

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ



İKİ FARKLI POST SİSTEMİNİN KÖK KANALINDAN
UZAKLAŞTIRILMASINDA KULLANILAN FARKLI
TEKNİKLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ENDODONTİ ANA BİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ
YASEMİN ÖZDOĞAN ESER

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi ESMA DİNGER

BOLU, EKİM 2025



ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %30'u geçmemektedir.

Bu çalışma için Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmaları Etik Kurulundan 2024/361 sayılı ile etik izin alınmıştır.

.....

YASEMİN ÖZDOĞAN ESER

ÖZET

İKİ FARKLI POST SİSTEMİNİN KÖK KANALINDAN UZAKLAŞTIRILMASINDA KULLANILAN FARKLI TEKNİKLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

UZMANLIK TEZİ

YASEMİN ÖZDOĞAN ESER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi ESMA DİNGER)

BOLU, EKİM- 2025

140 sayfa

Bu çalışmanın amacı endodontik tedavi görmüş, sonrasında fiber ve PEEK post uygulanmış diş gruplarından postun ultrasonik yöntem ve fiber sisteminin drilleri kullanılarak sökülmesinin kök dentini üzerine etkilerini değerlendirmektir. İlk değerlendirme, söküm sırasında geçen süre ve oluşan sıcaklık değişimleri göz önüne alınarak yapıldı. Uygulama süresinin artmasında ve kök yüzeyindeki sıcaklık değişimlerinde; farklı post ve farklı söküm teknikleri kullanılmasının etkileri belirlendi. İkinci değerlendirme ise post sökümü sonrasında farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanılarak, söküm tekniklerinin ve irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin dentin tübülleri üzerindeki etkileri, lazer taramalı konfokal mikroskop kullanılarak gözlemlendi.

Drill yöntemi ile gerçekleştirilen post sökümleri, ultrasonik yöntemle kıyasla anlamlı derecede daha kısa sürede tamamlanmıştır ($p<0.05$). Ultrasonik yöntemle yapılan işlemlerde, özellikle fiber postlarda, süre daha uzun bulunmuştur. Sıcaklık ölçümlerinde drill sistemleriyle yapılan sökümler minimal artış göstermiş, ultrasonik yöntemle yapılanlarda ise klinik açısından dikkate değer düzeyde sıcaklık artışları kaydedilmiştir ($p<0.05$). İrrigasyon aktivasyonu sonrasında dentin tübülleri penetrasyon miktarı, kullanılan aktivasyon tekniğine bağlı olarak farklılık göstermiştir. PUI, SWEEPS lazer yöntemine kıyasla daha yüksek penetrasyon sağlamış, en düşük penetrasyon ise drill ile söküm sonrası SWEEPS uygulanan grupta gözlenmiştir.

Sonuç olarak drill yöntemi, daha kısa süre ve düşük sıcaklık artışı sağlaması nedeniyle klinik açıdan avantajlı bir post söküm yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Ultrasonik yöntem ise sre ve sıcaklık açısından dezavantajlı olmakla birlikte post mobilizasyonunu kolaylaştırması nedeniyle klinikte tercih edilebilir. Post sökümü sonrası siman artıklarını ve smear tabakasını uzaklaştırabilmek için irrigasyon aktivasyonu önerilmektedir.



ANAHTAR KELİMELEER: Fiber post, Polietereeterketon post, Post sökümü, İrrigasyon aktivasyonu, Lazer taramalı konfokal mikroskop

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT TECHNIQUES USED IN REMOVING TWO DIFFERENT POST SYSTEMS FROM THE ROOT CANAL

SPECIALIZATION THESIS

YASEMİN ÖZDOĞAN ESER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

DEPARTMENT OF ENDODONTICS

(SUPERVISOR: Asst. Prof. Dr. ESMA DİNGER)

BOLU, OCTOBER 2025

140 pages

The aim of this study was to evaluate the effects of post removal using ultrasonic and fiber system drills on root dentin in groups of teeth that had undergone endodontic treatment and subsequently received fiber and PEEK posts. The first assessment was made by considering the time elapsed during removal and the resulting temperature changes. The effects of using different posts and different removal techniques on increased application time and temperature changes at the root surface were determined. The second assessment was conducted using different irrigation activation methods after post removal. The effects of these removal techniques and irrigation activation methods on dentinal tubules were observed using a laser scanning confocal microscope.

Post removals performed with the drilling method were completed significantly faster than those performed with the ultrasonic method ($p<0.05$). The time was found to be longer in the ultrasonic method, especially for fiber posts. Temperature measurements showed minimal increases in removals performed with drill systems, while clinically significant temperature increases were recorded in those performed with the ultrasonic method ($p<0.05$). The extent of penetration into the dentinal tubules after irrigation activation varied depending on the activation technique used. PUI achieved higher penetration compared to the SWEEPS laser method, while the lowest penetration was observed in the group that received SWEEPS after drilling.

In conclusion, the drilling method stands out as a clinically advantageous post removal method due to its shorter time and lower temperature rise. While the ultrasonic method has disadvantages in terms of time and temperature, it may be preferred clinically because it facilitates post mobilization. Irrigation activation is recommended to remove cement residue and smear layer after post removal.



KEYWORDS: Fiber post, Polyetheretherketone post, Post removal, Irrigation activation, Laser scanning confocal microscope

ÖZET.....	4
ŞEKİL LİSTESİ.....	11
TABLO LİSTESİ	12
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	13
TEŞEKKÜR	15
1. GİRİŞ.....	16
2. GENEL BİLGİLER	19
2.1 Restoratif Tedavi Öncesi Değerlendirme	19
2.2 Tedavi Stratejisi Belirleme	21
2.3 Restorasyon Seçenekleri	22
2.3.1 Amalgam Restorasyonlar	22
2.3.2 Kompozit Rezin Restorasyonlar	22
2.3.3 Koronal Yapının Güçlendirilmesi	23
2.3.4 İnley, Onley, Overley ve Endo-Kron Restorasyonlar	23
2.4 Post Sistemlerinin Gerekliliği	24
2.5 Post Sistemlerinin Temel Fonksiyonları	25
2.6 Post Sistemlerinin Endikasyon ve Kontrendikasyonları	26
2.6.1 Post kor Sistemlerinin Endikasyonları	27
2.6.2 Post Kor Sistemlerinin Kontrendikasyonları	27
2.6.3 Post Kor Restorasyonların Avantajları	28
2.6.4 Post Kor Restorasyonların Dezavantajları	28
2.7 Klinik Karar Sürecinde Post Seçimi	29
2.8 Post Kor Restorasyonların Sınıflandırılması	31
2.8.1 Yapım Yöntemlerine Göre Postlar	31
2.8.1.1 Döküm Postlar	31
2.8.1.2 Prefabrike Postlar	31
2.8.1.3 Freze Tekniği ile Hazırlanan Post Sistemleri	33
2.8.2 Yapıldıkları Materyale Göre Postlar	34
2.8.2.1 Metal Alaşım Postlar	35
2.8.2.2 Metal İçermeyen Post Sistemleri	35
2.8.2.2.1 Seramik Postlar	35
2.8.2.2.2 Fiber Postlar	36
2.8.2.2.3 Yüksek Performanslı Polimerler	40
2.9 Post Simantasyonunda Kullanılan Simanlar	42
2.9.1 Çinko Fosfat Siman	43
2.9.2 Çinko Polikarboksilat Siman	44

2.9.3 Cam İyonomer Siman.....	44
2.9.4 Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman.....	44
2.9.5 Kompozit Rezin Simanlar	45
2.9.6 Polimerizasyon Yöntemlerine Göre Sınıflandırma	46
2.10 Endodontik Tedavi Sonrası Enfeksiyon Gelişiminin Nedenleri.....	46
2.10.1 Biyolojik Etkenler	47
2.10.2 İyatrojenik Faktörler	48
2.11 Cerrahi Olmayan Retreatment	48
<i>Cerrahi Olmayan Retreatment Endikasyonları</i>	<i>49</i>
2.12 Postların Sökülmesi	49
2.12.1 Post Sökümünü Etkileyen Faktörler	49
2.13 Post Söküm Yöntemleri	50
2.13.1 Sonik Vibrasyon.....	51
2.13.2 Ultrasonik Enerji	51
2.13.3 Mekanik Aletler	52
2.13.4 Lazer Destekli Post Söküm Yöntemleri.....	52
2.13.5 Fiber Postların Sökümü.....	53
2.13.6 PEEK Postların Sökümü	54
2.14 Kök Kanal İrrigasyonu	54
2.14.1 Kök Kanal Dezenfeksiyonunun Gerekliliği	54
2.14.2 İdeal İrrigasyon Solüsyonlarının Özellikleri.....	54
2.14.3 Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	55
2.14.4 Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA).....	55
2.14.5 Distile Su.....	55
2.14.6 Smear Tabakası	56
2.14.7 İrrigasyon Sırasında Güvenlik ve Uygulama Yöntemleri.....	56
2.15 İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri	56
2.15.1 Manuel Yöntemler	58
2.15.1.1 Standart İğne ile İrrigasyon	58
2.15.1.2 Manuel Dinamik Aktivasyon (MDA).....	58
2.15.1.3 Manuel Fırçalarla İrrigasyonun Aktivasyonu	59
2.15.2 Makine Destekli Yöntemler	59
2.15.2.1 Negatif Basınç Prensibine Dayalı İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri	59
2.15.2.2 Şekillendirme ile Eş Zamanlı İrrigasyon Yapan Sistemler.....	60
2.15.2.3 Döner Başlıkla Birlikte Kullanılan İrrigasyon Sistemleri	61
2.15.2.4 Sonik Cihazlar	62
2.15.2.5 Ultrasonik Cihazlar	65
2.15.2.6 Lazer Sistemleri	68

2.15.2.7 Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi (AFT).....	74
2.15.2.8 Ozon ile İrrigasyon	74
2.16 Dentin Tübül Penetrasyonunu Değerlendirmede Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri.....	75
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	76
3.1 Etik Kurul Onayı ve Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması.....	76
3.2 Çalışmaya Dahil Edilecek Dişlerin Seçimi.....	76
3.3 Deney Gruplarının Planlanması.....	79
3.4 Fiber ve PEEK Postların Yapımı	80
3.5 Fiber ve PEEK Postların Sökümü.....	83
3.6 Post Söküm Sürelerinin Kaydı ve Sıcaklık Ölçümlerinin Yapılması	85
3.7 Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım (SWEEPS) Prosedürü.....	86
3.8 Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUİ) Prosedürü.....	88
3.9 Rodamin B Floresan Boyası ile Örneklerin İşlenmesi	88
3.10 Örneklerden Kesitlerin Hazırlanması	90
3.11 Kesitlerin Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop ile İncelenmesi	92
3.12 Elde Edilen Görüntülerin Analizi	94
3.13 İstatistiksel Analiz	97
4. BULGULAR	98
4.1 Söküm Süresi Değerlerinin Bulguları.....	98
4.2 Koronal Kesit Sıcaklık Değerlerinin Bulguları	99
4.3 Orta Kesit Sıcaklık Değerlerinin Bulguları	101
4.4 Kök Kanal Lümenini Çevreleyen Dentin Tübüllerinde Ortalama Penetrasyon Derinliği Bulguları	103
5. TARTIŞMA	107
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışmaya dahil edilen dişler	76
Şekil 3.2. Kök kanal tedavisinde kullanılan VDW Gold Endomotor Sistemi ..	78
Şekil 3.3. Kök kanal tedavisinde kullanılan el eğeleri ve döner ege sistemleri	78
Şekil 3.4. Kök kanal tedavisinde kullanılan materyaller	79
Şekil 3.5. Fiber post sistemi	81
Şekil 3.6. PEEK post üretimi için kullanılan dijital tarayıcı	81
Şekil 3.7. Üretilen PEEK post	82
Şekil 3.8. Post sisteminin drilli	82
Şekil 3.9. PEEK post uygulaması yapılmış diş ve fiber post uygulaması yapılmış diş röntgeni	83
Şekil 3.10. Newtron P5 XS ultrasonik sistem (Acteon)	84
Şekil 3.11. Dr. Talal's Endo Kit	84
Şekil 3.12. Ultrasonik uç ile fiber post sökümü	85
Şekil 3.13. PEEK post sökümü	85
Şekil 3.14. Cem DT-3891G 4 Kanallı Termokupl Sıcaklık Data Logger	86
Şekil 3.15. Radial SWEEPS fiber ucun kullanıldığı LightWalker AT Er:YAG lazer cihazı (FOTONA) ve uygulama yapılan SWEEPS modu	87
Şekil 3.16. Radial SWEEPS fiber uç	87
Şekil 3.17. Dr. Talal's Endo Kit Ultrasonik Endo Tip T2	88
Şekil 3.18. Rodamin B floresan boyası	89
Şekil 3.19. Rodamin B floresan boyasının ölçümünde kullanılan analitik terazi	89
Şekil 3.20. IsoMet 1000 Precision Saw	90
Şekil 3.21. Dişlerden alınan kesit örnekleri	92
Şekil 3.22. Nikon C2 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop	93
Şekil 3.23. Tek bir görüntüde elde edilemeyen kesitlerin görüntülerinin Freeform yazılımı ile birleştirilmesi	93
Şekil 3.24. Kök kanalının lümen çapının dijital kumpas ile ölçülmesi	95
Şekil 3.25. Konfokal lazer tarama mikroskobu ile elde edilen görüntülerin, ImageJ yazılımı kullanılarak analiz edilmesi	96

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Prefabrike Post Sistemleri	32
Tablo 2.2. Post Materyallerinin Sınıflandırılması	34
Tablo 2.3. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri.....	57
Tablo 3.1. Deney Grupları.....	80
Tablo 4.1. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Betimsel İstatistikler	98
Tablo 4.2. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri.....	98
Tablo 4.3. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Kruskal-Wallis Testi Sonuçları ..	99
Tablo 4.4. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Dunn–Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları	99
Tablo 4.5. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Betimsel İstatistikler ..	100
Tablo 4.6. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri	100
Tablo 4.7. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Kruskal–Wallis Testi Sonuçları	100
Tablo 4.8. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Dunn–Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları	101
Tablo 4.9. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Betimsel İstatistikler	101
Tablo 4.10. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri	102
Tablo 4.11. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Kruskal–Wallis Testi Sonuçları	102
Tablo 4.12. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Dunn–Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları	103
Tablo 4.13. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Betimsel İstatistikler ..	103
Tablo 4.14. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri	104
Tablo 4.15. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Kruskal-Wallis Testi Sonuçları	105
Tablo 4.16. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Dunn-Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları	106

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AFT:	Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi
ANB:	Apikal Negatif Basınç
AUI:	Aktif Ultrasonik İrrigasyon
CAD/CAM:	Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing
CFU:	Colony-Forming Unit (Koloni Oluşturan Birim)
CLSM:	Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop
DUI:	Devamlı Ultrasonik İrrigasyon
EDTA:	Etilendiamintetraasetik Asit
FGK:	Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit
Hz:	Hertz
kHz:	Kilohertz
mJ:	Milijoule
mL:	Mililitre
mm:	Milimetre (boyut ölçümü)
mPa:	Megapascal
µm:	Mikrometre (boyut ölçümü)
N:	Newton
NaOCl:	Sodyum Hipoklorit
nm:	Nanometre
PAEK:	Poliarileterketon
PEEK:	Polietereterketon
PEKK:	Polieterketonketon
p:	İstatistiksel anlamlılık düzeyi (p değeri)
pH:	Hidrojen miktarı
PUI (PUI):	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
rpm:	Dakikadaki tur sayısı
SD:	Standart Sapma
SEM:	Taramalı Elektron Mikroskobu
sn:	Saniye
SWEEPS:	Şok Dalgası İle Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım
UI:	Ultrasonik İrrigasyon
XPF:	XP-Endo Finisher eğesi

°C: Santigrat derece

%: Yüzde

ϵ^2 : Epsilon kare (etki büyüklüğü ölçütü)

δ : Cliff's delta



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca klinik, akademik bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana her zaman yol gösteren, sevincimde de üzüntümde de kapısını çalabildiğim, her daim sevgiyle hayatımda yer alacak olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Esmâ DİNGER'e;

Uzmanlık eğitimimin başından itibaren desteğini hep hissettiğim, fakültedeki hayatımızı kolaylaştıran Endodonti Anabilim Dalı'ndaki hocalarımız Prof. Dr. Ali KELEŞ, Dr. Öğr. Üyesi Özlem SİVAS YILMAZ, Dr. Öğr. Üyesi Melis Oya ATEŞ, Dr. Öğr. Üyesi Merve IŞIK'a;

Lazer taramalı konfokal mikroskop ile görüntülerin elde edilmesinde bilgi ve tecrübesiyle yolumuza ışık tutan, vaktini bize ayıran Öğr. Gör. Dr. Şeyda KARABÖRK'e;

Tezimin istatistiksel analiz sürecinde değerli katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Alperen YANDI'ya;

Uzmanlık eğitimi ve tez süreci boyunca yoldaşlık ettiğimiz değerli eşkıdemli arkadaşlarım Sude OKUR, Furkan YILMAZ, Ali HARAÇ, Büşra KAYGISIZ, Amine YİĞİT'e;

Tezimin yürütülmesinde özverili destekleriyle yanımda olup hayatımda özel bir yere sahip olan araştırma görevlisi arkadaşlarım Esra TETİK YÜCE ve Ayşegül GÜVEN KÖMÜRCÜ'ye ve beraber çalıştığım tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma;

Hayat yolculuğumda bugün olduğum kişi olmamda büyük emeği olan; tüm eğitimim boyunca bana gösterdikleri maddi ve manevi destekleri ile bana olan inançları sayesinde her zaman arkamda olduklarını hissettiren ailem, babam Aydın ÖZDOĞAN, annem Emine ÖZDOĞAN ve kardeşim Oğuzhan ÖZDOĞAN'a;

Hayatıma girdiği günden beri yaptığım her şeyde yanımda olup uzmanlık sürecim boyunca bana güç veren ve tezimde benim kadar emeği olan sevgili eşim Yasir ESER'e;

2025-DUP-005 nolu BAP projesi desteği ile tez çalışmama katkı sağlayan Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Son yıllarda diş hekimliğinde geliştirilen yeni materyal ve yöntemler sayesinde, çekim endikasyonu konulan birçok dişin restore edilerek ağızda başarılı bir şekilde tutulması mümkün hale gelmiştir (Machado et al., 2017; D. R. Mishra et al., 2017). Endodontik olarak tedavi edilen aşırı madde kayıplı dişler genellikle kron veya sabit restorasyon yapımından önce post kor ile restore edilmektedir. Fazla madde kaybı olan dişlerin tedavisinde metal postlar, döküm postlar gibi daha geleneksel post çeşitlerinin yanında seramik postlar, fiber postlar gibi daha güncel çeşitlerinin de kullanımı yaygındır (Rosentritt et al., 2000).

Fiber postlar, uzun süredir kullanılmakta olan ve yüksek sağkalım oranlarıyla literatürde yer bulan post sistemleridir (Naumann et al., 2012). Günümüzde estetik ve kozmetik beklentilerin artmasıyla birlikte, dentine yakın elastisite modülüne sahip olmaları ve fonksiyonel kuvvetleri daha homojen bir şekilde iletebilmeleriyle fiber postlar klinik uygulamalarda yerini almıştır (L. Mishra et al., 2020).

Son yıllarda diş hekimliği pratiğinde giderek daha fazla ilgi gören, yüksek performanslı bir polimer olan polietereeterketon (PEEK), endodontik alanda da post kor materyali olarak kullanılmak üzere geliştirilmiş ve geleneksel materyallere alternatif bir seçenek olarak mevcut literatürde ele alınmıştır. (Rasool & Al-Barazanchi, 2023). PEEK postlar yüksek retansiyon ve kırılma direnci gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir. Dentine benzer basınç dayanımı ve elastik modül değerleri, materyalin uygulanan stresi homojen bir şekilde dağıtmasına ve fonksiyonel kuvvetleri absorbe edebilmesine olanak tanımaktadır (Alkhatri et al., 2019).

Fiber ve PEEK postların mekanik özellikleri ve tutuculukları, self-adeziv rezin simanların kullanımıyla daha da iyileştirilebilmektedir (S. Ahmad et al., 2023; Faria-e-Silva et al., 2012; Sarkis-Onofre et al., 2014). Literatürde, adeziv simanların kullanımının endodontik olarak tedavi edilmiş ve fiber post uygulanmış dişlerin ömrünü uzatabileceği bildirilmektedir. Bununla birlikte, adeziv simanlarla simante edilen fiber postların en önemli dezavantajı, söküm işlemlerinin güç olmasıdır (L. Mishra et al., 2020). Post sistemleri genel olarak dişin ağızda kalma süresini artırırsa da, travma sonrasında post bütünlüğünün bozulduğu ya da kök kanal yenileme

işleminin gerekli görüldüğü klinik durumlarda postun sökümü zorunlu hale gelebilmektedir.

Literatürde, klinik uygulamalarda postların mekanik olarak uzaklaştırılmasında elmas frezler, ilgili post sistemine ait özel driller, ultrasonik cihazlar ve lazer sistemlerinin; rehber şablon desteğiyle ya da desteksiz olarak kullanılabildiği bildirilmektedir (Altshul vd., 1997; Cho vd., 2022; Çapar vd., 2015; Elabdalla vd., 2025).

Drill yöntemi, post materyalini mekanik olarak aşındırarak uzaklaştırmakta ve böylece söküm işleminin daha kısa sürede tamamlanmasına katkı sağlamaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanması sırasında ortaya çıkabilen aşırı ısınma, dentin dokusunda madde kaybı ve kök kanal anatomisinin hasar görmesi gibi istenmeyen etkiler de bildirilmektedir (Çapar et al., 2015; Scotti et al., 2013).

Ultrasonik yöntem, klinik uygulamalarda sıklıkla tercih edilen ve üretici firmalar tarafından desteklenen bir post söküm tekniğidir. İşlem sırasında üretilen vibrasyon enerjisi dentin dokusuna ve siman-post arayüzüne iletilerek adeziv bağların zayıflaması ve postun daha kolay uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Gaffney et al., 1981). Bununla birlikte, postun uzaklaştırılmasının daha uzun zaman alması, işlem esnasında sıcaklık artışına neden olabilmesi, dentinde madde kaybı mikroçatlak görülme riskini artırabilmesi gibi dezavantajları da bildirilmektedir (Aydemir et al., 2018; Papoulidou et al., 2023; Purger et al., 2021).

