringe Irrigation in Minimally Shaped Root Canals Using 3 Endodontic Needles: A Computational Fluid Dynamics Study. *J Endod.* 2021;47(9):1487-95.
114. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod.* 1983;9(4):137-42.
115. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod.* 1976;2(9):257-60.
116. Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J.* 2005;38(2):97-104.
117. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1977;44(2):306-12.
118. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982;54(3):323-8.
119. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J.* 2007;40(7):504-13.
120. Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP. Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *J Endod.* 2002;28(4):333-5.
121. Serper A, Ozbek M, Calt S. Accidental sodium hypochlorite-induced skin injury during endodontic treatment. *J Endod.* 2004;30(3):180-1.
122. Alaçam T. Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating systems. *Int Endod J.* 1987;20(6):287-94.
123. Cameron JA. Factors affecting the clinical efficiency of ultrasonic endodontics: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J.* 1995;28(1):47-53.
124. Gündüz H, Özlek E. The effects of laser and ultrasonic irrigation activation methods on smear and debris removal in traditional and conservative endodontic access cavities. *Lasers Med Sci.* 2023;38(1):148.
125. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LW. Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *J Endod.* 2010;36(1):143-6.
126. Macedo R, Verhaagen B, Rivas DF, Versluis M, Wesselink P, van der Sluis L. Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *J Endod.* 2014;40(4):580-3.
127. Hoedke D, Kaulika N, Dommisch H, Schlafer S, Shemesh H, Bitter K. Reduction of dual-species biofilm after sonic- or ultrasonic-activated irrigation protocols: A laboratory study. *Int Endod J.* 2021;54(12):2219-28.
128. Haapasalo M, Qian W, Shen Y. Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic Topics.* 2012;27(1):35-53.
129. Swimberghe RCD, De Clercq A, De Moor RJG, Meire MA. Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *Int Endod J.* 2019;52(4):515-23.

130. Swimberghe RCD, Coenye T, De Moor RJG, Meire MA. Biofilm model systems for root canal disinfection: a literature review. *Int Endod J.* 2019;52(5):604-28.
131. Linden D, Boone M, De Bruyne M, De Moor R, Versiani MA, Meire M. Adjunctive Steps for the Removal of Hard Tissue Debris from the Anatomic Complexities of the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars: A Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod.* 2020;46(10):1508-14.
132. MJ R. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent Med.* 1957;12:12-8.
133. Mozo S, Llana C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012;17(3):e512-6.
134. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 1999;25(11):735-8.
135. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40(6):415-26.
136. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Acoustic hypochlorite activation in simulated curved canals. *Journal of endodontics.* 2009;35(10):1408-11.
137. Boutsoukis C, Tzimpoulas N. Uncontrolled Removal of Dentin during In Vitro Ultrasonic Irrigant Activation. *J Endod.* 2016;42(2):289-93.
138. Boutsoukis C, Verhaagen B, Walmsley A, Versluis M, Van der Sluis L. Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International Endodontic Journal.* 2013;46(11):1046-55.
139. Kanaan CG, Pelegrine RA, da Silveira Bueno CE, Shimabuko DM, Pinto NMV, Kato AS. Can irrigant agitation lead to the formation of a smear layer? *Journal of endodontics.* 2020;46(8):1120-4.
140. Retsas A, Koursoumis A, Tzimpoulas N, Boutsoukis C. Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation in curved root canals. *Journal of endodontics.* 2016;42(10):1545-9.
141. Verhaagen B, Boutsoukis C, van der Sluis LW, Versluis M. Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *J Acoust Soc Am.* 2014;135(4):1717-30.
142. Retsas A, Boutsoukis C. An update on ultrasonic irrigant activation. *Endodontic Practice Today.* 2019;13(2).
143. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod.* 2005;31(9):669-71.
144. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, de Paz LEC, Boutsoukis C. Ultrasonic irrigant activation during root canal treatment: a systematic review. *Journal of endodontics.* 2019;45(1):31-44. e13.
145. Malki M, Verhaagen B, Jiang L-M, Nehme W, Naaman A, Versluis M, et al. Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight

and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *Journal of endodontics*. 2012;38(5):657-61.

146. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, van der Sluis LW. The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *J Endod*. 2011;37(5):688-92.

