



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ŞELASYON AJANLARININ ÜÇ TİP
KÖK KANAL PATININ İTME BAĞLANMA
DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ**

İzel TOPAL

UZMANLIK TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba KOŞAR

TRABZON-2024



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI ŞELASYON AJANLARININ ÜÇ TİP
KÖK KANAL PATININ İTME BAĞLANMA
DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİ**

İzel TOPAL
ORCID: 0000-0003-1085-7422

UZMANLIK TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba KOŞAR
ORCID: 0000-0001-5764-5510

TRABZON-2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun şekilde hazırlanarak yazıldığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallara bağlı kalarak elde ettiğimi, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezimin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici davranışımın olmadığını tezimin BAP koordinasyon birimi tarafından TDH-2023-10914 proje kodu ile desteklendiğini beyan ederim.

2024
İzel TOPAL

İthaf

Bu uzmanlık tezimi, bu günlere gelmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman yanımda olan sevgili aileme ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam süresince hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, bilgi ve birikimlerini sabır ve hoşgörü ile bana aktarmasından mutluluk duyduğum danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Koşar'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca üzerimde emeği geçen, mesleki bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden değerli hocalarım Prof. Dr. Tamer Taşdemir'e, Doç. Dr. Davut Çelik'e, Dr. Öğr. Üyesi Nihan Çelik Uzun'a,

Deney çalışmalarımı tamamlama sürecimde gösterdikleri ilgi, özen ve yardımları için Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Dekanı Sayın Prof. Dr. Gençaga Pürçek'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Harun Yanar'a, Orman Fakültesi Orman Botanigi Anabilim Dalı'ndan Sayın Prof. Dr. Salih Terzioğlu'na, çalışmamızın istatistiksel analiz süreçlerinde yardımlarını esirgemeyen Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Tamer Tüzüner'e, Makine Mühendisliği Malzeme Bilim Dalı akademik personellerine,

Asistanlık hayatım boyunca her anımı paylaştığım ve desteğini hep yanımda hissettiğim sevgili eşkıdemlilerim Tunahan Aktaş, Ece Ezgi Erdinç Kurt, Murat Taşdemir ve Sevil Zırlı'ya, birlikte çalışmaktan keyif aldığım çalışma arkadaşlarım Münevver Kaya, Damla Akkaya, Şeyma Kandemir Genç, Abdulrahman Neccaroğlu, Simge Uzun ve tüm Endobirlik grubuna,

Güler yüzleri ve yardımlarıyla çalışmalarımı kolaylaştıran bölüm personellerimiz Betül Akçay, Hilal Tandoğan, Yurdanur Usta, Seda Albayrak, Zeynep Dağtekin, Merve Erbay, Ebru Çakır ve Yeşim Aydın'a,

Hayatım boyunca her başarımda emekleri olan, maddi manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, sevgi ve ilgileriyle bana destek olan canım annem Nuray Topal, canım babam Engin Topal, canım ablam Ezgi Topal ve canım Müjganım'a

Kısa sürede çok şey paylaştığım, bu zorlu tez sürecimde her zaman yanımda olarak beni destekleyen Arş. Gör. Derya Karaman'a

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İzel TOPAL

İÇİNDEKİLER

BEYAN

İthaf

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

vii

TABLolar DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

x

RESİMLER DİZİNİ

xi

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

xii

ÖZET

xiv

ABSTRACT

xv

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1

2. GENEL BİLGİLER

3

2.1. Kök Kanal Tedavisi

3

2.1.1. Kök Kanal Preparasyonu

3

2.1.2. Kök Kanal İrrigasyonu

4

2.1.2.1. Sodyum Hipoklorit

6

2.1.2.2. Şelasyon Ajanları

9

2.1.2.2.1. EDTA

9

2.1.2.2.2. Fitik Asit (IP6)

12

2.1.2.2.3. Perasetik Asit

14

2.1.2.2.4. Sitrik Asit

16

2.1.2.2.5. Maleik Asit

17

2.1.2.2.6. Etidronik Asit (HEBP)

18

2.1.2.2.7. Kitosan

19

2.1.3. Kök Kanal Dolumu

20

2.1.3.1. Çinko Oksit Öjenol İçerikli Kök Kanal Patları

22

2.1.3.2. Kalsiyum Hidroksit İçerikli Kök Kanal Patları

22

2.1.3.3. Cam İyonomer İçerikli Kök Kanal Patları

23

2.1.3.4. Silikon İçerikli Kök Kanal Patları

24

2.1.3.5. Rezin İçerikli Kök Kanal Patları

25

2.1.3.5.1. Epoksi Rezin İçerikli Kök Kanal Patları	25
2.1.3.5.2. Metakrilat Rezin İçerikli Kök Kanal Patları	26
2.1.3.6. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patları	27
2.1.3.6.1. Kalsiyum-Silikat-Fosfat İçeren Biyoseramikler	27
2.1.3.6.2. Mineral Trioksit Agregat İçeren Biyoseramikler	28
2.1.3.7. Çalışmada Kullanılan Kök Kanal Patları	29
2.1.3.7.1. AH Plus	29
2.1.3.7.2. BioRoot RCS	30
2.1.3.7.3. GuttaFlow Bioseal	32
2.2. Bağlanma Dayanımı	32
2.2.1. Makaslama bağlanma dayanımı testi (Shear bond strength test)	33
2.2.2. Gerilme bağlanma dayanımı testi (Tensile bond strength test)	33
2.2.3. İtme Bağlanma Dayanımı Testi (Push-out bond strength test)	33
3. GEREÇ ve YÖNTEM	35
3.1. Etik Kurul Onayı	35
3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması	35
3.3. Örnek Seçimi	35
3.5. Solüsyonların Hazırlanması	38
3.6. Örneklerin Solüsyonlarda Bekletilmesi	40
3.7. Kanal Benzeri Kavitelere Kanal Patlarının Yerleştirilmesi	40
3.8. İtme Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması	43
3.9. İtme Bağlanma Dayanımı Testi Sonrası Oluşan Başarısızlık Tipi Analizi	45
3.10. İstatistiksel Analiz	45
4. BULGULAR	46
4.1. İtme Bağlanma Dayanımı	46
4.2. İtme Bağlanma Dayanımı Testi Sonrası Başarısızlık Tiplerinin Değerlendirilmesi	48
5. TARTIŞMA	53
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No.	Sayfa
Tablo 1. İki yönlü ANOVA etkileşim tablosu	46
Tablo 2. Grupların itme bağlanma dayanımı değerleri (ortalama $\pm$ standart sapma, MPa)	47
Tablo 3. Başarısızlık tiplerinin gruplara göre sayı ve yüzde (%) dağılımı	50



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No.

Sayfa

Şekil 1. Başarısızlık tiplerinin gruplara göre dağılımı

52



RESİMLER DİZİNİ

Resim No	Sayfa
Resim 1. Soğuk akrille kalıp modellere gömülen dişler	36
Resim 2. Çalışmada kullanılan hassas kesim cihazı	36
Resim 3. Kron kısmı uzaklaştırılmış diş örnekleri	37
Resim 4. Hassas kesim cihazı ile örneklerden kesit elde edilmesi işlemi	37
Resim 5. Dentin kesit kalınlığının dijital kumpas ile kontrol edilmesi	38
Resim 6. Kırk diştten elde edilen 160 dentin kesiti	38
Resim 7. Dentin kesitlerinde kanal benzeri kaviteilerin açılması	38
Resim 8. Çalışmada kullanılan solüsyonlar: (a) fitik asit solüsyonu, (b) perasetik asit solüsyonu, (c) EDTA solüsyonu ve (d) NaOCl solüsyonu	39
Resim 9. Dentin kesitlerinin irrigasyon solüsyonlarında bekletilmesi işlemi	40
Resim 10. Çalışmada kullanılan AH Plus kanal patının hazırlanması	41
Resim 11. Çalışmada kullanılan BioRoot RCS kanal patının hazırlanması	41
Resim 12. Çalışmada kullanılan GuttaFlow Bioseal kanal patının hazırlanması	42
Resim 13. Kanal benzeri kavitelere kanal dolgu materyallerinin yerleştirilmesi	42
Resim 14. Tüm örneklerdeki kanal benzeri kaviteilerin kök kanal dolgu materyali ile doldurulması	42
Resim 15. Dolum işleminden sonra, örneklerin 37°C sıcaklıkta ve >%95 nemli inkübatörde bekletilmesi	43
Resim 16. İtme bağlanma dayanımı testi için kullanılan üniversal test cihazı	44
Resim 17. İtme ucu ile örneklerle kuvvet uygulanması	44
Resim 18. İtme bağlanma dayanımı testi sonucu bilgisayarda kaydedilen maksimum kuvvet grafiği	44
Resim 19. Başarısızlık tiplerinin stereomikroskop ile belirlenmesi	45
Resim 20. Başarısızlık tiplerine ait stereomikroskop görüntüleri: (a) adeziv tip başarısızlık, (b) koheziv tip başarısızlık, (c) karışık tip başarısızlık	48
Resim 21. AH Plus kanal patına ait koheziv başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)	49
Resim 22. GuttaFlow Bioseal kanal patına ait adeziv başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)	49
Resim 23. BioRoot RCS kanal patına ait karışık başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)	49

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

ALP	Alkalen fostafaz
Ark	Arkadaşları
BT	Bilgisayarlı tomografi
CHX	Klorheksidin
Dk	Dakika
EDTA	Etilendiamin Tetraasetik Asit
FEG-TEM	Alan emisyonlu silah- taramalı elektron mikroskobu
HEBP	Hidroksietiliden Bifosfonat
Mm	Milimetre
MTA	Mineral Trioxide Aggregate
TEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
VIP	Vazoaktif İntestinal Peptid

Simgeler

>	Büyük
≥	Büyük eşit
<	Küçük
±	Artı-eksi
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
/	Bölü

Formüller

NaOCl	Sodyum hipoklorit
Ca⁺²	Kalsiyum
Mg⁺²	Magnezyum
Fe⁺², Fe⁺³	Demir
Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit
H₂O₂	Hidrojen peroksit
IKI	İyodin Potasyum İyodit
SH	Sülfidril
Mn	Mangan
Cu	Bakır
Fe	Demir
Co	Kobalt
K	Potasyum
S	Kükürt

ÖZET

Farklı Şelasyon Ajanlarının Üç Tip Kök Kanal Patının İtme Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisi

Bu çalışmanın amacı, farklı şelasyon ajanlarının üç farklı tip kök kanal patının kök dentinine itme bağlanma dayanımı üzerine etkisini değerlendirmektir.

Çalışmada, 40 adet tek köklü alt premolar diş kullanıldı. Her bir dişin kök koronal kısmından $1 \pm 0,1$ mm kalınlığında dört adet horizontal kesit elde edildi ve tüm kök kesitlerinde 1 mm çapında üç adet kanal benzeri kavite oluşturuldu. Dentin kesitleri, şelasyon ajanlarına göre üç deney (%17 EDTA, %1 fitik asit, %1 perasetik asit) ve bir kontrol grubuna (distile su) ayrıldı. Her grup, ilgili solüsyonda bekletildikten sonra kanal benzeri kaviteler, kullanılacak kanal patına göre üç alt gruba (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal) ayrıldı (n=40). Kanal patları bu kavitelere yerleştirildi ve bir hafta sonra örnekler itme bağlanma dayanımı testi uygulandı. Ayrıca örnekler başarısızlık tipine göre değerlendirildi. Veriler, iki yönlü ANOVA testi ile analiz edildi.

Tüm kök kanal patlarında, kullanılan şelasyon ajanları, kontrol grubuna göre bağlanma dayanımını anlamlı derecede artırmıştır. AH Plus'ın bağlanma dayanımı, EDTA grubunda en yüksek olup fitik asit ve perasetik asitten anlamlı derecede yüksektir (sırasıyla $p<0,01$; $p<0,001$); ayrıca, fitik asit de perasetik asitten daha yüksek bağlanma dayanımı göstermiştir ($p<0,05$). BioRoot RCS'nin bağlanma dayanımı da en yüksek EDTA grubunda olup, perasetik asitten anlamlı derecede yüksektir ($p<0,05$); fitik asit ve perasetik asit gruplarında ise benzer bağlanma dayanımı gözlenmiştir ($p>0,05$). GuttaFlow Bioseal'in bağlanma dayanımı, kullanılan şelasyon ajanı çeşidinden etkilenmemiştir ($p>0,05$). Tüm irrigasyon solüsyonu gruplarında, kanal patlarının bağlanma dayanımları yüksekten düşüğe sırasıyla AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal olarak sıralanmıştır ($p<0,001$). Ayrıca, AH Plus ve BioRoot RCS gruplarında baskın olan başarısızlık tipi koheziv iken, GuttaFlow Bioseal grubunda adeziv tip başarısızlık baskın olmuştur.

Kök kanal patı ile kullanılan şelasyon ajanları arasındaki etkileşim, bağlanma dayanımında önemli bir rol oynamaktadır. Şelasyon ajanları, kullanılan kanal patı tipine bağlı olarak farklı bağlanma dayanımı sonuçları göstermiş olsa da kontrol grubuna kıyasla bağlanma dayanımını artırmıştır.

Anahtar kelimeler: İtme bağlanma dayanımı, Kalsiyum silikat içerikli kanal patı, Silikon içerikli kanal patı, Şelasyon ajanı

ABSTRACT

Impact of Different Chelating Agents on The Push-Out Bond Strength of Three Types of Root Canal Sealers

The aim of this study was to evaluate the impact of different chelating agents on the push-out bond strength of three different types of root canal sealer to root dentin.

In the study, 40 single-rooted mandibular premolar teeth were used. Four horizontal sections of 1 ± 0.1 mm thickness were taken from the coronal part of the root of each tooth, and three canal-like cavities of 1 mm in diameter were formed in all root sections. The dentin sections were divided into three experimental groups (17% EDTA, 1% phytic acid, 1% peracetic acid) and one control group (distilled water) according to the chelating agents. After each group was immersed in the relevant solution, the canal-like cavities were divided into three subgroups (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal) according to the root canal sealer to be used ($n=40$). The root canal sealers were placed in these cavities and after one week, the specimens were subjected to a push-out bond strength test. The specimens were also evaluated according to failure types. Data were analysed by two-way ANOVA.

In all root canal sealers, the chelating agents used significantly increased the bond strength compared to the control group. The bond strength of AH Plus was highest in the EDTA group and significantly higher than phytic acid and peracetic acid (respectively $p<0.01$; $p<0.001$); phytic acid also showed higher bond strength than peracetic acid ($p<0.05$). The bond strength of BioRoot RCS was also highest in the EDTA group and significantly higher than peracetic acid ($p<0.05$); similar bond strength was observed in the phytic acid and peracetic acid groups ($p>0.05$). The bond strength of GuttaFlow Bioseal was not affected by the type of chelating agent used ($p>0.05$). In all irrigation solution groups, the bond strengths of the root canal sealers were ranked from high to low as AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal, respectively ($p<0.001$). In addition, the dominant failure type was cohesive in AH Plus and BioRoot RCS groups, while adhesive failure type was dominant in GuttaFlow Bioseal group.

The interaction between the root canal sealer and the chelating agent used plays an important role in the bond strength. Although chelating agents showed different bond strength results depending on the type of root canal sealer used, they increased bond strength compared to the control group.

Keywords: Push-out bond strength, Calcium silicate-based sealer, Silicone-based sealer, Chelating agent

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kök kanal tedavisinin amacı; kök kanal sistemindeki mikroorganizmaların uzaklaştırılması, kanalların şekillendirilmesi ve üç boyutlu olarak sızdırmaz bir şekilde kök kanal dolgusunun sağlanmasıdır (1). Kök kanallarının mekanik şekillendirilmesi sırasında, temizleme ve şekillendirme amacıyla kullanılan döner aletler, dentin yüzeyinde smear tabakası adı verilen bir tabaka oluşmasına yol açar (2). Smear tabakası, organik pulpa dokusu, inorganik debris ve mikroorganizmalar içeren amorf bir yapıdır ve kök kanalının sızdırmazlığını olumsuz etkileyerek tedavi başarısını tehlikeye atabilir (3). Smear tabakası, dentin tübüllerini tıkayan bir tabaka olduğu için dolgu materyalinin dentine penetrasyonunu ve kök kanal duvarına temasını engeller. Bu durum, kanal sızdırmazlığını ve tedavi başarısını olumsuz etkileyebileceğinden bazı araştırmacılar tarafından smear tabakasının uzaklaştırılması gerektiği savunulmaktadır (4–6).

Kök kanal tedavisi sırasında irrigasyon için en yaygın kullanılan solüsyon sodyum hipoklorit (NaOCl) olsa da bu solüsyonun dentinin inorganik bileşenlerini çözemediği ve bu nedenle smear tabakasının oluşumunu önleyemediği bilinmektedir (7). Şelatlayıcı ajanlar, smear tabakasını çözerek ve çok sayıda dentin tübülünü açığa çıkararak (8) kök kanal dolgu materyali ile dentin arasında daha geniş bir temas alanı oluşturarak daha sağlam bir bağlantı sağlayabilir (9). Çoğunlukla %17'lik konsantrasyonda kullanılan etilendiamin tetraasetik asit (EDTA), dentinin inorganik bileşenlerini çözer ve smear tabakasının uzaklaştırılması için NaOCl sonrası kullanılması önerilir (10,11). Ancak NaOCl ve EDTA'nın birlikte kullanımı dentinin erozyonuna ve mikrosertlikte azalmalara sebebiyet vererek kök dentininde olumsuz durumlar yaratabilir (12).

Bu gibi sebeplerle son yıllarda farklı şelasyon ajanlarının kullanımı gündeme gelmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda, smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla, EDTA'ya alternatif olarak fitik asit önerilmektedir (13–15). Çok sayıda negatif yüke sahip olan yapısı nedeniyle, kalsiyum (Ca^{+2}), magnezyum (Mg^{+2}) ve demir (Fe^{+2} , Fe^{+3}) gibi katyonlarda etkili bir şelatlayıcı ajan olarak görev yapmaktadır (13). Diğer bir şelasyon ajanı olan perasetik asidin, smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkili olduğu yapılan in vitro çalışmalarla kanıtlanmıştır (16,17). Son irrigasyon solüsyonu olarak %1 konsantrasyonda perasetik asit kullanılması, *Enterococcus faecalis* ile enfekte edilmiş kök kanallarında EDTA + %2.5 NaOCl'ye benzer antibakteriyel aktiviteye (18) ve %17 EDTA'ya benzer smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğine sahip olduğundan dolayı önerilmiştir (16).

Kalsiyum silikat içerikli kök kanal patları, biyouyumlu olmaları ve biyoaktivite gibi özellikleri nedeniyle son zamanlarda popülerlik kazanmıştır (19). BioRoot RCS, trikalsiyum silikat, zirkonyum oksit vb. içeriğe sahip hidrolik trikalsiyum silikat içerikli bir kök kanal patıdır. Antimikrobiyal etkisi yüksektir ve düşük sitotoksik özelliği bulunmaktadır. Temas ettiği kanal duvarı arayüzeyinde mineralizasyon ve apatit birikimi yoluyla sızdırmazlık sağladığı için popüler hale gelmiştir (20). GuttaFlow Bioseal, güta perkanın özellikleri ile kalsiyum silikatların biyoaktif özelliklerini tek bir formülde birleştirmeye yönelik olarak tanıtılan, biyoseramik silikon içerikli bir kök kanal patıdır. Silikon içerikli kök kanal patları, sıkı dolum sağlama yetenekleri, kök kanal duvarına iyi bir şekilde adaptasyon göstermeleri ve düşük çözünürlük gibi birçok avantaj sunmuştur (21–23).

Kök kanal dolgularının başarısını değerlendirmek için kullanılan çeşitli testler arasında, itme bağlanma dayanımı testi, kanal patının kanal duvarına ve kor materyaline olan bağlantısını değerlendirmede oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Bu test, kök kanal dolgu materyalinin mekanik direncini ve kanal duvarıyla olan uyumunu ölçerek kanal dolgu başarısına dair önemli bilgiler sunar (24).

Literatürde, AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal kök kanal patlarının bağlanma dayanımına, perasetik asit, EDTA gibi şelasyon ajanlarının etkisini değerlendiren sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (25–28). Ayrıca, şelasyon ajanlarından fitik asidin, AH Plus kök kanal patına bağlantısını değerlendiren bir tez çalışması bulunmaktadır (29). Bu bilgiler ışığında, bu in vitro araştırmanın amacı farklı şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit) üç farklı tip kök kanal patının (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal) kök dentinine bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla oluşturulan sıfır hipotezleri şunlardır: (I) farklı tip kök kanal patlarının (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal) kök dentinine bağlanma dayanımları arasında fark bulunmayacaktır; (II) çeşitli şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit) kanal patlarının kök dentinine bağlanma dayanımı üzerinde etkisi olmayacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal Tedavisi

Kök kanal tedavisi, periapikal enfeksiyonlar ve geri dönüşü olmayan pulpa iltihabı gibi patolojik durumları azaltmak veya önlemek amacıyla gerçekleştirilen, bir diş tedavisi prosedürüdür. Bu prosedür, uygun anatomik şekillendirme, temizleme, etkin dezenfeksiyon sağlama ve kök kanallarının doldurulması aşamalarını içerir (30).

Başarılı bir endodontik tedavi için, kontamine kök kanal sisteminin tam ve etkili şekilde debride edilmesi, enfeksiyonun tekrarlamasını önleyecek şekilde şekillendirilmesi ve üç boyutlu olarak boşluk kalmayacak şekilde doldurulması gereklidir. Kök kanal sisteminin uygun olarak doldurulmaması ve mikroorganizmaların etkili bir şekilde uzaklaştırılmaması kanalda veya periradiküler bölgede enfeksiyonun devamına sebebiyet verir ve bu durumlar, kök kanal tedavisinin başarısız olmasındaki iki temel faktördür (31,32).

2.1.1. Kök Kanal Preparasyonu

Kök kanalının şekillendirilmesi, kök kanal tedavisinin temel aşamalarından biri olarak kabul edilmektedir (33,34). Kök kanalındaki bakteriyel biyofilm tabakasının parçalanması, bakterilerin uzaklaştırılması ve biyofilmin bozulup azaltılması için mekanik şekillendirme, tedavinin önemli bir parçasıdır (35).

Hülsmann ve ark.'nın da belirttiği gibi, mekanik şekillendirmenin başlıca hedefleri şunlardır:

- Kök kanalındaki vital ve enfekte dokuyu yok etmek.
- İrrigasyonun ve kanal içi medikamentlerin kök kanal sistemine ulaşabileceği boşluğu oluşturmak.
- Kök kanal tedavisinde apikal foramenin doğal şeklini ve konumunu korumak.
- Kök kanal tedavisinin son aşamasında dolum materyallerinin kolay ve tam olarak yerleştirilmesini sağlamak.
- Kök kanal tedavisinde dentin duvarlarının aşırı inceltilmesinden kaçınmak, dişin uzun süreli sağlamlığını ve fonksiyonunu korumak (36).

Kök kanallarının mekanik şekillendirilmesi, ilk kez McComb ve Smith tarafından tanımlanan (2) ve "smear tabakası" olarak adlandırılan bir tabaka oluşturur, bu tabaka kök kanal duvarlarındaki mikroorganizmaları içerir (37). Smear tabakası, kök kanal dolgusu ve

dentin duvarları arasında sızıntılara ve bakteriyel kontaminasyona yol açabilen gevşek ve yapışkan bir tabakadır. Bu durum, kök kanal tedavisinin başarısını tehdit edebilecek önemli bir sorundur (5,38). Bu nedenle genel görüş bu tabakanın uzaklaştırılması gerektiğidir (4–6). Bu tabaka, kimyasal solüsyonlar, ultrasonikler veya lazer gibi çeşitli yöntemlerle temizlenebilir (8).

Mikro-BT analizleri, kök kanal sisteminin karmaşık anatomisini ve mekanik yöntemlerin, bu karmaşıklığa tam olarak cevap veremediğini göstermektedir. Kanal düzensizlikleri, aksesuar kanallar ve apikal deltalar gibi unsurlar, şekillendirmede kullanılan aletlerin her bölgeye ulaşarak etki etmesini ve tam temizlik yapmasını zorlaştırmaktadır (39,40). Araştırmalar, mekanik şekillendirme yöntemlerinin, kök kanal duvarlarının %40-%50'sine ulaşamadığını ve bu bölgelerin temizlenemediğini göstermiştir (41). Bu alanlarda debrisler, mikroorganizmalar ve onların yıkım ürünleri bulunabilir (42,43). Bu durum kanal dolgu materyalinin sıkı bağlantısını da olumsuz etkileyerek (44,45) periradiküler enfeksiyonun gelişmesine sebebiyet verebilir (46,47).

Kök kanal sisteminin bu zorlu yapısı, yalnızca mekanik şekillendirme ile tedavinin mümkün olmadığının göstergesidir (48,49). Bu aşamada kök kanal sisteminin irrigasyonu, mekanik şekillendirme ile ulaşılamayan alanlarda etkin temizlik ve dezenfeksiyon sağlayarak tedavinin başarısında kritik bir rol oynar (50).

2.1.2. Kök Kanal İrrigasyonu

Kök kanallarının irrigasyonu, endodontik tedavi prosedürlerinin merkezindedir (51) ve fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki önemli amacı vardır. Fiziksel amaç, debrislerin etkili bir şekilde uzaklaştırılması için kök kanal duvarlarıyla yeterli teması sağlamak ve irrigasyon solüsyonunun kök kanalı boyunca akışını temin etmektir. Kimyasal amaç ise biyofilmi parçalamak, bakteriyel endotoksinleri etkisiz hale getirmek ve smear tabakasını uzaklaştırmaktır (52).

Kök kanallarının mekanik şekillendirilmesinin, etkili dezenfeksiyon ve mikroorganizma sayısını azaltan bir irrigasyon solüsyonu uygulaması ile birleştirilmesinin gerekli olduğu kabul görmektedir (53).

Endodontik tedavide kullanılan irrigasyon solüsyonları, aşağıdaki amaçlar doğrultusunda kullanılır:

- Gevşek debrisleri kök kanal yapılarından uzaklaştırmak.
- Kanal preparasyon aletlerinin daha kolay ilerlemesini ve kanalın daha iyi şekillendirilmesini sağlamak amacıyla dentin duvarını kayganlaştırmak.
- Kanal içindeki organik dokuları çözmek.
- Bakterileri öldürmek ve enfeksiyonun önüne geçebilmek için antimikrobiyal etkiler sağlamak (54).

Bu prosedür için farklı bileşim ve konsantrasyona sahip çeşitli solüsyonlar mevcuttur (55); ancak hiçbiri, ideal bir irrigasyon solüsyonu olarak kabul edilmek için gerekli tüm özelliklere sahip değildir (56).

İdeal endodontik irrigasyon solüsyonunun özellikleri (57):

1. Periapikal dokulara zararlı etkileri bulunmamalı.
2. Stabil durumda bulunmalı.
3. Bakteri, mantar üzerinde güçlü etkiler göstermeli.
4. Kullanılan irrigasyon solüsyonunun antimikrobiyal etkisi uzun süreli olmalıdır ve antibakteriyel etkinin tedavi tamamlanana kadar devam etmesi önemlidir.
5. Kullanılan irrigasyon solüsyonu, kan, serum ve doku protein ürünlerinin varlığında da antimikrobiyal etkisini gösterebilmelidir.
6. Smear tabakasını tamamen uzaklaştırabilmelidir.
7. Yüzey gerilim özelliği düşük olmalıdır.
8. Dentin ve dentin tübüllerinde dezenfeksiyonu sağlayabilmelidir.
9. Periapikal dokuların onarımını engellememelidir.
10. Diş yapısı üzerinde renklendirme etkisi olmamalıdır.
11. Antijenik, toksik, kanserojen etkileri olmamalıdır.
12. Dentinin fiziksel özelliklerine olumsuz etkisi bulunmamalıdır.
13. Kanal dolgu materyallerinin sızdırmazlık yeteneği üzerinde olumsuz etkileri bulunmamalıdır.
14. Kullanımı kolay olmalıdır.
15. Uygun fiyatlı olmalıdır.

Kök kanal tedavisinde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Hiçbir irrigasyon solüsyonu tek başına tüm istenen

etkileri sağlayamamaktadır. Bu nedenle, farklı irrigasyon solüsyonları kombine şekilde kullanılarak ideal temizlik ve dezenfeksiyon sağlanmaya çalışılır (11,51,58).

İrrigasyon solüsyonlarının sınıflandırılması genel olarak şu şekildedir (59):

- Alkalın solüsyonlar: Sodyum hipoklorit (NaOCl) ve kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]
- Katyonik biguanidler: Klorheksidin (CHX)
- Şelasyon ajanları ve asitler: Etilendiamin tetraasetik asit (EDTA), sitrik asit, hidroksietiliden difosfonat (HEDP), fitik asit, perasetik asit ve QMix
- Oksitleyici ajanlar: Hidrojen peroksit (H_2O_2), karbamid peroksit, iyodin potasyum iyodit (IKI)
- Tetrasiklin içeren solüsyonlar: Tetraclean ve MTAD
- Elektrokimyasal yöntemlerle aktive edilmiş sular: Oksidatif potansiyel su
- Endogram: Ruddle solüsyonu
- Distile su

2.1.2.1. Sodyum Hipoklorit

Sodyum hipoklorit (NaOCl), %0.5 ila %8.25 arasında değişen konsantrasyonlarda uygulanan, hem antimikrobiyal aktiviteyi hem de pulpa dokusunu çözme yeteneğini içeren, endodontide en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur (11,60).

NaOCl , tıp ve diş hekimliğinde uzun yıllardır kullanılmaktadır ve günümüzde de popülerliğini korumaktadır. Birinci Dünya Savaşı sırasında kimyager Henry Drysdale Dakin ve cerrah Alexis Carrel, %0.5'lik NaOCl solüsyonunu tamponlayarak enfekte yaraların tedavisinde kullanmaya başladılar (61). Edgar D. Coolidge, NaOCl 'in kök kanal irrigasyonu için etkili bir antiseptik olduğunu göstermiş ve endodontide ilk kez NaOCl 'yi kök kanal irriganı olarak kullanmıştır (62).

NaOCl , açık ve hafif yeşilimsi-sarı renkte, baskın bir klor kokusuna sahip sıvı halinde bulunur. Işıkla temas ettiğinde bozulur ve suda çözünür hale gelir (63).

Estrela ve ark. (64), NaOCl 'nin değişken bir dengeye sahip olduğunu belirtmiştir. NaOCl , yağları çözen bir organik çözücü görevi görerek yağ asitlerini ayrıştırır ve sabun adı verilen yağ asidi tuzlarına ve gliserol adı verilen bir alkole dönüştürür. Sabunlaşma reaksiyonu olarak adlandırılan bu durum kalan çözeltinin yüzey gerilimini düşürür. Amino asitler, su ve tuz oluşturarak nötralize edilir (nötralizasyon reaksiyonu). Bu süreçte serbest

kalan hidroksil iyonları, pH'ı düşürür. NaOCl çözeltisinde bulunan hipokloröz asit, organik dokularla etkileşime girmesiyle çözücü nitelik gösterir ve proteinlerin amino gruplarıyla birleşerek kloraminler oluşturur (kloraminasyon reaksiyonu). Kloraminler, hücresel işleyişi bozarak mikrobiyal tesir gösterirler. Hipokloröz asit ve hipoklorit iyonları, amino asitleri yıkararak hidrolize uğratar. Klorin, kuvvetli bir oksidant olarak bakteriyel enzimleri bloke ederek mikrobiyal tesir gösterir ve bakteriyel enzimlerin temel sülfidril (SH) gruplarının geri dönüşsüz bir oksidasyonunu başlatır.

Endodontide kullanılan NaOCl çözeltilerinin konsantrasyonu, uzun yıllardır tartışma konusu olmuştur. Kök kanal sistemi sınırlı bir alana sahip olduğundan, Henry Drysdale Dakin tarafından geliştirilen orijinal %0.5'lik NaOCl solüsyonundan daha yüksek konsantrasyonlarda hipoklorit kullanılmasının gerekliliği savunulmuştur (65). NaOCl konsantrasyonu, doku çözme yeteneğini ve toksisitesini etkileyen önemli bir faktördür. Daha yüksek konsantrasyonlarda daha iyi doku çözme yeteneğine sahip olsa da daha toksiktir (66). Düşük konsantrasyonlarda yüksek hacimlerde kullanıldığında, yüksek konsantrasyon ile aynı yeteneği gösterebilirler (67,68).

NaOCl'nin, kök kanal sistemlerindeki etkinliğini artırmak için diğer bir yaklaşım, düşük konsantrasyonlu NaOCl çözeltilerinin yüksek sıcaklıkta kullanılmasıdır. Bu yöntem, doku çözme kapasitesini anlık olarak artırır. Yapılan bir araştırmada 45°C'deki %1 konsantrasyona sahip NaOCl'nin pulpayı çözme kapasitesinin, 20°C'deki %5.25'lik bir çözelti ile eşit olduğu gösterilmiştir (69).

İn vivo koşullarda organik maddelerin varlığı, NaOCl'nin antimikrobiyal özelliğini zayıflatır. Enflamatuar eksüda, doku kalıntıları ve mikrobiyal topluluk gibi organik maddeler NaOCl ile reaksiyona girerek tükenmesine ve etkinliğinin zayıflamasına neden olur. Bu nedenle, sürekli irrigasyon yaparak solüsyonu tazelemek ve süre, NaOCl'nin antimikrobiyal etkinliğini korumak için önemli faktörlerdir. Sürekli irrigasyon, NaOCl'nin etkisini sınırlayan organik maddelerin uzaklaştırılmasına yardımcı olurken, süre ise NaOCl'nin antimikrobiyal gücünü sergileyebilmesi için gereklidir (51).