Bu çalışmanın amacı, endodontik tedavi edilmiş ve sonrasında fiber post ile PEEK post uygulanmış dişlerde, postların ultrasonik yöntem ve ilgili fiber post sistemine ait driller kullanılarak uzaklaştırılmasının etkilerini değerlendirmektir. Literatürde fiber postların sökümüne ilişkin çeşitli araştırmalar mevcutken, PEEK postların sökümüne yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır (Arukaslan & Aydemir, 2019; Deeb vd., 2019; Papoulidou vd., 2023). Söküm sırasında geçen süre ve oluşan sıcaklık değişimleri göz önüne alınarak farklı post ve farklı söküm teknikleri kullanılmasının etkili olup olmadığı belirlenerek literatürdeki bu açıklık giderilmeye çalışılmıştır.

Postların uzaklaştırılmasından sonra, dişlerin yeniden restore edilebilmesi için kök kanalında yer alan mevcut post materyali ve siman artıklarının etkin bir şekilde elimine edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, post sökümünü takiben yeni bir post yerleştirilmeden önce uygulanacak final irrigasyon prosedürünün, rezidüel materyallerin uzaklaştırılmasında ve dentin tübüllerinin açıklığının sağlanmasında

önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliği, kullanılan irrigasyon aktivasyon tekniklerinden doğrudan etkilenmektedir (Tungsawat vd., 2021).

Literatürde post boşluğu hazırlığı sonrası irrigasyon protokolleri ve smear tabakasının uzaklaştırılmasıyla ilgili çok sayıda çalışma mevcutken post sökümü sonrası irrigasyon protokolü ya da smearın uzaklaştırılması ile ilgili çalışmalara gereksinim duyulmaktadır (Cândido et al., 2023; De Melo Alencar et al., 2023; Iandolo et al., 2023). Bu çalışma ile post sökümü sonrasında farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanılarak, söküm tekniklerinin ve irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin dentin tübüllerindeki etkileri, lazer taramalı konfokal mikroskop kullanılarak gözlemlenmiş ve literatürdeki bu açıklığı gidermek amaçlanmıştır.

Çalışmanın Sıfır Hipotezi

(H0₁): Farklı post sistemlerinin kullanılması söküm kolaylığını, sıcaklık değişimini ve dentin yapısını etkilemez.

(H0₂): Farklı post söküm yöntemlerinin uygulanması söküm kolaylığını, sıcaklık değişimini ve dentin yapısını etkilemez.

(H0₃): Post söküm işlemi sonrası uygulanacak farklı irrigasyon aktivasyon teknikleri, irrigasyon solüsyonlarının dentin tübül penetrasyonunu etkilemez.

2. GENEL BİLGİLER

Endodontik tedavi, pulpa dokusunun çıkarılması, kök kanal sisteminin şekillendirilip dezenfekte edilmesi ve ardından uygun materyallerle doldurulması işlemlerini içermektedir. Amaç, pulpanın irreversibl zarar gördüğü durumlarda diş ağızda tutmak, periapikal dokularda iyileşme sağlamak ve yeniden enfeksiyonu önlemektir. Kök kanal tedavisi tamamlanmış bir dişin, ağızda uzun süre fonksiyonda kalabilmesi için, diş dokusundaki kayıp miktarıyla ilişkili olarak uygun restorasyonun yapılması gerekmektedir. Restoratif tedavinin amacı, diş yapılarının korunması, kaybedilmiş dokuların restore edilmesi ve aynı zamanda yeniden fonksiyona kazandırılmasıdır. Yakın zamanda çok sayıda yeni materyal ve yöntemlerin geliştirilmesiyle geçmişte çekim endikasyonu konulan birçok dişin restore edilerek başarılı bir şekilde ağızda ve fonksiyonda kalmasının yolu açılmıştır (Abusrewil et al., 2020).

Yapılan restorasyonun kalitesi ile endodontik tedavi görmüş dişin klinik başarısı arasında pozitif korelasyon olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Gillen et al., 2011).

Endodontik tedavili dişlerin restorasyonlarında oluşan marjinal aralıkların, kırıkların veya kayıpların endodontik tedavinin başarısının düşmesinde büyük oranda etkili olmasından dolayı; restoratif tedavi endodontik tedavinin son basamağı sayılmaktadır. Ancak endodontik tedavili dişlerin yapısı, vital dişlere göre farklılık göstermektedir. Endodontik tedavinin ardından görülen önemli değişiklikler arasında; diş sert dokularında oluşan hacimli madde kayıpları, olası doku renklenmeleri, kalan diş sert dokularının dehidratasyonu sayılabilmektedir. Bu bahsedilen dokulardaki değişimin restoratif tedavinin başarısını da etkileyebileceğini göstermektedir (Caussin vd., 2024).

2.1 Restoratif Tedavi Öncesi Değerlendirme

Bu inceleme; endodontik, periodontal, biyomekanik, estetik değerlendirmeleri içermektedir.

Endodontik Değerlendirme

Bu inceleme restoratif tedaviden önce varolan endodontik tedavinin kalitesini içermektedir. Yeni yapılacak restorasyona, komplike protetik

planlamalara endodontik tedavisinde şüphe bulunan dişler dayanak olarak seçilmemelidir. Endodontik tedavinin yenilenmesi, apikal periodontitisin radyografik belirtiler ve klinik semptom gösteren dişler için endikasyon oluşturmaktadır. Endodontik tedavinin yenilenmesi sonrasında periapikal dokuların iyileşme ihtimali çok yüksektir. Endodontik tedavi sonrasında yapılan restorasyon da kaliteli olduğunda dişin ağızda asemptomatik olarak kalma ihtimali artmaktadır (Duncan et al., 2023; D. Huang et al., 2024).

Periodontal Değerlendirme

Periodontal sağlık, endodontik tedavili dişlerin klinik başarısı için önemlidir. Aşağıdaki parametrelere bağlı olarak dişin periodontal sağlığı hakkında fikir sahibi olunabileceği belirtilmiştir (El Ouarti et al., 2021):

- Sağlıklı diş etlerinin varlığı
- Normal kemik ve ataşman seviyesi
- Tedaviden önce ve sonra biyolojik aralığın korunması ve sağlanması

Biyomekanik Değerlendirme

Dişin endodontik tedavi görene kadar olan çürük ve/veya travma sebebiyle oluşan madde kayıpları, biyomekanik durumunda ve restoratif materyal seçiminde önemlidir. Aşağıda dişin klinik başarısında önemi olan faktörler belirtilmiştir:

- Kalan diş dokusu
- Dişin anatomik pozisyonu
- Dişe gelen okluzal kuvvetler

Geriye kalan sağlıklı diş dokusu miktarı az olan dişlerde kök kırığı, sızıntı, sekonder çürükler, protezin kaybı, periodontal hasar gibi komplikasyonlar açısından risk altındadır (Mazlan et al., 2024).

Okluzal Kuvvetler, Parafonksiyonel Hareketler

Dişler aksiyal ve aksiyal olmayan kuvvetlerle karşılaşmaktadırlar. Bu nedenle, hem doğal diş yapısı hem de uygulanan restoratif tedaviler, oluşabilecek mekanik zorlanmalara karşı yeterli dayanıklılığa sahip olmalıdır.

Birçok oklüzyon planında anterior dişler, posterior dişlere rehberlik etmekte ve lateral kuvvetlerden korumaktadır. Kanin koruyuculu oklüzyon var olduğunda posterior dişler daha fazla dikey kuvvet karşılayabilmektedir (Pasricha et al., 2012).

Diş sıkma, diş gıcırdatma gibi parafonksiyonel alışkanlıklar; çatlak kırık gibi travmatik yaralanmaların sebeplerindendir. Parafonksiyonel alışkanlıkların var olduğu durumlarda restorasyonların da bu kuvvetleri karşılayacak şekilde özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Estetik Değerlendirme Gereklilikleri

Endodontik tedavi planlamasında, özellikle estetik bölgedeki dişler söz konusu olduğunda, olası estetik komplikasyonlar tedaviye başlanmadan önce dikkatle değerlendirilmelidir. Metal veya koyu renkli karbon fiber postlar ile pulpa odasına yerleştirilen amalgam restorasyonlar, protetik yapıların grimsi görünmesine ya da servikal bölgede ve diş eti dokusunda renk değişikliklerine yol açarak istenmeyen estetik sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, estetik açıdan kritik olan dişlerde, kök kanal sisteminin koronal üçte birinde ve pulpa odasında kullanılan endodontik materyallerin neden olabileceği potansiyel renklenmelerin kontrol altına alınması ya da tamamen önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Restoratif materyal seçiminin özenle yapılması, çevre dokulara minimal invaziv yaklaşımla müdahale edilmesi ve endodontik tedavinin zamanında uygulanması, devital dişlerin ve çevre yumuşak dokuların doğal estetiğini korumada belirleyici faktörlerdir (Tortopidis et al., 2015).

2.2 Tedavi Stratejisi Belirleme

Endodontik tedavi görmüş dişlerin koronal restorasyonunun başarısı, post, kor yapısı ve kullanılan siman materyalinin birlikte oluşturduğu sağlam temele dayanmaktadır. Post ve kor restorasyonları, tedavi sonrası oluşabilecek mikrosızıntı, sekonder çürük, yapısal kırılma ya da restorasyonun yerinden ayrılması gibi komplikasyonlara karşı restoratif sistemin direncini artırmayı hedeflemektedir (Mamoun, 2017). Bu nedenle, hem lokal (örneğin dişin kalan doku miktarı, okluzal yüklenme) hem de genel (hastanın sistemik durumu, ağız hijyeni vb.) faktörler dikkate alınarak, en uygun tedavi planının belirlenmesi ve restoratif materyal seçiminin titizlikle yapılması gerekmektedir. Bu parametrelerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi, uzun dönem klinik başarı açısından kritik öneme sahiptir.

2.3 Restorasyon Seçenekleri

2.3.1 Amalgam Restorasyonlar

Geçmişte yaygın olarak kullanılan amalgam restorasyon materyali, sahip olduğu yüksek dayanıklılık özelliklerine rağmen, günümüzde estetik ve biyomekanik bazı sınırlılıkları nedeniyle eskiye kıyasla daha az tercih edilmektedir (Eklund, 2010). Özellikle kimyasal olarak diş dokusuna bağlanamaması ve gri renklenmeye yol açması, estetik kaygıların ön planda olduğu klinik uygulamalarda kullanımını sınırlandırmıştır. Ayrıca, özellikle geniş kavite preparasyonları gerektiren MOD (Mezial-Okluzal-Distal) restorasyonlarda, amalgamın oluşturabileceği kama etkisi nedeniyle kalan diş yapısında çatlak ya da fraktür gelişme riski bulunmaktadır (Souza et al., 2025). Bu olumsuzluklar doğrultusunda, estetik ve mekanik özellikleri geliştirilmiş posterior kompozitler ve dental seramikler gibi alternatif restoratif materyaller geliştirilmiş ve klinik uygulamalarda daha yaygın hale gelmiştir.

2.3.2 Kompozit Rezin Restorasyonlar

Estetik beklentilerin karşılanabilmesi, mine ve dentin dokularına kimyasal olarak bağlanabilmeleri ve diş-restorasyon bütünlüğünü sağlamaları nedeniyle kompozit rezinler ile adeziv sistemler, günümüz diş hekimliğinde oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Schirmermeister et al., 2009). Bu materyallerin özellikle mine ve dentinle oluşturduğu mikromekanik bağlantı, restorasyonların uzun dönem başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Çürük lezyonlarının ve çeşitli yapısal defektlerin restorasyonunda adeziv sistemlerle birlikte kullanılan kompozit materyaller, yüksek klinik başarı oranlarıyla tercih edilmektedir.

Son yıllarda, özellikle kök kanal tedavisi görmüş, geniş kaviteye sahip ve yüksek okluzal stres alanlarında bulunan posterior dişlerin restorasyonunda fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin (FGK) kullanımı artmıştır. Geleneksel kompozit rezinlere kıyasla, içerdikleri fiber yapılar sayesinde FGK materyallerin kırılma dayanımı, fleksural direnci ve yük taşıma kapasitesi anlamlı derecede geliştirilmiştir. Yapılan laboratuvar çalışmaları, FGK ile hazırlanan onley restorasyonların daha yüksek mekanik dayanım sergilediğini; ayrıca, geleneksel kompozitlerle birlikte kullanıldığında bu materyallerin kırılma direncini de

artırdığını göstermektedir. Bu veriler, FGK materyallerin klinik performans açısından potansiyel avantajlarını ortaya koymaktadır (Maiti et al., 2022).

2.3.3 Koronal Yapının Güçlendirilmesi

Endodontik tedavi sonrası zayıflayan diş yapısının uzun süreli işlevselliğini sağlamak ve kırılma riskini azaltmak amacıyla koronal yapının güçlendirilmesine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla tüberkül kaplama, fiber postlar, örgü fiber sistemleri ve bu yöntemlerin farklı kombinasyonları üzerine odaklanan birçok çalışma yapılmıştır (Yıkılğan & Bala, 2013).

Tüberkül kaplama yöntemi, özellikle posterior bölgede kök kanal tedavisi görmüş dişlerde, okluzal kuvvetlerin etkisini dengelemek ve restorasyonun kırılma dayanımını artırmak için sıklıkla tercih edilmektedir. Yapılan araştırmalarda, tüberkülleri kapsayan restorasyonların, yalnızca kaviteyi dolduran standart kompozit uygulamalara kıyasla daha yüksek direnç gösterdiği bildirilmiştir (Mondelli vd., 2009).

Polietilen esaslı örgü fiber materyaller, şerit formunda üretilmekte olup; post kor yapılarında, periodontal splintleme işlemlerinde, adeziv köprülerde ve overdenture protezlerin desteklenmesinde geniş kullanım alanına sahiptir. Bu fiber sistemler, restorasyonun mekanik dayanımını artırmaya katkı sağlayan yapılar olarak ön plana çıkmaktadır (Yılmaz et al., 2003).

Koronal duvarların büyük oranda kaybedildiği, yalnızca bukkal ve palatinal (veya lingual) duvarların korunduğu dişlerde, kök kanal tedavisi sonrasında oluşan okluzal streslere karşı direnç önemli ölçüde azalmaktadır (Sengun et al., 2008). Bu tür durumlarda, zaman içinde kalan duvarlardan birinin kırılmasıyla dişin restoratif olarak kurtarılamayacak hale gelmesi olasıdır. Bu nedenle, ileri düzey madde kaybı görülen dişlerde örgü fiber materyallerle destekleme yapılması, restorasyonun başarısını artırmak açısından önemlidir (Oskoe vd., 2009).

2.3.4 İnley, Onley, Overlay ve Endo-Kron Restorasyonlar

Kök kanal tedavisi sonrası madde kaybının ileri düzeyde olduğu durumlarda, indirekt tekniklerle hazırlanan intrakoronal restorasyonlar sıklıkla tercih edilmektedir. Bu restorasyonlar, kavite şekline bağlı olarak inley, onley veya overlay olarak sınıflandırılmakta ve altın alaşımları, laboratuvar kompozitleri veya seramik materyaller kullanılarak

hazırlanabilmektedir. Direkt restoratif yöntemlerin yeterli olmadığı, kavitenin hacminin geniş olduğu ve estetik gereksinimlerin ön planda tutulduğu olgularda seramik ya da indirekt kompozit inley/onley restorasyonlar uygun bir tedavi seçeneği sunmaktadır. İndirekt restorasyonların en önemli avantajlarından biri, polimerizasyon büzülmesi probleminin ortadan kaldırılması sayesinde daha üstün fiziksel ve mekanik özelliklerin elde edilebilmesidir (Roulet vd., 2001).

Günümüzde bu restorasyonlar hem geleneksel laboratuvar yöntemleriyle hem de dijital CAD/CAM teknolojileriyle üretilmektedir (Jedynakiewicz & Martin, 2001). Özellikle CAD/CAM sistemlerinde kullanılan endüstriyel olarak güçlendirilmiş feldspatik seramik bloklar, yüksek yapısal homojeniteye ve kırılma direncine sahiptir (Tinschert et al., 2000).

Endo-kronlar, özellikle aşırı madde kaybı olan endodontik tedavili dişlerin restorasyonunda modern ve konservatif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu restorasyonlar, tutuculuğunu pulpa odasından, bazı durumlarda ise kök kanallarından destek alarak sağlayan yapılar olup, adeziv tekniklerle dişe stabil olarak bağlanmaktadır (Gillen et al., 2011; Magne & Knezevic, 2009).

2.4 Post Sistemlerinin Gerekliliği

Endodontik tedavi sonrasında ciddi miktarda koronal doku kaybı yaşanan dişlerde, yapılan restorasyonların uzun dönem başarısı yalnızca adeziv materyallerin kullanımı ile sağlanamayabilmektedir. Bu gibi durumlarda post sistemlerinin uygulanması, restorasyonun retansiyonunu artırmak, kalan diş dokusunu desteklemek ve fonksiyonel dayanıklılığı güvence altına almak adına kritik bir rol üstlenmektedir. Kök kanal tedavisi görmüş dişlerde özellikle kavite hacmi genişlemiş, mevcut diş duvarları incelmış ve makromekanik tutuculuk azalmışsa, restoratif prosedürlerin tek başına yeterli olması beklenmemelidir (Bučević Sojčić et al., 2025).

Post sistemleri, restorasyonun yalnızca mekanik olarak tutunmasını değil, aynı zamanda okluzal kuvvetlerin kök boyunca daha homojen bir şekilde dağılmasını da sağlamaktadır. Böylelikle, kök kanal içindeki stres konsantrasyonu minimize edilerek potansiyel fraktür riski azaltılabilmektedir. Özellikle premolar ve molar dişler gibi lateral kuvvetlere daha çok maruz kalan posterior dişlerde bu avantaj daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca, post kullanımı, kronun yeterli yüksekliğe sahip olmadığı durumlarda kor materyalinin desteklenmesi ve

restorasyonun stabilitesinin sağlanması açısından da klinik olarak önem arz etmektedir (Naumann et al., 2018).

Bununla birlikte, post uygulaması her endodontik tedaviden sonra rutin olarak uygulanmamaktadır. Güncel minimal invaziv yaklaşımlar, mümkün olduğunca fazla miktarda sağlıklı diş dokusunun korunmasını hedeflerken, gereksiz post preparasyonu nedeniyle oluşabilecek yapısal zayıflamanın önüne geçmeyi amaçlamaktadır. Eğer mevcut diş dokusu, restorasyonun mekanik ve fonksiyonel gerekliliklerini karşılayabilecek düzeyde ise, yalnızca adeziv tekniklerle yeterli tutuculuk sağlanabilmekte ve bu durumda post uygulaması endike olmayabilmektedir (Naumann et al., 2018).

Sonuç olarak, post sistemlerinin kullanımı, endodontik tedavi sonrası restoratif stratejilerin başarısında önemli bir basamak olmakla birlikte; bu karar, dişe özgü anatomik ve biyomekanik parametreler, kalan doku miktarı, estetik beklentiler ve uygulanacak restorasyon tipi gibi birçok faktör göz önünde bulundurularak verilmelidir. Doğru endikasyonda kullanılan post sistemleri, dişin uzun dönem fonksiyonunu ve bütünlüğünü sürdürmesine katkı sağlamaktadır (Cheung, 2005).

2.5 Post Sistemlerinin Temel Fonksiyonları

Post sistemlerinin temel fonksiyonları aşağıda detaylandırılmaktadır:

Mekanik Destek Sağlamak

Kök kanal tedavisi sonrası kalan koronal diş dokusu sınırlı olduğunda, doğrudan kompozit veya adeziv materyallerle yapılan restorasyonlar yeterli dayanıklılığı sağlayamayabilmektedir. Bu durumda post, kor materyaline destek olarak restorasyonun yapısal bütünlüğünü arttırmaktadır. Özellikle mastikasyon sırasında oluşan dikey ve yatay kuvvetlere karşı restorasyonun direncini artırarak, dişin fonksiyonel ömrünü uzatmaktadır (Zhu et al., 2015).

Retansiyonu Artırmak

Yetersiz koronal diş dokusuna sahip vakalarda, restoratif materyalin dişe tutunabilmesi için yeterli yüzey alanı mevcut olmayabilmektedir. Post sistemleri, bu gibi durumlarda restorasyonun tutuculuğunu (retansiyonunu) artırarak restoratif materyalin dişe olan bağlantısını güçlendirmektedir. Postun varlığı, kor yapının

kök kanalı içerisinde sabitlenmesini sağlamakta ve özellikle kron restorasyonu gerektiren durumlarda stabil bir alt yapı oluşturmaktadır (Habib et al., 2022).

Kalan Dentin Dokusunu Korumak ve Stabilize Etmek

Post sistemleri, çevresindeki zayıf dentin yapılarını destekleyerek hem yatay hem dikey kuvvetlerin eşit şekilde dağılmasına katkı sağlamaktadır. Bu destek, mevcut dentin dokusunun mikro çatlaklara karşı korunmasına yardımcı olurken, özellikle lateral kuvvetlerin yoğun olduğu bölgelerde kök fraktürlerinin önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Böylece, kalan dentin yapısının stabilizasyonu sağlanmakta ve daha az diş dokusuna müdahale edilerek restoratif işlemlerin başarısı artırılmaktadır (Habib et al., 2022; Zhu et al., 2015).

Stres Dağılımını Optimize Etmek

Farklı rijitlik düzeylerine sahip post materyalleri, diş dokularına iletilen stresin dağılımını doğrudan etkilemektedir. Dentinle benzer elastik modüle sahip post sistemleri (örneğin cam fiber postlar), uygulanan kuvvetleri daha homojen şekilde dağıtarak lokalize stres birikimini engellemektedir. Bu sayede, kök kanal sisteminin maruz kaldığı mekanik yükler denge altına alınmakta ve fraktür riski azaltılmaktadır. Uygun post seçimi, bu bağlamda restorasyonun biyomekanik başarısını belirleyen kritik bir faktördür (Falakaloğlu et al., 2019; Oshima et al., 2016).