147. Ahmad M, Roy RA. Some observations on the breakage of ultrasonic files driven piezoelectrically. *Endod Dent Traumatol*. 1994;10(2):71-6.

148. Rhodes SC. Ultrasonic Device Complications in Endodontics: An Analysis of Adverse Events From the Food and Drug Administration Manufacturer and User Facility Device Experience. *J Patient Saf*. 2022;18(4):269-75.

149. Acteon-Satelec. User manual. 2018.

150. Retsas A, Dijkstra RJB, van der Sluis L, Boutsioukis C. The Effect of the Ultrasonic Irrigant Activation Protocol on the Removal of a Dual-species Biofilm from Artificial Lateral Canals. *J Endod*. 2022;48(6):775-80.

151. Saunders W, Whitters C, Strang R, Moseley H, Payne A, McGadey J. The effect of an Nd-YAG pulsed laser on the cleaning of the root canal and the formation of a fused apical plug. *International Endodontic Journal*. 1995;28(4):213-20.

152. Levy G. Cleaning and shaping the root canal with a Nd: YAG laser beam: a comparative study. *Journal of endodontics*. 1992;18(3):123-7.

153. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, et al. The bactericidal effect of Nd: YAG, Ho: YAG, and Er: YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison. *Journal of clinical laser medicine & surgery*. 1999;17(4):161-4.

154. Yasuda Y, Kawamorita T, Yamaguchi H, Saito T. Bactericidal effect of Nd: YAG and Er: YAG lasers in experimentally infected curved root canals. *Photomedicine and laser surgery*. 2010;28(S2):S-75-S-8.

155. Hardee MW, Miserendino LJ, Kos W, Walia H. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation. *Journal of endodontics*. 1994;20(8):377-80.

156. Meire MA, Bronzato JD, Bomfim RA, Gomes BP. Effectiveness of adjunct therapy for the treatment of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *International endodontic journal*. 2023;56:455-74.

157. Meire M, De Moor RJ. Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: A narrative review. *International Endodontic Journal*. 2024.

158. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci*. 2012;27(2):273-80.

159. Yang Q, Liu MW, Zhu LX, Peng B. Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *Int Endod J*. 2020;53(4):529-38.

160. Kosarieh E, Bolhari B, Sanjari Pirayvatlou S, Kharazifard MJ, Sattari Khavas S, Jafarnia S, et al. Effect of Er:YAG laser irradiation using SWEEPS and PIPS technique on dye penetration depth after root canal preparation. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2021;33:102136.

161. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Palazzi F. Recent Advances in Root Canal Disinfection: A Review. *Iran Endod J.* 2017;12(4):402-6.
162. Gregorcic P, Jezersek M, Mozina J. Optodynamic energy-conversion efficiency during an Er:YAG-laser-pulse delivery into a liquid through different fiber-tip geometries. *J Biomed Opt.* 2012;17(7):075006.
163. de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009;42(12):1077-83.
164. Mir M, Gutknecht N, Poprawe R, Vanweersch L, Lampert F. Visualising the procedures in the influence of water on the ablation of dental hard tissue with erbium: yttrium–aluminium–garnet and erbium, chromium: yttrium–scandium–gallium-garnet laser pulses. *Lasers in medical science.* 2009;24:365-74.
165. Loske AM, Prieto FE, Fernandez F, van Cauwelaert J. Tandem shock wave cavitation enhancement for extracorporeal lithotripsy. *Phys Med Biol.* 2002;47(22):3945-57.
166. Lukac N, Zadavec J, Gregorcic P, Lukac M, Jezeršek M. Wavelength dependence of photon-induced photoacoustic streaming technique for root canal irrigation. *J Biomed Opt.* 2016;21(7):75007.
167. De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJ. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *Int Endod J.* 2017;50(5):472-9.
168. Cheng X, Tian T, Tian Y, Xiang D, Qiu J, Liu X, et al. Erbium:Yttrium Aluminum Garnet Laser-Activated Sodium Hypochlorite Irrigation: A Promising Procedure for Minimally Invasive Endodontics. *Photomed Laser Surg.* 2017;35(12):695-701.
169. Verstraeten J, Jacquet W, De Moor RJG, Meire MA. Hard tissue debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. *Lasers Med Sci.* 2017;32(9):1965-70.
170. Virdee SS, Ravaghi V, Camilleri J, Cooper P, Tomson P. Current trends in endodontic irrigation amongst general dental practitioners and dental schools within the United Kingdom and Ireland: a cross-sectional survey. *Br Dent J.* 2020.
171. Adorno CG, Fretes VR, Ortiz CP, Mereles R, Sosa V, Yubero MF, et al. Comparison of two negative pressure systems and syringe irrigation for root canal irrigation: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2016;49(2):174-83.
172. Boutsoukis C, Psimma Z, van der Sluis LW. Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *Int Endod J.* 2013;46(7):599-618.
173. Zhang D, Shen Y, de la Fuente-Núñez C, Haapasalo M. In vitro evaluation by quantitative real-time PCR and culturing of the effectiveness of disinfection of multispecies biofilms in root canals by two irrigation systems. *Clin Oral Investig.* 2019;23(2):913-20.
174. Chan R, Versiani MA, Friedman S, Malkhassian G, Sousa-Neto MD, Leoni GB, et al. Efficacy of 3 Supplementary Irrigation Protocols in the Removal of Hard Tissue Debris from the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars. *J Endod.* 2019;45(7):923-9.