Önçağ ve ark.'nın yaptığı çalışmada, kök kanallarına %5.25 NaOCl uygulandıktan 48 saat sonra *Enterococcus faecalis* bakterisinin büyümesinin, 5 dakika sonra alınan örneklerde tespit edilenden daha düşük olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, NaOCl'nin kanal içindeki girintili çıkıntılı alanlarda bulunan bakteri hücrelerini yok etmesi için belirli bir süre boyunca kanalda kalması gerektiği fikrini desteklemektedir (70).

Birincil endodontik tedaviden sonra iyileşme sürecini ve postoperatif ağrıyı iki farklı NaOCl konsantrasyonunun etkisi açısından değerlendiren bir çalışmada, yüksek konsantrasyondaki (%5) solüsyonda daha büyük bir iyileşme gözlenmiştir. Ancak istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç bulunamamıştır. Postoperatif ağrı, düşük konsantrasyondaki (%1) solüsyonda daha düşük görülse de bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (71).

Hipoklorit preparatları, geniş spektrumlu antiseptikler olarak bilinir. Bu, birçok farklı bakteri, virüs ve mantar türü üzerinde tesirlerinin bulunduğu anlamına gelir. Sadece mikropları öldürmekle yetinmez, aynı şekilde sporları ve virüsleri de savunmasız hale getirir. Nekrotik dokularda, yani canlılığını kaybetmiş dokularda, canlı dokulardan çok daha fazla doku çözüme kabiliyetine sahiptirler (72). Ayrıca, NaOCl çözeltileri uygun fiyata sahiptir. Eczanelerde ve marketlerde kolayca bulunabilir. Doğru ve uygun şekilde muhafaza edildiğinde uzun süre kullanılabilir (73).

NaOCl, vital pulpa tedavilerinde de faydalıdır. Biyofilmin temizlenmesine, kavitenin dezenfeksiyonuna ve kanamayı durdurmaya yardımcı olur (74). Ballal ve ark.'nın (75,76) araştırmaları, NaOCl uygulamasının, çürükle açığa çıkan pulpanın direkt pulpa kuafajı tedavisinden sonra vital kalma süresini uzattığını, işlem sonrası görülen rahatsızlığı ve başarısızlıkla ilişkili ağrı görülme riskini azalttığını göstermiştir.

NaOCl, kuvvetli oksidasyon özelliğinden dolayı, özellikle rejeneratif endodontik tedavi prosedürlerinde periapikal doku ve kök hücreler için sitotoksiktir (77); ancak bu etki kullanılan NaOCl'nin konsantrasyonuna bağlıdır (78,79). Rejeneratif tedavilerin başarısını artırmak için, kök hücrelerin canlılığını korumak amaçlandığından, NaOCl'nin daha düşük konsantrasyonlarının kullanılması tavsiye edilmektedir (80).

NaOCl'nin bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Hoş olmayan tadı, nispeten toksik olması ve smear tabakasını tam olarak uzaklaştıramaması gibi özellikleri nedeniyle eleştirilmektedir (66,81). NaOCl'nin canlı dokular üzerinde toksik sonuçları vardır ve hemoliz, cildin hasara uğraması ve doku ölümü gibi durumlara sebebiyet verebilir. NaOCl ile yapılan irrigasyonda yaşanabilecek diğer önemli hususlar; temas ettiği çevrenin (göz, kıyafet vb.) zarar görmesi, apikal dokuların ötesine enjeksiyonu ve hastanın alerjik tepkiler göstermesidir (82).

Organik dokuları çözen NaOCl uygulamasından sonra inorganik yapıları uzaklaştırmak için kullanılan en yaygın demineralize edici ajan EDTA'dır (83). Fakat NaOCl

ve EDTA arasındaki kimyasal etkileşim, klorun kullanılabilirliğini düşürerek NaOCl'nin doku çözme yeteneğini ve/veya antimikrobiyal yönünü zayıflatır (84,85).

NaOCl'nin dentinde yarattığı en önemli problemlerden biri, yüksek konsantrasyonda ve uzun süreli kullanımı sonucunda, dentinin içeriğinde bulunan kollajeni parçalayarak dentinin mekanik özelliklerini değiştirmesi (56) ve restorasyonun bağlantısını ve başarısını zayıflatmasıdır (86,87). Kemomekanik preparasyondan sonra EDTA ile yapılan irrigasyonu takiben tekrardan NaOCl ile yapılan kısa süreli irrigasyon da dentinin elastikiyetini ve dayanıklılığını kötü etkiler ve bu durum erozyonla sonuçlanır (51).

2.1.2.2. Şelasyon Ajanları

2.1.2.2.1. EDTA

EDTA, etilendiamin tetraasetik asidin kısaltmasıdır ve kimyasal olarak formülü $[CH_2N(CH_2COOH)_2]_2$ olan bir poliamino karboksilik asittir (57).

1951 yılında, EDTA'nın diş sert dokuları üzerindeki demineralize edici etkisini inceleyen ilk çalışmalar yayınlandı. Bu çalışmalarda Hahn ile Reygadas ve Screebny ile Nikiforuk EDTA'nın diş minesi ve dentini çözebildiğini göstermişlerdir (88,89).

Şelasyon ajanları ilk defa 1957 senesinde Nygaard-Østby tarafından kanal tedavisinde uygulanmaya başladı ve Nygaard-Østby, %15 EDTA solüsyonunun (pH 7.3) kullanılmasını tavsiye etti (90).

NaOCl, smear tabakasındaki organik dokuyu çözebilirken, inorganik dokuyu çözemediği için NaOCl'nin ardından ek bir dekalsifiye edici ajan kullanılması gereklidir ve klinik uygulamalarda en yaygın tercih edilen dekalsifiye edici ajan EDTA'dır (91,92).

Disodyum EDTA, kayganlaştırıcı özelliği bulunan ve smear tabakasının mineralize kısmını şelatlayarak uzaklaştıran, endodontide en yaygın kullanılan solüsyonlardandır. Kanal genişletme, smear tabakası temizliği ve dolgu materyallerinin daha iyi bağlantısı için dentin duvarlarında kullanılır (6,93).

EDTA, dört karboksilat ve iki amin grubu aracılığıyla metallerle bağlanır ve özellikle Mangan (Mn), Bakır (Cu), Demir (Fe) ve Kobalt (Co) ile güçlü kompleksler oluşturur (94). EDTA, dentindeki Ca^{+2} iyonlarıyla reaksiyona girer ve Ca^{+2} şelatları oluşturur. EDTA'nın 5 dakikada 20-30 µm derinliğe kadar dentini dekalsifiye ettiği bildirilmiştir (95).

EDTA kullanılarak smear tabakasının uzaklaştırılması, dentin geçirgenliğini artırırken (96), kalıcı kök kanal dolgusu ile kanal duvarı dentini arasındaki bağlantıyı güçlendirip mikrosızıntıları da azaltmaktadır (97,98).

EDTA, belli ölçüde antibakteriyel etkiye sahip olsa da bu etkinin sınırlı olduğunu belirtmek önemlidir (99). Kotula ve Bordacova'ya göre EDTA'nın antibakteriyel özelliğinin derecesi, konsantrasyon ve pH gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (100). EDTA, antimikrobiyal etkisi düşük olmasına rağmen, bakteriyel biyofilm matrisini bozabilir (101,102).

Yoshida ve ark. (103), tek köklü enfekte dişlerde %15 EDTA solüsyonunun ultrasonik aktivasyonu ile birlikte kök kanal irrigasyonunda etkinliğini değerlendirmişlerdir. Her diş iki seansta tedavi edilmiş ve seanslar arasında herhangi bir antibakteriyel ilaç kullanılmamıştır. %15'lik EDTA solüsyonu ile irrigasyon yapılan kanalların %72.1'inde bakteri tespit edilmezken, salin solüsyonu ile irrigasyon yapılan kanalların ise yalnızca %35'inde bakteri tespit edilmemiştir. Bu çalışma, %15 EDTA solüsyonunun kök kanal irrigasyonunda salin solüsyonuna kıyasla daha etkili olduğunu ve EDTA solüsyonunun ultrasonik aktivasyon ile birlikte kullanıldığında, bakteri temizliğinde daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Buna rağmen, Arias-Moliz ve ark. (104) tarafından yapılan bir araştırmada, *Enterococcus faecalis* bakterisine karşı fosforik asit, sitrik asit ve EDTA'nın bakterisidal etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, *Enterococcus faecalis* biyofilmlerini farklı şelatörlere maruz bırakarak bakteriyel üremeyi ölçmüşlerdir. Elde edilen bulgulara göre, fosforik asit ve sitrik asit *Enterococcus faecalis*'e karşı bakterisidal etkiye sahipken, 60 dakikalık maruziyete rağmen EDTA solüsyonu bakteri üzerinde öldürücü bir etki göstermemiştir.

Calt ve Serper tarafından yapılan çalışmada, %17 konsantrasyona sahip EDTA'nın smear tabakası ve dentin yapısı üzerindeki etkisi 1 ve 10 dakikalık uygulamalar ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 1 dakikalık EDTA irrigasyonunun smear tabakasını etkin bir şekilde temizlediğini gösterirken, 10 dakikalık EDTA uygulamasının aşırı peritübüler ve intertübüler dentin erozyonuna neden olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, endodontik tedavi sırasında EDTA ile irrigasyonun 1 dakikadan fazla uzatılmamasını önermişlerdir (105).

Saito ve ark. (106), döner aletlerle kanal şekillendirme sonrası %17 EDTA'nın smear tabakası üzerindeki etkilerini taramalı elektron mikroskobu (TEM) kullanarak

araştırmışlardır. Deney grupları 1 dakika, 30 saniye ve 15 saniye süreyle %17 EDTA irrigasyonu şeklinde oluşturulmuştur. Sonuçlar, 1 dakika EDTA ile irrigasyon grubunun 30 saniye ve 15 saniyelik gruplara kıyasla smear tabakasını anlamlı ölçüde daha fazla temizlediğini göstermiştir.

Şen ve ark. (107), döner aletlerle şekillendirilmiş kök kanal duvarlarında smear tabakasının temizlenmesi ve farklı EDTA konsantrasyonlarının aşındırma etkisini inceleyen bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, deney grupları %15, %10, %5 ve %1 EDTA konsantrasyonlarına ayrılmış ve tüm örnekler TEM ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, smear tabakası temizliğinde farklı EDTA konsantrasyonları arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. %15, %10 ve %5'lik EDTA solüsyonları kök kanal duvarlarında benzer aşınma paternleri oluştururken, %1'lik EDTA sınırlı aşınmaya neden olmuştur.

De-Deus ve ark. (108), EDTA, EDTAC ve sitrik asidin dentin mikrosertliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bulgulara göre, EDTA 3 dakika sonra dentin mikrosertliğinde diğer solüsyonlara kıyasla belirgin azalmaya neden olurken, 5 dakika sonra EDTA ve EDTAC arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Sitrik asit ise mikrosertlikte en az azalmaya neden olan solüsyon olmuştur.

Rejeneratif endodontide, irrigasyon ile kök kanalına büyüme faktörlerinin salınımını inceleyen bir çalışmada (109), EDTA'nın önemli bir büyüme faktörü olan TGF- β 1'i serbest bırakma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Rejeneratif endodontik tedavilerde (RET) son irrigasyon olarak EDTA ve salinin apikal papilla kaynaklı kök hücrelerin yapışması, çoğalması, göçü ve farklılaşması üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmada (110), EDTA ile tedavi edilen gruplarda çoğalan ve göç eden hücrelerin sayısının salin grubuna göre anlamlı derecede yüksek olduğu, ancak hücre farklılaşmasının etkilenmediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, EDTA'nın kök kanal tedavisinde rejeneratif potansiyele sahip olabileceğini düşündürmektedir.

EDTA ve NaOCl birlikte kullanıldığında eroziv etkiler sebebiyle dentin yapısını zayıflatabilir (111) ve ortamdaki aktif serbest klorun tükenmesine yol açarak NaOCl'nin dezenfekte edici etkisini azaltabilir (92). EDTA'nın NaOCl varlığındaki eroziv etkisini inceleyen başka bir çalışmada (112), iki farklı irrigasyon protokolü uygulanmıştır. Protokol 1, 10 dakika %5.25 NaOCl ve 2 dakika %17 EDTA; protokol 2 ise 60 dakika %5.25 NaOCl ve 2 dakika %17 EDTA'yı içermektedir. NaOCl'ye 60 dakika maruziyet, 10 dakikalık

maruziyete kıyasla fleksural dayanımda anlamlı bir azalmaya yol açmıştır. Dentindeki eroziv etkiler de sadece protokol 2'de gözlemlenmiştir.

Segura ve ark. (113) tarafından yapılan bir çalışmada, düşük konsantrasyondaki EDTA solüsyonunun apikal ekstrüzyon sırasında kalsiyum kaybına yol açabileceği belirlenmiştir. Bu durumun, makrofaj fonksiyonlarını ve enflamatuar reaksiyonları da etkileyebileceği ve EDTA'nın, VIP'in (Vazoaktif İntestinal Peptid) makrofajlara bağlanmasını engelleyebileceği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, EDTA'nın endodontik tedavide enflamatuar etkiyi azaltma potansiyeline sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Malheiros ve ark. (114), kanal irrigasyonunda kullanılan asitlerin hücrelere olan etkilerini incelemek için bir in vitro çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, %17 EDTA solüsyonu %0.1 ve %0.5 oranlarında seyreltilmiş ve farklı konsantrasyonlarda (%10, %15 ve %25) sitrik asit içeren solüsyonlar fibroblast hücrelerine uygulanmıştır. Elde edilen veriler, seyreltilmiş sitrik asit çözeltilerinin hücre canlılığı ve çoğalması üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığını, fakat yüksek konsantrasyondaki EDTA'nın hücrelere zarar verdiğini göstermiştir.

2.1.2.2.2. Fitik Asit (IP6)

Günümüzde Myo-inositol 1,2,3,4,5,6 hexakis fosfat olarak isimlendirilen bu bileşik (115), bitkilerin tohumlarında, tahıllarda yaygın olarak bulunur (116). Fitik asit, esas olarak kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) gibi monovalent ve divalent katyonlarla tuz oluşturarak varlığını sürdürür. Aynı zamanda katyonları bağlayarak şelatlayıcı ajan görevi görür ve birçok tohumda katyonların ve fosforun depolanmasında önemli rol oynar (117).

Fitik asit, insan kullanımı için güvenli olduğu kanıtlanmış birçok tıbbi uygulaması olan doğal olarak meydana gelen bir bileşiktir. Özgün yapısı ve belirgin özellikleri sayesinde diş hekimliği uygulamalarında geniş bir kullanım yelpazesine sahip olabilir. Fitik asidin diş çürüğünü önlemedeki potansiyeli ilk kez 1960 yılında McClure tarafından sıçanlarda yapılan bir çalışmayla ortaya konmuştur (118). Bu etki, fitik asidin diş minesindeki minerallerin korunmasına yardımcı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu karyostatik özelliği, gargaralar, simanlar (119) ve birçok dental ürünün geliştirilmesine olanak sağlamıştır (120).

Fitik asidin, karyojenik bakteriler üzerindeki antimikrobiyal etkisi netlik kazanmamıştır. Fakat bazı çalışmalar, besinlerden alınan fitik asidin oral streptokoklar ve

laktobasiller üzerinde bir hassasiyet yaratabileceğini göstermektedir (121). Nassar ve ark. (122), fitik asidin farklı bakteri ve mantar türlerine karşı antimikrobiyal etkinliğini araştırmışlardır. Sonuçlar, fitik asidin yaygın olarak kullanılan antibakteriyel ajanlar olan EDTA ve NaOCl ile benzer etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Hatta *Enterococcus faecalis* isimli bakteri üzerinde, diğer ajanlardan daha hızlı bir şekilde öldürücü etki sergilemiştir. %0.5, %1 ve %2 fitik asit ile 5 dakikalık temas süresinden sonra *Enterococcus faecalis* üzerinde bakterisidal etki elde edilmiştir. %5 fitik asidin ise bakterisidal olması için 30 saniyelik daha kısa bir temas süresi yeterli olmuştur. Bu bulgular ışığında, fitik asidin şelasyon mekanizmasının, çalışmada gözlemlenen geniş spektrumlu antibakteriyel ve antibiyofilm aktivitesinde rol oynadığı düşünülmüştür.

Nassar ve ark. (13), endodontide EDTA'ya alternatif bir şelatör olabileceğini düşünerek fitik asit ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Şelasyon ajanı olarak %17 EDTA 1 dakika süreyle uygulanırken, fitik asit 1 dakika veya 30 saniye sürelerle uygulanmıştır. Her gruptaki örnekler TEM'de incelenerek smear tabakası üzerindeki etki düzeyi değerlendirilmiştir. Fitik asit, EDTA'ya kıyasla dentin ve kök kanalından daha fazla kalsiyum ve fosfor şelasyonunun yanı sıra daha az morfolojik değişikliğe neden olmuştur. Ayrıca bu çalışmada, fitik asit ve EDTA'nın osteoblast benzeri hücreler üzerindeki alkalen fosfataz (ALP) aktivitesine etkileri araştırılmıştır. EDTA, ALP aktivitesini önemli ölçüde azaltmıştır. 1 dakikalık fitik asit uygulaması, kontrol grubuna benzer ALP aktivitesi gösterirken, 30 saniyelik uygulamada hafif bir artış görülmüştür. Bu bulgular, fitik asidin endodontide EDTA'ya alternatif bir şelatör olarak kullanılma potansiyelini desteklemektedir.

Kanal tedavisinde kullanılan EDTA'ya alternatif olabileceği düşünülen fitik asidin ve EDTA'nın dentin üzerindeki eroziv etkilerini karşılaştıran bir çalışmada (123), %1 fitik asidin kök dentinindeki eroziv etkisi 1, 3 ve 5 dakikalık farklı zaman aralıklarında değerlendirilmiştir. Araştırmada, EDTA'nın fitik aside kıyasla dentin üzerinde önemli ölçüde daha fazla aşındırıcı etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. 5 dakikalık uygulamada EDTA'nın neden olduğu aşınma seviyesi, fitik asidin 3 ve 5 dakikalık uygulamalarında neden olduğundan üç kat daha fazladır. Ayrıca, fitik asit 1 dakikalık uygulamada herhangi bir aşınmaya neden olmazken, 3 ve 5 dakikalık uygulamalarda orta düzeyde aşınma gözlemlenmiştir.

Nassar ve ark. (124), %1 fitik asit çözeltisinin 60, 30 ve 15 saniye gibi farklı uygulama sürelerinin dentin bağlantı gücü, smear tabakasının uzaklaştırılması ve pulpa

hücreleri üzerindeki etkisini fosforik asit ile karşılaştırmalı bir şekilde incelemişlerdir. Fitik asit kullanımı, fosforik aside kıyasla dentin bağlantı gücünü önemli ölçüde artırmış ve pulpa hücreleri üzerinde daha az olumsuz etki göstermiştir. Her iki solüsyon da smear tabakasını etkin bir şekilde uzaklaştırmış olsa da fitik asidin, fosforik aside kıyasla dentin tübüllerini daha fazla genişlettiği ve daha fazla smear tabakasının uzaklaştırılmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Puvvada ve ark. (125), fitik asidin şelat oluşturma ve antibakteriyel yeteneklerini hem tek başına hem de diğer irrigasyon solüsyonlarıyla kombinasyon halinde incelemişlerdir. Sonuçlar, fitik asit ve NaOCl birlikte kullanıldığında, her birinin tek başına kullanımından daha etkin bir antibakteriyel etki ve şelat oluşturma yeteneği sunduğunu göstermiştir.

Fitik asidin rejeneratif endodontik prosedürlerde kullanımıyla ilgili bir çalışmada, umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Bu çalışmada, fitik asit ve EDTA'nın rejeneratif endodontik tedavide önemli rol oynayan TGF- β proteininin salınımı ve hücre göçü üzerinde benzer şekilde olumlu bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (126).

Kanal dolgu materyalinin kanal duvarlarına tam uyum sağlanmasında çeşitli faktörler önem taşır. Bu faktörlerden biri, kanal duvarlarının pürüzlülük seviyesidir (127). Diğer bir önemli faktör ise, ara seanslarda kullanılan kanal içi medikamentlerin etkili bir şekilde uzaklaştırılmasıdır (128). Fitik asit, dentin pürüzlülüğünü önemli ölçüde artıran bir şelatör ajandır (129). Bu nedenle, kanal dolgu materyalinin kanal duvarlarına daha iyi bağlantısını sağlayabilir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda fitik asidin, kalsiyum hidroksidi kanal duvarlarından etkili bir şekilde uzaklaştırmada da başarılı olduğu görülmüştür (130,131).

2.1.2.2.3. Perasetik Asit

Ticari olarak temin edilebilen perasetik asit; asetik asit, hidrojen peroksit, perasetik asit ve su bileşiklerinin bir araya gelmesiyle oluşan dördü bir karışımdır. Güçlü oksidan özelliğine sahip olan perasetik asit, düşük konsantrasyonlarda bile bakteriler, virüsler, mantarlar ve protozoalar da dahil olmak üzere geniş bir mikroorganizma yelpazesini etkisiz hale getirebilen etkili bir antimikrobiyal ajandır (132).

Perasetik asit, piyasaya sunulduğu günden bu yana, çeşitli ekipman ve cihazların yüksek seviyede dezenfeksiyonu ve sterilizasyonunda sık olarak tercih edilmektedir. %1 perasetik asit, diş hekimliğinde çeşitli kullanımlara sahip etkili bir antiseptiktir. Güta perka

konlarının hızlı dezenfeksiyonu (133), kök kanal irrigasyonu (134) ve akrilik rezin dezenfeksiyonunda (135) kullanılabilir.

Bu dezenfektanın etki mekanizması, yüksek oksitleyici güce sahip hidrojen peroksit benzeri oksidanların, hücresel bileşenlerin kükürt (S-S) ve sülfidril (-SH) bağlarını okside etmesine dayanır. Bu oksidasyon sonucu, hücre zarı hasar görür ve sitoplazmik membran üzerinde ozmotik denge gibi hayati öneme sahip fizyolojik fonksiyonlar bozulur (135).

Perasetik asidin parçalanması sonucu açığa çıkan asetik asit, Ca^{+2} iyonları ile etkileşime girerek birleşikler oluşturur. Bu birleşiklerin, smear tabakasının zayıflatılmasında rol oynadığı bilinmektedir (16).

Hastaların klinikte koltukta geçirdikleri süreyi kısaltmak ve optimize etmek hem hasta konforu hem de klinik verimlilik açısından önemlidir. Bu hedefe ulaşmak için farklı yöntemler kullanılabilir. Bunlardan biri de biyomekanik hazırlık aşamasında kullanılan kompleks bir ajanın seçilmesidir. Bu ajan, karıştırıldığında veya NaOCl ile temas ettiğinde performansını olumsuz etkilememelidir. Aynı zamanda, güçlü bir antimikrobiyal etkiye sahip ve son durulama işlemi için de uygun olabilecek bir kompleks ajan kullanılabilir. Bu amaçla, perasetik asit umut verici bir madde olarak öne çıkmıştır (28). Fakat organik maddeleri çözme yeteneğine sahip NaOCl'nin aksine, perasetik asit yumuşak dokular üzerinde çözünürlük özelliğine sahip değildir. Bu nedenle, biyomekanik hazırlıklar sırasında ana irrigan olarak kullanıldığında, perasetik asidin bazı kısıtlamaları olabilir (136).

3 dakikalık temas süresinde, %1'lik perasetik asidin *Enterococcus faecalis* popülasyonunu %86 oranında düşürdüğü ve 10 dakika sonunda bakteriyi tamamen yok ettiği tespit edilmiştir. 30 saniyede *Enterococcus faecalis*'i yok edebilen %2.5 NaOCl ve %2 klorheksidine kıyasla daha yavaş etki göstermesine rağmen %1 perasetik asidin bu mikroorganizmaya karşı etkin olduğu söylenebilir (137).

Gözlemlere göre, %2.25 konsantrasyona sahip perasetik asit solüsyonu, smear tabakasını uzaklaştırma ve kök kanallarını dezenfekte etmede, yüksek konsantrasyonlu EDTA (%17) solüsyonu ile benzer etkinlik göstermektedir (17). Ancak, %2.25'lik perasetik asit solüsyonu, ağız içi yumuşak dokularla temas halindeyken doku tahrişine neden olabilmektedir (138). Bu nedenle, daha düşük konsantrasyonlu perasetik asit solüsyonlarının kullanımı tercih edilebilir. Düşük konsantrasyonlu perasetik asit solüsyonunun (%0.5), smear tabakasını temizlemede, 1 dakika süreyle temas halinde iken, yüksek konsantrasyonlu

perasetik asit (%2.25) ve EDTA (%17) solüsyonlarına benzer bir etkinlik gösterdiği gözlemlenmiştir (16).

%1'lik perasetik asidin, insan fibroblastları üzerindeki sitotoksikite etkisi araştırılmış ve %2.5 NaOCl ve %17 EDTA'dan daha az sitotoksik etkiye sahip olduğu görülmüştür (16).

Perasetik asit içerikli dezenfektanlar, organik maddeden etkilenmeden faaliyet gösterme avantajı ile birçok kimyasal dezenfektandan ayrılır (135). Fakat, bu ürünlerin en önemli dezavantajı, güçlü ve rahatsız edici kokularıdır (134).

2.1.2.2.4. Sitrik Asit

Metal elementleriyle etkileşimde bulunarak iyonik karakterde olmayan bağlar oluşturma özelliği, sitrik asidi etkin bir şelatlama bileşiği haline getirir (139). Uygulamalarda tercih edilen sitrik asit konsantrasyonları, %1 seviyesindeki düşük oranlardan, %50'ye varan yüksek değerlere kadar geniş bir aralıkta değişiklik göstermektedir (140). Düşük konsantrasyonda (%1) kullanılan sitrik asit, dentin kalıntıları ve doku artıklarının uzaklaştırılmasında EDTA kadar başarılı sonuçlar vermektedir (141).

Sitrik asit irrigasyonunun, dentin dokusunun mikrosertliğinde azalmaya sebebiyet verebileceği bilinmektedir. Özellikle, sitrik asidin NaOCl uygulamasından önce kullanılması, kalsiyum kaybı ve diş dokusunda erozyona yol açabilir (142).

Yamaguchi ve ark.'nın yaptığı çalışmada (139), sitrik asit çözeltileri kök kanalı bakterileri üzerinde test edildiğinde antibakteriyel etki göstermiştir. Arias-Moliz ve ark. (104), sitrik asidin *Enterococcus faecalis* üzerindeki minimum bakterisidal konsantrasyonunu belirlemiş ve bunun %20 olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, EDTA'nın 1 saatin sonunda da herhangi bir bakterisidal etki göstermediği belirtilmiştir.

Amaral ve ark. (143), %15 sitrik asit ve %17 EDTA'nın makrofajlar üzerindeki sitotoksitesini incelemişlerdir. Kısa dönemde (0, 6, 12, 24 saat), sitrik asidin makrofaj kültürleri üzerinde sitotoksik etkileri gözlemlenmiştir. Orta dönemde (1, 3, 5, 7 gün) ise sitrik asit, EDTA'ya kıyasla daha az toksik bulunmuştur. Sitrik asidin 1 ile 7 gün arasındaki etkileri, EDTA'nın hücre canlılığını azaltma düzeyine göre daha sınırlı olmuştur.

Machado ve ark. (144), EDTA ve sitrik asidin kök kanallarındaki smear tabakasının uzaklaştırılması ve AH Plus kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hem EDTA hem de sitrik asit, smear tabakasını özellikle kök kanalının koronal ve orta üçlüsünde etkili bir şekilde uzaklaştırmıştır. Ayrıca, EDTA ve sitrik

asit grupları, AH Plus kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonunu, diğer kontrol gruplarına (distile su ve NaOCl) göre daha fazla artırmıştır.

Donnermeyer ve ark. (25), şelasyon ajanlarının çeşitli kanal patlarının bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bulgulara göre, AH Plus kanal patının bağlanma dayanımı, sitrik asit irrigasyonundan olumlu şekilde etkilenmiştir. Ancak, EDTA'ya kıyasla sitrik asidin AH Plus üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

2.1.2.2.5. Maleik Asit

Organik bir dikarboksilik asit olan maleik asit, smear tabakasını elimine etme özelliğine sahiptir. Yüksek konsantrasyonlarda intertübüler dentin üzerinde istenmeyen etkiler oluşturduğundan, %7'lik konsantrasyon düzeyinde kullanılır (145).

Ballal ve ark. (146), kök kanalının koronal, orta ve apikal kısımlarındaki smear tabakasının uzaklaştırılmasında %17 EDTA ve %7 maleik asidin etkinliklerini karşılaştırmıştır. Araştırma, apikal bölgede %7 maleik asit ve %2.5 NaOCl kombinasyonunun, %17 EDTA ve %2.5 NaOCl'ye göre daha etkili bir smear tabakası temizleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Orta ve koronal bölgelerde ise EDTA ve maleik asit arasında anlamlı bir fark görülmemiş ve her iki solüsyon da eşit derecede etkili bulunmuştur. Ayrıca Ballal ve ark. (147), maleik asidin canlı hücreler üzerindeki toksik etkisinin, EDTA'ya göre daha az olduğunu tespit etmiştir.

%7 konsantrasyona sahip maleik asit solüsyonunun, bakteriyel biyofilm tabakasının neredeyse tamamını (%99) elimine edebildiği gözlemlenmiştir (148). *Enterococcus faecalis* kaynaklı biyofilm oluşumlarının eliminasyonunda da maleik asit oldukça etkilidir. %1'in altındaki konsantrasyonlarda bile, 30-120 saniye arasındaki temas sürelerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir (149).

Rifaat ve ark. (150), %17 EDTA, %7 maleik asit ve %37 fosforik asidin EndoSeal MTA ve AH Plus kanal patlarının bağlanma dayanımı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. AH Plus grubunda en yüksek bağlanma dayanımı %7 maleik asit ile gözlenirken, EndoSeal MTA patında ise en yüksek bağlanma dayanımı %17 EDTA ile elde edilmiştir.

Anju ve ark. (151), NeoMTA Plus kanal patının kök kanal dentininin koronal, orta ve apikal bölgelerine olan itme bağlanma dayanımına %17 EDTA, %9 etidronik asit ve %7

maleik asidin etkisini inceleyip karşılaştırmışlardır. Araştırma bulguları, maleik asit ve EDTA'nın diğer solüsyonlara kıyasla daha etkili olduğunu ve bu iki şelasyon ajanı arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığını göstermiştir.

2.1.2.2.6. Etidronik Asit (HEBP)

Kemik rezorpsiyonunu baskılayan 1-Hidroksietiliden-1,1-bifosfonik asit (HEBP) olarak da bilinen etidronik asit, kemik metabolizması bozukluklarının tedavisinde kullanılan önemli bir ajandır. Bu bileşiğin dentinin içeriğini minimal düzeyde etkilemesi, onu standart şelatörlere kıyasla daha güvenli bir seçenek haline getirmektedir (152).

Endodontik irrigasyon amacıyla %9 ve %18 oranlarında tercih edilen HEBP, metalleri bağlama, protein yapılarını bozma ve mikroorganizmaları inhibe etme kabiliyetine sahiptir (153,154).

Zayıf bir şelasyon ajanı olan HEBP, NaOCl'nin dezenfeksiyon ve doku çözücü özelliklerini bozmadan birlikte kullanım imkanı sunar (11). HEBP'nin şelasyon gücü EDTA'ya göre daha düşük olduğundan, final irrigasyonunda tek başına kullanımı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle irrigasyon etkinliğini artırmak için NaOCl ile kombine edilmesi gereklidir. Bu kombinasyon, solüsyonun NaOCl-hipokloröz asit dengesini değiştirerek, hipokloröz aside göre üstün doku çözme yeteneği ve daha az sitotoksik etki göstererek NaOCl'nin etkinliğini destekler (155).

HEBP şelasyon ajanı ile irrigasyon, dentin sertliğini azaltmakla birlikte bu azalma EDTA ve sitrik asit içeren yöntemlerle karşılaştırıldığında daha minimal düzeydedir (156).

Hepşenoğlu ve ark. (157), NaOCl, klorheksidin, EDTA ve HEBP'nin fiber postların kök kanal dentinine bağlanma dayanımı ve kök dentin mikrosertliği üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. NaOCl ve HEBP-NaOCl kombinasyonları, bağlanma dayanımı açısından diğer gruplardan daha yüksek değerler göstermiştir. Ancak, NaOCl ve HEBP-NaOCl'nin dentin mikrosertliğini azalttığı, EDTA'nın ise mikrosertliği azaltmasına rağmen itme bağlanma dayanımında fark yaratmadığı belirlenmiştir.