Mikrosızıntıyı Azaltmak ve Koronal Sızdırmazlığı Güçlendirmek

Post sistemleri aynı zamanda kök kanal tedavisinin başarısını korumak amacıyla koronal sızdırmazlığa katkıda bulunmaktadır. Endodontik tedavi sonrası restorasyonun sızdırmaz olması, mikroorganizma infiltrasyonunu önlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle adeziv sistemlerle birlikte kullanılan postlar, restorasyonun mikro sızdırmazlık özelliğini artırarak yeniden enfeksiyon riskini azaltmaktadır. Bu durum, uzun dönem endodontik sağkalımı desteklemektedir (Maroulakos et al., 2018).

2.6 Post Sistemlerinin Endikasyon ve Kontrendikasyonları

Günümüzde endodontik tedavi başarılarının artması ve gelişmiş restoratif materyallerin klinik kullanıma girmesiyle birlikte, yalnızca kök kısmı kalmış

dişlerin bile ağızda uzun süre fonksiyonel olarak korunması mümkün hale gelmiştir. Bu gelişmeler içerisinde post kor sistemleri, hem fonksiyonel hem de estetik restorasyonların sağlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir (Hudis & Goldstein, 1986; Smidt & Venezia, 2003).

Post, endodontik tedavi sonrası şekillendirilmiş pulpa boşluğuna yerleştirilen, doğrudan veya dolaylı yöntemlerle hazırlanan, farklı materyallerden üretilmiş tutucu yapılardır (Çökük vd., 2009). **Kor** ise, ciddi doku kaybına uğramış dişlerde kron ya da köprü protezi öncesinde üst restorasyonun tutuculuğunu artırmak amacıyla, post desteğiyle veya bağımsız olarak hazırlanan bir yapı taşıdır (Yavuzylmaz et al., 2003). Genellikle kesilmiş diş formunda planlanır ve kök kanallarının içine ya da koronal tutucu yüzeylere adeziv tekniklerle bağlanmaktadır. Bu yapılar sayesinde, hem restorasyonun dayanıklılığı artırılmakta hem de mevcut diş dokularından maksimum düzeyde fayda sağlanabilmektedir (Toksavul et al., 2006; Vano et al., 2006).

2.6.1 Post kor Sistemlerinin Endikasyonları

Post kor sistemlerinin uygulanması, aşağıdaki klinik durumlarda endike kabul edilmektedir:

- Kron/kök oranının desteklenmesi gereken durumlar,
- Aşırı kron kaybı olan ve konvansiyonel tutucu yöntemlerin (pinli yapılar, oluklar, asitle pürüzlendirme) yeterli olmadığı olgular,
- Malpozisyonlu dişlerin okluzal veya aksiyel düzeltimi sonrasında pulpa bütünlüğünün bozulduğu durumlar,
- Restorasyon sonrası endodontik girişimlerin zorlaşacağı veya pulpa prognozunun belirsiz olduğu geniş defektli dişler,
- Overdenture protezlerinde, kökler aracılığıyla ataşman retansiyonu sağlanması gereken vakalar (Alaçam vd., 1998).

2.6.2 Post Kor Sistemlerinin Kontrendikasyonları

Aşağıdaki durumlarda post kor restorasyonların uygulanması önerilmemektedir:

- Kalsifiye kök kanalları nedeniyle kanal preparasyonunun mümkün olmadığı dişler,

- İleri derecede periodontal harabiyeti olan ve prognostik olarak yetersiz dişler,
- Kök düzeyine kadar ilerlemiş yaygın çürük bulunan dişler,
- Kök kanal sistemi tedaviye izin vermeyecek kadar dar veya dilasere yapıda olan kökler,
- Kök kanal tedavisi sırasında perforasyon meydana gelen vakalar,
- Kök çatlağı veya fraktürü saptanmış dişler,
- Yetersiz ağız hijyenine sahip ve tedaviye motive edilemeyen hastalar, bu tür restorasyonlar için uygun adaylar değildir (Gegauff, 2000).

2.6.3 Post Kor Restorasyonların Avantajları

Post kor sistemlerinin klinik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmesinin nedenleri aşağıda özetlenmiştir:

- Endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonu, bu yapıların sabit protezlere destek olarak kullanılmasını sağlamaktadır.
- Post kor restorasyonlar, final kron restorasyonunda kullanılacak metal alaşım miktarını azaltarak daha minimal invaziv bir yaklaşım sunmaktadır.
- Yüzey alanının artırılması, özellikle kron restorasyonunun retansiyonunu olumlu yönde etkilemektedir.
- Stres iletimi ve dağılımı, post aracılığıyla kök ve kron arasında denge sağlanarak restorasyonun uzun ömürlü olmasına katkı sağlamaktadır.
- Aşırı madde kaybı olan dişlerde, kalan diş dokusuyla yeterli tutuculuk sağlanamadığında, post kor sistemleri fonksiyonel ve yapısal bir destek olarak devreye girmektedir (Bilgin MS, 2008; Shillingburg & Kessler, 1982).

2.6.4 Post Kor Restorasyonların Dezavantajları

Her ne kadar post kor sistemleri endodontik tedavi görmüş dişlerin fonksiyonel ve estetik restorasyonunda önemli avantajlar sunsa da, bazı klinik sınırlılıkları ve potansiyel riskleri de beraberinde getirmektedir:

- Post yerleştirme işlemi, klasik restoratif prosedürlere göre ek bir klinik adım ve süre gerektirmektedir. Bu durum, tedavi sürecini uzatabilmekte ve hasta konforunu etkileyebilmektedir.
- Post yerleştirilmesi amacıyla yapılan kavite hazırlığı, çoğu zaman sağlıklı dentin dokusunun da uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Bu da dişte ilave doku kaybına ve zayıflamaya yol açabilmektedir.
- İleri dönemlerde tam kron restorasyonu gereksinimi doğarsa, daha önce yerleştirilmiş olan post yapısı, kor materyaline yeterli tutuculuk sağlayamayabilmektedir. Bu durum, mevcut restorasyonun revizyonunu zorlaştırabilmektedir.
- Endodontik tedavinin tekrarlanması gerektiği durumlarda, postun kök kanal içindeki varlığı, retreatment işlemini zorlaştırabilmekte; hatta kök perforasyonu, dentin çatlakları veya post sökümü sırasında kök fraktürü gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir (Bilgin MS, 2008; Shillingburg & Kessler, 1982).

2.7 Klinik Karar Sürecinde Post Seçimi

Post yerleştirilmesi, endodontik olarak tedavi edilmiş dişin uzun dönem başarısını doğrudan etkileyen restoratif işlemlerden biridir. Bu karar, yalnızca kalan diş dokusuna değil, aynı zamanda birçok anatomik, biyomekanik ve estetik faktöre dayanmalıdır. Klinik karar sürecinde aşağıdaki parametreler değerlendirilmelidir:

Kalan Dentin Miktarı

Post kullanımının gerekliliği büyük oranda kalan koronal dentin miktarına bağlıdır. Eğer dentin duvarlarının yüksekliği 2 mm'den fazla ve en az üç duvar korunmuşsa, post kullanmadan yapılan adeziv restorasyonlar yeterli olabilmektedir. Ancak dentin dokusu azalmışsa, post sistemleri restoratif materyalin retansiyonunu ve stabilitesini artırmak için tercih edilmektedir (Ferrari vd., 2012).

Kök Kanalın Şekli ve Uzunluğu

Kök kanalının morfolojisi post seçimini doğrudan etkilemektedir. Uzun, düz ve geniş kök kanalları prefabrike veya döküm postlar için uygundur. Ancak eğimli, dar veya düzensiz kök kanal anatomisinde esnekliği daha yüksek fiber postlar tercih

edilmelidir. Kök kanal eğriliği arttıkça rijit postların uygulanması zorlaşmakta ve perforasyon riski artmaktadır (M. Huang et al., 2024).

Uygulanacak Kron Tipi

Post seçiminde üst yapı (kron) tipi de göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle tam seramik kronlarda ışık geçirgenliğinin korunması önemlidir. Bu nedenle estetik restorasyonlarda fiber postlar, opak metal postlara kıyasla daha avantajlıdır (Lamichhane et al., 2014). Metal altyapılı kronlarda ise estetik kaygı daha az olduğu için dayanım ön plana alınabilmektedir (Pjetursson et al., 2018).

Estetik Bölge Olup Olmaması

Anterior dişler estetik bölge olarak değerlendirilmekte ve bu bölgelerde restorasyonun translüsentliği, doğal görünüme katkı sağlamaktadır. Cam fiber veya kuvars fiber postlar, ışığı geçirebildikleri için bu bölgelerde tercih edilmelidir. Buna karşın metal postlar, renk yansımaları ve opak görüntü nedeniyle estetik bölgelerde önerilmemektedir (Vadavadagi et al., 2017).

Endodontik Tedavinin Kalitesi

Kök kanal dolgusunun kalitesi ve kök kanalının apikal sızdırmazlığı post uygulamasını etkileyen önemli faktörlerdendir. Kök kanal dolgusu yeterli değilse, post boşluğu oluşturulurken apikal dolgunun korunması zordur ve sızdırmazlık bozulabilmektedir. Bu gibi durumlarda post uygulamasına karar vermeden önce kök kanal tedavisinin değerlendirilmesi ve gerekirse yenilenmesi gerekebilmektedir (Abramovitz et al., 2000).

Seçilen Adeziv Siman Türüyle Uyum

Post materyali ile kullanılacak siman arasındaki kimyasal ve mekanik uyum, restorasyonun başarısını etkilemektedir. Örneğin, fiber postlar rezin simanlarla adeziv bağlanmaya uygundur. Metal postlar genellikle konvansiyonel rezin-modifiye simanlarla uyumludur. Seçilecek siman, klinikteki bağlanma protokolüne uygun ve materyalle biyomekanik açıdan uyumlu olmalıdır (Ghods et al., 2022).

2.8 Post Kor Restorasyonların Sınıflandırılması

Postlar yapıldıkları materyale ve yapım yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır (Aydemir vd., 2019; Stone vd., 2018).

2.8.1 Yapım Yöntemlerine Göre Postlar

Post sistemleri yapım yöntemlerine göre 3'e ayrılmaktadır;

1. Döküm postlar
2. Prefabrike postlar
3. Freze tekniği ile hazırlanan post sistemleri

2.8.1.1 Döküm Postlar

Döküm postlar, bireysel diş morfolojisine göre laboratuvar ortamında hazırlanarak kişiye özel tasarlanan restoratif elemanlardır. Genellikle kronla birlikte tek parça olarak planlanan bu post sistemleri, endodontik tedavi sonrası ciddi miktarda koronal doku kaybı olan dişlerde tercih edilmektedir. Döküm postlar, anatomik uyum avantajı sayesinde geniş ve düzensiz kök kanallarında üstün bir retansiyon sağlamaktadır. Bununla birlikte, rijit yapıları nedeniyle kök kanalının ince veya eğimli olduğu durumlarda kök fraktürü riskini artırabileceği bildirilmektedir. Yüksek dayanım özellikleri dolayısıyla posterior bölgelerde, özellikle mastikasyon kuvvetlerinin yoğun olduğu dişlerde tercih edilmektedir (De Mendonça et al., 2021; Morgano & Milot, 1993).

2.8.1.2 Prefabrike Postlar

Prefabrike postlar, üretim aşamasında standart boyut ve şekillerde endüstriyel olarak hazırlanmış post sistemleridir. Bu sistemler, genellikle metal, fiber, seramik veya polimer esaslı materyallerden üretilmekte olup, çeşitli çap, uzunluk ve koniklikte formlarda sunulmaktadır. Klinik uygulamada, post boşluğunun prefabrike postun ölçülerine uygun olarak hazırlanması sonrasında, post doğrudan yerleştirilmekte ve adeziv sistemler veya rezin simanlarla sabitlenmektedir (Smith vd., 2018; Stone vd., 1998).

Tablo 2.1. Prefabrike Post Sistemleri

Yüzey Özelliklerine Göre Prefabrike Postlar	Post Şekillerine Göre Prefabrike Postlar	Yapım Materyallerine Göre Prefabrike Postlar
Aktif Postlar	Konik Postlar	Metal Postlar
Pasif Postlar	Paralel Kenarlı Postlar	Seramik Postlar
		Fiber Postlar

Tutuculuk mekanizmasına, yüzey özelliklerine göre prefabrike postlar iki ana grupta değerlendirilir: aktif postlar ve pasif postlar (Stockton, 1999).

Aktif Postlar

Aktif postlar, mekanik olarak doğrudan kök dentinine vidalanarak tutunmaktadır. Özellikle yivli yüzeye sahip olanlar, kök kanal duvarlarıyla sıkı bir temasa girerek yüksek düzeyde retansiyon sağlamaktadır. Ancak bu postlar, uygulama sırasında dentin üzerine aşırı stres oluşturabildikleri için vertikal kök fraktürü riskini artırabilmektedir. Günümüzde aktif postların kullanımından büyük ölçüde vazgeçilmiş, benzer tutuculuk düzeylerinin modern rezin siman sistemleri ile daha güvenli şekilde sağlanabileceği gösterilmiştir (Stockton, 1999).

Pasif Postlar

Pasif postlar, kök kanalı içerisine herhangi bir vida hareketi olmaksızın pasif şekilde yerleştirilir ve asıl tutuculuk, adeziv simanlarla elde edilen kimyasal bağlanmaya dayanmaktadır. Bu postlar genellikle paralel veya konik (açılı) geometrilere sahiptir. Paralel postlar, retansiyon açısından konik postlara göre daha avantajlı olmakla birlikte, post boşluğu hazırlanırken daha fazla diş dokusunun kaldırılmasını gerektirmekte ve bu durum özellikle ince kök kanal duvarlarında komplikasyon riskini artırmaktadır (Stockton, 1999).

Paralel kenarlı postlar

Kök kanalında daha homojen stres dağılımı sağlayan, tutuculuğu yüksek postlardır. Kanal duvarlarına paralel uzandıkları için retansiyon avantajı bulunsada, postun yerleştirilmesi sırasında daha fazla dentin dokusu kaldırılmasını gerektirebilmektedir (Smith & Schuman, 1998).

Konik postlar

Konik postlar doğal kök kanal morfolojisine uyum göstermeleriyle öne çıkmaktadır. Daha az dentin kaybına yol açmaları avantaj sağlarken, özellikle apikal bölgede kama etkisi oluşturarak kök kırığı riskini artırabilirler (Smith & Schuman, 1998).

2.8.1.3 Freze Tekniği ile Hazırlanan Post Sistemleri

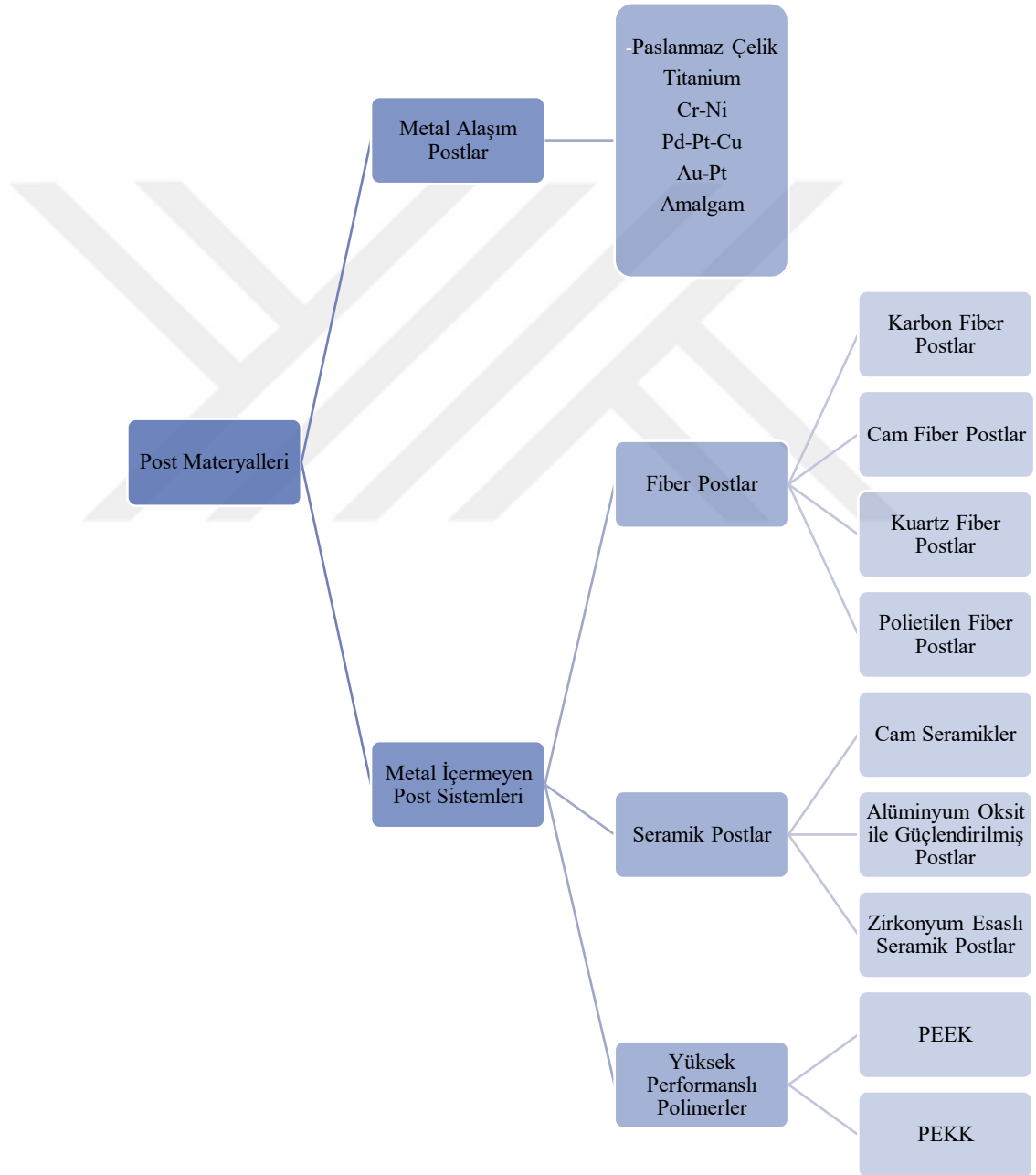
Post restorasyonlarının hazırlanmasında kullanılan frezeleme yöntemleri, analog ve dijital sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Analog sistemlerde, kök kanalındaki post boşluğunun hazırlanmasının ardından ölçü alınmakta ve bu ölçüden elde edilen model üzerine restorasyon planlaması yapılmaktadır. Bu planlama genellikle mum veya rezin materyalleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan model daha sonra freze cihazına yerleştirilip taranarak, elde edilen veriler doğrultusunda uygun restoratif materyallerden şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir (Hickel vd., 1997).

Günümüzde ise frezeleme işlemlerinde en yaygın kullanılan yöntemler Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) teknolojileridir. CAD/CAM sistemlerinde üç boyutlu verilerin dijital olarak elde edilmesi, restorasyonun sanal ortamda tasarlanması ve freze cihazlarıyla üretimin yapılması işlemleri tamamen bilgisayar kontrollü bir süreç içerisinde yürütülmektedir. Bu teknolojinin önemli avantajlarından biri, dentin dokusunun maksimum düzeyde korunmasına imkân tanırken, aynı zamanda post kor yapısının kök kanalına yüksek hassasiyetle adapte edilmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca, kalan diş dokusuyla uyumlu restorasyonların dizayn edilebilmesi de sistemin başarısını artıran önemli bir faktördür (Hamid et al., 2021).

2.8.2 Yapıldıkları Materyale Göre Postlar

Diş hekimliğinde post yapımında çeşitli malzemeler kullanılmıştır (Aydemir & Bağlar, 2019; Güven vd., 2020; Hamid vd., 2021; Mishra vd., 2017).

Tablo 2.2. Post Materyallerinin Sınıflandırılması



2.8.2.1 Metal Alaşım Postlar

Metal alaşım postlar, bireye özel olarak üretilebildiği gibi, prefabrik formda da bulunabilmektedir. Bu prefabrik postlar genellikle Pt-Au-Pd, Ni-Cr, Cr-Co, titanyum ya da paslanmaz çelikten üretilmektedir (Morgano & Milot, 1993). Günümüzde klinik uygulamalarda, zaman etkinliği ve işlem basitliği bakımından avantaj sağlayan sistemler diş hekimleri tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Prefabrike metal postlar, uygulanabilirliklerinin hızlı olması, düşük maliyetli yapıları ve karmaşık laboratuvar süreçlerine ihtiyaç duymamaları nedeniyle, endodontik tedavili dişlerin koronoradiküler restorasyonlarında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Newman et al., 2003).

2.8.2.2 Metal İçermeyen Post Sistemleri

Kompozit rezin materyallerindeki ve adeziv tekniklerdeki ilerlemeler, bazı klinik durumlarda post kullanımına olan ihtiyacı azaltmıştır. Ancak koronal yapının büyük oranda kaybedildiği olgularda, estetik açıdan tatmin edici, korozyona uğramayan, kırılmaya dirençli ve radyoopak özellikte post materyalleri halen tercih edilmektedir (Abe et al., 2014; Boksman et al., 2011).

2.8.2.2.1 Seramik Postlar

Seramik postların termal genleşme katsayısı dentine oldukça yakındır, bu da siman ara yüzeyinde oluşabilecek gerilimleri azaltarak restorasyonun daha stabil olmasını sağlamaktadır. Adeziv sistemlerle birlikte kullanıldığında seramik postlar, hem mekanik dayanım hem de estetik açısından başarılı sonuçlar verebilmektedir (Kwiatkowski & Geller, 1999). Ancak, fiber veya titanyum gibi alternatif estetik postlarla kıyaslandığında tutuculuklarının daha düşük olduğu bildirilmektedir (Alharbi & Nathanson, 2003). Ayrıca, rijit yapıları nedeniyle kırılmaya karşı dirençli olmalarına karşın, endodontik retreatment gereken durumlarda postun sökülmesi oldukça zordur (Qualtrough & Chandler, 2003).

Cam Seramik Postlar

Dökülebilir cam seramikler, yüksek ışık geçirgenliğine sahip seramik materyaller arasında yer almaktadır. Ancak, bu materyallerin özellikle lateral kuvvetlere karşı sınırlı direnç göstermesi ve düşük mekanik dayanıklılıkları, post materyali olarak kullanımını kısıtlamaktadır. Kişiye özel cam seramik veya

alüminyum oksitle güçlendirilmiş post/post kor sistemlerinin üretiminde ise kopya-freze tekniği ya da CAD/CAM teknolojisi tercih edilmektedir (Aydemir & Bağlar, 2019; Hamid vd., 2021).