175. Molina B, Glickman G, Vandrangi P, Khakpour M. Evaluation of Root Canal Debridement of Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod.* 2015;41(10):1701-5.
176. Ordinola-Zapata R, Mansour D, Saavedra F, Staley C, Chen R, Fok AS. In vitro efficacy of a non-instrumentation technique to remove intracanal multispecies biofilm. *Int Endod J.* 2022;55(5):495-504.
177. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, Rassoulian SA. Healing of Periapical Lesions after Endodontic Treatment with the GentleWave Procedure: A Prospective Multicenter Clinical Study. *J Endod.* 2018;44(3):510-7.
178. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, Woo SM. 12-month Healing Rates after Endodontic Therapy Using the Novel GentleWave System: A Prospective Multicenter Clinical Study. *J Endod.* 2016;42(7):1040-8.
179. Machtou P. Manual dynamic activation (MDA). In: Basrani B, editor. *Endodontic irrigation: Chemical disinfection of the root canal system.* New York, NY, USA: Springer; 2015. p. 149–55.
180. Deleu E, Meire MA, De Moor RJ. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers Med Sci.* 2015;30(2):831-5.
181. Jiang LM, Lak B, Eijsvogels LM, Wesselink P, van der Sluis LW. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod.* 2012;38(6):838-41.
182. Passalidou S, Calberson F, De Bruyne M, De Moor R, Meire MA. Debris Removal from the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars with Laser-activated Irrigation. *J Endod.* 2018;44(11):1697-701.
183. Boutsoukis C, Psimma Z, Kastrinakis E. The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. *Int Endod J.* 2014;47(5):487-96.
184. Kenneth M. Hargreaves LHB, Idit Rotstein. *Cohen's Pathways of the Pulp.:* Elsevier.; 2022
185. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J.* 2020;39(5):703-20.
186. Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology.* 2019;107(4):421-36.
187. Johnson WT. Obturation of the cleaned and shaped root canal system. In: Karl K, editor. *Pathways of the Pulp.* St Louis: CV Mosby; 2006. p. 358-99.
188. Kenneth M. Hargreaves LHB, Idit Rotstein. *Cohen's Pathways of the Pulp.:* Elsevier; 2022. 313-8 p.
189. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater.* 2005;21(4):297-303.
190. Asgary S, Pariookh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. *J Mater Sci Mater Med.* 2006;17(2):187-91.

191. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36(1):16-27.
192. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19(11):541-4.
193. Darvell BW, Wu RC. "MTA"-an Hydraulic Silicate Cement: review update and setting reaction. *Dent Mater.* 2011;27(5):407-22.
194. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017;51(3 Suppl 1):S128-s37.
195. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. *CE article.* 2012;4:6-12.
196. Kebudi Benezra M, Schembri Wismayer P, Camilleri J. Influence of environment on testing of hydraulic sealers. *Scientific reports.* 2017;7(1):17927.
197. Prati C, Siboni F, Polimeni A, Bossu' M, Gandolfi MG. Use of calcium-containing endodontic sealers as apical barrier in fluid-contaminated wide-open apices. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials.* 2014;12(3):263-70.
198. Berzins DW. Chemical properties of MTA. *Mineral Trioxide Aggregate: Properties and Clinical Applications.* 2014:17-35.
199. Lim M, Jung C, Shin DH, Cho YB, Song M. Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restor Dent Endod.* 2020;45(3):e35.
200. Khoury S, Aranda-Verdú S, Casino-Alegre A, Rubio-Climent J, Cruz-Rodriguez JA, Pallarés-Sabater A. Comparison of the push-out bond strength of two hydraulic calcium silicate-based endodontic sealers and an epoxy resin-based sealer. *J Clin Exp Dent.* 2023;15(10):e804-e9.
201. Dem K, Wu Y, Kaminga AC, Dai Z, Cao X, Zhu B. The push out bond strength of polydimethylsiloxane endodontic sealers to dentin. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):181.
202. B. D. Kompozit rezin restorasyonlar: Güneş Kitabevi; 2000.
203. Alaçam T. *Endodonti.* Ankara: Özyurt Matbaacılık; 2012. p. 769-828.
204. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental materials.* 2010;26(2):e100-e21.
205. KUNT GE, ÇETİNER RB. Mekanik testler: bükülme dayanıklılığı ve ölçümü, sıkıştırma, germe, eğilme, bağlanma, çekme, itme, makaslama. *Türkiye Klinikleri Prosthodontics-Special Topics.* 2017;3(3):210-5.
206. Roydhouse RH. Punch-shear test for dental purposes. *Journal of dental research.* 1970;49(1):131-6.
207. Hamidreza Y, Shahriar S, Saeedeh G, Mohammad S, Maryam J. Effect of retreatment on the push-out bond strength of MTA-based and epoxy resin-based endodontic sealers. 2017.
208. Özcan E, Çetin AR, Tunçdemir AR, Ülker M. The effect of luting cement thicknesses on the push-out bond strength of the fiber posts. *Acta Odontologica Scandinavica.* 2013;71(3-4):703-9.

209. Elmas MSB, E. G.; İzgi, A. D. Diş hekimliğinde kullanılan bağlanma dayanımı test metotları. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2021;31(2):283-8.
210. Mohite P, Gupta D, Gupta R, Kamat S, Shaw AK. Assessment of the impact of XP-Endo Finisher file on push-out bond strength of various endodontic sealers. *J Conserv Dent Endod.* 2024;27(1):36-41.
211. Oliveira DS, Cardoso ML, Queiroz TF, Silva EJ, Souza EM, De-Deus G. Suboptimal push-out bond strengths of calcium silicate-based sealers. *Int Endod J.* 2016;49(8):796-801.
212. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-5.
213. Yılmaz K, Özyürek T, Uslu G. Effect of endodontic treatment and retreatment procedures on fracture strength of roots. 2019.
214. Friedman S, Stabholz A. Endodontic retreatment—case selection and technique. Part 1: criteria for case selection. *Journal of endodontics.* 1986;12(1):28-33.
215. Kang M, In Jung H, Song M, Kim SY, Kim H-C, Kim E. Outcome of nonsurgical retreatment and endodontic microsurgery: a meta-analysis. *Clinical oral investigations.* 2015;19:569-82.
216. Danin J, Strömberg T, Forsgren H, Linder LE, Ramsköld LO. Clinical management of nonhealing periradicular pathosis: surgery versus endodontic retreatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.* 1996;82(2):213-7.
217. Nair PN. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J.* 2006;39(4):249-81.
218. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277-88.
219. Wright CR, Glickman GN, Jalali P, Umorin M. Effectiveness of Gutta-percha/Sealer Removal during Retreatment of Extracted Human Molars Using the GentleWave System. *J Endod.* 2019;45(6):808-12.
220. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent.* 2010;13(4):256-64.
221. Natanasabapathy V, Durvasulu A, Krithikadatta J, Namasivayam A, Deivanayagam K, Manali S, et al. Current Trends in the Use of Irrigant Activation Techniques Among Endodontists & Post-Graduate Dental Students in India -A Knowledge, Attitude and Practice Based Survey. *Eur Endod J.* 2020;5(2):73-80.
222. Abdelgawad LM, ElShafei NAA, Eissa SA, Ibrahim DY. Efficacy of Photoinduced Photoacoustic Streaming and Diode Laser Irrigation Techniques on Smear Layer Removal, Sealer Penetration and Push-out Bond Strength. *J Lasers Med Sci.* 2022;13:e12.
223. Crozeta BM, Silva-Sousa YT, Leoni GB, Mazzi-Chaves JF, Fantinato T, Baratto-Filho F, et al. Micro-Computed Tomography Study of Filling Material

Removal from Oval-shaped Canals by Using Rotary, Reciprocating, and Adaptive Motion Systems. *J Endod.* 2016;42(5):793-7.

