T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN BİYOSERAMİK ESASLI KÖK KANAL DOLGU PATININ DENTİN TÜBÜL PENETRASYONU VE PUSH OUT BAĞLANMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

Dt. Ayşenur KILIÇOĞLU

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr Melek AKMAN

KONYA-2025

T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN BİYOSERAMİK ESASLI KÖK KANAL DOLGU PATININ DENTİN TÜBÜL PENETRASYONU VE PUSH OUT BAĞLANMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

Dt. Ayşenur KILIÇOĞLU

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Melek AKMAN

Bu araştırma projesi Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 24DU24008 proje numarası ile desteklenmiştir.

KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI.....iv

APPROVAL.....v

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ.....vi

BENZERLİK vi

TEŞEKKÜR..... viii

TABLOLAR DİZİNİ.....ix

ŞEKİLLER DİZİNİ.....ix

RESİMLER DİZİNİ.....x

SİMGELER ve KISALTMALAR.....xi

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1. GİRİŞ VE AMAÇ 1

2. GENEL BİLGİLER.....4

2.1. Kök Kanal İrrigasyonu..... 4

2.1.1 NaOCl..... 5

2.1.2.EDTA..... 5

2.1.3. İrrigantlarda Aranan Özellikler..... 6

2.2. Kök Kanal İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri..... 6

2.2.1.Manuel Aktivasyon Yöntemleri..... 9

2.2.1.1. Geleneksel İrrigasyon Aktivasyon 9

2.2.1.2.Manuel Dinamik İrrigasyon Aktivasyon 10

2.2.1.3. Fırça ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon..... 11

2.2.2.Mekanik Aktivasyon Yöntemleri..... 11

2.2.2.1.Döner Başlıklarla Beraber Kullanılan Aletler..... 11

2.2.2.2.Eğeleme Sırasında Yapılan Sürekli İrrigasyon Aktivasyon..... 12

2.2.2.3.Sonik Sistem ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon 13

2.2.2.4.Ultrasonik İrrigasyon Aktivasyon..... 14

2.2.2.5.Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri..... 15

2.2.2.6.Döner Alet Eğeleriyle Yapılan İrrigasyon Aktivasyon..... 18

2.2.2.7.Lazerle İrrigasyon Aktivasyon..... 18

2.2.2.7.1.Lazer Aktivasyon Teknikleri..... 19

2.2.2.8.Multisonik Sistemler ile İrrigasyon Aktivasyon 20
2.3. Kök Kanallarının Doldurulması 20
2.3.1. Kök Kanal Dolgu Patları 22
2.3.1.1.Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patları 22
2.4. Smear Tabakası ve Kök Kanal Dolgu Patlarının Dentin Tübül Penetrasyonuna Etkisi . 23
2.5. Dentin Tübül Penetrasyon Değerlendirme Yöntemleri 23
2.5.1.Konfokal Lazer Taramalı Mikroskopi (KLSM) 24
2.5.2.Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) 25
2.5.3.Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (Micro-CT) 25
2.5.4.Boyama Teknikleri ve Işık Mikroskobu 26
2.6. Push out Bağlanma Dayanımı (POBS) 26
3. GEREÇ VE YÖNTEM 28
3.1. Etik Kurul Onayı 28
3.2. Power Analizi 28
3.3.Örnek Seçimi 28
3.4. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi 30
3.5. İrrigasyon Solüsyonlarının Final İrrigasyon Aktivasyon Protokolü 31
3.5.1. Manuel İrrigasyon 31
3.5.2. Pasif Ultrasonik Aktivasyon 32
3.5.4. XPFR ile Aktivasyon 33
3.6. Kök Kanallarının Doldurulması 34
3.7. Örneklerden Kesit Alınması 36
3.8. Örneklerin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskobu ile İncelenmesi ve Penetrasyon Değerlerinin Ölçülmesi 37
3.9. Örneklere Push Out Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması 40
3.10. İstatistiksel Analiz 42
4. BULGULAR 43
4.1. Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonuna Ait Bulgular 43
4.1.1. Dentin Tübül Penetrasyon Derinliği 45
4.1.2.Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesi 47
4.1.3. Dentin Tübül Penetrasyon Alanı 49
4.1.4. Kanal Patının Push Out Bağlanma Dayanımı 50

5. TARTIŞMA 54

6. SONUÇ.....68

7. KAYNAKÇA.....71

TEZ ONAY SAYFASI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Uzmanlık Öğrencisi Ayşenur KILIÇOĞLU 'nun "Farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin biyoseramik esaslı kök kanal dolgu patının dentin tübül penetrasyonu ve push out bağlanma dayanımı üzerine etkisinin incelenmesi" başlıklı tezi tarafımdan incelenmiş; amaç, kapsam ve kalite yönünden Diş Hekimliğinde Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Konya, TÜRKİYE Ağustos 2025

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Melek AKMAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Sema BELLİ

Selçuk Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğrt. Üyesi. Şeref Nur MUTLU

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Yukarıdaki tez, Necmettin Erbakan Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı tarafından

…….. tarihinde onaylanmıştır.

Dekan

Prof. Dr. Ali Rıza TUNÇDEMİR

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

APPROVAL

We certify that we have read this dissertation entitled “The Investigation of the Effects of Different Irrigation Activation Systems on the Dentin Tubule Penetration and Push-Out Bond Strength of Bioceramic-Based Root Canal Sealer” by “Ayşenur KILIÇOĞLU” that in our opinion it is fully adequate, in scope and quality, as dissertation for the degree of Specialization Thesis in the Department of Endodontics Dentistry, Faculty of Dentistry, University of Necmettin Erbakan.

Konya, TÜRKİYE / August 2025

Principal Advisor

Prof. Melek AKMAN

Necmettin Erbakan University

Faculty of Dentistry

Examination Committee Member

Prof. Sema BELLİ

Selçuk University

Faculty of Dentistry

Examination Committee Member

Assistant. Prof. Şeref Nur MUTLU

Necmettin Erbakan University

Faculty of Dentistry

The thesis above was approved by the Dean of the Faculty of Dentistry of Necmettin Erbakan University on .....

Dean

Prof. Ali Rıza TUNÇDEMİR

Necmettin Erbakan University

Faculty of Dentistry

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

“Farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin biyoseramik esaslı kök kanal dolgu patının dentin tübül penetrasyonu ve push out bağlanma dayanımı üzerine etkisinin incelenmesi” adlı tez çalışmamın planlanmasından yazımına kadar tüm aşamalarında etik kurallara uygun hareket ettiğimi ve etik dışı herhangi bir davranışta bulunmadığımı beyan ederim. Çalışma sürecinde elde edilen tüm bilgi ve verileri akademik ilkelere sadık kalarak edindiğimi, tez çalışması kapsamında elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara usulüne uygun olarak atıfta bulunduğumu ve bu kaynakları kaynakça bölümünde eksiksiz şekilde sunduğumu belirtirim. Ayrıca, bu çalışma sırasında patent ve telif haklarına ilişkin herhangi bir ihlalde bulunmadığımı taahhüt ederim.

.. / 08 / 2025

Ayşenur KILIÇOĞLU

İmza

BENZERLİK



Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Dolgu Patının Dentin Tübül Penetrasyonu Ve Push Out Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

ORİJİNALLİK RAPORU

%10	%7	%6	%3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

3	acikerisim.kku.edu.tr İnternet Kaynağı	%2
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	<%1
3	Saygili, Gökhan. "Farkli İrrigasyon aktivasyon teknikleri İle endodontik postoperatif ağri arasindaki İlişkinin değerlendirilmesi", Izmir Katip Celebi University (Turkey), 2024 Yayın	<%1
3	Submitted to Yeditepe University Öğrenci Ödevi	<%1
7	Submitted to Konya Necmettin Erbakan University Öğrenci Ödevi	<%1
3	OKAY, Tufan Can, ÜÇTAŞLI, Mine Betül and ARISU, Hacer Deniz. "Post boşluğuna bağlayıcı uygulamalarının kendinden bağlanabilen rezin siman kullanılarak yapıştırılan fiber postların push-out bağlanma dayanımlarına etkileri", Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 2017. Yayın	<%1

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, birikim ve değerli katkılarıyla bana yol gösteren, desteğini ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen, beni her daim rahatlatan değerli danışman hocam Melek AKMAN'a

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Makbule Bilge AKBULUT, Doç. Dr. Arslan TERLEMEZ, Dr. Öğr. Üyesi Şeref Nur MUTLU, Doç. Dr. Durmuş Alperen BOZKURT'a

Uzmanlık eğitimimin her anında yanımda olan, mutsuzluğumda neşem mutluluğumda da benimle mutlu olan, zekasıyla, bilgisiyle, öngörüleriyle ve fikirleriyle bana hep yol gösteren, ne yazsam onun için az kalacağı biricik eşim hayat arkadaşım Mahmud KILIÇOĞLU'na,

Hayatım boyunca bana her zaman destek olan, sevgilerini ve emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım anneme ve babama, sevgileri ve destekleriyle her anımda yanımda olan, hayatıma her daim neşe saçan biricik kardeşlerim Esra Nur ÇAKIL'a ve Furkan GÜZEL'e,

Tez sürecimde başından sonuna akademik olarak bana yol gösteren, bilgisiyle beni hep şaşırtan, esprileriyle, vizyonuyla kendine has kişiliğiyle hep yanımda olan canım kardeşim Şevval GÜZEL'e,

Tezimin istatistiksel analizini yapıp desteğini esirgemeyen Ömer Faruk ÇAKIL'a ve beni uzaklardan düşünen onun biricik annesi Ayşe ÇAKIL'a,

Asistanlık hayatımızda birbirimize hep destek olduğumuz, tez sürecimin biricik yoldaşı canım kıdemdaşım Seda KILINÇ'a,

Asitanlığım boyunca bana hep candan bir dost olan canım eşkom Şevval KAPLAN, olmasalardı burda ne yapardım dediğim her daim yanımda olup keyifle çalıştığım canım arkadaşlarım Ekin TAŞDÖVEN, Selenay YILDIZ, Hanife ALTUN ve Hilal GÜLEN'e,

Yardımları ve güler yüzleri ile çalışmaktan mutluluk duyduğum bölüm personelimiz Nida ÜLKER, Hacı Ahmet TAŞÇI, Olcay BEZİRCİ ve Ayşe ÖZKAN'a

Tüm kalbimle teşekkür ederim...

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye Göre Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)……46

Tablo 2: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesi Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)……48

Tablo3: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)……49

Tablo4. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (MPa)……51

Tablo 5. Değişkenler Arasındaki Korelasyona Ait Değerler…….53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1: İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri…….8

Şekil 2. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafiksel Gösterimi…….47

Şekil 3. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafiksel Gösterimi…….....48

Şekil 4. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama Değerlerin (µm2) Grafiksel Gösterimi……50

Şekil 5. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama Değerlerin Grafiksel Gösterimi……52

RESİMLER DİZİNİ

Resim1: Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Çalışma Prensibi (Sarı, 2021)……..25
Resim 2: Örnek Dişlerin Radyografik Görüntüsü…….....29
Resim3: Dijital Kumpasla Dişlerin Boyunun Ölçülmesi……30
Resim 4: Endoart Smart Pro Endomotor (Woodpecker, Çin)……30
Resim 5: Kök Uçları Mumla Kapatılan Örnekler……31
Resim 6: Yandan Perfore Enjektör İğnesi……...32
Resim 7: Woodpecker Endo 3 Ultrasonik Aktivatör Cihazı…….....32
Resim 8: Fotona Er: Yag Lazer……...33
Resim 9: Er: Yag Lazer Pıps Ucu Ve Aktivasyon……..33
Resim 10: Xp Endo Finisher R Eğesi…….....34
Resim 11: Totalfill Bc Sealer Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patı……34
Resim 12: Rhodamin B Floresan Boya……...35
Resim 13: Hassas Terazi (Shımadzu Ay220)……..35
Resim 14: İnkübasyon Cihazı……..36
Resim 15: İsomet Mikrocut Cihazı……..37
Resim 16: Konfokal Lazer Taramalı Mikroskobu……..38
Resim 17: Penetrasyon Derinliği(a+b+c+d)/4……39
Resim 18: Penetrasyon Yüzde Ölçümü: (a/b) X100……39
Resim 19: Penetrasyon Alanı (a-b)……40
Resim 20: Push Out Cihazı……41
Resim 21. Er: Yag Lazer Pıps Apikal, Orta Ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüleri……..43
Resim 22. Kii Apikal, Orta Ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüleri…..43
Resim 23. Pui Apikal, Orta Ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüleri…..44
Resim 24. XPFR Apikal, Orta Ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüleri ……44

SİMGELER ve KISALTMALAR

%	: Yüzde
°	: Derece
µm	: Mikrometre
Ark	: Arkadaşları
ANP	: Apikal Negatif Basınç
CI	: Klor
CLSM	: Confocal laser scanning microscope
dk	: Dakika
EA	: Endoactivatör
EDTA	: Etilendiamintetraasetik asit
Er: YAG	: Erbiyum katkılı yitriyum, alüminyum ve garnet
G	: Gauge
HOCI	: Hipokloröz Asit
Hz	: Hertz
ISO	: International Organization for Standardization
kHz	: Kilohertz
Kİİ	: Konvansiyonel İğne İrrigasyonu
KLTM	: Konfokal lazer tarama mikroskobu
MDA	: Manuel Dinamik İrrigasyon
Mpa	: Megapaskalmg: Miligram
Mg	: Miligram
mJ	: Milijoule
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
N	: Newton
Na^+	: Sodyum
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
Nd:YAG	: Neodmiyum katkılı yitriyum, alüminyum ve garnet
Ni-Ti	: Nikel-Titanyum
nm	: Nanometre
OCI^-	: Hipoklorit iyonu

PIPS : Photon-induced photoacoustic streaming (Foton-indüklü fotoakustik dalganlanma)

PUI : Pasif ultrasonik irrigasyon

rpm : Revolutions per minute (dakikadaki devir sayısı)

s : Saniye

SAF : Self Adjusting File

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

UI : Ultrasonik irrigasyon

XPF : XP endo Finisher

XPFR : XP endo Finisher R

W : Watt

ÖZET

T.C. NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN BİYOSERAMİK ESASLI KÖK KANAL DOLGU PATININ DENTİN TÜBÜL PENETRASYONU VE PUSH OUT BAĞLANMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dt. Ayşenur KILIÇOĞLU

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

Uzmanlık Tezi/Konya-2025

Kök kanal tedavisinde amaç, kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesi, kök kanalındaki organik ve inorganik artıkların temizlenmesi ve kök kanalının sızdırmayacak şekilde hermetik olarak doldurulmasıdır. Dentin tübüllerine penetre olan kanal patı, güta perka ile monoblok bir yapı oluşturarak kanal dolumunun sızdırmazlığında önemli rol oynar. Kök kanal irrigasyon solüsyonu ve kullanılan aktivasyon sisteminin tipi, kök kanal patı penetrasyonunu ve bağlanma dayanımını değiştirebilir. Kullanılan irrigasyon aktivasyon sistemi kanal tedavisinin uzun dönem başarısını etkileyebilmektedir.

Bu in-vitro çalışmanın amacı, farklı irrigasyon sistemlerinin (Konvansiyonel iğne irrigasyonu (Kİİ), Pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), Er:YAG: PIPS, XPFR (XPFR) biyoseramik esaslı kök kanal patlarının dentin tübül penetrasyonu ve kök dentinine push-out bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmamızda 80 adet premolar diş kullanılmıştır. Dişler randomize olarak dört deney (n=20) grubuna ayrılmıştır. Kök kanalları şekillendirdikten sonra final irrigasyon solüsyonu olarak %5 NaOCl ve %17 EDTA kullanılmıştır. Dört deney grubunda dişlerin final irrigasyon solüsyonları sırasıyla; Gİİ, PUİ, Er:YAG: PIPS ve XPFR

yöntemleri ile aktive edilmiştir. Dişler Rhodamin B eklenmiş biyoseramik esaslı kanal patı ile güta-perka kullanılarak tek kon yöntemiyle doldurulmuştur. Dişlerden microcut cihazı ile apikalden sırasıyla 2, 5, 8 mm uzaklıklardan 14 ± 1 mm kalınlıklarında horizontal kesitler alınmış ve Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM) ile görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntülerin Image J programı ile patın dentin tübül penetrasyon alanı, yüzdesi ve maksimum tübül penetrasyon derinliği ölçülmüştür. Alınmış olan horizontal kesitlere push-out bağlanma dayanımı testi de uygulanarak patların dentine adezyonları karşılaştırılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Farklı irrigasyon sistemleri dentin tübül penetrasyonu ve bağlanma dayanımı üzerinde anlamlı farklılıklar göstermiştir. Penetrasyon derinliği apikal bölgede en yüksek XPFR ve PUİ gruplarında gözlemlenirken, en düşük değer Kİİ grubunda kaydedilmiştir. Koronal bölgede tüm gruplarda yüzdesel penetrasyon %99–100 seviyesindeyken, apikal bölgede PUİ grubu en yüksek orana ulaşmıştır. Alan açısından apikal bölgede XPFR grubu en geniş yayılımı gösterirken, PUİ grubu en dar alana sahiptir. Koronal bölgede en yüksek alan Er:YAG grubunda gözlemlenmiştir. Push-out bağlanma dayanımı açısından en yüksek değer Er:YAG grubunda, en düşük değer ise XPFR grubunda tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm penetrasyon parametreleri ile bağlanma dayanımı arasında anlamlı düzeyde negatif korelasyon saptanmıştır.

Sonuç olarak irrigasyon aktivasyon sistemleri, biyoseramik esaslı patların dentin tübüllerine penetrasyonu ve dentinle olan bağlanma gücü üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. PUİ ve XPFR grupları penetrasyon açısından başarılı sonuçlar sunarken, Er:YAG grubu hem penetrasyon hem de bağlanma dayanımı açısından dengeli bir profil sergilemiştir. Penetrasyon derinliğinin artması, bağlanma dayanımını her zaman olumlu yönde etkilememekte; aksine, bu iki parametre arasında ters yönlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu durum, biyoseramik patların klinik başarısında yalnızca fiziksel penetrasyonun değil, kimyasal uyumun da kritik olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: biyoseramik kanal patı, dentin tübül penetrasyonu, itme bağlanma dayanımı , irrigasyon

ABSTRACT

NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

THE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION ACTIVATION SYSTEMS ON THE DENTIN TUBULE PENETRATION AND PUSH OUT BOND STRENGTH OF BIOCERAMIC BASED ROOT CANAL SELAER

Dt. Ayşenur KILIÇOĞLU

DEPARTMENT OF ENDODONTİCS DENTISTRY

Specialization Thesis/ Konya-2025

The goal of root canal treatment is the mechanical shaping of root canals, the cleaning of organic and inorganic debris from the root canal, and the hermetic filling of the root canal to prevent leakage. The root canal sealer, which penetrates the dentinal tubules, plays a vital role in the sealing of the canal filling by forming a monobloc structure with gutta-percha. The type of root canal irrigation solution and the activation system used can affect the penetration of the root canal sealer and its bond strength. The irrigation activation system used can influence the long-term success of the canal treatment.

This in-vitro study aimed to compare the effects of different irrigation activation systems—Conventional Needle Irrigation (CNI), Passive Ultrasonic Irrigation (PUI), Er:YAG PIPS, and XP-Endo Finisher R (XPFR)—on the dentinal tubule penetration and push-out bond strength of bioceramic-based root canal sealers. A total of 80 extracted premolar teeth were used and randomly divided into four experimental groups (n=20). After canal shaping, 5% NaOCl and 17% EDTA were used as final irrigation solutions. In each group, the final irrigant was activated using

one of the designated methods (CNI, PUI, Er:YAG PIPS, XPFR). The canals were obturated using the single cone technique with gutta-percha and a bioceramic sealer mixed with Rhodamine B dye. Horizontal sections of 1.4 ± 0.1 mm thickness were obtained from 2-, 5-, and 8-mm distances from the apex using a microcutting device. Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) was used to visualize the sections. ImageJ software was used to measure the sealer's maximum dentinal tubule penetration depth, percentage, and area. Push-out bond strength was tested on the same sections, and all data were statistically analyzed.

Different irrigation activation systems showed statistically significant effects on dentinal tubule penetration and bond strength. XPFR and PUI groups demonstrated the highest penetration depths in the apical third, while CNI showed the lowest values. In terms of penetration percentage, all groups reached 99–100% in the coronal third, whereas PUI showed the highest percentage in the apical region. Regarding penetration area, XPFR showed the largest area apically, while Er: YAG had the highest value coronally. PUI had the smallest penetration area in the apical section. The highest push-out bond strength was observed in the Er: YAG group, while the lowest was found in the XPFR group. Moreover, a statistically significant negative correlation was found between all penetration parameters (depth, area, percentage) and bond strength.

In conclusion, irrigation activation methods play a critical role in the dentinal tubule penetration and bonding performance of bioceramic sealers. While PUI and XPFR systems provided greater penetration, Er:YAG offered a more balanced outcome in terms of both penetration and bond strength. The observed inverse relationship between penetration and bond strength suggests that deeper sealer penetration does not necessarily translate into stronger adhesion. This highlights the importance of not only physical interaction but also chemical compatibility in the clinical success of bioceramic sealers.

Keywords: bioceramic root sealer, penetrates dentinal tubules, push out, irrigation

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endodontik tedaviler, dişin pulpasında meydana gelen enfeksiyonların tedavi edilmesi, böylece dişin fonksiyonel ve yapısal bütünlüğünün korunması amacıyla uygulanan prosedürlerdir. Ana hedef, kök kanal sisteminden mikroorganizmaların, enfekte pulpa dokusunun ve toksinlerin tamamen uzaklaştırılması ve ardından sızdırmaz bir dolgu ile sistemin kapatılmasıdır. Bu tedaviler, periapikal dokuların sağlığını yeniden kazandırmayı ve dişi ağızda mümkün olduğunca uzun süre korumayı hedefler (Torabinejad & Walton, 2009).

Kök kanal sistemi; lateral kanallar, dentin tübülleri ve isthmusları içinde barındıran kompleks bir anatomiye sahiptir. Bu durum bu gibi ulaşılması güç alanlarda mikroorganizmaların persiste edilme olasılığını artırır ve yalnızca mekanik enstrümantasyonla etkin bir dezenfeksiyon sağlamayı güçleştirir. Bu nedenle, endodontik tedavi sürecinde mekanik şekillendirmeye ek olarak kimyasal dezenfeksiyonun da etkin bir şekilde uygulanması gereklidir. Kullanılan irrigasyon solüsyonları, hem organik hem de inorganik artıkların uzaklaştırılmasına katkı sağlamakta ve böylece kök kanal sistemindeki mikrobiyal yükün azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Siqueira & Rôças, 2008).

Kanal tedavisi sırasında yapılan bu mekanik enstrümantasyon işlemleri sonucunda, kanal duvarlarında dentin talaşları, nekrotik doku kalıntıları ve mikroorganizmaların birikimiyle oluşan smear tabakası meydana gelir. Bu tabaka, dentin tübülerini tıkayarak hem irrigantların hem de kanal dolgu materyallerinin dentin içerisine penetrasyonunu sınırlandırır (Peters, 2004). Sonuç olarak, kök kanal sisteminin tam anlamıyla dezenfekte edilmesi güçleşmekte ve bu durum tedavinin uzun dönem başarısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Zehnder, 2006).

Smear tabakasının ortadan kaldırılması, dentin tübüllerinin açığa çıkmasını sağlayarak hem irrigasyon solüsyonlarının hem de medikamentlerin enfekte alanlara daha etkin bir şekilde ulaşmasına olanak tanır. Bu durum, mikrobiyal yükün azaltılmasına katkı sağlarken aynı zamanda dezenfeksiyonun etkinliğini artırır (Torabinejad ve ark., 2003). Ayrıca smear tabakasının eliminasyonu, kök kanal dolgu materyallerinin dentin yüzeyine daha güçlü bağlanmasına yardımcı olur ve apikal sızdırmazlığı iyileştirir. Yapılan çalışmalar, smear tabakasının uzaklaştırılmasının kök

kanal dolgusunun tutuculuğunu ve sızdırmazlığını anlamlı düzeyde artırdığını ortaya koymuştur .(Violich & Chandler, 2010)

İrrigasyon solüsyonları, kök kanal sistemine genellikle farklı uç tasarımlarına sahip iğne veya kanüller aracılığıyla pasif olarak uygulanmaktadır (Kaplan & Erdemir, 2023). Bu solüsyonların etkili bir temizlik sağlayabilmesi için kanal duvarlarıyla doğrudan temas etmesi gereklidir. En yaygın geleneksel yöntem olan konvansiyonel iğne irrigasyonu , irrigantın kanal içine yerleştirilen iğne yardımıyla basitçe enjekte edilmesi veya sınırlı bir yukarı-aşağı hareketle dağıtılması esasına dayanır (Zand ve ark., 2019). Ancak bu yöntemin irrigantı kanalın apikal kısmına etkin şekilde ulaştıramadığı, istenilen seviyede debris uzaklaştırılamadığı ve dentin tübüllerine yeterli penetrasyon sağlanamadığı gösterilmiştir (Karatas ve ark., 2015).

Kök kanal irrigasyonunun etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli aktivasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, irrigasyon solüsyonlarının kök kanal sisteminin tüm bölgelerine ulaşmasını sağlamak, bakteriyel kalıntılar, dentin debrisleri ve smear tabakasını etkili şekilde uzaklaştırmak ve kanalın sızdırmaz bir şekilde doldurulmasını kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmıştır (Gu ve ark., 2009). Aktivasyon teknikleri, irriganlara enerji aktararak sıvının kanal içindeki dinamiğini artırmakta; böylece solüsyonun kompleks kanal morfolojisinde daha homojen dağılmasına ve apikal bölgeye daha etkili ulaşmasına olanak tanımaktadır (Van der Sluis ve ark., 2007).

Lazerle aktif irrigasyon, kök kanalına yerleştirilen özel fiber uçlar aracılığıyla irrigasyon solüsyonuna lazer enerjisi uygulanmasına dayanır. Bu işlem sonucunda oluşan ikincil kavitasyon etkisi, ani buhar kabarcıklarının oluşmasına yol açar ve bu da irrigantın kanal içinde hızlı ve güçlü bir şekilde hareket etmesini sağlar (Blanken ve ark., 2009).

Son yıllarda, kök kanal tedavisinin tekrarında temizlik etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilmiş özel bir enstrüman olan XP-endo Finisher R(XPFR) (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) 30 numaralı uca sahip olup konik bir yapıya (taper) sahip değildir. MaxWire alaşım teknolojisi sayesinde, vücut sıcaklığında şekil değiştirerek apikal bölgede "kaşık benzeri" bir form alır. Döner sistemle çalışan bu esnek alet, kanal duvarlarına doğru genişleyerek mekanik teması artırır ve geleneksel yöntemlerden

sonra kalan kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Aynı zamanda kanal içindeki irrigasyon solüsyonunun aktif dolaşımını sağlayarak dezenfeksiyon etkinliğine katkıda bulunur (Bernardes ve ark., 2016; Silveira ve ark., 2018).

Endodontik tedavinin temel hedeflerinden biri kök kanal sistemini sızdırmaz bir şekilde doldurarak tedavi sonrasında mikroorganizmaların yeniden enfeksiyona engel olmasını engellemektir. Bu amaçla kullanılan dolgu malzemelerinin dentin duvarlarına uyumlu bir şekilde bağlanarak kök kanal sistemini hermetik bir şekilde kapatması gerekmektedir. Böylece mikroorganizmaların kök kanal sitemine yeniden ulaşması önlenir. Bu bağlamda, gutta-perka ve endodontik patlar en yaygın tercih edilen dolgu materyalleri arasında yer almaktadır. Özellikle patların dentin tübüllerine derinlemesine nüfuz edebilmesi, hem mekanik tutuculuğu artırmakta hem de mikroorganizmaların kanal içinde hapsolmasını sağlayarak uzun vadeli sızdırmazlığı desteklemektedir (Peters, 2004).

Biyoseramik esaslı kök kanal patları, dentin yüzeyine kimyasal olarak bağlanarak dolgu materyali ile dentin duvarları arasında etkin bir sızdırmazlık sağlar. Bu patlar; yüksek biyouyumluluk, belirgin radyopasite, hidrofilik özellik ve boyutsal stabilite gibi üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Hacimsel değişim (genleşme veya büzülme) göstermeksizin, dentine karşı güçlü bir push-out bağlanma direnci sergilerler. Bu özellikleri sayesinde biyoseramik esaslı patlar, geleneksel patlara kıyasla daha dayanıklı bir apikal ve koronal mühür oluşturarak mikrosızıntıyı azaltır ve tedavi başarısını artırır (AbdelWahed ve ark., 2021; Jafari & Jafari, 2017).