Alüminyum Oksit ile Güçlendirilmiş Seramik Postlar

Kor materyalinin alüminyum oksit ile güçlendirilmesi sonucunda, yeterli mekanik dayanıklılık ve bükülme direncine sahip post kor sistemleri elde edilmektedir. Bununla birlikte, üretim sürecinin uzun zaman alması ve yüksek teknik hassasiyet gerektirmesi, bu materyallerin klinik kullanımını sınırlandıran başlıca faktörlerdir (Koutayas & Kern, 1999).

Zirkonyum Esaslı Seramik Postlar

Zirkonya postlar, kimyasal ve boyutsal açıdan oldukça kararlı bir yapıya sahip olup yüksek mekanik dayanıklılık göstermektedir. Elastik modülleri paslanmaz çelik postlara benzemektedir (Piconi & Maccauro, 1999). Ancak, dentinle elastikiyet farkı nedeniyle, bu postların kullanımı yüksek oranda kök kırığı riskiyle ilişkilendirilmektedir. Buna ek olarak, kök kanal duvarlarına olan adaptasyonlarının zayıf olması, klinik başarılarını sınırlandıran bir diğer önemli faktördür (Mannocci et al., 1999).

2.8.2.2.2 Fiber Postlar

Fiber post sistemleri, lif takviyeli kompozit yapıdadır ve polimerize rezin matriks içine entegre edilmiş fiberlerden oluşmaktadır. Bu postlarda kullanılan fiber türleri arasında karbon, cam ve kuartz fiberler en yaygın olanlardır. Liflerin hacim oranı, dağılım biçimi ve çapları (genellikle 7–20 nm arasında) postun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyen önemli parametrelerdendir (Cheung vd., 2005).

Fiberle güçlendirilmiş post sistemlerinin elastik modülü yaklaşık 20 GPa seviyesindeyken, döküm ya da prefabrike metal postlarda bu değer yaklaşık 200 GPa'a ulaşmaktadır. Seramik esaslı postların elastik modülü ise ortalama 150 GPa olarak bildirilmektedir (Vila Galhano et al., 2005).

Fiberlerin mekanik dayanımı yüksek olmakla birlikte, esasen matriks içindeki mikro ve makro düzeydeki dolgular, dış kuvvetlere karşı direnci sağlamada önemli rol oynamaktadır. Resin matriksin ayrıca post içindeki gerilimleri absorbe

etme ve dengeleme işlevi de bulunmaktadır (Seefeld et al., 2007). Lif oranındaki artış, sistemin kırılma tokluğu, sertliği ve yorulmaya karşı direnci gibi özelliklerini artırmaktadır (Grandini et al., 2005).

Karbon Fiber Postlar

Karbon fiber esaslı post sistemleri, ilk olarak Duret ve ark. tarafından 1990 yılında “Kompozipost” adıyla tanıtılmıştır. (Duret et al., 1990). Kompozipost’lar silindirik formdadır ve uç kısımları farklı çaplara sahip konik yüzeyler içererek pasif yerleşim sağlamaktadır. Bu sistemler adeziv tekniklerle dişe bağlanmaktadır (Fredriksson et al., 1998). Karbon fiber postlar korozyona karşı dirençli olup, stres ve yorgunluk altında yüksek dayanım sergilerler. Bu materyaller okluzal kuvvetleri dentin dokusuna iletmezler ve biyouyumlu olmaları sayesinde toksik ya da karsinojenik etki oluşturmazlar (D. R. Mishra et al., 2017; O’Brien, 2002). Ancak bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Siyah renkleri nedeniyle dişeti kenarında renklenmeye yol açabilmektedir. Ayrıca yüksek su emilimleri zamanla yapısal dayanıklılığın azalmasına neden olur. Bununla birlikte, radyolüsent özellikleri nedeniyle radyografik olarak görüntülenmeleri zordur (D. R. Mishra et al., 2017).

Cam ve Kuartz Fiber Postlar

Estetik kaygılar nedeniyle, karbon fiber postlara alternatif olarak daha doğal görünümlü ve translüsent yapıya sahip cam veya kuartz esaslı fiber postlar geliştirilmiştir. Bu postlar, silika içeriği nedeniyle diş dokusuna benzer ışık geçirgenliği sağlamakta ve “silika-fiber”, “cam-fiber” ya da “kuartz-fiber” post olarak adlandırılmaktadır (Bateman et al., 2003). Cam fiber destekli post sistemleri ilk kez 1992 yılında kullanıma sunulmuştur ve tek yönlü cam liflerinin polimer matriks içinde hizalanmasıyla üretilmiştir (Preethi & Kala, 2008).

Bu sistemlerde kullanılan liflerin temel bileşeni amorf silikon dioksittir ve genellikle radyopak olmayan (radyolüsent) yapıdadır. Matrikste sıklıkla Bis-GMA ve TEGDMA gibi metakrilat bazlı monomerler kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin varlığı, cam fiber postların rezin simanlarla yüksek derecede kimyasal uyum göstermesini sağlamaktadır (Furtos et al., 2016). Cam fiberlerin bir başka avantajı ise, mikro çatlak oluşumu başladığında oluşan stresi geniş bir yüzeye yayarak yük birikimini azaltmasıdır (Preethi & Kala, 2008). Bu özelliğin, postların daha uzun

süre stabil kalmasına katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda, cam fiber postlarda diğer post sistemlerine kıyasla daha az stres birikimi olduğu gösterilmiştir (Lanza et al., 2005).

Piyasada bulunan kuartz fiberler post sistemlerinden bazıları şunlardır: Aestheti-post (Karbon/Kuartz fiber, Bisco Inc, Schamburg, IL, ABD), DT Light post (Karbon/Kuartz fiber, Bisco Inc, Schamburg, IL, ABD), Unicore post (Kuartz fiber, Ultradent Products Inc, ABD)(Maden & Altun, 2012).

Piyasada bulunan cam fiberler post sistemlerinden bazıları şunlardır: Targis/Vectris (Cam fiber, Ivoclar Vivadent Inc., Schaan, Lihtenştayn), EverStick (Cam fiber, Stick Tech Ltd., Turku, Finlandiya), BR-100 (Cam fiber, Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japonya), FibreKor post (Cam fiber, Pentron Laboratory Technologies LLC, Wallingford, ABD), Reforpost glass fiber (Cam fiber, Angelus, Londrina, Parana, Brezilya), Rely X fiber post (Cam fiber, 3M Espe, St. Paul, Mn, ABD), Rebilda post GT (Cam fiber, Voco, Almanya) (Maden & Altun, 2012).

Polietilen Fiber Postlar

Polietilen fiber post sistemleri, çok yönlü (multi-aksiyel) lif düzenine sahip olup, örgü formunda tasarlanabilmektedir. Bu örgü yapı, liflerin farklı akslarda yerleştirilmesi sayesinde, paralel yerleşimli fiber sistemlere kıyasla daha üstün eğilme ve burkulma direnç özellikleri sunmaktadır (Uzun et al., 1999; Uzun & Keyf, 2007).

Günümüzde bu tür post sistemleri, özellikle plazma işlemiyle güçlendirilmiş polietilen fiberlerden elde edilen şerit yapılar şeklinde sunulmakta olup, Ribbond ticari adıyla bilinen versiyonu dikkat çekmektedir. Bu sistemler kompozit rezinler veya akrilik materyallerle birlikte kullanılarak klinik uygulamalarda yer bulmaktadır. Yapısal olarak yarı geçirgen (translüsant), biyouyumlu, dayanıklı ve klinik kullanım açısından oldukça pratik olan bu materyaller, kafes benzeri bir geometriye sahiptir (Uzun & Keyf, 2007).

Polietilen fiberler; endodontik post kor restorasyonlarda, periodontal splintleme işlemlerinde, doğrudan adeziv köprülerin oluşturulmasında, ortodontik retansiyon aygıtlarında, kompozit esaslı restorasyonların veya overdenture protezlerin desteklenmesinde, ayrıca kırılmış köprü ve protezlerin tamirinde çok yönlü kullanım potansiyeline sahiptir (Newtown vd., 1993).

Fiber Postların Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

Fiber postlar, elastik modüllerinin dentin ile benzerlik göstermesi sayesinde, fonksiyonel yükler altında kök kanal duvarlarında stres birikimini önleyerek, daha homojen bir stres dağılımı sağlamaktadır (Khaldi, 2020).

Cam, kuartz ve karbon gibi fiber türleriyle oluşturulan bu sistemlerin ışık geçirgenlikleri yüksektir ve bu sayede estetik bölgelerde, özellikle seramik restorasyonlarla birlikte kullanıldığında doğal diş görünümüne yakın sonuçlar elde edilebilmektedir (Vieira et al., 2021).

Yüzey işlemleriyle (örneğin silan uygulamaları veya yüzey pürüzlendirme teknikleri) adeziv sistemlerle bağlanma kapasitesi artırılabilir. Bu da restorasyonun hem mekanik retansiyonunu hem de sızdırmazlığını desteklemektedir (Zicari et al., 2008). Ayrıca, fiber postların ultrasonik cihazlarla sökülebilirliği, post söküm işlemlerini daha güvenli ve kontrollü hâle getirmektedir (Arukaslan & Aydemir, 2019).

Hazır (prefabrike) olarak farklı çap ve koniklikte sunulmaları, post yerleştirme işleminin klinikte daha hızlı ve öngörülebilir yapılmasına olanak tanımaktadır.

Dezavantajları

Fiber postların bir dezavantajı, zamanla ağız içi koşullara bağlı olarak adeziv bağ dayanımında azalma yaşanabilmesidir. Termal döngü, nem ve pH değişimleri, rezin simanla post arasındaki bağlanmayı olumsuz etkileyebilmektedir (Zheng et al., 2014).

Yüzey morfolojisinin homojen olmaması ya da yeterli ön işlem uygulanmaması durumunda, rezin siman ile post arasındaki mikro-mekanik bağlantı zayıflayabilmektedir. Bu durum, postun kor materyalinden ayrılmasına ya da mikro sızıntıya neden olabilmektedir (Machry et al., 2020).

Posterior bölgelerde, yüksek çiğneme kuvvetleri altında, düşük rijiditeli fiber postların deformasyon veya kırılma riskleri bulunmaktadır. Özellikle desteklenmemiş fiber postlarda, bükülme ve kırılma vakaları literatürde bildirilmektedir (Ni et al., 2011).

2.8.2.2.3 Yüksek Performanslı Polimerler

Poliarileterketonlar (PAEK'ler), içerdiği keton ve eter gruplarının oranlarına bağlı olarak farklı özellikler sergileyen, yüksek performanslı termoplastik polimerler grubunda yer almaktadır (Fuhrmann vd., 2014). Aromatik halkalar içeren yapıları sayesinde yüksek sıcaklıklarda ve yoğun mekanik kuvvetler altında yapısal bütünlüklerini koruyabilmektedirler. PAEK ailesinin iki önemli üyesi olan Polietereterketon (PEEK) ve Polieterketonketon (PEKK), organik bazlı termoplastik polimerler olarak öne çıkmaktadır. Bu malzemeler, yeterli kırılma direnci sunmaları, gerilimi homojen biçimde dağıtabilmeleri ve darbe absorpsiyon kabiliyetleri sayesinde diş hekimliğinde alternatif restoratif materyaller arasında değerlendirilmektedir (Bathala et al., 2019; Fuhrmann et al., 2014).

Polietereterketon (PEEK)

Polietereterketon (PEEK), uzun yıllardır endüstriyel, mühendislik ve tıbbi alanlarda kullanılan yüksek performanslı bir termoplastik polimerdir. Son yıllarda, bu malzeme diş hekimliğinde de dikkat çeken bir materyal haline gelmiştir (Rocha et al., 2016). PEEK, implant üstü protezlerde altyapı materyali olarak, sabit ve hareketli protez uygulamalarında, kroşe üretiminde, implant komponentlerinde ve alternatif post kor materyali olarak kullanım alanı bulmuştur (Rocha et al., 2016; Sammany et al., 2019; Skirbutis et al., 2018).

Modifiye edilmiş PEEK formülasyonları, genellikle %20 oranında seramik dolgu içermekte olup, bu sayede gelişmiş mekanik özellikler ve biyouyumluluk kazanmıştır. CAD/CAM teknolojileri ile işlenebilirliği sayesinde hassas ve bireyselleştirilmiş restorasyonların üretimine olanak tanımaktadır (Benli et al., 2020; Tiwari et al., 2018). Isıya karşı dirençli yapısı, yüksek aşınma dayanımı ve yaklaşık 4-5 GPa elastikiyet modülü sayesinde – bu değerler kemik ve dentin ile benzerlik göstermektedir – PEEK materyalleri, fonksiyonel yüklerin restorasyon ve diş köküne iletilmesini azaltarak stres absorbe edici bir görev üstlenmektedir.

Yüksek kırılma direnci (1383 N), 93 MPa çekme dayanımı, 170 MPa eğilme dayanımı ve 117 MPa basma dayanımı gibi fiziksel özellikleriyle PEEK; aynı zamanda hafifliği, kimyasal inertliği ve şok emici özellikleriyle cam seramik ve metal esaslı materyallere alternatif olarak değerlendirilmektedir (Skirbutis et al., 2018). Alerjik reaksiyon oluşturma riski bulunmamakta ve düşük plak afinitesi nedeniyle bakteriyel plak oluşumunu azaltma potansiyeli taşımaktadır (Bathala et

al., 2019; Zoidis et al., 2017). Bu özellikleri, özellikle metal içermeyen ve biyouyumlu restoratif yaklaşımların tercih edildiği durumlarda PEEK'i ön plana çıkarmaktadır (Güven et al., 2020; Patel et al., 2010).

Benli ve ark. döküm metal, fiber post ve PEEK post sistemlerini karşılaştırdıkları çalışmada, uygun yüzey işlemleri uygulandığında PEEK postların anterior bölgede alternatif bir seçenek olarak değerlendirilebileceği bildirilmiştir (Benli et al., 2020). Zoidis ve ark. ise, CAD/CAM teknolojisi ile üretilmiş tek parça PEEK post kor yapılarının kök kanalına yüksek uyum gösterdiğini, ayrıca bu materyalin dentin benzeri elastikiyet modülü sayesinde kök kırığı riskini azalttığını ifade etmişlerdir (Zoidis et al., 2017).

Özarslan ve ark. zirkonyum oksit, cam fiber ve PEEK post kor sistemlerinin kırılma dayanımını karşılaştırdıkları araştırmada, PEEK materyalinde meydana gelen kırıkların dişte ek bir hasara yol açmaması nedeniyle yeniden restorasyona olanak tanıdığı vurgulamışlardır. Çalışmada, tüm materyal gruplarının anterior bölgede karşılaşılabilecek maksimal çiğneme kuvvetlerine karşı yeterli dayanım gösterdiği belirtilmiştir (Özarslan et al., 2021).

Polieterketonketon (PEKK)

Polieterketonketon (PEKK), Poliarileterketon (PAEK) ailesine ait yüksek performanslı termoplastik bir polimer olup, yapısında ikinci bir keton grubunun bulunması sayesinde gelişmiş mekanik ve fiziksel özellikler sergilemektedir. PEEK'e kıyasla PEKK, daha iyi polisajlanabilirlik, daha düşük plak afinitesi ve kemik benzeri elastik modül gibi avantajlar sunmakta; ayrıca yaklaşık %80 oranında daha yüksek basma dayanımı göstermektedir (Lee vd., 2017). Renk stabilitesi ve estetik özelliklerini artırmak amacıyla, yapısına titanyum dioksit (TiO₂) eklenerek materyalin fildişi renginde ve opak hale gelmesi sağlanmıştır (Han et al., 2016).

Bu yapısal modifikasyonlar sayesinde PEKK, kabul edilebilir kırılma dayanımı, etkin stres dağılımı ve şok absorbe etme kabiliyeti ile metal destekli seramik materyallere potansiyel bir alternatif oluşturmaktadır. Üretici verilerine göre, PEKK'in basma dayanımı (246 MPa), dentine (297 MPa) oldukça yakın olup; elastik modülü ise 5.1 GPa'dır (Powers, Sakaguchi & Craig, 2012). Tüm bu özellikleri sayesinde PEKK, CAD/CAM teknolojileri ile işlenebilen, sabit, hareketli ve implant destekli protezlerde alt yapı materyali olarak kullanılabilen

biyoyumlu bir materyal haline gelmiştir. Ayrıca stres dağıtımı ve şok absorpsiyonu kapasitesi nedeniyle post kor sistemleri için de umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Alqahtani, 2021; K. S. Lee et al., 2017; C. H. Song et al., 2018).

Yapılan araştırmalar, PEKK post kor yapılarının çığneme kuvvetleri altında dişte daha düşük stres oluşturduğunu, uygulanan yükleri absorbe ederek kök yüzeyi boyunca daha dengeli bir şekilde ilettiğini ve böylece kök kırığı riskini azalttığını göstermiştir (K. S. Lee et al., 2017; Nahar et al., 2020; C. H. Song et al., 2018). Güven ve ark. gerçekleştirdiği çalışmada, kişiye özel olarak CAD/CAM ile üretilmiş PEKK postlar, prefabrike fiber ve prefabrike PEKK postlarla karşılaştırılmış; servikal bölgede en yüksek bağlanma dayanımını kişiye özel üretilen PEKK postların gösterdiği, orta ve apikal bölgelerde ise fiber postların daha başarılı olduğu bildirilmiştir (Güven et al., 2020). Bu bulgular, kişiye özel PEKK postların alternatif bir post materyali olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Buna ek olarak, Song ve ark. PEKK ve fiber postların yüzey işlemlerine bağlı olarak bağlanma dayanımlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, silika kaplanmış ve silan uygulanmış PEKK postların en yüksek bağlanma değerlerine ulaştığını belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, yüzey modifikasyonu yapılmış PEKK postların, fiber postlara biyomekanik açıdan güçlü bir alternatif olabileceğini desteklemektedir (Song vd., 2018).

2.9 Post Simantasyonunda Kullanılan Simanlar

Post sistemlerinin kök kanalına başarılı bir şekilde simante edilmesi, hem restorasyonun uzun dönem başarısını hem de fonksiyonel stabilitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Simanlar, uygulandıkları yüzeyle kimyasal, mekanik, mikromekanik ya da bu mekanizmaların kombinasyonu şeklinde bağ oluşturabilmektedir (Ghodsi et al., 2022). Günümüzde post kor yapılarının simantasyonunda tercih edilen başlıca siman türleri; çinko fosfat simanlar, polikarboksilat simanlar, cam iyonomer simanlar, rezin modifiye cam iyonomer simanlar ve rezin bazlı simanlardır (Mitchell, 2000; O'brien, 2002).

Post materyallerinin simantasyonu için kullanılan simanların, yalnızca adeziv özellik göstermeleri değil, aynı zamanda kök kanal ortamındaki nemle başa çıkabilmeleri, yeterli film kalınlığı sunmaları, uzun vadeli boyutsal stabiliteye sahip

olmaları ve ideal retansiyon sağlamaları da gerekmektedir. Ayrıca, postun türüne, yüzey özelliklerine ve kök kanalının geometrik yapısına göre siman seçimi dikkatle yapılmalıdır. Özellikle rezin esaslı simanlar, yüksek bağlanma dayanımı ve mikrosızıntıya karşı dirençleri nedeniyle estetik bölgelerde ve fiber post uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. İdeal bir simandan beklenen özellikler aşağıda bildirilmektedir. İdeal bir siman;

- Biyouyumlu olmalı,
- Tükürükten etkilenmemeli, marjinal sızdırmazlık göstermeli,
- Yeterli makaslama, basma, çekme, basınç dayanımına sahip olmalı,
- İnce film kalınlığı göstermeli
- Yeterli çalışma zamanına sahip olmalı,
- Uygulaması kolay olmalı,
- Dentine ve restorasyon yüzeyine yeterli bağlanmayı sağlamalı,
- Streslere karşı kırılma dayanımı yüksek olmalı,
- Radyopak olmalı,
- Dentine benzer optik özellikler göstermeli, estetik olmalı,
- Polimerizasyon büzülmesi az olmalıdır (Leung vd., 2022).

2.9.1 Çinko Fosfat Siman

Çinko fosfat simanlar, yaklaşık 150 yıldır diş hekimliğinde kullanılan ve klinik olarak en uzun süredir uygulamada olan simanlardan biridir (Ghods et al., 2022). Bu özelliği sayesinde, literatürde en fazla araştırmaya konu olmuş siman türü olarak kabul edilmekte ve birçok çalışma tarafından “altın standart” olarak referans gösterilmektedir (Mitchell, 2000). Çinko fosfat simanlar, diş yüzeyine mekanik retansiyon yoluyla bağlanmakta olup adeziv özellik göstermemektedir.

Endodontik tedavinin başarısızlıkla sonuçlandığı ve retreatment gerektiği durumlarda, çinko fosfat simanı ile simante edilen metal postların sökümünün, diğer simanlara kıyasla daha kolay olduğu bildirilmiştir (Ghods et al., 2022). Cheung ve ark. gerçekleştirdiği karşılaştırmalı bir çalışmada, rezin simanların kök kanal duvarına daha güçlü bağlandığı ancak bu durumun post uygulamaları sonrası kök kırığı riskini artırabileceği; çinko fosfat simanların ise daha düşük kırık insidansı ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Cheung, 2005).

2.9.2 Çinko Polikarboksilat Siman

Çinko polikarboksilat simanlar, diş yapısına kimyasal bağlanma yeteneği olan ilk dental simanlar olarak literatürde yer almaktadır. Toz ve likit bileşenlerinden oluşan bu simanın toz kısmı çinko oksit esaslı olup yaklaşık %10 oranında magnezyum oksit içerirken, likit kısmı ise %35–45 konsantrasyonda poliakrilik asitten oluşmaktadır (Ghodsi et al., 2022). Pulpayı irrite etmeme özelliği ve nemli dentin yüzeyine uygulanabilmesi, klinik uygulamada önemli avantajlar arasında yer almaktadır.