Neelakantan ve ark. (158), HEBP ile yapılan sürekli şelasyon protokolünün kök kanal dentinindeki bağlanma dayanımı üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada, NaOCl ile HEBP'nin birlikte kullanımı ve ardından EDTA veya HEBP'nin son irrigasyon olarak uygulanmasının, epoksi rezin içerikli kanal dolgu materyallerinin dentine bağlanma dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir. HEBP, NaOCl ile karıştırılarak kullanıldığında smear

tabakasını etkin şekilde kaldırırken dentin yapısına zarar vermemiştir. Sonuçlar, HEBP ve NaOCl kombinasyonunun, geleneksel NaOCl ve EDTA protokolüne kıyasla özellikle koronal bölgede daha yüksek bağlanma dayanımı sağladığını ortaya koymuştur.

2.1.2.2.7. Kitosan

Polisakkarit yapısında doğal bir bileşik olan kitosan, deniz kabuklularının ve karides gibi canlıların dış iskeletlerinde bulunan kitinin deasetilasyon işlemi sonucunda elde edilmektedir (159). Yapılan çalışmalarda, kitosanın şelatlama potansiyeli sayesinde smear tabakasının inorganik bileşenlerini uzaklaştırabildiği kanıtlanmıştır (160,161). Kitosanın sunduğu bir diğer avantaj ise mikroorganizmalara karşı gösterdiği antimikrobiyal aktivitedir. Hem şelasyon hem de antimikrobiyal özelliklerinin birleşimi, bu ajanı kök kanal tedavisinin final irrigasyon protokolünde önemli bir alternatif haline getirmektedir (162).

Kitosan solüsyonunun %0.2'lik konsantrasyonda 3 dakikalık uygulama süresi, dentin dokusunda minimal erozyon oluştururken smear tabakasının uzaklaştırılmasında yeterli etkinlik göstermektedir (161).

Araştırmalar, %2 konsantrasyonda kitosan jeli ve %0.1 klorheksidin kombinasyonunun, *Candida albicans* üzerinde güçlü fungisidal aktivite sergilediğini ortaya koymuştur (163). Ayrıca bu formülasyonun, kalsiyum hidroksit preparatlarına ilave edildiğinde, kanal içi medikament olarak sürdürülebilir kalsiyum iyon salınımını desteklediği belirlenmiştir (164).

Hidrofilik özellik gösteren kitosan polimerinin dentin dokusuna bağlantısı, tübüler yapıya etkili bir şekilde infiltre olmasını mümkün kılmaktadır. Moleküler yapısında bulunan çok sayıdaki hidroksil ve amino grubu, kitosana pozitif yük karakteri kazandırarak, dentin yapısındaki kalsiyum iyonlarıyla kimyasal bağlanma potansiyeli oluşturmaktadır (165).

Agarwal ve ark. (26), üç endodontik şelatlayıcı ajanın (%17 EDTA, %1 perasetik asit, %0.2 kitosan), BioRoot RCS ile güta perkanın itme bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Araştırmanın bulguları, %0.2'lik kitosan uygulamasının diğer şelasyon ajanlarına kıyasla daha yüksek itme bağlanma dayanımı değerleri ortaya koyduğunu göstermiştir. Kitosanın üstün performansı, dentin yüzeyine nüfus etme kabiliyeti ve dentin tübüllerine etkili penetrasyonu ile açıklanmaktadır. Bu özellikler, BioRoot RCS ve

güta perka kombinasyonunun, dentin dokusuna daha yüksek bağlantı sağlamasına katkıda bulunmuştur.

2.1.3. Kök Kanal Dolumu

Endodontik tedavinin uzun vadeli başarısının temel kriteri, kök kanal dolumunun kusursuz ve kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilmesidir (166). Mekanik temizlik ve irrigasyon, bakteri popülasyonunu önemli ölçüde azaltmasına rağmen, canlı mikroorganizmalar dentin duvarlarında ve dentinal tübüllerde bulunmaya devam edebilirler. Bu nedenle, antibakteriyel özelliğe sahip bir kök kanal dolgu materyalinin kullanımı, kalan enfeksiyonu kontrol altına almak ve bakteri kolonizasyonunu engellemek için kritik önem taşır (167).

Grossman, ideal bir kök kanal dolgu materyalinin aşağıdaki özellikleri taşıması gerektiğini belirtmektedir:

1. Dolgu materyali uygun çalışma süresine sahip olmalı ve basit bir şekilde uygulanabilmelidir.
2. Kök kanalının morfolojisine adapte olarak hem lateral hem de apikal kısımda kanalı iyi kapatabilmelidir.
3. Boyutlarında herhangi bir farklılık olmadan kalabilmelidir.
4. Nemden etkilenmeyecek şekilde olmalıdır.
5. Bakteriyostatik olmalıdır.
6. Radyopak olmalıdır.
7. Diş yapısında renk değişimine yol açmamalıdır.
8. Periapikal dokularda tahrişe yol açmamalı ve fonksiyonlarını bozmamalıdır.
9. Steril olmalı veya sterilizasyona elverişli olmalıdır.
10. Gerekli görüldüğünde kanaldan uzaklaştırılması zor olmamalıdır (168).

Kök kanal dolumunda kullanılan standart materyal sistemi, akışkan özellikte bir kök kanal patı ve merkezi çekirdek (kor) materyalinin birleşiminden oluşmaktadır. Kök kanal dolumunda kullanılan merkezi çekirdek materyal, akışkan kanal patı materyaline uygulanan mekanik basınç aracılığıyla, kanal patının kök kanal sisteminin tüm anatomik girinti ve

çıkıntılarını doldurmasını ve dentin duvarına bağlantısını sağlayarak dolumun tamamlanmasını temin eder (169).

Endodontik dolum işleminde, merkezi çekirdek materyali olarak günümüzde en yaygın kullanılan materyal güta perkadır. Güta perka, doğal hali olan alfa fazı ve sentetik olarak üretilmiş hali olan beta fazı olmak üzere iki farklı formda mevcuttur (170). Kauçuğun bir türevi olmasına karşın, kauçuktan daha sert, kırılmaya yatkın ve esneklik yeteneği zayıf bir materyaldir (169). Güta perka konlar, markaya ve üretim yöntemine göre değişiklik gösterebilse de genel olarak %20 güta perka, %65 çinko oksit, %10 radyopaklaştırıcı metal sülfatları ve %5 plastikleştirici rezin içeriğine sahiptir (171).

Endodontik kanal patları, kök kanal dolum işleminde güta perka gibi dolgu materyallerinin kısıtlılıklarını aşmak için geliştirilmiş tamamlayıcı maddelerdir. Kanal sisteminin düzensizliklerini ve güta perka ile dentin duvarı arasındaki mikroskobik boşlukları doldurarak, endodontik tedavinin başarısında kritik rol oynarlar (172). Çekirdek ve ek dolgu materyallerinin, kanal içerisine yerleştirilmesini kolaylaştırmak ve kanal duvarlarına bağlantısını sağlamak amacıyla kayganlaştırıcı bir işlev görür. Bu sayede dolum işlemi, daha pürüzsüz ve etkin bir şekilde gerçekleştirilir. Antibakteriyel özelliklere sahip patlar kullanıldığında ise kanal içerisinde kalan mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesine katkıda bulunarak, tekrarlayan enfeksiyon riskinin azaltılmasına yardımcı olurlar (173).

Grossman (174), ideal kök kanal patının özelliklerini şu şekilde sıralamıştır:

1. Tam kapama elde ederek sızdırmazlığı sağlamalı
2. Diş yapısında renk değişimi yaratmamalı
3. Kontrollü bir çalışma süresine sahip olmalı
4. Sertleşme esnasında boyutlarında önemli bir değişiklik olmamalı
5. Dokusal sıvı absorpsiyonuna dirençli olmalı
6. Antimikrobiyal olmalı
7. Dokulara zarar verici irritan etkileri olmamalı
8. Sertleştikten sonra kanal duvarı ile uygun bağlantı sağlayabilmeli
9. Gerektiğinde, kolay ve etkili bir şekilde uzaklaştırılabilmeli

Kök kanal patları, ana kimyasal bileşenlerine göre çinko oksit öjenol, kalsiyum hidroksit, cam iyonomer, silikon, rezin ve biyoseramik içerikli olarak sınıflandırılır (19).

2.1.3.1. Çinko Oksit Öjenol İçerikli Kök Kanal Patları

Öjenol içerikli kök kanal patları uzun kullanım geçmişine sahiptir. Bu materyallerin likit kısmında öjenol, toz bileşeninde ise akışkanlığını geliştirmek için ince partiküllere sahip çinko oksit bulunduğu gözlemlenmiştir (175). Karanfil yağının temel bileşeni olan öjenol, damıtma işlemiyle saflaştırılarak izole edilir. Bu bileşik, çinko oksit ile kimyasal reaksiyona girerek kristal yapıda çinko öjenolat bileşiğini oluşturarak patın sertleşmesi gerçekleşir (176).

Çinko oksit öjenol içerikli kanal patlarında, sertleşmiş materyalden serbestleşen öjenol kaynaklı antibakteriyel etkiler bulunmaktadır (177). Analjezik ve antienflamatuar etkileri bulunan çinko oksit öjenol içerikli kök kanal patlarının şekillendirilmesi basittir. Sertleşme sürecinde oluşan hacim değişikliği minimal seviyededir (178).

Çinko oksit öjenol içerikli kök kanal patlarının, kanal tedavisinde kullanımı bazı dezavantajlara sahiptir. Bu patlar, kök dentini ile kimyasal bağ oluşturmadiğundan sızıntılara neden olabilir. Ayrıca, kompozit dolgu materyalleri ile birlikte kullanıldıklarında, kompozitin polimerizasyonunu engelleyerek mekanik zayıflığa yol açabilirler (179). Başka bir araştırmada, kök kanalında çinko oksit öjenol kalıntılarının bulunması, AH Plus gibi rezin içerikli kök kanal patının dentine bağlantı gücünü olumsuz etkilediği gösterilmiştir (180).

Çinko oksit öjenol içerikli kanal patının dentine bağlanma gücü, epoksi rezin içerikli kanal patlarına kıyasla daha düşüktür (181). Buna rağmen, Khalil ve ark., çinko oksit öjenol içeren Zical kök kanal patını, silikon içerikli GuttaFlow Bioseal ile karşılaştırarak bu iki malzemenin bağlanma dayanımı ve çözünürlük özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmanın sonuçları, Zical'in GuttaFlow Bioseal'e göre kök kanalının her üç bölümünde de anlamlı şekilde daha yüksek itme bağlanma dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. Öte yandan, çözünürlük açısından, iki malzemenin benzer özellikler sergilediği tespit edilmiştir (182).

Toksik ve mutajenik etkiler göstermesi (183), su ile temas ettiğinde yapısal bozulmalara uğraması, mekanik olarak zayıf kalması ve dişte renk değişimlerine yol açması gibi olumsuz özellikleri nedeniyle çinko oksit öjenol içerikli kök kanal patları artık tercih edilmemektedir (176).

2.1.3.2. Kalsiyum Hidroksit İçerikli Kök Kanal Patları

Kalsiyum hidroksit içerikli kanal patları, kalsiyum hidroksitin sunduğu biyouyumlu ve biyoaktif özelliklerden faydalanmayı amaçlamaktadır (184). Kalsiyum hidroksit, serbest

hidroksil iyonlarının varlığına ve yüksek pH değerine bağlı olarak antibakteriyel özellik gösterir (185). Yüksek alkali ortam ($\text{pH} \geq 12.5$) sağlayarak antibakteriyel etki gösteren kalsiyum hidroksit içeren materyallerde, sertleşme ile birlikte pH düşüşü gözlenerek bu özellik sınırlı kalır (186). Sertleşme sürecinde, su emilimi gerçekleştiği için hacimsel artış gösterirler (187).

Kalsiyum hidroksit içerikli kanal patının, etkisini gösterebilmesi için iyonlaşması esastır. Bu iyonlaşma sırasında, kanal patında belirli ölçülerde çözünmeler görülürken bu durum, sızdırmazlık kabiliyetini olumsuz etkiler (184,188). Bununla birlikte, sızdırmazlık sağlama kapasiteleri, çinko oksit öjenol içerikli kanal patlarına benzer bulunmuştur (189).

Apeksin ötesindeki dokulara ulaşan kalsiyum hidroksit içerikli patlar, hızlı rezorpsiyona rağmen enflamatuar reaksiyonları tetikleyebilir (190). Öte yandan, kalsiyum hidroksit içerikli dolgu materyalleri, diğer kanal dolgu materyallerine kıyasla daha az hücre toksisitesi göstermektedir (191).

Kalsiyum hidroksit içerikli kök kanal patlarının, dentin ve gütä perka ile bağlanma kapasitesi düşüktür (97). Apeksit Plus adlı kalsiyum hidroksit içerikli kanal dolgu patının dentine bağlanma dayanımını inceleyen bir çalışmada, Apeksit Plus'ın bağlanma dayanımı, MTA Fillapex ve AH Plus ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Apeksit Plus'ın bağlanma dayanımı açısından MTA Fillapex'e yakın, ancak AH Plus'a göre daha düşük bağlanma dayanımı değerleri gösterdiğini ortaya koymuştur (192).

2.1.3.3. Cam İyonomer İçerikli Kök Kanal Patları

Cam iyonomer içerikli patlar, 1960'ların ortalarında geliştirilmiştir. Silikat cam tozu ve poliakrilik asit gibi bileşenlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda, organik monomerler ve inorganik iyonların kimyasal bağlar kurarak, iyonomer adı verilen bir polimerik yapı oluşturmasını sağlar (193).

Materyalin en önemli özelliği, mine ve dentinin hidroksiapatit içeriğine uzun süreli bağlantı sağlayabilmesidir (194). Antimikrobiyal etki ve florür salınımı gibi önemli avantajlara sahip olan cam iyonomer patların, dentine güçlü bağlantısı nedeniyle kanal tedavisinin yenilenmesi gerektiğinde uzaklaştırılması zor olabilir (195). Sitotoksik etkileri bulunsada sertleştikten sonra bu negatif etkinin uzun vadede azaldığı görülmüştür (196).

Patın yerleştirilmesi ve sertleşmesi için kısa bir zaman aralığı vardır. Nemli ortam, cam iyonomer patların sertleşme sürecini bozabilir ve bu da mikro sızıntılara yol açabilir

(197). Cam iyonomer içerikli kanal patları, gütta perka ile zayıf bir bağlantı kurar ve gütta perka-pat arayüzündeki bağlantı sorunları nedeniyle düşük sızdırmazlık eğilimi gösterir (198).

Cam iyonomer içerikli patların dentine bağlanması hem kimyasal hem de mekanik bağlanma mekanizmalarının bir kombinasyonu ile gerçekleşir. Kimyasal bağlanma, poliakrilat iyonlarının fosfat iyonları ile yer değiştirmesiyle sağlanırken, mekanik bağlanma, patın pürüzlü yapısının dentin yüzeyindeki girinti ve çıkıntılara tutunmasıyla oluşur (199).

Dört farklı kök kanal patı- Kerr (çinko oksit öjenol içerikli), Sealapex (kalsiyum hidroksit içerikli), AH 26 (rezin içerikli) ve Ketac-Endo (cam iyonomer içerikli)- dentin ve gütta perka ile bağlanma dayanımları açısından karşılaştırılmıştır. Ketac-Endo, dentine bağlanma dayanımı bakımından orta seviyede bir performans sergileyerek, Kerr ve Sealapex'ten önemli ölçüde daha yüksek, ancak AH 26'dan daha düşük bir bağlanma değeri göstermiştir. Test edilen kanal patları arasında Ketac-Endo, gütta perka ile en düşük bağlanma dayanımı ile sonuçlanmıştır (200).

2.1.3.4. Silikon İçerikli Kök Kanal Patları

1972 yılında Davis ve ark., kök kanallarına önceden hazırlanmış enjekte edilebilen silikon içerikli kök kanal patını ilk kez kullanmışlardır (201). Bu pat özel bir polimetilvinilsiloksandan elde edilmiştir. Polidimetilsiloksan, vinil gruplarının aktivasyonu ve hidroksil grupları ile reaksiyonu sonucunda, sağlam bir polimer zinciri oluşturarak sertleşir (202).

Silikon içerikli kanal patları, dentin ile kimyasal bir bağ kurmak yerine mekanik bir bağlantı ile sızdırmazlık sağlar. Düşük yüzey gerilimleri ve yüksek akışkanlıkları sayesinde, bu patlar karmaşık kök kanal sistemlerinin üç boyutlu dolgusunda oldukça etkilidir (203). Bu tip kanal patları, kanalın tüm boşluklarını kaplayarak homojen bir dolgu materyali oluşturur. Akışkan ve elastik yapıları sayesinde, mekanik stresi dağıtarak kanalın uzun süreli stabilitesini sağlar (204).

Silikon içerikli kök kanal patları, yüksek sızdırmazlık ve düşük toksisite sergilerken antibakteriyel özellik göstermemektedir (205). Yüksek biyouyuma (206) sahip olan bu materyallerin kanal tekrarı işlemleri sırasında kanaldan uzaklaştırılmaları kolaydır (207). Sertleşme esnasında boyut değişikliği ve su emilimi düşük seviyelerde kalır (208).

Silikon içerikli kanal patı olan RoekoSeal'in dentin dokusuna ve güta perkaya olan bağlanma dayanımı ve bağlantı başarısızlığı, diğer yaygın kullanılan kanal patları ile (AH Plus, MTA Fillapex, Apexit, Smart Paste Bio, Procosol) karşılaştırılarak incelenmiştir. RoekoSeal koronal, orta ve apikal olmak üzere tüm kesitlerde en düşük bağlanma dayanımı sergilemiştir. Alan emisyonlu silah- taramalı elektron mikroskobu (FEG-TEM) analizi, RoekoSeal kanal patının hem dentine hem de güta perkaya zayıf şekilde bağlandığını göstermiştir (209).

Lee Endofill, RoekoSeal, GuttaFlow, GuttaFlow 2 ve GuttaFlow Bioseal silikon içerikli kök kanal dolgu patlarına örnek olarak verilebilir (203).

2.1.3.5. Rezin İçerikli Kök Kanal Patları

Öjenol içermeyen rezin içerikli kanal patları, kök kanal dentini ile yüksek bağlantı sağladıkları için kök kanal tedavilerinde sıkça tercih edilirler. Rezin içerikli kanal patları, metakrilat rezinler ve epoksi rezinler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (203).

2.1.3.5.1. Epoksi Rezin İçerikli Kök Kanal Patları

Epoksi rezin içerikli kök kanal patları, 1950 yılında Schroeder tarafından AH 26 adı altında endodontide ilk kez kullanılmıştır (203). AH 26, dentinle yüksek bağlanma değerlerine sahip, hacim değişikliği göstermeyen, yüksek akışkanlıkta ve kolayca uygulanabilen bir kanal dolgu patıdır (210). AH 26, periapikal dokularda sitotoksisteye yol açan formaldehit salınımı nedeniyle daha sonra AH Plus olarak geliştirilmiştir (211).

Epoksi rezin içerikli kanal patları, sağladığı etkili sızdırmazlık (212) ve dentine güçlü bağlanma (213) zellikleri ile öne çıkmaktadır. Alerjik reaksiyonlara neden olma riskine rağmen (214), genellikle biyouyumlu olarak kabul edilir. Bu materyallerin karıştırılmasıyla oluşan sitotoksik etki, zamanla azalır (215).

Epoksi rezinler, kimyasal bağlantıyı dentin kollajenindeki amino gruplarla kovalent bağlar kurarak sağlar (216). Mekanik bağlantı ise materyalin dentin tblne akışıyla sağlanır (217). Rezin içerikli kanal patları, dentin tübüllerine maksimum derinlikte nüfuz ederek, pat ile dentin arasındaki birleşim yüzeyini genişletir ve sızdırmazlık zellikliğini geliştirir. Bu durum, kök dentininin kırılma direncini artırır (218).

Bu materyaller, yüksek bağlanma kapasitesi ve doku uyumu gösterse de kök kanalının apikal bölgesinde bağlanma potansiyeli düşüktür. Endodontik tedavinin tekrarlanması gerektiğinde, patın kanaldan uzaklaştırılması zordur. Ayrıca, alerjik ve

mutajenik etkilerinin yanı sıra sertleşme sırasında büzülme göstermeleri de dezavantajları arasındadır (219,220).

2.1.3.5.2. Metakrilat Rezin İçerikli Kök Kanal Patları

Günümüze kadar, dört nesil metakrilat rezin içerikli kök kanal patı piyasaya sürülmüştür. 1970'lerde kullanılan ilk nesil metakrilat içerikli kanal patı Hydron'dur. Oldukça hidrofilik olan Hydron, nem varlığında genleşme göstermiş, mikrosızıntılara ve enflamasyona yol açmıştır. Uygulama süresi kısa olan bu materyal, klinik performansındaki eksiklikleri nedeniyle günümüzde kanal tedavisinde kullanılmamaktadır (221).

İkinci nesil metakrilat rezin içerikli pat olan EndoREZ, hidrofilik yapıya sahiptir ve ilave asit ya da dentin yüzey işlemlerine ihtiyaç duymaz. Hem ışık kaynağı ile hem de kimyasal olarak sertleşir. EndoREZ, kök kanal duvarlarına iyi bağlanmasına rağmen güta perkaya bağlanamaz. Bu sorunu çözmek için rezin kaplı güta perkalar geliştirilmiştir. Patın hidrofilik özelliği, hafif nemli kök kanal sisteminde dentin tübüllerine daha iyi penetrasyon sağlayarak, hibrit tabaka oluşumunu destekler ve bu sayede karmaşık anatomilere sahip kanalların daha etkili bir şekilde doldurulmasına olanak tanır (222). Ancak, aşırı nemlilik materyalin sızdırmazlık yeteneğini olumsuz etkileyebilir (223).

Üçüncü nesil metakrilat rezin içerikli bir pat olan Epiphany, Resilon kor materyali ile beraber kanal içinde monoblok bir yapı oluşturabilmek için geliştirilmiştir. Bu sayede sızdırmaz ve sıkı bir dolum hedeflenmiştir (224).

Dördüncü nesil metakrilat içerikli kanal patı olan MetaSEAL, asit ve primer'i bir arada bulunduran bir sistemdir. Dentin ve güta perka ile hibrit tabaka oluşturarak bağlanan bu patın, diğer patlara kıyasla daha yüksek bağlantı değerleri sergileyeceği düşünülmüştür. Ancak, AH Plus ile yapılan karşılaştırmada, dolgu tekniklerinden bağımsız olarak MetaSEAL'in daha düşük bağlantı değerleri gösterdiği tespit edilmiştir (225).

Metakrilat rezin içerikli kanal patlarının dentine bağlanması, mineral kaybına uğramış dentin kollajen matrisine nüfuz eden rezinlerin mikromekanik tutunması ile sağlanır (226). Metakrilat monomerlerin küçük moleküler yapıları ve hidrofilik özellikleri, kök kanal dentinine kolayca nüfuz etmelerini sağlar (227).

Metakrilat rezin içerikli kanal patları, bazı avantajlar sunsa da apikal sızdırmazlık ve dentine bağlanma açısından, epoksi rezin içerikli kanal patlarına göre daha zayıf kalmaktadır (228). Kanal patlarını uzaklaştırmak için kullanılan çözücülere direnç göstermesi nedeniyle

kanaldan uzaklaştırılması zordur. Bu materyallerin periapikal dokuları aşarak yayılması, sitotoksik etkilere ve sızdırmazlık sorunlarına yol açabilir (229).

2.1.3.6. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patları

Biyoseramik içerikli kanal patları, geleneksel patlara kıyasla periapikal dokularla daha iyi biyolojik uyum ve daha etkili apikal sızdırmazlık sağlamalarıyla öne çıkmaktadır (173). Bu kanal patları, periapikal dokularla etkileşime girerek kimyasal reaksiyonlar başlatır, kalsiyum iyonları salar ve çevrede alkalınlaşmaya neden olur. Bu süreç, dolgu materyalinin antibakteriyel özellikler kazanmasını (230) ve diş yapısıyla daha iyi bir uyum sağlamasını destekler (231). Nemli ortamda sertleşen bu materyaller, apikal dokulara taşmaları durumunda bile çevre dokulara zarar vermez (215).

Biyoseramik materyaller, kimyasal açıdan oldukça stabil özelliklere sahip olup, sertleşme sürecinde herhangi bir büzülme eğilimi göstermemektedir. Kısa süreli klinik araştırmalar, biyoseramik içerikli kanal patlarının tek kon dolgu tekniği ile uygulandığında başarılı olduğunu göstermiştir (232,233). Biyoseramiklerin ana bileşeni olan kalsiyum fosfat, diş minerallerine olan benzerliği ile kök dentini ve kanal patı arasında sağlam bir bağ kurar (234). Dentin yapısıyla oluşan güçlü bağlantı, kanal tekrarı ve post hazırlığı gibi işlemleri zorlaştırarak klinik uygulamalarda sınırlamalar yaratmaktadır (235).

Biyoseramik içerikli patlar 2 grupta incelenebilir:

- a) Kalsiyum-silikat-fosfat içeren biyoseramikler
- b) Mineral trioksit agregat içeren biyoseramikler

2.1.3.6.1. Kalsiyum-Silikat-Fosfat İçeren Biyoseramikler

Bu patlar, nem ile temas ettiğinde sertleşen hidrofilik materyallerdir. Bu süreçte, kalsiyum fosfat ile kalsiyum hidroksit arasındaki reaksiyon sonucunda ortaya çıkan su, kalsiyum silikat hidrat adında bir madde meydana getirir (215). Oluşan bu yeni madde, dentin duvarı ile kanal patı arasında güçlü bir bağ oluşturan hidroksiapatit kristallerinin oluşumunu destekler (236).

Literatürde, kalsiyum silikat içerikli kanal patlarının itme bağlanma dayanımının, rezin içerikli patlarla benzer olduğu bildiren çalışmalar (237,238) bulunmakla birlikte, bu dayanımın daha düşük olduğunu belirten araştırmalar da bulunmaktadır (239,240).

Kalsiyum silikat içerikli patların su ile teması hem biyolojik uyumlarını hem de fiziksel özelliklerini etkiler. Su ile etkileşim sonucu meydana gelen çözünme ve su emilimi, dolgunun hacimsel kararlılığını bozarak sızdırmazlık sorunlarına neden olabilir (241). Ayrıca, tekrarlayan endodontik tedavilerde, kanal içindeki patın tamamen temizlenmesi ve uzaklaştırılması zorlayıcı olabilir (242).

Topçuoğlu ve ark. yaptıkları çalışmada, kalsiyum silikat içerikli kanal patları ile doldurulan köklerin kırılma direncinin, mineral trioksit agregat içerikli kanal patları ile doldurulan köklere kıyasla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir (243).

Özcan ve ark., kalsiyum silikat içerikli kök kanal patlarının, fiber postların itme bağlanma dayanımına etkisini incelemiştir. Kalsiyum silikat (iRoot SP), rezin (AH Plus Jet), çinko oksit öjenol (Endofill) içerikli kanal patları ve gütta perka ile yapılan bu çalışmada, kalsiyum silikat ve rezin içerikli patların, fiber postlara benzer düzeyde güçlü bir bağlanma sağladığı, çinko oksit öjenol içerikli patın ise bu bağlanmayı önemli ölçüde zayıflattığı sonucuna varılmıştır (244).

2.1.3.6.2. Mineral Trioksit Agregat İçeren Biyoseramikler

Torabinejad tarafından geliştirilen Mineral Trioxide Aggregate (MTA), dokularla uyum sağlayabilen yapısı ve yüksek sızdırmazlık özelliği sayesinde, pulpa kuafajı, rejeneratif tedaviler, perforasyon tamiri ve kök kanal patı gibi yaygın kullanım alanlarıyla, sıkça tercih edilen bir materyaldir (245,246).

MTA, dişin dentin ve sementine karşı güçlü bağlantıyla iyi bir sızdırmazlık sunar. Yüksek biyouyumluluğu sayesinde, periodontal ligament hücrelerinin büyümesini ve doku yenilenmesini teşvik ederek doğal iyileşme sürecini hızlandırır (247). Yüksek pH seviyesi ile *Candida albicans* ve *Enterococcus faecalis* gibi patojen mikroorganizmalara karşı belirgin bir antimikrobiyal etki göstermektedir (248).

MTA içerikli kanal patlarının kök kanal dentinine olan bağlanma kuvveti, rezin içerikli kanal patlarına oldukça yakındır. Assmann ve ark., MTA içerikli kanal patları olan Endo-CPM ve MTA Fillapex ile rezin içerikli AH Plus'ın dentine bağlanma dayanımını incelemiştir. Endo-CPM kanal patı en yüksek bağlanma kuvvetini gösterirken, MTA Fillapex ve AH Plus benzer bağlanma dayanım değerleri göstermiştir (249).

Bu materyal, birçok olumlu özelliğe sahip olmasına rağmen, kullanım süresi sınırlıdır ve istenilen şekilde yönlendirilmesi zordur. Tamamen sertleşmesi için uzun bir süreye ihtiyaç

duyulur. Ayrıca, MTA'yı kanaldan tamamen temizleyebilecek bilinen bir çözücü bulunmamaktadır, bu nedenle kanal tekrarı işlemleri sırasında MTA'nın tamamen uzaklaştırılması güçtür (250).

2.1.3.7. Çalışmada Kullanılan Kök Kanal Patları

2.1.3.7.1. AH Plus

Epoksi rezin içerikli kanal patı olan AH Plus, Pat A ve Pat B olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Pat A (epoksi patı) bisfenol-a epoksi rezin, bisfenol-f epoksi rezin, kalsiyum tungstat, zirkonyum oksit, silika, demir oksit pigmentleri içerir. Pat B (amin patı) ise dibenzildiamin, aminoadamantan, trisiklodekan-diamin, kalsiyum tungstat, zirkonyum oksit, silika, silikon yağı barındırır (251).

AH Plus kanal patı, AH 26'nın renk değişimi, formaldehit salınımı ve yavaş sertleşme gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Formülünde formaldehit bulunmaz, renk değişimine neden olmaz ve sertleşme süresi daha kısadır (178).

Çift pat içeren bu sistem her iki kanal patından 1:1 oranında kullanılarak hazırlanır. Çalışma süresi 23 °C ortamda yaklaşık olarak 4 saattir (252) ve 8 saatlik bir sertleşme süresi bulunmaktadır (253).

AH Plus, zamanla şeklini ve boyutunu koruyan, kök kanalında çözünerek zayıflama riski düşük ve apikal sızdırmazlığı güçlü bir dolgu materyalidir (254). AH Plus'ın sitotoksikite özelliği konusunda, literatürde kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bazı araştırmalar, bu materyalin sitotoksik olmadığını belirtirken (255,256), bazı araştırmalar ise, yeni karıştırıldığında başlangıçta sitotoksik bir etki gösterdiğini, ancak sertleşme süreciyle birlikte bu etkinin kabul edilebilir seviyelere düştüğünü ileri sürmektedir (257,258). AH Plus, yeterli akışkanlık özelliği sayesinde kök kanalındaki düzensiz alanların ideal şekilde doldurulmasına olanak tanır (259) ve dentin kollajenindeki amino gruplarıyla kimyasal reaksiyona girerek güçlü bir bağ oluşturur (260).

Altın standart olarak kabul edilen birçok özelliğe sahip olmasına rağmen, AH Plus'ın epoksi rezin içermesi, biyouyumluluk açısından önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır (230).

Bazı çalışmalarda (261,262), yeni karıştırılmış AH Plus'ın *Enterococcus faecalis*'e karşı etkili olduğu, ancak uzun süre bekletilen örneklerde sertleşme süreciyle ilişkili olarak antibakteriyel etkisinin kaybolduğu gözlenmiştir. Başka bir çalışmada (263) ise, AH Plus'ın

30 gün sonra bile belirli bir düzeyde antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu ve bu etkinin zamanla azaldığı görülmüştür.

Kinley Dem ve ark., üç farklı kanal patının (AH Plus, GuttaFlow 2, GuttaFlow Bioseal), dentine olan itme bağlanma dayanımını karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, AH Plus grubunda, GuttaFlow 2 ve GuttaFlow Bioseal gruplarına kıyasla itme bağlanma dayanımında anlamlı bir artış görülmüştür. Ayrıca, GuttaFlow Bioseal grubunda da GuttaFlow 2 grubuna kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı değerleri tespit edilmiştir (264).

Donnermeyer ve ark., kalsiyum silikat içerikli kanal patlarının (TotalFill BC Sealer, Endo CPM Sealer, BioRoot RCS) yer değiştirme direncini, epoksi rezin içerikli kanal patı (AH Plus) ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar, AH Plus'ın kalsiyum silikat içerikli tüm kanal patlarından önemli ölçüde daha yüksek yer değiştirme direncine sahip olduğunu göstermiştir (24).

Sağşen ve ark., soğuk lateral kondensasyon yöntemi ile uygulanan üç farklı kanal patının (AH Plus, iRoot SP ve MTA Fillapex) kök kanalına bağlanma dayanımını karşılaştırmıştır. Çalışmada koronal, orta ve apikal olmak üzere üç farklı kök bölgesi incelenmiştir. Sonuçlar, iRoot SP ve AH Plus'ın orta ve apikal bölgelerde MTA Fillapex'ten anlamlı derecede daha yüksek bağlanma dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. Koronal bölgede ise gruplar arasında fark bulunmamıştır (265).

Carvalho ve ark.'nın çalışmasında %17 EDTA, %2.25 perasetik asit ve %10 sitrik asidin, iki farklı kalsiyum silikat içerikli kanal dolgu patı (TotalFill BC Sealer ve MTA Fillapex) ve rezin içerikli kanal dolgu patının (AH Plus) dentin dokusuna bağlanma dayanımı üzerindeki etkisi, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı şelasyon ajanlarının kullanımı, kanal patlarının dentin dokusuna bağlanma dayanımını etkilememiş, ancak rezin içerikli AH Plus, kalsiyum silikat içerikli kanal patlarına göre daha yüksek bağlanma dayanımı göstermiştir (266).