Bu çalışmanın amacı farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin biyoseramik esaslı patların dentin tübül penetrasyonuna etkisini konfakal lazer mikroskobu altında incelemek ve push out bağlanma dayanımlarını araştırmaktır. Literatürde irrigasyon solüsyonlarının pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), Erbiyum katkılı yitriyum, alüminyum ve garnet (Er:YAG) lazer Photon induced photoacustic streaming (PIPS) ucu ve XPFR eğesi ile birlikte aktivasyon amacıyla kullanılıp karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal İrrigasyonu

Kök kanal enfeksiyonları genellikle polimikrobiyal karakterde olup, kök kanal sisteminin düşük oksijenli ortamında gelişim gösterebilen mikroorganizmalar tarafından oluşturulur (Sundqvist, 1994). Bu mikroorganizmalar, kanal duvarlarına tutunarak biyofilm yapıları meydana getirir ve bu yapılar, ekstraselüler polisakkarit içerikli bir matriks tarafından korunur (Costerton ve ark., 1994). Özellikle gram-negatif bakteriler, hücre duvarlarında bulunan lipopolisakkarit yapıdaki endotoksinlerle inflamatuar yanıtı tetikleyebilir (Sundqvist, 1994). Bu nedenle, endodontik irrigasyonun temel amacı yalnızca serbest mikroorganizmaların değil, aynı zamanda biyofilm yapılarının ve mikrobiyal yan ürünlerin ortadan kaldırılmasıdır.

Kök kanal sisteminin etkili bir şekilde temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi, irrigantlar ve uygun uygulama teknikleriyle sağlanan kimyasal debridman sayesinde mümkün olmaktadır. Bu süreç, başarılı bir endodontik tedavinin vazgeçilmez unsurlarından biridir (Gulabivala ve ark., 2005). Kanal sistemi genellikle; kanal uzantıları, isthmuslar, lateral ve aksesuar kanallar ile anastomozlar gibi çok sayıda anatomik varyasyon içermektedir. Bu karmaşık yapı, mekanik şekillendirme sırasında bazı alanların ulaşılamadan bırakılmasına neden olabilir (Peters ve ark., 2001). Buna ek olarak, eğeleme işlemi esnasında gelişen bakteriyel biyofilm ve smear tabakası, irrigantların etkili bir şekilde kök kanal sistemine nüfuz etmesini engelleyerek, tam dezenfeksiyonun sağlanmasını zorlaştırmaktadır (Torabinejad ve ark., 2002).

Smear tabakasının varlığı klinik açıdan çeşitli olumsuzluklara yol açmaktadır. Bakteriyel kontaminasyon için bir rezervuar oluşturarak mikrobiyal proliferasyonu destekler. Biyofilm yapılarını koruyarak irrigasyon solüsyonları ile medikamentlerin dentin tübüllerine etkin şekilde difüze olmasını engeller (Akpata & Blechman, 1982). Dolgu materyallerinin dentin duvarlarına adezyonunu zorlaştırarak mikrosızıntıya sebebiyet verebilir (Kokkas ve ark., 2004). Bu nedenlerle, smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılması, başarılı bir endodontik tedavi için kritik öneme sahiptir. Bu amaçla en yaygın uygulanan yöntem, etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ile sodyum

hipoklorit (NaOCl) solüsyonlarının ardışık kullanımına dayanmaktadır (Park ve ark., 2012).

Smear tabakasının çözünmesini sağlayan irrigantlar:

2.1.1 NaOCl

NaOCl, endodontik irrigasyon protokollerinde en sık kullanılan kimyasal solüsyondur (Haapasalo ve ark., 2010). Yüksek reaktiviteye sahip, seçici olmayan bir oksidan olarak, organik dokuları çözebilme yeteneğiyle öne çıkar (Naenni ve ark., 2004). NaOCl'nin güçlü antimikrobiyal etkisi, hücresel zar yapıları, proteinler ve DNA gibi temel biyomoleküller üzerinde doğrudan yıkıcı bir etki oluşturur; ayrıca lipopolisakkarit yapısındaki endotoksinlerin inaktivasyonunda da etkinlik göstermektedir (Spratt ve ark., 2001). Çözeltide iyonik ayrışmaya uğrayarak Sodyum (Na^+) ve hipoklorit iyonu (OCl^-) oluşturur; OCl^- su ile denge hâlinde hipokloröz aside (HOCl) dönüşür. Bu denge, NaOCl'nin biyolojik dokulara karşı gösterdiği oksidatif yıkımın temel mekanizmasını oluşturmaktadır (McDonnell & Russell, 1999).

NaOCI her ne kadar altın standart bir irrigasyon solüsyonu olsa da bazı dezavantajları bulunmaktadır. NaOCl, periapikal dokulara sızması durumunda ciddi doku hasarına yol açabilecek yüksek düzeyde toksik bir ajandır. Smear tabakasının yalnızca organik bileşenlerini çözebilir; inorganik içeriklerin uzaklaştırılmasında yetersiz kalır ve bu nedenle tam bir kanal temizliği için tek başına yeterli değildir (Spangberg ve ark., 1973). NaOCl'nin yüksek konsantrasyonlarda kullanımı, dentinin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek elastikiyet modülünde ve kırılma direncinde azalmaya neden olabilir (Marending ve ark., 2007).

2.1.2.EDTA

EDTA gibi şelatlayıcı ajanlar, metal iyonları ile halka şeklinde kompleksler oluşturarak kök kanal sistemindeki inorganik materyallerin çözünmesinde etkili bir rol oynar (Haapasalo ve ark., 2010). Ancak şelasyon kapasitesi, kalsiyum iyonlarına tamamen bağlandığında sona ermektedir. EDTA'nın organik dokulara karşı belirgin bir çözündürme etkisi bulunmazken, biyouyumlu özellik göstermesi klinik kullanımını desteklemektedir. Antibakteriyel etkisi ise sınırlı düzeyde olup, bakteriyel hücre duvarındaki metal iyonlarının şelasyonuna bağlıdır ve bu etkinlik; solüsyonun

konsantrasyonu, uygulama süresi ve pH düzeyi ile doğrudan ilişkilidir (Hülsmann ve ark., 2003). Ayrıca EDTA, dentin yüzeyinde meydana getirdiği değişiklikler aracılığıyla kanal sisteminin geçirgenliğini artırmakta ve dezenfektanların daha derin doku katmanlarına ulaşımını kolaylaştırmaktadır (Orstavik & Haapasalo, 1990).

2.1.3. İrrigantlarda Aranan Özellikler

- Dentin tübüllerine nüfuz edebilmeli,
- Güçlü ve uzun süreli antimikrobiyal etki sağlamalı,
- Biyouyumlu olmalı,
- Smear tabakasını uzaklaştırmalı,
- Dentine ya da kök kanal dolgusunun sızdırmazlığına zarar vermemeli,
- Düşük maliyetli,
- Kullanımı kolay**,**
- Diş renginde bozulmaya yol açmayan,
- Organik bileşenleri çözebilen ve
- Bakteriyel endotoksinleri etkisiz hale getirebilen çözeltiler tercih edilmelidir

Ancak, yalnızca irrigantların kimyasal özelliklerinin güçlü olması, kanal dezenfeksiyonunun istenilen seviyede sağlanması için yeterli değildir. Kimyasal debridmanın amacına ulaşması için irrigantların; uygun aktivasyon teknikleri ile desteklenmesi gerekir (Torabinejad ve ark., 2002; Zehnder, 2006).

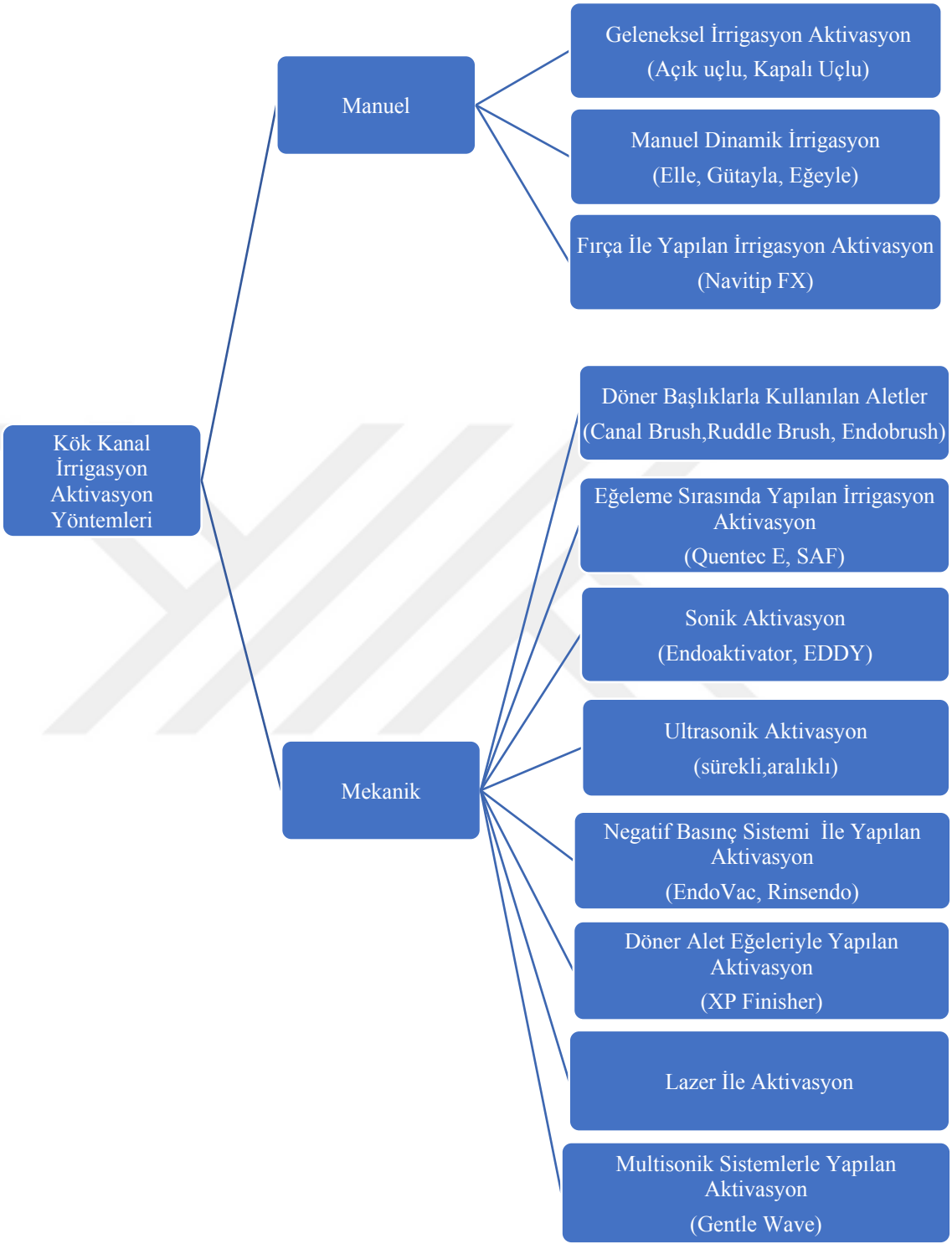
2.2. Kök Kanal İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

Kök kanalları genellikle "kapalı sistemler" olarak değerlendirilir (Parente ve ark., 2010). Bu yüzden irrigantların kanal içerisindeki akışkanlığı ve dinamikleri optimum etkiyi sağlamak için hayati önemdedir (Hargreaves, 2016). Geleneksel irrigasyon yöntemleri, irrigantı en fazla iğne ucunun 1 milimetre (mm) ötesine iletebilir. Bu da lateral, aksesuar kanallar, isthmuslar ve anastomozlar gibi bölgelerde mikroorganizmaların tedavi sonrası hayatta kalmalarına neden olabilir. Bu nedenle

irrigantların temizlik etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli aktivasyon cihazları geliştirilmiştir. Aktif irrigasyon; irrigantın kanal sistemindeki karmaşık anatomik bölgelere ulaşmasını sağlamak amacıyla mekanik veya enerji temelli bir yöntemle ajite edilmesi olarak tanımlanır. Geleneksel yöntemler sadece irrigantın pozitif basınçla enjekte edilmesine dayanır. İrrigasyonun etkinliği hem kullanılan aktivasyon şekline hem de irrigantın tipine bağlıdır (Fariniuk ve ark., 2003; Ferreira ve ark., 2004; Hargreaves, 2016).

Endodonti tarih boyunca, daha etkili irrigant uygulama ve ajitasyon tekniklerinin geliştirilmesi için sürekli araştırma alanı olmuştur. Bu amaçla geliştirilen sistemler, iki ana başlık altında toplanabilir:

1. Manuel aktivasyon yöntemleri
2. Mekanik aktivasyon yöntemleri (Şekil 1)



Şekil 1: İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

2.2.1.Manuel Aktivasyon Yöntemleri

2.2.1.1. Geleneksel İrrigasyon Aktivasyon

Enjektörle yapılan irrigasyon, etkinliği ve yaygın ulaşılabilirliği nedeniyle önemli bir teknik olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple günümüzde klinik uygulamalarda standart yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, irrigant farklı çaplara (gauge) sahip iğne ya da kanüller aracılığıyla kök kanalına verilir. İrrigasyon işlemi; pasif (iğne sabit pozisyonda) ya da ajitasyonlu (iğne kanal içinde yukarı-aşağı hareket ettirilerek) şekilde uygulanabilir (Boutsioukis & van der Sluis, 2015; Brunson ve ark., 2010). Farklı çaplarda, uç tasarımlarında ve esneklik düzeylerinde birçok iğne türü mevcuttur. İğneler genellikle paslanmaz çelik, nikel-titanyum (Boutsioukis ve ark., 2007) veya plastikten üretilir. Özellikle eğri kanallarda, plastik iğneler daha fazla esneklik sağlar.

İğne uçları iki kategoriye ayrılır:

- ***Açık uçlu iğneler*:** İrrigant doğrudan iğne ucundan çıkar. Açık uçlu iğnelerde irrigant, apikal bölge International Organization for Standardization (ISO) # 30 olacak şekilde şekillendirildiğinde, iğne ucunun yalnızca 1 mm ötesine kadar ulaşabilir. Bu tip iğneler, irrigantın apeks dışına taşmaması için çalışma boyundan 2–3 mm kısa yerleştirilmelidir.

- ***Kapalı uçlu (yan delikli) iğneler*:** İrrigant, bir ya da daha fazla yan delikten kanal içerisine akar (Christos Boutsioukis ve ark., 2010). Kapalı uçlu iğneler, irrigantın daha kontrollü ilerlemesini sağlar ve NaOCI kazası riskini azaltır ancak irrigantın uzanabildiği mesafe açısından açık uçlu iğnelere göre daha az etkilidir (Boutsioukis & van der Sluis, 2015; Psimma ve ark., 2013).

Her ne kadar geleneksel elle tutulan iğneyle yapılan irrigasyonun oluşturduğu mekanik yıkama etkisi kanal içi irrigant dağılımı için kullanışlı olsa da bu etki oldukça zayıftır**.** Bu nedenle, konvansiyonel iğneyle irrigasyon (Kİİ) sonrası ulaşılamayan kanal uzantılarında ve düzensizliklerde artık materyal ve bakteriler kalabilir. Bu durum, tam anlamıyla bir kanal temizliği sağlamayı güçleştirir (Nair ve ark., 2005; van der Sluis ve ark., 2007). Yapılan bir çalışmada, irrigantın iğne ucundan yalnızca 1 mm daha ileriye gidebildiği tespit edilmiştir (Ram, 1977). Bu da önemli bir sorundur çünkü

çoğu zaman iğne ucu; dar kanallarda yalnızca koronal üçüncüye, geniş kanallarda ise en fazla orta üçüncüye kadar ulaşabilir (Chow, 1983). Dolayısıyla irrigantın penetrasyon derinliği ve dentin tübüllerinde dezenfeksiyon sağlama kapasitesi sınırlıdır**.**

İğneyle irrigasyon etkinliğini artıran faktörler

- İğne ucunun apekse yakın konumlandırılması (Chow, 1983),
- Yüksek hacimli irrigant kullanımı (Sedgley ve ark., 2004),
- İnce çaplı (30 G veya daha küçük) iğneler kullanımı (Chow, 1983),
- Yavaş ve kontrollü irrigant verilmesi,
- Ajitasyon (Abou-Rass & Piccinino, 1982)

Buna rağmen, ulaşılamayan alanlarda bakteri ve debris varlığı sıklıkla görülmektedir (Wu & Wesselink, 2001). Bu durumun başlıca nedeni, iğne ucunun kanal içerisindeki yetersiz penetrasyonu ve irrigantın ulaşabildiği sınırlı alandır.

2.2.1.2.Manuel Dinamik İrrigasyon Aktivasyon

İrrigantın kök kanal duvarlarıyla doğrudan temas etmesi, etkin dezenfeksiyon için gereklidir. Ancak irrigantın apikal bölgeye ulaşması, genellikle "vapor lock" (hava kilidi) etkisi nedeniyle zordur (Pesse ve ark., 2004; Schoeffel, 2008). Araştırmalar, kök kanalında şekillendirme sonrası, kanal boyuna uygun bir gutta-perka ana konisinin 2–3 mm'lik ajitasyonuyla oluşan manuel-dinamik irrigasyonun, sıvı değişimini ve irrigantın dağılımını belirgin şekilde artırdığını göstermiştir (Caron, 2007; Machtou, 1980). McGill ve Huang'ın çalışmaları, manuel dinamik irrigasyonun (MDA) RinsEndo gibi otomatik sistemlerden ve statik irrigasyondan daha etkili olduğunu ortaya koymuştur (Huang ve ark., 2008; McGill ve ark., 2008).

Bu etkinlik şu faktörlere bağlanmıştır (McGill ve ark., 2008):

- Push-pull (ileri-geri) hareketi, kanal içi basınç değişikliklerini artırır ve temas etmemiş yüzeylere irrigantın ulaşmasını sağlar.

- MDA'nın strok frekansı (3.3 Hertz (Hz); 30 saniyede 100 strok), RinsEndo'nun basınç frekansından (1.6 Hz) daha yüksektir. Bu da kanal içinde daha fazla türbülans oluşturur.

- Gutta perkanın hareketi, irrigantı fiziksel olarak kesme ve itme hareketleriyle daha iyi karıştırır ve böylece taze ve kullanılan irrigantın dengeli değişimini sağlar (Wiggins & Ottino, 2004).

Her ne kadar basit ve düşük maliyetli bir yöntem olsa da manuel uygulamanın zahmetli ve zaman alıcı oluşu nedeniyle günlük klinik uygulamalarda sınırlı tercih edilmektedir

2.2.1.3. Fırça ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon

Mikrofırçalar, irrigantı doğrudan kanal içine vermek için kullanılmazlar. Kanal duvarlarının mekanik temizliği ve irrigantı ajite etmek için geliştirilmiştir. Bazıları aynı zamanda irrigantın kanal içinde dolaylı taşınmasında da rol oynar.

NaviTip FX (Ultradent), 30 G iğne ucu, fırçayla kaplanmıştır. Kanalın özellikle koronal bölgesinde irrigantın etkinliğini artırdığı gösterilmiştir. Ancak, apikal ve orta üçüncü bölgelerde anlamlı bir dezenfeksiyon etkisi gözlenmemiştir. Radyolusent yapısı nedeniyle kanal içine düşen kıllar radyografik olarak tespit edilemez ve mikroskopla dahi görünmesi zordur (Gu ve ark., 2009).

2.2.2.Mekanik Aktivasyon Yöntemleri

2.2.2.1.Döner Başlıklarla Beraber Kullanılan Aletler

Aktif fırçalama ilk kez 1990'larda, **Endobrush** (C&S Micro Instruments Ltd., Markham, Ontario, Kanada) adıyla endodontiye tanıtılmıştır. Keir ve arkadaşlarının, Endobrush adı verilen spiral fırçayı aktif döner hareketle kullanarak kanal temizliğini değerlendirmiştir. Endobrush bükümlü tel üzerine yerleştirilmiş naylon kıllardan oluşan spiral bir yapıya sahiptir. Kullanım protokolü kapsamında bu fırça, çalışma boyuna kadar ilerletildikten sonra 90 derecelik rotasyon hareketiyle ve yaklaşık 2–3 mm'lik ileri geri hareketle**,** 1 dakika (dk) süreyle kanal içinde uygulanmaktadır. Bu yöntem sayesinde, kanalın geleneksel eğeleme sırasında ulaşılamayan bölgelere, isthmuslara, kanalın eğelenmemiş alanlarına sağlanabilmiş ve doku artıklarının etkili

bir şekilde uzaklaştırıldığı bildirilmiştir. Ancak, fırçanın görece geniş yapısı**,** cihazın her durumda tam çalışma boyuna kadar ulaşmasını engellemiş ve bu durum özellikle apikal bölgede debris birikimine yol açmıştır (Keir ve ark., 1990).

Endobrush'dan daha sonra **CanalBrush** (Coltene Whaledent, Langenau, Almanya) piyasaya sürülmüştür. Bu fırça, tamamen polipropilenden yapılmış esnek bir mikrofırçadır. Manuel ya da döner hareketle kullanılabilir. Ancak, en etkili sonucu 600 revolutions per minute (rpm) hızla döner sistemle kullanıldığında göstermektedir. CanalBrush'un irrigant ile birlikte kullanıldığında, kanal uzantılarından ve düzensizliklerden debrisleri etkili şekilde temizlediğini gösterilmiştir (Weise ve ark., 2007).

Ruddle bu konsepti daha ileri taşıyarak, kök kanal sistemindeki debris ve smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla, döner sisteme bağlanan bir mikrofırça kullanmıştır. Bu fırça sistemi; bir mil ve konik şekilli fırçadan oluşur. Fırçanın bu kısmında, merkezden dışa doğru uzanan çok sayıda naylon kıl bulunur. Yaklaşık 300 rpm hızla dönerken**,** kıllar kanalın düzensizliklerine doğru şekil alır ve artık materyalleri koronal yönde dışarı taşır (ruddle, 2001).

2.2.2.2.Eğeleme Sırasında Yapılan Sürekli İrrigasyon Aktivasyon

Quantec-E, SybronEndo firması tarafından geliştirilen, kendi sıvı dağıtım sistemine sahip irrigasyon ünitesidir. Bu sistem; bir pompa konsolu, 2 irrigasyon rezervuarı, bağlantı hortumları ile donatılmıştır ve döner eğeleme esnasında sürekli irrigasyon sağlar. Amacı; irrigantın temas süresini artırmak, daha derine nüfuz etmesini sağlamak ve kanal sisteminde daha etkili temizlik elde etmektir. Ancak yapılan çalışmalara göre bu sistemin sadece koronal üçlüdeki kanal yüzeylerini daha etkili dezenfekte ettiği bulunsa da orta ve apikal üçlüde smear tabakasını tamamen ortadan kaldıramadığı tespit edilmiştir. Standart enjektör irrigasyonuna göre anlamlı bir fark yaratmadığını ortaya konulmuştur (Setlock ve ark., 2003; Walters ve ark., 2002).

Self-Adjusting File (SAF) Sistemi ReDent Nova (İsrail) tarafından geliştirilen bir sistemdir. İçi boş tüp şeklinde tasarlanmıştır. Duvarları, ince nikel-titanyum ağ örgüsünden oluşur. Dış yüzeyi pürüzlüdür. Böylece kanal duvarını minimal dentin kaybı ile "fırçalama" hareketiyle temizler. İrrigant, SAF sistemi içinden dezenfeksiyon

ve şekillendirme işlemi sırasında sürekli olarak verilir (Metzger, 2014). Ancak apikal genişletme kontrolü yapılamaz. Bu durum, irrigantların öngörülebilir ve etkili dezenfeksiyon sağlamasını zorlaştırır (Paranjpe ve ark., 2012).

2.2.2.3.Sonik Sistem ile Yapılan İrrigasyon Aktivasyon

İlk kez Tronstad ve ark. tarafından 1985'te endodontide kullanılmıştır. Ultrasonik sistemlere göre daha düşük frekansta (1–6 kiloHertz (kHz)) çalışır. Daha düşük kesme gerilmesi oluşturur ancak daha yüksek genlikli ileri-geri titreşim üretir (Tronstad ve ark., 1985). Son zamanlarda Almanya'da üretilen **EDDY** sistemi (VDW, Münih), 25.04 boyutunda esnek poliamidden yapılmış bir sonik aktivasyon cihazı olarak tanıtılmıştır. Üreticiye göre ultrasonik cihazların sınırlamalarını taşımadan karmaşık kanal sistemlerinde etkin temizlik sağlar. Hava ile çalışan bir Air Scaler tarafından 5000–6000Hz frekansta aktive edilir. Kavitasyon ve akustik akım üretilir. EDDY; kesici olmayan, steril, tek kullanımlık bir enstrümandır.

EndoActivator (EA), kablosuz yapıda tasarlanmış bir sonik irrigasyon cihazı olup, özellikle lateral kanalların etkin şekilde temizlenmesinde kullanılmaktadır. Bu sistem, kanal içi debrislerin uzaklaştırılması**,** smear tabakasının ortadan kaldırılması ve biyofilm yapılarının bozulması gibi işlevlerde etkilidir. Yapılan çalışmalar, özellikle eğimli kök kanallarına sahip molar dişlerde EA sisteminin biyofilm kümelerini parçalayıcı etkisini ortaya koymuştur (Caron, 2007). Uç kısmı, irrigantla doldurulmuş pulpa odasında çalıştırıldığında, sıklıkla bulut benzeri debris hareketleri gözlenmektedir. EA sisteminin ucu, kısa yukarı-aşağı hareketlerle kombine şekilde titreştiğinde, güçlü bir hidrodinamik etki oluşturarak irrigantın kök kanal sisteminde daha etkin dağılmasını sağlamaktadır (Ruddle, 2010). Bu sistemin optimum çalışma frekansı, dk'da 10.000 strok olarak bildirilmiştir ve bu değer, biyofilm ve smear tabakasının bozulmasında yüksek verimlilik sunmaktadır (Caron, 2007). Bununla birlikte, sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Özellikle kullanılan polimer uçlar radyolusent özellikte olduğu için, bu uçlar kanal içinde kırıldığında radyografik olarak tespit edilmeleri güçtür. Bu nedenle, uçların radyopasite özelliği artırılmış materyallerle geliştirilmesi önerilmektedir.

2.2.2.4.Ultrasonik İrrigasyon Aktivasyon

Ultrasonik sistemler, diş hekimliğinde ilk olarak periodontolojide kullanılmıştır. Richman 1957 yılında, ultrasonun kanal debridmanı amacıyla endodontiye girişini sağlamıştır (MJ, 1957). 1980'de Martin ve arkadaşlarının geliştirdiği ilk endodontik ultrasonik cihaz ticari olarak sunulmuştur (Martin ve ark., 1980). Ultrasonik sistemler, irrigantı aktive etmek için ~25.000 titreşim/saniye(s) frekansta çalışan endodontik eğelere ultrasonik dalgalar aktarır. Ancak düşük genlik üretir (Walmsley & Williams, 1989). Bu frekans, insan işitme eşiğinin üzerindedir. Bu titreşimler dentine karşı kesici etki gösterir ve akustik akım ve kavitasyon yoluyla irrigantı aktive eder (Martin ve ark., 1980).

Ultrasonik irrigasyonun 2 tipi vardır:

***1.Ultrasonik irrigasyon(Uİ)*:** Eğeleme ve irrigasyon eş zamanlı yapılır. Bazı çalışmalar, Uİ'nin kanalı daha iyi temizlediğini bildirmiştir (Cunningham & Martin, 1982; Stamos ve ark., 1987). Ancak pulpa dokusunu uzaklaştırmada etkisiz olduğunu**,** dentine kontrolsüzce zarar verebileceğini**,** perforasyon veya düzensiz kanal şekline yol açabileceğini bildirmiştir (Lumley ve ark., 1992; Walmsley & Williams, 1989). Bu nedenlerle, Uİ artık önerilmemektedir (Cunningham & Martin, 1982).

***2.Pasif ultrasonik irrigasyon(PUİ)*:** Eğeleme yapılmadan yalnızca irrigantın aktive edildiği tekniktir. Titreşimli uç, irrigantın içinde enerji yayar. Akustik mikro akım ve kavitasyon meydana gelir.

İki PUİ uygulama şekli vardır:

1.Sürekli ultrasonik irrigasyon, irrigantın cihazdan kesintisiz olarak akmasını sağlayan bir yöntemdir. Ancak bu sistemde irrigantın akış hızı ve miktarı operatör tarafından doğrudan kontrol edilememektedir. Literatürde bildirildiğine göre, NaOCl çözeltisindeki aktif klor (Cl) bileşeni, uygulamanın ilk iki dk'sı içerisinde hızla tükenmektedir (Moorer & Wesselink, 1982). Bu nedenle, irrigantın sürekli olarak yenilenmesi tedavi etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Nusstein tarafından geliştirilen sistemde, bir 25-G iğne, ultrasonik el parçasına entegre edilmekte ve irrigant akışı, şırıngaya bağlanan Luer-lok sistemi aracılığıyla

sağlanmaktadır. Bu düzenekte, iğnenin ucundan çıkan irrigant, ultrasonik enerji ile aktive edilmektedir (Nusstein, 2006). Klinik çalışmalara göre, yalnızca 1 dk'lık uygulamayla bu sistemin sağladığı birçok avantaj vardır. Vital ve nekrotik dişlerde, özellikle kök kanalları ve isthmus bölgelerinde daha yüksek düzeyde temizlik sağlamaktadır (Burleson ve ark., 2007; Gutarts ve ark., 2005). Koloni oluşturan bakteri sayısında anlamlı bir azalma elde edilmektedir (Carver ve ark., 2007). Bu etkinlik, sürekli taze irrigant akışı ile ilişkilendirilmiştir. İrrigasyon süresinin önemli ölçüde kısaltılmasına olanak tanır (Druttman & Stock, 1989; Passarinho-Neto ve ark., 2006).