2.9.3 Cam İyonomer Siman

Cam iyonomer simanlar, toz ve likit fazlardan oluşan iki bileşenli materyallerdir. Likit fazda bulunan karboksilik asit grupları, dentin ve mine yapısındaki kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek kimyasal bağ oluşturmaktadır. Bu kimyasal etkileşim, simanın diş yapısına adeziv olarak tutunmasını sağlamaktadır (Mitchell, 2000).

Toz fazı silikat cam partiküllerinden, likit fazı ise poliakrilik asit içeriğinden oluştuğu için cam iyonomer simanlar, hibrit yapılı simanlar sınıfında değerlendirilmektedir. Bu materyalin sahip olduğu başlıca avantajlar arasında flor salınımı yapabilmesi, biyolojik olarak diş dokularıyla uyumlu olması, polikarboksilat ve çinko fosfat simanlara kıyasla daha yüksek basma dayanımı sunması, kolay hazırlanabilmesi ve ince film kalınlığı ile uygulama kolaylığı sağlaması yer almaktadır (Ricketts vd., 2005).

2.9.4 Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar (RMGIC), geleneksel cam iyonomer simanların polimerik içerikle güçlendirilmiş bir formudur. Yapısal olarak yaklaşık %80 oranında cam iyonomer, %20 oranında ise reçine içermektedir. Likit fazı, HEMA (hidroksietil metakrilat), metakrilat grupları, tartarik asit, poliakrilik asit ve %8 oranında sudan oluşmaktadır. Toz fazında ise flor-alüminosilikat cam partikülleri bulunmaktadır (Mitchell, 2000; O'brien, 2002). Kimyasal olarak ve ışıqla polimerize olabilen iki farklı sertleşme mekanizmasına sahip olmaları, uygulama esnasında kullanıcıya esneklik ve kolaylık sağlamaktadır.

Geleneksel cam iyonomer simanlara kıyasla flor salınımı daha düşük olsa da, RMGIC'ler kırılma ve aşınma direnci açısından daha üstün özellikler sergilemektedir.

Rezin modifiye cam iyonomer simanlar, özellikle kısa ve aşırı konik postların simantasyonunda -çinko fosfat simanın yetersiz kaldığı durumlarda önerilmektedir (Mitchell, 2000). Bununla birlikte, materyalin sertleşme sürecinde ortaya çıkan genleşmenin bazı olumsuz etkileri de rapor edilmiştir. Sertleşme sonrası hacimsel artış, kök kanalında vertikal kırıklara yol açabileceği için dikkatle kullanılmalıdır. Aynı genleşme problemi, tam seramik restorasyonlarda çatlak ve kırık riskini de artırabilmektedir. Bu nedenle, bu materyalin kullanımında endikasyonlara uygunluk ve dikkatli klinik değerlendirme önerilmektedir (Ghodsi et al., 2022; Morgano & Brackett, 1999).

2.9.5 Kompozit Rezin Simanlar

Kompozit rezin simanlar, post simantasyonunda günümüzde en yaygın ve modern yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Ghodsi et al., 2022). Bu simanlar, organik rezin matriksi, inorganik dolgu partikülleri ve bu iki faz arasında bağlayıcı görevi gören ara fazdan oluşan kompleks bir yapıya sahiptir. Mine, dentin ve restoratif materyallerle hem kimyasal hem mikromekanik tutunma sağlayarak, yüksek bağlanma gücü sunmaktadır (Mitchell, 2000).

Organik matriks genellikle Bis-GMA (bis-glisidil metakrilat) veya renk stabilitesi ve daha güçlü adezyon için UDMA (üretan dimetakrilat) bazlıdır. Viskoziteyi azaltmak ve akışkanlığı artırmak amacıyla bu yapıya TEGDMA (trietilen glikol dimetakrilat) gibi monomerler ilave edilmektedir (Ghodsi et al., 2022). Fonksiyonel monomer içeren adeziv simanlarda, 10-MDP ve 4-META gibi moleküller de kullanılmakta olup, dentinle kimyasal bağlanmayı güçlendirmektedir (Comino-Garayoa et al., 2021).

İnorganik faz, %20–75 oranında kuartz, baryum, borosilikat cam ve itriyum cam gibi partikülleri içermektedir. Düşük dolgu oranı, restoratif kompozitlerden farklı olarak daha düşük viskozite sağlamaktadır. Ancak dolgu oranı artırıldıkça fiziksel dayanıklılık artarken, polimerizasyon büzülmesi ve viskozite azalmaktadır. Bu iki faz arasındaki geçiş ise silan bazlı ara faz aracılığıyla sağlanmaktadır (O'brien, 2002; Wilson vd., 2003).

Kompozit rezin simanlar, yüksek çekme ve basma dayanımı sunmaktadır. Dentine bağlanma dayanıklılıkları genellikle 18–30 MPa aralığındadır; bu değer, tüm simanlar arasında en yüksek bağlanma dayanımını temsil etmektedir. Ayrıca, estetik restorasyonlara renk stabilitesi, sızdırmazlık ve çeşitli renk seçenekleri gibi avantajlar sağlamaktadır (Cheung, 2005; Naumann vd., 2008).

Ancak kullanım sırasında teknik hassasiyet gerektirmektedir. Artık simanın temizlenmesi güç olabilmekte ve diğer simanlara kıyasla daha kalın film tabakası oluşabilmektedir. Ayrıca, siman içeriğinde bulunan rezinlerin polimerizasyonu, kanal patlarında bulunan öjenol tarafından inhibe edilebilmektedir (Ghodsi et al., 2022; Morgano & Brackett, 1999).

2.9.6 Polimerizasyon Yöntemlerine Göre Sınıflandırma

Kimyasal olarak polimerize olan (self-cure) simanlar: Polimerizasyon, benzoil-peroksit ile tersiyer aminlerin reaksiyonu sonucu başlatılmaktadır. Bu sistemler metal destekli sabit protezler, tam seramik restorasyonlar, implant üstü restorasyonlar ve post simantasyonlarında kullanılmaktadır. Ancak polimerizasyonun hekim tarafından kontrol edilememesi, post yerleştirmede zamanlamaya dikkat edilmesini gerektirmektedir (Ghodsi vd., 2022; Mitchell, 2000).

Işıkla polimerize olan (light-cure) simanlar: Kamforokinon başlatıcı sistemleriyle 400–500 nm dalga boyundaki ışığa maruz bırakıldıklarında aktif hale gelmektedir. Hekime çalışma süresi kontrolü sağlamak ve farklı viskozite ve renk seçenekleri sunmaktadır. Ancak ışık geçirgenliği sınırlı olan restorasyonlarda ve kök kanalının derin bölgelerinde yetersiz polimerizasyon riski vardır (O'brien, 2002).

Dual-cure (çift polimerizasyon) simanlar: Hem ışıkla hem kimyasal olarak sertleşen sistemlerdir. Işık ile sertleşmenin mümkün olmadığı bölgelerde, kimyasal polimerizasyon tamamlayıcı rol oynamaktadır. Post simantasyonunda sıklıkla tercih edilmektedir (Serino vd., 2022).

2.10 Endodontik Tedavi Sonrası Enfeksiyon Gelişiminin Nedenleri

Her endodontik tedavi, istenen biyolojik iyileşmeyle sonuçlanmayabilmektedir. Bu durumlarda klinik olarak dişin çekimi, cerrahi retreatment ya da cerrahi olmayan retreatment alternatifleri değerlendirilmektedir.

Cerrahi olmayan retreatment yöntemi, daha az invaziv bir seçenek olması nedeniyle sıklıkla ilk tercih edilen yöntemdir. Uygun tedavi planlaması için, tekrarlayan enfeksiyonun etiyolojik nedenlerinin doğru teşhisi önem taşımaktadır (Torabinejad & White, 2016).

2.10.1 Biyolojik Etkenler

Persistan Enfeksiyon Varlığı

Kök kanal boşluğunun ya da dentin tübüllerinin mikroorganizmalarla kontaminasyonu sonucunda bu ajanların periapikal dokulara ulaşması, apikal periodontitis gelişimine yol açabilmektedir. Kök kanallarındaki mikrobiyal flora genellikle anaerobik karakterde olup, tedavi süreciyle birlikte ortamda değişiklik meydana gelmektedir (Sundqvist, 1992). Bu durum, fakültatif anaerob mikroorganizmaların baskın hale gelmesine neden olmaktadır. Bu mikroorganizmalar, antimikrobiyal maddelere karşı daha dirençlidir ve yeterli irrigasyon sağlanamayan vakalarda canlılıklarını sürdürebilmektedir (Molander et al., 1998). Persistan enfeksiyonlar, endodontik tedavinin başarısını doğrudan etkileyen kritik biyolojik faktörlerden biridir (Akkayan & Gülmez, 2002).

Ekstraradiküler Enfeksiyonlar

Periodontal ceplerin apikal dokulara kadar ilerlemesiyle enfeksiyon lateral ya da aksesuar kanallar aracılığıyla pulpa dokusuna ulaşabilmektedir. Bunun sonucunda nekroz meydana gelebilmektedir. Ayrıca periodontal tedavi sırasında yapılan küretaj, kök yüzeyi düzleştirme ve flep operasyonları gibi işlemler sırasında bu mikroorganizmalar ilgili alanlara itilebilmektedir (Rotstein & Simon, 2004). Bunun sonucunda, dentin tübülleri ve lateral kanallar enfekte olabilmekte ve pulpal inflamasyon gelişebilmektedir. Bazı bakteriyel türler, konvansiyonel endodontik tedavilere direnç göstererek periradiküler dokularda enfeksiyonun devamlılığını sağlayabilmektedir (Byström et al., 1987).

Yabancı Cisim Reaksiyonu

Bazı vakalarda, belirgin mikrobiyal enfeksiyon izlenmemesine rağmen periapikal inflamasyon gözlenebilmektedir. Bu durum, kök kanal dolgu

materyallerine karşı gelişen yabancı cisim reaksiyonlarına bağlanmaktadır. Özellikle taşkın dolgu materyalleri, periapikal dokularda immün yanıtı tetikleyerek iyileşmeyi engelleyebilmektedir (Nair et al., 1990).

Gerçek Kist Oluşumu

Kronik inflamasyon varlığında, embriyonik epitel kalıntılarının stimülasyonu sonucunda periapikal kistler oluşabilmektedir. Bu kistler, epitel hücrelerle çevrili, kök kanal sistemiyle ilişkisi olmayan bağımsız bir kavite şeklinde olmaktadır. Kök kanal içi tedavileriyle temasları bulunmadığından, konvansiyonel tedavi prosedürlerine yanıt vermeyebilmekte ve periapikal lezyonun iyileşmesini engelleyebilmektedir (Nair vd., 1993).

2.10.2 İyatrojenik Faktörler

Endodontik başarısızlıkların önemli bir kısmı, tedavi sırasında yapılan teknik hatalardan kaynaklanmaktadır (Alamoudi et al., 2020; M. Song et al., 2011):

- Uygun giriş kavitesinin açılmaması nedeniyle bazı kök kanallarının gözden kaçırılması,
- Kök kanal sisteminin yetersiz şekilde temizlenmesi, dezenfekte edilmemesi veya uygun şekilde doldurulmaması (Chugal et al., 2003),
- Tedavi sonrası restorasyonun zamanında ve uygun materyalle yapılmaması,
- Alet kırıkları, kök veya kron perforasyonları, basamak oluşumu, aşırı şekillendirme ya da taşkın dolgu gibi komplikasyonlar, tedavi sonrası enfeksiyonun tekrar etmesine neden olabilmektedir.

2.11 Cerrahi Olmayan Retreatment

Cerrahi olmayan retreatment, başarısızlıkla sonuçlanan önceki endodontik tedavinin yeniden değerlendirilip düzeltilmesi amacıyla gerçekleştirilen konservatif bir uygulamadır. Bu yöntemde amaç, enfeksiyonun kaynağını ortadan kaldırarak dokuların yeniden iyileşmesini sağlamaktır (Nair vd., 1993; P. N. R. Nair vd., 1990).

Cerrahi Olmayan Retreatment Endikasyonları

Cerrahi olmayan retreatment, önceden uygulanmış endodontik tedavinin başarısız olduğunun klinik veya radyografik olarak tespit edildiği durumlarda tercih edilen konservatif bir yaklaşımdır. Bu tedavi seçeneğinin endike olduğu başlıca durumlar şunlardır (Edition, 2013):

1. Endodontik tedavi sonrasında periradiküler dokularda patoloji bulgularının devam etmesi veya klinik semptomların sürmesi,
2. Radyografik değerlendirmelerde kök kanal dolgusunun yetersiz, eksik ya da kısa olduğu vakalarda,
3. Tedaviye rağmen geçmeyen, tekrarlayan ya da ısrarcı ağrı, hassasiyet veya enfeksiyon semptomlarının bulunması,
4. Mevcut kök kanal dolgusunun bütünlüğünü tehdit eden restoratif ya da protetik işlemlerin uygulanacak olması,
5. Kök kanal sistemine bakteri sızıntısından şüphe edilmesi veya koronal sızıntının mevcut olması durumunda, kök kanal tedavisinin yeniden yapılması uygun görülmektedir.

2.12 Postların Sökülmesi

Endodontik tedavi görmüş dişlerde post uygulaması sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak cerrahi olmayan retreatment gerektiğinde ya da mevcut koronal restorasyonun yenilenmesi ve iyileştirilmesi gerektiğinde, kullanılan postun uzaklaştırılması zorunlu hale gelebilmektedir (Ruddle, 2004).

2.12.1 Post Sökümünü Etkileyen Faktörler

Postun Yapıldığı Materyal, Şekil ve Dizayn

Postların üretiminde paslanmaz çelik, altın, titanyum, seramik, zirkonyum ve fiberle güçlendirilmiş kompozit gibi farklı materyaller kullanılmaktadır. Özellikle sert baz metal alaşımlarından üretilmiş metal postların uzaklaştırılması, yüksek sertlikleri nedeniyle en güç post söküm işlemleri arasında yer almaktadır. Prefabrike yapıları nedeniyle kök kanalına pasif olarak yerleştirilen fiber postların tutuculuğu, esasen bağlayıcı ajanların etkinliğine bağlıdır (Goracci et al., 2007). Adeziv bağlanma mekanizması nedeniyle fiber postların tek parça halinde

ıkarılması mümkün değildir. Ayrıca post boyunun uzunluğu, yivli veya paralel dizayna sahip olması ve döküm postların varlığı söküm işleminin zorluğunu etkileyen faktörler arasındadır (Stabholz & Friedman, 1988).

Postun Yapıştırılmasında Kullanılan Siman Türü

Tüm postların kök kanalına tutunması için bir siman aracılığıyla sabitlenmesi gereklidir. Bu amaçla başlıca dört tip siman kullanılmaktadır: Çinko fosfat, cam iyonmer, çinko polikarboksilat ve rezin siman. Bu simanlar arasında rezin esaslı simanlar en yüksek tutuculuğa sahiptir. Ancak yüksek bağlanma gücü nedeniyle rezin simanlarla yapıştırılan postların uzaklaştırılması daha güç olmaktadır (Adarsha & Lata, 2010).

Dişin Ark İçindeki Konumu

Postların uzaklaştırılabilirliği, dişin dental ark içerisindeki konumu ile de ilişkilidir. Anterior dişlerde söküm işlemi genellikle daha kolayken, posterior bölgede yer alan dişlerde sınırlı erişim ve dar çalışma alanı nedeniyle post sökümü daha zordur (Ruddle vd., 2004).

İnterokluzal Mesafe

Post sökümünde interokluzal mesafe kritik bir faktördür. Çalışma alanının sınırlı olduğu durumlarda postun çıkarılması zorlaşmakta, yeterli mesafenin mevcut olduğu vakalarda ise işlem kolaylaşmaktadır.

Postun Koronal Uzantısının Alveol Kemiğe Göre Seviyesi

Postun koronal kısmının alveol krestine göre konumu, hem operatif görüş açısını hem de kullanılan aletlerin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Koronal uzantının alveol seviyesine çok yakın olduğu vakalarda erişim güçleşmekte, bu da postun uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır.

2.13 Post Söküm Yöntemleri

Postun sökülmesi işlemi, öncelikle kor materyalinin uzaklaştırılmasıyla başlamaktadır. Bu işlem genellikle silindirik veya konik karbid ya da elmas frezlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak postun sökülmesi sırasında koronal yapının

zayıflatılması, perforasyon ve kök kırığı riskini artırmaktadır (Hülsmann, 2014). Bu nedenle, kalan diş dokusunun maksimum düzeyde korunması esastır. Postun dentinle temas yüzeyinin genişliği, söküm sırasında dişin zarar görme riskini doğrudan etkilemektedir (Stabholz & Friedman, 1988).

Söküm işlemi için çeşitli teknikler ve araçlar mevcuttur:

2.13.1 Sonik Vibrasyon

Sonik vibrasyon, yüksek hızda dönen (yaklaşık 200.000 rpm) bir frez aracılığıyla postun gevşetilmesini amaçlayan bir yöntemdir. Bu frez, postun dış yüzeyiyle temas ederek bağlantıyı zayıflatmayı hedeflemektedir (Ruddle vd., 2004). Ancak işlem süresinin uzunluğu nedeniyle klinik uygulamalarda sık tercih edilmemektedir (Buoncristiani et al., 1994).

2.13.2 Ultrasonik Enerji

Ultrasonik cihazlar, yaklaşık 25-30 kHz aralığında yüksek frekanslı ses dalgaları üreterek bu enerjiyi vibrasyon yoluyla ultrasonik enerjiye dönüştürmektedir. Elde edilen bu vibrasyon enerjisi, cihazdan post yapısına iletilmekte ve dentin dokusu tarafından absorbe edilmektedir (Dominici et al., 2005). Post söküm işleminde öncelikle koronal siman tabakasının büyük bölümü uzaklaştırılmaktadır. Ardından ultrasonik uç, post ile diş dokusu arasına yerleştirilerek, titreşim enerjisi aracılığıyla post üzerine etki edilmesi sağlanmaktadır. Bu titreşim, siman bağlantısının zayıflamasını sağlayarak postun düşük çekme kuvvetiyle uzaklaştırılmasına olanak tanımaktadır. Ultrasonik cihazların, post ve çevre dokulara minimal zarar verme potansiyeli nedeniyle tercih edildikleri bildirilmiştir. Ancak kök kanalına tam uyum sağlayan döküm post kor restorasyonların bu yöntemle çıkarılmasının mümkün olmayabileceği belirtilmiştir (J. L. Gaffney vd., 1981).

Ultrasonik uygulamanın temel etkinliği, post ile dentin arasında yer alan simanın bağlarının bozulmasına dayanmaktadır (Kim vd., 2017). Bu bağlamda, kullanılan simanın fiziksel özellikleri ile post ve dentin arasındaki temas yüzeyinin genişliği belirleyici faktörlerdir (J. L. Gaffney vd., 1981). Simanın elastik özellikleri ve post materyalinin rijitliği, titreşim enerjisinin etkinliğini etkileyerek söküm sürecini doğrudan etkileyebilmektedir. Örneğin, elastik modülü yüksek olan rijit materyaller titreşimi daha etkin iletebilirken, düşük elastik modüle sahip postlar

ve rezin bazlı simanlar vibrasyon enerjisini absorbe ederek işlemin etkinliğini azaltabilmektedir (J. L. Gaffney vd., 1981).

Öte yandan, ultrasonik cihazların irrigasyon yapılmaksızın kullanımı sırasında dentin yüzeyinde 10°C'yi aşan sıcaklık artışları gözlemlenmiştir (Nicoll & Peters, 1998). Sürekli ultrasonik vibrasyonun 10 dakikalık uygulanması sonucunda, bağlantı epitelinin hemen altındaki bağ dokusunda vazodilatasyon ve kapiller düzeyde hiperemi olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, ultrasonik uygulamasının sınırlandırılması önerilmektedir (Yoshida vd., 1998). Kısa sürede postun çıkarılamadığı durumlarda, postun çevresindeki dentin dokusunun uzaklaştırılması gerekebilmektedir. Ancak bu durum, dentin miktarında azalma ile birlikte kök perforasyonu veya kök fraktürleri gibi ciddi komplikasyonlara neden olabilmektedir (Lindemann et al., 2005).

2.13.3 Mekanik Aletler

Post sökümünde kullanılan mekanik sistemler; ultrasonik aletler, özel post çıkarma kitleri ve manuel ekstraktörleri içermektedir. Ancak bu sistemler diş dokusunda ciddi kayıplara, kök basamaklarına, kırıklara veya perforasyonlara neden olabilmektedir (Ruddle vd., 2004).

Geleneksel hemostatlar ve forsepsler, post çevresinin frezlerle açılmasından sonra postun gevşetilmesi için kullanılabilir (Stamos & Gutmann, 1993).

Masseran Kiti, trepan frezleri ve ekstraktörleri içeren bir sistem olup, minimum ısı üretimi ve kök yapısına zarar vermemesiyle öne çıkmaktadır (Thirumalai et al., 2008; Williams & Bjorndal, 1983).

Post Puller Sistemi, postun tutularak dışın uzun eksen boyunca çekilmesini sağlayan ekstraksiyon forsepsini içermektedir. Ancak günümüzde kullanımı sınırlıdır (Warren & Gutmann, 1979).

Bu sistemlerin en büyük avantajı, uygun sistem seçildiğinde kısa sürede etkili sonuç vermeleri ve minimal invaziv yaklaşımı desteklemeleridir. Ancak her yöntem, vakaya özel değerlendirilerek seçilmelidir (Altshul et al., 1997).

2.13.4 Lazer Destekli Post Söküm Yöntemleri

Lazer destekli post söküm yöntemleri, son yıllarda endodontik retreatment işlemlerinde alternatif bir teknik olarak araştırılmaktadır. Bu yöntemde en sık kullanılan lazer sistemleri Er:YAG (2940 nm) ve Er,Cr:YSGG (2780 nm)

lazerlerdir. Bu lazerler, su ve hidroksiapatit tarafından yüksek oranda absorbe edildikleri için sert doku uygulamalarında etkilidir. Lazer enerjisinin, rezin esaslı simanlar üzerinde termal etki oluşturarak polimer yapıyı bozduğu ve siman-post bağlanmasını zayıflattığı gösterilmiştir. Bazı çalışmalarda, fiber post sistemlerinde uygulanan Er:YAG lazerin, bağ kuvvetini anlamlı düzeyde azalttığı ve post söküm süresini kısalttığı bildirilmiştir. Ayrıca fiber postların ışık geçirgenliği sayesinde lazer enerjisinin post boyunca ilerleyerek daha derin bölgelere etki edebildiği bildirilmektedir (Cho vd., 2022; Deeb vd., 2019).