2.1.3.7.2. BioRoot RCS

Son yıllarda, farklı endodontik uygulamalar için, kimyasal-fiziksel özellikleri ve uyumlu biyolojik davranışları nedeniyle çeşitli hidrolik kalsiyum silikat materyaller geliştirilmiştir (267).

BioRoot RCS, trikalsiyum silikat ve zirkonyum oksit gibi mineral esaslı bileşenler içeren, yeni geliştirilmiş hidrolik bir kök kanal patıdır. Sürdürülebilir kalsiyum iyon salınımı ve yüksek alkalinitesi ile güçlü antibakteriyel etki göstererek ve hücre toksisitesini minimuma indirgeyerek doku yenilenmesini teşvik eder. Suyla kolayca etkileşime giren yapısıyla, kanal duvarı arayüzünde mineralizasyon ve apatit birikimiyle mineral tıkaçlar oluşturur ve sızdırmazlık ve dayanıklılığı artırır (20). Hamdan ve ark. tarafından yapılan bir in vitro çalışmada, BioRoot RCS'nin apikal sızdırmazlık performansı, MTA ile yapılan apikal tıkaç tekniği ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntem de az miktarda sızdırma göstermesine rağmen, BioRoot ile yapılan kök kanal dolumları, MTA ile yapılan apikal tıkaç yöntemine kıyasla daha iyi bir sızdırmazlık sağlamıştır (268).

BioRoot RCS'nin insan periodontal ligament hücreleri üzerindeki etkileri, çinko oksit içerikli Pulp Canal Sealer ile karşılaştırılmıştır. BioRoot RCS, Pulp Canal Sealer'a göre daha az toksik etki göstermiş ve anjiojenik ile osteojenik büyüme faktörlerinin salgılanmasını artırarak doku yenilenmesini hızlandırmıştır (269).

BioRoot RCS'nin kimyasal yapısı yüksek sıcaklıklara maruz kalsa da değişime uğramazken; ısı uygulamasıyla birlikte film kalınlığı artmakta, pH değeri düşmekte ve çözünürlüğü azalmaktadır (270).

Farklı irrigasyon solüsyonları kullanılarak yapılan bir çalışmada, BioRoot RCS'nin AH Plus'a kıyasla kök dentinine daha yüksek bağlantı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, BioRoot RCS'nin rezin içermeyen yapısı ve dentin tübüllerine nüfuz edip kimyasal bağlar oluşturabilen biyoseramik bileşeni ile ilişkilendirilmiştir (271). Alfawaz ve ark. tarafından yürütülen bir araştırma (272), BioRoot RCS'nin bağlanma dayanımını farklı kanal patları ile karşılaştırarak değerlendirmiştir. %5.25 NaOCl, %17 EDTA ve Smear Clear ile işlem görmüş kök dentin örneklerinde, BioRoot RCS'nin EndoSequence BC Sealer, MTA Fillapex, AH Plus ve Pulp Canal Sealer'dan önemli ölçüde daha yüksek bağlantı gösterdiği belirlenmiştir.

Farklı biyoseramik kanal dolgu materyallerinin (AH Plus, EndoSequence BC Sealer, ProRoot Endo Sealer, BioRoot RCS), tek başına veya güta perka kon ile dentine bağlanma dayanımına etkisi araştırılmıştır. BioRoot RCS, her iki yöntemde de diğer kanal patlarına kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı değerleri sunmuştur (273).

Yapılan bir çalışmada, farklı NaOCl konsantrasyonlarının BioRoot RCS ve AH Plus'ın dentine bağlanma dayanımına etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, yüksek NaOCl

konsantrasyonunun dentin yüzeyindeki proteinleri azaltarak, AH Plus gibi epoksi rezin içerikli kanal patının mekanik bağlantısını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Buna karşın, kalsiyum silikat içerikli BioRoot RCS kök kanal patı, kimyasal bağlantı sağlayarak NaOCl'den daha az etkilenmiş ve daha yüksek bağlanma dayanımı değerleri sunmuştur (274).

2.1.3.7.3. GuttaFlow Bioseal

GuttaFlow Bioseal, güta perkanın avantajlarını ve kalsiyum silikatın sunduğu yenilikçi özellikleri içeren hibrit yapıya sahip silikon içerikli bir kök kanal patıdır (23). Biyoaktif cam seramiği, güta perka tozu, zirkonyum dioksit, platin katalizörü, gümüş parçacıkları ve polidimetilsiloksandan oluşan karmaşık bir bileşime sahiptir (275).

GuttaFlow Bioseal patında bulunan kalsiyum silikat, apatit kristalleri biriktirerek dentin yüzeyi ile mekanik bir köprü oluşturur (23). Aynı zamanda kalsiyum ve fosfat iyonlarının alkali yapıya sahip olmasıyla, diş yüzeyinde bir kalsiyum fosfat tabakası oluşmasını uyararak sızdırmazlık ve bağlantı gücüne katkı sağlar (276). GuttaFlow Bioseal'in tek kon dolum tekniği ile kullanıldığındaki sızdırmazlık performansı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, GuttaFlow Bioseal'in AH Plus'a kıyasla daha az sızıntıya neden olduğunu ve kök dentin yüzeyinde daha geniş bir temas alanı ile daha iyi bütünleştiğini göstermiştir (277).

GuttaFlow Bioseal, düşük sitotoksisite ve yüksek biyouyumluluk özellikleriyle ön plana çıkar (278). Çalışmalar, GuttaFlow Bioseal'in hücreler için güvenli olduğunu ve hücre işlevlerinin devamlılığını sağladığını ortaya koymaktadır (279,280).

GuttaFlow Bioseal kanal patının bağlanma dayanımını değerlendiren bir çalışmada (27), farklı son irrigasyon solüsyonlarının etkinliği araştırılmıştır. Sonuçlar, %17 EDTA, %7 maleik asit, %10 sitrik asit ve %2.25 perasetik asit gruplarında, NaOCl grubuna kıyasla dolgu materyalinin kök kanal dentinine bağlanma dayanımının istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olduğunu göstermiştir.

2.2. Bağlanma Dayanımı

Dentin ve kök kanal patları arasındaki güçlü bağlanma, kanal tedavisinin başarısının temelini oluşturur. İyi bir bağlantı materyalle dentin arası geçişi kapatarak sızıntıya neden olabilecek boşluklara izin vermez ve dolgu materyalinin kuvvetler karşısında yer

değiştirmeye karşı gösterdiği direnci artırır (281). Kök kanal dolgu materyalinin dentine bağlantısını değerlendiren mekanik testler şu şekilde sıralanabilir:

- Makaslama bağlanma dayanımı testi (Shear bond strength test)
- Gerilme bağlanma dayanımı testi (Tensile bond strength test)
- İtme bağlanma dayanımı testi (Push-out bond strength test) (282).

2.2.1. Makaslama bağlanma dayanımı testi (Shear bond strength test)

Dentin örnekleri, makaslama bağlanma dayanımı testinde, özel bir sabitleyiciye yerleştirilir. Örnek, dentin yüzeyi yukarı bakacak ve test cihazının kuvvet uygulayan ucuna paralel olacak şekilde konumlandırılır. Test cihazının kuvvet uygulayan ucu, örneğe uygulanır ve kırılma noktasındaki en yüksek kuvvet kaydedilir. Bu veri, bağlanma dayanımının hesaplanmasında bir bilgisayar programı tarafından kullanılır (283). Makaslama testinde, cihazın ve test edilecek örneğin tam olarak denk gelmemesi, yükün açılı olarak uygulanmasına sebebiyet vererek hatalı ölçümlere yol açabilir (284).

2.2.2. Gerilme bağlanma dayanımı testi (Tensile bond strength test)

Gerilme bağlanma testi, bir malzemenin gerilmeye karşı ne kadar dayanıklı olduğunu ölçen bir laboratuvar testidir. Bu testte, örnek her iki taraftan da kuvvete maruz bırakılır ve kopma noktasına kadar gerilir. Test sırasında, örneklerin hareketsizliğini sağlamak için aktif ve pasif tutma yöntemleri kullanılır. Aktif yöntemlerde örnek, mekanik tutucularla sabitlenerek kayma veya dönme engellenir, bu da hassas ölçümler yapılmasını sağlar. Pasif yöntemlerde ise örnek, yerçekimi, sürtünme veya kendi şekliyle konumlandırılır; bu yöntem hassas konumlandırma gerektiğinde veya mekanik tutucuların örneğe zarar verme riski olduğunda tercih edilir (285).

2.2.3. İtme Bağlanma Dayanımı Testi (Push-out bond strength test)

İdeal kök kanal dolgu materyali, yerinden çıkarma ve oynama kuvvetlerine karşı dirençli olmalıdır. Bu yöntemin amacı, kök kanal dolgu materyalleri ile doldurulan dentin kesitlerinde, materyalin yerinden ayrılmasına sebep olan maksimum kuvveti ölçmektir (286).

Test prosedürü, basit ve hızlıdır ve standart boyutlarda ve şekillerde hazırlanan test örnekleri sayesinde karşılaştırılabilir ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar. Bu test, sadece tek bir noktada değil, kök kanalının tüm yüzeylerinde materyal-dentin arayüz bağlanma dayanımını ölçmek için tasarlanmıştır, bu da materyalin dentin ile olan bağlanma gücünün

tam bir değerlendirmesini sağlar (287). Elde edilen dentin kesitinin kalınlığı, kullanılan itme ucunun çapının hazırlanan kavite çapına oranı ve örneğin konumlandırılma yönü, test sırasında llen değerleri etkiler. Daha ince kesitler (1 mm), dentin tabakasının yapısını daha net ortaya koyarak daha hassas ölçümlere olanak sağlar (288).

Hazırlanan rnekler, kök kanalının anatomisine uygun şekilde, apikalden koronale doğru konumlandırılır. Üniversal test cihazında bulunan bir itme ucu yardımıyla, test edilecek restoratif materyale dik yönde kontrollü bir şekilde basınç uygulanır. Bu işlem sırasında, itme ucunun kök kanal dentin duvarına değmemesine zen gösterilir. Cihaz tarafından ayrılma sırasında kaydedilen en yüksek değer, Newton cinsinden kaydedilir ve bu değerin test edilen örneğin restoratif materyalle kaplı alanına bölünmesiyle MPa değeri elde edilir. Daha yüksek itme bağlanma dayanımı değeri, materyalin di dokusuna daha güçlü bir şekilde bağlandığını gösterir (289).

Bu test, diğer testlere kıyasla, klinik uygulamayı daha iyi yansıtarak ayrılmanın gerçekleşmesi için gereken kuvvetin daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri de hassasiyeti sayesinde düşük bağlanma değerlerini de net bir şekilde ölçebilme olanağı sunmasıdır (290).

Literatürde, AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal kök kanal patlarının bağlanma dayanımına, perasetik asit, EDTA gibi şelasyon ajanlarının etkisini değerlendiren sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (25–28). Ayrıca, elasyon ajanlarından fitik asidin, AH Plus kök kanal patına bağlantısını değerlendiren bir tez çalışması bulunmaktadır (29). Bu bilgiler ışığında, bu in vitro araştırmanın amacı, farklı şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit)  farklı tip kök kanal patının (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal), kök dentinine bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmektir. Bu amaçla oluşturulan sıfır hipotezleri şunlardır: (I) farklı tip kök kanal patlarının (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal) kök dentinine bağlanma dayanımları arasında fark bulunmayacaktır; (II) eitli şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit) kanal patlarının kök dentinine bağlanma dayanımı üzerinde etkisi olmayacaktır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Etik Kurul Onayı

Çalışma için gerekli olan etik kurul onayı Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bilimsel Etik Kurul Başkanlığı'ndan alındı (02.05.2023 tarih ve 2023/7 protokol numaralı karar) (Ek 1).

Araştırma için gerekli olan örneklerin seçimi, kesit alınması, hazırlanması, irrigasyon solüsyonlarında bekletilmesi ve kanal benzeri kavitelere kanal patı yerleşimi KTÜ Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Bölümünde, itme bağlanma dayanımı testleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde yapıldı. Örneklerin bağlantı başarısızlığı tipleri stereomikroskop ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Mühendisliği Bölümünde, TEM ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında incelendi.

3.2. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Örneklem boyutunun hesaplanmasında Scelza ve ark.'nın (291) araştırması baz alınarak alfa hata=0.05, beta hata=0.10, etki boyutu 0.8 alınarak her bir grup için 34 adet dişin yeterli olacağı sonucuna varıldı. Ancak muhtemel veri kayıpları göz önüne alınarak, toplamda en az 40 adet dişin ve 480 adet kanal benzeri kavitenin çalışmaya dahil edilmesine karar verildi.

3.3. Örnek Seçimi

Çalışmaya çeşitli nedenlerle çekim endikasyonu konulan, kök gelişimini tamamlamış, tek kök ve tek kanalı bulunan 40 adet alt premolar diş dahil edildi. Dişlerde çatlak/kırık ya da çürük olması durumunda, dişler çalışma dışı bırakıldı. Ayrıca, dişlerden bukko-lingual ve mezyo-distal yönlerde periapikal radyografler alındı; rezorpsiyon, kalsifikasyon veya önceden yapılmış kök kanal dolgusu bulunan dişler de çalışmadan çıkarıldı. Çalışma dışı bırakılan dişlerin yerine yenileri eklendi ve dişlerin kök yüzeyindeki artıklar, periodontal küret kullanılarak temizlendikten sonra, kullanılacakları zamana kadar, nem kaybını önlemek ve bakteriyel kontaminasyonu engellemek amacıyla %0.1 konsantrasyonda timol içeren bir solüsyonda deneysel aşamaya kadar bekletildi.

3.4. Örneklerin Hazırlanması

Örneklerin hazırlanması için, dişlerin boyutlarına uygun kalıp modeller seçildi. Soğuk akril (Self Cure, Imicryl, Türkiye), üreticinin talimatlarına göre karıştırıldı ve dişlerin kron kısımları dışarıda kalacak şekilde kalıp modellere döküldü (Resim 1).



Resim 1. Soğuk akrille kalıp modellere gömülen dişler

Her bir dişin kron kısmı, mine-sement birleşiminden, düşük hızdaki mikrocüt cihazı (Metkon Microcut 125, Bursa, Türkiye) (Resim 2) kullanılarak, su soğutması altında, $\varnothing 125 \times 0.38 \times 1.7$ mm boyutlarında, metal bağlı, yüksek konsantrasyonlu elmas disk (Metkon A.Ş., Bursa, Türkiye) ile kökün uzun aksına dik olacak şekilde uzaklaştırıldı (Resim 3).



Resim 2. Çalışmada kullanılan hassas kesim cihazı



Resim 3. Kron kısmı uzaklaştırılmış diş örnekleri

Her bir diş örneğinin kök koronal üçlüsünden, düşük hızdaki mikrocüt cihazı ve su soğutma sistemi kullanılarak, $\varnothing 125 \times 0.38 \times 12.7$ mm boyutlarında, metal bağlı, yüksek konsantrasyonlu elmas disk ile yaklaşık 1 ± 0.1 mm kalınlığında dört adet horizontal kesit elde edildi (Resim 4). Kesitlerin kalınlığı dijital bir kumpas yardımıyla kontrol edildi (Resim 5). Her bir diş örneğinden 4 farklı solüsyon için (EDTA, fitik asit, perasetik asit, distile su), 4 adet kesit alınarak toplamda 40 dişten 160 kesit elde edildi (Resim 6) ve kesitler bukkolingual ve mezyo-distal çapları farklı gruplar için eşit seçilerek dağıtıldı. Tüm kök kesitlerinde, materyaller arasında adil bir karşılaştırma yapmak amacıyla, 1 mm çapında elmas fissür frez kullanılarak, her biri tam olarak üç farklı kanal patından biriyle doldurulacak şekilde, üç adet kanal benzeri kavite açıldı. Bu kaviteler hazırlanırken, dış sement ve kök kanal duvarı arasında en az 1 mm mesafe bırakıldı. Bu aşamada kırılan dişler elendi ve yerine yenileri eklendi. Toplamda 480 kanal benzeri kavite elde edildi (Resim 7).



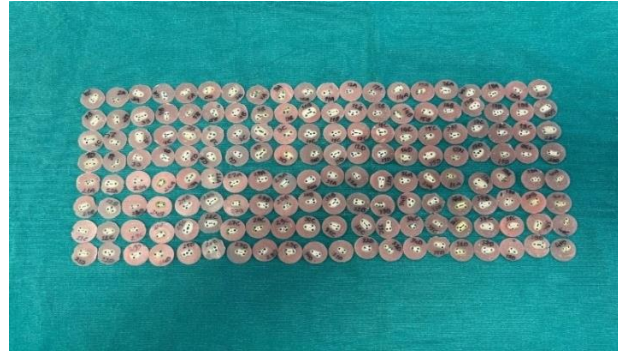
Resim 4. Hassas kesim cihazı ile örneklerden kesit elde edilmesi işlemi



Resim 5. Dentin kesit kalınlığının dijital kumpas ile kontrol edilmesi



Resim 6. Kırk diştten elde edilen 160 dentin kesiti



Resim 7. Dentin kesitlerinde kanal benzeri kavitelerin açılması

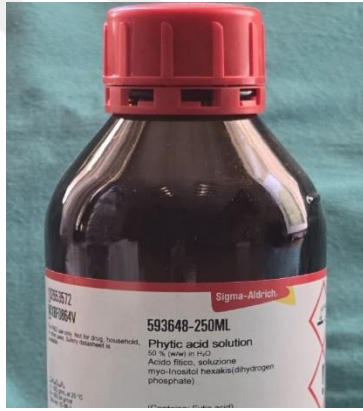
3.5. Solüsyonların Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak fitik asit solüsyonunun (Sigma – Aldrich, MO, ABD), %1 konsantrasyona sahip olması planlandı. Başlangıçta, fitik asit çözeltisi %50 konsantrasyonda

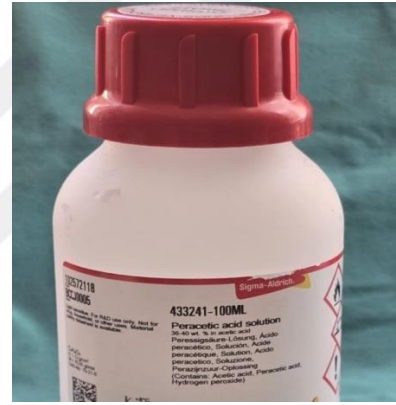
hazır olarak temin edildi (Resim 8.a). Hedeflenen %1 konsantrasyonlu fitik asit çözeltisini elde etmek için, %50 konsantrasyonlu 2 mL fitik asit çözeltisi 98 mL distile su ile seyreltilti.

Deneylerde kullanılacak perasetik asit solüsyonunun (Sigma – Aldrich, MO, ABD), %1 konsantrasyonunda olması amaçlandı. Başlangıçta %40 konsantrasyonunda temin edilen perasetik asit çözeltisinden (Resim 8.b), %1 konsantrasyona ulaşmak için 2.5 mL perasetik asit solüsyonu 97.5 mL distile su ile seyreltilerek kullanıldı.

Çalışmada kullanılan %17 EDTA (Werax, İzmir, Türkiye) ve %5.25 NaOCl (Chloraxid Cerkamed, Stalowa Wola, Polonya) solüsyonları, hazır olarak temin edildi (Resim 8.c ve Resim 8.d).



(a)



(b)



(c)

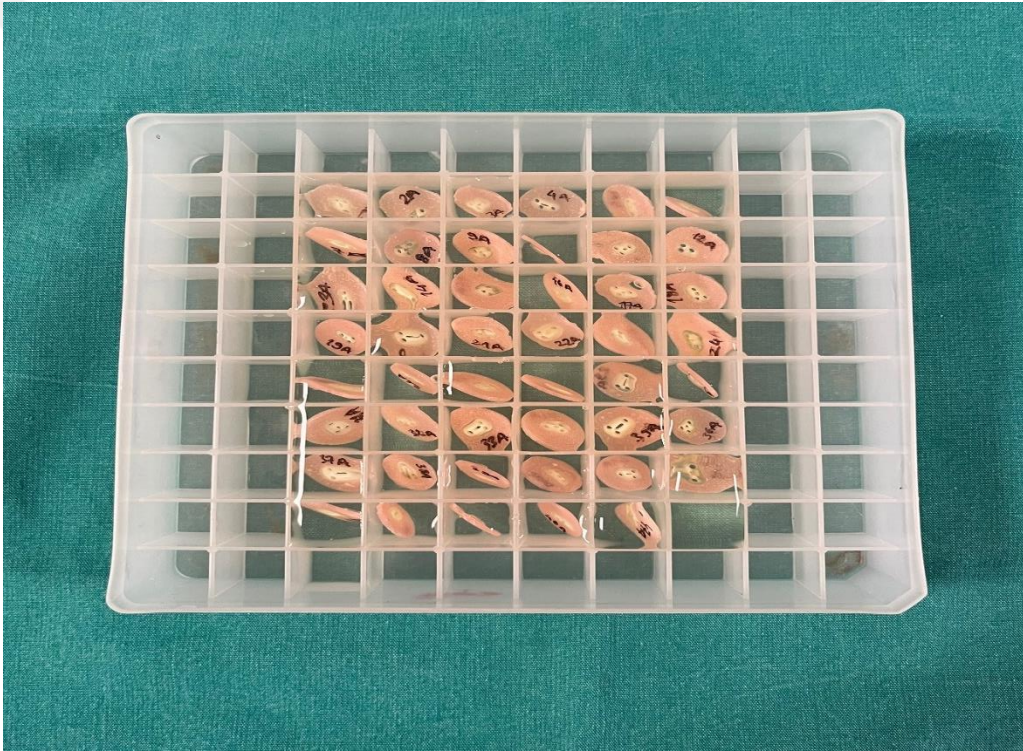


(d)

Resim 8. Çalışmada kullanılan solüsyonlar: (a) fitik asit solüsyonu, (b) perasetik asit solüsyonu, (c) EDTA solüsyonu ve (d) NaOCl solüsyonu

3.6. Örneklerin Solüsyonlarda Bekletilmesi

Tüm dentin kesitleri, 15 dakika boyunca %5.25 NaOCl çözeltisine, ardından NaOCl çözeltisini nötralize etmek amacıyla distile suya daldırıldı. Sonrasında, aynı diğten alınan dört kesitten üçü, test edilen üç farklı şelatlayıcı ajan olan %17 EDTA, %1 perasetik asit veya %1 fitik asit ile smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla rastgele seçildi ve her biri 3 dakika süreyle uygulandı (Resim 9). Diğer geriye kalan kesitler, aynı sürede distile su (kontrol grubu) solüsyonunda bekletildi. Tüm gruplar için son irrigasyon, 1 dakika distile su, ardından 1 dakika %5.25 NaOCl ve son olarak 1 dakika distile su ile gerçekleştirildi. Kaviterler, daha sonra paper pointler (Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile kurutuldu.



Resim 9. Dentin kesitlerinin irrigasyon solüsyonlarında bekletilmesi işlemi

3.7. Kanal Benzeri Kavitelere Kanal Patlarının Yerleştirilmesi

AH Plus grupları için AH Plus kanal patı, üretici firmanın talimatlarına uygun şekilde hazırlandı. Hazırlık aşamasında, A ve B patları 1:1 oranında metal spatül kullanılarak karıştırma pedinde karıştırıldı (Resim 10). Elde edilen kök kanal patı, el aletleri yardımıyla kanal benzeri kavitelere yerleştirildi.

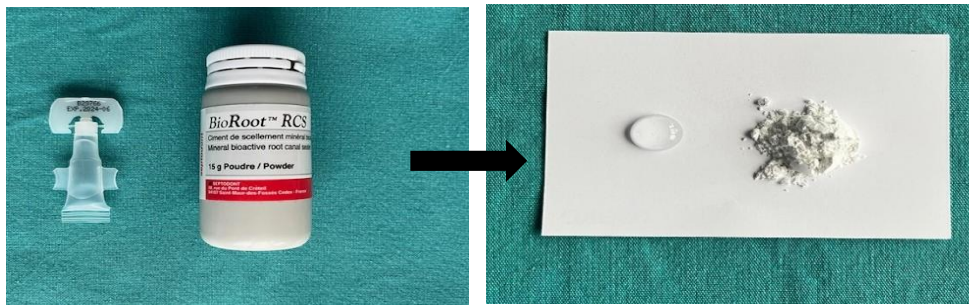
BioRoot RSC grupları için BioRoot RCS kanal patı, üretici firmanın önerilerine uygun olarak, bir ölçek toz ve 5 damla likit ile yaklaşık 60 saniye boyunca karıştırıldı (Resim 11). Hazırlanan kanal patı, el aletleri yardımıyla kanal benzeri kavitelere yerleştirildi.

GuttaFlow Bioseal grupları için GuttaFlow Bioseal kanal patı, üretici firmanın talimatlarına uygun olarak kendi aplikatörü kullanılarak hazırlandı (Resim 12). Elde edilen kanal patı, kanal benzeri kavitelere yerleştirildi.

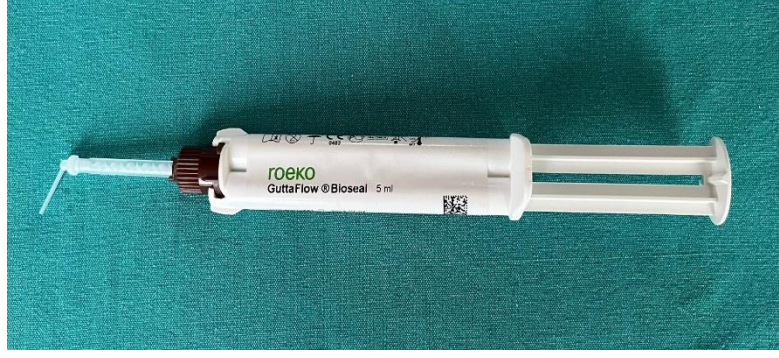
Tüm örneklerde kök kanal patları, plugger yardımıyla kondanase edildi ve fazlalıklar bistüri ile uzaklaştırıldı. Farklı kök kanal patları, farklı asetat kalemliyle işaretlendi (Resim 13 ve Resim 14). Örnekler, 37°C sıcaklıkta ve >%95 nemli inkübatörde, üzerlerine nemli spanç konularak 1 hafta bekletildi (Resim 15).



Resim 10. Çalışmada kullanılan AH Plus kanal patının hazırlanması



Resim 11. Çalışmada kullanılan BioRoot RCS kanal patının hazırlanması



Resim 12. Çalışmada kullanılan GuttaFlow Bioseal kanal patının hazırlanması



Resim 13. Kanal benzeri kavitelere kanal dolgu materyallerinin yerleştirilmesi



Resim 14. Tüm örneklerdeki kanal benzeri kavitelere kök kanal dolgu materyali ile doldurulması



Resim 15. Dolum işleminden sonra, örneklerin 37°C sıcaklıkta ve >%95 nemli inkübatörde bekletilmesi

3.8. İtme Bağlanma Dayanımı Testinin Uygulanması

Her biri 1 mm kalınlığında olan dentin kesitleri, itme bağlanma dayanımı testi uygulanmak üzere universal test cihazına (UTC) (Instron Corp, MA, ABD) sabit olacak şekilde yerleştirildi (Resim 16 ve Resim 17). Her biri 1 mm çapa sahip kanal benzeri kaviteye yerleştirilen kanal dolgu patlarının itme bağlanma dayanımı testi için, 0.8 mm çapındaki itme ucu, sadece kök kanal dolgu materyaline temas edecek şekilde konumlandırıldı. Universal test cihazı ile, materyal kök kanal duvarından ayrılana kadar 0.5 mm/dk hızında apikalden koronale kuvvet uygulandı. Kopma anındaki maksimum kuvvet Newton cinsinden kaydedildi (Resim 18) ve ardından megapaskal (MPa) cinsine dönüştürüldü. Bilgisayarda kaydedilen grafikte, düzensiz değişikliklere sahip olan dişler elenerek yerine yenileri eklendi. İtme bağlanma dayanımı, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı (288):

$$\text{Bağlanma Dayanımı (MPa)} = \frac{\text{Materyalin kopma anındaki maksimum kuvvet (N)}}{\text{Materyalin kapladığı alan (mm}^2\text{)}} \quad (1)$$

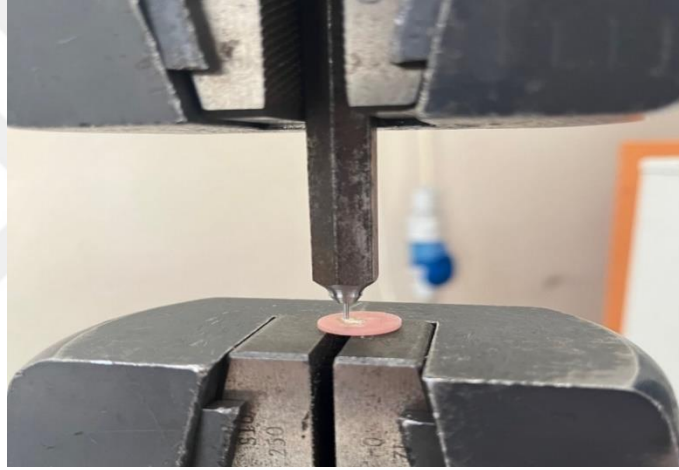
Alan aşağıdaki formüle göre hesaplandı:

$$\text{Alan} = 2\pi rh \quad (2)$$

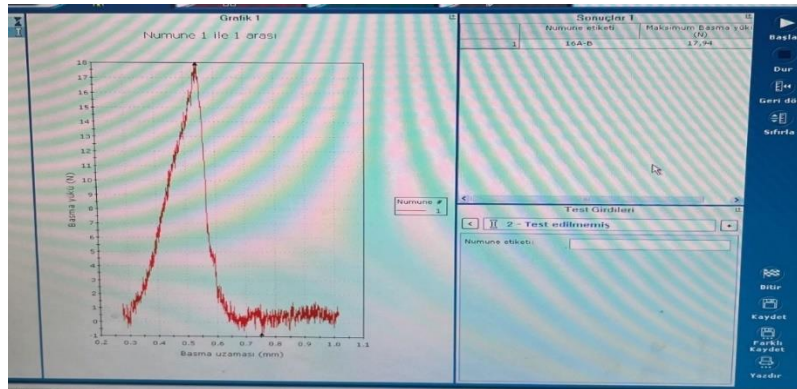
Denklem 2’de r, h ve π sırasıyla kanal benzeri kavitenin yarıçapı (mm), dentin kesitlerinin kalınlığı (mm) ve 3.14 (sabit) olarak kabul edildi.



Resim 16. İtme bağlanma dayanımı testi için kullanılan universal test cihazı



Resim 17. İtme ucu ile örneklere kuvvet uygulanması



Resim 18. İtme bağlanma dayanımı testi sonucu bilgisayarda kaydedilen maksimum kuvvet grafiği

3.9. İtme Bağlanma Dayanımı Testi Sonrası Oluşan Başarısızlık Tipi Analizi

İtme bağlanma dayanımı sonrası örnekler, bağlantı başarısızlığının tipini belirlemek için 40x büyütme altında stereomikroskop ile (Leica MZ75, Leica Imaging Systems Ltd, Cambridge, Birleşik Krallık) incelendi (Resim 19). Başarısızlık tipleri, aşağıdaki sınıflandırmaya göre adeziv, koheziv ve karışık olarak belirlendi.

Adeziv: Kök dentini ve kök kanal dolgu materyali arasında görülen başarısızlık tipi

Koheziv: Kök kanal dolgu materyalinin kendi içinde görülen başarısızlık tipi

Karışık: Hem adeziv hem de koheziv başarısızlık içeren başarısızlık tipi (288).

Her başarısızlık tipine uygun olarak seçilen örnekler, TEM (EVO LS10, Zeiss, Oberkochen, Almanya) değerlendirmesi için hazırlandı. Seçilen her bir örnek, altın ile kaplandı ve 100x büyütme ile TEM altında değerlendirildi.



Resim 19. Başarısızlık tiplerinin stereomikroskop ile belirlenmesi

3.10. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizlerde SPSS for Windows 22.0 programı (International Business Machines, ABD) kullanıldı. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov Smirnov testi ile değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma ve frekans dağılımları (%) olarak verildi. Karşılaştırmalı analizlerde iki yönlü ANOVA testi ve Bonferroni düzeltmesi uygulandı. $p < 0.05$ düzeyi istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1. İtme Bağlanma Dayanımı

Farklı şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit), kök kanal dolgusu sırasında kullanılan üç farklı tip kök kanal patının (AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal), kök dentinine bağlanma dayanımına etkisini inceleyen çalışmamızda, iki yönlü ANOVA sonuçlarına göre, hem irrigasyon solüsyonu ($p<0.001$) hem de kök kanal patı ($p<0.001$) itme bağlanma dayanımı üzerine anlamlı etkiye neden olduğu belirlendi. Ayrıca irrigasyon solüsyonu ve kök kanal patı arasında anlamlı bir etkileşim gözlemlendi ($p<0.001$) (Tablo 1).