ProUltra PiezoFlow (Dentsply Sirona) cihazı 25 G çapında, açık uçlu paslanmaz çelikten üretilmiş bir iğne sistemidir. Ultrasonik aktivatör ve şırınga ile aynı anda kullanılabilir özelliktedir. Ancak bu cihazın yalnızca apeksi kapalı dişlerde kullanılması önerilmektedir (Ma ve ark., 2015). Klinik araştırmalar, bu cihazın; pulpa dokusu kalıntıları ve kanal içi sert doku debrislerinin konvansiyonel irrigasyon yöntemlerine kıyasla daha etkili şekilde uzaklaştırılabildiğini göstermiştir (Adcock ve ark., 2011; Gutarts ve ark., 2005).

***2.Aralıklı Ultrasonik İrrigasyon*:** Şırınga ile irrigant verilir. Ultrasonik cihazla aralıklı aktivasyon yapılır. Bu sistem; pulpa kalıntılarının**,** dentin debrislerinin, smear tabakasının**,** bakterilerin uzaklaştırılmasında etkili bulunmuştur (Cameron, 1987; Goodman ve ark., 1985). Birçok firma tarafından farklı marka isimleriyle sunulmaktadır. Temel fark, kullanılan ultrasonik eğe tasarımıdır. Eğeler; paslanmaz çelik veya Nikel-Titanyum (Ni-Ti) olabilir. Kesici olmayan teller tercih edilir. Ancak yine de dentin kaybı oluşabilir (Retsas ve ark., 2016). Kullanılan yaygın eğe tipleri:

- ESI (Endo Soft Instrument, EMS, İsviçre)
- K-file (Acteon Satelec, Fransa)
- Irrisafe file (Acteon Satelec) (Retsas ve ark., 2016)

2.2.2.5.Negatif Basınç Prensibi ile Çalışan İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri

Apikal Negatif Basınç (ANP) sistemi, konvansiyonel şırınga ile yapılan kök kanal irrigasyonunun neden olabileceği iki önemli klinik soruna etkin bir çözüm sunmak amacıyla geliştirilmiştir. Birincisi; iğnenin apeks bölgesine yeterince yaklaşmaması durumunda irrigasyon sıvısı apikal bölgelere ulaşamaz. Bunun temel

nedeni, apikal kısımda oluşan hava kabarcıklarıdır (vapor lock). Bu da irrigantın bu bölgeye penetre olmasını engeller. İkincisi; iğne apeks bölgesine çok yakın yerleştirildiğinde ise, irrigantın periapikal dokulara taşma riski doğar. Bu durum, hipoklorit ekstrüzyonuna bağlı doku hasarı ve şiddetli inflamasyona yol açabilir (Hülsmann & Hahn, 2000; Keir ve ark., 1990). ANP sistemleri, irrigantın koronal bölgeden negatif basınçla apikal bölgeye doğru yönlendirilmesini sağlayarak, hem irrigantın apikal bölgeye güvenli şekilde ulaşmasını hem de apikal ekstrüzyon riskinin en aza indirilmesini mümkün kılar.

EndoVac Sistemleri apikal negatif basınçlı irrigasyon sistemi, **Discus Dental** firması tarafından geliştirilmiştir. Sistem 3 temel bileşenden oluşur:

1) Master Delivery Tip (MDT)

2) Makrokanül

3) Mikrokanül

1. MDT

- Şırıngaya bağlanır.
- İrrigantı pulpa odasına verir ve fazla sıvıyı vakumla çeker.
- Yukarıdan sıvı akışı sağlar (pozitif basınç) ancak emme mekanizması ile dengelenir.

2. Makro Kanül

- Kanalın koronal ve orta üçlüsünde irrigantın emilmesini sağlar.
- Şeffaf plastik, yaklaşık 0.55 mm çapındadır.
- Daha geniş alanlarda kullanılabilir.

3. Mikro Kanül

- Kanalın apikal kısmında kullanılır.
- Paslanmaz çelikten yapılmış, çapı 0.32 mm'dir.
- Ucunda lazerle açılmış 12 adet yan delik bulunur.

- Çalışma boyuna kadar ilerletilir ve irrigantı apeks bölgesine negatif basınçla çeker (Nielsen & Craig Baumgartner, 2007).

Çalışma Prensibi: İrrigant öncelikle MDT aracılığıyla pulpa odasına verilir. Ardından kanül (makro veya mikro), irrigantı negatif basınçla aşağı çeker. Böylece irrigant apeks bölgesine ulaşır. Orada kalmadan geri çekilir.

Avantajları:

- Hava kabarcığı (vaper lock) oluşumu önlenir**.**
- İrrigant ekstrüzyon riski minimuma iner.
- Apikal bölgeye güvenli irrigasyon sağlar.
- NaOCI kazalarını büyük ölçüde engeller.
- Daha etkili dezenfeksiyon sağlar.
- Klinik çalışmalar, isthmus gibi dar alanları da etkili temizleyebildiğini göstermektedir (Nielsen & Craig Baumgartner, 2007; Shin ve ark., 2010).

Dezavantajları:

- Apikal preparasyonun ISO # 40'a kadar genişletilmesi gerekebilir. Bu yüzden eğri kanallarda uygulanması zordur.
- Kannül özellikle debrisle tıkanabilir (Brito ve ark., 2009).
- Sistemin doğru yerleştirilebilmesi için koronal preparasyon ek dikkat gerektirir**.**

RinsEndo sistemi, Dürr Dental (SE, Höpfigheimer, Bietigheim-Bissingen, Almanya) tarafından üretilen basınç emme teknolojisine dayalı başka bir irrigasyon cihazıdır. Bu sistem irrigantın hidrodinamik aktivasyonu ile çalışır. Apikal üçlüye ulaşabilen ultra ince ve esnek bir kannül kullanılarak negatif basınçlı irrigasyon sağlanır. Dk'da 6.2 mililitre (ml) irrigant akışı, maksimum 5 Pounds Per Square Inch (PSI) hava basıncı kullanılarak gerçekleştirilir. Bu özellik, irrigantın penetrasyonunu artırır. Sistemde dk'da 100 kez basınç/emme döngüsü gerçekleşir. Bu titreşimli sıvı akışı, irrigantın apikal foramen dışına taşma riskini artırabilir (Hauser ve ark., 2007). Bir in vitro çalışmada, RinsEndo'nun renkli kolajen kalıntılarının uzaklaştırılmasının, uygun şekilde uyumlandırılmış guttaperka konisiyle yapılan MDA'ya göre daha az etkili olduğu bulunmuştur (McGill ve ark., 2008).

2.2.2.6.Döner Alet Eğeleriyle Yapılan İrrigasyon Aktivasyon

XP-endo Finisher (XPF) (FKG Dentaire, İsviçre), endodontik tedavi sırasında kök kanal sisteminin şekillendirilmesi zor alanlarında daha etkili dezenfeksiyon sağlamak amacıyla geliştirilmiş yeni nesil Ni-Ti bir döner irrigasyon aktivasyon aletidir (Yoon ve ark., 2021). XPFR geleneksel XPF'ın devamı niteliğinde olup, özellikle daha önce doldurulmuş kök kanallarının temizliğinde ve dolgu materyallerinin kalıntısız şekilde uzaklaştırılmasında etkinliğini artırmak amacıyla modifiye edilmiştir. XPFR'nin üretildiği MaxWire® alaşımı**,** vücut sıcaklığına (yaklaşık 35–37 °C) ulaştığında kristal yapısını değiştirerek martensitik fazdan östenitik faza geçer. Bu dönüşüm sonucunda, oda sıcaklığından vücut sıcaklığına geçtiğinde alet kanal içinde genişleyerek oval, eğimli ve zor şekilli kanallarda bile etkin bir şekilde dolgu materyallerine ulaşabilir. Hiçbir şekilde kanal çapını genişletmeden dentin duvarlarına temas eden alanı artırır. Bu yönüyle özellikle isthmuslar, oval kanallar, lateral dallar ve apikal delta gibi anatomik zorluk içeren bölgelerde avantaj sağlar. Yapılan çalışmalarda, XPF'ın dentin yüzeyinde smear tabakasının kaldırılmasında**,** debris temizliğinde ve bakteri yükünün azaltılmasında pasif irrigasyon yöntemlerine kıyasla daha etkili olduğu ortaya konmuştur. XPF ve XPFR arasındaki fark eğelerin taper farkıdır. XPF ISO # 25 uca sahipken XPFR ISO # 30 uca sahiptir (Jassal ve ark., 2023).

2.2.2.7.Lazerle İrrigasyon Aktivasyon

Lazer aktivasyonu, irrigantı buhar kabarcıkları oluşturarak (optik kavitasyon) ve ışıkla ısıtarak, kanalın uzak bölgelerine taşımayı hedefleyen yöntemleri içerir (S. D. de Groot ve ark., 2009; Snjaric ve ark., 2012). Yaygın kullanılan lazer türleri; Neodimyum Katkılı İtriyum Alüminyum Garnet (Nd:YAG) (760–1400 nanometre), Er:YAG ve Erbium Chromium Yitrium Scandium Gallium Garnet (Er:Cr:YSGG) (2940 veya 2790 nm) Er:YAG ve Er:Cr lazerler puls modunda çalışır ve suda yüksek absorpsiyon gösterir.

1.Er:YAG ve Er,Cr:YSGG Lazerler

- Dalga boyu: 2780–2940 nm
- Su ve hidroksiapatitte yüksek emilime sahiptir.
- En yaygın kullanılan lazerlerdir.

2.*Nd*: YAG ve Diode Lazerleri

- Daha çok fototermal etki için kullanılır.
- Antimikrobiyal etkileri yüksektir. Ancak ısı riski nedeniyle dikkatli kullanılmalıdır.

2.2.2.7.1.Lazer Aktivasyon Teknikleri

1.LAI (Laser-Activated Irrigation)

- Lazer enerjisi, kanal içine yerleştirilen uç aracılığıyla doğrudan irrigant üzerine uygulanır.
- Bu yöntem, irrigantı ısıtarak kavitasyon etkisi oluşturur.

2.PIPS (Photon-Induced Photoacoustic Streaming)

- Er:YAG lazer kullanılarak düşük enerjili kısa atımlarla uygulanır.
- Lazer ucu kök kanal içine değil, yalnızca pulpa odasına yerleştirilir.
- Kavitasyon ve akustik dalgalar**,** irrigant içinde patlayıcı mikro kabarcıklar oluşturarak sıvının kanal içinde hızla hareket etmesini sağlar (DiVito ve ark., 2012; Guneser ve ark., 2015).

3.SWEEPS (Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming)

- PIPS'in daha gelişmiş bir versiyonudur.
- Çift atımlı lazer teknolojisi ile daha güçlü ve uzun menzilli şok dalgaları oluşturur.
- Daha fazla smear tabakası ve debris temizliği sağlar.

4.PAD (Photoactivated Disinfection):

- Toluidin mavisi veya metilen mavisi gibi boya ajanları ile diyot lazeri kullanılır.
- Genellikle düşük güçlü diode lazer (630–660 nm) kullanılır. Önce kök kanalına boya uygulanır. Sonra lazerle aktive edilir. Lazer ışığı, bu ajanlarla etkileşime girerek

reaktif oksijen türleri (ROS) üretir. Bu reaktif türler, mikroorganizmaların hücre zarlarını, proteinlerini ve DNA'larını tahrip ederek onları etkisiz hale getirir.

- Ayrıca analjezik ve antienflamatuvar etki sağlayan düşük seviyeli lazer tedavisi olarak da kullanılabilir (Lukač & Jezeršek, 2018).

2.2.2.8.Multisonik Sistemler ile İrrigasyon Aktivasyon

GentleWave, kök kanal sisteminin etkin temizliği için geliştirilen ileri düzey bir irrigasyon teknolojisidir. Sistem, farklı frekanslarda oluşturulan akustik dalgalar yardımıyla kabarcıkların içten patlamasını tetikleyerek irrigantın tüm kök kanal yapısına ulaşmasını hedefler. Bu sayede irrigantın yalnızca kimyasal değil, aynı zamanda fiziksel etkisi de artırılır (Sigurdsson ve ark., 2018).

Sistemin çalışma prensibi özetle şu şekildedir; el aleti ucundan kök kanal boşluğuna EDTA, %6 NaOCl ve distile su gibi irrigantlar iletilir. Aynı anda fazla sıvı ve hava, sistemde yer alan vakum tahliye mekanizması ile ortamdan uzaklaştırılır. El aleti içerisinde bulunan "soundbar" adlı bölümde irrigantta mikro kabarcıklar oluşturulur. Bu kabarcıklar, kanal sistemindeki lateral kanallara, isthmuslara ve dentin tübüllerine ulaşarak temizliği derinleştirir. Bu yöntem sayesinde kök kanalın fazla genişletilmesine gerek kalmaz. Apikal genişlik ISO #15–25 arası yeterli kabul edilmektedir. Tüm dezenfeksiyon işlemi yaklaşık 5–8dk sürmektedir.

GenteWave'in isthmus temizliğinde, geleneksel şırınga irrigasyonuna kıyasla üstün temizlik sağladığı gösterilmiştir. Mikrobiyal yükün azaltılmasında, pasif ultrasonik irrigasyona göre daha etkili sonuçlar bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2019). Ancak bazı çalışmalar, debris uzaklaştırma açısından ultrasonik aktivasyona göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermediğini ifade etmiştir (Zhang ve ark., 2019).

2.3. Kök Kanallarının Doldurulması

Kök kanal sisteminin hem kimyasal hem de mekanik yöntemlerle etkin bir şekilde temizlenip şekillendirilmesini takiben, hermetik biçimde doldurulması ve uzun süreli bir sızdırmazlığın sağlanması, endodontik tedavinin prognozunu doğrudan etkileyen kritik aşamalardır (Craveiro ve ark., 2015; Song ve ark., 2011). Kanal sisteminin karmaşık ve değişken anatomik yapısı, dolgu patlarının morfolojik düzensizlikleri ve anatomik varyasyonları tam olarak doldurmasını, aynı zamanda

dentin tübüllerine penetre olarak sızdırmazlık oluşturmasını gerekli kılmaktadır. Buna ek olarak, kök kanal patlarının gutta-perka ile dentin yüzeyleri arasında etkili bir bağ oluşturarak kök kanal sisteminde boşlukların meydana gelmesini önlemesi, tedavinin başarısı açısından zorunludur (De-Deus ve ark., 2011).

Grossman tarafından ideal bir kök kanal dolgu patında bulunması gereken temel özellikler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır: (Harty, 1982)

- Yapışkanlık: Karışım, sertleşme sonrası hem kendi yapısına hem de kanal duvarlarına güçlü bir adezyon göstermelidir.
- Hermetik Sızdırmazlık: Kanal boşluğunu eksiksiz doldurarak, sızıntıyı önleyecek etkili bir bariyer oluşturmalıdır.
- Radyopasite: Radyografik görüntülemelerde açık bir şekilde ayırt edilebilmelidir.
- İnce Partikül Boyutu: Toz formundaki partiküller, taşıyıcı sıvı ile homojen şekilde karışabilecek incelikte olmalıdır.
- Boyutsal Stabilite: Sertleşme süreci tamamlandıktan sonra herhangi bir büzülme göstermemeli, böylece apikal sızdırmazlık korunmalıdır.
- Estetik Uyumluluk: Materyal, diş yapısında renk değişimine yol açmamalıdır.
- Bakteriyostatik Etki: Bakteri üremesini inhibe edebilmeli veya en azından bakteriyel proliferasyonu teşvik etmemelidir.
- Kontrollü Sertleşme Süresi: Sertleşme süresi, materyalin kanal içinde doğru pozisyonlandırılmasına ve gerekirse düzeltmeler yapılmasına imkân verecek kadar yeterli olmalıdır.
- Çözünmezlik: Sertleşmiş dolgu materyali, doku sıvıları ile temas ettiğinde çözünmemeli ve yapısal bütünlüğünü korumalıdır.
- Biyouyumluluk: Periapikal dokularla temas ettiğinde herhangi bir inflamatuar veya sitotoksik yanıt oluşturmamalıdır.
- Geri Dönüşümlülük: Gerekli durumlarda (örneğin retreatment veya post yerleştirilmesi sırasında) uygun çözücüler yardımıyla kanal sisteminden çıkarılabilir olmalıdır.

2.3.1. Kök Kanal Dolgu Patları

Son yıllarda, kimyasal bileşimlerine göre farklı kök kanal dolgu patları geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur. Bu dolgu patları şunlardır;

- Çinko oksit ojenol içerikli patlar,
- Cam iyonomer içerikli patlar,
- Rezin içerikli patlar,
- Kalsiyum hidroksit içerikli patlar**,**
- Biyoseramik esaslı patlar (Yoshida ve ark., 1995)

2.3.1.1.Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patları

Biyoseramikler, biyouyumlu, inorganik ve metalik olmayan materyaller grubunda yer almaktadır. Yapısal olarak zirkonya, alümina, hidroksiapatit, cam seramikler ve kalsiyum fosfat gibi bileşenlerden oluşurlar (Dr. Anil K Tomer & Leima Cecilia, 2020). Biyoseramik esaslı patlar, doku rejenerasyonunu destekleme kapasitesine sahiptir ve rezorpsiyon süreçlerine uyum gösterebilme özelliği taşır. Kök kanal duvarlarına yüksek adezyon kapasitesi göstererek uzun süreli ve etkin bir sızdırmazlık sağlar. Oluşturdukları yüksek pH seviyesi sayesinde mikroorganizmaların inaktivasyonuna katkıda bulunur. İçerdikleri kalsiyum fosfat bileşenleri, sertleşme sürecinde dişe kimyasal olarak benzer kristalin bir yapı oluşturarak dentin ile pat arasındaki bağlanmayı güçlendirir ve bağlanma dayanıklılığını artırır (Al-Haddad & Che Ab Aziz, 2016; Raghavendra ve ark., 2017).

Biyoseramik esaslı kök kanal patları, özellikle kalsiyum silikat türevli bileşimleri sayesinde yüksek biyouyumluluk, antimikrobiyal etki ve üstün sızdırmazlık özellikleriyle öne çıkar. Bu patlar, kök kanal dentinine karşı hidrofilik yapıları sayesinde etkin bir adaptasyon gösterir ve sertleşme sırasında hafif genleşme eğilimi göstererek mikrosızıntıyı minimize ederler. Ayrıca, doku sıvısıyla temaslarında kalsiyum hidroksit açığa çıkararak apatite benzeri minerallerin çökelmesini sağlar; bu da dentin yüzeyinde biyomineralizasyonu uyarır ve "mineral infiltrasyon zonu" olarak bilinen bir ara yüzey yapısı oluşturur (Al-Haddad & Che Ab Aziz, 2016). Bu yapısal değişiklikler hem fiziksel bariyer fonksiyonu hem de uzun vadeli biyolojik entegrasyon açısından önemlidir. Yapılan in vitro çalışmalarda, biyoseramik patların dentin tübüllerine derinlemesine penetre olabildiği, bu sayede

bakteriyel kontaminasyona karşı fiziksel bir engel oluşturduğu ve kök kanal sisteminin sızdırmazlığını artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, bu materyallerin sitotoksisitelerinin düşük, biyouyumluluklarının ise yüksek olduğu çeşitli hayvan deneyleri ve hücre kültürü çalışmalarıyla da desteklenmiştir (Lyu, 2022).

2.4. Smear Tabakası ve Kök Kanal Dolgu Patlarının Dentin Tübül Penetrasyonuna Etkisi

Smear tabakası, kök kanal tedavisi sırasında kanal duvarlarında biriken bir tabaka olup, dentin tübüllerinin bir kısmına sıkışabildiği gösterilmiştir (McComb & Smith, 1975; White ve ark., 1987). Bu tabaka, doğrudan mekanik şekillendirme işlemlerinin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Bu yüzden tedavi edilmemiş kök kanallarında bulunmamaktadır. Yapısal olarak smear tabakası, büyük ölçüde kalsifiye doku kaynaklı inorganik partiküllerden oluşur. Bunun yanında, nekrotik veya canlı pulpa dokusu kalıntıları, odontoblastik uzantılar, bakteriler ve kan hücreleri gibi organik bileşenler de içerebileceği bildirilmektedir (Mader ve ark., 1984). Goldman ve arkadaşları ,(Goldman ve ark., 1982) smear tabakasının ortadan kaldırılmasında en etkili yaklaşımın NaOCl ve EDTA kombinasyonunun kullanımı olduğunu belirtmişlerdir.

Smear tabakası, kök kanal duvarlarını kaplayarak, irrigantların, medikamentlerin ve dolgu materyallerinin dentin yüzeyiyle doğrudan temasını ve tübüllere penetrasyonunu engelleyebilir. Bu nedenle, kök kanal sistemi doldurulmadan önce smear tabakasının uzaklaştırılması, dolgu patlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu artırabilir (White ve ark., 1987). Böylelikle, dolgu materyalinin dentine bağlanma dayanımı güçlenirken, sızdırmazlık kapasitesi de iyileştirilebilir.

2.5. Dentin Tübül Penetrasyon Değerlendirme Yöntemleri

Kök kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyon kabiliyeti, endodontik tedavinin başarısı açısından son derece önemlidir. Çünkü bazı mikroorganizmalar dentinin derin bölgelerine yerleşerek, uzun süreli ve dirençli enfeksiyonlara neden olabilir (Akcay ve ark., 2016). Bu yüzden iyi bir kanal patı yalnızca kök kanal boşluğunu doldurmakla kalmaz; aynı zamanda dentin tübüllerine nüfuz ederek oradaki bakterileri etkisiz hale getirir ve çoğalmalarını engeller (Chan ve ark., 2024; Liu ve ark., 2021; Mancino ve ark., 2019). Patın sertleşerek dentin tübüllerinde fiziksel bir

bariyer oluşturması, enfeksiyonun kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Bu işlevde en belirleyici faktörlerden biri, malzemenin dentin yapısına ne ölçüde penetre olduğudur (Nouroloyouni ve ark., 2023; Quaresma ve ark., 2023; Retana-Lobo ve ark., 2021). Ayrıca, kök kanal duvarına iyi uyum göstermesi ve uygulandığında yerinden kolayca ayrılmaması, yani yüksek bir bağlanma kuvvetine (push out bond strenght) sahip olması da etkili ve uzun ömürlü bir tedavi için gereklidir.

2.5.1.Konfokal Lazer Taramalı Mikroskopi (KLSM)

KLSM, dentin tübüllerine sızan kanal patının derinliğini ve yayılım alanını üç boyutlu olarak görüntüleme imkânı sunar. Genellikle florasan boya (örneğin Rhodamine B) ile işaretlenmiş kanal patları kullanılır. Bu sayede kanal patlarının dentin duvarına ne kadar derin ve geniş yayıldığı mikron düzeyinde ölçülür (Sunny ve ark., 2025).

Avantajları;

- 3 boyutlu görüntüleme imkânı,
- Yüksek çözünürlük ile detaylı analiz,
- Numuneyi tahrip etmeden inceleme
- Farklı bölgelerdeki (koronal, orta, apikal) penetrasyonu karşılaştırabilme imkânı sunmasıdır.

Sınırlamaları;

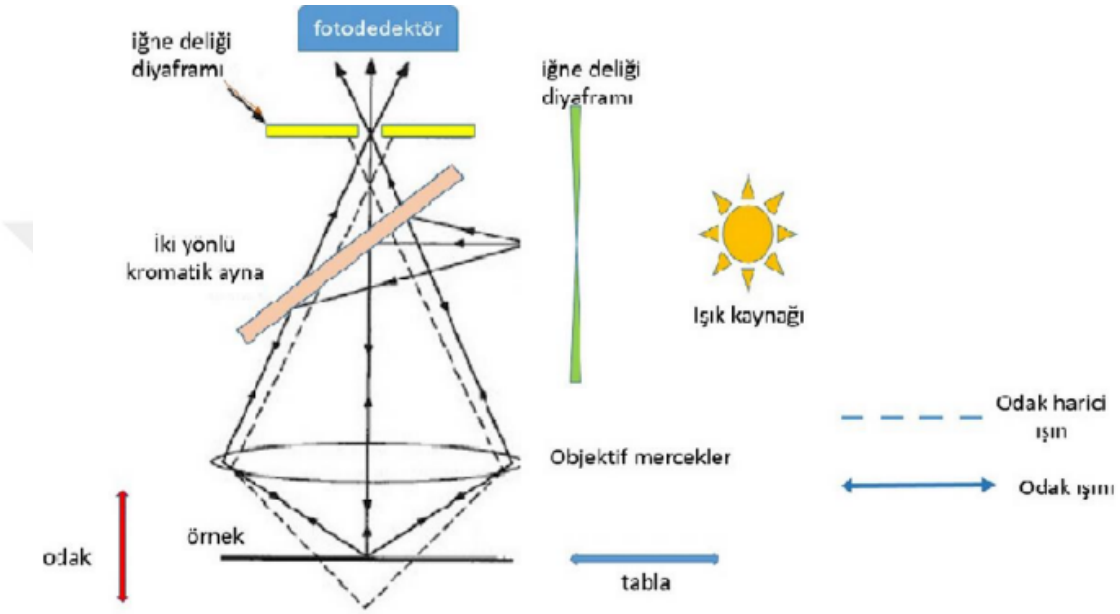
- Kanal patının boyayla homojen karıştırılması gerekir; aksi halde yanlış sonuçlar doğabilir.
- Sadece boya taşıyan kanal patı görüntülenebilir. Dolayısıyla kanal patı hacmiyle boya arasında korelasyon kurulamayabilir.
- Cihaz ve yazılım altyapısı maliyetli ve uzmanlık gerektirir (Sunny ve ark., 2025).

Konfokal lazer cihazının çalışma prensibi

1. Lazer ışını, kanal patı ve floresan boya ile işaretlenmiş örneğe yönlendirilir.
2. Kanal patındaki florasan boya uyarılarak emisyon ışığı yayar.
3. Pinhole, sadece odak düzleminden gelen ışığın geçmesine izin verir.

4. Bu ışık dedektör tarafından toplanır ve piksel piksel görüntü oluşur. Diğer odak dışı ışınlar engellendiği (dikroik ayna sayesinde) için, elde edilen görüntüde bulanıklık oluşmaz ve netlik artar. Bu işlem, X–Y düzleminde taranan tüm noktalarda tekrarlanarak bir iki boyutlu görüntü oluşturur.

5. Z düzlemi boyunca tekrarlandığında farklı derinliklerdeki görüntüler alınır. Bu sayede 3D yapı elde edilir (Resim 1).



Resim 1. Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Çalışma Prensibi (Sarı, 2021)

2.5.2.Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM)

SEM, kanal patının dentin tübüllerine fiziksel olarak girişini yüksek çözünürlükte iki boyutlu olarak görüntüler. Yüzey morfolojisi, tübüllerin açık olup olmadığı ve smear tabakasının temizliği net şekilde incelenebilir (Shenvi & Joshi, 2025).

2.5.3.Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (Micro-CT)

Micro-CT yöntemi, kanal patının dentin içindeki dağılımını tahribatsız şekilde üç boyutlu olarak incelemeye olanak tanır. Radyopak özellikteki kanal patları tercih edilir (Vivek ve ark., 2024).

2.5.4.Boyama Teknikleri ve Işık Mikroskobu

Kanal patlarının içerisine kontrast boya (örneğin Rhodamine B, Fluorescein) katılır, ardından ışık mikroskobu altında incelenir. Bu yöntem daha düşük maliyetlidir ancak hassasiyet sınırlıdır (Merfea ve ark., 2024).

2.6. Push out Bağlanma Dayanımı (POBS)

Kök kanal tedavisinde kullanılan kanal patı materyallerinin başarısı, yalnızca biyouyumluluk ve sızdırmazlık özelliklerine değil, aynı zamanda dentin yüzeyiyle oluşturduğu bağın mekanik dayanıklılığına da doğrudan bağlıdır. Bu bağlamda, POBS**,** kanal patının dentin kanal duvarlarına karşı gösterdiği adeziv direnç düzeyini değerlendirmek amacıyla yaygın biçimde kullanılan, kantitatif ve tekrarlanabilir bir test yöntemidir.

Push-out testi, standartlaştırılmış kök kesitleri üzerine uygulanan eksenel bir kompresif yük aracılığıyla, materyalin dentinden yerinden çıkması için gerekli maksimum kuvvetin (N) ölçülmesini esas alır. Bu kuvvet, bağlanan yüzey alanına bölünerek, sonuç megapaskal(MPa) cinsinden bağlanma dayanımı olarak ifade edilir. Hesaplamada genellikle aşağıdaki formül kullanılır:

$$\text{Bağlanma Dayanımı (MPa)} = \frac{\text{Bağlantı Yüzeyi Alanı (mm2)}}{\text{Uygulanan Kuvvet(N)}}$$

Kanalın konik yapısından dolayı, bağlantı yüzeyi aşağıdaki formül ile belirlenir:

$$\text{Alan} = \pi(R + r)\sqrt{(R - r)^2 + h^2}$$

Burada:

- R: Kesitin koronal çapı
- r: Apikal çap
- h: Kesit kalınlığı

Bu yöntem, farklı kök kanal patlarının dentinle olan etkileşim düzeyini karşılaştırmak, irrigasyon ajanlarının (örneğin EDTA, NaOCl uygulamaları) etkisini incelemek ve farklı bölgelere (koronal, orta, apikal) göre bağ kuvvetlerini değerlendirmek açısından önemlidir. Özellikle biyoseramik esaslı kanal patları, bu test yöntemiyle konvansiyonel materyallerle karşılaştırıldığında, dentinle kurduğu kimyasal bağ ve tübül penetrasyon derinliği açısından üstün performans sergileyebilmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Bu tez çalışması için Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 31.10.2024 tarihli toplantıda 2024/502 sayılı karar ile etik kurul onayı alınmıştır.