2.13.5 Fiber Postların Sökümü

Fiber post sistemlerinin sökülmesi, diğer post türlerine kıyasla farklı teknik gereksinimler içermektedir. Klinik uygulamada, diş yapısına minimum düzeyde zarar verdiği düşünüldüğü için, post sökümünde ultrasonik aletlerin kullanımı sıklıkla önerilmektedir (Dixon vd., 2002; J. L. Gaffney vd., 1981). Ultrasonik uygulamalarda temel amaç, post ile kök kanal duvarı arasındaki siman bağlantısını zayıflatarak postun gevşetilmesini sağlamaktır (Kim vd., 2017). Ancak fiber postlar, pasif olarak kök kanalına yerleşir ve esas retansiyonları, uygulanan simanların kimyasal ve mikromekanik tutuculuğuna bağlıdır (Goracci et al., 2007). Bu nedenle, adeziv sistemlerle güçlü bir şekilde bağlanan fiber postların tek parça hâlinde çıkarılması genellikle mümkün değildir. Ultrasonik aletlerin bu tip durumlarda sınırlı etkinlik gösterdiği ve postun doğrudan aşındırılarak uzaklaştırılmasının daha etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Hülsmann, 2014). Bu amaçla, üretici firmalar tarafından fiber postlara özel olarak tasarlanan döner sistemler geliştirilmiş olup, bu sistemlerle postun birkaç saniye içinde güvenli bir şekilde kök kanalı boyunca aşındırılarak çıkarılabileceği öne sürülmektedir (Gesi vd., 2003).

Fiber postların uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılan sistemler, genellikle iki aşamalı delici uçlardan oluşmaktadır: ilk aşamada kullanılan pilot drill, post içindeki giriş yolunu oluşturmakta; ikinci aşamadaki daha geniş çaplı drill ise postun esas kütesini ortadan kaldırmaktadır. Aşındırma işlemi sırasında, postun çevresinde bulunan liflerin paralel yerleşimi, kullanılan drillin post sınırları içinde kalmasına yardımcı olmaktadır. Bu durum, kök kanalı boyunca düzgün bir preparasyon hattı sağlarken, kök perforasyonu riskini de azaltmaktadır (de Rijk, 2000).

Klinik uygulamada, esnek drillerin düşük basınçla ve ortalama 15.000 rpm hızla kullanılması önerilmektedir. Isı oluşumunu sınırlamak adına su spreyinin eş zamanlı kullanımı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, işlem öncesinde postun kök kanalı içindeki uzunluğu radyografik olarak belirlenmeli ve uygun derinlik göstergesi drill üzerine yerleştirilmelidir. Söküm sırasında ortaya çıkan toz partikülleri, potansiyel inhalasyon riski taşıdığından, rubber dam kullanımı mutlak gereklilik olarak kabul edilmektedir. Karbon fiber ve mineral takviyeli fiberler gibi yüksek sertliğe sahip materyaller, kullanılan delici uçların çabuk aşınmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, drillerin ve reamerların tek kullanımlık olarak planlanması önerilmektedir (de Rijk, 2000).

Bununla birlikte, klinikte karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, post sökümüne ihtiyaç duyulan durumlarda fiber postun üreticisinin ya da tipinin bilinmemesi durumudur. Bu gibi durumlarda üreticiye özel olarak tasarlanmış söküm kitleri yetersiz kalabilmekte ve işlem başarısını olumsuz etkileyebilmektedir (Lindemann vd., 2005).

2.13.6 PEEK Postların Sökümü

Literatürde PEEK postların sökümüyle ilgili çalışmaya rastlanmamıştır.

2.14 Kök Kanal İrrigasyonu

2.14.1 Kök Kanal Dezenfeksiyonunun Gerekliği

Kök kanal sisteminin kompleks morfolojisi, özellikle isthmus, lateral kanallar ve aksesuar kanallar gibi anatomik varyasyonlar nedeniyle, yalnızca mekanik enstrümantasyon ile tam temizlik sağlanması mümkün değildir. Bu nedenle, bakteriyel kontaminasyonun ortadan kaldırılması, doku artıklarının uzaklaştırılması ve rezidüel mikroorganizmaların eliminasyonu için irrigasyonun rolü kritik öneme sahiptir. Ayrıca, dentin tübülleri içerisinde derinlemesine yerleşmiş mikroorganizmaların inaktivasyonu irrigasyon solüsyonlarının etkinliğine bağlıdır (Wong et al., 2021).

2.14.2 İdeal İrrigasyon Solüsyonlarının Özellikleri

Etkin bir irrigasyon solüsyonunun sahip olması gereken başlıca özellikler; geniş spektrumlu antimikrobiyal etki göstermesi, organik ve inorganik artıkların çözünmesini sağlaması, smear tabakasını uzaklaştırabilmesi ve dentine zarar

vermemesi şeklinde özetlenebilmektedir. Aynı zamanda, solüsyonun toksik olmaması, kök kanalına kolay uygulanabilir olması ve klinik pratikte güvenli kullanım sunması da önem taşımaktadır. Solüsyonun viskozitesi, yüzey gerilimi ve pH gibi fizikokimyasal özellikleri, irrigasyonun etkinliğini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır (Qutieshat et al., 2023; Tekin et al., 2020).

2.14.3 Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Sodyum hipoklorit, kök kanal irrigasyonunda en yaygın kullanılan solüsyondur. Organik doku çözme kapasitesi ve geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi nedeniyle tercih edilmektedir. NaOCl, çözünürlüğü sayesinde nekrotik dokuların uzaklaştırılmasına olanak tanırken, aynı zamanda biyofilm yapılarına karşı da etkilidir. Bununla birlikte, konsantrasyonuna bağlı olarak sitotoksikite ve periapikal dokulara zarar verme riski taşımaktadır. Klinik kullanımlarda genellikle %0.5 ile %5.25 arasında değişen konsantrasyonlar tercih edilmektedir (Tartari vd., 2016; Konadu vd., 2024).

2.14.4 Etilendiamintetraasetik Asit (EDTA)

EDTA, özellikle inorganik smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkili olan şelatlayıcı bir ajandır. Dentin yüzeyindeki smear tabakasını çözerek dentin tübüllerini açmakta ve böylece irrigasyon solüsyonlarının tübüllere daha etkin şekilde nüfuz etmesini sağlamaktadır. Genellikle %17'lik çözeltisi kullanılmaktadır. EDTA, çoğu zaman sodyum hipoklorit ile kombine protokoller içerisinde uygulanmaktadır (Forteza et al., 2024; Gandolfi et al., 2019).

2.14.5 Distile Su

Distile su, irrigasyon protokollerinde genellikle solüsyon kalıntılarını temizlemek veya final irrigasyon amacıyla kullanılır. Antimikrobiyal ya da doku çözme özelliği bulunmamakla birlikte, nötr pH özelliği sayesinde kimyasal irritasyon riskini azaltır. Solvent etkisi göstermemesi nedeniyle yalnız başına kullanımı endodontik dezenfeksiyon açısından yetersiz kabul edilmektedir (de Pellegrin et al., 2023; Ordinola-Zapata et al., 2012).

2.14.6 Smear Tabakası

Smear tabakası; enstrümantasyon sırasında dentin yüzeyinde oluşan, organik ve inorganik bileşenler ile mikroorganizmalardan oluşan amorf bir yapıdır. Bu tabaka, dentin tübüllerine penetrasyonu engelleyerek irrigasyon solüsyonlarının etkinliğini azaltabilmektedir. Ayrıca, smear tabakasının varlığı, yeniden enfeksiyon riskini artıran faktörlerden biridir. Bu nedenle, irrigasyon sırasında smear tabakasının uzaklaştırılması, tedavi başarısı açısından önem taşımaktadır (Haupt et al., 2020; ŞEN et al., 1995).

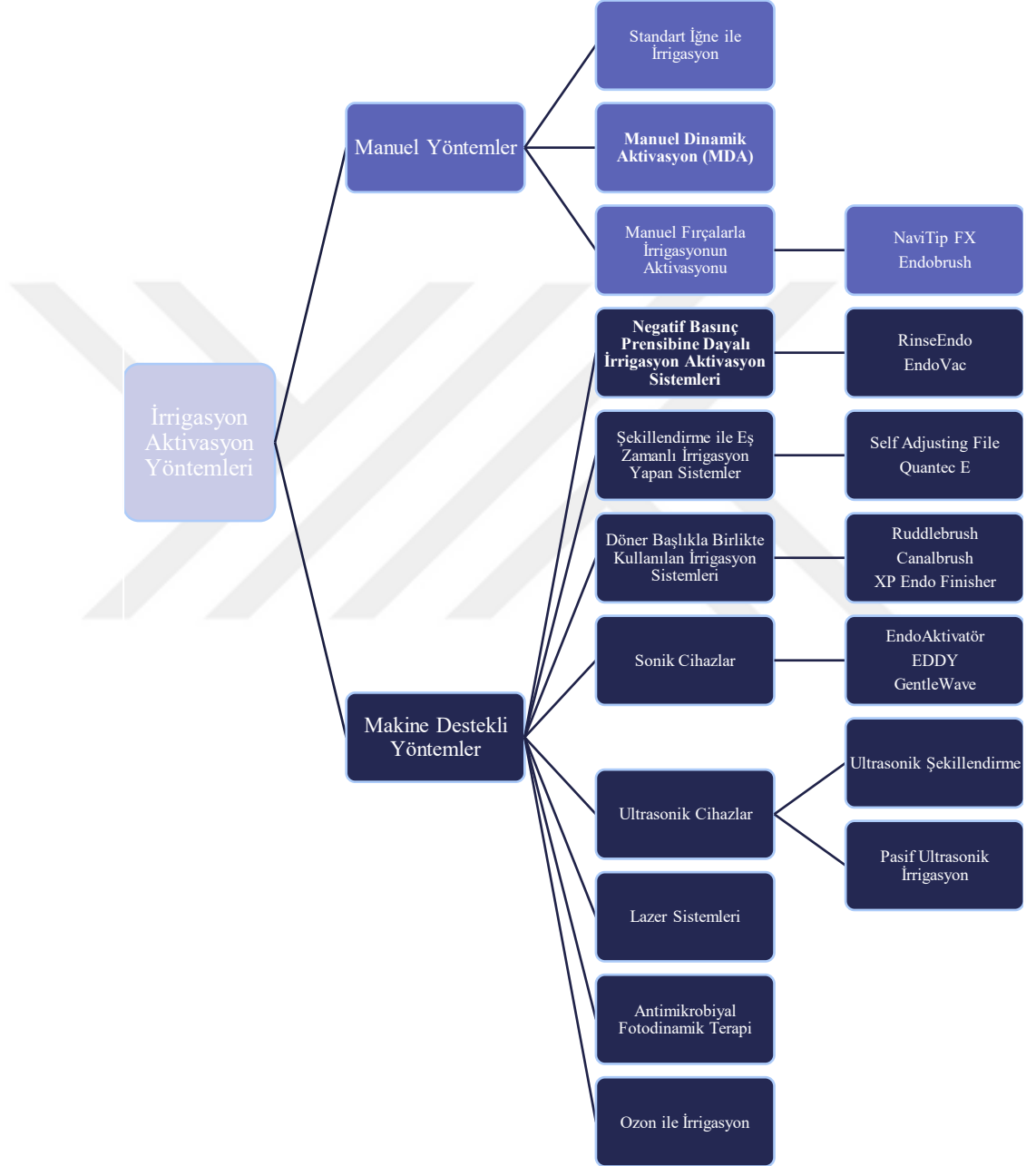
2.14.7 İrrigasyon Sırasında Güvenlik ve Uygulama Yöntemleri

Kök kanal irrigasyonu sırasında, irrigantın periapikal bölgelere taşmasını önlemek amacıyla dikkatli uygulama gereklidir. Yan delikli enjektörlerin kullanımı, irrigantın apikal ekstrüzyon riskini azaltmak için önerilmektedir. Ayrıca, solüsyonun yavaş ve kontrollü bir şekilde uygulanması, kök kanalı içindeki basıncın minimal tutulmasına ve termal hasar riskinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Uygulama esnasında kullanılan teknikler irrigasyonun etkinliğini ve tedavi başarısını doğrudan etkilemektedir (Magni et al., 2024).

2.15 İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri

Geçmişten günümüze, kök kanal sisteminde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının kök kanal duvarlarına ve kompleks anatomik yapılara etkin bir şekilde ulaşmasını sağlamak amacıyla çeşitli aktivasyon teknikleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, irrigantın dağılımını artırmak ve dezenfeksiyon etkinliğini maksimize etmek üzere tasarlanmıştır (K. M. Galler vd., 2019).

Tablo 2.3. İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri



2.15.1 Manuel Yöntemler

2.15.1.1 Standart İğne ile İrrigasyon

Endodontik tedavide en sık tercih edilen irrigasyon yöntemlerinden biri olan standart iğne ile irrigasyon, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle uzun süredir yaygın olarak uygulanmaktadır (Haapasalo et al., 2010). Ancak teknolojik ilerlemelerle birlikte daha etkili ve güvenli alternatif irrigasyon tekniklerinin geliştirilmesi, bu yöntemin klinik kullanım sıklığında bir azalma ile sonuçlanmıştır (Christos & van der Sluis, 2015).

Literatürde yer alan çalışmalarda, irrigasyonun etkinliğini belirleyen başlıca faktörlerden birinin iğne ucu penetrasyon derinliği olduğu bildirilmiştir. Bu kapsamda, irrigantın çalışma boyuna kadar ilerleyebilmesi için daha küçük çaplı iğnelerle daha derin penetrasyon sağlanması gerektiği vurgulanmıştır (Bronnec et al., 2010). Zehnder'in çalışmasında, irrigasyon çözeltisinin iğne ucunun ötesine yalnızca 1–1.5 mm kadar ilerleyebildiği gösterilmiş ve bu durum, irrigasyonun apikal bölgeye ulaşımını sınırlandıran önemli bir etken olarak tanımlanmıştır (Zehnder, 2006).

Kapalı uçlu iğneler (yandan veya çift yandan delikli), irrigantın kontrollü ve daha lokalize bir şekilde akışını mümkün kılar. Bu iğneler, irrigantı apikal bölgeye yönlendirecek şekilde tasarlandıkları için daha güvenli irrigasyon sağlayabilirler (Berman & Hargreaves, 2015).

2.15.1.2 Manuel Dinamik Aktivasyon (MDA)

Manuel dinamik aktivasyon (MDA), kök kanal irrigasyonunun etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilen, çeşitli manuel araçlarla gerçekleştirilen bir aktivasyon yöntemidir (Machtou, 2015). Bu teknikte, kök kanalının konikliği ve apikal genişliği ile uyumlu bir ana kon, çalışma uzunluğuna yerleştirilerek yukarı-aşağı yönlü hareketlerle irrigasyon solüsyonunun kök kanalı içerisinde daha etkili bir şekilde dağılması sağlanmaktadır. Bu yöntem sayesinde solüsyonun kök kanal duvarları ile temasının artırılması, apikal bölgeye ulaşması hedeflenmektedir (Bronnec et al., 2010).

2.15.1.3 Manuel Fırçalarla İrrigasyonun Aktivasyonu

Kök kanal irrigasyonunda kullanılan manuel fırçalar, hem kök kanal duvarlarında biriken debrisleri uzaklaştırmak hem de irrigasyon solüsyonunun mekanik olarak ajite edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş yardımcı araçlardır. Bu fırçalar, özellikle kök kanal yüzeylerine daha yoğun temas sağlayarak irrigasyonun etkinliğini artırmayı hedeflemektedir.

Ticari olarak temin edilebilen NaviTip FX (Ultradent, South Jordan, Utah, ABD), fırça kılları ile kaplı 30-G çapında bir irrigasyon iğnesidir (Alhadlaq vd., 2006).

Ek olarak, spiral yapıya sahip bir diğer fırça tipi olan Endobrush (C&S Microinstruments Ltd, Markham, Ontario, Kanada), sabit çaplı ve naylon kıllarla donatılmış yapısıyla endodontik uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Keir et al., 1990).

2.15.2 Makine Destekli Yöntemler

2.15.2.1 Negatif Basınç Prensibine Dayalı İrrigasyon Aktivasyon Sistemleri

Kök kanal sisteminin karmaşık anatomisine rağmen irrigasyon solüsyonlarının tüm kök kanalı boyunca etkin bir şekilde iletilmesi ve apikal bölgede güvenli bir irrigasyon sağlanması amacıyla negatif basınç prensibine dayanan irrigasyon sistemleri geliştirilmiştir. Apikal negatif basınç (ANB) sistemleri, irrigasyon solüsyonunu eş zamanlı olarak kök kanalına iletirken aynı anda aspirasyon yoluyla uzaklaştırmayı mümkün kılarak hidrodinamik etkiyi artırmayı hedeflemektedir (Schoeffel, 2007).

Apikal negatif basınç sistemlerinin temel avantajı, irrigasyon solüsyonunun kontrollü ve güvenli bir şekilde apikal bölgeye taşınmasını sağlarken, periapikal dokulara taşma riskini azaltmasıdır. Bu sayede, özellikle dar ve eğimli kök kanallarında irrigasyon etkinliği artmakta ve dezenfeksiyonun başarısı desteklenmektedir (Desai & Himel, 2009).

EndoVac Sistemi

EndoVac (Discus Dental, Kaliforniya, ABD), apikal negatif basınç (ANB) prensibiyle çalışan ve irrigasyon sırasında irrigantın kök kanal sistemine güvenli şekilde iletilmesini sağlayan bir sistemdir (Glassman & Charara, 2015).

EndoVac, irrigantı apikal bölgeye etkili şekilde iletirken, aynı zamanda irrigant ve debrisin geri emilimini sağlayarak bu bölgede olası taşmaları önlemekte ve doku güvenliğini desteklemektedir (Glassman & Charara, 2015).

Ayrıca literatürde, EndoVac sisteminin NaOCl ile birlikte kullanıldığında apikal 1 mm'lik bölgede belirgin antibakteriyel etki sağladığı gösterilmiştir (Hockett et al., 2008; Nielsen & Craig Baumgartner, 2007).

RinsEndo Sistemi

Apikal negatif basınç prensibi ile çalışan irrigasyon sistemlerinden biri de RinsEndo'dur (Dürr Dental, GmbH & Co, Bietigheim-Bissingen, Almanya). Bu sistemde, cihaza entegre bir iğne aracılığıyla ana rezervuardan dakikada yaklaşık 100 kez 1.6 Hz frekansında 65 mL irrigasyon solüsyonu alınmakta ve bu solüsyon, bir kanül yardımıyla kök kanalına iletilmektedir. Aspirasyon aşamasında ise kullanılmış solüsyon ve hava kök kanalı içerisinden geri çekilerek sistem otomatik olarak taze solüsyon uygulamasına devam etmektedir.

Periapikal dokular açısından irrigasyon güvenliğini değerlendiren bir çalışmada, apikal ekstrüzyon riskinin RinsEndo ve manuel yöntemlerde benzer düzeyde olduğu, ancak bu riskin EndoVac ve EndoActivator gibi sistemlere göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Desai & Himel, 2009).

2.15.2.2 Şekillendirme ile Eş Zamanlı İrrigasyon Yapan Sistemler

Bu sistemlerde, kök kanalının genişletilmesi ve irrigasyonu eş zamanlı olarak gerçekleştiren özel tasarımlı cihazlar kullanılmaktadır. Aşındırıcı yüzeye sahip bu aletler, sürtünme kuvveti ile dentin duvarlarını şekillendirirken, aynı zamanda titreşimli hareketleri aracılığıyla irrigasyon solüsyonunu doğrudan eğenin içinden kök kanalına iletmektedir. Bu yöntem, kök kanalının doğal anatomisini koruyarak etkin bir temizlik sağlama potansiyeli ile öne çıkmaktadır (Plotino et al., 2016). Özellikle istmuslar, oval kesitli kök kanalları ve C şeklindeki kompleks morfolojiye sahip kök kanalları gibi ulaşılması güç bölgelerde etkili temizlik sağladığı literatürde bildirilmektedir (Paqué et al., 2012).

Self-Adjusting File (SAF) Sistemi

Self-Adjusting File (SAF) sistemi (Re-Dent Nova, Ra'anana, İsrail), minimal invaziv endodontik tedaviye olanak tanımak amacıyla geliştirilmiş; aynı

anda hem şekillendirme hem de irrigasyon işlevi gören yenilikçi bir sistemdir. Bu sistem, içi boş ve titreşimli çalışan özel bir Ni-Ti ege ile birlikte, ege'nin iç kısmından sürekli irrigasyon sağlayan bir pompa mekanizmasından oluşmaktadır (Hof et al., 2010; Metzger et al., 2010, 2013).

Bu sistemin tasarımındaki temel amaç; sağlam dentin dokusunun gereksiz şekilde uzaklaştırılmasının önlenmesi ve mikroçatlak oluşumu riskini azaltarak kök kanal duvarlarından eşit kalınlıkta ince bir dentin tabakasının kaldırılmasıdır. Aynı zamanda kök kanalı boyunca sürekli irrigasyon akışı sağlamak hedeflenmektedir (Metzger & Kfir, 2015).

Quantec-E Sistemi

Quantec-E (SybronEndo, California, ABD), endodontik şekillendirme işlemi sırasında sürekli irrigasyon sağlayacak şekilde tasarlanmış bir sistemdir. Yapısında bir irrigasyon pompası, iki ayrı solüsyon rezervuarı ve irrigasyonun kök kanalı içine iletimini sağlayan bir kanül bulunmaktadır (Walters vd., 2002). Bu sistemin temel amacı, şekillendirme işlemiyle eş zamanlı irrigasyon gerçekleştirerek kullanılan solüsyonun kök kanalı içindeki temas süresini ve penetrasyon derinliğini artırmak, böylece temizlik etkinliğini maksimize etmektir.