Tablo 1. İki yönlü ANOVA etkileşim tablosu

Değişken	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	Sig.
İrrigasyon solüsyonu	752.512	3	250.837	143.275	$p<0.001$
Kök kanal patı	6640.888	2	3320.444	1896.591	$p<0.001$
İrrigasyon solüsyonu x kök kanal patı	230.499	6	38.417	21.943	$p<0.001$
Hata	819.348	468	1.751		
Toplam	29896.482	480			

Çalışmamızda, tüm gruplar için elde edilen itme bağlanma dayanımı sonuçları MPa cinsinden hesaplanmış ve ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Grupların itme bağlanma dayanımı değerleri (ortalama $\pm$ standart sapma, MPa)

	EDTA	Fitik Asit	Perasetik Asit	Distile Su (Kontrol)
AH Plus	12.28 $\pm$ 2.03 ^{Aa}	11.42 $\pm$ 1.43 ^{Ab}	10.69 $\pm$ 1.87 ^{Ac}	7.33 $\pm$ 1.02 ^{Ad}
BioRoot RCS	9.19 $\pm$ 1.86 ^{Bb}	8.96 $\pm$ 1.50 ^{Bbc}	8.56 $\pm$ 1.61 ^{Bc}	5.29 $\pm$ 0.86 ^{Bd}
GuttaFlow Bioseal	1.71 $\pm$ 0.57 ^{Cb}	1.72 $\pm$ 0.56 ^{Cb}	1.98 $\pm$ 0.62 ^{Cab}	1.03 $\pm$ 0.28 ^{Cc}

*Farklı küçük harfler (a,b,c,d) irrigasyon solüsyonları arasındaki ($p<0.05$), farklı büyük harfler (A,B,C) ise kanal patları arasındaki anlamlı farklılıkları ifade etmektedir ($p<0.05$).

* $p^{a-b} / p^{ab-c} < 0.01$; $p^{b-c} < 0.05$; $p^{A-B} / p^{A-C} / p^{B-C} / p^{a-c} / p^{a-d} / p^{b-d} / p^{bc-d} < 0.001$

AH Plus grubunda kullanılan şelasyon ajanları (EDTA, fitik asit, perasetik asit), kök kanal dolgu materyalinin bağlanma dayanımını distile su (kontrol) grubuna göre anlamlı olarak artırmıştır ($p<0.001$). AH Plus'ın en yüksek bağlanma dayanımı değeri, EDTA grubunda elde edilirken; bu değer fitik asit ve perasetik asit gruplarına göre anlamlı olarak daha yüksektir (sırasıyla $p<0.01$; $p<0.001$). Ayrıca fitik asit grubu, perasetik asit grubuna göre daha yüksek bağlanma dayanımı ile sonuçlanmıştır ($p<0.05$).

BioRoot RCS grubunda kullanılan şelasyon ajanları (EDTA, fitik asit, perasetik asit), kök kanal dolgu materyalinin bağlanma dayanımını distile su (kontrol) grubuna göre anlamlı olarak artırmıştır ($p<0.001$). BioRoot RCS'nin bağlanma dayanımı, en yüksek EDTA grubunda görülmektedir, bu değer perasetik asit grubuna göre istatistiksel olarak daha yüksek kök kanal patı bağlanma dayanımı değerleri gösterirken ($p<0.05$), fitik asit ile karşılaştırıldığında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Ayrıca BioRoot RCS kök kanal patı, fitik asit ve perasetik asit gruplarında benzer bağlanma dayanımı değerleri göstermiştir ($p>0.05$).

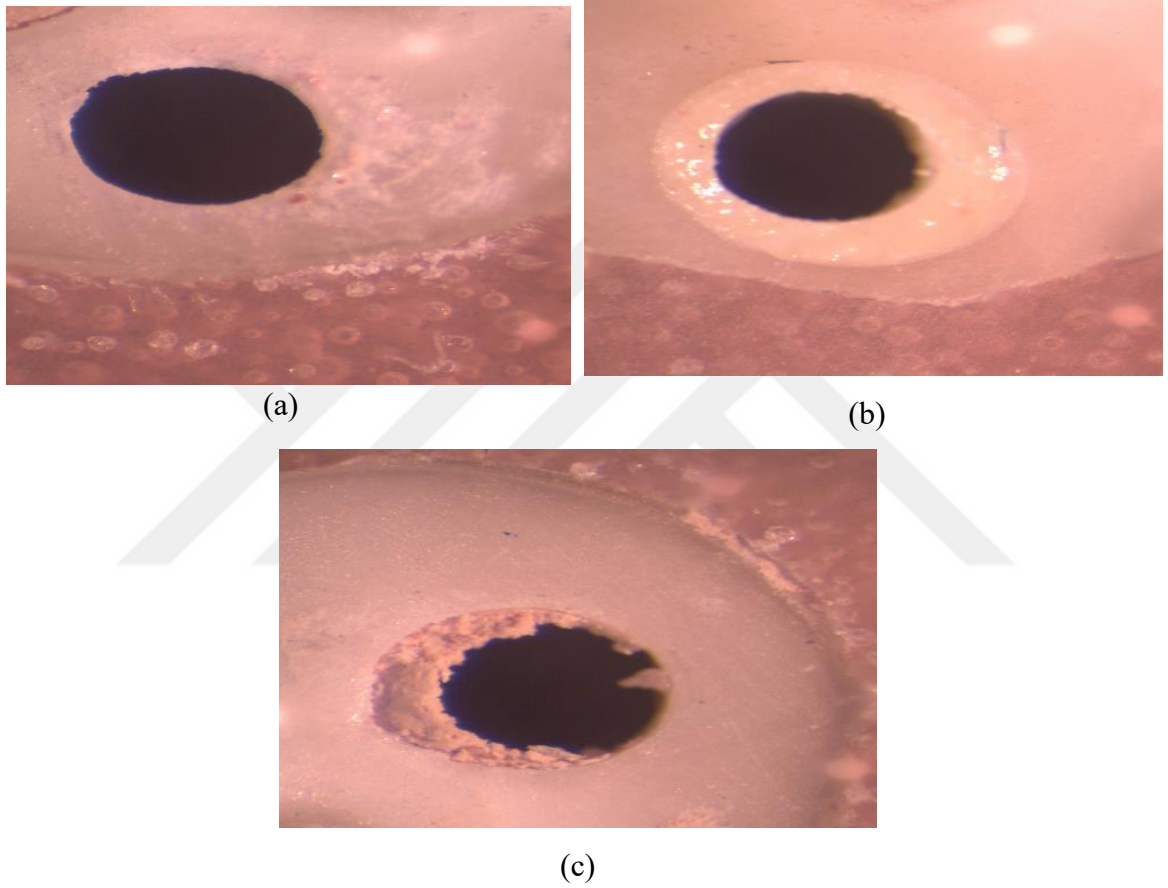
GuttaFlow Bioseal grubunda kullanılan şelasyon ajanları (EDTA, fitik asit, perasetik asit), kök kanal dolgu materyalinin bağlanma dayanımını distile su (kontrol) grubuna göre anlamlı olarak artırmıştır (sırasıyla $p<0.05$; $p<0.05$; $p<0.01$). EDTA, fitik asit ve perasetik asit grupları arasında bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0.05$).

Kök kanal patlarının bağlanma dayanımları değerlendirilecek olursa tüm irrigasyon solüsyonu gruplarında (EDTA, fitik asit, perasetik asit, distile su), bağlanma dayanımları

yüksekten düşüğe sırasıyla AH Plus, BioRoot RCS, GuttaFlow Bioseal olarak sıralanmıştır ve tüm kanal patları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($p<0.001$).

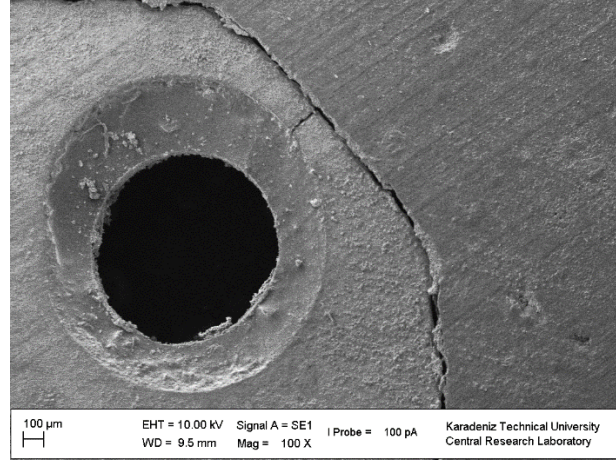
4.2. İtme Bağlanma Dayanımı Testi Sonrası Başarısızlık Tiplerinin Değerlendirilmesi

İtme bağlanma dayanımı testi sonrası oluşan başarısızlık tipleri, örneklerin 40x büyütmede stereomikroskop ile incelenmesiyle belirlendi (Resim 20).

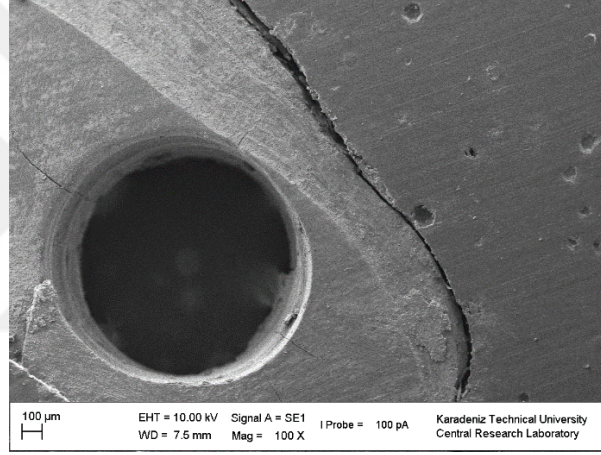


Resim 20. Başarısızlık tiplerine ait stereomikroskop görüntüleri: (a) adeziv tip başarısızlık, (b) koheziv tip başarısızlık, (c) karışık tip başarısızlık

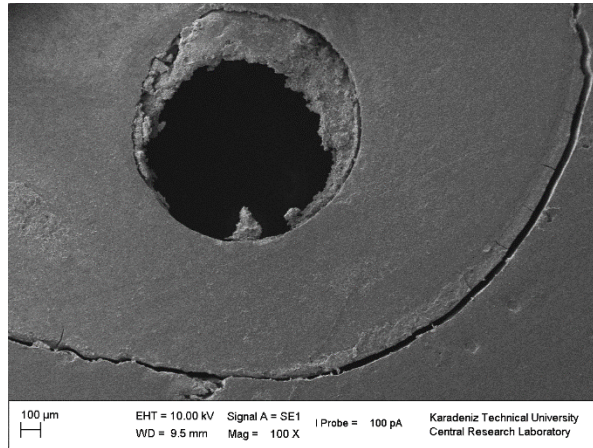
Her başarısızlık tipine uygun olarak seçilen örneklerin TEM görüntüleri Resim 21, Resim 22 ve Resim 23'te gösterilmektedir. Başarısızlık tiplerinin gruplara göre dağılımı ise Tablo 3'te sunulmuştur.



Resim 21. AH Plus kanal patına ait koheziv başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)



Resim 22. GuttaFlow Bioseal kanal patına ait adeziv başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)



Resim 23. BioRoot RCS kanal patına ait karışık başarısızlık tipinin TEM görüntüsü (100x)

Tablo 3. Başarısızlık tiplerinin gruplara göre sayı ve yüzde (%) dağılımı

Kök kanal patları	Başarısızlık tipi (A/K/M)	İrrigasyon solüsyonları	Başarısızlık tipi (A/K/M)
AH Plus	28/95/37 (%17.5/%59.4/%23.1)	EDTA	14/12/14 (%35/%30/%35)
		Fitik Asit	7/25/8 (%17.5/%62.5/%20)
		Perasetik Asit	1/35/4 (%2.5/%87.5/%10)
		Distile Su (kontrol)	6/23/11 (%15/%57.5/%27.5)
BioRoot RCS	14/113/33 (%8.8/%70.6/%20.6)	EDTA	7/17/16 (%17.5/%42.5/%40)
		Fitik Asit	3/30/7 (%7.5/%75/%17.5)
		Perasetik Asit	0/37/3 (%0/%92.5/%7.5)
		Distile Su (kontrol)	4/29/7 (%10/%72.5/%17.5)
GuttaFlow Bioseal	117/11/32 (%73.1/%6.9/%20)	EDTA	32/1/7 (%80/%2.5/%17.5)
		Fitik Asit	31/0/9 (%77.5/%0/%22.5)
		Perasetik Asit	29/7/4 (%72.5/%17.5/%10)
		Distile Su (kontrol)	25/3/12 (%62.5/%7.5/%30)

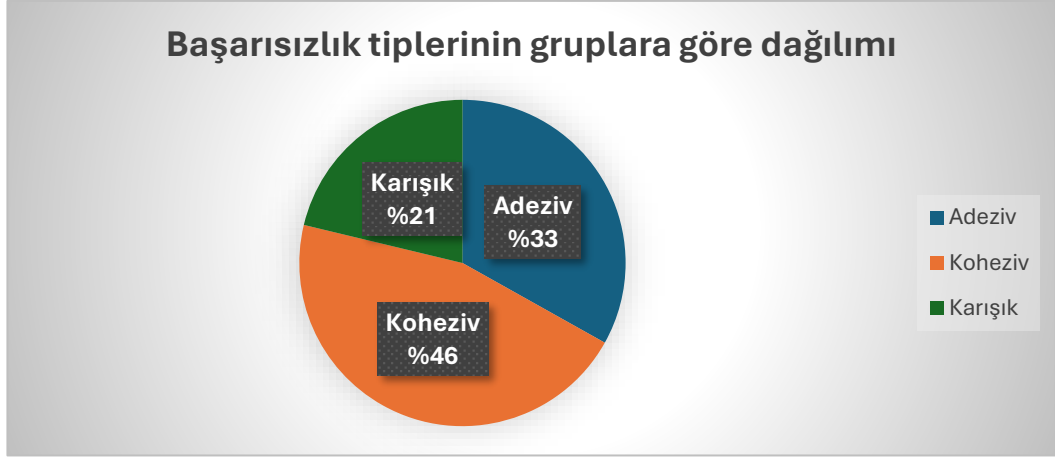
* A: Adeziv tip, K: Koheziv tip, M: Karışık tip

AH Plus örneklerinde görülen başarısızlık tiplerinin miktarı ve yüzdesel (%) oranları değerlendirildiğinde, en sık görülen başarısızlık tipi, %59.4 (n=95) ile koheziv tip başarısızlık olmuştur. Bunu %23.1 (n=37) ile karışık tip başarısızlık ve %17.5 (n=28) ile adeziv tip başarısızlık izlemiştir. Fitik asit, perasetik asit ve distile su gruplarında baskın olan başarısızlık tipi koheziv iken, EDTA grubunda başarısızlık tipleri birbirine yakın oranlar göstermiştir.

BioRoot RCS örneklerinde görülen başarısızlık tiplerinin miktarı ve yüzdesel (%) oranları değerlendirildiğinde, örneklerin büyük çoğunluğu, %70.6 (n=113) oranında koheziv tip başarısızlık göstermiştir. Karışık tip başarısızlık oranı %20.6 (n=33) olup, en düşük başarısızlık tipi %8.8 (n=14) oranı ile adeziv tip olmuştur. Tüm şelasyon ajanları ve distile su gruplarında, en baskın olan başarısızlık tipi, koheziv tip başarısızlık iken, en az görülen başarısızlık tipi adeziv olmuştur. Perasetik asit grubunda, adeziv tip başarısızlık gözlenmemiştir.

GuttaFlow Bioseal örneklerinde görülen başarısızlık tiplerinin miktarı ve yüzdesel (%) oranları değerlendirildiğinde, en sık görülen başarısızlık tipi, %73.1 (n=117) oranında adeziv tip başarısızlık olmuştur. Karışık tip başarısızlık, %20 (n=32) ile en sık görülen ikinci başarısızlık tipi olurken, koheziv tip başarısızlık %6.9 (n=11) ile en az görülen başarısızlık tipi olmuştur. Tüm şelasyon ajanları ve distile su gruplarında en sık adeziv başarısızlık, en düşük koheziv başarısızlık görülmüştür. Şelasyon ajanı olarak fitik asidin kullanıldığı grupta ise, koheziv tip başarısızlığa rastlanmamıştır.

İrrigasyon solüsyonu ve kanal patı türünden bağımsız olarak örnekler değerlendirildiğinde, en sık görülen başarısızlık tipi, koheziv başarısızlık olmuştur. Adeziv ve karışık tip başarısızlık ise sırasıyla koheziv tip başarısızlığı takip etmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Başarısızlık tiplerinin gruplara göre dağılımı

5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisinde başarı, kök kanal sisteminin detaylı bir kimyasal ve mekanik debridmanı ile ardından tüm anatomik boşlukları hermetik olarak dolduran, üç boyutlu bir obturasyon prosedürünün uygulanmasına bağlıdır (292).

Kök kanallarının kompleks anatomisi göz önüne alındığında, kök kanal sisteminin önemli bir kısmının mekanik preparasyondan etkilenmeden kaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, kök kanal sisteminin kapsamlı dezenfeksiyonu için kimyasal ajanların kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, farklı etki mekanizmalarına sahip irrigasyon solüsyonlarının beraber kullanımı, kök kanal sisteminin biyokimyasal dezenfeksiyonunda ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında daha üstün sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir (293).

Kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında, kanal duvarlarında organik ve inorganik bileşenlerden oluşan bir tabaka meydana gelir. Bu iyatrojenik yapı, smear tabakası olarak adlandırılmaktadır. Smear tabakasının varlığı, endodontik dolgu materyallerinin dentin tübüllerine infiltrasyonunu engelleyerek potansiyel mikrosızıntı riskini artırır ve aynı zamanda obturasyon materyallerinin radiküler dentine bağlanma kapasitesini olumsuz etkiler (294).

Çeşitli irrigasyon solüsyonlarının dentin yüzeyine uygulanması, insan dentininin kimyasal kompozisyonunda ve yapısal özelliklerinde değişikliklere neden olabilir (295). Bu durum, dentinin geçirgenlik ve çözünürlük özelliklerini etkileyerek materyallerin dentine bağlanma gücünü etkileyebilir (296). Literatürde, AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal kök kanal patlarının bağlanma dayanımına, perasetik asit, EDTA gibi şelasyon ajanlarının etkisini değerlendiren sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (25–28). Ayrıca, şelasyon ajanlarından fitik asidin, AH Plus kök kanal patına bağlantısını değerlendiren bir tez çalışması bulunmaktadır (29). Bu nedenle çalışmamızda, EDTA, fitik asit ve perasetik asit gibi şelasyon ajanlarının, AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal kök kanal patlarının dentine bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmeyi amaçladık. Çalışmamızda farklı tip kök kanal patlarının, kök dentinine bağlanma dayanımları arasında fark bulunmayacaktır şeklindeki I. hipotez kullanılan irrigasyon solüsyonuna bakılmaksızın AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal kanal patlarının farklı bağlanma dayanımı değerleri göstermesinden dolayı reddedilmiştir. Ayrıca çeşitli şelasyon ajanlarının (EDTA, fitik asit, perasetik asit) kanal patlarının kök dentinine bağlanma dayanımı üzerine bir etkisi

olmayacaktır şeklindeki II. hipotez sadece GuttaFlow Bioseal kanal patının bağlanma dayanımının, farklı şelasyon ajanlarından etkilenmemesi nedeniyle kısmen reddedilmiştir.

Endodontik tedavide NaOCl, önemli bir irrigasyon solüsyonu olarak kullanılmaktadır. NaOCl'in periapikal dokular üzerindeki sitotoksik etkisi ve dentin dokusunun mikromekanik özelliklerini olumsuz etkileme potansiyeli, klinik uygulamalarda dikkatli kullanımını gerektirmektedir (297). Bu ajanın en önemli sınırlılıklarından biri, smear tabakasının inorganik bileşenleri üzerinde etkisiz olmasıdır (298). Bu nedenle, kapsamlı bir kök kanal temizliği için NaOCl'nin kullanımı, etkili bir demineralizasyon ajanı ile tamamlanmalıdır (16).

Endodontik tedavilerde şelasyon ajanlarının kullanımı, Nygaard Ostby'nin öncü çalışmalarıyla başlamıştır. Bu ajanların temel etki mekanizması, dentin dokusundaki kalsiyum iyonlarıyla kompleks oluşturarak demineralizasyon sağlamasıdır. Şelasyon ajanları ve asidik solüsyonlar, smear tabakasının eliminasyonunda etkili bir rol oynamaktadır (8).

EDTA, en yaygın kullanılan demineralize edici ajandır. Mineralize dokular üzerindeki yüksek şelatlama etkisi nedeniyle, preparasyon sırasında tıkanan tübüllerin temizlenmesinde önemli bir rol oynar (299). Kök dentininin EDTA ile uzun süreli temasının, dentin dokusunun elastik modülünü ve bükülme dayanımını azaltma potansiyeli taşıdığı belirtilmektedir. Bu değişiklikler, dentin dokusunun yapısal ve mekanik özelliklerinde bozulmalara yol açabilmekte ve bu durum, kök kırığı riskinde artışa sebebiyet verebilmektedir (300). Bu gibi nedenlerle EDTA'ya alternatif olabilecek farklı irrigasyon solüsyonlarının kullanımı gündeme gelmiştir.

Çalışmamızda, geleneksel EDTA kullanımına alternatif oluşturabilecek fitik asit tercih edilmiştir. Endodonti alanında fitik asit kullanımını inceleyen çalışmaların sayısı, şu an için kısıtlıdır. Bununla birlikte, mevcut araştırmalar, smear tabakasının uzaklaştırılmasında %1'lik fitik asit konsantrasyonunun etkili olduğunu ve biyolojik açıdan güvenli kabul edildiğini göstermektedir (13,301). Nikhil ve ark. (301), %1'lik konsantrasyonda uygulanan fitik asidin, %17'lik EDTA solüsyonuna kıyasla dentin mikrosertliğinde daha az azalmaya neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bilimsel veriler doğrultusunda, çalışmamızda fitik asit %1'lik konsantrasyonda tercih edilmiştir.

Çalışmamızda kullanılan şelasyon ajanlarından bir diğeri, %1 konsantrasyonda perasetik asittir. Perasetik asit, kök kanal duvarlarındaki smear tabakasını uzaklaştırmada

etkili olduğu kanıtlanan, antimikrobiyal etkiye sahip bir solüsyondur (16). Keine ve ark.'nın (302) çalışmasında, EDTA'ya göre daha az erozyona neden olduğu raporlanmıştır. Ayrıca, %1'lik konsantrasyon, antimikrobiyal özelliğini korurken smear tabakasını etkili bir şekilde elimine etmekte ve dentin dokusunda ciddi yapısal değişikliklere sebep olmamaktadır (26). Daha yüksek konsantrasyonların dentin sertliğini önemli ölçüde azaltabileceği göz önüne alındığından, çalışmamızda %1'lik konsantrasyon tercih edilmiştir.

Kök kanal tedavisinin uzun vadeli başarısında, kanal dolgu materyallerinin dentin dokusuyla kurduğu bağlantı, iki kritik fonksiyon üstlenir. Öncelikle, bu bağlantı kök kanal sisteminin sızdırmaz bir şekilde izole edilmesini sağlayarak, potansiyel kontaminasyonu önler. Bununla birlikte, çiğneme kuvvetleriyle meydana gelen mekanik stresler karşısında, kanal dolgusunun yapısal bütünlüğünün korunmasına katkıda bulunarak, tedavinin uzun dönem stabilitesini destekler (303).

AH Plus, endodontik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ve kapsamlı şekilde test edilmiş, epoksi rezin içerikli bir kök kanal patıdır ve altın standart olarak kabul görmektedir. AH Plus'ın altın standart olarak kabul görmesi, yeni geliştirilen veya test edilen endodontik materyallerin performansını değerlendirmek için güvenilir bir referans noktası sağlamaktadır (304). Bu nedenle, çalışmamızda tercih ettiğimiz kök kanal patlarından biri olmuştur.

Kök kanal dolgu materyallerinin rolü, yalnızca mikroorganizmaların invazyonuna ve kök kanal sisteminin yeniden enfeksiyonuna karşı sızdırmaz bir bariyer oluşturmakla sınırlı değildir. Temel hedeflerden biri de dokularla biyouyumlu bir obtürasyon yaklaşımı geliştirmektir. Bu bağlamda, kalsiyum silikat içerikli kök kanal dolgu patları ön plana çıkmaktadır (305). Kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat ve zirkonyum oksit bileşiminden meydana gelen BioRoot RCS, kalsiyum silikat içerikli bir kök kanal dolgu materyalidir. Bu ürün, yüksek düzeyde biyouyumlu olması ve biyoaktif özellikler sergilemesi ile dikkat çekmektedir (306). Bu nedenlerle çalışmamızda tercih ettiğimiz kalsiyum silikat içerikli kök kanal patı olmuştur.

GuttaFlow Bioseal, güta perka ve kalsiyum silikatın avantajlı özelliklerini bir araya getiren, silikon içerikli hibrit bir kök kanal patıdır (23). Düşük sitotoksitesi ve yüksek biyouyumluluğu (279) ile öne çıkan bu materyal, çalışmamızda şelasyon ajanlarının GuttaFlow Bioseal'in kalsiyum silikat ve güta perka bileşimi üzerindeki bağlanma dayanımına olan potansiyel etkilerini değerlendirmek amacıyla tercih edilmiştir.

Çalışmamızda, güta perka gibi esnek bir dolgu materyali kullanılmamıştır. Bu tercih, uygulanan basınç kuvvetinin doğrudan test edilen kanal patına iletilmesini sağlamıştır. Ayrıca, bu yaklaşım olası başarısızlık tiplerinin daha kontrollü bir şekilde incelenmesine olanak tanımıştır. Bu deneysel tasarım, dolgu materyallerinin gerçek performansının daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılmıştır. Böylece, sonuçların yanlış yorumlanma riski azaltılmış ve patların etkinliği daha net bir biçimde karşılaştırılabilmektedir (266,307).

Endodontik kanal dolgu materyallerinin dentine bağlantısını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında, özellikle kök dentininin yapısı; aynı dişin veya kökün farklı bölgelerindeki yapısal farklılıklar (213,308); smear tabakasının varlığı veya yokluğu; kullanılan irrigasyon solüsyonunun türü; kanal dolgu materyalinin içeriği ve bu materyallerin dentinle olan etkileşimleri (200) yer almaktadır.

Endodontik materyallerin diş dokusuna bağlanma etkinliğini değerlendirmede, itme bağlanma dayanımı testi sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bağlanma kuvvetini ölçmek için kullanılan farklı teknikler arasında gerilme bağlanma dayanımı testi, makaslama bağlanma dayanımı testi ve itme bağlanma dayanımı testi bulunmaktadır. Bu çalışmada, bağlanma kuvvetini değerlendirmek amacıyla itme bağlanma dayanımı testi tercih edilmiştir. Bu seçimin sebepleri arasında, test örneklerinin hazırlanması ve düzenlenmesindeki kolaylık yer almaktadır. Bununla birlikte, bu yöntem örnekler arasındaki küçük varyasyonlara ve kuvvet uygulaması sırasındaki gerilim dağılımındaki farklılıklara karşı daha az hassasiyet göstermektedir (289).

Araştırmalarda, klinik koşulları daha gerçekçi bir şekilde oluşturabilmek ve daha güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla, sıklıkla çekilmiş insan dişleri tercih edilmektedir (309,310). Çok köklü dişlerle kıyaslandığında daha az karmaşık yapıya sahip olmaları ve anatomik varyasyonlarının daha sınırlı olması nedeniyle (311), mevcut literatürdeki birçok çalışmaya (24,312) paralel olarak çalışmamızda tek köklü ve tek kanallı alt premolar dişler kullanılmıştır.

İtme bağlanma dayanımı testlerine tabi tutulacak çekilmiş dişlerin, çekimden deneysel prosedürlerin uygulanacağı zamana kadar geçen periyotta dehidratasyona uğramalarını önlemek için uygun solüsyonlarda muhafaza edilmeleri gereklidir (313). Bu amaçla formalin, NaOCl, glutaraldehit ve timol gibi ajanlar kullanılmaktadır (314). Mevcut çalışmamızda, yeni çekilmiş diş örnekleri, nem kaybını önlemek ve bakteriyel

kontaminasyonu engellemek amacıyla %0.1 konsantrasyonda timol içeren bir solüsyonda deneysel aşamaya kadar bekletilmiştir (315).

Metodolojik uygulamanın optimizasyonu amacıyla, kanal çevresinde daha geniş dentin dokusu örnekleri elde etmek için, dişlerin kron kısmı mine sement birleşiminden itibaren uzaklaştırılmıştır ve Jain ve ark.'nın çalışmasında (316) olduğu gibi, sadece kök segmentinin koronal bölümünden kesitler elde edilmiştir. Kök uzunlukları ve koronal kök segmentlerinin boyutsal varyasyonları göz önüne alındığında, kök boyutlarında standardizasyon uygulanmamıştır. Ancak, her bir diş örneğinden dört ayrı kesit alınarak farklı solüsyon gruplarına dahil edilmiştir ve bu şekilde standardizasyon sağlanmıştır.

Literatürde, itme bağlanma dayanımı testi için kullanılan dentin kesitlerinin kalınlığına dair farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, bir çalışmada 2 mm (317), bir başka çalışmada ise 4 mm kalınlığında (318) kesitler kullanılmıştır. Ancak, artan kesit kalınlığı, sürtünme kuvvetini artırarak bağlanma dayanımı ölçümlerini olumsuz etkileyebilir (288,319). Bu nedenle, sürtünme etkisini en aza indirmek ve formül hesaplamalarını kolaylaştırmak amacıyla, çalışmamızda 1 mm kalınlığında dentin kesitleri tercih edilmiştir.

İtme bağlanma dayanımı analizlerine odaklanan birçok araştırmada, test edilen materyallerin bağlantısı, bu materyallerin şekillendirilmiş kök kanal boşluğuna uygulanması yoluyla incelenmiştir (320,321). Ancak bu geleneksel yöntemde, test edilen her materyal, farklı dentin yüzeyleriyle etkileşim halindedir. Çalışmamız ise metodolojik açıdan farklı bir yaklaşım benimsemiştir. İnsan dentin dokusundaki yapısal ve fiziksel farklılıklar, bağlanma dayanımı ölçümlerinde değişkenliklere yol açabilir. Bu nedenle, çalışmamızda daha tutarlı bir temel oluşturmak amacıyla, çekilmiş insan dişlerinden hazırlanan dentin kesitlerinde, standart kanal benzeri kaviterler açılmıştır. Bu yöntem sayesinde, aynı diş örnekleri üzerinde farklı kanal patları ve irrigasyon solüsyonları test edilebilmiştir. Ayrıca, diş yaşı, skleroz ve diğer faktörlerin etkileri ayırt edilerek daha doğru sonuçlar elde edilmiştir (291,322).

Deneysel gruplar arasında tutarlılığı sağlamak için, tüm kaviterlerde 1 mm çapında standart silindirik form kullanılmıştır. Bu yaklaşımla, kök kanal anatomisinin etkisini standartlaştırmak hedeflenmiştir. Kök kanal anatomisi, sonuçları etkileyebilecek önemli bir değişken ve biyolojik bir etken olarak bilinmektedir. Kaviterler, 1 mm'lik bir fissür frez yardımıyla hazırlanmış ve paralel duvarlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yöntem, bağlanma dayanımını hesaplamak için kullanılan formülün geçerliliği açısından da kritik öneme sahiptir; çünkü söz konusu formül, boşluğun tüm uzunluğu boyunca sabit çap

varsayımına dayanmaktadır (322). Kanal benzeri kavitelerin hazırlanması sırasında, dış cement tabakası ile kanal lümeni arasında en az 1 mm'lik dentin dokusu korunmuştur ve bu yaklaşım, hazırlanan dentin kesitlerinin kırılma riskini azaltarak yapısal bütünlüğün korunmasını sağlamıştır (291).

İtme bağlanma dayanımı testlerinde, yük uygulayan itme ucunun yalnızca incelenen materyale temas etmesi kritik bir öneme sahiptir. Dentin yüzeyiyle temasın önlenmesi, test sonuçlarının geçerliliğini sağlamak açısından esastır (323). Chen ve ark. (324), itme bağlanma dayanımı testlerinde itme ucu çapının dolgu çapının 0.85 katını aşmaması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Bu oran, dolgu materyalinin yapısal bütünlüğünü korurken yeterli basınç uygulanmasını da sağlamaktadır. Bu kritere dayanarak, çalışmamızda 0.8 mm çapında bir itme ucu kullanılmıştır. Kuvvetin uygulanış yönü ise diğer çalışmalarla uyumlu olarak apiko-koronal yönde tercih edilmiştir (325,326).

Bu çalışmada, 3 dakikalık EDTA, fitik asit ve perasetik asit uygulama protokolü, literatürdeki bilimsel yaklaşımlara dayanmaktadır. Dem ve ark.'nın (264) çalışmasıyla benzer metodoloji kullanılarak belirlenen bu süre, EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini göstermektedir. Carvalho ve ark.'nın (266) çalışması, 3 dakikalık şelasyon süresinin smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırdığını ve kök kanal patlarının bağlanma dayanımını, olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Afshan ve ark. (123), %1 fitik asit ve %17 EDTA'nın 1, 3 ve 5 dakikalık sürelerdeki erozyon etkisini değerlendirmiş ve 3 dakikalık uygulama sonucunda, orta düzeyde erozyon gözlemlediklerini rapor etmişlerdir. Bu süre, literatürdeki benzer metodolojilere sahip çalışmalarla (327,328) uyumlu olup, sonuçların karşılaştırılabilirliğini artırmaktadır.