3.2. Power Analizi

Çalışmamızda her bir grupta kullanılması gereken diş sayısı G*Power 3.1 programı ile yapılan güç (power) analizi sonucunda belirlenmiştir. Yapılan analizde, %5 anlamlılık düzeyi, %80 test gücü ve 0.40 etki büyüklüğü esas alınarak 4 grup için toplamda 76 örnek gerektiği tespit edilmiştir. Olası veri kayıpları göz önünde bulundurularak, her grupta 20 adet olmak üzere toplamda 80 diş çalışmaya dahil edilmiştir.

3.3.Örnek Seçimi

Çalışmamızda kullandığımız dişlerin dahil edilme ve hariç tutulma kriterleri şu şekildedir;

Dişlerin Çalışmaya Dahil Edilme Kriterleri

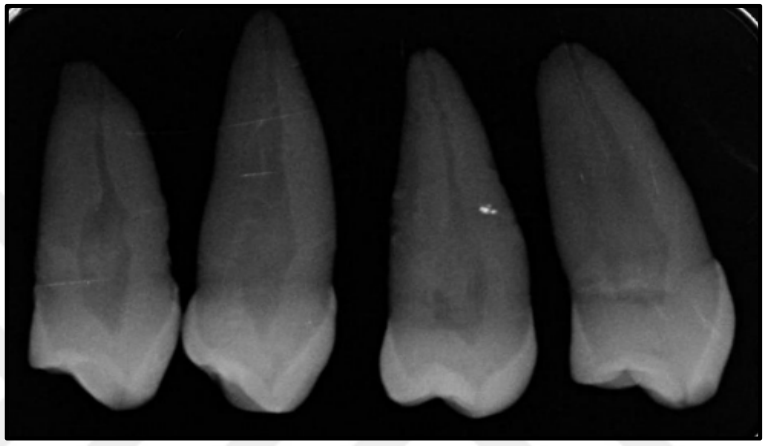
- Dişlerin tek köklü ve tek kanallı olması
- Dişe öncesinde kök kanal tedavisi uygulanmamış olması
- Kök kanalının kalsifiye olmaması
- Kökte rezorpsiyon, çatlak ya da kırık bulunmaması
- Dişlerin Schneider'e göre 5°'den az kök kurvatürüne sahip olması
- Kök boyunun en az 14 mm olması
- Kök gelişiminin tamamlanmış olması

Dişlerin Çalışma Dışı Bırakılma Kriterleri

- Dişe kök kanal tedavisi uygulanmış olması
- Kök kanalının kalsifiye olması

- 14 mm'den kısa köke sahip dişler
- Dişlerin Schneider'e göre 5°'den fazla kök kurvatürüne sahip olması
- Kökte rezorpsiyon, çatlak ya da kırık bulunması
- Kök gelişimini tamamlamamış dişler
- Tek köklü ve tek kanallı olmayan dişlerdir.

Dişlerin kök kanal morfolojilerini değerlendirmek amacıyla bukkolingual ve mesiodistal yönlerden fosfor plak yardımıyla radyografiler alındı (Resim 2).



Resim 2. Örnek Dişlerin Radyografik Görüntüsü

Buna göre örnek dişlerin dahil edilip hariç tutulmasına karar verildi. Dişlerin kök yüzeyi üzerinde yer alan sert ve yumuşak doku artıkları kretuar yardımıyla temizlenip 15 dk %5,25'lik NaOCl içerisinde bekletildi. Dişlerin kronlarından 14±1 mm boyunda olacak şekilde mine sement sınırına kadar uzaklaştırıldı ve dijital kumpas (Gomax, Hong-Kong, Çin) ile ölçüldü (Resim 3). Bu işlem standart bir uzunluk elde etmek amacıyla su soğutması altında elmas fissür frez ile gerçekleştirildi. Çalışmada kullanılacak dişler deneylerin gerçekleştirileceği zamana kadar oda sıcaklığında fizyolojik serum içerisinde saklandı. Tüm deneysel aşamalar tek bir araştırmacı tarafından gerçekleştirildi.



Resim 3. Dijital Kumpasla Dişlerin Boyunun Ölçülmesi

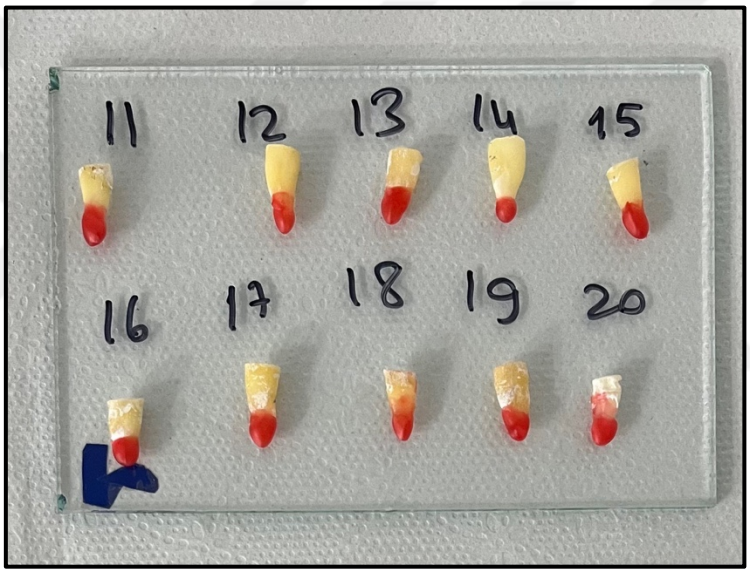
3.4. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

Çalışma boyları #10 K tipi eğe ile apikal foramenden 1 mm kısa olacak şekilde belirlendi. Ayrıca, standardizasyonu sağlamak için #25 K tipi eğe kanalda pasif olarak ilerletildi ve bu eğenin apikal forameni geçtiği dişler çalışmadan çıkarıldı. Kök kanalları ProTaper Next döner eğe sistemi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) ile crown-down tekniği kullanılarak X3 eğesine kadar üreticinin önerdiği şekilde, 300 rpm hız ve 3N.cm tork ayarında Endoart Smart Pro endomotoru (Woodpecker, Çin) ile gerçekleştirildi (Resim 4).



Resim 4. Endoart Smart Pro Endomotor (Woodpecker,Çin)

Her eğeleme işleminden sonra kök kanalları, 30 G'luk endodontik irrigasyon iğnesi (Ultradent Endo Eze, ABD) kullanılarak çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde 2 ml %5,25 NaOCl solüsyonu (marka) ile irrige edildi. Tüm preparasyon işlemleri boyunca 15 # K tipi eğe kullanılarak apikal açıklık kontrol edildi. Ardından solüsyonların apikalden taşmasını önlemek ve kapalı bir kök kanal sistemini taklit etmek amacıyla örneklerin kök uçları mum ile kapatıldı (Resim 5). Daha sonra son yıkama solüsyonlarının aktivasyonu aşamasına geçildi. İlk olarak uygulanacak irrigasyon aktivasyonu protokolüne göre dişler, her grupta 20 örnek olacak şekilde 4 gruba ayrıldı.



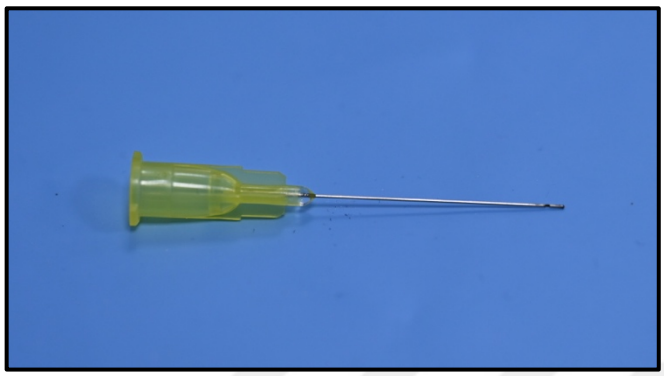
Resim 5. Kök uçları mumla kapatılan örnekler

3.5. İrrigasyon Solüsyonlarının Final İrrigasyon Aktivasyon Protokolü

3.5.1. Konvansiyonel İğne İrrigasyonu

İrrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu 30 G'luk yandan perfore endodontik irrigasyon iğnesi (Ultradent Endo Eze, ABD) ile manuel olarak yapıldı (Resim 6). İrrigasyon iğnesinin ucu çalışma boyunun 2 mm gerisinde konumlandırıldı ve 1dk boyunca yukarı aşağı hareket ettirilerek 3 ml %5,25 NaOCl (Imıcryl, Çin) solüsyonu aktive edildi. NaOCl'nin, EDTA ile etkileşime girmesini önlemek amacıyla kök

kanalları 3 ml distile su ile irrige edildi. Ardından 3 ml %17 EDTA solüsyonu (Imıcryl, Çin) kök kanalı içerisindeki irrigasyon iğnesinin ileri geri hareketleriyle 1dk boyunca aktive edildi. Örnekler tekrar 3 ml distile su ile yıkandı ve steril paper pointler ile kurulandı.



Resim 6. Yandan perfore enjektör iğnesi

3.5.2. Pasif Ultrasonik Aktivasyon

Pasif ultrasonik irrigasyonda ultrasonik uç çalışma boyundan 2 mm geride olacak şekilde kök kanalına yerleştirilerek, irrigasyon sırasında bu alanda yukarı aşağı hareket ettirildi. 3 ml %5,25 NaOCl 20 saniye ara ile 3 tur şeklinde ultrasonik aktivatör cihazıyla (Woodpecker, Çin) Mod 2 E2 güç ayarında olacak şekilde aktive edildi (Resim 7). EDTA öncesinde endodontik irrigasyon iğnesi kullanılarak 3 ml distile su irrigasyonu yapıldı. 3 ml %17 EDTA 20 s aralıkla 3 tur şeklinde aynı güç ayarında aktive edildi. Ardından dişler endodontik irrigasyon iğnesi kullanılarak tekrar 3 ml distile su ile yıkandı ve steril paper pointler ile kurutuldu.



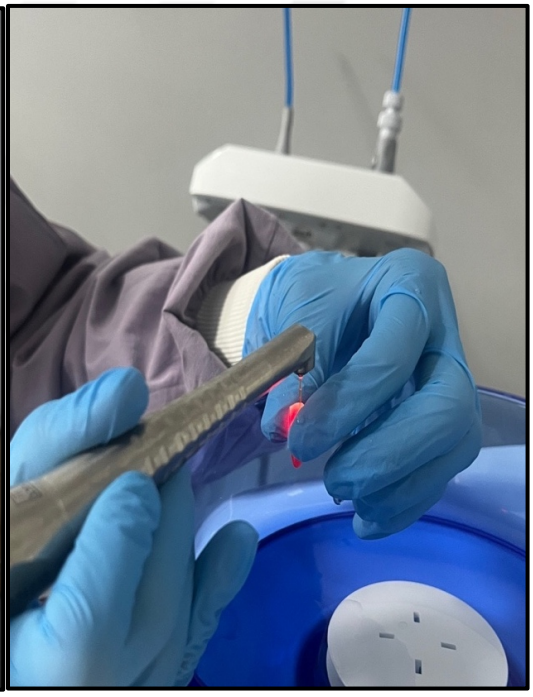
Resim 7. Woodpecker Endo 3 Ultrasonik Aktivatör Cihaz

3.5.3. Er: YAG Lazer PIPS Ucu ile Aktivasyon

ER: YAG lazerin (LightWalker AT, Fotona, Ljubljana, Slovenya) ucuna takılan 400 µm çapındaki PIPS ucu üretici firmanın da tavsiye ettiği gibi 0.3 W, 20 mJ ve 15Hz parametreleri ile kullanıldı (Resim 8). Kanalın koronaline yerleştirilen PIPS fiber optik uçla 30 saniyelik 2 periyot halinde 3 ml %5,25 NaOCl ile kanal irrigasyonu yapıldı. Endodontik irrigasyon eğesi kullanılarak 3 ml distile su ile irrigasyon yapıldıktan sonra aynı işlem 3 ml %17 EDTA ile 30 saniyelik 2 periyot halinde tekrarlandı (Resim 9). Ardından dişler endodontik irrigasyon iğnesi kullanılarak tekrar 3 ml distile su ile yıkandı ve steril paper pointler ile kurutuldu.



Resim 8. Fotona ER: YAG lazer

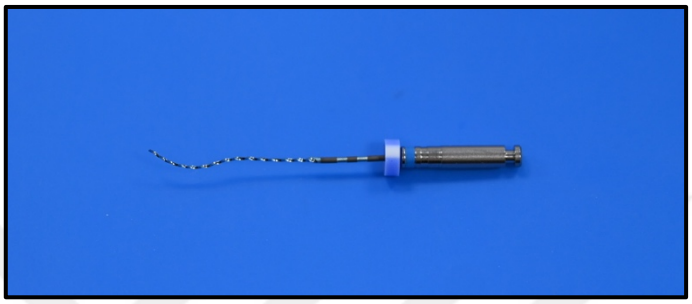


Resim 9. ER: YAG Lazer PIPS ucu ve aktivasyon

3.5.4. XPFR ile Aktivasyon

XPFR eğesi (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) (Resim 10) ile Endoart Smart Pro marka endomotor 1000 rpm 1-Ncm tork değerlerinde kullanılarak aktivasyon işlemi gerçekleştirildi. İrrigasyon yapılacak beherdeki suyun sıcaklık derecesi vücut sıcaklığına uygun olacak şekilde 37°C olarak ayarlandı. Örnek

diş bir süre bu sıcaklıkta bekletilerek irrigasyona başlandı ve ısı ölçerle suyun sıcaklığı sürekli kontrol edildi. 3 ml'lik %5,25 NaOCl kanala uygulanırken 20 sn süre ile 3 tur şeklinde çalışma boyunda ileri geri hareket ettirilerek aktive edildi. Endodontik irrigasyon eğesi kullanılarak 3 ml distile su ile irrigasyon yapıldıktan sonra aynı işlem 3 ml %17 EDTA ile 30 saniyelik 2 periyot halinde tekrarlandı. Ardından dişler endodontik irrigasyon iğnesi kullanılarak tekrar 3 ml distile su ile yıkandı ve steril paper pointler ile kurutuldu.



Resim 10. XPFR eğesi

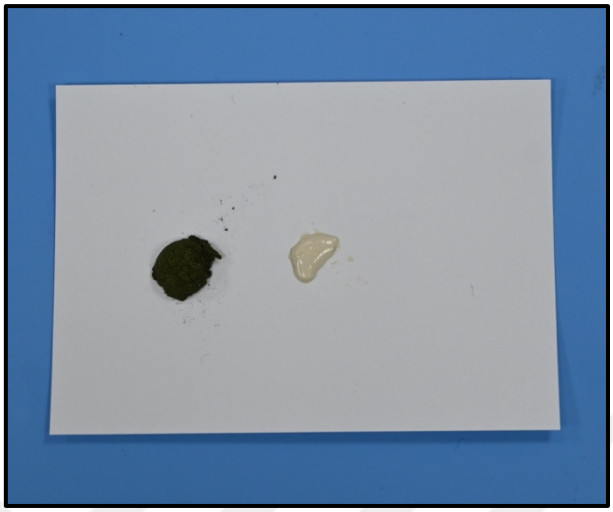
3.6. Kök Kanallarının Doldurulması

Biyoseramik esaslı patların nem varlığında sertleşmesi göz önünde bulundurularak örnekler nemli bırakıldı. Çalışmamızda biyoseramik esaslı TotalFill BC (FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Switzerland) kök kanal dolgu patı kullanıldı (Resim 11).



Resim 11. TotalFill Bc Sealer Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patı

Kök kanal dolgu patları, üretici firmaların önerdiği şekilde hazırlandı ve floresan görüntü vermesi için %0,1 oranında Rodamin B (ISOLAB Chemicals, Almanya) ile işaretlendi (Resim 12).



Resim 12. Rhodamin B floresan boya

Kanal patı ve rhodamine B tozunun ölçümü hassas terazi (SHIMADZU AY220) ile gerçekleştirildi (Resim 13).



Resim 13. Hassas Terazi (SHIMADZU AY220)

Rhodamine B ile karıştırılan kanal dolgu patı, kök kanallarına ISO #30 lentülo (Mani Inc., Utsunomiya, Japonya) yardımıyla yerleştirildi. Guta perkaların fazla kısımları, ısıtılmış ekskavatör yardımıyla mine-sement sınırının 1 mm altında olacak şekilde uzaklaştırıldı. Plugger yardımıyla kök kanal dolgusu vertikal olarak kondanse edildi. Giriş kavitesinde bulunan pat fazlalıkları alkollü pamuk yardımıyla temizlendi. Giriş kaviteleri geçici dolgu maddesi (T-FILL, India) ile restore edildi. Dişler, kök kanal dolgu patlarının sertleşmesi için 37°C'de %100 nemli ortamda 1 hafta boyunca inkübatörde bekletildi (Resim14).

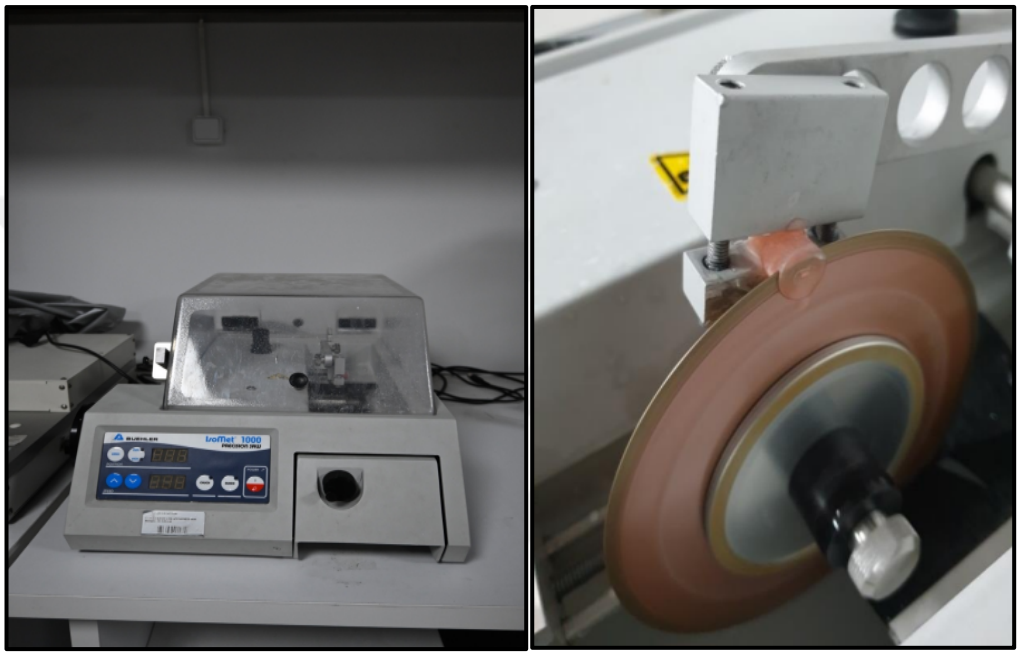


Resim 14: İnkübasyon Cihazı

3.7. Örneklerden Kesit Alınması

Nemli ortamda 1 hafta bekletilen örneklerin apikal foramenleri uçta olacak şekilde soğuk akrilik (İntegra) içine yerleştirilerek sabitlendi. Her örnek apikalden itibaren 2-3 mm, 5-6 mm ve 8-9 mm aralıkları işaretlendi. İşaretlenen kısımlar düşük

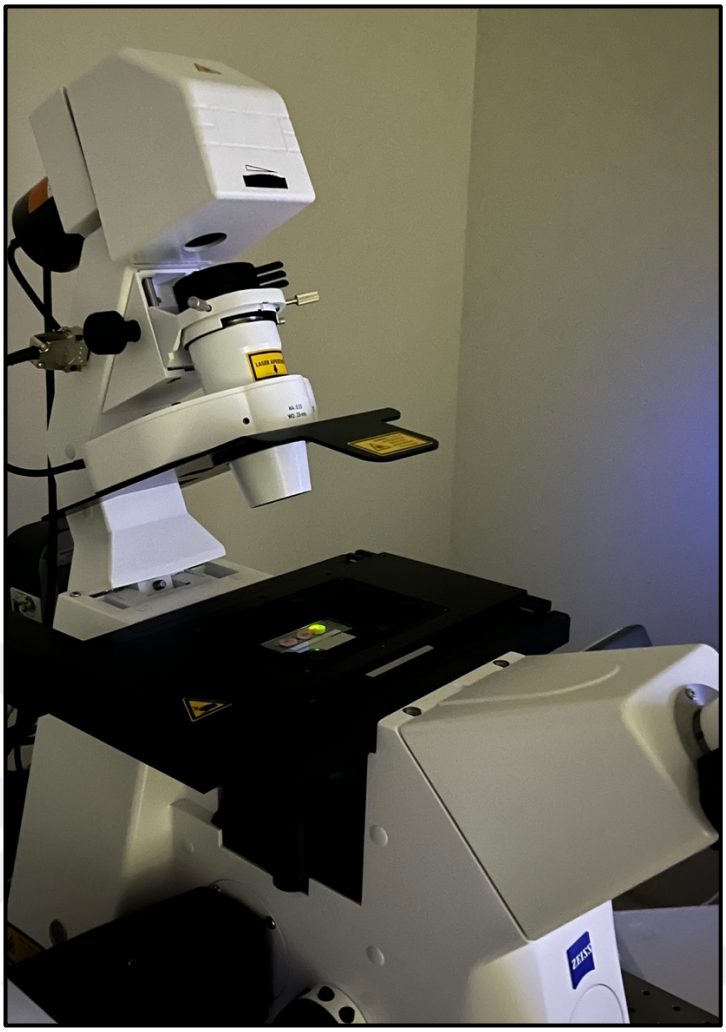
hızdaki mikrocut cihazı (Isomet, Buehler, ABD) kullanılarak su soğutması altında 0,3 mm kalınlığındaki elmas disk ile her kök için yaklaşık 1 ± 0,1 mm kalınlığında ve 2, 5, 8 mm derinliğinde üç adet horizontal kesit (apikal, orta, koronal) (Resim 15) ve toplamda 240 kesit elde edildi. Örneklerden alınan kesitler pürüzsüz bir yüzey elde etmek amacıyla silikon karbid zımpara ile cilalandı. Apikal, orta ve koronal bölgelerden alınan 1 mm kalınlığındaki kesitler KLTM ile görüntü alınması için çift taraflı şeffaf bant yardımı ile lam üzerine sabitlendi.



Resim 15: İsomet Mikrocut Cihazı

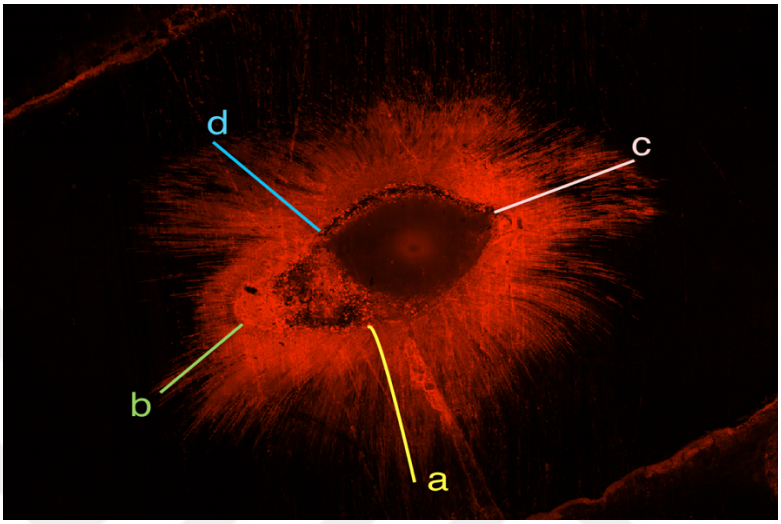
3.8. Örneklerin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskobu ile İncelenmesi ve Penetrasyon Değerlerinin Ölçülmesi

Örneklerden alınan kesitler, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) bünyesinde bulunan Zeiss LSM 900 konfokal lazer tarama mikroskobu ile incelendi (Resim 16). Görüntüler, 591 nm dalga boyuna sahip emisyon şiddeti 590 nm lazer ışını kullanılarak x5 büyütme kaydedildi (Resim 16). Dijital görüntüler ImageJ (ImageJ software, NIH) programına aktarıldı.



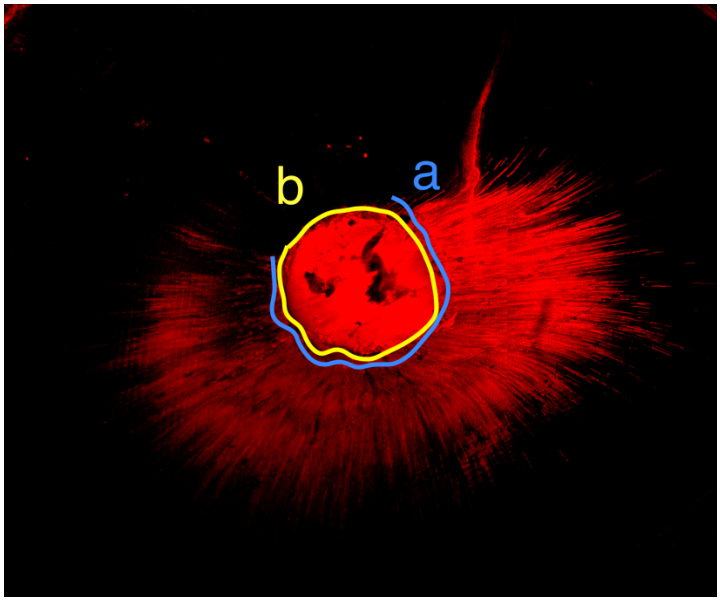
Resim 16: Konfokal Lazer Taramalı Mikroskobu

Gharib ve ark.'nın (Gharib ve ark., 2007) kullandığı yöntem takip edilerek patın penetrasyon yüzdesi belirlendi. Görüntülenen örneklerde penetrasyon derinliğini hesaplamak için kesitlerin her biri dört kadrana ayrıldı. Her kadranda kanal içinden başlayarak en uzun mesafe ölçüldü. Ölçülen değerlerin ortalaması alınarak penetrasyon derinliği hesaplandı (Resim 17).



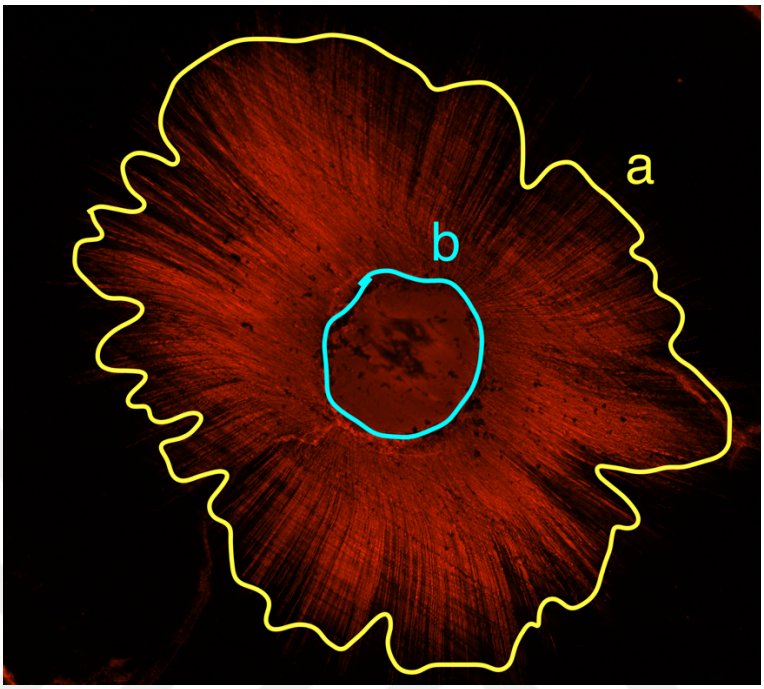
Resim 17: Penetrasyon Derinliği (a+b+c+d) / 4

Penetrasyon yüzde ölçümü için patın kanal iç duvarında penetre olduğu bölgelerin uzunluğu, kanal çevre uzunluğuna oranlandı ve 100 ile çarpıldı (Resim 18).