2.15.2.3 Döner Başlıkla Birlikte Kullanılan İrrigasyon Sistemleri

Döner Fırçalar

Döner fırçalar, kök kanal sisteminde debris ve smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla geliştirilen yardımcı irrigasyon araçları arasında yer almaktadır. Bu fırçalar ilk olarak Ruddle tarafından tanıtılmış olup, silindirik gövde üzerine radial olarak yerleştirilmiş kıllardan oluşan ***Ruddlebrush***'tur. Yaklaşık 300 rpm hızla çalışan bu mikro fırçalar, kök kanalı içerisindeki dentin partiküllerini apikalden koronale doğru taşımak üzere tasarlanmıştır (C. J. Ruddle, 2001). Ancak bu sistemin patentinin 2001 yılında onaylanmasına rağmen, ticari olarak halen piyasada bulunmadığı belirtilmektedir (L. Gu et al., 2009).

Ticari olarak kullanıma sunulan döner fırçalardan biri ise ***CanalBrush***'tur (Coltene Whaledent, Langenau, Almanya). Tamamen propilen malzemeden üretilen bu fırçalar, oldukça esnek bir yapıya sahiptir ve 600 rpm hızında çalışan bir

mikromotorla ya da manuel döndürme yöntemiyle uygulanabilmektedir (L. Gu et al., 2009).

XP-Endo Finisher (XPF) Eğesi

XP-Endo Finisher (XPF) eğesi (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre), kök kanal dezenfeksiyonunun etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilen, nikel-titanyum esaslı özel bir döner alettir. ISO standartlarına göre 25/.00 boyutunda olan bu eğe, MaxWire teknolojisi (Martensite-Austenite Electropolish-FleX) ile üretilmiştir ve ısıya duyarlı faz dönüşüm özellikleri göstermektedir (Santiago Vaz-Garcia et al., 2018). Soğuk veya oda sıcaklığında martensitik fazda düz formda bulunan eğe, vücut sıcaklığına ulaştığında östenitik faza geçerek karakteristik kaşık benzeri şeklini almaktadır. Bu yapısal dönüşüm, eğenin yaklaşık 10 mm uzunlukta ve 1,5 mm genliğe ulaşarak kök kanal duvarlarıyla daha fazla temasa geçmesine olanak sağlamaktadır (Bukhari & Babaeer, 2019).

2.15.2.4 Sonik Cihazlar

Sonik irrigasyon sistemleri, mekanik enerjiyi düşük frekansta (1–6 kHz) titreşim hareketiyle kök kanal sistemine ileten cihazlardır. Ultrasonik sistemlerle karşılaştırıldığında, sonik cihazların hem frekansları hem de kesme etkinlikleri daha düşüktür (M. Ahmad et al., 1987; Haapasalo & Hamilton, 2008).

Sonik aktivasyon, irrigasyon solüsyonlarının daha etkili bir şekilde kök kanal sistemi boyunca taşınmasını sağlayarak dezenfeksiyon başarısını artırabilmektedir. Bu sistemlerin kök kanalı içindeki sıvı akışını hızlandırarak mikrobiyal biyofilm ve debrislerin uzaklaştırılmasına katkı sağladığı düşünülmektedir (Pitt, 2005). Bununla birlikte, ultrasonik sistemlerin daha yüksek frekansta çalışmaları nedeniyle, bazı araştırmacılar bu sistemlerin sonik cihazlara kıyasla daha yüksek akustik akış oluşturduğunu ve bu nedenle kök kanallarından daha fazla debris uzaklaştırabileceğini öne sürmüşlerdir (Sabins vd., 2003; D. E. Stamos vd., 1987).

Ancak, bu görüşe karşıt bulgular da literatürde yer almaktadır. Jensen ve ark. gerçekleştirdiği bir çalışmada, sonik ve ultrasonik aktivasyon sistemlerinin debris uzaklaştırma etkinlikleri karşılaştırılmış ve iki sistem arasında anlamlı bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir (Jensen et al., 1999). Bu durum, her iki sistemin

de irrigasyon aktivasyonunda benzer düzeyde etkinlik gösterebileceğini düşündürmektedir.

EndoActivator Sistemi

EndoActivator (Advanced Endodontics, Santa Barbara, CA, ABD), sonik irrigasyon aktivasyonu amacıyla geliştirilmiş, pille çalışan taşınabilir bir cihazdır. Cihaz, 15/.02, 25/.04 ve 35/.04 boyutlarında, polimer yapıda, tek kullanımlık ve esnek uçlarla donatılmıştır. Bu uçlar, dentin dokusundan daha yumuşak olup uçların smear tabakası oluşturmadığı gösterilmiştir (Haapasalo et al., 2010; Haapasalo & Hamilton, 2008).

EndoActivator'ın üretici tarafından bildirilen frekansları 33, 100 ve 167 Hz iken, bazı araştırmalarda bu değerler 160, 175 ve 190 Hz olarak kaydedilmiştir (Jiang et al., 2010).

Sistem, yeni irrigasyon solüsyonu eklemeyen mevcut solüsyonun kök kanal duvarlarına penetrasyonunu ve antimikrobiyal etkinliğini artırmayı hedeflemektedir (Haapasalo et al., 2010). EndoActivator, oluşturduğu akustik akış ve kavitasyon ile irrigasyon solüsyonunun hidrodinamik aktivasyonunu sağlayarak erişilmesi güç bölgelere daha iyi dağılım ve sirkülasyon sunmaktadır (C. Ruddle, 2015).

Bakteri ve biyofilm uzaklaştırma etkinliği açısından yapılan karşılaştırmalarda, EndoActivator'ın SİL'ye kıyasla daha başarılı olduğu, ancak PUI'nin dezenfeksiyonda daha üstün performans sergilediği bildirilmiştir (Townsend vd., 2009). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda PUI ile EndoActivator arasında anlamlı fark bulunmadığı da rapor edilmiştir (Tardivo et al., 2010).

EDDY Sistemi

EDDY (VDW, Münih, Almanya), sonik irrigasyon aktivasyonu amacıyla tasarlanmış ve yaklaşık 6000 Hz frekansta çalışan bir sistemdir. Bu sistem, el adaptörü ile titreşim üreten bir motor aracılığıyla çalışmakta olup, 28 mm uzunluğunda, 0.2 mm apikal çapa sahip, kesici olmayan ve tek kullanımlık esnek bir poliamid uç ile birlikte kullanılmaktadır (Haupt et al., 2020). Uca aktarılan bu titreşim sayesinde irrigasyon solüsyonunda akustik akış meydana gelmekte ve kök kanal sistemi içinde etkin bir sıvı hareketi sağlanmaktadır (Neuhaus et al., 2016).

Üretici firma, EDDY sisteminin sadece pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ) ile elde edilebilen kavitasyon ve akustik akış etkisini sağlayarak üç boyutlu irrigasyon aktivasyonu gerçekleştirebildiğini bildirmektedir (L. W. M. Van Der Sluis et al., 2007). Yapılan çalışmalarda, EDDY ile PUİ'nin debris ve smear tabakası uzaklaştırmadaki etkinliğinin hem düz hem de kurvatürlü kök kanallarda benzer düzeyde olduğu rapor edilmiştir (Neuhaus et al., 2016).

Sonik Air-Rispi-Sonik Eğe Sistemi

Sonik Air 1500 (Medidenta International, Inc, Woodside, New York, ABD), 1500 ile 3000 Hz arasında değişen frekanslarda titreşim üreten, hava ile çalışan bir sonik aktivasyon cihazıdır. Bu sisteme entegre olarak kullanılan Rispi-Sonik eğe (Micro-Mega, Fransa), paslanmaz çelikten üretilmiş olup spiral dikenli yapısı ve değişken konikliği ile dikkat çeken özel bir tasarıma sahiptir (Nusstein, 2015).

Rispi-Sonik eğe, Sonik Air cihazı aracılığıyla dentin duvarlarına etki ederek irrigasyon solüsyonunun aktivasyonunu sağlamak ve gerektiğinde dentin yüzeyinde şekillendirme gerçekleştirmek üzere geliştirilmiştir. Ancak literatürde, bu eğenin dikenli yapısının kök kanal duvarlarına zarar verebileceği ve mevcut şekillendirmenin bozulmasına neden olabileceği ifade edilmektedir (L. Gu et al., 2009).

Vibringe Sonik İrrigasyon Sistemi

Vibringe (Vibringe Holland BV, Amsterdam, Hollanda), manuel irrigasyonu sonik aktivasyon ile birleştiren, pille çalışan bir sistemdir. Cihaz, baş parmak halkası ve piston mekanizmasına sahip olup, tek kullanımlık 10 mL kapasiteli bir iğne aracılığıyla çalışmaktadır. Bu yapısı sayesinde irrigasyon solüsyonu manuel olarak kök kanalı içerisine verilirken aynı anda sonik titreşim oluşturularak solüsyonun aktivasyonu sağlanmaktadır (Nusstein, 2015; Rödig et al., 2010).

GentleWave Sistemi

GentleWave sistemi (GWS) (Sonendo Inc, Laguna Hills, CA, ABD), irrigasyon solüsyonlarının multisonik aktivasyonu ile çalışan, kavitasyon ve mikrokabarcık oluşumu yoluyla geniş bir akustik dalga spektrumu üreten bir endodontik dezenfeksiyon teknolojisidir. Bu sistem, minimal kanal şekillendirmesi

ile kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunu sağlamayı amaçlamakta olup, taşınabilir bir tedavi ünitesi ve tek kullanımlık steril bir başlık içermektedir (Haapasalo et al., 2014).

Multisonik enerji ile oluşturulan kavitasyon, irrigasyon solüsyonları içerisinde akustik dalgaların oluşumunu teşvik ederek kök kanalı içindeki organik ve inorganik debrislerin etkin şekilde uzaklaştırılmasına katkı sağlamaktadır (Haapasalo et al., 2014). Irrigasyon solüsyonlarının periapikal dokulara ekstrüzyonu bakımından, GentleWave sisteminin EndoVac ile benzer düzeyde güvenli olduğu gösterilmiştir (Charara et al., 2016).

GentleWave'in klinik etkinliği üzerine yapılan bir çalışmada, sistemin periapikal iyileşme üzerinde olumlu etkiler gösterdiği ve 12 aylık takipte yüksek başarı oranı elde edildiği bildirilmiştir (Sigurdsson et al., 2018). Ancak bu çalışmada örneklem sayısının sınırlı olması, takip süresinin kısa tutulması ve diğer irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle doğrudan karşılaştırma yapılmaması, sonuçların yorumlanabilirliğini kısıtlamaktadır.

2.15.2.5 Ultrasonik Cihazlar

Sonik enerjiye kıyasla ultrasonik enerji, daha yüksek frekansta ancak daha düşük genlikte dalgalar üretmektedir (Walmsley & Williams, 1989). Bu sistemlerde kullanılan uçlar, işitsel algı sınırının üzerinde, genellikle 25–30 kHz frekans aralığında titreşim yapacak şekilde tasarlanmıştır (L. W. M. Van Der Sluis et al., 2007; Walmsley & Williams, 1989).

Martin ve Cunningham, ultrasonik irrigasyonun başarısını, ultrasonik enerji ile irrigasyon solüsyonunun etkileşimine bağlamış ve bu etkileşimi “sinerjik sistem” olarak tanımlamıştır (Martin vd., 1984). Ultrasonik enerjinin başlıca etkisinin akustik akış ve kavitasyon ile gösterdiği bildirilmiştir (Martin & Cunningham, 1985). Ultrasonik titreşimlerin irrigasyon solüsyonuna iletilmesiyle oluşan negatif basınç, sıvı içerisinde mikrobaloncukların oluşmasına yol açmakta, bu durum kavitasyon olarak adlandırılmaktadır. Klinik koşullarda ultrasonik enerjinin kavitasyon etkisi oldukça sınırlıdır. Baloncuklar kısa sürede büyüyerek ani patlamalarla çöker; bu çökme sırasında yaklaşık 500 atmosfer basınç ve 5.000 °C'yi aşan sıcaklıklar meydana gelebilir. Bu yüksek enerjili patlamalar sonucunda yayılan şok dalgaları, irrigasyon solüsyonunda güçlü bir akıma neden olmakta ve bu olgu “akustik akış” olarak adlandırılmaktadır.

Bu mekanizmalar sayesinde kök kanal sisteminin karmaşık anatomisinin daha etkili şekilde dezenfekte edilebildiği ve irrigasyon solüsyonlarının biyolojik-kimyasal etkilerinin aktive olduğu belirtilmiştir (Plotino, Pameijer, vd., 2007). Ancak, geleneksel ultrasonik cihazların oluşturduğu kavitasyon etkisinin, kullanılan ucun sadece birkaç mikrometreden fazla apikale gidemeyeceği rapor edilmiştir (Haapasalo & Hamilton, 2008). Buna rağmen, sodyum hipokloritin (NaOCl) ultrasonik aktivasyonu, irrigasyon solüsyonunun doku çözme, antibakteriyel etki ve dentin duvarlarındaki organik-inorganik debrisleri uzaklaştırma kapasitesini anlamlı şekilde artırmaktadır (Plotino, Pameijer, vd., 2007).

Smear tabakasının uzaklaştırılmasında ultrasonik sistemlerin etkinliği ile ilgili literatürde çelişkili sonuçlar bildirilmiştir. Bu durum, smear tabakasının yalnızca kimyasal ajanlar veya lazer sistemleri ile etkili şekilde elimine edilebileceğine dair bulgularla açıklanmıştır (Cameron, 1995). Etkin irrigasyon için ultrasonik uçların kök kanal duvarlarına temas etmeden, kök kanalı içerisinde serbest hareket edebilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Lumley et al., 1992).

Ultrasonik cihazlar yalnızca irrigasyon solüsyonu aktivasyonunda değil; aynı zamanda giriş kavitesinin hazırlanması, pulpa taşlarının uzaklaştırılması, kök kanal orifislerinin bulunması, kalsifiye kök kanalların açılması, kırık aletlerin, postların ve siman kalıntılarının çıkarılması ile retrograd kavite preparasyonu gibi çeşitli endodontik işlemlerde de kullanılmaktadır (Plotino, Pameijer, vd., 2007).

Literatürde ultrasonik irrigasyon aktivasyonu için iki temel teknik tanımlanmıştır. Bunlardan ilki, eş zamanlı olarak hem şekillendirme hem de irrigasyon aktivasyonunu içeren ultrasonik irrigasyon (UI) yöntemidir. Diğeri ise, yalnızca irrigasyon solüsyonunu aktive etmeye yönelik şekillendirme yapılmaksızın uygulanan pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ) tekniğidir.

Ultrasonik Şekillendirme Yaklaşımının Etkinliği ve Sınırlılıkları

Ultrasonik cihazlar ile gerçekleştirilen kök kanal şekillendirme ve dezenfeksiyon işlemlerinin, konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırıldığında belirgin ölçüde daha etkili sonuçlar verdiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Lee vd., 2004). Ancak, bazı araştırmalarda ultrasonik sistemlerin primer şekillendirme ve dezenfeksiyon yöntemi olarak yeterli başarıyı sağlayamadığı bildirilmiştir

(Jambagi et al., 2021; Li et al., 2023). Bu başarısızlık, çoğunlukla kök kanallarının istenilen düzeyde koniklik ve genişliğe sahip olmaması nedeniyle ultrasonik uçların hareket kabiliyetinin ve irrigasyon solüsyonunun etkinliğinin sınırlandırılmasına bağlanmaktadır (Li et al., 2023; Loyola-Fonseca et al., 2023).

Pasif Ultrasonik İrrigasyon

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUİ), ilk olarak Weller ve ark. tarafından, kök kanal duvarlarında herhangi bir şekillendirme ya da düzeltme yapılmaksızın yalnızca irrigasyon solüsyonunun ultrasonik dalgalarla aktive edilmesi işlemi olarak tanımlanmıştır (Weller et al., 1980). PUİ sisteminde ultrasonik enerji, kullanılan eğe ya da uç aracılığıyla irrigasyon solüsyonuna aktarılmakta; böylece akustik mikrosirkülasyon etkisi oluşmaktadır (Gevari et al., 2020; L. W. M. Van Der Sluis et al., 2007). Smear tabakası ve organik artıkların, NaOCl içerisindeki aktif klorun tükenmesine neden olarak antimikrobiyal etkinliği azalttığı göz önünde bulundurulduğunda, PUİ'nin bu dokuların etkin şekilde uzaklaştırılması yoluyla dolaylı bir antimikrobiyal avantaj sağlayabileceği öne sürülmektedir (Arias-Moliz et al., 2016).

Devamlı Ultrasonik İrrigasyon

PUİ, uygulama şekline göre iki temel kategoriye ayrılmaktadır: devamlı irrigasyon yöntemi (DUİ) ve aralıklı irrigasyon yöntemi (AUİ). DUİ sisteminde irrigasyon solüsyonu kök kanalına sürekli olarak verilirken eş zamanlı olarak ultrasonik enerji uygulanmaktadır. Bu amaçla içi boş iğne benzeri uçlar kullanılmakta ve irrigasyon boyunca etkin bir sıvı hareketi sağlanmaktadır. EndoUltra (Vista Dental Products, ABD), 40 kHz'lik yüksek frekansla çalışan DUİ sistemine örnek olarak gösterilmektedir (Cîmpean et al., 2022; Kharouf et al., 2020). Gutarts ve ark. yürüttüğü ilk çalışmada, mandibular molarların mezial kök kanallarında, %5.25 NaOCl ile her bir kök kanalı için 1 dakika süreyle uygulanan DUİ'nin, apikal 3 mm'lik alanda ve isthmus bölgelerinde daha etkin bir dezenfeksiyon sağladığı bildirilmiştir (Gutarts vd., 2005). Bunu takip eden başka bir in vivo çalışmada ise, nekrotik kanallı mandibular molarlarda DUİ'nin, planktonik bakteriler üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu ve CFU (colony-forming unit) düzeyinde anlamlı bir azalma sağladığı belirtilmiştir (Carver vd., 2007). Günümüzde bu yöntemi uygulamak üzere geliştirilmiş sistemler arasında;

25-G kör uçlu paslanmaz çelik iğneli ProUltra Piezoflow (Dentsply Tulsa Dental Specialties, ABD) ile 30-G uçlu Ni-Ti iğneli StreamClean (Vista Dental Products, ABD) yer almaktadır (Nusstein, 2015).

Aralıklı Ultrasonik İrrigasyon

Aralıklı ultrasonik irrigasyon (AUI), kök kanalının ve giriş kavitesinin irrigasyon solüsyonu ile doldurulmasının ardından, kök kanalı içindeki solüsyonun ultrasonik uç aracılığıyla aktive edilmesini ve irrigasyon solüsyonunun belirli aralıklarla iğne kullanılarak tazelenmesini içeren bir irrigasyon aktivasyon yöntemidir (Nusstein, 2015). Bu teknik, işlem sırasında birden fazla basamağın uygulanmasını gerektirdiğinden dolayı zaman açısından daha uzun sürelidir. AUI sırasında kullanılan irrigasyon solüsyonu, dentin artıklarının, nekrotik dokuların, bakterilerin ve biyofilmin etkisiyle kısa sürede doygunluğa ulaşmakta ve bu durum, solüsyonun viskozitesinde artışa neden olarak ultrasonik aktivitenin etkinliğini sınırlandırmaktadır (Cîmpean et al., 2022; Dias-Junior et al., 2021). Bu nedenle, irrigasyon süresince solüsyonun düzenli olarak tazelenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.

Aralıklı ve devamlı ultrasonik irrigasyon tekniklerinin kök kanallarındaki irrigasyon etkinlikleri karşılaştırıldığında, her iki yöntemin benzer derecede etkili olduğu bildirilmektedir (L. van der Sluis et al., 2009; Tanomaru-Filho et al., 2016).

2.15.2.6 Lazer Sistemleri

"Lazer" terimi, İngilizce "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" ifadesinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu ifade, Türkçeye "Uyarılmış radyasyon yayılımı ile ışığın şiddetinin artırılması" şeklinde çevrilmiştir (Mucaj A.B.A., 2015).

Lazer sistemlerinin bakterisidal etkinliği; kullanılan dalga boyu, uygulanan enerji düzeyi ve çoğu durumda bakteri hücre zarında meydana gelen yapısal değişiklikler aracılığıyla oluşan termal etkiye bağlıdır. Termal etki sonucunda hücre zarının bütünlüğü bozulmakta, osmotik denge değişmekte ve bu durum bakteri ölümüne neden olmaktadır (Plotino et al., 2016).

Lazer destekli irrigasyon sistemlerinde temel etki mekanizması, irrigasyon solüsyonu içerisinde mikrobaloncukların oluşması ve bu baloncukların çökmesiyle gerçekleşen kavitasyon sürecidir. Bu olayın tekrarlanması, şok dalgalarının

oluşmasına neden olur. Oluşan baloncukların büyüklüğü ise lazerin enerji seviyesi, atım süresi ve dalga boyu gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Van der Sluis vd., 2016).

670-900 nm dalga boyundaki Diyot Lazerler

Diyot lazerler, yarı iletken bir aktif ortam içeren ve optik fiber aracılığıyla enerji iletimi sağlayan lazer sistemleridir. Bu lazerler sürekli ya da atımlı ışık üretme kapasitesine sahiptir. Kullanım alanları arasında yumuşak doku cerrahisi, dentin hassasiyetinin azaltılması, kavite ve kök kanallarının dezenfeksiyonu, kök kanal preparasyonu, diş beyazlatma uygulamaları ve periodontal tedaviler yer almaktadır. Özellikle 635–675 nm dalga boyu aralığındaki diyot lazerler, antimikrobiyal fotodinamik tedavide etkili olarak kullanılmaktadır (Bonsor et al., 2006; Garcez et al., 2007; M. T. Lee et al., 2004). Bu dalga boyundaki lazer ışığının, pigmentli fotoaktif ajanlar tarafından emildiği ve bu ajanların aktive olarak mikroorganizmalara karşı litik etki gösteren serbest radikaller oluşturduğu gösterilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı, söz konusu dalga aralığında çalışan diyot lazerler ve ışık yayan diyotlar (LED), kök kanal sistemlerinin, implant çevresinin ve periodontal dokuların dezenfeksiyonunda başarılı şekilde uygulanmaktadır (Fonseca et al., 2008; Garcez et al., 2010; Lim et al., 2009).