Tüm kök kanal dolgu materyalleri grubunda, kullanılan şelasyon ajanları (EDTA, fitik asit, perasetik asit), kök kanal dolgu materyalinin bağlanma dayanımını distile su (kontrol) grubuna göre anlamlı olarak artırmıştır. Dentin yüzeyinin distile su ile irrig edildiği örnekler, muhtemelen kanal preparasyonu sırasında oluşan smear tabakası ile kaplandığından, en düşük bağlantı değerlerini göstermiştir (294). Bu sonuçlar, smear tabakasının varlığının kök kanal dolgu materyallerinin bağlantısını olumsuz etkilediğini, kanal dolgu materyalleri ile dentin arasında bir arayüz oluşturarak dolgu materyallerinin dentinal tübüllere nüfuz etmesini engelleyebileceğini veya zorlaştırabileceğini doğrulamaktadır (12). Çalışmamızdan elde edilen veriler, kanal patının dentine olan itme bağlanma dayanımını inceleyen daha önceki çalışmaların sonuçlarıyla tutarlılık

göstermektedir. Nunes ve ark.'nın gerçekleştirdiği bir çalışmada (329), NaOCl ve sonrasında EDTA ile muamele edilen dentin yüzeyine AH Plus'ın bağlanma dayanımı, yalnızca NaOCl veya distile su uygulanan örneklerle göre daha yüksek olarak rapor edilmiştir. Gaddala ve ark.'nın çalışmasında da (294), AH Plus kullanılarak gerçekleştirilen itme bağlanma dayanımı testlerinde, %0.5 konsantrasyondaki perasetik asit solüsyonuna tabi tutulan örneklerin, son irrigasyon işlemi distile su ile yapılan örneklerle kıyasla daha yüksek bağlanma dayanımı değerleri gösterdiği bildirilmiştir.

Kullanılan irrigasyon solüsyonlarının, dentindeki mineralleri uzaklaştırma ve dentin duvarlarını temizleme etkisi rezin içerikli kanal dolgu materyallerinin bağlanma dayanımını artırmada etkilidir (330). Çalışmamızda, EDTA'nın AH Plus kanal patının bağlanma dayanımı üzerinde diğer şelasyon ajanlarına göre üstün bir etkinlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu üstünlük, fitik aside kıyasla $p<0.01$ düzeyinde ve perasetik aside kıyasla $p<0.001$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. EDTA, dentin duvarlarının yüzey enerjisini düşürüp ıslanabilirliğini azaltarak, hidrofobik yapıya sahip rezin içerikli AH Plus'ın bağlanmasını artırmış olabilir (296). Bunun yanı sıra, EDTA'nın smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırması, intertübüler ve peritübüler dentini demineralize etmesi sonucunda dentin tübülleri ve kollajen ağ açığa çıkmaktadır (331). Bu durum, AH Plus'ın mikromekanik retansiyonunun güçlenmesine katkıda bulunmuş olabilir (213,332). Çalışmanın bulguları, EDTA içeren irrigasyon protokolleri kullanıldığında AH Plus'ın dentine yüksek bağlanma dayanımı değerlerine sahip olduğunu gösteren çalışmalarla uyumludur (12,158,333).

AH Plus örneklerinde EDTA'nın fitik aside göre daha yüksek bağlantı değerleri sergilemesi, EDTA'nın yüzey geriliminin, fitik asidin yüksek yüzey gerilimine kıyasla önemli ölçüde daha düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir (334). Bir tez çalışmasında, fitik asit ve EDTA'nın AH Plus'ın bağlanma dayanımına etkisi incelenmiş; fitik asidin şelasyon ajanı olarak kullanıldığı grupların itme bağlanma dayanımı değerlerinin, EDTA'nın kullanıldığı gruplara göre istatistiksel olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir (29). Nassar ve ark.'nın bir araştırmasında (13) da fitik asit ve EDTA'nın smear tabakasını tümüyle elimine ettiği bildirilmiş, özellikle %1 fitik asit uygulanan örneklerde daha temiz yüzeyler tespit edilmiştir. Bu bulgular arasındaki farklılıklar, çalışmalarda metodolojik değişikliklerden kaynaklanabilir. Örneğin, Arslan (29) tez çalışmasında irrigasyon solüsyonlarını aktive etmiş, kök kanallarını kanal dolgu patları ve güta perka ile termoplastik

enjeksiyon yöntemiyle doldurmuş ve itme bağlanma dayanımı testini ana kök kanalında uygulamıştır. Nassar ve ark. (335) ise çalışmalarında fitik asit ve EDTA için farklı irrigasyon süreleri kullanmıştır.

AH Plus örneklerinde, perasetik asidin daha düşük bağlanma dayanımı değerleri göstermesi, solüsyonun yüksek asidik pH'ı sebebiyle kalsiyumun fazla uzaklaştırılmasına yol açarak bağlanma dayanımını olumsuz etkileyebileceğini düşündürmektedir (336). Verma ve ark.'nın çalışmasında (337), AH Plus kanal patı grubunda perasetik asitin EDTA'ya göre daha düşük bağlanma değerleri sergilemesi, mevcut çalışmamızın bulgularını destekler niteliktedir. Literatürdeki benzer çalışmaları incelediğimizde bizim bulgularımızla farklı sonuçlarla da karşılaşmaktayız. Bir araştırmada (28), %1 konsantrasyondaki perasetik asit ile NaOCl-EDTA-NaOCl protokolünün AH Plus'ın bağlanma dayanımı üzerinde benzer bir etkinlik gösterdiği rapor edilmiştir. Bu bulgular arasındaki farklılıklar, kullanılan irrigasyon protokollerinin süre ve sırasındaki farklılıklardan ya da örneklerin hazırlanma yöntemlerindeki değişikliklerden kaynaklanıyor olabilir.

BioRoot RCS'nin bağlanma dayanımıyla ilgili elde edilen bulgular incelendiğinde, en yüksek bağlanma dayanımı EDTA grubunda görülmektedir. Bu değer perasetik asit grubuna göre anlamlı iken ($p < 0.05$), fitik asit grubu ile benzer ($p > 0.05$) bağlanma dayanımı sonuçları göstermiştir. EDTA'nın, smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırıp dentin tübüllerini genişleterek, BioRoot RCS kök kanal patının dentine bağlanma mekanizmasını önemli ölçüde geliştirdiği ve böylece kök kanal dolgusunun mikromekanik retansiyonunu artırdığı söylenebilir (9). EDTA ve fitik asit grupları arasında anlamlı fark bulunmaması, fitik asidin de smear tabakasını etkili biçimde uzaklaştırabilmesiyle ilişkilendirilebilir (13). Ayrıca fitik asidin kollajen ağlarıyla çapraz bağlanma özelliği de (124), BioRoot RCS'in bağlanma dayanımında EDTA benzeri etki oluşturmamasını sağlamış olabilir. Perasetik asidin daha düşük bağlanma dayanımı değerleri sergilemesi, %17 EDTA'dan daha zayıf bir şelasyon ajanı olmasıyla ilişkilendirilebilir (26). Srivastava ve ark.'nın (271) çalışmasında da bulgularımızla uyumlu olarak, EDTA'nın BioRoot RCS kanal patının bağlanma dayanımını artırdığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, çalışmamızın bulguları, Agarwal ve ark.'nın (26) EDTA grubunda daha düşük, perasetik asit grubunda ise daha yüksek bağlanma dayanımı bildirdikleri sonuçlarla çelişmektedir. Bu farklılıklar, irrigasyon protokollerinin uygulama süreleri, pH, sıcaklık ve hacim gibi metodolojik değişkenlerden, örneklerin

hazırlanması ve test edilmesi sırasında oluşabilecek koşullardan veya dentin örneklerinin anatomik konumlarındaki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir.

Bu çalışmada, GuttaFlow Bioseal grubunda kullanılan şelasyon ajanları (EDTA, fitik asit ve perasetik asit) arasında, kök kanal dolgu materyalinin bağlanma dayanımı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir ($p>0.05$). Şelasyon ajanları arasında anlamlı bir fark gözlenmemesi, silikon içerikli GuttaFlow Bioseal'in farklı şelasyon ajanlarından benzer şekilde etkilendiğini düşündürmektedir. GuttaFlow Bioseal'in silikon ve gütta perka içeriği de bu durumun oluşmasında etkili olmuş olabilir (209,338). Göktürk ve ark.'nın çalışmasında (27) da EDTA ve perasetik asit uygulaması GuttaFlow Bioseal kanal patının bağlanma dayanımını benzer şekilde etkilemiştir.

Kök kanal patlarının bağlanma dayanımları değerlendirildiğinde, tüm irrigasyon solüsyonu gruplarında (EDTA, fitik asit, perasetik asit, distile su) bağlanma dayanımının en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, tüm kanal patları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p<0.001$). Çalışmamızın sonuçları, AH Plus'ın genel olarak en yüksek bağlanma dayanımı değerlerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumun, AH Plus'ın epoksi rezin içerikli bir kanal dolgu materyali olması ve epoksi halkasının açılmasıyla kök dentin kollajenindeki amino gruplarıyla kovalent bağlar oluşturması sonucunda, dentin dokusuna daha güçlü bir bağlanma sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (260,339). Buna karşın, kalsiyum silikat içerikli materyallerin (BioRoot RCS) kök kanal duvarıyla oluşturduğu mikromekanik etkileşim, mikrotagler ve mineral infiltrasyon bölgesi aracılığıyla sağlanan kimyasal bağlantı yoluyla gerçekleşmekte olup, bu etkileşimler epoksi rezin türevleri kadar güçlü bir bağlanma sağlamamaktadır (340). GuttaFlow Bioseal gruplarında en düşük bağlanma dayanımının gözlenmesi ise, bu materyalin yapısında bulunan silikon ve gütta perka partiküllerinin varlığı ile açıklanabilir. Literatürde silikon ve gütta perkanın dentin yüzeyinde etkili bir bağlanma sağlamadığı rapor edilmiştir (338,341). Dolayısıyla, GuttaFlow Bioseal'in dentin dokusuna bağlanma dayanımı, diğer kanal patlarına kıyasla düşük kalmaktadır. Donnermeyer ve ark. (25), çeşitli solüsyonların (%3 NaOCl, %2 CHX, %17 EDTA, %20 sitrik asit ve %0.9 NaCl), AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow 2'nin itme bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre AH Plus'ın, BioRoot RCS ve GuttaFlow 2'ye göre anlamlı olarak daha yüksek itme bağlanma değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Khalil ve Mahdee'nin

çalışmasında (342) da kök kanalının koronal, orta ve apikal bölgesinden alınan dentin kesitlerinde AH Plus, GuttaFlow Bioseal'e kıyasla anlamlı şekilde daha yüksek itme bağlanma dayanımı değerleri gösterdiği rapor edilmiştir.

İrrigasyon solüsyonundan bağımsız olarak, AH Plus kanal patının baskın şekilde koheziv başarısızlık sergilediği tespit edilmiştir. Çalışmamızda solüsyonlara göre başarısızlık tipleri incelendiğinde, EDTA grubunda farklı başarısızlık tiplerinin dengeli bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Buna karşın, diğer irrigasyon solüsyonlarının kullanıldığı gruplarda koheziv başarısızlık tipinin baskın olduğu dikkat çekmektedir. Bu gözlemlenen baskın koheziv başarısızlık tipi, AH Plus'ın dentin yüzeyi ile oluşturduğu bağlantının, materyalin içindeki kuvvetlerden daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki önceki araştırmalarla uyumluluk göstermektedir (343,344). Literatürde, Eldeniz ve ark. (345), AH Plus kanal patının bağlanma başarısızlık tipini incelemiş ve smear tabakasının varlığı ya da yokluğundan bağımsız olarak, başarısızlığın genellikle pat materyalinin kendi içinde (koheziv) gerçekleştiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, Gesi ve ark.'nın (346) çalışması da gütta perka/AH Plus kombinasyonu ile doldurulan kök kanallarında başarısızlığın çoğunlukla dolgu materyalinin içinde meydana geldiğini ortaya koymuştur.

BioRoot RCS kanal patı grubunda, irrigasyon grubundan bağımsız olarak koheziv tip başarısızlık, açık ara en yaygın görülen başarısızlık tipi olmuştur. Tüm şelasyon ajanları ve distile su gruplarında koheziv tip başarısızlığın baskın olması, materyalin dentinle olan bağlantısının kendi içindeki bağlantıdan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Perasetik asit grubunda adeziv tip başarısızlığın gözlenmemesi, bu spesifik ajanın BioRoot RCS ile olumlu bir etkileşim gösterdiğini düşündürmektedir. Mevcut araştırmamızın bulguları, %1 perasetik asit ile irrigasyon uygulanan BioRoot RCS örneklerinde, koheziv tip başarısızlığın baskın olduğunu gözlemleyen Agarwal ve ark.'nın çalışmasıyla (26) paralellik göstermektedir. Ayrıca, araştırmamızda, EDTA'nın şelasyon ajanı olarak kullanıldığı grupta, koheziv ve karışık tip başarısızlık oranları sırasıyla %42.5 ve %40 olarak tespit edilmiş olup, bu değerler birbirine yakın bulunmuştur. Bu bulgular, Donnermeyer ve ark.'nın BioRoot RCS üzerine yaptıkları iki ayrı çalışmayla (25,305) benzerlik göstermektedir. Söz konusu araştırmalarda, BioRoot RCS grubunda EDTA ile irrigasyon sonucunda baskın olarak karışık tip başarısızlık gözlemlenmiştir.

GuttaFlow Bioseal örneklerinde, kullanılan irrigasyon solüsyonlarından bağımsız olarak %73.1 oranında adeziv tip başarısızlık baskın olmuştur. Tüm irrigasyon solüsyonlarında da baskın olan başarısızlık tipi, adeziv tip başarısızlık olmuştur. Bu, materyalin dentin yüzeyi ile olan bağlantısının kendi iç yapısal bütünlüğünden daha zayıf olduğunu işaret etmektedir. Göktürk ve ark.'nın araştırmasında (27) da %17 EDTA ve %2.25 perasetik asit ile irrigasyon yapılan GuttaFlow Bioseal grubunda en sık görülen başarısızlık tipinin adeziv tip olması, elde ettiğimiz bulgularla paralellik göstermektedir. Benzer şekilde, Kadı ve ark.'nın çalışmasında (347) da %17 EDTA ile irrigasyon sonrasında GuttaFlow Bioseal örneklerinde en sık gözlemlenen başarısızlık tipinin adeziv olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın temel limitasyonlarından biri bağlanma dayanımı değerlendirmelerinin yalnızca laboratuvar ortamında (in vitro) gerçekleştirilmiş olmasıdır. Bu tür deneysel yaklaşımlar, karşılaştırılabilir sonuçlar elde etme ve değişkenleri kontrol etme açısından avantajlı olmakla birlikte, klinik koşulları tam olarak yansıtamamaktadır (348). Metodolojik açıdan, çalışmada güta perka kullanılmadan yalnızca kanal patı ile dolun yapılması, sonuçların klinik gerçeklikten uzaklaşmasına neden olabileceği için bir sınırlılık olarak değerlendirilebilir. Gerçek klinik koşullarda, kanal patı genellikle güta perka ile birlikte kullanılır ve bu kombinasyonun bağlanma dayanımı üzerindeki etkisi, yalnızca kanal patı ile yapılan dolumlardan farklı olabilir. Bu durum, çalışmanın sonuçlarının klinik uygulamalara doğrudan genellenmesini zorlaştırmaktadır. Çalışmanın kök dentininin yalnızca koronal üçlü bölgeden alınan kesitlerle sınırlandırılmış olması, bir diğer metodolojik sınırlılık olarak değerlendirilebilir. Kanalin farklı bölgelerinde (örneğin, orta ve apikal üçlü) dentin yapısının, kanal anatomisinin ve kanal patının bağlanma özelliklerinin farklılık gösterebileceği bilinmektedir (349). Bu nedenle, yalnızca koronal üçlü bölgeyi kapsayan sonuçlar, tüm kök kanal sistemi için genellenebilirliği sınırlayabilir ve bağlanma dayanımı ile ilgili daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını engelleyebilir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmamızda elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur:

1. Tüm şelasyon ajanlarında, distile suya kıyasla bağlanma dayanımının artması, bu ajanların kök kanal patının bağlanma dayanımı özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir.
2. Elde edilen bulgular ışığında, AH Plus kanal patının bağlanma dayanımı açısından, EDTA'nın en etkili şelasyon ajanı olduğu ve klinik uygulamalarda tercih edilmesi gerektiği söylenebilir. Bununla birlikte, fitik asidin EDTA kıyasla daha düşük bağlanma değerleri göstermesine rağmen alternatif olarak kullanılabileceği, ancak perasetik asidin bağlanma dayanımı açısından daha düşük performans sergilediği göz önünde bulundurulmalıdır.
3. BioRoot RCS kök kanal patı için EDTA ve fitik asit, bağlanma dayanımını artırmak için en etkili şelasyon ajanları olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, perasetik asit de fitik aside alternatif olarak düşünülebilir.
4. GuttaFlow Bioseal kullanılan vakalarda, EDTA, fitik asit veya perasetik asit gibi şelasyon ajanları bağlanma dayanımını artırabilir; ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.
5. Kanal patı tipine göre bağlanma dayanımı, kullanılan irrigasyon solüsyonundan bağımsız olarak AH Plus, BioRoot RCS ve GuttaFlow Bioseal sıralamasıyla azalmaktadır.
6. Gelecek çalışmalarda, bu şelasyon ajanlarının uzun dönem klinik etkinliğini değerlendirmek ve farklı kök kanal dolgu materyalleri ile etkileşimlerini incelemek faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes Of Nonsurgical Retreatment And Endodontic Surgery: A Systematic Review. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):930–7.
2. Vemuri S, Kolanu S, Varri S, Pabbati R, Penumaka R, Bolla N. Effect Of Different Final Irrigating Solutions On Smear Layer Removal In Apical Third Of Root Canal: A Scanning Electron Microscope Study. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2016;19(1):87.
3. Bodrumlu E, Parlak E, Bodrumlu Eh. The Effect Of Irrigation Solutions On The Apical Sealing Ability In Different Root Canal Sealers. *Braz Oral Res.* 2010 Jun;24(2):165–9.
4. White Rr, Goldman M, Lin Ps. The Influence Of The Smeared Layer Upon Dentinal Tubule Penetration By Plastic Filling Materials. *J Endod.* 1984 Dec;10(12):558–62.
5. Mader Cl, Baumgartner Jc, Peters Dd. Scanning Electron Microscopic Investigation Of The Smeared Layer On Root Canal Walls. *J Endod.* 1984 Oct;10(10):477–83.
6. White Rr, Goldman M, Lin Ps. The Influence Of The Smeared Layer Upon Dentinal Tubule Penetration By Endodontic Filling Materials. Part Ii. *J Endod.* 1987 Aug;13(8):369–74.
7. Lester Ks, Boyde A. Scanning Electron Microscopy Of Instrumented, Irrigated And Filled Root Canals. *Br Dent J.* 1977 Dec 6;143(11):359–67.
8. Torabinejad M, Handysides R, Khademi Aa, Bakland Lk. Clinical Implications Of The Smear Layer In Endodontics: A Review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology.* 2002 Dec;94(6):658–66.
9. Sayin Tc, Serper A, Cehreli Zc, Kalayci S. Calcium Loss From Root Canal Dentin Following Edta, Egta, Edtac, And Tetracycline-Hcl Treatment With Or Without Subsequent Naocl Irrigation. *J Endod.* 2007 May;33(5):581–4.
10. Violich Dr, Chandler Np. The Smear Layer In Endodontics – A Review. *Int Endod J.* 2010 Jan 7;43(1):2–15.
11. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod.* 2006 May;32(5):389–98.
12. Aranda-Garcia Aj, Kuga Mc, Vitorino Kr, Chávez-Andrade Gm, Hungaro Duarte Ma, Bonetti-Filho I, Et Al. Effect Of The Root Canal Final Rinse Protocols On The Debris And Smear Layer Removal And On The Push-Out Strength Of An Epoxy-Based Sealer. *Microsc Res Tech.* 2013 May 26;76(5):533–7.
13. Nassar M, Hiraishi N, Tamura Y, Otsuki M, Aoki K, Tagami J. Phytic Acid: An Alternative Root Canal Chelating Agent. *J Endod.* 2015 Feb;41(2):242–7.

14. Lalrin Muana H, Hiraishi N, Nakajima M, Kong K, Tagami J. Effect Of The Dentin Chelating Agents Phytic Acid And Edta On Degree Of Conversion, Microhardness, And Bond Strength Of Chemical-Curing Self-Adhesive Cements. *J Adhes Dent*. 2019;21(4):299–306.
15. Puvvada S, Latha Professor P, Selvan Ak, Saketh Puvvada Post Graduate C, Latha P. Comparative Assessment Of Chelating And Antimicrobial Efficacy Of Phytic Acid Alone And In Combination With Other Irrigants. ~ 19 ~ *International Journal Of Applied Dental Sciences*. 2017;3(2):19–22.
16. De-Deus G, Souza Em, Marins Jr, Reis C, Paciornik S, Zehnder M. Smear Layer Dissolution By Peracetic Acid Of Low Concentration. *Int Endod J*. 2011 Jun;44(6):485–90.
17. Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M. Effects Of Ethylenediaminetetraacetic, Etidronic And Peracetic Acid Irrigation On Human Root Dentine And The Smear Layer. *Int Endod J*. 2009 Apr 11;42(4):335–43.
18. Cord Cb, Velasco Rvc, Ribeiro Melo Lima Lf, Rocha Dgp, Da Silveira Bueno Ce, Pinheiro Sl. Effective Analysis Of The Use Of Peracetic Acid After Instrumentation Of Root Canals Contaminated With *Enterococcus Faecalis*. *J Endod*. 2014 Aug;40(8):1145–8.
19. Al-Haddad A, Che Ab Aziz Za. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater*. 2016;2016:1–10.
20. Viapiana R, Moinzadeh At, Camilleri L, Wesselink Pr, Tanomaru Filho M, Camilleri J. Porosity And Sealing Ability Of Root Fillings With Gutta-Percha And Bioroot Rcs Or Ah Plus Sealers. Evaluation By Three Ex Vivo Methods. *Int Endod J*. 2016 Aug 22;49(8):774–82.
21. Brackett M, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg F, Tay F, Et Al. Comparison Of Seal After Obturation Techniques Using A Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Sealer. *J Endod*. 2006 Dec;32(12):1188–90.
22. Elayouti A, Achleithner C, Löst C, Weiger R. Homogeneity And Adaptation Of A New Gutta-Percha Paste To Root Canal Walls. *J Endod*. 2005 Sep;31(9):687–90.
23. Gandolfi Mg, Siboni F, Prati C. Properties Of A Novel Polysiloxane-Guttapercha Calcium Silicate-Bioglass-Containing Root Canal Sealer. *Dental Materials*. 2016 May;32(5):E113–26.
24. Donnermeyer D, Dornseifer P, Schäfer E, Dammaschke T. The Push-Out Bond Strength Of Calcium Silicate-Based Endodontic Sealers. *Head Face Med*. 2018 Dec 20;14(1):13.
25. Donnermeyer D, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E, Dammaschke T. Influence Of The Final Irrigation Solution On The Push-Out Bond Strength Of Calcium Silicate-Based, Epoxy

Resin-Based And Silicone-Based Endodontic Sealers. *Odontology*. 2019 Apr 1;107(2):231–6.

26. Agarwal S, Raghu R, Shetty A, Gautham P, Souparnika D. An İn Vitro Comparative Evaluation Of The Effect Of Three Endodontic Chelating Agents (17% Ethylenediamine Tetraacetic Acid, 1% Peracetic Acid, 0.2% Chitosan) On The Push Out Bond Strength Of Gutta Percha With A New Bioceramic Sealer (Bioroot Rcs). *Journal Of Conservative Dentistry*. 2019;22(5):475.
27. Gokturk H, Ozkocak I, Buyukgebiz F. Effect Of Different Chelating Agents On The Bond Strength Of A Silicone-Based Root Canal Sealer To Root Dentin. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2020;23(2):158.
28. Keine Kc, Kuga Mc, Tormın Fbc, Venção Ac, Duarte Mah, Chávez-Andrade Gm, Et Al. Effect Of Peracetic Acid Used As Single İrrigant On The Smear Layer, Adhesion, And Penetrability Of Ah Plus. *Braz Oral Res*. 2019;33.
29. Arslan E. Farklı İrrigasyon Teknikleriyle Kullanılan Fitik Asitin Epoksi Rezin Ve Kalsiyum Silikat Esaslı Kök Kanal Dolgu Materyallerinin Kök Kanalına Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisi. [Ankara]: Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi; 2018.
30. Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers Ab, Götz H, Et Al. Efficacy Of Naocl/H2o2 İrrigation And Gaalas Laser İn Decontamination Of Root Canals İn Vitro. *Lasers Surg Med*. 2003 Mar 25;32(3):189–96.
31. Assiry Aa, Karobari Mı, Lin Gss, Batul R, Snigdha Nt, Luke Am, Et Al. Microstructural And Elemental Characterization Of Root Canal Sealers Using Ftır, Sem, And Eds Analysis. *Applied Sciences*. 2023 Apr 2;13(7):4517.
32. Lin Lm, Skribner Je, Gaengler P. Factors Associated With Endodontic Treatment Failures. *J Endod*. 1992 Dec;18(12):625–7.
33. Schilder H. Cleaning And Shaping The Root Canal. *Dent Clin North Am*. 1974 Apr;18(2):269–96.
34. Ruddle C. Cleaning And Shaping The Root Canal System. Cohen S Br, Editor. *Pathways Of The Pulp*, 8th Edn. St Louis, Mo: Mosby; 2002. 231–292 P.
35. Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil Jm. Eradication Of Endodontic İnfection By Instrumentation And İrrigation Solutions. *Endod Topics*. 2005 Mar 18;10(1):77–102.
36. Hülsmann M, Peters Oa, Dummer Pmh. Mechanical Preparation Of Root Canals: Shaping Goals, Techniques And Means. *Endod Topics*. 2005 Mar 18;10(1):30–76.
37. Chhabra N, Gyanani H, Kamatagi L. Smear Layer Removal Efficacy Of Combination Of Herbal Extracts İn Two Different Ratios Either Alone Or Supplemented With Sonic

- Agitation: An In Vitro Scanning Electron Microscope Study. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2015;18(5):374.
38. Cameron Ja. The Use Of 4 Per Cent Sodium Hypochlorite, With Or Without Ultrasound, In Cleansing Of Uninstrumented Immature Root Canals; Sem Study. *Aust Dent J*. 1987 Jun 22;32(3):204–13.
 39. Paqué F, Ganahl D, Peters Oa. Effects Of Root Canal Preparation On Apical Geometry Assessed By Micro-Computed Tomography. *J Endod*. 2009 Jul;35(7):1056–9.
 40. Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F. The Quality Of Root Canal Preparation And Root Canal Obturation In Canals Treated With Rotary Versus Self-Adjusting Files: A Three-Dimensional Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod*. 2010 Sep;36(9):1569–73.
 41. Peters O, Laib A, Gohring T, Barbakow F. Changes In Root Canal Geometry After Preparation Assessed By High-Resolution Computed Tomography. *J Endod*. 2001 Jan;27(1):1–6.
 42. Vertucci Fj. Root Canal Anatomy Of The Human Permanent Teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1984 Nov;58(5):589–99.
 43. Skidmore Ae, Bjorndal Am. Root Canal Morphology Of The Human Mandibular First Molar. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1971 Nov;32(5):778–84.
 44. Ardila Cn, Wu M, Wesselink Pr. Percentage Of Filled Canal Area In Mandibular Molars After Conventional Root-Canal Instrumentation And After A Noninstrumentation Technique (Nit). *Int Endod J*. 2003 Sep 2;36(9):591–8.
 45. Wollard Rr, Brough So, Maggio J, Seltzer S. Scanning Electron Microscopic Examination Of Root Canal Filling Materials. *J Endod*. 1976 Apr;2(4):98–110.
 46. Wu M, De Schwartz Fbc, Van Der Sluis Lwm, Wesselink Pr. The Quality Of Root Fillings Remaining In Mandibular Incisors After Root-End Cavity Preparation. *Int Endod J*. 2001 Dec 21;34(8):613–9.
 47. Naidorf Ij. Clinical Microbiology In Endodontics. *Dent Clin North Am*. 1974 Apr;18(2):329–44.
 48. Versümer J, Hülsmann M, Schäfers F. A Comparative Study Of Root Canal Preparation Using Profile .04 And Lightspeed Rotary Ni–Ti Instruments. *Int Endod J*. 2002 Jan 25;35(1):37–46.
 49. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y. Effects Of Mechanical And Chemical Procedures On Root Canal Surfaces. *Endod Topics*. 2005 Mar 18;10(1):103–22.
 50. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation In Endodontics. *Br Dent J*. 2014 Mar 21;216(6):299–303.

51. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation In Endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010 Apr;54(2):291–312.
52. Kim Sw, Shin Dh. Antibacterial Effect Of Urushiol On *E. Faecalis* As A Root Canal Irrigant. *Restor Dent Endod.* 2017;42(1):54.
53. Widjiastuti I, Rudyanto D, Yuanita T, Bramantoro T, Widodo Wa. Cleaning Efficacy Of Root Canal Irrigation With Positive And Negative Pressure System. *Iran Endod J.* 2018 Jun 1;13(3):398–402.
54. Siqueirajr J, Rocas I, Santos S, Lima K, Magalhaes F, Deuzeda M. Efficacy Of Instrumentation Techniques And Irrigation Regimens In Reducing The Bacterial Population Within Root Canals. *J Endod.* 2002 Mar;28(3):181–4.
55. Dotto L, Sarkis Onofre R, Bacchi A, Rocha Pereira Gk. Effect Of Root Canal Irrigants On The Mechanical Properties Of Endodontically Treated Teeth: A Scoping Review. *J Endod.* 2020 May;46(5):596-604.E3.
56. Pascon Fm, Kantovitz Kr, Sacramento Pa, Nobre-Dos-Santos M, Puppini-Rontani Rm. Effect Of Sodium Hypochlorite On Dentine Mechanical Properties. A Review. *J Dent.* 2009 Dec;37(12):903–8.
57. Basrani B, Haapasalo M. Update On Endodontic Irrigating Solutions. *Endod Topics.* 2012 Sep 26;27(1):74–102.
58. Yamada Rs, Armas A, Goldman M, Lin Ps. A Scanning Electron Microscopic Comparison Of A High Volume Final Flush With Several Irrigating Solutions: Part 3. *J Endod.* 1983 Apr;9(4):137–42.
59. Alaçam T. Kök Kanallarının İrrigasyonu. 1st Ed. Vol. 1. Ankara: Fakülteler Kitabevi; 2000.
60. Boutsoukis C, Arias-Moliz Mt. Present Status And Future Directions – Irrigants And Irrigation Methods. *Int Endod J.* 2022 May 6;55(S3):588–612.
61. Dakin Hd. On The Use Of Certain Antiseptic Substances In The Treatment Of Infected Wounds. *Bmj.* 1915 Aug 28;2(2852):318–20.
62. Basrani B. Endodontic Irrigation. Basrani B, Editor. Cham: Springer International Publishing; 2015.
63. Willershausen I, Wolf Tg, Schmidtmann I, Berger C, Ehlers V, Willershausen B, Et Al. Survey Of Root Canal Irrigating Solutions Used In Dental Practices Within Germany. *Int Endod J.* 2015 Jul 16;48(7):654–60.
64. Estrela C, Estrela Cra, Barbin El, Spanó Jce, Marchesan Ma, Pécora Jd. Mechanism Of Action Of Sodium Hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113–7.

65. Grossman LI. Irrigation Of Root Canals. The Journal Of The American Dental Association. 1943;30(23):1915–7.
66. Spangberg L, Engström B, Langeland K. Biologic Effects Of Dental Materials. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. 1973 Dec;36(6):856–71.
67. Siqueirajr J, Rocas I, Favieri A, Lima K. Chemomechanical Reduction Of The Bacterial Population In The Root Canal After Instrumentation And Irrigation With 1%, 2.5%, And 5.25% Sodium Hypochlorite. J Endod. 2000 Jun;26(6):331–4.
68. Moorer WR, Wesselink PR. Factors Promoting The Tissue Dissolving Capability Of Sodium Hypochlorite. Int Endod J. 1982 Oct 25;15(4):187–96.
69. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The Effects Of Temperature On Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, And Antimicrobial Efficacy. J Endod. 2005 Sep;31(9):669–71.
70. Önçag Ö, Hoşgör M, Hilmioglu S, Zekioglu O, Eronat C, Burhanoglu D. Comparison Of Antibacterial And Toxic Effects Of Various Root Canal Irrigants. Int Endod J. 2003 Jun 11;36(6):423–32.
71. Verma N, Sangwan P, Tewari S, Duhan J. Effect Of Different Concentrations Of Sodium Hypochlorite On Outcome Of Primary Root Canal Treatment: A Randomized Controlled Trial. J Endod. 2019 Apr;45(4):357–63.
72. Austin JH, Taylor HD. Behavior Of Hypochlorite And Of Chloramine-T Solutions In Contact With Necrotic And Normal Tissues In Vivo. Journal Of Experimental Medicine. 1918 May 1;27(5):627–33.
73. Fraiss S, Ng Y, Gulabivala K. Some Factors Affecting The Concentration Of Available Chlorine In Commercial Sources Of Sodium Hypochlorite. Int Endod J. 2001 Apr 7;34(3):206–15.
74. Duncan HF. Present Status And Future Directions—Vital Pulp Treatment And Pulp Preservation Strategies. Int Endod J. 2022 May 3;55(S3):497–511.
75. Ballal NV, Duncan HF, Wiedemeier DB, Rai N, Jalan P, Bhat V, Et Al. Mmp-9 Levels And NaOCl Lavage In Randomized Trial On Direct Pulp Capping. J Dent Res. 2022 Apr 27;101(4):414–9.
76. Ballal NV, Duncan HF, Rai N, Jalan P, Zehnder M. Sodium Hypochlorite Reduces Postoperative Discomfort And Painful Early Failure After Carious Exposure And Direct Pulp Capping—Initial Findings Of A Randomized Controlled Trial. J Clin Med. 2020 Jul 28;9(8):2408.