Resim 18: Penetrasyon Yüzde Ölçümü: (a / b) x100

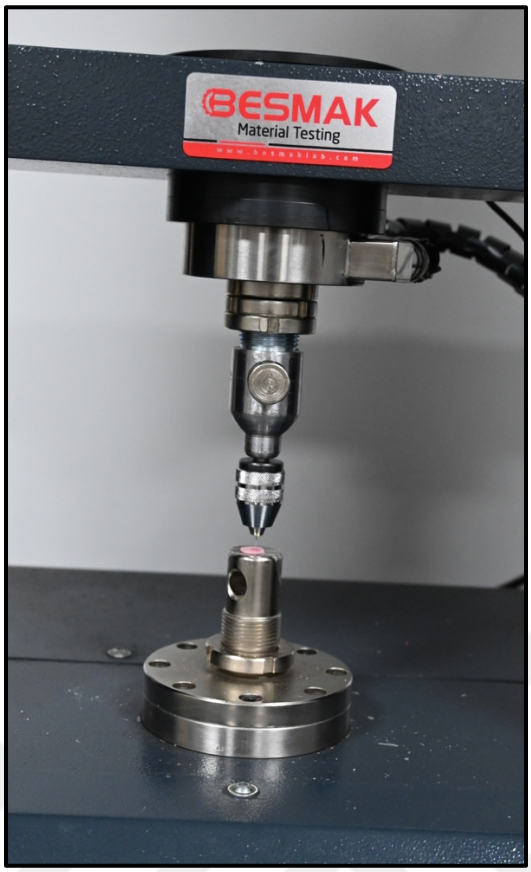
Penetrasyon alanı ölçümü için ise kanal patının penetre olduğu alanın etrafı çizilerek hesaplanan alandan, kanal lümeninin çevresi çizilerek hesaplanan alan çıkarıldı (Resim 19)



Resim 19: Penetrasyon Alanı (a-b)

3.9. Örneklere Push Out Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması

Dentin kesitlerinin KLTM görüntülerinin alınması sonrası, 1 mm kalınlığındaki her bir kesit push-out bağlanma dayanım testi uygulanması için BESMAK üniversal test cihazına yerleştirildi (Resim 29). Her bir kesit apikal yüzeyleri yukarıya bakacak ve pluggerların ucu sadece kök kanal dolgu materyaline temas edecek şekilde yerleştirildi. Apikal, orta, koronal kesitler için sırasıyla 0.4, 0.6, 0.8 mm kalınlıklarındaki pluggerlar kullanıldı.



Resim 20: Push Out Cihazı

Test cihazı 1 mm/dk hızda ayarlandı ve kuvvet apiko-koronal yönde uygulandı. Kök dolgu materyalinin kanaldan ayrıldığı maksimum kuvvet Newton (N) olarak kaydedildi ve bağlanma dayanımı aşağıdaki formül kullanılarak Megapaskal(MPa)'a çevrildi.

$$\text{Bağlanma Dayanımı (MPa)} = \frac{\text{Bağlantı Yüzeyi Alanı(mm2)}}{\text{Uygulanan Kuvvet(N)}}$$

$$\text{Alan} = \pi(R + r)\sqrt{(R - r)^2 + h^2}$$

h: Örneklerin kalınlığı

r: Örneklerin apikal yüzey kanal çapı

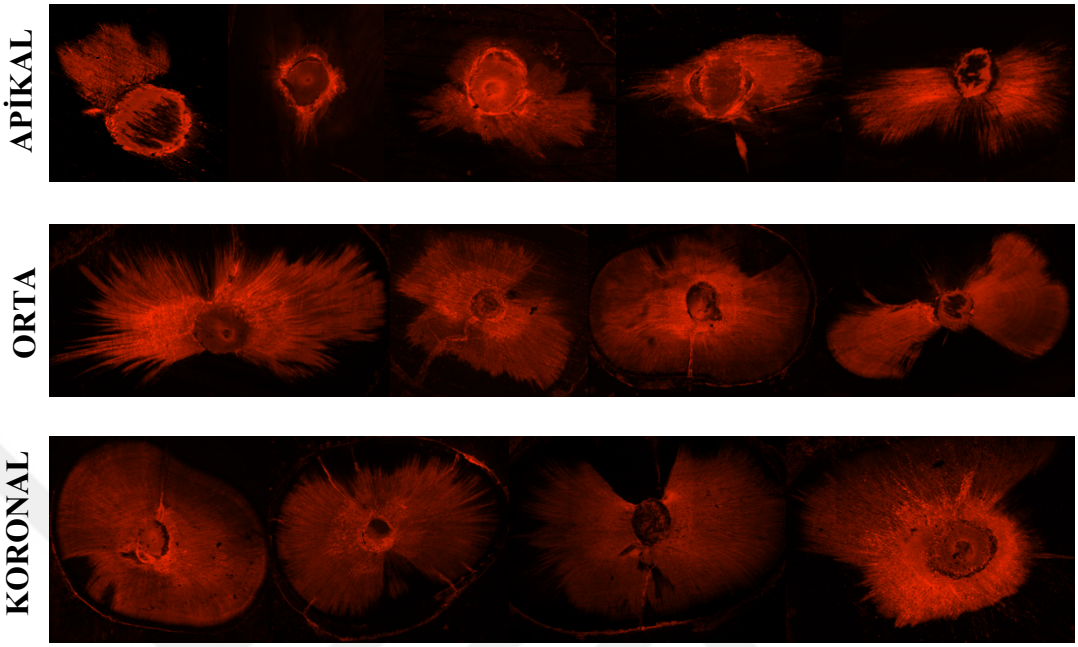
R: Örneklerin koronal yüzey kanal çapı

3.10. İstatistiksel Analiz

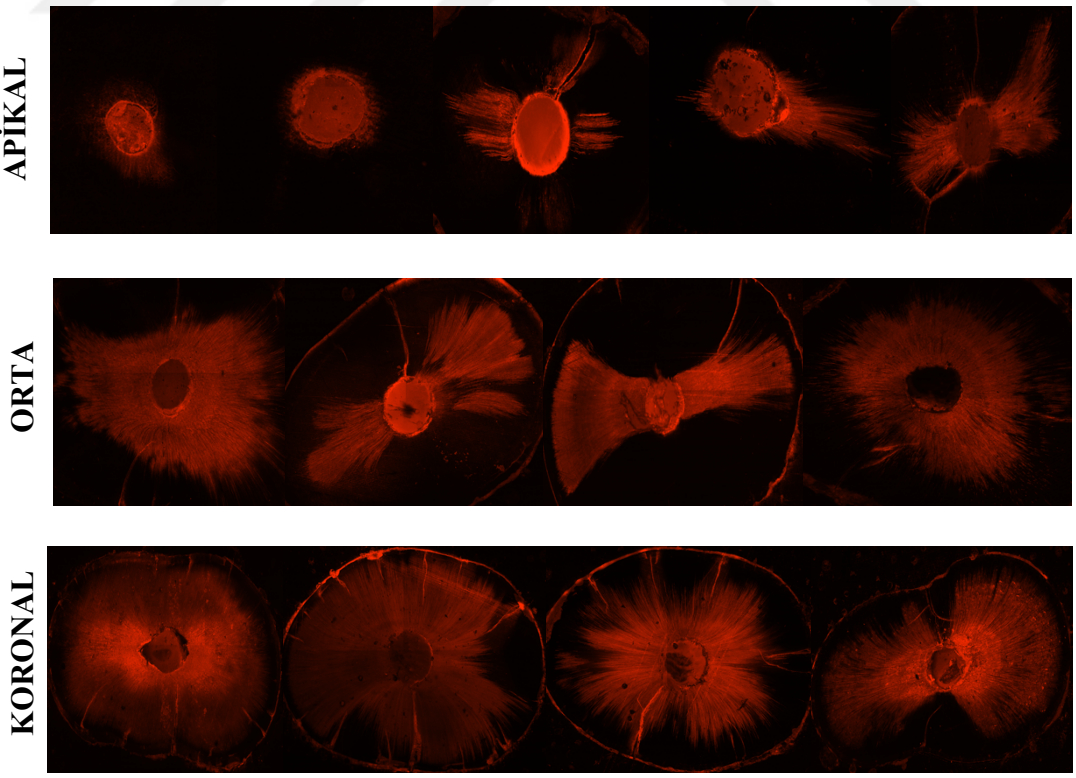
Çalışmada elde edilen veriler IBM SPSS Statistics 23.0 programı ile analiz edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım göstermeyen parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında Kruskal-Wallis testi, ikili grup karşılaştırmalarında ise Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Yapılan çoklu karşılaştırmalarda, istatistiksel hata riskini azaltmak amacıyla Post hoc testi olarak Bonferroni testi referans alınmıştır. Satırlarda yapılan ikili karşılaştırmalarda anlamlılık düzeyi $p< 0.05/$, sütunlarda yapılan ikili karşılaştırmalarda ise anlamlılık düzeyi $p < 0.016$ olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada penetrasyon alanı, penetrasyon yüzdesi, penetrasyon derinliği ve bağlanma dayanımı arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Spearman sıra farkı korelasyon analizi uygulanmıştır.

4. BULGULAR

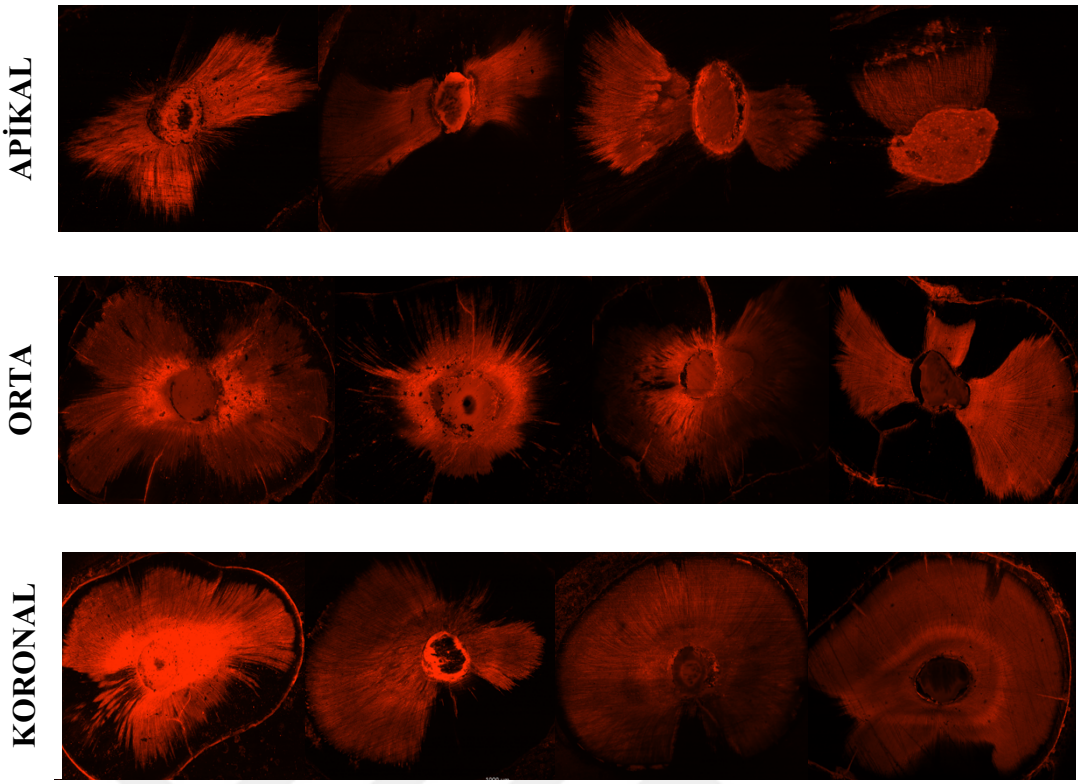
4.1. Kanal Patı Dentin Tübül Penetrasyonuna Ait Bulgular



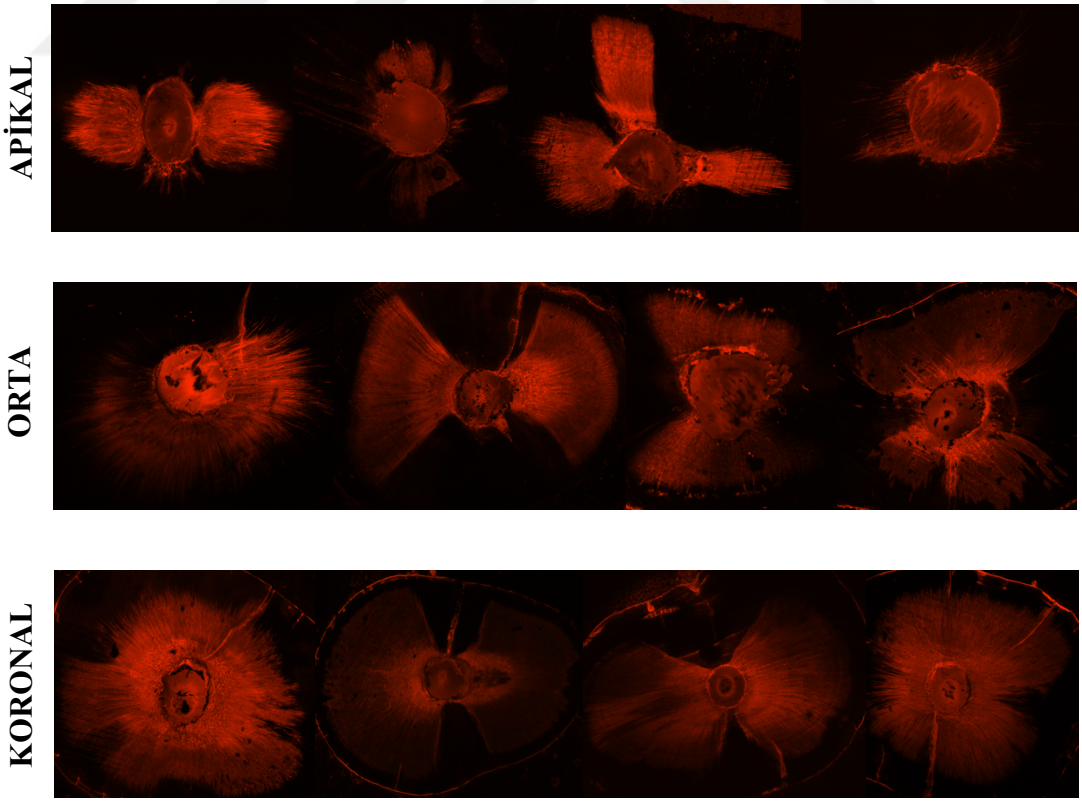
Resim 21. ER:YAG Lazer Apikal, Orta ve Koronal Kesitlerin Konfokal Görüntüsü



Resim 22. Kİİ Apikal Orta ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüsü



Resim 23. PUİ Apikal, Orta ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüsü



Resim 24. XPFR Apikal, Orta ve Koronal Kesitlerin Konfokal Lazer Görüntüleri

4.1.1. Dentin Tübül Penetrasyon Derinliği

Tablo 1 ve Şekil 2 de farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin (PUİ, Er:YAG, XPFR ve Kİİ) dentin tübül penetrasyon derinliğine ilişkin apikal, orta ve koronal düzeylerde elde edilen ortalama, standart sapma (SS) ve medyan (IQR) değerleri sunulmuştur.

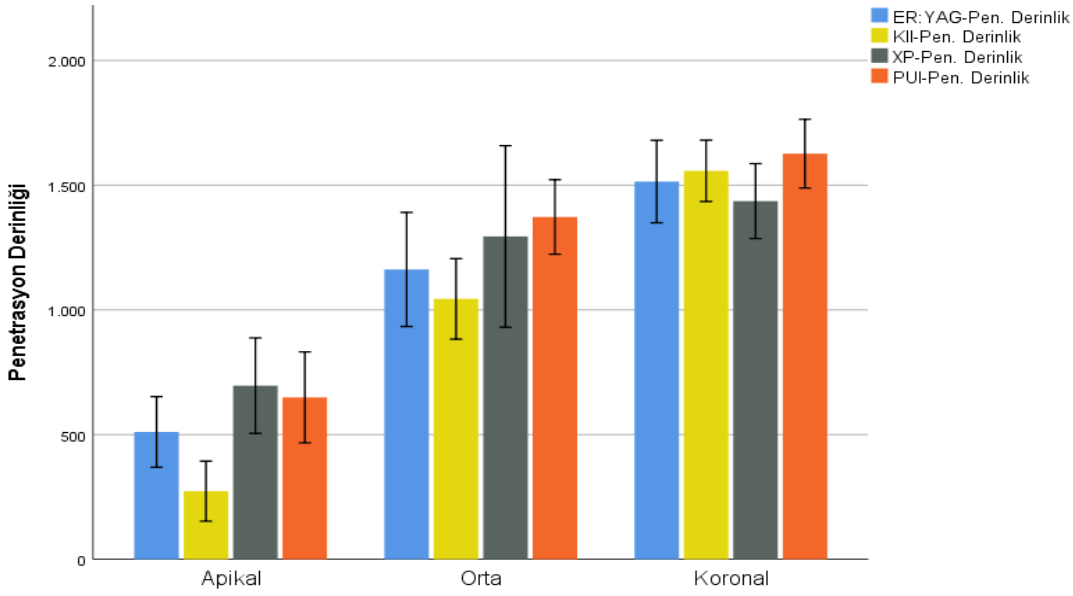
Apikal bölgede, Kİİ grubu, diğer tüm gruplara kıyasla anlamlı şekilde daha düşük penetrasyon derinliği göstermiştir ($p<0.05$). PUİ, XPFR ve Er:YAG grupları ise apikal bölgede istatistiksel olarak benzer sonuçlar vermişlerdir ($p<0.05$). Orta bölgede, PUİ grubunun penetrasyon derinliği, Kİİ ve Er:YAG gruplarına göre anlamlı olarak yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). XP grubu ise PUİ'ye yakın sonuçlar göstermiş olsa da istatistiksel olarak farklılık göstermemiş ve bu gruplar benzer kategoride değerlendirilmiştir ($p>0.05$). Koronal bölgede PUİ ve Kİİ grupları benzer ve yüksek değerler gösterse de XPFR ve Er:YAG grupları ile aralarında anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Tüm gruplarda apikal bölgedeki penetrasyon derinliği, orta ve koronal bölgelere kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). PUİ ve Kİİ grupları apikalden koronale artan penetrasyon derinliği değerleri gösterse de XPFR ve Er:YAG grupları apikalde düşük değerler gösterirken orta ve koronal bölgelerde benzer değerler göstermişlerdir.

Tablo 1: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye Göre Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Er:YAG	Ortalama±SS	510,8±67,6 ^{A,x}	1162,35±109,29 ^{A,y}	1514,5±78,98 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	524.00	1138.00	1611.50
Kİİ	Ortalama±SS	273,3±57,56 ^{B,x}	1044,1±77,15 ^{A,y}	1557,45±58,74 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	191.00	1137.00	1619.00
XPFR	Ortalama±SS	696,3±91,5 ^{A,x}	1294,5±173,88 ^{A,y}	1436,2±71,78 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	629.50	1119.50	1472.50
PUİ	Ortalama±SS	649,35±87,05 ^{A,x}	1372,6±71,42 ^{B,y}	1626,35±65,82 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	755.00	1290.00	1699.50

Çoklu karşılaştırma analizine göre, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar $p<0,05$ düzeyinde değerlendirilmiş; gruplar arası farklar büyük harflerle (A, B), her bir grup içinde bölgeler arası farklar ise küçük harflerle (x, y, z) kodlanmıştır.



Şekil 2. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Derinliğine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafiksel Gösterimi

4.1.2.Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesi

Tablo 2 ve Şekil 3 de farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin (PUİ, Er:YAG, XPFR ve Kİİ) dentin tübül penetrasyon yüzdesine ilişkin apikal, orta ve koronal düzeylerde elde edilen ortalama, SS ve IQR değerleri sunulmuştur.

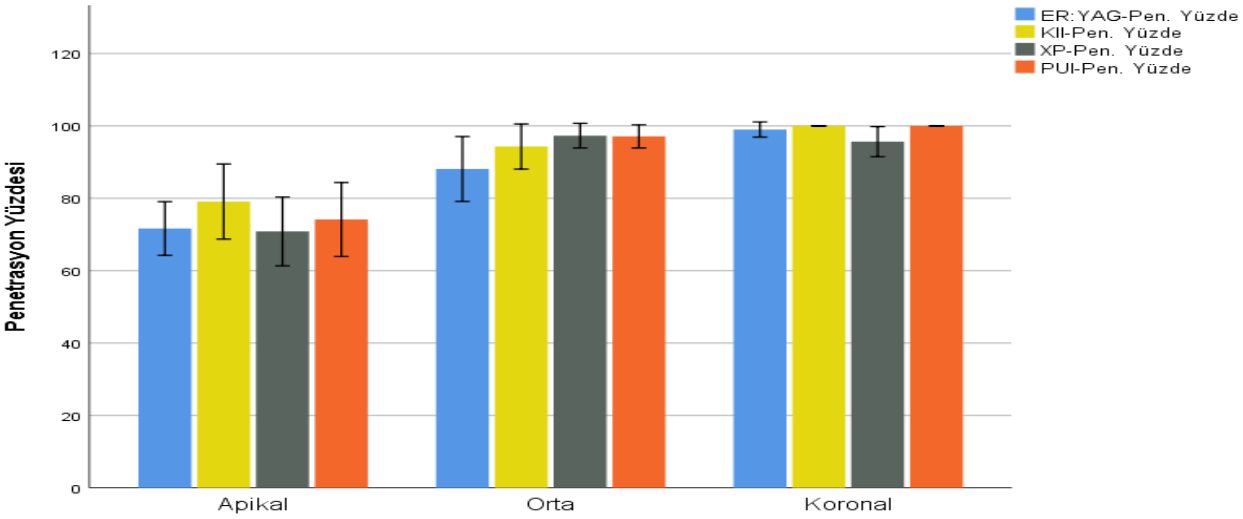
Apikal bölgede değerlendirilen dört grubun (PUİ, Er:YAG, XPFR, Kİİ) ortalama dentin tübül penetrasyon yüzdesi benzer düzeyde bulunmuş, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (p> 0.05).). Orta bölgede bütün gruplar benzer sonuçlar göstermiştir. Koronal bölgede bütün gruplar benzer değer göstermiştir (p>0,05).

PUİİ grubunda apikal bölgeden koronal bölgeye doğru ilerledikçe dentin tübül penetrasyon yüzdesinde genel olarak artış eğilimi gözlenmiştir. Kİİ ve Er:YAG grupları apikalden orta bölgeye geçişte benzer sonuç gösterirken, koronal bölge orta bölgeye kıyasla anlamlı artış göstermiştir. PUİ ve XPFR grubunda ise apikalden ortaya anlamlı artış görülürken orta ve koronal bölgeler benzer sonuç göstermiştir.

Tablo2: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesi Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Er:YAG	Ortalama±SS	71,7±3,5 ^{A,x}	88,1±4,3 ^{A,x}	99±1 ^{A,z}
	Ortanca(IQR)	72.5	100.0	100.0
Kİİ	Ortalama±SS	79,1±5 ^{A,x}	94,3±3 ^{A,x}	100±0 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	86.5	100.0	100.0
XPFR	Ortalama±SS	70,9±4,5 ^{A,x}	97,3±1,6 ^{A,y}	95,7±2 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	66.0	100.0	100.0
PUİ	Ortalama±SS	74,2±4,9 ^{A,x}	97,1±1,5 ^{A,y}	100±0 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	71.0	100.0	100.0

Çoklu karşılaştırma analizine göre, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar $p<0,05$ düzeyinde değerlendirilmiş; gruplar arası farklar büyük harflerle (A, B), her bir grup içinde bölgeler arası farklar ise küçük harflerle (x, y, z) kodlanmıştır.



Şekil 3. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Yüzdesine Ait Ortalama Değerlerin (µm) Grafiksel Gösterimi

4.1.3. Dentin Tübül Penetrasyon Alanı

Tablo 3 ve Şekil 4 de farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin (PUİ, Er:YAG, XPFR ve Kİİ) dentin tübül penetrasyon yüzdesine ilişkin apikal, orta ve koronal düzeylerde elde edilen ortalama, SS ve medyan (IQR) değerleri sunulmuştur.

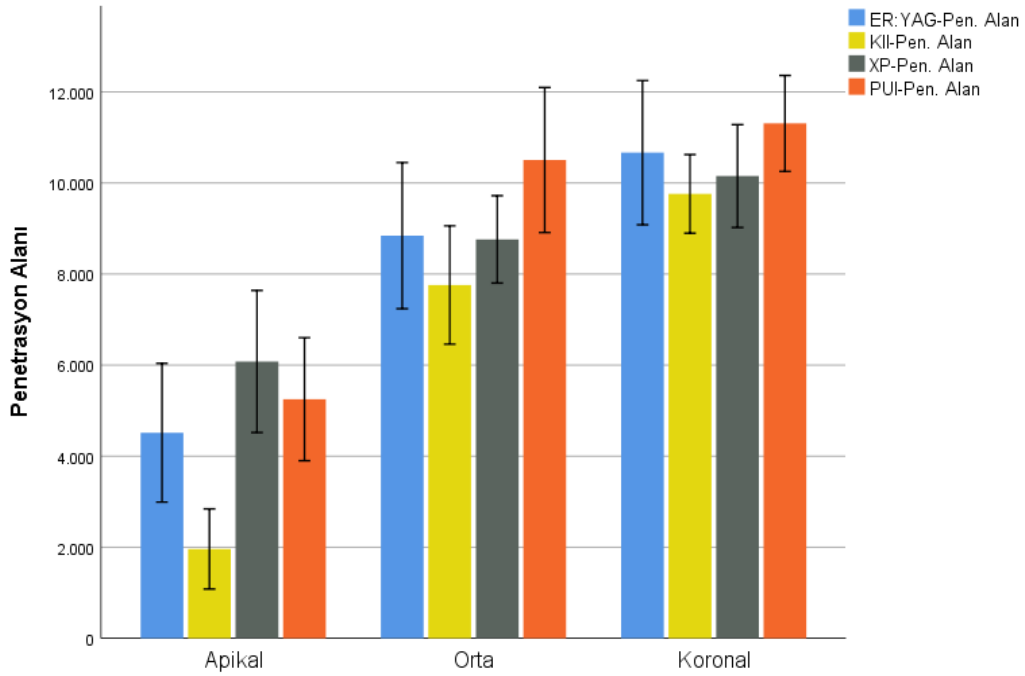
Apikal bölgede XPFR, Er:YAG ve PUİ grupları benzer penetrasyon alanları göstermiştir (p> 0.05). Kİİ grubu ise diğer tüm gruplardan anlamlı olarak daha düşük değer göstermiştir (p <0.05). Orta bölgede PUİ anlamlı olarak yüksek penetrasyon alanı gösterirken diğer tüm deney grupları (XPFR, Er:YAG, Kİİ) istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir (p> 0.05). Koronal bölgede PUİ anlamlı derecede yüksek penetrasyon alanı gösterirken diğer tüm gruplar (XPFR, Er:YAG, Kİİ) benzer değerler göstermiştir (p <0.05).

Bütün gruplar apikalde en düşük penetrasyon değerini gösterirken orta ve koronal bölgede benzer değerler göstermişlerdir.

Tablo3: Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama, Standart Sapma ve Ortanca Değerleri (µm)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Er:YAG	Ortalama±SS	4515,25±728,03 ^{A,x}	8842,75±766,57 ^{A,y}	10665,8±756,63 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	3881.50	8565.00	10331.00
Kİİ	Ortalama±SS	1962,25±420,4 ^{B,x}	7758±620,85 ^{A,y}	9759,95±412,55 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	1210.00	8301.50	9570.50
XPFR	Ortalama±SS	6079,2±745,28 ^{A,x}	8760,85±458,61 ^{A,y}	10151,4±539,25 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	5834.00	9215.00	10094.50
PUİ	Ortalama±SS	5250,5±645,76 ^{A,x}	10504,45±761,23^{B,y}	11308±502,85 ^{B,y}
	Ortanca(IQR)	6222.00	9619.00	11065.00

Çoklu karşılaştırma analizine göre, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar p<0,05 düzeyinde değerlendirilmiş; gruplar arası farklar büyük harflerle (A, B), her bir grup içinde bölgeler arası farklar ise küçük harflerle (x, y, z) kodlanmıştır



Şekil 4. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Dentin Tübül Penetrasyon Alanına Ait Ortalama Değerlerin (µm2) Grafiksel Gösterimi

4.1.4. Kanal Patının Push Out Bağlanma Dayanımı

Tablo 4 ve Şekil 5 de farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin kök kanal patlarının dentin ile bağlanma dayanımı üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, tüm gruplarda apikal bölgede istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir ($p>0.05$).

Apikal bölgede en yüksek bağlanma dayanımı PUİ grubunda, en düşük ise Er:YAG grubunda elde edilmiştir. Ancak PUİ, Er:YAG, XPFR ve Kİİ gruplarının apikal bölgede elde edilen ortalama bağlanma dayanımı değerleri benzerdir ($p>0.05$). Orta bölgede en yüksek değer XP grubunda, en düşük değer ise PUİ grubunda bulunmuştur. Gruplar yine istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir ($p>0.05$).. Koronal bölgede ise XPFR grubunun ortalama bağlanma dayanımı, diğer gruplardan

anlamlı şekilde daha düşük bulunmuş ($p<0.05$). Diğer tüm gruplar koronal bölgede istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir.