224. Alves FR, Marceliano-Alves MF, Sousa JC, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira JF, Jr. Removal of Root Canal Fillings in Curved Canals Using Either Reciprocating Single- or Rotary Multi-instrument Systems and a Supplementary Step with the XP-Endo Finisher. *J Endod.* 2016;42(7):1114-9.

225. Martins MP, Duarte MA, Cavenago BC, Kato AS, da Silveira Bueno CE. Effectiveness of the ProTaper Next and Reciproc Systems in Removing Root Canal Filling Material with Sonic or Ultrasonic Irrigation: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* 2017;43(3):467-71.

226. de Siqueira Zuolo A, Zuolo ML, da Silveira Bueno CE, Chu R, Cunha RS. Evaluation of the Efficacy of TRUShape and Reciproc File Systems in the Removal of Root Filling Material: An Ex Vivo Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod.* 2016;42(2):315-9.

227. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod.* 2017;42(1):19-26.

228. Akbulut MB, Akman M, Terlemez A, Magat G, Sener S, Shetty H. Efficacy of Twisted File Adaptive, Reciproc and ProTaper Universal Retreatment instruments for root-canal-filling removal: A cone-beam computed tomography study. *Dent Mater J.* 2016;35(1):126-31.

229. Jiang S, Zou T, Li D, Chang JW, Huang X, Zhang C. Effectiveness of Sonic, Ultrasonic, and Photon-Induced Photoacoustic Streaming Activation of NaOCl on Filling Material Removal Following Retreatment in Oval Canal Anatomy. *Photomed Laser Surg.* 2016;34(1):3-10.

230. de Figueiredo FED, Lima LF, Oliveira LS, Ribeiro MA, Correa MB, Brito-Junior M, et al. Effectiveness of a reciprocating single file, single cone endodontic treatment approach: a randomized controlled pragmatic clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2020;24(7):2247-57.

231. Pirani C, Camilleri J. Effectiveness of root canal filling materials and techniques for treatment of apical periodontitis: A systematic review. *Int Endod J.* 2023;56 Suppl 3:436-54.

232. Chu CH, Lo EC, Cheung GS. Outcome of root canal treatment using Thermafil and cold lateral condensation filling techniques. *Int Endod J.* 2005;38(3):179-85.

233. Kandemir Demirci G, Çalışkan MK. A Prospective Randomized Comparative Study of Cold Lateral Condensation Versus Core/Gutta-percha in Teeth with Periapical Lesions. *J Endod.* 2016;42(2):206-10.

234. Marashdeh MQ, Friedman S, Lévesque C, Finer Y. Esterases affect the physical properties of materials used to seal the endodontic space. *Dent Mater.* 2019;35(8):1065-72.

235. Carneiro SM, Sousa-Neto MD, Rached FA, Jr., Miranda CE, Silva SR, Silva-Sousa YT. Push-out strength of root fillings with or without thermomechanical compaction. *Int Endod J.* 2012;45(9):821-8.

236. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K. Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *Int Endod J*. 2011;44(12):1088-91.
237. Kaplan F, Erdemir A. Evaluating the effect of different irrigation activation techniques on the dentin tubules penetration of two different root canal sealers by laser scanning confocal microscopy. *Microsc Res Tech*. 2023;86(7):791-802.
238. Ozasir T, Eren B, Gulsahi K, Ungor M. The Effect of Different Final Irrigation Regimens on the Dentinal Tubule Penetration of Three Different Root Canal Sealers: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study In Vitro. *Scanning*. 2021;2021:8726388.
239. Davies A, Patel S, Foschi F, Andiappan M, Mitchell P, Mannocci F. The detection of periapical pathoses using digital periapical radiography and cone beam computed tomography in endodontically retreated teeth—part 2: a 1 year post-treatment follow-up. *International Endodontic Journal*. 2016;49(7):623-35.
240. Shah T, Ramesh S, Sugumaran S, Choudhari S. Endodontic retreatment efficacy with and without solvents: A systematic review. *J Conserv Dent Endod*. 2023;26(6):610-5.
241. Capar ID, Arslan H, Ertas H, Gök T, Saygılı G. Effectiveness of ProTaper Universal retreatment instruments used with rotary or reciprocating adaptive motion in the removal of root canal filling material. *Int Endod J*. 2015;48(1):79-83.
242. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod*. 2012;38(6):850-2.
243. Halkai RS, Gopinagaruri SP, Halkai KR, Hussain A, Rangappa J, Reshma SF. Evaluation of push-out bond strength of different concentrations of chitosan nanoparticles incorporated composite resin and eighth-generation bonding agent for class II restoration: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2022;25(6):666-71.
244. Novis RM, Leon B, França F, Turssi CP, Basting RT, Amaral F. Push-out Bond Strength of Two Fiber Posts in Composite Resin Using Different Types of Silanization. *Oper Dent*. 2022;47(2):173-82.
245. Kadić S, Baraba A, Miletić I, Ionescu A, Brambilla E, Ivanišević Malčić A, et al. Push-out bond strength of three different calcium silicate-based root-end filling materials after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Clin Oral Investig*. 2018;22(3):1559-65.
246. Pane ES, Palamara JE, Messer HH. Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. *J Endod*. 2013;39(5):669-73.
247. Paulson L, Ballal NV, Bhagat A. Effect of Root Dentin Conditioning on the Pushout Bond Strength of Biodentine. *J Endod*. 2018;44(7):1186-90.
248. Nagas E, Cehreli ZC, Durmaz V, Vallittu PK, Lassila LV. Regional push-out bond strength and coronal microleakage of Resilon after different light-curing methods. *J Endod*. 2007;33(12):1464-8.
249. Durán CR, Gancedo-Caravia DL, González VV, Losada CG. Push out bond strength of hydraulic cements used at different thicknesses. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):81.

250. Collares FM, Portella FF, Rodrigues SB, Celeste RK, Leitune VCB, Samuel SMW. The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: a meta-regression analysis. *Int Endod J.* 2016;49.
251. Collares FM, Portella FF, Rodrigues SB, Celeste RK, Leitune VCB, Samuel SMW. The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: a meta-regression analysis. *Int Endod J.* 2016;49(9):836-49.
252. Lamb EL, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(6):732-5.
253. Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, et al. Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *J Endod.* 2007;33(3):272-5.
254. Nagas E, Uyanik O, Durmaz V, Cehreli ZC. Effect of plunger diameter on the push-out bond values of different root filling materials. *Int Endod J.* 2011;44(10):950-5.
255. Chen WP, Chen YY, Huang SH, Lin CP. Limitations of push-out test in bond strength measurement. *J Endod.* 2013;39(2):283-7.
256. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci.* 2004;112(4):353-61.
257. Castellan CS, Santos-Filho PC, Soares PV, Soares CJ, Cardoso PE. Measuring bond strength between fiber post and root dentin: a comparison of different tests. *J Adhes Dent.* 2010;12(6):477-85.
258. Gunes B, Yeter KY, Altay Y. Impact of different activation procedures on sodium hypochlorite penetration into dentinal tubules after endodontic retreatment via confocal laser scanning microscopy. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):1103.
259. İnce-Yusufoğlu S, Keskin NB, Uslu G, Helvacioğlu-Yigit D. Effect of EDDY and manual dynamic activation techniques on postoperative pain in non-surgical retreatment: a randomized controlled trial. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):3.
260. da Silva Machado AP, Cândia Couto de Souza AC, Lima Gonçalves T, Franco Marques AA, da Fonseca Roberti Garcia L, Antunes Bortoluzzi E, et al. Does the ultrasonic activation of sealer hinder the root canal retreatment? *Clin Oral Investig.* 2021;25(7):4401-6.
261. Dönmez Özkan H, Kaval ME, Özkan G, Yiğit Özer S. Efficacy of Two Different Nickel-Titanium Rotary Systems in Retreatment Procedure With or Without Laser-Activated Irrigation: An In Vitro Study. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2019;37(8):495-9.
262. Bogari DF, Alessa M, Aljaber M, Alghamdi F, Alamoudi M, Alhamed M, et al. The Biological and Mechanical Effect of Using Different Irrigation Methods on the Bond Strength of Bioceramic Sealer to Root Dentin Walls. *Cureus.* 2022;14(4):e24022.