77. Ballal N V., Das S, Rao Bss, Zehnder M, Mohn D. Chemical, Cytotoxic And Genotoxic Analysis Of Etidronate In Sodium Hypochlorite Solution. *Int Endod J*. 2019 Aug 21;52(8):1228–34.
78. Sismanoglu S, Ercal P. The Cytotoxic Effects Of Various Endodontic Irrigants On The Viability Of Dental Mesenchymal Stem Cells. *Australian Endodontic Journal*. 2022 Aug 29;48(2):305–12.
79. Liu S, Zhai H, Fu S, Cui C, Xu J, Jiang J, Et Al. Evaluation Of The Cytotoxic Effects Of Sodium Hypochlorite On Human Dental Stem Cells. *Tropical Journal Of Pharmaceutical Research*. 2019 Mar 14;17(12):2375.
80. Cai C, Chen X, Li Y, Jiang Q. Advances In The Role Of Sodium Hypochlorite Irrigant In Chemical Preparation Of Root Canal Treatment. *Biomed Res Int*. 2023 Jan 13;2023:1–17.
81. McComb D, Smith Dc, Beagrie Gs. The Results Of In Vivo Endodontic Chemomechanical Instrumentation — A Scanning Electron Microscopic Study. *Int Endod J*. 1976 Jan 25;9(1):11–8.
82. Mohammadi Z. Sodium Hypochlorite In Endodontics: An Update Review. *Int Dent J*. 2008 Dec;58(6):329–41.
83. Calt S, Serper A. Time-Dependent Effects Of Edta On Dentin Structures. *J Endod*. 2002 Jan;28(1):17–9.
84. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation In Root Canal Therapy Reconsidered. *J Endod*. 2005 Nov;31(11):817–20.
85. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions Of Ethylenediamine Tetraacetic Acid With Sodium Hypochlorite In Aqueous Solutions. *Int Endod J*. 2003 Jun 11;36(6):411–5.
86. Nikaido T, Takano Y, Sasafuchi Y, Burrow Mf, Tagami J. Bond Strengths To Endodontically-Treated Teeth. *Am J Dent*. 1999 Aug;12(4):177–80.
87. Hsiu Wr, Lee Hl, Hsu Yc, Chiu Hc, Wang Yb, Chuang Cc. The Effect Of Dentin Surface Treatment With Disinfectant On The Shear Bonding Strength Of Luting Cements. *J Dent Sci*. 2022 Apr;17(2):958–64.
88. Nikiforuk G, Sreebny L. Demineralization Of Hard Tissues By Organic Chelating Agents At Neutral Ph. *J Dent Res*. 1953 Dec 9;32(6):859–67.
89. Hahn Fl, Reygadas F. Demineralization Of Hard Tissues. *Science* (1979). 1951 Nov 2;114(2966):462–3.
90. Nygaard-Østby B. Chelation In Root Canal Therapy: Ethylenediaminetetraacetic Acid For Cleansing And Widening Of Root Canals. *Odontologisk Tidskrift*. 1957;65:3–11.

91. Tartari T, Guimarães Bm, Amoras Ls, Duarte Mah, Silva E Souza Par, Bramante Cm. Etidronate Causes Minimal Changes In The Ability Of Sodium Hypochlorite To Dissolve Organic Matter. *Int Endod J*. 2015 Apr 5;48(4):399–404.
92. Clarkson Rm, Podlich Hm, Moule Aj. Influence Of Ethylenediaminetetraacetic Acid On The Active Chlorine Content Of Sodium Hypochlorite Solutions When Mixed In Various Proportions. *J Endod*. 2011 Apr;37(4):538–43.
93. Şen Bh, Wesselink Pr, Türkün M. The Smear Layer: A Phenomenon In Root Canal Therapy. *Int Endod J*. 1995 May 25;28(3):141–8.
94. Venkateshbabu N, Arathi G, Roohi R, Anand S, Kandaswamy D. Effects Of Various Final Irrigants On The Shear Bond Strength Of Resin-Based Sealer To Dentin. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2011;14(1):40.
95. Von Der Fehr Fr, Östby Bn. Effect Of Edtac And Sulfuric Acid On Root Canal Dentine. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1963 Feb;16(2):199–205.
96. Brännström M. Smear Layer: Pathological And Treatment Considerations. *Oper Dent Suppl*. 1984;3:35–42.
97. Wennber A, Níom Dø. Adhesion Of Root Canal Sealers To Bovine Dentine And Gutta-Percha. *Int Endod J*. 1990 Jan 25;23(1):13–9.
98. Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi Jm, Holz J. The Influence Of The Smear Layer On The Sealing Ability Of Canal Obturation. *Int Endod J*. 1987 Sep 25;20(5):228–32.
99. Patterson Ss. In Vivo And In Vitro Studies Of The Effect Of The Disodium Salt Of Ethylenediamine Tetra-Acetate On Human Dentine And Its Endodontic Implications. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1963 Jan;16(1):83–103.
100. Kotula R, Bordácová J. [The Effect Of Ethylenediaminetetraacetic Acid On The Oral Microflora]. *Dtsch Stomatol*. 1969 Aug;19(8):575–81.
101. Arias-Moliz Mt, Ordinola-Zapata R, Baca P, Ruiz-Linares M, García García E, Hungaro Duarte Ma, Et Al. Antimicrobial Activity Of Chlorhexidine, Peracetic Acid And Sodium Hypochlorite/Etidronate Irrigant Solutions Against *Enterococcus Faecalis* Biofilms. *Int Endod J*. 2015 Dec 8;48(12):1188–93.
102. Villalta-Briones N, Baca P, Bravo M, Solana C, Aguado-Pérez B, Ruiz-Linares M, Et Al. A Laboratory Study Of Root Canal And Isthmus Disinfection In Extracted Teeth Using Various Activation Methods With A Mixture Of Sodium Hypochlorite And Etidronic Acid. *Int Endod J*. 2021 Feb 19;54(2):268–78.
103. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical Evaluation Of The Efficacy Of Edta Solution As An Endodontic Irrigant. *J Endod*. 1995 Dec;21(12):592–3.

104. Arias-Moliz Mt, Ferrer-Luque Cm, Espigares-Rodríguez E, Liébana-Ureña J, Espigares-García M. Bactericidal Activity Of Phosphoric Acid, Citric Acid, And Edta Solutions Against *Enterococcus Faecalis*. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology*. 2008 Aug;106(2):E84–9.
105. Calt S, Serper A. Time-Dependent Effects Of Edta On Dentin Structures. *J Endod*. 2002 Jan;28(1):17–9.
106. Saito K, Webb Td, Imamura Gm, Goodell Gg. Effect Of Shortened Irrigation Times With 17% Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid On Smear Layer Removal After Rotary Canal Instrumentation. *J Endod*. 2008 Aug;34(8):1011–4.
107. Şen Bh, Ertürk Ö, Pişkin B. The Effect Of Different Concentrations Of Edta On Instrumented Root Canal Walls. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology*. 2009 Oct;108(4):622–7.
108. De-Deus G, Paciornik S, Mauricio Mhp. Evaluation Of The Effect Of Edta, Edtac And Citric Acid On The Microhardness Of Root Dentine. *Int Endod J*. 2006 May 2;39(5):401–7.
109. Zeng Q, Nguyen S, Zhang H, Chebrolu Hp, Alzebedeh D, Badi Ma, Et Al. Release Of Growth Factors Into Root Canal By Irrigations In Regenerative Endodontics. *J Endod*. 2016 Dec;42(12):1760–6.
110. Meeprasert N, Jantararat J, Wichai W, Surarit R, Hargreaves Km. Effects Of Edta And Saline As The Final Irrigation In Regenerative Endodontic Procedures On The Migration, Proliferation, And Differentiation Of Human Stem Cells From The Apical Papilla. *Clin Oral Investig*. 2023 Feb 15;27(5):1973–80.
111. Wang Z, Maezono H, Shen Y, Haapasalo M. Evaluation Of Root Canal Dentin Erosion After Different Irrigation Methods Using Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy. *J Endod*. 2016 Dec;42(12):1834–9.
112. Mai S, Kim Yk, Arola Dd, Gu L Sha, Kim Jr, Pashley Dh, Et Al. Differential Aggressiveness Of Ethylenediamine Tetraacetic Acid In Causing Canal Wall Erosion In The Presence Of Sodium Hypochlorite. *J Dent*. 2010 Mar;38(3):201–6.
113. Segura Jj, Calvo Jr, Guerrero Jm, Sampedro C, Jimenez A, Llamas R. The Disodium Salt Of Edta Inhibits The Binding Of Vasoactive Intestinal Peptide To Macrophage Membranes: Endodontic Implications. *J Endod*. 1996 Jul;22(7):337–40.
114. Malheiros Cf, Marques Mm, Gavini G. In Vitro Evaluation Of The Cytotoxic Effects Of Acid Solutions Used As Canal Irrigants. *J Endod*. 2005 Oct;31(10):746–8.
115. Iupac-Iub (Commission On Biochemical Nomenclature). Nomenclature Of Phosphorus Containing Compounds Of Biochemical Importance. *Eur J Biochem*. 1977;79:1–9.

116. Loewus F. Biosynthesis Of Phytate In Food Grains And Seeds. In: Food Phytates. Crc Press; 2001. P. 53–61.
117. Cosgrove. The Chemistry And Biochemistry Of Inositol Phosphates. Rev Pure Appl Chem. 1966;16(4):209–24.
118. McClure Fj. The Cariostatic Effect In White Rats Of Phosphorus And Calcium Supplements Added To The Flour Of Bread Formulas And To Bread Diets. J Nutr. 1960 Oct;72(2):131–6.
119. Prosser Hj, Brant Pj, Scott Rp, Wilson Ad. The Cement-Forming Properties Of Phytic Acid. J Dent Res. 1983 May 8;62(5):598–600.
120. Graf E. Applications Of Phytic Acid. J Am Oil Chem Soc. 1983 Nov;60(11):1861–7.
121. Grenby Th. Phytates In Decalcification Tests In Vitro. Arch Oral Biol. 1967 Apr;12(4):531–7.
122. Nassar R, Nassar M, Vianna Me, Naidoo N, Alqutami F, Kaklamanos Eg, Et Al. Antimicrobial Activity Of Phytic Acid: An Emerging Agent In Endodontics. Front Cell Infect Microbiol. 2021 Oct 26;11.
123. Afshan Z. Erosive Potential Of 1% Phytic Acid On Radicular Dentine At Different Time Intervals. Eur Endod J. 2020 Mar 17;5(1):28-34.
124. Nassar M, Hiraishi N, Islam Mds, Aizawa M, Tamura Y, Otsuki M, Et Al. Effect Of Phytic Acid Used As Etchant On Bond Strength, Smear Layer, And Pulpal Cells. Eur J Oral Sci. 2013 Oct 20;121(5):482–7.
125. Dr. Saketh Puvvada, Dr. Prasanna Latha, Dr. Jayalakshmi Kb, Dr. Arul Selvan K. Comparative Assessment Of Chelating And Antimicrobial Efficacy Of Phytic Acid Alone And In Combination With Other Irrigants. International Journal Of Applied Dental Sciences. 2017;3(2):19–22.
126. Deniz Sungur D, Aksel H, Ozturk S, Yilmaz Z, Ulubayram K. Effect Of Dentine Conditioning With Phytic Acid Or Etidronic Acid On Growth Factor Release, Dental Pulp Stem Cell Migration And Viability. Int Endod J. 2019 Jun 18;52(6):838–46.
127. Pantoja Ca De Ms, Silva Dh Da, Soares A De J, Ferraz Ccr, Gomes Bpf De A, Zaia Aa, Et Al. Influence Of Ethanol On Dentin Roughness, Surface Free Energy, And Interaction Between Ah Plus And Root Dentin. Braz Oral Res. 2018 May 3;32(0).
128. Çalt S, Serper A. Dentinal Tubule Penetration Of Root Canal Sealers After Root Canal Dressing With Calcium Hydroxide. J Endod. 1999 Jun;25(6):431–3.
129. Atalay I, Erişen Fr. Evaluation Of The Effects Of Different Chelation Agents On Root Dentin Roughness. Australian Endodontic Journal. 2023 Sep 18;49(S1):71–8.

130. Eymirli A, Nagas E, Uyanik Mo, Cehreli Zc. Effect Of Laser-Activated Irrigation With Ethylene Diaminetetraacetic Acid And Phytic Acid On The Removal Of Calcium Hydroxide And Triple Antibiotic Paste From Root Dentin. *Photomed Laser Surg.* 2017 Jan;35(1):43–8.
131. Falakaloğlu S, Şen Bh, Yeniçeri Özata M, Tellioglu Avcı Gr, Akın Tartuk G. Efficacy Of Phytic Acid As An Endodontic Chelator On Removing Calcium Hydroxide From Root Canals: An In Vitro Study. *Turkiye Klinikleri Journal Of Dental Sciences.* 2022;28(4):846–51.
132. Kitis M. Disinfection Of Wastewater With Peracetic Acid: A Review. *Environ Int.* 2004 Mar;30(1):47–55.
133. Subha N, Prabhakar V, Koshy M, Abinaya K, Prabu M, Thangavelu L. Efficacy Of Peracetic Acid In Rapid Disinfection Of Resilon And Gutta-Percha Cones Compared With Sodium Hypochlorite, Chlorhexidine, And Povidone-Iodine. *J Endod.* 2013 Oct;39(10):1261–4.
134. Fernandes S, Tartari T, Bronzato J, Bramante C, Vivan R, Andrade F, Et Al. Use Of Peracetic Acid As Irrigating Agent In Endodontics. *Dental Press Endodontics.* 2015;5(2):56–60.
135. Chassot Alc, Poisl Mip, Samuel Smw. In Vivo And In Vitro Evaluation Of The Efficacy Of A Peracetic Acid-Based Disinfectant For Decontamination Of Acrylic Resins. *Braz Dent J.* 2006;17(2):117–21.
136. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft Tissue Dissolution Capacity Of Currently Used And Potential Endodontic Irrigants. *J Endod.* 2004 Nov;30(11):785–7.
137. Guerreiro-Tanomaru Jm, Morgental Rd, Faria-Junior Nb, Berbert Flcv, Tanomaru-Filho M. Antibacterial Effectiveness Of Peracetic Acid And Conventional Endodontic Irrigants. *Braz Dent J.* 2011;22(4):285–7.
138. Kühlfluck I, Klammt J. [Suitability Of Peracetic Acid For Root Canal Disinfection]. *Stomatol Ddr.* 1980 Aug;30(8):558–63.
139. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root Canal Irrigation With Citric Acid Solution. *J Endod.* 1996 Jan;22(1):27–9.
140. Loel Da. Use Of Acid Cleanser In Endodontic Therapy. *The Journal Of The American Dental Association.* 1975 Jan;90(1):148–51.
141. Machado-Silveiro Lf, González-López S, González-Rodríguez Mp. Decalcification Of Root Canal Dentine By Citric Acid, Edta And Sodium Citrate. *Int Endod J.* 2004 Jun 25;37(6):365–9.

142. Gómez-Delgado M, Camps-Font O, Luz L, Sanz D, Mercade M. Update On Citric Acid Use In Endodontic Treatment: A Systematic Review. *Odontology*. 2023 Jan 11;111(1):1–19.
143. Amaral Kf, Rogero Mm, Fock Ra, Borelli P, Gavini G. Cytotoxicity Analysis Of Edta And Citric Acid Applied On Murine Resident Macrophages Culture. *Int Endod J*. 2007 May 2;40(5):338–43.
144. Machado R, Garcia L Da Fr, Da Silva Neto Ux, Cruz Filho A De M Da, Silva Rg, Vansan Lp. Evaluation Of 17% Edta And 10% Citric Acid In Smear Layer Removal And Tubular Dentin Sealer Penetration. *Microsc Res Tech*. 2018 Mar 5;81(3):275–82.
145. Fortea L, Sanz-Serrano D, Luz L, Bardini G, Mercade M. Update On Chelating Agents In Endodontic Treatment: A Systematic Review. *J Clin Exp Dent*. 2024;E516–38.
146. Ballal Nv, Kandian S, Mala K, Bhat Ks, Acharya S. Comparison Of The Efficacy Of Maleic Acid And Ethylenediaminetetraacetic Acid In Smear Layer Removal From Instrumented Human Root Canal: A Scanning Electron Microscopic Study. *J Endod*. 2009 Nov;35(11):1573–6.
147. Ballal Nv, Kundabala M, Bhat S, Rao N, Rao Bss. A Comparative In Vitro Evaluation Of Cytotoxic Effects Of Edta And Maleic Acid: Root Canal Irrigants. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology*. 2009 Oct;108(4):633–8.
148. Baca P, Junco P, Arias-Moliz Mt, González-Rodríguez Mp, Ferrer-Luque Cm. Residual And Antimicrobial Activity Of Final Irrigation Protocols On *Enterococcus Faecalis* Biofilm In Dentin. *J Endod*. 2011 Mar;37(3):363–6.
149. Ferrer-Luque Cm, Arias-Moliz Mt, González-Rodríguez Mp, Baca P. Antimicrobial Activity Of Maleic Acid And Combinations Of Cetrimide With Chelating Agents Against *Enterococcus Faecalis* Biofilm. *J Endod*. 2010 Oct;36(10):1673–5.
150. Rifaat S, Rahoma A, Alkhalifa F, Alquraini G, Alsalman Z, Alwesaibi Z, Et Al. Push-Out Bond Strength Of Endoseal Mineral Trioxide Aggregate And Ah Plus Sealers After Using Three Different Irrigation Protocols. *Eur J Dent*. 2023 Feb 23;17(01):076–81.
151. Anju Pk, Purayil Tp, Ginjupalli K, Ballal N V. Effect Of Chelating Agents On Push-Out Bond Strength Of Neomta Plus To Root Canal Dentin. *Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr*. 2022;22.
152. Mampilly J, Shetty V, Harish S. Shetty K. Endodontic Irrigating Solutions, Disinfection Devices And Techniques: A Review. *Int J Adv Res (Indore)*. 2020 Jan 31;8(1):986–97.
153. Álvarez-Sagües A, Herce N, Amador U, Llinares-Pinel F, Nistal-Villan E, Presa J, Et Al. Efficacy Of Edta And Hedp Chelators In The Removal Of Mature Biofilm Of *Enterococcus Faecalis* By Pui And Xpf File Activation. *Dent J (Basel)*. 2021 Apr 9;9(4):41.

154. Yadav Hk, Yadav Rk, Chandra A, Tikku Ap. A Scanning Electron Microscopic Evaluation Of The Effectiveness Of Etidronic Acid, Smearclear And Mtd In Removing The Intracanal Smear Layer. *J Dent (Shiraz)*. 2017 Jun;18(2):118–26.
155. Aubut V, Pommel L, Verhille B, Orsière T, Garcia S, About I, Et Al. Biological Properties Of A Neutralized 2.5% Sodium Hypochlorite Solution. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology*. 2010 Feb;109(2):E120–5.
156. Tartari T, De Almeida Rodrigues Silva E Souza P, Vila Nova De Almeida B, Carrera Silva Júnior Jo, Faciola Pessoa O, Silva E Souza Junior Mh. A New Weak Chelator In Endodontics: Effects Of Different Irrigation Regimens With Etidronate On Root Dentin Microhardness. *Int J Dent*. 2013;2013:1–6.
157. Erdem Hepşenoğlu Y, Erşahan Ş, Yılmaz B, Aydınoglu A, Sağır K, Hazar Yoruç Ab. Influence Of Different Irrigation Solutions On The Push-Out Bond Strength Of Fiber Posts To Root Dentin And Root Canal Dentin Microhardness: Methodological Study. *Turkiye Klinikleri Journal Of Dental Sciences*. 2023;29(1):83–91.
158. Neelakantan P, Varughese Aa, Sharma S, Subbarao C V., Zehnder M, De-Deus G. Continuous Chelation Irrigation Improves The Adhesion Of Epoxy Resin-Based Root Canal Sealer To Root Dentine. *Int Endod J*. 2012 Dec 21;45(12):1097–102.
159. Ratih Dn, Enggardipta Ra, Kartikaningtyas At. The Effect Of Chitosan Nanoparticle As A Final Irrigation Solution On The Smear Layer Removal, Micro-Hardness And Surface Roughness Of Root Canal Dentin. *Open Dent J*. 2020 Feb 14;14(1):19–26.
160. Del Carpio-Perochena A, Kishen A, Shrestha A, Bramante Cm. Antibacterial Properties Associated With Chitosan Nanoparticle Treatment On Root Dentin And 2 Types Of Endodontic Sealers. *J Endod*. 2015 Aug;41(8):1353–8.
161. Silva Pv, Guedes Dfc, Pécora Jd, Cruz-Filho Am Da. Time-Dependent Effects Of Chitosan On Dentin Structures. *Braz Dent J*. 2012;23(4):357–61.
162. Del Carpio-Perochena A, Bramante Cm, Duarte Mah, De Moura Mr, Aouada Fa, Kishen A. Chelating And Antibacterial Properties Of Chitosan Nanoparticles On Dentin. *Restor Dent Endod*. 2015;40(3):195.
163. Şenel S, İkinci G, Kaş S, Yousefi-Rad A, Sargon Mf, Hıncal Aa. Chitosan Films And Hydrogels Of Chlorhexidine Gluconate For Oral Mucosal Delivery. *Int J Pharm*. 2000 Jan;193(2):197–203.
164. Ballal Nv, Shavi Gv, Kumar R, Kundabala M, Bhat Ks. In Vitro Sustained Release Of Calcium Ions And Ph Maintenance From Different Vehicles Containing Calcium Hydroxide. *J Endod*. 2010 May;36(5):862–6.
165. Pimenta Ja, Zapparolli D, Pécora Jd, Cruz-Filho Am. Chitosan: Effect Of A New Chelating Agent On The Microhardness Of Root Dentin. *Braz Dent J*. 2012;23(3):212–7.

166. Schilder H. Filling Root Canals In Three Dimensions. *J Endod.* 2006 Apr;32(4):281–90.
167. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Dentin Extends The Antibacterial Effect Of Endodontic Sealers Against *Enterococcus Faecalis* Biofilms. *J Endod.* 2014 Apr;40(4):505–8.
168. Grossman L1, Oliet S, Del Rio Ce. *Endodontic Practice.* 11th Ed. Lea & Febiger, Philadelphia; 1988. 179–227 P.
169. Ørstavik D. Materials Used For Root Canal Obturation: Technical, Biological And Clinical Testing. *Endod Topics.* 2005 Nov 5;12(1):25–38.
170. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The Thermomechanical Properties Of Gutta-Percha. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1974 Jun;37(6):954–61.
171. Friedman Cm, Sandrik JI, Heuer Ma, Rapp Gw. Composition And Mechanical Properties Of Gutta-Percha Endodontic Points. *J Dent Res.* 1975 Sep 9;54(5):921–5.
172. Alberdi (Koki) J, Martin G, Risso L, Kaplan A. “Effect Of Heat Generated By Endodontic Obturation Techniques On Bond Strength Of Bioceramic Sealers To Dentine.” *J Endod.* 2023 Nov;49(11):1565–9.
173. Tomson Rme, Polycarpou N, Tomson Pl. Contemporary Obturation Of The Root Canal System. *Br Dent J.* 2014 Mar 21;216(6):315–22.
174. Grossman L1. An Improved Root Canal Cement. *The Journal Of The American Dental Association.* 1958 Mar;56(3):381–5.
175. Hauman Chj, Love Rm. Biocompatibility Of Dental Materials Used In Contemporary Endodontic Therapy: A Review. Part 2. Root-Canal-Filling Materials. *Int Endod J.* 2003 Mar 14;36(3):147–60.
176. Hume Wr. In Vitro Studies On The Local Pharmacodynamics, Pharmacology And Toxicology Of Eugenol And Zinc Oxide-Eugenol. *Int Endod J.* 1988 Mar 25;21(2):130–4.
177. Saleh Im, Ruyter Ie, Haapasalo M, Ørstavik D. Survival Of *Enterococcus Faecalis* In Infected Dentinal Tubules After Root Canal Filling With Different Root Canal Sealers In Vitro. *Int Endod J.* 2004 Mar;37(3):193–8.
178. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs Je. Dimensional Change Following Setting Of Root Canal Sealer Materials. *Dental Materials.* 2001 Nov;17(6):512–9.
179. Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Effect Of Different Root Canal Obturating Materials On Push-Out Bond Strength Of A Fiber Dowel. *Journal Of Prosthodontics.* 2012 Jul 18;21(5):389–92.
180. Rached-Junior Fja, Sousa-Neto Md, Souza-Gabriel Ae, Duarte Mah, Silva-Sousa Ytc. Impact Of Remaining Zinc Oxide-Eugenol–Based Sealer On The Bond Strength Of A

Resinous Sealer To Dentine After Root Canal Retreatment. *Int Endod J.* 2014 May 16;47(5):463–9.

181. Pécora Jd, Cussioli Al, Guerisoli Dm, Marchesan Ma, Sousa-Neto Md, Brugnera Júnior A. Evaluation Of Er:Yag Laser And Edtac On Dentin Adhesion Of Six Endodontic Sealers. *Braz Dent J.* 2001;12(1):27–30.
182. Khalil M, Elmallah Sara, Abdelrahman M. Bond Strength And Solubility Of A Novel Polydimethylsiloxane-Gutta-Percha Calcium Silicate-Containing Root Canal Sealer. *Dent Med Probl.* 2019 Jun 28;56(2):161–5.
183. Yesilsoy C, Koren Lz, Morse Dr, Kobayashi C. A Comparative Tissue Toxicity Evaluation Of Established And Newer Root Canal Sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1988 Apr;65(4):459–67.
184. Gatewood Rs. Endodontic Materials. *Dent Clin North Am.* 2007 Jul;51(3):695–712.
185. Cvek M. Treatment Of Non-Vital Permanent Incisors With Calcium Hydroxide. Iv. Periodontal Healing And Closure Of The Root Canal In The Coronal Fragment Of Teeth With Intra-Alveolar Fracture And Vital Apical Fragment. A Follow-Up. *Odontol Revy.* 1974;25(3):239–46.
186. Aravind, Gopikrishna V, Kandaswamy D, Jeyavel R. Comparative Evaluation Of The Antimicrobial Efficacy Of Five Endodontic Root Canal Sealers Against *Enterococcus Faecalis* And *Candida Albicans*. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2006;9(1):2.
187. Caicedo R, Von Fraunhofer Ja. The Properties Of Endodontic Sealer Cements. *J Endod.* 1988 Nov;14(11):527–34.
188. Hovland Ej, Dumsha Tc. Leakage Evaluation In Vitro Of The Root Canal Sealer Cement Sealapex. *Int Endod J.* 1985 Jul 25;18(3):179–82.
189. Jacobsen E, Begole E, Vitkus D, Daniel J. An Evaluation Of Two Newly Formulated Calcium Hydroxide Cements: A Leakage Study. *J Endod.* 1987 Apr;13(4):164–9.
190. Shashirekha G, Jena A, Pattanaik S, Rath J. Assessment Of Pain And Dissolution Of Apically Extruded Sealers And Their Effect On The Periradicular Tissues. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2018;21(5):546.
191. Desai S, Chandler N. Calcium Hydroxide–Based Root Canal Sealers: A Review. *J Endod.* 2009 Apr;35(4):475–80.
192. Kurup D. Data On The Push Out Bond Strength Of Three Different Root Canal Treatment Sealers. *Bioinformation.* 2021 Jan 31;17(1):67–72.
193. Berg Jh, Croll Tp. Glass Ionomer Restorative Cement Systems: An Update. *Pediatr Dent.* 2015;37(2):116–24.

194. Powis Dr, Follerås T, Merson Sa, Wilson Ad. Improved Adhesion Of A Glass İonomer Cement To Dentin And Enamel. *J Dent Res*. 1982 Dec 8;61(12):1416–22.
195. Mohammadi Z, Shalavi S. Clinical Applications Of Glass İonomers İn Endodontics: A Review. *Int Dent J*. 2012 Oct;62(5):244–50.
196. Callis Pd, Santini A. Tissue Response To Retrograde Root Fillings İn The Ferret Canine: A Comparison Of A Glass İonomer Cement And Gutta-Percha With Sealer. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1987 Oct;64(4):475–9.
197. S. Çalt Tarhan, E. Uzunoğlu Özyürek. Kök Kanal Dolgu Maddeleri. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci-Special Topics*. 2010;1:1–15.
198. De Gee Aj, Wu M, Wesselink Pr. Sealing Properties Of Ketac-Endo Glass İonomer Cement And Ah26 Root Canal Sealers. *Int Endod J*. 1994 Sep 25;27(5):239–44.
199. Kont Çobankara F, Adanir N, Belli S, Pashley Dh. A Quantitative Evaluation Of Apical Leakage Of Four Root-Canal Sealers. *Int Endod J*. 2002 Dec;35(12):979–84.
200. Lee K, Williams M, Camps J, Pashley D. Adhesion Of Endodontic Sealers To Dentin And Gutta-Percha. *J Endod*. 2002 Oct;28(10):684–8.
201. Davis Sr, Brayton Sm, Goldman M. The Morphology Of The Prepared Root Canal: A Study Utilizing Injectable Silicone. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1972 Oct;34(4):642–8.
202. Anusavice Kj, Phillips Rw, Shen C, Rawls Hr. Impression Materials. In: Phillips' Science Of Dental Materials. 12th Ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Saunders; 2013. P. 151–81.
203. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive Review Of Current Endodontic Sealers. *Dent Mater J*. 2020 Sep 28;39(5):703–20.
204. Radwanski M, Leski M, Puszkarz Ak, Sokolowski J, Hardan L, Bourgi R, Et Al. A Micro-Ct Analysis Of Initial And Long-Term Pores Volume And Porosity Of Bioactive Endodontic Sealers. *Biomedicines*. 2022 Sep 26;10(10):2403.
205. Bouillaguet S, Wataha Jc, Tay Fr, Brackett Mg, Lockwood Pe. Initial In Vitro Biological Response To Contemporary Endodontic Sealers. *J Endod*. 2006 Oct;32(10):989–92.
206. Miletic I, Devcic N, Anic I, Borcic J, Karlovic Z, Osmak M. The Cytotoxicity Of Roekoseal And Ah Plus Compared During Different Setting Periods. *J Endod*. 2005 Apr;31(4):307–9.
207. Taşdemir T, Yildirim T, Çelik D. Comparative Study Of Removal Of Current Endodontic Fillings. *J Endod*. 2008 Mar;34(3):326–9.

208. De-Deus G, Brandão Mc, Fidel Ras, Fidel Sr. The Sealing Ability Of Gutttaflowtm In Oval-Shaped Canals: An *Ex Vivo* Study Using A Polymicrobial Leakage Model. *Int Endod J*. 2007 Oct 22;40(10):794–9.
209. Dudulwar D, Patil S, Bandekar S, Patil M, Gupta D, Gupta R. A Comparative Evaluation Of Push-Out Bond Strength Of Six Different Root Canal Sealers: An In-Vitro Study. *Cureus*. 2024 Mar 19;
210. McComb D, Smith Dc. Comparison Of Physical Properties Of Polycarboxylate-Based And Conventional Root Canal Sealers. *J Endod*. 1976 Aug;2(8):228–35.
211. Sharma D, Worlikar N, Shah K, Sharma Y. Recent Advancements In Root Canal Sealers- An Overview. *J Adv Med Dent Scie Res*. 2023;11(4):82–91.
212. Carvalho-Júnior Jr, Guimarães Lfl, Correr-Sobrinho L, Pécora Jd, Sousa-Neto Md. Evaluation Of Solubility, Disintegration, And Dimensional Alterations Of A Glass Ionomer Root Canal Sealer. *Braz Dent J*. 2003;14(2):114–8.
213. Tagger M, Tagger E, Tjan A, Bakland L. Measurement Of Adhesion Of Endodontic Sealers To Dentin. *J Endod*. 2002 May;28(5):351–4.
214. Stutz N, Hertl M, Löffler H. Anaphylaxis Caused By Contact Urticaria Because Of Epoxy Resins: An Extraordinary Emergency. *Contact Dermatitis*. 2008 May 14;58(5):307–9.
215. Loushine Ba, Bryan Te, Looney Sw, Gillen Bm, Loushine Rj, Weller Rn, Et Al. Setting Properties And Cytotoxicity Evaluation Of A Premixed Bioceramic Root Canal Sealer. *J Endod*. 2011 May;37(5):673–7.
216. Silva Ejnl, Canabarro A, Andrade Mrtc, Cavalcante Dm, Von Stetten O, Fidalgo Tk Da S, Et Al. Dislodgment Resistance Of Bioceramic And Epoxy Sealers: A Systematic Review And Meta-Analysis. *Journal Of Evidence Based Dental Practice*. 2019 Sep;19(3):221–35.
217. Chandra Ss, Shankar P, Indira R. Depth Of Penetration Of Four Resin Sealers Into Radicular Dentinal Tubules: A Confocal Microscopic Study. *J Endod*. 2012 Oct;38(10):1412–6.
218. Jainan A, Palamara Jea, Messer Hh. The Effect Of Resin-Based Sealers On Fracture Properties Of Dentine. *Int Endod J*. 2009 Feb 6;42(2):136–43.
219. Pameijer Ch, Zmener O. Resin Materials For Root Canal Obturation. *Dent Clin North Am*. 2010 Apr;54(2):325–44.
220. Al-Hiyasat As, Tayyar M, Darmani H. Cytotoxicity Evaluation Of Various Resin Based Root Canal Sealers. *Int Endod J*. 2010 Feb 12;43(2):148–53.
221. Langeland K, Olsson B, Pascon Ea. Biological Evaluation Of Hydron. *J Endod*. 1981 May;7(5):196–204.