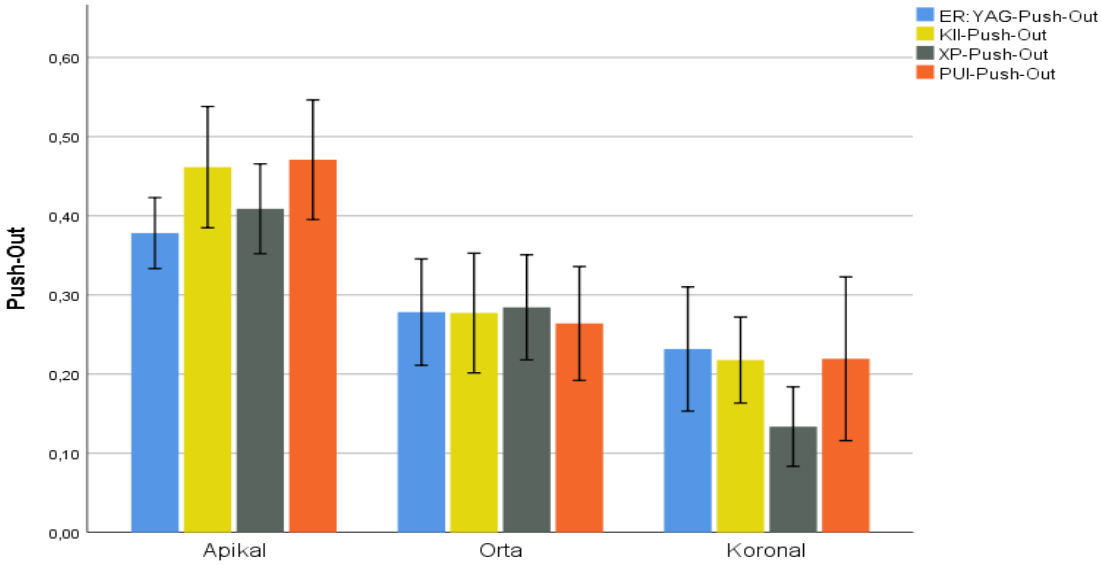
Tüm gruplarda apikal bölge, orta bölgeye kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı sergilemiştir. XPFR grubunda apikalden koronale anlamlı artış bulunmuştur. Diğer gruplarda apikal bölge anlamlı deercede düşük iken orta ve koronal bölge benzer sonuçlar göstermiştir.

Sonuç olarak, POBS açısından apikal ve orta düzeyde tüm aktivasyon sistemleri benzer sonuçlar verirken, yalnızca koronal bölgede XP grubunun anlamlı olarak daha düşük bir bağlanma dayanımı sergilediği saptanmıştır.

Tablo 4. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı POBS'lerine ait Ait Ortalama, SS ve IQR Değerleri (MPa)

GRUPLAR		APİKAL	ORTA	KORONAL
Er:YAG	Ortalama±SS	0,378±0,021 ^{A,x}	0,278±0,032 ^{A,y}	0,232±0,037 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	0.348	0.278	0.197
Kİİ	Ortalama±SS	0,461±0,037 ^{A,x}	0,277±0,036 ^{A,y}	0,218±0,026 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	0.459	0.331	0.186
XP	Ortalama±SS	0,409±0,027 ^{A,x}	0,284±0,032 ^{A,y}	0,134±0,024 ^{B,z}
	Ortanca(IQR)	0.432	0.267	0.122
PUİ	Ortalama±SS	0,471±0,036 ^{A,x}	0,264±0,034 ^{A,y}	0,219±0,049 ^{A,y}
	Ortanca(IQR)	0.488	0.259	0.172

Çoklu karşılaştırma analizine göre, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar $p<0,05$ düzeyinde değerlendirilmiş; gruplar arası farklar büyük harflerle (A, B), her bir grup içinde bölgeler arası farklar ise küçük harflerle (x, y, z) kodlanmıştır.



Şekil 5. Farklı İrrigasyon Aktivasyon Sistemlerinin Apikal, Orta ve Koronal Üçlüye göre Kanal Patı Push-out Bağlanma Dayanımına Ait Ortalama Değerlerin Grafiksel Gösterim

4.1.5. Değişkenler Arasındaki Korelasyon

Bu çalışmada penetrasyon alanı, penetrasyon yüzdesi, penetrasyon derinliği ve bağlanma dayanımı arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Spearman sıra farkı korelasyon analizi uygulanmıştır. Elde edilen korelasyon katsayıları ve anlamlılık düzeyleri Tablo 5'te sunulmuştur.

Penetrasyon alanı ve penetrasyon yüzdesi arasında orta düzeyde pozitif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$) Yani, penetrasyon alanı arttıkça, yüzdesel dağılım da artma eğilimindedir. Penetrasyon alanı ve penetrasyon derinliği arasında kuvvetli pozitif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Penetrasyon alanı ve bağlanma dayanımı arasında orta düzeyde negatif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon derinliği arasında orta kuvvetli pozitif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Penetrasyon yüzdesi ve bağlanma dayanımı arasında orta düzeyde negatif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$). Penetrasyon derinliği ve bağlanma dayanımı arasında kuvvetli negatif ilişki bulunmuştur ($p<0,05$).

Sonuç olarak penetrasyon parametreleri (alan, yüzdesi, derinlik) birbiriyle pozitif ve anlamlı ilişkilidir**.** Ancak bu parametrelerin tamamı bağlanma dayanımıyla negatif ilişki göstermektedir.

		Penetrasyon Alanı	**Penetrasyon Yüzdesi**	**Penetrasyon Derinliği**	**Bağlanma Dayanımı**
Penetrasyon Alanı	r	1.00	,494**	,808**	-,382**
	p		0.00	0.00	0.00
	n	240.00	240.00	240.00	240.00
Penetrasyon Yüzdesi	r	,494**	1.00	,625**	-,384**
	p	0.00		0.00	0.00
	n	240.00	240.00	240.00	240.00
Penetrasyon Derinliği	r	,808**	,625**	1.00	-,533**
	p	0.00	0.00		0.00
	n	240.00	240.00	240.00	240.00
Bağlanma Dayanımı	r	-,382**	-,384**	-,533**	1.00
	p	0.00	0.00	0.00	
	n	240.00	240.00	240.00	240.00

Tablo 5. Değişkenler Arasındaki Korelasyona Ait Değerler

**İstatistiksel olarak anlamlılık($p<0,05$)

R	Açıklama
0,00-0,19	İlişki yok ya da önemsenmeyecek düzeyde düşük ilişki
0,20-0,39	Zayıf ilişki
0,40-0,69	Orta düzeyde ilişki
0,70-0,89	Kuvvetli ilişki
0,90-1,00	Çok kuvvetli ilişki

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanal sisteminin eksiksiz şekilde temizlenmesi, uygun biçimde şekillendirilmesi ve üç boyutlu olarak hermetik biçimde doldurulmasına bağlıdır (Madhuri ve ark., 2016). Kanal dolumu, ağız ortamındaki mikroorganizmaların ve sıvıların periapikal dokulara ulaşmasını engellemekte, ayrıca kanal içinde dezenfeksiyon işlemlerinden sonra kalabilecek bakterilerin etkisiz hale getirilmesini sağlamaktadır (Shokouhinejad ve ark., 2012). Bu amaçla genellikle gutta-perka gibi ana dolgu materyalleri ile çeşitli kök kanal patları kullanılmaktadır.

Seçilecek dolgu materyallerinin hem fiziksel ve biyolojik özellikler açısından uygunluk göstermesi hem de klinik kullanım açısından yeterlilik taşıması gerekmektedir. Dolgu materyali, dentin duvarlarına etkin şekilde bağlanabilmeli ve şekillendirme sırasında ulaşılamayan kanal bölgelerini de doldurarak mikrosızıntıyı önlemelidir (Mokashi ve ark., 2021). Ayrıca, kanal patı ile dentin arasındaki bağlantı, özellikle çiğneme kuvvetleri ve post yerleştirilmesi gibi mekanik stresler altında bütünlüğünü koruyacak dayanıklılıkta olmalıdır.

Smear tabakasının endodontik tedavi sürecindeki rolü, güncel literatürde hâlen tartışmalı olmakla birlikte, çoğu araştırmacı bu tabakanın kanal duvarları üzerinde irrigant ve dolgu materyallerinin penetrasyonunu engellediği konusunda hemfikirdir. Smear tabakası, dentin tübüllerini tıkayarak adeziv sistemlerin bağlanma etkinliğini azaltmakta ve potansiyel olarak mikrosızıntıya neden olmaktadır (Kamil ve ark., 2025). Bu nedenle, kök kanal sisteminde optimal bir sızdırmazlık elde etmek ve biyouyumluluğu artırmak amacıyla smear tabakasının uzaklaştırılması tercih edilmektedir. Çalışmamızda da bu yaklaşımı benimseyerek smear tabakasını uzaklaştırdık. Bu işlem için irrigasyon protokolümüz kapsamında, organik dokuların çözünmesini sağlamak üzere NaOCI kullanılmış; ardından dentin yüzeyindeki inorganik smear kalıntılarının temizlenmesi için %17'lik EDTA ile şelasyon sağlanmıştır. Böylece dentin tübülleri açığa çıkarılmış ve kanal patı penetrasyonu için daha uygun bir yüzey elde edilmiştir (Byström & Sunvqvist, 1985).

Endodontik tedavide kök kanal sisteminin etkili şekilde dezenfekte edilmesi, yalnızca uygun irrigant seçimiyle değil, aynı zamanda bu solüsyonların kanal

sisteminde ne derece etkin bir şekilde yayılabildiğiyle doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda irrigant aktivasyonu, irrigasyon çözeltisinin apikal ve lateral kanallara, isthmuslara ve dentin tübüllerine daha derinlemesine nüfuz etmesini sağlayarak mikrobiyal kontaminasyonun azaltılmasında önemli rol oynar. PUİ , sonik aktivasyon ve MDA gibi yöntemler, irrigantın mekanik hareketini artırarak hem smear tabakasının uzaklaştırılmasını kolaylaştırmakta hem de biyofilmleri etkisiz hale getirmektedir (Orlowski ve ark., 2020). Literatürde, aktivasyon uygulanmayan irrigasyon protokollerine kıyasla PUİ ve benzeri tekniklerin, daha temiz kanal duvarları ve daha az kalıntı ile sonuçlandığı gösterilmiştir (Mancini ve ark., 2013). Bu nedenle, irrigasyon protokolünde yalnızca kimyasal değil, aynı zamanda mekanik etkinlik de göz önünde bulundurulmalı ve aktivasyon stratejileri tedavi başarısını artıracak şekilde entegre edilmelidir.

Literatürde, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kanal patı penetrasyonu ve bağlanma dayanımı üzerindeki etkilerini ayrı ayrı inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Akcay ve ark., 2017; Mandlecha & Srinidhi, 2023). Ancak bu iki parametreyi aynı çalışmada birlikte değerlendiren araştırmalar sınırlıdır. Özellikle Kİİ, PUİ, Er:YAG, PIPS ve XPFR yöntemlerinin biyoseramik esaslı kanal patı ile dentin tübül penetrasyonu ve push-out dayanımı üzerindeki etkilerini karşılaştıran kapsamlı bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Bu yönüyle çalışmamız, irrigasyon aktivasyonunun hem hidrodinamik hem de mekanik etkilerini aynı modelde ele alan özgün bir değerlendirme sunmaktadır.

Bu çalışmada mandibular premolar dişlerin tercih edilmesinin temel nedeni, bu dişlerin kök kanal morfolojisindeki belirli avantajlardır. Mandibular premolarlar, çoğunlukla tek kanallı yapıları ve daha düz kök morfolojileri sayesinde in vitro çalışmalarda standardizasyonu kolaylaştırmakta ve ölçümsel analizlerde tutarlılık sağlamaktadır (Vertucci, 1984). Ayrıca bazı bireylerde gözlenen kanal konfigürasyonu varyasyonları (örneğin Tip V gibi bifurkasyonlar), irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin veya kanal patı penetrasyon özelliklerinin değerlendirilmesinde bu dişleri önemli bir model haline getirmektedir. Bu anatomik özellikleri nedeniyle mandibular premolar dişler, dentin tübül penetrasyonu, kanal patı yayılımı ve irrigasyon etkinliği gibi parametrelerin karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Cleghorn ve ark., 2007).

İn-vitro çalışmalarda apikal foramenin açık bırakılması, irrigasyon solüsyonları veya kanal patlarının kök dışına sızmasına neden olabilmekte ve bu durum hem kanal patı penetrasyonu ölçümlerini hem de intrakanal basınç dağılımını olumsuz etkilemektedir. Özellikle pasif ultrasonik irrigasyon gibi aktivasyon teknikleri, irrigantın apikalden dışarı kaçmasına sebep olarak dentin tübüllerine yeterli penetrasyonu engelleyebilir (C Boutsioukis ve ark., 2010). Bu nedenle, deneysel koşullarda apikal bölgeyi simüle etmek amacıyla yumuşak mum gibi materyallerle apikal direnç oluşturulması önerilmektedir. Böylece periodontal dokuların hidrolik bariyer etkisi taklit edilerek, irrigant ve kanal patı davranışları klinik koşullara daha yakın şekilde modellenebilir (Psimma ve ark., 2013). Bu yöntem, kanal patı penetrasyonunu etkileyen hidrodinamik basınçları stabilize ederken, irrigantların kanal dışına taşmasını önleyerek daha güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar. Bu yüzden bizde çalışmamızda dişlerin apikalini aktivasyondan önce mumla kapladık.

Çalışmamızda kök kanallarının ProTaper X3 (30/.07) eğesiyle şekillendirilmesi tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, hem irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine daha etkili ulaşabilmesini sağlamak hem de kanal patı penetrasyonu için yeterli apikal genişlik oluşturmak amacıyla uygulanmıştır. Literatürde, kanal çapının artırılmasının, özellikle apikal bölgelerde irrigant ve kanal patı penetrasyonunu olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir. Güneş ve ark. (Gunes ve ark., 2024) tarafından yapılan bir çalışmada, ProTaper X3 ile şekillendirilmiş kök kanallarında, irrigasyon aktivasyonu sonrası dentin tübül penetrasyonunun anlamlı şekilde arttığı bildirilmiştir. Bu durum, apikal çapın 30/.07 düzeyine çıkarılmasının irrigasyonun hidrodinamik etkisini artırarak biyoseramik kanal patının dentinle daha güçlü bir etkileşim kurmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Literatürde, kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyonunun, kullanılan obturasyon tekniğinden etkilendiği birçok çalışmada belirtilmektedir. Yapılan bir çalışmada, TotalFill kanal patının sıcak dolum tekniği ile uygulandığında, tek kon tekniğine kıyasla daha derin tübül penetrasyonu sağladığı rapor edilmiştir (Ferreira ve ark., 2024). Bu bulgu, yalnızca tek kon tekniğinin kullanıldığı çalışmalarda, kanal patı penetrasyonunun sınırlı kalabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, bizim çalışmamızda tek kon tekniği uygulanmış

olmasına rağmen, final irrigasyon protokolünde kullanılan XPFR, PUİ, Er:YAG sistemlerinin sağladığı etkin aktivasyon sayesinde bu sınırlamanın önemli ölçüde azaltıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, irrigasyon aktivasyonunun, obturasyon tekniğinden kaynaklanan olası penetrasyon yetersizliklerini dengeleyebileceğini ve kanal patının dentin tübüllerine nüfuzunu artırabileceğini göstermektedir.

Çalışmamızda biyoseramik esaslı bir kanal patı olan TotalFill'in tercih edilmesinin temel nedeni, bu materyalin sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerdir. Kalsiyum silikat bazlı kanal patları; yüksek akışkanlık, düşük partikül boyutu (<2 μm) ve dentin tübüllerindeki nemle reaksiyona girerek sertleşme gibi özellikleri sayesinde, kök kanal sisteminde etkili bir sızdırmazlık sağlamaktadır. Bu materyallerin sertleşme sürecinde neredeyse hiç büzülme göstermemesi, hatta yaklaşık %0.2 oranında genleşmeleri, dentin duvarlarına daha iyi adaptasyon göstermelerine ve lateral kanalların da etkin biçimde doldurulmasına katkı sağlamaktadır(Ersahan & Aydin, 2010; Shokouhinejad ve ark., 2012). Bu yapısal özellikler sayesinde, özellikle karmaşık kanal anatomisine sahip bölgelerde, kanal patının tübül içlerine ve düzensizliklere nüfuz etmesi kolaylaşmakta, böylece enfekte alanlara daha etkili şekilde penetrasyonu mümkün olmaktadır (Zhou ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada TotalFill'in sıcak dolum veya tek kon tekniğiyle doldurulduğunda dentin tübüllerine benzer şekilde penetre olduğu ve kullanılan teknikten bağımsız olarak yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir (Ferreira ve ark., 2024). Yapılan bir çalışmada, biyoseramik esaslı TotalFill BC sealerın nemli kanal ortamında daha yüksek dentin tübülü penetrasyonu sağladığı literatürde gösterildiği için, kök kanal dolumu nemli ortamda yapılmıştır. Hidrofilik yapısı sayesinde bu sealer, nem varlığında sertleşerek dentinle daha iyi uyum sağlar (Singh ve ark., 2024). Literatürde çalışmamızda kullandığımız TotalFill'in tübüler penetrasyonunun, kullanılan florofor maddeden etkilendiğini savunan çalışmlara bulunmaktadır. Bu bizim çalışmamızı sınırlayan etkenlerden birisidir.

PUİ, irrigasyon solüsyonunda akustik akım ve kavitasyon etkileri oluşturarak irrigantın kök kanal duvarları boyunca yüksek hızda dairesel hareket etmesini sağlar. Böylece, anatomik karmaşıklık gösteren bölgelerde bile debris uzaklaştırma ve kimyasal temizlik etkinliği artar (Ahmad ve ark., 1987; Huttula ve ark., 2006). Bu

çalışmada PUİ yönteminin tercih edilme nedeni, özellikle kanal patınının dentin tübüllerine penetrasyonunu artırıcı etkisinin daha önceki literatürde gösterilmiş olmasıdır.

Çalışmamızda PUİ yöntemi, Kİİ'ya kıyasla dentin tübüllerine daha yüksek kanal patı penetrasyon derinliği, daha geniş yüzey alanı ve daha yüksek yüzdesel yayılım sağlamıştır. PUİ grubunda özellikle apikal bölgede anlamlı şekilde artan penetrasyon, bu sistemin irrigasyon sıvısını yüksek frekansta titreştirerek akustik akım oluşturmasına bağlanabilir. Cameron (Cameron, 1983) ve Lee ve ark.(Lee ve ark., 2004) gibi erken dönem çalışmalarda da PUİ'nin irrigantı dentin düzensizliklerine daha etkin ilettiği ve smear tabakasını uzaklaştırmada klasik yöntemlere göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu etkinlik, skanal patlarının açık dentin tübüllerine daha derin nüfuz etmesini kolaylaştırmaktadır. Yılmaz ve ark.(Yilmaz ve ark., 2020) tarafından bildirilen eğimli köklerdeki benzer sonuçlar, bu yöntemin kompleks morfolojilerde dahi etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca Akçay ve ark.(Akcay ve ark., 2016) ve Arslan ve ark (Karatas ve ark., 2015) PUİ sonrası biyoseramik esaslı kanal patlarının lateral kanallar ve dentin tübüllerine daha başarılı şekilde yayıldığını KLSM ile doğrulamıştır. Desai ve Himel (Desai & Chandler, 2009) ise PUİ'nin irrigant taşıma kapasitesinin Kİİ'ye göre daha güvenli ve etkili olduğunu ifade ederek bu farkı desteklemiştir. Son olarak, Tungsawat ve ark. (Tungsawat ve ark., 2021) ve Leoni ve ark.(Leoni ve ark., 2017) gibi çalışmalarda da PUİ'nin irrigant penetrasyonunu artırdığı ve apikalden koronale doğru sealer difüzyonunu belirginleştirdiği gösterilmiştir. PUİ'nin bu etkileri, özellikle ucu kanal duvarlarına temas etmeden serbest biçimde çalıştırıldığında en üst düzeye ulaşır. Van der Sluis ve ark. (van der Sluis ve ark., 2007) ve Ahmad (Ahmad ve ark., 1987) gibi klasik kaynaklar, uç kanal duvarlarına temas ettiğinde akustik mikroakımın büyük oranda zayıfladığını, dolayısıyla irrigantın hidrodinamik davranışının azaldığını belirtmiştir. Bu durum, koronal bölgede PUİ'nin daha fazla aktivasyon alanı bulması nedeniyle penetrasyonun bu seviyede daha derin ve yaygın gerçekleşmesini açıklamaktadır. Tüm bu verilerle birlikte değerlendirildiğinde, PUİ'nin kanal patı penetrasyonu açısından sağladığı avantajın; irrigantın dinamik hareketi ile dentin yüzeyinin daha etkin temizlenmesi sonucu tubüler girişlerin açık hale gelmesiyle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

Er:YAG lazerin endodontik irrigasyon protokollerinde kullanılabilirliği, özellikle PIPS) tekniği sayesinde dikkat çekici hale gelmiştir. Bu yöntem, lazer enerjisinin irrigant içerisindeki su molekülleriyle etkileşime girerek fotoakustik şok dalgaları oluşturması prensibine dayanır ve bu dalgalar irrigasyon solüsyonunun üç boyutlu olarak kanal içinde dinamik bir şekilde hareket etmesini sağlar (Peeters & Suardita, 2011). PIPS'in en belirgin avantajlarından biri, fiber optik ucun yalnızca pulpa odasına yerleştirilmesiyle etkili irrigasyon sağlamasıdır; böylece apikal bölgeye doğrudan giriş yapılmadan derin bölgelere irrigant taşınabilir (DiVito ve ark., 2012). Bu durum, kanal duvarlarına zarar verme riskini azaltırken, smear tabakasının uzaklaştırılması ve mikroorganizma eliminasyonunun etkinliğini artırır. Nitekim, De Groot ve ark. (S. De Groot ve ark., 2009) Er:YAG ve Er,Cr:YSGG lazerlerin, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonunda klasik yöntemlere göre daha yüksek etkinlik gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, Er:YAG lazerin smear tabakasını etkin şekilde ortadan kaldırdığı ve periapikal dokulara zarar vermeden kök kanal dezenfeksiyonunu sağladığı da literatürde vurgulanmaktadır (Peeters & Suardita, 2011). Bu özellikleri nedeniyle, çalışmamızda final irrigasyonun aktivasyonu için Er:YAG lazer ve PIPS yöntemi tercih edilmiş, böylece invaziv olmayan bir yaklaşımla dentin tübül penetrasyonunu ve kanal patı adezyonunu etkileyebilecek irrigasyon etkinliğinin en üst düzeye çıkarılması hedeflenmiştir.

Çalışmamızda hem PIPS hem de PUİ grupları, dentin tübül penetrasyonu açısından Kİİ'ye kıyasla anlamlı derecede daha yüksek değerler göstermiştir. Orta ve koronal bölgelerde PUİ, penetrasyon derinliği açısından Er:YAG lazere üstünlük sağlarken; yüzey alanı ve penetrasyon yüzdesi bakımından PUİ grubu daha homojen ve yaygın bir penetrasyon göstermiştir. Bu farkın temelinde irrigant aktivasyon sistemlerinin oluşturduğu fiziksel dinamikler yatmaktadır. PIPS, kısa süreli yüksek enerjili lazer patlamalarıyla fotoakustik akımlar oluştururken; PUİ, ultrasonik titreşimlerle irrigasyon solüsyonunda sürekli ve düzenli bir akış oluşturarak, solüsyonun kök kanalı boyunca her bölgeye ulaşmasını sağlar. Deleu ve ark.(Deleu ve ark., 2015) ve Arslan ve ark.(Arslan ve ark., 2014) gibi çalışmalar, PIPS'in özellikle apikal bölgede debris uzaklaştırmada daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ancak çalışmamızda PIPS ile elde edilen yüzey alanı ve penetrasyon derinliği değerlerinin PUİ'ye göre düşük kalmasının bir nedeni, Er:YAG lazerin oluşturduğu termal etkinin dentin nem içeriğini azaltması olabilir. Biyoseramik esaslı patlar nem varlığında

kimyasal olarak aktive olduklarından, kurumuş dentin yüzeylerinde difüzyon kapasiteleri sınırlanabilmektedir. Bu durum, literatürde Akçay ve ark.(Arslan ve ark., 2014), Ateş ve ark.(Ateş ve ark., 2021) ve Zand ve ark.(Zand ve ark., 2019) gibi araştırmalarla da örtüşmektedir.

Öte yandan, çalışmamızda kullanılan lazer uygulama protokolü, Chaudhry (Chaudhry ve ark., 2017) , Özlek ve ark.(Özlek ve ark., 2020) yaptığı çalışmalardaki gibi ileri geri hareketli değil; sabit pozisyonda, doğrudan pulpa odasında konumlandırılmış fiber uç ile gerçekleştirilmiştir. Bu sabit ve koronal odaklı uygulama, enerjinin esas olarak koronal düzeyde yoğunlaşmasına ve bu bölgede daha etkili sealer penetrasyonuna neden olmuş olabilir. Nitekim Er:YAG grubunda koronal kesitlerde gözlenen yüksek penetrasyon oranları, bu uygulama tekniğiyle doğrudan ilişkili olabilir. Akyüz Ekim ve Erdemir (Akyuz Ekim & Erdemir, 2015) de irrigasyon tekniğinin uygulama protokolüne göre etkinlik alanında değişiklikler gösterebileceğini vurgulamıştır. Sonuç olarak hem lazer parametrelerinin hem de uygulama tekniğinin (statik/dinamik) penetrasyon başarısını etkileyen faktörler arasında olduğu, Er:YAG uygulamalarında ise dentindeki kuruma ve bölgesel enerji dağılımının klinik etkiyi yönlendirdiği söylenebilir.

XPFR, özellikle retreatment vakaları için geliştirilmiş, nikel-titanyum esaslı, ısıya duyarlı bir "bitirme" eğesidir. MaxWire™ alaşım teknolojisi sayesinde, oda sıcaklığında martensitik fazda düz formda olan bu eğe, vücut sıcaklığında östenitik faza geçerek esnek ve genişleyen bir yapıya kavuşur. Eğenin apikal kısmı, kanalda 3 boyutlu olarak genişleyebilme özelliği sayesinde, geleneksel eğelerin ulaşamadığı alanlara erişim sağlar. ISO #30 çapında ve sıfır taperlı yapısı ile kanal duvarlarına minimal invaziv etki yaparken, irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgelere ve yan kanallara etkin şekilde taşınmasına olanak tanır. Literatürde genellikle retreatment tedavilerinde kullanılan XPFR'nin, primer tedavide irrigant aktivasyonu için kullanımı sınırlı kalmıştır; bu nedenle çalışmamız bu alanda literatüre katkı sağlamaktadır.

Çalışmamızda kullanılan XPFR, literatürde genellikle retreatment işlemleri için önerilen ve kullanımı bu alanla sınırlı kalmış bir irrigasyon aktivasyon cihazıdır. Bu araştırmada, XPFR tek kanallı dişlerde irrigant aktivasyonu amacıyla değerlendirilmiş ve dentin tübül penetrasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mevcut literatürde XPF'nin (standart versiyon, boyut ISO #25) irrigant taşıma

kapasitesi, debris ve smear uzaklaştırma etkinliği birçok çalışmada keşfedilse de XPFR modeli (ISO #30) hakkında bilimsel veri son derece sınırlıdır**.** XPFR'nin daha geniş çaplı ve sert dokuya daha fazla temas sağlayabilen tasarımı, özellikle apikal bölgede irrigantın dentin duvarları ile daha yoğun temas etmesini ve buna bağlı olarak daha derin kanal patı penetrasyonunu mümkün kılmaktadır. Çalışmamızda gözlemlenen, XPFR grubunun apikal düzeyde gösterdiği yüksek penetrasyon derinliği ve alanı, bu mekanik farklılıkla açıklanabilir. XPFR kullanılan örneklerde, dentin tübüllerine kanal patı penetrasyon alanı açısından yüksek değerler elde edilmiştir. Wigler ve ark.(Wigler ve ark., 2017) ve Keskin ve ark.(Keskin ve ark., 2017) XPF'nin apikal üçlüde irrigant taşıma ve kanal duvarlarına temas etmeksizin dezenfeksiyon yeteneğini vurgulamış, Leoni ve ark(Leoni ve ark., 2017) ise bu etkinliğin kompleks kök sistemlerinde de sürdüğünü göstermiştir. XPFR'nin çalışma prensibi, irrigantın mekanik olarak kanal duvarlarında sirküle edilmesini sağlayan genişleyebilir yapısı sayesinde, özellikle apikal düzeyde etkili hidrodinamik aktivasyon oluşturur. Bu durum, çalışmamızda da apikal bölgede yüksek penetrasyon derinliği ile kendini göstermiştir. Ancak, koronal seviyede XPFR'nin yüzdesel yayılım ve derinlik parametrelerinde diğer aktivasyon sistemlerine kıyasla daha düşük performans sergilemesi dikkat çekicidir. Bu durum, sistemin dinamik hareket modelinin koronal bölgedeki geniş hacimli boşluklarda yeterli irrigant basıncı oluşturmamasına bağlı olabilir. Elnaghy ve ark.(Elnaghy ve ark., 2017) ve Vaz-Garcia ve ark.(Vaz-Garcia ve ark., 2018) XPF'nin apikal adaptasyonunun yüksek olmasına karşın, koronal etkinliğinin kanal formuna bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, PUİ'nin oluşturduğu sürekli akustik mikroakım sayesinde irrigantı daha geniş bir yüzeye yayabildiği; PIPS'in ise lazer enerjisiyle lokalize, derin penetrasyon sağladığı göz önünde bulundurulduğunda, XPFR'nin penetrasyon başarısının özellikle anatomik avantajla sınırlı kaldığı söylenebilir. Azim ve ark.(Azim ve ark., 2016) ve Leoni ve ark. (Leoni ve ark., 2017) gibi çalışmalarda XPF'nin yüzey temizliği ve irrigant taşıma kabiliyetinin yüksek olduğu belirtilmiş olsa da, bu etki özellikle dar ve apikal bölgelerde ön plana çıkmaktadır.