263. Akcay M, Arslan H, Mese M, Sahin NN. The effect of photon-initiated photoacoustic streaming, ultrasonically and sonically irrigation techniques on the push-out bond strength of a resin sealer to the root dentin. *Clin Oral Investig*. 2015;19(5):1055-61.
264. Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Demirbuga S, Dinçer AN, Arslan H. The effect of different final irrigant activation techniques on the bond strength of an epoxy resin-based endodontic sealer: a preliminary study. *J Endod*. 2014;40(6):862-6.
265. Wiese PEB, Silva-Sousa YT, Pereira RD, Estrela C, Domingues LM, Pécora JD, et al. Effect of ultrasonic and sonic activation of root canal sealers on the push-out bond strength and interfacial adaptation to root canal dentine. *Int Endod J*. 2018;51(1):102-11.
266. Lupita C, Bojoga DE, Del Vecchio A, Stoia DI, Grozav I, Miron MI, et al. Photon-Induced Photo-Acoustic Streaming vs. Shock Wave-Enhanced Emission Photo-Acoustic Streaming-The Effect of Three Final Irrigation Protocols on the Bond Strength of an Individually Formed Fiber Post. *Dent J (Basel)*. 2024;12(8).
267. Akyuz Ekim SN, Erdemir A. Effect of different irrigant activation protocols on push-out bond strength. *Lasers Med Sci*. 2015;30(8):2143-9.
268. Sfeir G, Bukiet F, Hage W, El Hachem R, Zogheib C. Impact of Final Irrigation Protocol on the Push-Out Bond Strength of Two Types of Endodontic Sealers. *Materials (Basel)*. 2023;16(5).
269. Generali L, Cavani F, Serena V, Pettenati C, Righi E, Bertoldi C. Effect of Different Irrigation Systems on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. *J Endod*. 2017;43(4):652-6.
270. Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID. Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med*. 2016;48(1):70-6.
271. Hadid GG, Ventura MA, Ramirez I, Assis HC, Camargo RV, Sousa-Neto MD, et al. Influence of Initial Root Canal Treatment on Intratubular Penetrability and Bond Strength of Nonsurgical Retreatment: An InVitro Study. *J Endod*. 2024;50(10):1495-504.
272. Merfea M, Cimpean SI, Chiorean RS, Antoniac A, Delean AG, Badea IC, et al. Comparative Assessment of Push-Out Bond Strength and Dentinal Tubule Penetration of Different Calcium-Silicate-Based Endodontic Sealers. *Dent J (Basel)*. 2024;12(12).
273. Koruk D, Basmacı F, Kırmızı D, Aksoy U. The Impact of Laser-Activated and Conventional Irrigation Techniques on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2022;40(8):565-72.
274. Kanmaz F, Altunbaş D. Evaluation of the effect of calcium hydroxide paste on sealer penetration into dentinal tubules by confocal laser scanning microscopy. *Aust Endod J*. 2022;48(1):82-90.
275. Zhang X, Li D, Yang M, Wang W, Yang F. Comparable Effectiveness of Photon-Induced Photoacoustic Streaming with XP-Endo Finisher and Passive Ultrasonic Irrigation on Removing Residual Root Canal Filling Materials from Oval Canals. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2023;41(6):291-6.