222. Zmener O, Pameijer Ch, Serrano Sa, Vidueira M, Macchi RL. Significance Of Moist Root Canal Dentin With The Use Of Methacrylate-Based Endodontic Sealers: An In Vitro Coronal Dye Leakage Study. *J Endod.* 2008 Jan;34(1):76–9.
223. Wang Y, Spencer P. Continuing Etching Of An All-In-One Adhesive In Wet Dentin Tubules. *J Dent Res.* 2005 Apr 11;84(4):350–4.
224. Gharib Sr, Tordik Pa, Imamura Gm, Baginski Ta, Goodell Gg. A Confocal Laser Scanning Microscope Investigation Of The Epiphany Obturation System. *J Endod.* 2007 Aug;33(8):957–61.
225. Lawson M, Loushine B, Mai S, Weller R, Pashley D, Tay F, Et Al. Resistance Of A 4-Meta-Containing, Methacrylate-Based Sealer To Dislocation In Root Canals. *J Endod.* 2008 Jul;34(7):833–7.
226. Kim Yk, Grandini S, Ames Jm, Gu L Sha, Kim Sk, Pashley Dh, Et Al. Critical Review On Methacrylate Resin-Based Root Canal Sealers. *J Endod.* 2010 Mar;36(3):383–99.
227. Nakabayashi N, Watanabe A, Gendusa Nj. Dentin Adhesion Of “Modified” 4-Meta/Mma-Tbb Resin: Function Of Hema. *Dental Materials.* 1992 Jul;8(4):259–64.
228. Sevimay S, Kalaycı A. Evaluation Of Apical Sealing Ability And Adaptation To Dentine Of Two Resin-Based Sealers. *J Oral Rehabil.* 2005 Feb 6;32(2):105–10.
229. Khandelwal D, Ballal Nv. Recent Advances In Root Canal Sealers. *International Journal Of Clinical Dentistry.* 2016;9(3):183–94.
230. Zordan-Bronzel Cl, Esteves Torres Ff, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade Gm, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru Jm. Evaluation Of Physicochemical Properties Of A New Calcium Silicate-Based Sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019 Oct;45(10):1248–52.
231. Chew St, Eshak Z, Al-Haddad A. Evaluation Of Interfacial Adaptation And Penetration Of Bioceramic-Based Sealers In Oval Root Canals: A Confocal Laser Scanning Microscope Study. *Microsc Res Tech.* 2023 Jul 20;86(7):754–61.
232. Girelli C, Lacerda M, Lemos C, Amaral M, Lima C, Silveira F, Et Al. The Thermoplastic Techniques Or Single-Cone Technique On The Quality Of Root Canal Filling With Tricalcium Silicate-Based Sealer: An Integrative Review. *J Clin Exp Dent.* 2022;E566–72.
233. Santos-Junior Ao, Tanomaru-Filho M, Pinto Jc, Tavares Kimc, Torres Ffe, Guerreiro-Tanomaru Jm. Effect Of Obturation Technique Using A New Bioceramic Sealer On The Presence Of Voids In Flattened Root Canals. *Braz Oral Res.* 2021;35.
234. Ginebra Mp, Fernández E, De Maeyer Eap, Verbeeck Rmh, Boltong Mg, Ginebra J, Et Al. Setting Reaction And Hardening Of An Apatitic Calcium Phosphate Cement. *J Dent Res.* 1997 Apr 8;76(4):905–12.

235. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The Use Of Bioceramics In Endodontics - Literature Review. *Med Pharm Rep*. 2016 Oct 28;89(4):470–3.
236. Yang Q, Troczynski T, Liu Dm. Influence Of Apatite Seeds On The Synthesis Of Calcium Phosphate Cement. *Biomaterials*. 2002 Jul;23(13):2751–60.
237. Ersahan S, Aydin C. Dislocation Resistance Of İroot Sp, A Calcium Silicate–Based Sealer, From Radicular Dentine. *J Endod*. 2010 Dec;36(12):2000–2.
238. Nagas E, Cehreli Z, Uyanik Mo, Durmaz V. Bond Strength Of A Calcium Silicate-Based Sealer Tested In Bulk Or With Different Main Core Materials. *Braz Oral Res*. 2014 Sep 15;28(1):1–7.
239. Dabaj P, Kalender A, Unverdi Eldeniz A. Push-Out Bond Strength And Sem Evaluation İn Roots Filled With Two Different Techniques Using New And Conventional Sealers. *Materials*. 2018 Sep 5;11(9):1620.
240. Belsare L, Patil S, Bhede R, Gade J, Gade V. Evaluation Of Push-Out Bond Strength Of Endosequence Bc Sealer With Lateral Condensation And Thermoplasticized Technique: An İn Vitro Study. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2015;18(2):124.
241. Urban K, Neuhaus J, Donnermeyer D, Schäfer E, Dammaschke T. Solubility And Ph Value Of 3 Different Root Canal Sealers: A Long-Term Investigation. *J Endod*. 2018 Nov;44(11):1736–40.
242. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability Of A Bioceramic Root Canal Sealing Material. *J Endod*. 2011 Nov;37(11):1547–9.
243. Topçuoğlu Hs, Tuncay Ö, Karataş E, Arslan H, Yeter K. İn Vitro Fracture Resistance Of Roots Obturated With Epoxy Resin–Based, Mineral Trioxide Aggregate–Based, And Bioceramic Root Canal Sealers. *J Endod*. 2013 Dec;39(12):1630–3.
244. Özcan E, Çapar İ, Çetin A, Tunçdemir A, Aydınbelge H. The Effect Of Calcium Silicate-Based Sealer On The Push-Out Bond Strength Of Fibre Posts. *Aust Dent J*. 2012 Jun 27;57(2):166–70.
245. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, And Antibacterial Properties. *J Endod*. 2010 Jan;36(1):16–27.
246. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer Pmh. Mineral Trioxide Aggregate And Other Bioactive Endodontic Cements: An Updated Overview – Part I: Vital Pulp Therapy. *Int Endod J*. 2018 Feb 21;51(2):177–205.
247. Bogen G, Kuttler S. Mineral Trioxide Aggregate Obturation: A Review And Case Series. *J Endod*. 2009 Jun;35(6):777–90.

248. Tanomaru-Filho M, Tanomaru Jmg, Barros Db, Watanabe E, Ito Iy. In Vitro Antimicrobial Activity Of Endodontic Sealers, Mta-Based Cements And Portland Cement. *J Oral Sci.* 2007;49(1):41–5.
249. Assmann E, Scarparo Rk, Böttcher De, Grecca Fs. Dentin Bond Strength Of Two Mineral Trioxide Aggregate–Based And One Epoxy Resin–Based Sealers. *J Endod.* 2012 Feb;38(2):219–21.
250. Rawtiya M, Verma K, Singh S, Munuga S, Khan S. Mta-Based Root Canal Sealers. *Journal Of Orofacial Research.* 2013 Jan 15;3:16–21.
251. Koulaouzidou Ea, Papazisis K., Beltes P, Geromicholos Gd, Kortsarls Ah. Cytotoxicity Of Three Resin-Based Root Canal Sealers: An In Vitro Evaluation. *Dental Traumatology.* 2007 Oct 30;14(4):182–5.
252. Hargreaves Km, Berman Lh. Cohen’s Pathways Of The Pulp Expert Consult. Elsevier Health Sciences. 2015;280–316.
253. Schmalz G, Hørsted-Bindslev P. Root Canal Filling Materials. In: Gunnar Bergenholtz, Preben Hørsted-Bindslev, Claes Reit, Editors. *Textbook Of Endodontology.* 2nd Ed. 2010. P. 193–218.
254. Razmi H, Bolhari B, Karamzadeh Dashti N, Fazlyab M. The Effect Of Canal Dryness On Bond Strength Of Bioceramic And Epoxy-Resin Sealers After Irrigation With Sodium Hypochlorite Or Chlorhexidine. *Iran Endod J.* 2016;11(2):129–33.
255. Camps J, About I. Cytotoxicity Testing Of Endodontic Sealers: A New Method. *J Endod.* 2003 Sep;29(9):583–6.
256. Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geurtsen W. Genotoxicity And Cytotoxicity Of The Epoxy Resin-Based Root Canal Sealer Ah Plus. *J Endod.* 1999 Feb;25(2):109–13.
257. Jung S, Sielker S, Hanisch Mr, Libricht V, Schäfer E, Dammaschke T. Cytotoxic Effects Of Four Different Root Canal Sealers On Human Osteoblasts. *Plos One.* 2018 Mar 26;13(3):E0194467.
258. Eldeniz Au, Mustafa K, Ørstavik D, Dahl Je. Cytotoxicity Of New Resin-, Calcium Hydroxide- And Silicone-Based Root Canal Sealers On Fibroblasts Derived From Human Gingiva And L929 Cell Lines. *Int Endod J.* 2007 May 19;40(5):329–37.
259. Piai Gg, Duarte Mah, Nascimento Al Do, Rosa Ra Da, Só Mvr, Vivan Rr. Penetrability Of A New Endodontic Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Evaluation. *Microsc Res Tech.* 2018 Nov 8;81(11):1246–9.

260. Fisher M, Berzins D, Bahcall J. An In Vitro Comparison Of Bond Strength Of Various Obturation Materials To Root Canal Dentin Using A Push-Out Test Design. *J Endod.* 2007 Jul;33(7):856–8.
261. Zhang H, Shen Y, Ruse Nd, Haapasalo M. Antibacterial Activity Of Endodontic Sealers By Modified Direct Contact Test Against *Enterococcus Faecalis*. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):1051–5.
262. Pizzo G, Giammanco Gm, Cumbo E, Nicolosi G, Gallina G. In Vitro Antibacterial Activity Of Endodontic Sealers. *J Dent.* 2006 Jan;34(1):35–40.
263. Alsubait S, Albader S, Alajlan N, Alkhunaini N, Niazy A, Almahdy A. Comparison Of The Antibacterial Activity Of Calcium Silicate- And Epoxy Resin-Based Endodontic Sealers Against *Enterococcus Faecalis* Biofilms: A Confocal Laser-Scanning Microscopy Analysis. *Odontology.* 2019 Oct 29;107(4):513–20.
264. Dem K, Wu Y, Kaminga Ac, Dai Z, Cao X, Zhu B. The Push Out Bond Strength Of Polydimethylsiloxane Endodontic Sealers To Dentin. *Bmc Oral Health.* 2019 Dec 8;19(1):181.
265. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K. Push-Out Bond Strength Of Two New Calcium Silicate-Based Endodontic Sealers To Root Canal Dentine. *Int Endod J.* 2011 Dec 5;44(12):1088–91.
266. Carvalho Nk, Prado Mc, Senna Pm, Neves Aa, Souza Em, Fidel Sr, Et Al. Do Smear-Layer Removal Agents Affect The Push-Out Bond Strength Of Calcium Silicate-Based Endodontic Sealers? *Int Endod J.* 2017 Jun 14;50(6):612–9.
267. Niu L Na, Jiao K, Wang T Da, Zhang W, Camilleri J, Bergeron Be, Et Al. A Review Of The Bioactivity Of Hydraulic Calcium Silicate Cements. *J Dent.* 2014 May;42(5):517–33.
268. Hamdan R, Michetti J, Dionnet C, Diemer F, Georgelin-Gurgel M. In-Vitro Evaluation Of Apical Microleakage Of Two Obturation Methods Of Immature Permanent Teeth: Orthograde Apical Plug Of Mineral Trioxide Aggregate And Root Canal Filling Combining Custom Gutta-Percha Cone With Calcium Silicate-Based Sealer. *G Ital Endod.* 2017 Nov;31(2):89–95.
269. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I. Bioactivity Of A Calcium Silicate–Based Endodontic Cement (Bioroot Rcs): Interactions With Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *J Endod.* 2015 Sep;41(9):1469–73.
270. Kim H1, Jang Ye, Kim Y, Kim Bs. Physicochemical Changes In Root-Canal Sealers Under Thermal Challenge: A Comparative Analysis Of Calcium Silicate- And Epoxy-Resin-Based Sealers. *Materials.* 2024 Apr 22;17(8):1932.

271. Srivastava A, Yadav D, Rao M, Rao Hm, Arun A, Siddique R. Evaluation Of Push-Out Bond Strength Of Bioroot Rcs And Ah Plus After Using Different Irrigants: An In Vitro Study. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2020;23(1):26.
272. Alfawaz H, Alqedairi A, Alebdi A, Allahem Z, Alsubait S, Alharbi H. Bond Strength Of Bioroot Rcs Relative To Different Endodontic Bioceramic Sealers: In Vitro Push-Out Test. *Pakistan Oral & Dental Journal*. 2018;38(4):528–31.
273. Retana-Lobo C, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru Jm, Benavides-García M, Hernández-Meza E, Reyes-Carmona J. Push-Out Bond Strength, Characterization, And Ion Release Of Premixed And Powder-Liquid Bioceramic Sealers With Or Without Gutta-Percha. *Scanning*. 2021 May 6;2021:1–12.
274. Ballal Nv, Roy A, Zehnder M. Effect Of Sodium Hypochlorite Concentration In Continuous Chelation On Dislodgement Resistance Of An Epoxy Resin And Hydraulic Calcium Silicate Sealer. *Polymers (Basel)*. 2021 Oct 11;13(20):3482.
275. Collado-González M, Tomás-Catalá Cj, Oñate-Sánchez Re, Moraleda Jm, Rodríguez-Lozano Fj. Cytotoxicity Of Guttaflow Bioseal, Guttaflow2, Mta Fillapex, And Ah Plus On Human Periodontal Ligament Stem Cells. *J Endod*. 2017 May;43(5):816–22.
276. Gandolfi Mg, Parrilli Ap, Fini M, Prati C, Dummer Pmh. 3d Micro-Ct Analysis Of The Interface Voids Associated With Thermafil Root Fillings Used With Ah Plus Or A Flowable Mta Sealer. *Int Endod J*. 2013 Mar 8;46(3):253–63.
277. Lee Sh, Oh S, Al-Ghamdi As, Mandorah Ao, Kum Ky, Chang Sw. Sealing Ability Of Ah Plus And Guttaflow Bioseal. *Bioinorg Chem Appl*. 2020 Sep 22;2020:1–8.
278. Ja'apar San, Ichwan Sja, Mustaffa M. In Vitro Cytotoxicity Analysis Of Bioceramic Root Canal Sealers On Human Gingival Fibroblast Cells. *Archives Of Orofacial Sciences*. 2022 Dec 22;17(2):209–24.
279. Saygili G, Saygili S, Tuglu I, Capar Id. In Vitro Cytotoxicity Of Guttaflow Bioseal, Guttaflow 2, Ah-Plus And Mta Fillapex. *Iran Endod J*. 2017;12(3):354–9.
280. Ferreira I, Laranjo M, Marto Cm, Casalta-Lopes J, Serambeque B, Gonçalves Ac, Et Al. Guttaflow® Bioseal Cytotoxicity Assessment: In Vitro Study. *Molecules*. 2020 Sep 19;25(18):4297.
281. Cecchin D, Souza M, Carlini-Júnior B, Barbizam Jvb. Bond Strength Of Resilon/Epiphany Compared With Gutta-Percha And Sealers Sealer 26 And Endo Fill. *Australian Endodontic Journal*. 2012 Apr 24;38(1):21–5.
282. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, Et Al. Relationship Between Bond-Strength Tests And Clinical Outcomes. *Dental Materials*. 2010 Feb;26(2):E100–21.

283. Ozyoney G, Yanıkoğlu F, Tağtekin D, Ozyoney N, Oksüz M. Shear Bond Strength Of Composite Resin Cements To Ceramics. *Marmara Dental Journal*. 2014;1(2):61–6.
284. Onay Eo, Ungor M, Ari H, Belli S, Oğus E. Push-Out Bond Strength And Sem Evaluation Of New Polymeric Root Canal Fillings. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontology*. 2009 Jun;107(6):879–85.
285. Sirisha K, Rambabu T, Shankar Y, Ravikumar P. Validity Of Bond Strength Tests: A Critical Review: Part I. *Journal Of Conservative Dentistry*. 2014;17(4):305.
286. Sousa-Neto Md, Silva Coelho F1, Marchesan Ma, Alfredo E, Silva-Sousa Ytc. Ex Vivo Study Of The Adhesion Of An Epoxy-Based Sealer To Human Dentine Submitted To Irradiation With Er:Yag And Nd:Yag Lasers. *Int Endod J*. 2005 Dec 22;38(12):866–70.
287. Goracci C, Tavares Au, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso Pc, Et Al. The Adhesion Between Fiber Posts And Root Canal Walls: Comparison Between Microtensile And Push-Out Bond Strength Measurements. *Eur J Oral Sci*. 2004 Aug 26;112(4):353–61.
288. Skidmore Lj, Berzins Dw, Bahcall Jk. An In Vitro Comparison Of The Intraradicular Dentin Bond Strength Of Resilon And Gutta-Percha. *J Endod*. 2006 Oct;32(10):963–6.
289. Jainan A, Palamara Jea, Messer Hh. Push-Out Bond Strengths Of The Dentine–Sealer Interface With And Without A Main Cone. *Int Endod J*. 2007 Nov 18;40(11):882–90.
290. Ungor M, Onay Eo, Orucoglu H. Push-Out Bond Strengths: The Epiphany–Resilon Endodontic Obturation System Compared With Different Pairings Of Epiphany, Resilon, Ah Plus And Gutta-Percha. *Int Endod J*. 2006 Aug 7;39(8):643–7.
291. Scelza Mz, Da Silva D, Scelza P, De Noronha F, Barbosa Ib, Souza E, Et Al. Influence Of A New Push-Out Test Method On The Bond Strength Of Three Resin-Based Sealers. *Int Endod J*. 2015 Aug;48(8):801–6.
292. Shipper G, Orstavik D, Teixeira F, Trope M. An Evaluation Of Microbial Leakage In Roots Filled With A Thermoplastic Synthetic Polymer-Based Root Canal Filling Material (Resilon). *J Endod*. 2004 May;30(5):342–7.
293. Siqueira Jf, Rôças In. Clinical Implications And Microbiology Of Bacterial Persistence After Treatment Procedures. *J Endod*. 2008 Nov;34(11):1291-1301.E3.
294. Gaddala N. Effect Of Peracetic Acid As A Final Rinse On Push Out Bond Strength Of Root Canal Sealers To Root Dentin. *Journal Of Clinical And Diagnostic Research*. 2015;
295. Dogan H, Calt S. Effects Of Chelating Agents And Sodium Hypochlorite On Mineral Content Of Root Dentin. *J Endod*. 2001 Sep;27(9):578–80.
296. Rahman Hashem Aa, Ghoneim Ag, Lutfy Ra, Fouda My. The Effect Of Different Irrigating Solutions On Bond Strength Of Two Root Canal–Filling Systems. *J Endod*. 2009 Apr;35(4):537–40.

297. Arı H, Erdemir A, Belli S. Evaluation Of The Effect Of Endodontic Irrigation Solutions On The Microhardness And The Roughness Of Root Canal Dentin. *J Endod.* 2004 Nov;30(11):792–5.
298. Gernhardt Cr, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M. Toxicity Of Concentrated Sodium Hypochlorite Used As An Endodontic Irrigant. *Int Endod J.* 2004 Apr 29;37(4):272–80.
299. Rodríguez R, Estevez M, Vargas S, Pacheco S. Physicochemical Modification Of Edta Solutions To Improve The Smear Layer Removal In Dental Applications. *Mater Lett.* 2006 Jun;60(13–14):1736–9.
300. Uzunoglu E, Aktemur S, Uyanik Mo, Durmaz V, Nagas E. Effect Of Ethylenediaminetetraacetic Acid On Root Fracture With Respect To Concentration At Different Time Exposures. *J Endod.* 2012 Aug;38(8):1110–3.
301. Nikhil V, Jaiswal S, Bansal P, Arora R, Raj S, Malhotra P. Effect Of Phytic Acid, Ethylenediaminetetraacetic Acid, And Chitosan Solutions On Microhardness Of The Human Radicular Dentin. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2016;19(2):179.
302. Keine Kc, Kuga Mc, Coaguila-Llerena H, Palma-Dibb Rg, Faria G. Peracetic Acid As A Single Endodontic Irrigant: Effects On Microhardness, Roughness And Erosion Of Root Canal Dentin. *Microsc Res Tech.* 2020 Apr 13;83(4):375–80.
303. Saleh Im, Ruyter Ie, Haapasalo M, Orstavik D. The Effects Of Dentine Pretreatment On The Adhesion Of Root-Canal Sealers. *Int Endod J.* 2002 Oct;35(10):859–66.
304. Silva Ejnl, Cardoso Ml, Rodrigues Jp, De-Deus G, Fidalgo Tk Da S. Solubility Of Bioceramic- And Epoxy Resin-Based Root Canal Sealers: A Systematic Review And Meta-Analysis. *Australian Endodontic Journal.* 2021 Dec;47(3):690–702.
305. Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic Sealers Based On Calcium Silicates: A Systematic Review. *Odontology.* 2019 Oct 15;107(4):421–36.
306. Khalil It, Makhoulf Mp, El Helou Jd, Zogheib Ce, Makhoulf Acp, Karam Me. Comparative Evaluation Of Push-Out Bond Strength Of Three Different Root Canal Sealers: An In Vitro Study. *J Contemp Dent Pract.* 2024 Feb 17;25(1):15–9.
307. Silva Ejnl, Carvalho Nk, Prado Mc, Zanon M, Senna Pm, Souza Em, Et Al. Push-Out Bond Strength Of Injectable Pozzolan-Based Root Canal Sealer. *J Endod.* 2016 Nov;42(11):1656–9.
308. Eldeniz A, Erdemir A, Belli S. Effect Of Edta And Citric Acid Solutions On The Microhardness And The Roughness Of Human Root Canal Dentin. *J Endod.* 2005 Feb;31(2):107–10.

309. Grassi Fr, Pappalettere C, Di Comite M, Corsalini M, Mori G, Ballini A, Et Al. Effect Of Different Irrigating Solutions And Endodontic Sealers On Bond Strength Of The Dentin - Post Interface With And Without Defects. *Int J Med Sci.* 2012;9(8):642–54.
310. Agrawal A, Paul B, Mantri S, Dube K. The Effect Of Different Irrigation Regiments On The Push Out Bond Strength Of Mta Fillapex Sealer To Dentin. *Br J Med Med Res.* 2015 Jan 10;9(1):1–8.
311. Barbizam Jvb, Trope M, Teixeira Écn, Tanomaru-Filho M, Teixeira Fb. Effect Of Calcium Hydroxide Intracanal Dressing On The Bond Strength Of A Resin-Based Endodontic Sealer. *Braz Dent J.* 2008;19(3):224–7.
312. Aktemur Türker S, Uzunoğlu E, Purali N. Evaluation Of Dentinal Tubule Penetration Depth And Push-Out Bond Strength Of Ah 26, Bioroot Rcs, And Mta Plus Root Canal Sealers In Presence Or Absence Of Smear Layer. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2018 Dec 19;12(4):294–8.
313. Dilmener Ft, Sipahi C, Dalkiz M. Resistance Of Three New Esthetic Post-And-Core Systems To Compressive Loading. *J Prosthet Dent.* 2006 Feb;95(2):130–6.
314. Sandhu S V., Tiwari R, Bhullar Rk, Bansal H, Bhandari R, Kakkar T, Et Al. Sterilization Of Extracted Human Teeth: A Comparative Analysis. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2012 Sep;2(3):170–5.
315. Soares DjB, Tsallis C, Mariz Am, Silva Lr Da. Preferential Attachment Growth Model And Nonextensive Statistical Mechanics. *Europhysics Letters (Epl).* 2005 Apr;70(1):70–6.
316. Jain G, Rajkumar B, C. Boruah L, S. Bedi R, Gupta R. Influence Of Different Endodontic Irrigants On The Push-Out Bond Strength Of An Epoxy-Resin Based Sealer And Newly Introduced Bioceramic Sealer To Root Dentin: An In-Vitro Study. *Journal Of Dental Specialities.* 2019 Jun 28;7(1):9–18.
317. Nagas E, Cehreli Zc, Durmaz V, Vallittu Pk, Lassila Lvj. Regional Push-Out Bond Strength And Coronal Microleakage Of Resilon After Different Light-Curing Methods. *J Endod.* 2007 Dec;33(12):1464–8.
318. Bell Am Le, Lassila Lvj, Kangasniemi I, Vallittu Pk. Bonding Of Fibre-Reinforced Composite Post To Root Canal Dentin. *J Dent.* 2005 Aug;33(7):533–9.
319. Goracci C, Grandini S, Bossù M, Bertelli E, Ferrari M. Laboratory Assessment Of The Retentive Potential Of Adhesive Posts: A Review. *J Dent.* 2007 Nov;35(11):827–35.
320. Barbizam Jvb, Trope M, Tanomaru-Filho M, Teixeira Ecn, Teixeira Fb. Bond Strength Of Different Endodontic Sealers To Dentin: Push-Out Test. *Journal Of Applied Oral Science.* 2011 Dec;19(6):644–7.

321. Wang Js, Bai W, Wang Y, Liang Yh. Effect Of Different Dentin Moisture On The Push-Out Strength Of Bioceramic Root Canal Sealer. *J Dent Sci.* 2023 Jan;18(1):129–34.
322. Silva Ej, Carvalho Nk, Zanon M, Senna Pm, De-Deus G, Zuolo Ml, Et Al. Push-Out Bond Strength Of Mta Hp, A New High-Plasticity Calcium Silicate-Based Cement. *Braz Oral Res.* 2016;30(1).
323. Guneser Mb, Akbulut Mb, Eldeniz Au. Effect Of Various Endodontic Irrigants On The Push-Out Bond Strength Of Biodentine And Conventional Root Perforation Repair Materials. *J Endod.* 2013 Mar;39(3):380–4.
324. Chen Wp, Chen Yy, Huang Sh, Lin Cp. Limitations Of Push-Out Test In Bond Strength Measurement. *J Endod.* 2013 Feb;39(2):283–7.
325. Antunes Pvs, Flamini Les, Chaves Jfm, Silva Rg, Cruz Filho Am Da. Comparative Effects Of Final Canal Irrigation With Chitosan And Edta. *Journal Of Applied Oral Science.* 2020;28.
326. De-Deus G, Di Giorgi K, Fidel S, Fidel Ras, Paciornik S. Push-Out Bond Strength Of Resilon/Epiphany And Resilon/Epiphany Self-Etch To Root Dentin. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):1048–50.
327. Silva Ejnl, Carvalho Nk, Guberman Mr Da Cl, Prado M, Senna Pm, Souza Em, Et Al. Push-Out Bond Strength Of Fast-Setting Mineral Trioxide Aggregate And Pozzolan-Based Cements: Endocem Mta And Endocem Zr. *J Endod.* 2017 May;43(5):801–4.
328. Koç C, Gülşahı K, Kahya Nd. Effect Of Chitosan And Edta Solutions On Bond Strength Of Two Different Calcium Silicate Based Materials. *Meandros Medical And Dental Journal.* 2023 Sep 1;24(3):209–14.
329. Nunes Vh, Silva Rg, Alfredo E, Sousa-Neto Md, Silva-Sousa Ytc. Adhesion Of Epiphany And Ah Plus Sealers To Human Root Dentin Treated With Different Solutions. *Braz Dent J.* 2008;19(1):46–50.
330. Kokkas A, Boutsioukıs A, Vassiliadis L, Stavrianos C. The Influence Of The Smear Layer On Dentinal Tubule Penetration Depth By Three Different Root Canal Sealers: An In Vitro Study. *J Endod.* 2004 Feb;30(2):100–2.
331. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological Aspects Of The Resin-Dentin Interdiffusion Zone With Different Dentin Adhesive Systems. *J Dent Res.* 1992 Aug 1;71(8):1530–40.
332. Zmener O, Spielberg C, Lamberghini F, Rucci M. Sealing Properties Of A New Epoxy Resin-Based Root-Canal Sealer. *Int Endod J.* 1997 Sep 30;30(5):332–4.

333. Vilanova W V., Carvalho-Junior Jr, Alfredo E, Sousa-Neto Md, Silva-Sousa Ytc. Effect Of Intracanal Irrigants On The Bond Strength Of Epoxy Resin-Based And Methacrylate Resin-Based Sealers To Root Canal Walls. *Int Endod J.* 2012 Jan 8;45(1):42–8.
334. Eskander M, Genena S, Zaazou A, Moussa S. Effect Of Phytic Acid And Ethylenediaminetetraacetic Acid On Penetration Depth Of Bioceramic And Resin Sealers. *Australian Endodontic Journal.* 2021 Dec 2;47(3):506–11.
335. Nassar M, Hiraishi N, Tamura Y, Otsuki M, Aoki K, Tagami J. Phytic Acid: An Alternative Root Canal Chelating Agent. *J Endod.* 2015 Feb;41(2):242–7.
336. Taneja S, Kumari M, Anand S. Effect Of Qmix, Peracetic Acid And Ethylenediaminetetraacetic Acid On Calcium Loss And Microhardness Of Root Dentine. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2014;17(2):155.
337. Verma D, Taneja S, Kumari M. Efficacy Of Different Irrigation Regimes On The Push-Out Bond Strength Of Various Resin-Based Sealers At Different Root Levels: An In Vitro Study. *Journal Of Conservative Dentistry.* 2018;21(2):125.
338. Marques Ferreira M, Martinho Jp, Duarte I, Mendonça D, Craveiro Ac, Botelho Mf, Et Al. Evaluation Of The Sealing Ability And Bond Strength Of Two Endodontic Root Canal Sealers: An In Vitro Study. *Dent J (Basel).* 2022 Oct 26;10(11):201.
339. Neelakantan P, Sharma S, Shemesh H, Wesselink Pr. Influence Of Irrigation Sequence On The Adhesion Of Root Canal Sealers To Dentin: A Fourier Transform Infrared Spectroscopy And Push-Out Bond Strength Analysis. *J Endod.* 2015 Jul;41(7):1108–11.
340. Atmeh Ar, Chong Ez, Richard G, Festy F, Watson Tf. Dentin-Cement Interfacial Interaction: Calcium Silicates And Polyalkenoates. *J Dent Res.* 2012 May;91(5):454–9.
341. Cakici F, Cakici Eb, Ceyhanli Kt, Celik E, Kucukkekenci Ff, Gunseren Ao. Evaluation Of Bond Strength Of Various Epoxy Resin Based Sealers In Oval Shaped Root Canals. *Bmc Oral Health.* 2016 Dec 30;16(1):106.
342. Mohammed S Khalil, Anas F Mahdee. Intracanal Adaptation, Intratubular Penetration, And Push-Out Bond Strength Of Different Root Canal Sealers: A Comparative In Vitro Study. *J Res Med Dent Sci.* . 2021;9(1):242–50.
343. Carvalho Cn, Grazziotin-Soares R, De Miranda Candeiro Gt, Gallego Martinez L, De Souza Jp, Santos Oliveira P, Et Al. Micro Push-Out Bond Strength And Bioactivity Analysis Of A Bioceramic Root Canal Sealer. *Iran Endod J.* 2017;12(3):343–8.
344. Shokouhinejad N, Gorjestani H, Nasseh Aa, Hoseini A, Mohammadi M, Shamshiri Ar. Push-Out Bond Strength Of Gutta-Percha With A New Bioceramic Sealer In The Presence Or Absence Of Smear Layer. *Australian Endodontic Journal.* 2013 Dec 29;39(3):102–6.

345. Eldeniz A, Erdemir A, Belli S. Shear Bond Strength Of Three Resin Based Sealers To Dentin With And Without The Smear Layer. *J Endod.* 2005 Apr;31(4):293–6.
346. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C, Pashley Dh, Tay Fr, Ferrari M. Interfacial Strength Of Resilon And Gutta-Percha To Intraradicular Dentin. *J Endod.* 2005 Nov;31(11):809–13.
347. Kadı G, Özlek E, Saed Y. Effect Of Using Calcium-Silicate And Silicone Based Root Canal Sealers İn Bulk Or With Main Core Material On Bond Strength. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2022 Dec 30;16(4):229–33.
348. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, Et Al. Relationship Between Bond-Strength Tests And Clinical Outcomes. *Dental Materials.* 2010 Feb;26(2):E100–21.
349. Ranjan M. To Assess The Push-Out Bond Strength Of New Calcium Silicate-Based Endodontic Sealer (Bioroot Rcs) - An In Vitro Study. *Int J Dent Oral Sci.* 2021 Jul 17;3268–73.