Sonuç olarak, XPFR sistemi biyomekanik adaptasyonuyla dentin tübül penetrasyonunda başarılı sonuçlar sunmuş olsada, etkinliğinin bölgesel farklılıklar gösterdiği ve özellikle koronal düzeyde PUİ veya PIPS gibi enerji temelli sistemlerle kıyaslandığında etkinliği sınırlı olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan, mevcut

literatürde XPFR'nin aktivasyon amacıyla kullanıldığı çalışma sayısı son derece azdır. Bu bağlamda, çalışmamız yalnızca XPFR'nin primer tedavilerde irrigant aktivasyon aracı olarak etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermekle kalmamış, aynı zamanda bu sistemin retreatment dışı endodontik prosedürlerdeki etkinliğine dair öncü veriler sunarak literatürdeki önemli bir boşluğu da doldurmuştur. XPFR'nin sabit ve genişleyebilen yapısıyla, özellikle apikal anatomide irrigant taşıma ve penetrasyon başarısı göstermesi, bu sistemin daha geniş klinik uygulamalarda değerlendirilmesini teşvik edebilecek niteliktedir. Bu yönüyle çalışmamız, XPFR'nin irrigasyon aktivasyonu amacıyla kullanıldığı ilk çalışmalardan biri olarak literatüre özgün bir katkı sağlamaktadır.

Dentin tübül penetrasyonunun değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan görüntüleme yöntemleri arasında ışık mikroskobu, SEM ve KLSM yer almaktadır (De Deus ve ark., 2004; Jardine ve ark., 2016; Mamootil & Messer, 2007). SEM'de kök dentini ile kanal patını ayırt etmek zor olduğundan, günümüzde tercih edilmemektedir (Chandra ve ark., 2012). Ancak SEM, örneklerin dehidratasyonu, yüksek vakum altında gözlemlenmesi, altın kaplama gibi ön işlemler gerektirmesi nedeniyle, artefakt oluşumuna ve dolayısıyla sonuçların yanıltıcı olmasına neden olabilir. Bu işlemler sırasında kanal patlarında deformasyon veya kayıp meydana gelebilir ve arayüzde yapay boşluklar oluşabilir (Gharib ve ark., 2007). Buna karşılık KLSM, florasan boyalarla kanal patının dentin tübüllerindeki dağılımını üç boyutlu olarak görselleştirebilmekte, örnek hazırlığında tahrip edici işlemlere gerek duymadan optik kesitler elde edilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca smear tabakası çıkarılmadan da dentin altı yapılar güvenilir şekilde görüntülenebilmektedir (Perdigao ve ark., 2000). Teknik artefakt riskinin düşük olması ve analiz sürecinde doku bütünlüğünün korunması nedeniyle, bu çalışmada kanal patı penetrasyonunun değerlendirilmesi için KLSM yöntemi tercih edilmiştir (Balguerie ve ark., 2011).

Bu çalışmada, kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonunun KLSM ile değerlendirilebilmesi amacıyla, biyoseramik esaslı kanal patı %0,1 oranında Rhodamine B izotiyosiyanat ile işaretlenmiştir. Rhodamine B, KLSM analizlerinde sıklıkla tercih edilen florasan boyalardan biridir ve dentinal tübüller içerisindeki kanal patı dağılımını yüksek kontrastla görselleştirmeye olanak sağlar (Aydın ve ark., 2019). Literatürde, bu boyanın farklı oran ve karışım yöntemleriyle kullanıldığı

bildirilmektedir; ancak %0,1 oranı, kanal patının fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemeden etkin görüntüleme sağladığı için tercih edilmiştir (Alim Uysal ve ark., 2021). Ayrıca bu oran, önceki çalışmalarda sıklıkla kullanılan standart düzeyde olup karşılaştırılabilir veri üretmeyi de kolaylaştırmaktadır. Rhodamine B, neme karşı yüksek afiniteye ve kanal patı içindeki kalsiyuma karşı düşük afiniteye sahip olduğu bilinen bir boyadır (Jeong ve ark., 2017). Bu nedenle, kanal patı karışımından ayrılabileceği veya sızabileceği, dentindeki nemin izini sürebileceği, kanal patından bağımsız olarak florasan yayabileceği ve dentin tübüllerine daha derinlemesine nüfuz edebileceği öne sürülmüştür; bu da yanıltıcı sonuçlara yol açabilir.

Bu çalışmada dentin tübül penetrasyonunu değerlendirmek amacıyla kök kanalları, apikalden başlayarak 2 , 5 ve 8 mm mesafelerde alınan horizontal kesitlerle incelenmiştir. Bu kesit seviyeleri, sırasıyla apikal, orta ve koronal bölgeleri temsil edecek şekilde seçilmiştir ve hem klinik açıdan anlamlı anatomik ayrımları yansıtmakta hem de literatürdeki yaygın metodolojilere dayanmaktadır. Özellikle Akçay ve ark. (Akcay ve ark., 2016), Kara Tuncer (Tuncer & Tuncer, 2012), ve Patel ve ark.(Patel ve ark., 2007) gibi çalışmalarda da aynı kesit düzeylerinin kullanılmış olması, bu yaklaşımın bilimsel geçerliliğini desteklemektedir. Bununla birlikte Jeong ve ark.(Jeong ve ark., 2017), Muedra ve ark.(Muedra ve ark., 2021) yaptığı çalışmalarda kesitlerin sırasıyla 4-7 mm ve 3–5–8 mm gibi farklı aralıklardan alındığı görülmektedir; bu farklar, kanal morfolojisine ve araştırmanın bölgesel analiz önceliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bizim çalışmamızda kullanılan 2–5–8 mm kesit protokolü, hem klinik anlam taşıyan üç anatomik bölgeyi doğrudan temsil etmesi hem de biyoseramik patların bölgesel penetrasyon profilini ayrıntılı biçimde karşılaştırmaya olanak tanıması açısından metodolojik olarak güçlü bir tercih olmuştur. Bu seviyeler, özellikle apikal bölgedeki dar çaplı anatomik yapılarla, koronal bölgedeki daha geniş dentin yüzeyi arasındaki farklılıkları nicel ve bölgesel olarak ortaya koymayı mümkün kılmıştır.

Bu çalışmada, dört farklı irrigasyon aktivasyon sisteminin **(**Kİİ, PUİ, Er:YAG PIPS ve XPFR) biyoseramik esaslı kanal patlarının dentin tübüllerine penetrasyon başarısı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bulgularımıza göre, XPFR grubu, özellikle apikal bölgede en yüksek penetrasyon derinliği ve yüzey alanı değerlerini göstermiş, irrigantın dentinle temasını en etkin biçimde sağlayan yöntem olmuştur. Bu

başarı, XPFR'nin esnek yapısı ve apikal bölgede irrigantı mekanik olarak etkin biçimde sirküle etme kabiliyetine dayanmaktadır. PIPS grubu, Er:YAG lazerin fotoakustik enerjisiyle apikal düzeyde derin penetrasyon sağlasa da koronal ve orta bölgelerde yüzey yayılımı açısından daha sınırlı kalmıştır. Bu durumun, lazer uygulamasının sabit pozisyonda gerçekleştirilmesi ve lokal enerji yoğunluğunun dentinde kuruluk oluşturabilmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. PUİ grubu ise, özellikle koronal ve orta bölgelerde en yüksek penetrasyon yüzdesi ve homojen alan dağılımı göstermiştir. Bu bulgu, PUİ'nin kanal duvarına temas etmeden çalışan ultrasonik uçlarının irrigantı geniş bir yüzeye yayma kapasitesine ve oluşturduğu sürekli akustik mikroakım sayesinde irrigantın dentin tübüllerine düzenli ve sürekli biçimde taşınmasına dayandırılmaktadır. Kİİ grubu ise, tüm bölgelerde en düşük penetrasyon değerlerini göstermiş; bu yöntemin irrigantı pasif olarak uygulaması, sıvının kanal duvarlarıyla sınırlı temasta kalmasına ve özellikle apikal bölgede yetersiz irrigasyon etkisiyle penetrasyonun kısıtlanmasına neden olmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, her bir sistemin kendine özgü bölgesel avantajlara sahip olduğu; XPFR'nin apikal etkinliğiyle, PUİ'nin koronal yayılım başarısıyla, PIPS'in ise lokalize ama derin penetrasyon kabiliyetiyle öne çıktığı, Kİİ'nin ise penetrasyon açısından diğer yöntemlerin gerisinde kaldığı görülmüştür.

Çalışmamızda, kullanılan tüm irrigasyon aktivasyon yöntemlerinde dentin tübül penetrasyonunun apikalden koronale doğru belirgin şekilde arttığı saptanmıştır. Bu bulgu, daha önce yapılmış çeşitli çalışmalarda bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir (Chandra ve ark., 2012; Çalt & Serper, 1999; Gharib ve ark., 2007; Moon ve ark., 2012). Apikal bölgelerdeki sınırlı penetrasyonun temelinde, bu anatomik bölgenin dentin yapısına ait histolojik özelliklerin yer aldığı düşünülmektedir. Özellikle tübül sayısının azalması, tübül çaplarının daralması, daha yoğun sklerotik dentin dokusunun varlığı ve bu bölgedeki dentinin daha az geçirgen olması, kanal patı penetrasyonunu kısıtlayan önemli faktörler arasında yer almaktadır (Mjör ve ark., 2001; Paqué ve ark., 2006). İlaveten, irrigasyon çözeltilerinin apikal bölgeye yeterli miktarda ve etkin şekilde ulaşmasının teknik olarak daha zor olması, smear tabakasının etkin şekilde uzaklaştırılamamasına ve dolayısıyla kanal patı penetrasyonunun kısıtlanmasına yol açmaktadır (Bolles ve ark., 2013; Teixeira ve ark., 2005). Bu durum, özellikle aktivasyon sistemlerinin oluşturduğu hidrodinamik akımların apikal bölgede zayıflamasıyla da ilişkilendirilebilir. Buna karşılık, koronal

bölgede irrigantın serbest dolaşımı daha kolay sağlanabilmekte ve aktivasyon teknikleri bu bölgede daha etkili olabilmektedir (Ahmad, 1989; van der Sluis ve ark., 2007). Koronal bölgedeki daha yüksek tübül yoğunluğu ve geniş çaplı tübüller de, kanal patının daha derin ve yaygın şekilde penetre olmasına katkı sağlamaktadır(Generali ve ark., 2017; Russell ve ark., 2013). Bizim çalışmamızın sınırlılığı, kullanılan dişlerin çekilme nedenlerinin farklı olmasıdır. Her ne kadar benzer kök morfolojisine sahip premolarlar seçilmiş olsa da kanal anatomisi, dentin tübül yoğunluğu ve oryantasyonu bireyler arası farklılık gösterebilir. Bu durum penetrasyon ve bağlanma dayanımı ölçümlerini etkilemiş olabilir.

Elde edilen bu bulgular, koronalden apikale doğru dentin tübül penetrasyonunun azaldığını açık biçimde ortaya koymakta ve irrigasyon etkinliğinin anatomik varyasyonlarla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle özellikle apikal bölgelerde irrigantın etkinliğini artıracak stratejilerin geliştirilmesi, endodontik tedavinin başarısı açısından önem arz etmektedir.

Dentin tübül penetrasyonunu değerlendirmede kullanılan parametrelerin seçimi, çalışmanın hem metodolojik güvenilirliğini hem de klinik anlamını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda çalışmamızda ortalama penetrasyon derinliği**,** penetrasyon alanı ve penetrasyon yüzdesi gibi çok boyutlu ölçümlerin bir arada kullanılması tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca bir değere odaklanan analizlerin sınırlılıklarını aşmak ve irrigasyon aktivasyon tekniklerinin kanal patı yayılımı üzerindeki etkisini çok yönlü olarak ortaya koymak amacıyla benimsenmiştir. Literatürde, yalnızca maksimum penetrasyon derinliği üzerinden yapılan değerlendirmeler, en uç tübül değerine odaklandığı için örnekler arası karşılaştırmalarda anlamlı farkların belirlenmesini zorlaştırabilir (Ordinola-Zapata ve ark., 2009). Buna karşın, ortalama penetrasyon derinliği, dentin yüzeyinin sabit dört farklı bölgesinden elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplandığından, hem verilerin genellenebilirliğini artırmakta hem de yüzeysel yayılım hakkında daha dengeli bir bilgi sunmaktadır (Gharib ve ark., 2007; Kaplan & Erdemir, 2023).

Penetrasyon yüzdesi**,** dolgu materyalinin kanal çevresindeki dentin yüzeyine orantılı dağılımını göstermesi açısından önemli olsa da, yalnızca çevresel yayılımı temsil eder ve tüm yüzey hacmini değerlendirmek açısından sınırlı kalabilir (Aydın ve ark., 2019; Generali ve ark., 2017). Bu nedenle penetrasyon alanı, kanal dolgu patının

tüm dentin yüzeyinde ne kadar yayılım gösterdiğini hem derinlik hem de hacimsel kapsam açısından en iyi temsil eden parametre olarak öne çıkmaktadır (Machado ve ark., 2018; Piai ve ark., 2018). Kaplan'ın yaptığı bir çalışmada da belirtildiği üzere, çoklu parametre ölçümünün kanal patı performansını değerlendirirken sağladığı bütüncül bakış, sadece derinliğe odaklanan yaklaşımlara göre daha anlamlı klinik sonuçlar sunmaktadır (Kaplan & Erdemir, 2023). Bu nedenle çalışmamızda tek bir ölçüm yerine üçlü değerlendirme yöntemi benimsenmiş ve böylece irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin yalnızca maksimum değil, aynı zamanda yaygın, homojen ve dengeli penetrasyon sağlama kapasiteleri de karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ortalama penetrasyon derinliği ve penetrasyon alanı hem metodolojik güvenilirlik hem de klinik anlam bakımından en güçlü göstergeler olarak değerlendirilmekte olup, dentin kanal patı etkileşiminin etkinliğini yansıtmada daha bütüncül ve tercih edilebilir ölçütlerdir.

Endodontik tedavide kullanılan kanal patlarının kök dentinine sağlam bir şekilde bağlanması hem sızdırmazlığın hem de tedavi başarısının uzun vadede sürdürülebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu amaçla, kanal patlarının kök dentine olan adeziv gücünü değerlendirmek için en sık başvurulan mekanik testlerden biri POBS testidir (Donnermeyer ve ark., 2018; Pane ve ark., 2013). Push-out testi, kanal patı ve dolgu materyallerinin kök dentininden yerinden çıkarılması için gerekli kuvveti ölçer ve böylece hem materyalin tutuculuğu hem de olası sızdırma ve dislokasyon riskleri hakkında doğrudan bilgi sağlar (Shokouhinejad ve ark., 2012; Ungor ve ark., 2006).

Bu testin avantajları arasında, kök kanalının farklı bölgelerinde (koronal, orta, apikal) bağlanma dayanımını ayrı ayrı değerlendirebilmesi, kanal çapına uygun plugger seçimiyle standardizasyonun sağlanabilmesi ve diş fonksiyonuna benzer yer değiştirme kuvvetlerine karşı materyal direncinin doğrudan ölçülebilmesi sayılabilir (Collares ve ark., 2016; Pane ve ark., 2013; Soares ve ark., 2008). Nitekim, plugger çapının kanal çapının %70-90'ı oranında seçilmesinin test doğruluğunu artırdığı gösterilmiştir (Pane ve ark., 2013).

Çalışmamızda, push-out testini kök kanalının üç farklı seviyesinden (apikal, orta, koronal) alınan horizontal kesitler üzerinde uyguladık ve her kesitte kanal patının dentinle oluşturduğu bağlanma dayanımını N cinsinden kaydettik. Bulgularımız,

kullanılan irrigasyon aktivasyon tekniklerinin sealerın bağlanma dayanımında anlamlı farklılıklara yol açtığını ve özellikle PUİ grubu ile en yüksek değerlerin elde edildiğini göstermiştir. Benzer şekilde, literatürde de final irrigasyon yöntemi ve kanal patı materyal tipinin bağlanma dayanımını anlamlı şekilde etkilediği bildirilmiştir (De Bem ve ark., 2020; Donnermeyer ve ark., 2018). Bununla birlikte, bazı çalışmalar kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının push-out değerlerinin epoksi rezin esaslılara kıyasla daha düşük olabileceğini, bunun da materyalin dentinle kurduğu kimyasal ve fiziksel etkileşimden kaynaklanabileceğini öne sürmektedir (Donnermeyer ve ark., 2018; Oliveira ve ark., 2016). Push-out testinin klinik anlamda önemi, kök kanal sealerının operatif kuvvetler ve fonksiyon sırasında kanal duvarından ayrılmasını önleme kapasitesini doğrudan yansıtmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, çalışmamızın bulguları hem irrigasyon protokolü hem de kanal patı tipinin endodontik başarının sürdürülebilirliği açısından belirleyici olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda dentin tübül penetrasyonu parametreleri (derinlik, alan, yüzdesel oran) ile POBS arasında istatistiksel olarak anlamlı, ancak negatif yönlü korelasyonlar saptanmıştır. Bu bulgu, kanal patının dentin tübüllerine daha fazla yayılmasının bağlanma dayanımını otomatik olarak artırmadığını, hatta bazı durumlarda bu parametreler arasında ters bir ilişki olabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, Tedesco ve ark. (Tedesco ve ark., 2019) ile Machado ve ark. (Machado ve ark., 2018) kanal patı tübül penetrasyonu ile mekanik adezyonu arasında doğrudan ve güçlü bir ilişki bulunamayabileceğini, penetrasyonun miktarı kadar kanal patı dentin arayüzündeki kimyasal uyumun da belirleyici olduğunu vurgulamışlardır. Bu durum, özellikle yüksek akışkanlığa sahip patların dentin tübüllerine yayılırken, kanal duvarında tutarlı ve sürekli bir film tabakası oluşturamamasıyla açıklanabilir (Okşan ve ark., 1993; Saleh ve ark., 2003). Diğer yandan, bazı araştırmacılar, tübül penetrasyonunun mikromekanik tutuculuğu destekleyebileceğini öne sürse de, elde edilen sonuçlar genellikle korelasyonun zayıf ve tutarsız olduğuna işaret etmektedir (Kremeier ve ark., 2008; Tay & Pashley, 2001). Kaldı ki, kullanılan push-out testinin de materyal tipine, uygulama metoduna ve kök kanal morfolojisine duyarlı olduğu, bu nedenle korelasyonların klinik pratiğe doğrudan yansıtılamayabileceği rapor edilmiştir (Pane ve ark., 2013).

Sonuç olarak, dentin tübül penetrasyonu ile push out bağlanma dayanımı arasında karmaşık ve materyal ile teknik temelli bir ilişki söz konusudur; dolayısıyla sadece penetrasyonun artması, bağlanma dayanımının da aynı şekilde artacağı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle, klinik uygulamalarda hem kanal patı seçimi hem de irrigasyon protokolü, materyalin hem fiziksel yayılımı hem de adeziv performansı birlikte dikkate alınarak optimize edilmelidir.

6. SONUÇ

1. Bu çalışmada dentin tübül penetrasyonunun değerlendirilmesinde, örneklerin yapısını bozmadan üç boyutlu ve kantitatif analiz yapılabilmesine olanak sağlaması nedeniyle KLSM'nin en etkili ve güvenilir yöntemlerden biri olduğu sonucuna varılmıştır.

2. Bu çalışmada kullanılan biyoseramik esaslı TotalFill kanal patı, yüksek dentin tübül penetrasyon kabiliyeti göstermiştir. Epoksi rezin esaslı patlarla doğrudan karşılaştırma yapılmamış olsada, literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında, TotalFill'in irrigasyon aktivasyon teknikleri ile birlikte kullanıldığında dentin tübül penetrasyonunu artırma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılabilir.

3. PUİ apikal bölgede tüm parametrelerde XPFR ve Er:YAG lazer grupları ile istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir. Koronal ve orta bölgelerde dentin tübül penetrasyon alanı ve derinliği parametrelerinde tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı ve yüksek değerler göstermiştir. Bu bulgular, PUİ'nin özellikle orta ve koronal bölgelerde

irrigantın etkin dağılımını sağlamakta etkin bir yöntem olduğunu ancak apikalde diğer gruplara üstünlüğünün olmadığını göstermektedir

4. Er:YAG lazer aktivasyonu, apikal bölgede dentin tübül penetrasyon derinliği, alanı ve yüzdesi bakımından PUİ ve XPFR gruplarıyla istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir. Orta bölgede hem penetrasyon alanı hem de derinlik değerleri PUİ'den anlamlı derecede düşük değerlerde ölçülmüştür. Bu bulgular, Er:YAG'ın belirli bölgelerde etkinlik gösterebilse de bölgeler arası dengeli bir dağılım sağlayamadığını ve irrigasyon etkinliğinin artırılmasına yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

5. XPFR, apikal bölgede penetrasyon derinliği, alanı ve yüzdesi parametrelerinde PUİ ve Er:YAG grupları ile istatistiksel olarak benzer sonuçlar göstermiştir. Orta bölgede penetrasyon alanı ve derinliği parametlerinde PUİ'den anlamlı derecede düşük değerler göstermiştir. Bu veriler, XPFR'nin özellikle apikal bölgede etkin irrigasyon sağlama potansiyeline sahip olduğunu, ancak koronal bölgede performansının sınırlı kaldığını göstermektedir. Literatürde XPFR'nin irrigasyon aktivasyonu amacıyla kullanımına yönelik çalışmaların sınırlı olması, bu yöntemi değerlendiren çalışmamızı öncü kılmakta ve ancak daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunduğunu ortaya koymaktadır.

6. Kİİ, apikal bölgede diğer gruplardan anlamlı derecede penetrasyon alanı ve derinliği değerleri göstermiştir. Bu bulgular Kİİ'nin özellikle apikal bölgede irrigantın dentin tübüllerine etkin penetrasyonunu sağlamada yetersiz kaldığını ve daha etkili aktivasyon yöntemlerinin tercih edilmesinin klinik başarıyı artırabileceğini göstermektedir.

7. Maksimum penetrasyon derinliği, ortalama penetrasyon derinliği, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon alanı yöntemlerinden, ortalama penetrasyon derinliği ve penetrasyon alanı değerlendirmelerinin dentin tübül penetrasyonunun incelenmesinde uygun yöntemler olduğu tespit edilmiştir.

8. XPFR, apikal ve orta bölgelerde diğer yöntemlerle istatistiksel olarak benzer bağlanma dayanımı sağlamasına rağmen, koronal bölgede anlamlı derecede

düşük değerler göstermiştir. Bu durum, XPFR'nin bağlanma dayanımı açısından özellikle koronal bölgedeki etkinliğinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

9. Push out bağlanma dayanımı, dentin tübül penetrasyon alanı, penetrasyon yüzdesi ve penetrasyon derinliği arasında anlamlı düzeyde negatif korelasyon saptanmıştır. Bu bulgu, yüzeyde daha geniş bir penetrasyon alanının her zaman daha derin bir penetrasyonla sonuçlanmadığını ve bu parametrelerin klinik değerlendirmelerde bağımsız ölçütler olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

7. KAYNAKÇA

AbdelWahed, A., roshdy, n., & Elbanna, a. (2021). Evaluation of Push-out Bond Strength of CeraSeal Bioceramic sealer with Different Obturation Techniques. *Egyptian Dental Journal*, *67*(3), 2655-2662.

Abou-Rass, M., & Piccinino, M. V. (1982). The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *54*(3), 323-328.

Adcock, J. M., Sidow, S. J., Looney, S. W., Liu, Y., McNally, K., Lindsey, K., & Tay, F. R. (2011). Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. *Journal of Endodontics*, *37*(4), 544-548.

Ahmad, M. (1989). Effect of ultrasonic instrumentation on Bacteroides intermedius. *Dental Traumatology*, *5*(2), 83-86.

Ahmad, M., Ford, T. R. P., & Crum, L. A. (1987). Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *Journal of Endodontics*, *13*(10), 490-499.

Akcay, M., Arslan, H., Durmus, N., Mese, M., & Capar, I. D. (2016). 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*, *48*(1), 70-76.

Akcay, M., Arslan, H., Mese, M., Durmus, N., & Capar, I. D. (2017). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical oral investigations*, *21*(7), 2205-2212.

Akpata, E. S., & Blechman, H. (1982). Bacterial invasion of pulpal dentin wall in vitro. *J Dent Res*, *61*(2), 435-438.

Akyuz Ekim, S. N., & Erdemir, A. (2015). Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: an in vitro study. *Microscopy Research and Technique*, *78*(3), 230-239.

Al-Haddad, A., & Che Ab Aziz, Z. A. (2016). Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater*, *2016*, 9753210.

Alim Uysal, B. A., Kotan, G., Guneser, M. B., Dincer, A. N., Senturk, H., & Rafiqi, A. M. (2021). Investigation of the effect of different chelation solutions on penetration of resin-based and bioceramic sealers with a novel method. *Microscopy Research and Technique*, *84*(7), 1571-1576.

Arslan, H., Capar, I., Saygili, G., Gok, T., & Akcay, M. (2014). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International Endodontic Journal*, *47*(11), 1072-1077.

Ateş, A. A., Arıcan, B., Çiftçioğlu, E., & Küçükay, E. S. (2021). Influence of different irrigation regimens on the dentinal tubule penetration of a bioceramic-based root canal sealer: a confocal analysis study. *Lasers in medical science*, *36*(8), 1771-1777.

Aydın, Z. U., Özyürek, T., Keskin, B., & Baran, T. (2019). Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study. *Odontology*, *107*(1), 64-71.

Azim, A. A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J. P., & Huang, G. T.-J. (2016). Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of Endodontics*, *42*(6), 928-934.

Balguerie, E., van der Sluis, L., Vallaeys, K., Gurgel-Georgelin, M., & Diemer, F. (2011). Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, *37*(11), 1576-1579.

Bernardes, R. A., Duarte, M. A. H., Vivan, R. R., Alcalde, M. P., Vasconcelos, B. C., & Bramante, C. M. (2016). Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy. *Int Endod J*, *49*(9), 890-897.

Blanken, J., De Moor, R. J., Meire, M., & Verdaasdonk, R. (2009). Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med*, *41*(7), 514-519.

Bolles, J. A., He, J., Svoboda, K. K., Schneiderman, E., & Glickman, G. N. (2013). Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *Journal of Endodontics*, *39*(5), 708-711.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., & Vasiliadis, L. (2007). Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to the ISO 9626: 1991 and 9626: 1991/Amd 1: 2001 specification. *International Endodontic Journal*, *40*(9), 700-706.

Boutsioukis, C., & van der Sluis, L. W. (2015). Syringe irrigation: blending endodontics and fluid dynamics. *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system*, 45-64.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., & Van Der Sluis, L. (2010). Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging. *International Endodontic Journal*, *43*(5), 393-403.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, *36*(5), 875-879.

Brito, P. R., Souza, L. C., Machado de Oliveira, J. C., Alves, F. R., De-Deus, G., Lopes, H. P., & Siqueira, J. F., Jr. (2009). Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal Enterococcus faecalis populations: an in vitro study. *J Endod*, *35*(10), 1422-1427.

Brunson, M., Heilborn, C., Johnson, D. J., & Cohenca, N. (2010). Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of Endodontics*, *36*(4), 721-724.

Burleson, A., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2007). The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, *33*(7), 782-787.

Byström, A., & Sunvqvist, G. (1985). The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *International Endodontic Journal*, *18*(1), 35-40.

Cameron, J. (1983). The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *Journal of Endodontics*, *9*(7), 289-292.

Cameron, J. A. (1987). The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: a scanning electron microscope evaluation. *J Endod*, *13*(11), 541-545.

Caron, G. (2007). Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: an SEM study. *Paris: Paris VII University*.

Carver, K., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2007). In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, *33*(9), 1038-1043.

Chan, A. Y. Y., Chang, J. W. W., Cheung, G. S. P., Neelakantan, P., Zhang, C., & Lee, A. H. C. (2024). Penetration of Calcium Silicate and Epoxy Resin Sealers Into the Lateral Canals. *Int Dent J*, *74*(4), 762-768.

Chandra, S. S., Shankar, P., & Indira, R. (2012). Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study. *Journal of Endodontics*, *38*(10), 1412-1416.

Chaudhry, S., Yadav, S., Talwar, S., & Verma, M. (2017). Effect of EndoActivator and Er, Cr: YSGG laser activation of Qmix, as final endodontic irrigant, on sealer penetration: A Confocal microscopic study. *Journal of clinical and experimental dentistry*, *9*(2), e218.

Chow, T. (1983). Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, *9*(11), 475-479.

Cleghorn, B. M., Christie, W. H., & Dong, C. C. (2007). The root and root canal morphology of the human mandibular first premolar: a literature review. *J Endod*, *33*(5), 509-516.

Collares, F., Portella, F., Rodrigues, S., Celeste, R., Leitune, V., & Samuel, S. (2016). The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: a meta-regression analysis. *International Endodontic Journal*, *49*(9), 836-849.