276. Sümbüllü M, Ali A, Büker M, Arslan H. The efficiency of different irrigation activation techniques in the removal of calcium silicate-based endodontic sealer from artificially created groove. *Aust Endod J.* 2023;49 Suppl 1:238-44.
277. Baumeier NC, Húngaro Duarte MA, Vivan RR, Lemos AC, Machado R, da Silva Neto UX. Passive ultrasonic irrigation, EndoActivator system and XP-endo Finisher R as additional cleaning techniques to remove residual filling materials from flattened root canals. *J Conserv Dent.* 2022;25(4):385-91.
278. Kapetanović Petričević G, Katić M, Brzović Rajić V, Anić I, Bago I. The Efficacy of Er:YAG Laser-Activated Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming Compared to Ultrasonically Activated Irrigation and Needle Irrigation in the Removal of Bioceramic Filling Remnants from Oval Root Canals-An Ex Vivo Study. *Bioengineering (Basel).* 2022;9(12).
279. Petričević GK, Katić M, Anić I, Salarić I, Vražić D, Bago I. Efficacy of different Er:YAG laser-activated photoacoustic streaming modes compared to passive ultrasonic irrigation in the retreatment of curved root canals. *Clin Oral Investig.* 2022;26(11):6773-81.
280. Cıkrık BN, İnce Yusufoglu S. Efficacy of irrigation activation methods in removal of bioceramic-based sealer in retreatment. *Odontology.* 2025.
281. N KP, R P, Ravindran S, John J, U S, Rahman F. In Vitro Cone Beam CT Analysis of the Efficacy of Three Supplementary Steps In the Removal of Obturation Material in Endodontic Retreatment. *Cureus.* 2024;16(6):e62285.
282. Emekli GE, Kaptan RF, Tanalp J. Evaluation of the effects of traditional irrigation solutions and etidronic acid on the bond strength of endodontic sealers. *BMC Oral Health.* 2025;25(1):364.
283. Agarwal S, Raghu R, Shetty A, Gautham PM, Souparnika DP. An in vitro comparative evaluation of the effect of three endodontic chelating agents (17% ethylenediamine tetraacetic acid, 1% peracetic acid, 0.2% chitosan) on the push out bond strength of gutta percha with a new bioceramic sealer (BioRoot RCS). *J Conserv Dent.* 2019;22(5):475-8.
284. Gokturk H, Ozkocak I. The effect of different chelators on the dislodgement resistance of MTA Repair HP, MTA Angelus, and MTA Flow. *Odontology.* 2022;110(1):20-6.
285. Donnermeyer D, Dornseifer P, Schäfer E, Dammaschke T. The push-out bond strength of calcium silicate-based endodontic sealers. *Head Face Med.* 2018;14(1):13.
286. Creazzo G, de Barros Ciribelli Alves BM, de Assis HC, Villamayor KGG, de Sousa-Neto MD, Mazzi-Chaves JF, et al. Bond Strength and Adhesive Interface Quality of New Pre-Mixed Bioceramic Root Canal Sealer. *Microsc Res Tech.* 2025.
287. Usta SN, Erdem BA, Gündoğar M. Comparison of the removal of intracanal medicaments used in regenerative endodontics from root canal system using needle, ultrasonic, sonic, and laser-activated irrigation systems. *Lasers Med Sci.* 2024;39(1):27.

## EKLER

### Ek-1. Etik Kurul Kararı



T.C.  
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK VE GÖZLEMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	
	AÇIK ADRESİ:	
	TELEFON	
	FAKS	
	E-POSTA	

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI	Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Yenilenen ve İlk Kök Kanal Tedavisinde Farklı İrrigasyon Aktivasyon Yöntemlerinin Biyoseramik Kök Kanal Dolgu Materyalinin Bağlanma Dayanımına Etkisi
DESTEKLEYİCİ	

KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 2-1	Tarih: 16/10/2024
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.	

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

<b>Adı</b>	Berat Akın	<b>Uyruğu</b>	
<b>Soyadı</b>	ERDEM	<b>Tel no</b>	
<b>Doğum tarihi</b>		<b>e-posta</b>	

### Eğitim Bilgileri

	<b>Mezun olduğu kurum</b>	<b>Mezuniyet yılı</b>
<b>Lise</b>		
<b>Lisan/Yüksek Lisans</b>		

### İş Deneyimi

<b>Görevi</b>	<b>Kurum</b>	<b>Süre(yıl-yıl)</b>
Diş Hekimi		

<b>Yabancı Dilleri</b>	<b>Sınav Türü</b>	<b>Puanı</b>
İngilizce	Tıp-Dil	56

### Yayınları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

-Usta SN, Erdem BA, Gündoğar M. Comparison of the removal of intracanal medicaments used in regenerative endodontics from root canal system using needle, ultrasonic, sonic, and laser-activated irrigation systems. Lasers Med Sci. 2024;39(1):27.(287).