Costerton, J. W., Lewandowski, Z., DeBeer, D., Caldwell, D., Korber, D., & James, G. (1994). Biofilms, the customized microniche. *J Bacteriol*, *176*(8), 2137-2142.

Craveiro, M. A., Fontana, C. E., de Martin, A. S., & Bueno, C. E. (2015). Influence of coronal restoration and root canal filling quality on periapical status: clinical and radiographic evaluation. *J Endod*, *41*(6), 836-840.

Cunningham, W. T., & Martin, H. (1982). A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *53*(5), 527-531.

Çalt, S., & Serper, A. (1999). Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, *25*(6), 431-433.

De Bem, I. A., de Oliveira, R. A., Weissheimer, T., Bier, C. A. S., Só, M. V. R., & da Rosa, R. A. (2020). Effect of ultrasonic activation of endodontic sealers on intratubular penetration and bond strength to root dentin. *Journal of Endodontics*, *46*(9), 1302-1308.

De Deus, G. A., Gurgel-Filho, E. D., Maniglia-Ferreira, C., & Coulinho-Filho, T. (2004). The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: a study using light microscopy and digital image processing. *Australian Endodontic Journal*, *30*(1), 23-28.

De Groot, S., Verhaagen, B., Versluis, M., Wu, M. K., Wesselink, P., & Van Der Sluis, L. (2009). Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *International Endodontic Journal*, *42*(12), 1077-1083.

de Groot, S. D., Verhaagen, B., Versluis, M., Wu, M. K., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2009). Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J*, *42*(12), 1077-1083.

De-Deus, G., Reis, C. M., Di Giorgi, K., Brandão, M. C., Audi, C., & Fidel, R. A. S. (2011). Interfacial adaptation of the Epiphany self-adhesive sealer to root dentin. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, *111 3*, 381-386.

Deleu, E., Meire, M. A., & De Moor, R. J. (2015). Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers in medical science*, *30*(2), 831-835.

Desai, S., & Chandler, N. (2009). Calcium Hydroxide-Based Root Canal Sealers: A Review. *Journal of Endodontics*, *35*, 475-480.

DiVito, E., Peters, O. A., & Olivi, G. (2012). 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*, *27*(2), 273-280.

Donnermeyer, D., Dornseifer, P., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). The push-out bond strength of calcium silicate-based endodontic sealers. *Head Face Med*, *14*(1), 13.

Dr. Anil K Tomer, D. S. K., Dr. Dhruv Rastogi, Dr. Lungdin, & Leima Cecilia, D. S. S. a. D. A. T. (2020). Bioceramics in Endodontics - A Review. *International Journal of Applied Dental Sciences*(3), 588-594.

Druttman, A., & Stock, C. (1989). An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *International Endodontic Journal*, *22*(4), 174-178.

Elnaghy, A. M., Mandorah, A., & Elsaka, S. E. (2017). Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*, *105*(2), 178-183.

Ersahan, S., & Aydin, C. (2010). Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate–based sealer, from radicular dentine. *Journal of Endodontics*, *36*(12), 2000-2002.

Fariniuk, L. F., Baratto-Filho, F., da Cruz-Filho, A. M., & de Sousa-Neto, M. D. (2003). Histologic analysis of the cleaning capacity of mechanical endodontic instruments activated by the ENDOflash system. *Journal of Endodontics*, *29*(10), 651-653.

Ferreira, E. H. R. G., Rosas, C. A. P., Limoeiro, A. G. d. S., Lima, S. N., Silva, R. A., Seckler, I. N. B., De Martin, A. S., Nascimento, W. M., & Bueno, C. E. d. S. (2024). Effect of obturation technique on dentinal tubule penetration of two tricalcium silicate–based sealers: Ex vivo study. *Australian Endodontic Journal*, *50*(1), 148-156.

Ferreira, R. B., Alfredo, E., De Arruda, M. P., Sousa, Y. T. C. S., & Sousa-Neto, M. D. (2004). Histological Analysis Of The Cleaning Capacity Of Nickel-Titanium Rotary Instrumentation With Ultrasonic Irrigation In Root Canals. *Australian Endodontic Journal*, *30*(2), 56-58.

Generali, L., Prati, C., Pirani, C., Cavani, F., Gatto, M. R., & Gandolfi, M. G. (2017). Double dye technique and fluid filtration test to evaluate early sealing ability of an endodontic sealer. *Clinical oral investigations*, *21*(4), 1267-1276.

Gharib, S. R., Tordik, P. A., Imamura, G. M., Baginski, T. A., & Goodell, G. G. (2007). A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. *Journal of Endodontics*, *33*(8), 957-961.

Goldman, M., Goldman, L. B., Cavaleri, R., Bogis, J., & Lin, P. S. (1982). The

efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *J Endod*, *8*(11), 487-492.
Goodman, A., Reader, A., Beck, M., Melfi, R., & Meyers, W. (1985). An in vitro comparison of the efficacy of the stepback technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, *11*(6), 249-256.
Gu, L. S., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*, *35*(6), 791-804.
Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y. L. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, *10*, 103-122.
Gunes, B., Yeter, K. Y., & Altay, Y. (2024). Impact of different activation procedures on sodium hypochlorite penetration into dentinal tubules after endodontic retreatment via confocal laser scanning microscopy. *BMC Oral Health*, *24*(1), 1103.
Guneser, M. B., Arslan, D., & Usumez, A. (2015). Tissue dissolution ability of sodium hypochlorite activated by photon-initiated photoacoustic streaming technique. *J Endod*, *41*(5), 729-732.
Gutarts, R., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2005). In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, *31*(3), 166-170.
Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*, *54*(2), 291-312.
[Record #58 is using a reference type undefined in this output style.]
Harty, F. J. (1982). Endodontic practice: 10th ed. By Louis I. Grossman. 234 × 152 mm. Pp. 458. 1981. Illustrated. Philadelphia, Lea & Febiger. US$26.50. *Journal of Dentistry*, *10*.
Hauser, V., Braun, A., & Frentzen, M. (2007). Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J*, *40*(8), 644-652.
Huang, T. Y., Gulabivala, K., & Ng, Y. L. (2008). A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal*, *41*(1), 60-71.
Huttula, A. S., Tordik, P. A., Imamura, G., Eichmiller, F. C., & McClanahan, S. B. (2006). The effect of ultrasonic post instrumentation on root surface temperature. *Journal of Endodontics*, *32*(11), 1085-1087.
Hülsmann, M., & Hahn, W. (2000). Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J*, *33*(3), 186-193.
Hülsmann, M., Heckendorff, M., & Lennon, A. (2003). Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, *36*(12), 810-830.
Jafari, F., & Jafari, S. (2017). Composition and physicochemical properties of calcium silicate based sealers: A review article. *J Clin Exp Dent*, *9*(10), e1249-e1255.
Jardine, A. P., Rosa, R. A. d., Santini, M. F., Wagner, M., Só, M. V. R., Kuga, M. C., Pereira, J. R., & Kopper, P. M. P. (2016). The effect of final irrigation on the penetrability of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules: a confocal microscopy study. *Clinical oral investigations*, *20*(1), 117-123.
Jassal, A., Nawal, R. R., Yadav, S., Talwar, S., Yadav, S., & Duncan, H. F. (2023). Outcome of partial and full pulpotomy in cariously exposed mature molars

with symptoms indicative of irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Int Endod J*, *56*(3), 331-344.
Jeong, J. W., DeGraft-Johnson, A., Dorn, S. O., & Di Fiore, P. M. (2017). Dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer with different obturation methods. *Journal of Endodontics*, *43*(4), 633-637.
Kamil, A. A., Ali, A. H., Foschi, F., & Mannocci, F. (2025). Effectiveness of Continuous and Sequential Chelation and Different Agitation Techniques on Smear Layer Removal and Microhardness of Root Canal Dentin (An In Vitro Study). *Dentistry Journal*, *13*(5), 221.
Kaplan, F., & Erdemir, A. (2023). Evaluating the effect of different irrigation activation techniques on the dentin tubules penetration of two different root canal sealers by laser scanning confocal microscopy. *Microscopy Research and Technique*, *86*(7), 791-802.
Karatas, E., Ozsu, D., Arslan, H., & Erdogan, A. S. (2015). Comparison of the effect of nonactivated self-adjusting file system, Vibringe, EndoVac, ultrasonic and needle irrigation on apical extrusion of debris. *Int Endod J*, *48*(4), 317-322.
Keir, D. M., Senia, E. S., & Montgomery, S. (1990). Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of Endodontics*, *16*(7), 323-327.
Keskin, C., Sariyilmaz, E., & Sariyilmaz, Ö. (2017). Efficacy of XP-endo finisher file in removing calcium hydroxide from simulated internal resorption cavity. *Journal of Endodontics*, *43*(1), 126-130.
Kokkas, A. B., Boutsioukis, A., Vassiliadis, L. P., & Stavrianos, C. K. (2004). The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod*, *30*(2), 100-102.
Kremeier, K., Fasen, L., Klaiber, B., & Hofmann, N. (2008). Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dental Materials*, *24*(5), 660-666.
Lee, S. J., Wu, M. K., & Wesselink, P. (2004). The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *International Endodontic Journal*, *37*(10), 672-678.
Leoni, G. B., Versiani, M. A., Silva-Sousa, Y., Bruniera, J. F. B., Pécora, J. D., & Sousa-Neto, M. D. d. (2017). Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal*, *50*(4), 398-406.
Liu, T., Aman, A., Ainiwaer, M., Ding, L., Zhang, F., Hu, Q., Song, Y., Ni, Y., & Tang, X. (2021). Evaluation of the anti-biofilm effect of poloxamer-based thermoreversible gel of silver nanoparticles as a potential medication for root canal therapy. *Sci Rep*, *11*(1), 12577.
Lukač, N., & Jezeršek, M. (2018). Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers Med Sci*, *33*(4), 823-833.
Lumley, P., Walmsley, A., Walton, R., & Rippin, J. (1992). Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *Journal of Endodontics*, *18*(12), 616-619.
Ma, J., Shen, Y., Yang, Y., Gao, Y., Wan, P., Gan, Y., Patel, P., Curtis, A., Khakpour, M., & Haapasalo, M. (2015). In vitro study of calcium hydroxide removal from mandibular molar root canals. *Journal of Endodontics*, *41*(4), 553-558.

Machado, R., Cruz, A. T. G., de Araujo, B. M. d. M., Klemz, A. A., Klug, H. P., & da Silva Neto, U. X. (2018). Tubular dentin sealer penetration after different final irrigation protocols: A confocal laser scanning microscopy study. *Microscopy Research and Technique*, *81*(6), 649-654.

Machtou, P. (1980). Irrigation investigation in endodontics. *Paris VII University, Paris, France: Masters thesis*.

Mader, C. L., Baumgartner, J. C., & Peters, D. D. (1984). Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, *10*(10), 477-483.

Madhuri, G. V., Varri, S., Bolla, N., Mandava, P., Akkala, L. S., & Shaik, J. (2016). Comparison of bond strength of different endodontic sealers to root dentin: An: in vitro: push-out test. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, *19*(5), 461-464.

Mamootil, K., & Messer, H. (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal*, *40*(11), 873-881.

Mancini, M., Cerroni, L., Iorio, L., Armellin, E., Conte, G., & Cianconi, L. (2013). Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *Journal of Endodontics*, *39*(11), 1456-1460.

Mancino, D., Kharouf, N., Hemmerlé, J., & Haïkel, Y. (2019). Microscopic and Chemical Assessments of the Filling Ability in Oval-Shaped Root Canals Using Two Different Carrier-Based Filling Techniques. *Eur J Dent*, *13*(2), 166-171.

Mandlecha, D., & Srinidhi, S. (2023). Comparative Evaluation of the Effect of XP-Endo Finisher, Passive Ultrasonic Irrigation and Sonic Activation on the Push-Out Bond Strength of Bioceramic Sealer to Root Dentin. *Saudi J Oral Dent Res*, *8*(5), 162-166.

Marending, M., Luder, H. U., Brunner, T. J., Knecht, S., Stark, W. J., & Zehnder, M. (2007). Effect of sodium hypochlorite on human root dentine--mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J*, *40*(10), 786-793.

Martin, H., Cunningham, W. T., Norris, J. P., & Cotton, W. R. (1980). Ultrasonic versus hand filing of dentin: a quantitative study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *49*(1), 79-81.

McComb, D., & Smith, D. C. (1975). A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*, *1*(7), 238-242.

McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin Microbiol Rev*, *12*(1), 147-179.

McGill, S., Gulabivala, K., Mordan, N., & Ng, Y. L. (2008). The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film'from an ex vivo model. *International Endodontic Journal*, *41*(7), 602-608.

Merfea, M., Cimpean, S. I., Chiorean, R. S., Antoniac, A., Delean, A. G., Badea, I. C., & Badea, M. E. (2024). Comparative Assessment of Push-Out Bond Strength and Dentinal Tubule Penetration of Different Calcium-Silicate-Based Endodontic Sealers. *Dentistry Journal*, *12*(12), 397.

Metzger, Z. (2014). The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, *17*(5), 401-419.

MJ, R. (1957). The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent*

Med, *12*, 12-18.
Mjör, I., Smith, M., Ferrari, M., & Mannocci, F. (2001). The structure of dentine in the apical region of human teeth. *International Endodontic Journal*, *34*(5), 346-353.
Mokashi, P., Shah, J., Chandrasekhar, P., Kulkarni, G. P., Podar, R., & Singh, S. (2021). Comparison of the penetration depth of five root canal sealers: A confocal laser scanning microscopic study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, *24*(2), 199-203.
Moon, Y.-M., Kim, H.-C., Bae, K.-S., Baek, S.-H., Shon, W.-J., & Lee, W. (2012). Effect of laser-activated irrigation of 1320-nanometer Nd: YAG laser on sealer penetration in curved root canals. *Journal of Endodontics*, *38*(4), 531-535.
Moorer, W., & Wesselink, P. (1982). Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J*, *15*(4), 187-196.
Muedra, P., Forner, L., Lozano, A., Sanz, J. L., Rodríguez-Lozano, F. J., Guerrero-Gironés, J., Riccitiello, F., Spagnuolo, G., & Llena, C. (2021). Could the calcium silicate-based sealer presentation form influence dentinal sealing? An in vitro confocal laser study on tubular penetration. *Materials*, *14*(3), 659.
Naenni, N., Thoma, K., & Zehnder, M. (2004). Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod*, *30*(11), 785-787.
Nair, P., Henry, S., Cano, V., & Vera, J. (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, *99*(2), 231-252.
Nielsen, B. A., & Craig Baumgartner, J. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, *33*(5), 611-615.
Nouroloyouni, A., Samadi, V., Salem Milani, A., Noorolouny, S., & Valizadeh-Haghi, H. (2023). Single Cone Obturation versus Cold Lateral Compaction Techniques with Bioceramic and Resin Sealers: Quality of Obturation and Push-Out Bond Strength. *Int J Dent*, *2023*, 3427151.
Nusstein, J. (2006). Ultrasonic dental device. *Acoustical Society of America Journal*, *119*(3), 1312.
Okşan, T., Aktener, B., Şen, B., & Tezel, H. (1993). The penetration of root canal sealers into dentinai tubules. A scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal*, *26*(5), 301-305.
Oliveira, D., Cardoso, M., Queiroz, T., Silva, E., Souza, E., & De-Deus, G. (2016). Suboptimal push-out bond strengths of calcium silicate-based sealers. *International Endodontic Journal*, *49*(8), 796-801.
Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Graeff, M. S., del Carpio Perochena, A., Vivan, R. R., Camargo, E. J., Garcia, R. B., Bernardineli, N., Gutmann, J. L., & de Moraes, I. G. (2009). Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, *108*(3), 450-457.
Orlowski, N. B., Schimdt, T. F., da Silveira Teixeira, C., Garcia, L. d. F. R., Savaris, J. M., Tay, F. R., & Bortoluzzi, E. A. (2020). Smear layer removal using passive ultrasonic irrigation and different concentrations of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, *46*(11), 1738-1744.
Orstavik, D., & Haapasalo, M. (1990). Disinfection by endodontic irrigants and

dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol*, *6*(4), 142-149.
Özlek, E., Neelakantan, P., Akkol, E., Gündüz, H., Uçar, Y. A., & Belli, S. (2020). Dentinal tubule penetration and dislocation resistance of a new bioactive root canal sealer following root canal medicament removal using sonic agitation or laser-activated irrigation. *European Endodontic Journal*, *5*(3), 264.
Pane, E. S., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2013). Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. *Journal of Endodontics*, *39*(5), 669-673.
Paqué, F., Luder, H., Sener, B., & Zehnder, M. (2006). Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *International Endodontic Journal*, *39*(1), 18-25.
Paranjpe, A., de Gregorio, C., Gonzalez, A. M., Gomez, A., Herzog, D. S., Piña, A. A., & Cohenca, N. (2012). Efficacy of the self-adjusting file system on cleaning and shaping oval canals: a microbiological and microscopic evaluation. *Journal of Endodontics*, *38*(2), 226-231.
Parente, J., Loushine, R., Susin, L., Gu, L., Looney, S., Weller, R., Pashley, D., & Tay, F. (2010). Root canal debridement using manual dynamic agitation or the EndoVac for final irrigation in a closed system and an open system. *International Endodontic Journal*, *43*(11), 1001-1012.
Park, E., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2012). Irrigation of the apical root canal. *Endodontic Topics*, *27*.
Passarinho-Neto, J. G., Marchesan, M. A., Ferreira, R. B., Silva, R. G., Silva-Sousa, Y. T. C., & Sousa-Neto, M. D. (2006). In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Australian Endodontic Journal*, *32*(3), 123-128.
Patel, D., Sherriff, M., Ford, T. P., Watson, T., & Mannocci, F. (2007). The penetration of RealSeal primer and Tubliseal into root canal dentinal tubules: a confocal microscopic study. *International Endodontic Journal*, *40*(1), 67-71.
Perdigao, J., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (2000). Microscopy investigations: techniques, results, limitations. *Am. J. Dent*, *13*, 3D18D.
Pesse, A. V., Warrier, G. R., & Dhir, V. K. (2004). Experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition,
Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*, *30*(8), 559-567.
Peters, O. A., Schönenberger, K., & Laib, A. (2001). Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*, *34*(3), 221-230.
Piai, G. G., Duarte, M. A. H., Nascimento, A. L. d., Rosa, R. A. d., Só, M. V. R., & Vivan, R. R. (2018). Penetrability of a new endodontic sealer: A confocal laser scanning microscopy evaluation. *Microscopy Research and Technique*, *81*(11), 1246-1249.
Psimma, Z., Boutsioukis, C., Vasiliadis, L., & Kastrinakis, E. (2013). A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *International Endodontic Journal*, *46*(7), 619-631.
Quaresma, S. A. L., Alves Dos Santos, G. N., Silva-Sousa, A. C., Camargo, R. V., Silva-Sousa, Y. T., Lopes-Olhê, F. C., Mazzi-Chaves, J. F., & Sousa-Neto, M. D. (2023). Influence of bioceramic cones on the quality of root canal

filling relative to bond strength and adaptation of the adhesive interface. *Clin Oral Investig*, *27*(12), 7919-7933.
Raghavendra, S. S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanb Univ Fac Dent*, *51*(3 Suppl 1), S128-s137.
Ram, Z. (1977). Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *44*(2), 306-312.
Retana-Lobo, C., Tanomaru-Filho, M., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Benavides-García, M., Hernández-Meza, E., & Reyes-Carmona, J. (2021). Push-Out Bond Strength, Characterization, and Ion Release of Premixed and Powder-Liquid Bioceramic Sealers with or without Gutta-Percha. *Scanning*, *2021*, 6617930.
Retsas, A., Koursoumis, A., Tzimpoulas, N., & Boutsioukis, C. (2016). Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation in curved root canals. *Journal of Endodontics*, *42*(10), 1545-1549.
ruddle, C. J. (2001). *Microbrush for endodontic use* (us Patent No.
Ruddle, C. J. (2010). Cleaning and shaping the root canal system. *Pathways of the Pulp*, 231-292.
Russell, A. A., Chandler, N. P., Hauman, C., Siddiqui, A. Y., & Tompkins, G. R. (2013). The butterfly effect: an investigation of sectioned roots. *Journal of Endodontics*, *39*(2), 208-210.
Saleh, I. M., Ruyter, I. E., Haapasalo, M. P., & Ørstavik, D. (2003). Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *Journal of Endodontics*, *29*(9), 595-601.
Sarı, Z. B. (2021). Lazer Taramalı Konfokal Mikroskobun Prensipleri ve Tıpta Kullanım Alanları. *Akdeniz Tıp Dergisi*, *7*(3), 457-462.
Schoeffel, G. J. (2008). The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2--efficacy. *Dentistry today*, *27*(1), 82-87.
Sedgley, C., Applegate, B., Nagel, A., & Hall, D. (2004). Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro. *Journal of Endodontics*, *30*(12), 893-898.
Setlock, J., Fayad, M. I., BeGole, E., & Bruzick, M. (2003). Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, *96*(5), 614-617.
Shenvi, S., & Joshi, S. (2025). Smear layer removal potential of a naturally occurring antioxidant: An in-vitro scanning electron microscopic study. *11*, 35-39.
Shin, S. J., Kim, H. K., Jung, I. Y., Lee, C. Y., Lee, S. J., & Kim, E. (2010). Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, *109*(3), 479-484.
Shokouhinejad, N., Razmi, H., Fekrazad, R., Asgary, S., Neshati, A., Assadian, H., & Kheirieh, S. (2012). Push-out bond strength of two root-end filling materials in root-end cavities prepared by Er,Cr:YSGG laser or ultrasonic technique. *Aust Endod J*, *38*(3), 113-117.
Sigurdsson, A., Garland, R. W., Le, K. T., & Rassoulian, S. A. (2018). Healing of Periapical Lesions after Endodontic Treatment with the GentleWave Procedure: A Prospective Multicenter Clinical Study. *J Endod*, *44*(3), 510-517.

Silveira, S. B., Alves, F. R. F., Marceliano-Alves, M. F., Sousa, J. C. N., Vieira, V. T. L., Siqueira, J. F., Jr., Lopes, H. P., & Provenzano, J. C. (2018). Removal of Root Canal Fillings in Curved Canals Using Either Mani GPR or HyFlex NT Followed by Passive Ultrasonic Irrigation. *J Endod*, *44*(2), 299-303.e291.

Singh, A. M., Elsewify, T. M., El-Sayed, W. S., Nuawafleh, H. H., Elemam, R. F., & Eid, B. M. (2024). Influence of root canal moisture on the penetration of TotalFill bioceramic sealer into the dentinal tubules: A confocal laser scanning microscopy study. *Saudi Endodontic Journal*, *14*(2), 187-192.

Siqueira, J. F., Jr., & Rôças, I. N. (2008). Clinical Implications and Microbiology of Bacterial Persistence after Treatment Procedures. *Journal of Endodontics*, *34*(11), 1291-1301.e1293.

Snjaric, D., Carija, Z., Braut, A., Halaji, A., Kovacevic, M., & Kuis, D. (2012). Irrigation of human prepared root canal--ex vivo based computational fluid dynamics analysis. *Croat Med J*, *53*(5), 470-479.

Soares, C. J., Santana, F. R., Castro, C. G., Santos-Filho, P. C., Soares, P. V., Qian, F., & Armstrong, S. R. (2008). Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: comparison between microtensile and push-out tests. *Dental Materials*, *24*(10), 1405-1411.

Song, M., Kim, H. C., Lee, W., & Kim, E. (2011). Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery. *J Endod*, *37*(11), 1516-1519.

Spangberg, L., Engström, B., & Langeland, K. (1973). Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, *36*(6), 856-871.

Spratt, D. A., Pratten, J., Wilson, M., & Gulabivala, K. (2001). An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J*, *34*(4), 300-307.

Stamos, D. E., Sadeghi, E. M., Haasch, G. C., & Gerstein, H. (1987). An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *Journal of Endodontics*, *13*(9), 434-440.

Sundqvist, G. (1994). Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, *78*(4), 522-530.

Sunny, G., Doddwad, P. K., & Shenvi, S. (2025). Comparative evaluation of effect of N-acetyl cysteine, maleic acid, and ethylenediaminetetraacetic Acid on the depth of dentinal tubule penetration of an epoxy resin-based root canal sealer: A confocal laser scanning microscopy study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, *28*(4), 309-313.

Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2001). Aggressiveness of contemporary self-etching systems: I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dental Materials*, *17*(4), 296-308.

Tedesco, M., Chain, M. C., Felippe, W. T., Alves, A. M. H., Garcia, L. d. F. R., Bortoluzzi, E. A., Cordeiro, M. R., & Teixeira, C. S. (2019). Correlation between bond strength to dentin and sealers penetration by push-out test and CLSM analysis. *Brazilian Dental Journal*, *30*(6), 555-562.

Teixeira, C., Felippe, M., & Felippe, W. (2005). The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *International Endodontic Journal*, *38*(5), 285-290.

Torabinejad, M., Handysides, R., Khademi, A. A., & Bakland, L. K. (2002). Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, *94*(6), 658-666.

Torabinejad, M., Khademi, A. A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W. B., Bozhilov, K., Kim, J., & Shabahang, S. (2003). A New Solution for the Removal of the Smear Layer. *Journal of Endodontics*, *29*(3), 170-175.

Torabinejad, M., & Walton, R. E. (2009). *Endodontics: principles and practice*. Elsevier Health Sciences.

Tronstad, L., Barnett, F., Schwartzben, L., & Frasca, P. (1985). Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Dental Traumatology*, *1*(2), 69-76.

Tuncer, A. K., & Tuncer, S. (2012). Effect of different final irrigation solutions on dentinal tubule penetration depth and percentage of root canal sealer. *Journal of Endodontics*, *38*(6), 860-863.

Tungsawat, P., Arunrukthavorn, P., Phuntusuntorn, P., Opatragoon, S., Sirirangsee, P., & Inklub, S. (2021). Comparison of the effect of three irrigation techniques and root canal preparation size on sodium hypochlorite penetration into root canal dentinal tubules. *International Journal of Dentistry*, *2021*(1), 6612588.

Ungor, M., Onay, E., & Orucoglu, H. (2006). Push-out bond strengths: the Epiphany–Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. *International Endodontic Journal*, *39*(8), 643-647.

van der Sluis, L. W., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, *40*(6), 415-426.

Vaz-Garcia, E. S., Vieira, V. T. L., Petitet, N. P. d. S. F., Moreira, E. J. L., Lopes, H. P., Elias, C. N., Silva, E. J. N. L., & Antunes, H. d. S. (2018). Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Brazilian Dental Journal*, *29*(2), 208-213.

Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *58*(5), 589-599.

Violich, D. R., & Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics – a review. *International Endodontic Journal*, *43*(1), 2-15.

Vivek, K., Sreedhar, S., Nair, S. V., Sreelekshmi, V., Jitha, J., Viswanadhan, A., & Athira, P. M. (2024). Comparative Micro-CT Evaluation of Dentinal Tubule Penetration of BIO-C and AH Plus Jet Root Canal Sealer Using Three Intra-Canal Activation Techniques. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *16*(Suppl 5), S4568-S4571.

Walmsley, A., & Williams, A. (1989). Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *Journal of Endodontics*, *15*(5), 189-194.

Walters, M. J., Baumgartner, J. C., & Marshall, J. G. (2002). Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, *28*(12), 837-839.

Weise, M., Roggendorf, M., Ebert, J., Petschelt, A., & Frankenberger, R. (2007). Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals-a SEM evaluation: R2. 39. *International Endodontic Journal*, *40*(12), 991-992.

White, R. R., Goldman, M., & Lin, P. S. (1987). The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II. *J Endod*, *13*(8), 369-374.

Wiggins, S., & Ottino, J. M. (2004). Foundations of chaotic mixing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *362*(1818), 937-970.

Wigler, R., Dvir, R., Weisman, A., Matalon, S., & Kfir, A. (2017). Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. *International Endodontic Journal*, *50*(7), 700-705.

Wu, M. K., & Wesselink, P. (2001). A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International Endodontic Journal*, *34*(2), 137-141.

Yilmaz, A., Yalcin, T. Y., & Helvacioglu-Yigit, D. (2020). Effectiveness of various final irrigation techniques on sealer penetration in curved roots: a confocal laser scanning microscopy study. *BioMed research international*, *2020*(1), 8060489.

Yoon, J.-H., Choi, S.-H., Koh, J.-T., Lee, B.-N., Chang, H.-S., Hwang, I.-N., Oh, W.-M., & Hwang, Y.-C. (2021). Hard tissue formation after direct pulp capping with osteostatin and MTA in vivo. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *46*(2).

Yoshida, T., Shibata, T., Shinohara, T., Gomyo, S., & Sekine, I. (1995). Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod*, *21*(12), 592-593.

Zand, V., Salem Milani, A., Yavari, H. R., & Majidi, A. R. (2019). The Effects of Different Agitation Techniques of Canal Irrigant on Tubular Penetration of a Bioceramic Sealer. *Iran Endod J*, *14*(4), 289-295.

Zehnder, M. (2006). Root Canal Irrigants. *Journal of Endodontics*, *32*(5), 389-398.

Zhang, D., Shen, Y., de la Fuente-Núñez, C., & Haapasalo, M. (2019). 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*, *23*(2), 913-920.

Zhou, H.-m., Shen, Y., Zheng, W., Li, L., Zheng, Y.-f., & Haapasalo, M. (2013). Physical properties of 5 root canal sealers. *Journal of Endodontics*, *39*(10), 1281-1286.