810–1064 nm Dalga Boyundaki Diyot Lazerler

810–1064 nm aralığındaki diyot lazerler, yumuşak doku insizyonu, buharlaştırılması ve koagülasyonu gibi işlemlerde; ayrıca periodontal cep tedavisi ve kök kanal dezenfeksiyonunda Nd:YAG lazerlere alternatif olarak tercih edilmektedir. Özellikle 200 µm çapındaki fiber uçların kullanımı ile kök kanal sisteminde, ana kanaldan dentin tübüllerine doğru yaklaşık 500–750 µm derinliğe kadar dekontaminasyon sağlayabildiği bildirilmektedir (Camargo, 2012).

Nd:YAG Lazerin (1064 nm) Endodontide Kullanımı

Nd:YAG lazerler, aktif ortam olarak yitrium, alüminyum ve garnet kristaline neodmiyum elementinin eklenmesiyle oluşturulan katı hal lazerleridir. Bu lazerler, kök kanallarında 200 ve 400 µm çapındaki esnek fiber uçlar aracılığıyla, genellikle non-kontakt teknikle uygulanmaktadır. Pigmente dokularda yüksek absorpsiyon göstermeleri nedeniyle, özellikle pigment içeren bakterilere karşı

etkinlikleri yüksektir. Endodontide; mine ve dentin yüzeylerinin pürüzlendirilmesi, dentin hassasiyetinin giderilmesi, kavite ve kök kanalı dezenfeksiyonu ile direkt ve indirekt pulpa kaplaması gibi çeşitli işlemlerde kullanılmaktadır (Elafifi-Ebeid et al., 2023; Saydjari et al., 2016).

Ancak, yüksek enerji parametreleriyle uygulandığında dentin yüzeyinde karbonizasyon, mikroçatlaklar ve termal hasarlar oluşabilmektedir (Ramirez et al., 2023). Harashima ve ark. tarafından yürütülen bir çalışmada, Nd:YAG lazerin tek köklü dişlere 1 W (50 mJ, 20 pps) ve 2 W (100 mJ, 20 pps) parametreleriyle uygulanması sonrası elde edilen SEM görüntülerinde; 1 W uygulanan grupta dentin tübüllerinin smear ve debris ile kaplı olduğu, 2 W uygulanan grupta ise dentin yüzeyinin daha az debrisyle kaplı olduğu ve smear tabakasının kısmen buharlaştığı, buna karşın dentinde erime ve yeniden kristalleşme bölgelerinin de mevcut olduğu bildirilmiştir (Harashima et al., 1997).

Nd:YAG lazerin antibakteriyel etkisinin dentin dokusuna 1000 µm derinliğe kadar penetre olabildiği gösterilmiştir. Bir in vitro çalışmada, Streptococcus mutans ile kontamine edilen 100-1000 µm kalınlığındaki dentin dilimlerinin karşı yüzeyinden Nd:YAG lazer uygulandığında, tüm kalınlıklarda anlamlı bakteri eliminasyonu sağlanmıştır. 1000 µm'lik dentin tabakasında bile lazerin bakterisidal etkisi devam etmiştir, ancak etkinliğin şiddeti derinlikle birlikte azalmaktadır (Klinke et al., 1997). Nd:YAG lazer, farklı bakteri türlerine karşı da etkilidir. S. sanguis ve P. intermedia ile yapılan çalışmalarda, 1.8 W ve 2.4 W güçlerde uygulanan lazer, dentin tübüllerinde yüksek oranda sterilizasyon sağlamıştır (Berkiten et al., 2000a). Ayrıca, Enterococcus faecalis gibi dirençli endodontik patojenlerde de 1 mm dentin kalınlığının ötesine geçen bakterisidal etki gözlenmiştir. Ancak, özellikle biyofilm formundaki bakterilerin tamamen eradikasyonu daha zordur ve lazerin tek başına tam sterilizasyon sağlaması beklenmemelidir (Berkiten vd., 2000).

Er:YAG Lazerin (2940 nm) Endodontide Kullanımı

Er:YAG lazerler, aktif ortam olarak yitrium, alüminyum ve garnet kristallerine erbiyum elementinin eklenmesiyle oluşturulan katı hal lazer sistemleridir. Bu lazer türü, su ve hidroksiapatit tarafından yüksek oranda absorbe edilebilme özelliği sayesinde endodontide kök kanal şekillendirmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Do & Gaudin, 2020). Özellikle suya yüksek absorpsiyonu

nedeniyle, intertübüler dentin bölgelerinde daha etkili olduğu bildirilmiştir (Wang et al., 2020; Zhuang et al., 2021). Ayrıca, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu ve ajitasyonu için de etkili bir ajan olarak değerlendirilmiştir.

Er:YAG lazer; kavite preparasyonunda, çürük temizliğinde, organik içerikli restorasyonların uzaklaştırılmasında, kök kanallarının dezenfeksiyonu ve şekillendirilmesinde, ayrıca pulpa kaplamasında anestezi gereksinimi olmadan kullanılabilir (Valenti vd., 2021).

Shoji ve ark. tarafından yürütülen bir çalışmada, konik uçlu Er:YAG lazerin %80 oranında lateralden ve %20 oranında uç kısmından ışınım yaptığı gösterilmiştir. Bu özelliğin, hem kök kanal şekillendirmesini hem de dezenfeksiyon etkinliğini artırdığı rapor edilmiştir. Er:YAG lazerin dentin üzerindeki etkileri arasında smear tabakasının ve debris kalıntılarının uzaklaştırılması yer almakla birlikte, lazer uygulamasının dentin yüzeyinde ablasyon, erime alanları, düzensizlikler ve hatta perforasyon gibi istenmeyen etkiler oluşturabileceği de bildirilmiştir (Olivi & Olivi, 2016).

Nd:YAG, Er:YAG ve argon lazerlerin smear tabakası üzerindeki etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, Er:YAG lazerin (1 W, 10 Hz, 100 mJ) kullanıldığı grupta, kök kanal sisteminin orta ve apikal bölgelerinde smear tabakasının başarıyla uzaklaştırıldığı ve dentin tübüllerinin açıldığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada, Nd:YAG lazerin (2 W, 20 Hz, 200 mJ) uygulandığı dişlerde smear tabakasının buharlaştığı, fakat bazı alanlarda erime ve kristalleşme olduğu; argon lazerin (1 W, 5 Hz, 50 mJ) kullanıldığı örneklerde ise özellikle orta bölgede pulpa artığına rastlandığı rapor edilmiştir (Takeda et al., 1999).

Er,Cr:YSGG Lazer (2780 nm)

Er,Cr:YSGG lazerler, aktif ortam olarak yitrium, skandiyum, galyum ve garnet kristallerine erbiyum ve krom elementlerinin eklenmesiyle oluşturulan katı hal lazerlerdir. Bu lazer sistemleri, su ve hidroksiapatit tarafından absorbe edilebilmekte olup, suya karşı absorpsiyon düzeyi Er:YAG lazere kıyasla daha düşüktür ("Lasers in Endodontics," 2016; Prathima et al., 2015). Bununla birlikte, su emilimi özelliği sayesinde bakteri hücre membranları üzerinde de etkili bir antibakteriyel etki gösterebilmektedir (Basrani vd., 2015).

Er,Cr:YSGG lazerler, kök kanallarının dezenfeksiyonu ve şekillendirilmesinin yanı sıra, apikal ve periodontal cerrahi uygulamalarda da

kullanılmaktadır. Uygulandığı mine ve dentin yüzeyinde pürüzlü bir yapı oluşturarak smear tabakasının uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu etki, özellikle dentin ile kompozit rezinler arasındaki bağlanmayı artırmakla birlikte, mine yüzeyinde adeziv bağın sağlanabilmesi için ek olarak asit uygulaması gerektirebilmektedir.

Periodontal cerrahide küretaj işlemlerinde de kullanılabilen Er,Cr:YSGG lazerlerin suya olan absorpsiyonu Er:YAG lazerlere göre yaklaşık iki ila üç kat daha düşük olduğundan, bu lazerin uygun olmayan parametrelerle kullanılması durumunda çevre dokularda istenmeyen termal hasar riski artmaktadır (Judy et al., 1993).

CO₂ Lazer (9320–10600 nm)

CO₂ lazerler, aktif ortamı gaz fazındaki karbondioksit olan, yüksek dalga boyuna sahip lazer sistemleridir. Su ve hidroksiapatit tarafından yüksek oranda absorbe edilmeleri, bu lazerleri hem sert hem de yumuşak doku işlemleri için uygun kılmaktadır. Endodontide ilk olarak endodontik cerrahilerde, özellikle apeksin dekontaminasyonu ve füzyonu amacıyla kullanılmıştır. Bununla birlikte, günümüzde endodontideki kullanımı vital pulpa tedavilerinde dekontaminasyon, buharlaştırma ve koagülasyon işlemleri ile sınırlı kalmıştır (Kaur, 2023; Luk et al., 2019).

CO₂ lazer; sert ve yumuşak doku cerrahilerinde, mine ve dentin yüzeylerinin pürüzlendirilmesinde, kavite preparasyonunda, dentin hassasiyetinin giderilmesinde, kavite ve kök kanallarının dezenfeksiyonunda, kanal şekillendirmesinde, dental beyazlatma uygulamalarında ve pulpa kaplamasında kullanılabilmektedir (Viraparia vd., 2012).

Kök Kanallarının Lazer ile Dezenfeksiyonu

Kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda mekanik şekillendirme ve geleneksel irrigasyon yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda, irrigasyon aktivasyonunu sağlamak amacıyla üç farklı lazer temelli prosedür önerilmektedir: lazerle doğrudan ışınlama, antimikrobiyal fotodinamik terapi ve lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon (LAI) (Basrani, 2015).

Kök kanallarının lazer ile doğrudan ışınlaması tekniğinde, kanal içerisinde herhangi bir irrigasyon solüsyonu bulunmaksızın lazer enerjisi doğrudan kanal

duvarlarına uygulanmaktadır (Zakariasen et al., 1986). Ancak literatürde bu yöntemin bazı dezavantajlarına dikkat çekilmiştir. Özellikle, lazerin etkisiyle kök dentininin erimesi ve ardından yeniden kristalleşmesi sonucu dentin yüzeyinde karbonizasyon, dentin tübüllerinin tıkanması ve mikroçatlak oluşumu gibi istenmeyen yapısal değişikliklerin meydana gelebileceği bildirilmiştir (Berkiten vd., 2000).

Lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon (LAİ), kök kanallarında bulunan irrigasyon solüsyonunun lazer enerjisi ile aktive edilmesi esasına dayanan bir tekniktir (De Moor et al., 2010). Bu yöntemde, irrigasyon solüsyonu ile doldurulmuş kök kanallarına lazer uygulanması sonucunda sıvı içerisinde mikrodinamik akımlar ve türbülans oluşur (Kuştarcı & Er, 2015). Bu hareketlilik, irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemi içerisindeki dağılımını, penetrasyonunu ve antimikrobiyal etkinliğini artırır. Ayrıca, lazer enerjisinin doğrudan dentin yüzeyine uygulanmadığı bu yöntem sayesinde ısı artışına bağlı aşırı morfolojik değişikliklerin ve dentin hasarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır (Wang vd., 2007).

Günümüzde lazerle aktifleştirilmiş irrigasyon (LAİ) uygulamalarında, sudaki yüksek absorpsiyon kapasiteleri nedeniyle en uygun dalga boylarının Er:YAG (2940 nm) ve Er,Cr:YSGG (2780 nm) lazerler olduğu bildirilmektedir (BROWN et al., 1995). Son yıllarda, Er:YAG lazer kullanılarak geliştirilen ve süper kısa atım süreleri (0,3 W, 15 Hz, 50 µs) ile düşük enerji düzeylerinde (10–20 mJ) yüksek güç yoğunluğu elde edilmesini sağlayan yeni bir LAİ yöntemi olan foton kaynaklı fotoakustik akış teknolojisi (PIPS) tanımlanmıştır (DiVito&Lloyd,2012). PIPS tekniği, Er:YAG lazer enerjisinin irrigasyon solüsyonu içinde sıcaklık artışına neden olmadan üç boyutlu fotoakustik şok dalgaları oluşturması prensibine dayanmaktadır (Peters et al., 2011). Literatürde, aynı enerji düzeyinde uygulandığında, geleneksel düz uçlu fiber uçlarla oluşturulan eliptik buhar kabarcıklarına kıyasla, konik biçimli fiber uçların oluşturduğu yuvarlak buhar kabarcıklarının daha güçlü patlamalar meydana getirdiği bildirilmiştir (Basrani, 2015).

Bu teknikte, ucu sivriltilmiş ve modifiye edilmiş özel fiber uçlar kullanılmakta olup, diğer lazer sistemlerinden farklı olarak bu uçlar kök kanalı içine yerleştirilmemekte, yalnızca pulpa odasına konumlandırılmaktadır (Jaramillo, 2015).

Endodontide lazerle aktive edilen irrigasyona (LAİ) yönelik en yeni gelişme, şok dalgası ile geliştirilmiş emisyonlu fotoakustik akış (SWEEPS) sistemi olarak adlandırılan tekniktir. Bu yöntemde, Er:YAG lazer ile birlikte 600 µm çapında bir fiber uç kullanılmakta ve bu uç yalnızca pulpa odasına yerleştirilmektedir. SWEEPS modunda lazer, farklı sayıda ve senkronize ultra kısa atım çiftleri oluşturarak etkisini göstermektedir. Bu kısa atımlar, ikincil kabarcıkların mevcut kabarcıkların çökmesine yol açması sonucunda şok dalgaları ve gelişmiş fotoakustik akış oluşturan bir dizi mikrokabarcığın meydana gelmesini sağlar. Literatüre göre, SWEEPS sisteminin oluşturduğu basınç dalgalarının amplifikasyonu, PIPS tekniğine kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Lukac et al., 2017).

2.15.2.7 Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi (AFT)

Antimikrobiyal fotodinamik terapi (AFT), ışığa duyarlı bir kimyasal ajan olan fotosensitizan ile bu ajanın absorpsiyon spektrumuna uygun dalga boyuna sahip bir ışık kaynağının (genellikle lazer) birlikte kullanılması esasına dayanan bir tedavi yöntemidir. Bu işlem sonucunda, hedeflenen hücrelerin seçici olarak yok edilmesi sağlanmaktadır. Geleneksel olarak onkolojik uygulamalarda, özellikle malign hücrelerin eliminasyonu amacıyla kullanılmakta olan bu yöntem, günümüzde antimikrobiyal amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır. Bu durumda hedef mikroorganizmalar olmakta ve uygulama "Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi (AFT)", "Fotodinamik Antimikrobiyal Kemoterapi" ya da "Fotoaktivasyonlu Dezenfeksiyon" olarak adlandırılmaktadır.

Diş hekimliğinde pek çok alanda uygulama alanı bulan AFT, endodonti pratiğinde özellikle kök kanal dezenfeksiyonu amacıyla kullanılmaktadır. Endodontik tedavilerde, farklı dalga boylarına sahip lazer ışınları ile çeşitli fotosensitizan maddelerin kombinasyonu kullanılarak mikroorganizmaların eliminasyona yönelik araştırmalar devam etmektedir (Kishen & Shrestha, 2015).

2.15.2.8 Ozon ile Irrigasyon

Ozon (O₃), üç oksijen atomundan oluşan ve termodinamik olarak kararsız yapıda bulunan reaktif bir oksijen formudur. Suda hızla ayrışarak hücre yapılarında oksidatif stres oluşturan bu molekül, ilaç direnci gelişimini tetiklemeden antimikrobiyal etki gösterebilmektedir (Mohammadi et al., 2013). Yüksek

oksidasyon potansiyeline sahip olan ozon, antimikrobiyal etkinlik bakımından klora kıyasla yaklaşık 1,5 kat daha güçlüdür (Nogales et al., 2008).

Literatürde, ozon gazının antimikrobiyal etkinliğinin NaOCl kadar güçlü olmadığı ancak NaOCl'ye kıyasla daha düşük sitotoksisiteye sahip olduğu vurgulanmıştır (Holliday & Alani, 2014). Bununla birlikte, endodontik patojenlere ve özellikle biyofilm formasyonuna karşı gösterdiği etkinliğin tutarsızlık gösterdiği ve bu nedenle biyofilme karşı kullanımında dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir (Hems et al., 2005).

2.16 Dentin Tübül Penetrasyonunu Değerlendirmede Kullanılan

Görüntüleme Yöntemleri

Kök kanal patlarının, irrigasyon solüsyonlarının ve kanal içi medikamentlerin dentin tübüllerine penetrasyon özelliklerini değerlendirmek amacıyla farklı mikroskopik tekniklerden yararlanılmaktadır. Bu amaçla sıklıkla ışık mikroskobu, stereomikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve lazer taramalı konfokal mikroskop (CLSM) gibi görüntüleme yöntemleri kullanılmaktadır (Bouillaguet et al., 2004).

Özellikle KLTM, yüksek çözünürlükte ve derinlikte optik görüntüler sunabilmesi sayesinde bu alanda yaygın şekilde tercih edilen bir tekniktir. Bu sistem, hareketli lazer ışını ile çalışır ve 0.5–1.5 µm kalınlığındaki ince optik kesitlerde net görüntüler elde edilmesine olanak tanır. CLSM'nin karakteristik özelliği olan "konfokal" yapı, ışığın hem gönderilmesi hem de alınmasının aynı odak noktasına yönlendirilmesini sağlar. Sistemin iğne deliği adı verilen dar açıklıkları sayesinde yalnızca hedeflenen düzlemde gelen ışık algılanır; böylece görüntü düzlemi dışındaki ışık yansımaları elimine edilir. Bu mekanizma, yüksek kontrastlı ve odak dışı alanlardan etkilenmeyen net görüntüler elde edilmesine imkân tanır (Mallya & Jathanna, 2019).

CLSM ile solüsyonların dentin tübüllerine olan penetrasyonunun incelenebilmesi için, irrigasyon sonrası floresan özellikli boyalarla yıkama yapılarak görüntülemenin hassasiyeti artırılır. Bu amaçla yaygın olarak Rodamin B boyası tercih edilmektedir (Akçay et al., 2017; Gunes et al., 2024). CLSM'de kullanılan floresan boyaların sağladığı yüksek görüntü netliği, daha düşük büyütme oranlarında dahi geniş alanların detaylı bir şekilde incelenmesini mümkün kılmaktadır (Mamootil & Messer, 2007).

3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Etik Kurul Onayı ve Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Bu çalışma, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 07.01.2025 tarihli 2024/361 karar numaralı etik kurul iznini takiben Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda yürütüldü.

Bu çalışmada “GPower-3.1.9.2” programı kullanılarak (Faul, F., Erdfelder ve ark. (2009)), %95 güven düzeyinde ($\alpha=0,05$), standardize etki büyüklüğü benzer bir çalışmadan 1,2423 ((Akçay et al., 2017); Tablo 3, Sonic irrigation) olarak hesaplandı ve 0,95 teorik güç ile her grup için minimum örneklem hacmi 15 olarak elde edildi.

3.2 Çalışmaya Dahil Edilecek Dişlerin Seçimi

Çalışmada Bolu Abant İzzet Baysal Diş Hekimliği Fakültesi'ne başvuran hastalardan ortodontik, travma ve periodontal problem nedenlerinden herhangi biri ile çekimi uygun görülen tek kök ve tek kök kanalına sahip, kök çürüğü veya deformasyonu bulunmayan, iç veya dış kök rezorpsiyonu gözlemlenmeyen, boyutsal olarak birbirine yakın, uzunluğu en az 20 mm olan, Schneider'e göre kök kanal eğimi 10° 'den küçük olan alt premolar dişler dahil edildi. Kırık veya çatlağa sahip, kök kanalları kalsifiye olan, kök ucu gelişimi tamamlanmamış veya kök ucunda rezorpsiyon olan, daha önceden kök kanal tedavisi uygulanmış dişler dahil edilmedi.



Şekil 3.1. Çalışmaya dahil edilen dişler

Tüm dişlerin üzerinde bulunan yumuşak doku artıkları ve debrisler periodontal kretuar yardımıyla uzaklaştırıldı. Çekilen dişler çalışmanın başlangıcına kadar %0.1 kloramin solüsyonunda (BMV Kimya, İstanbul, Türkiye) oda sıcaklığında bekletildi. Dişlerin tek kök kanalına sahip olduğunu teyit etmek amacıyla periapikal radyografiyle kök kanalları kontrol edildi. Kronlar, mine-sement sınırından steril elmas fissür frez (G&Z Instrumente GmbH 6890 Lustenau/Avusturya) yardımıyla kök segmentlerinin boyları 15 ± 1 mm olacak şekilde kesildi. Steril rond elmas frezle (G&Z Instrumente GmbH 6890 Lustenau/Avusturya) endodontik giriş kavitelerinin hazırlanmasından sonra #10 C+ eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak pulpa dokusu ekstirpe edildi. Çalışma uzunluklarını belirlemek için #10 C+ eğesi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) apikal foramenden görülünceye kadar yerleştirilerek belirlendi. Dişler kök kanal tedavileri için Protaper Next döner eğe sisteminden (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) sırasıyla X1, X2, X3, X4 eğeleriyle endomotor sistemi (VDW Gold, VDW, Münih, Almanya) kullanılarak prepare edildi. Preparasyon esnasında, her bir eğe değişikliği arasında kök kanalları 2 mL %5,25 NaOCl (Saver, Prime Dental, Hindistan) ve 30 G yandan delikli enjektör (Medic, Şanghay, Çin) kullanılarak irrije edildi.

Preparasyonun tamamlanmasının ardından smear tabakasını uzaklaştırmak için 1 dakika boyunca 5 mL %17 EDTA (Werax, Spot Diş Deposu, İzmir, Türkiye) ve 5 mL %5,25 NaOCl (Saver, Prime Dental, Hindistan) ile kök kanal irrigasyonu ultrasonik cihaza (P5 Newtron XS, Satelec Acteon Group, Mérignac, Fransa) bağlı ultrasonik uç Dr. Talal's Endo Kit Ultrasonik Endo Tip T2 (Woodpecker, Çin) ile aktivasyon eşliğinde yapıldı. Kök kanalları EDTA, NaOCl solüsyonları arasında ve solüsyonlardan sonra 5 mL distile su ile irrije edildi ve ardından steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Kore) ile kurutuldu.

Biyoseramik esaslı kanal patı (Sure-Seal Root; Sure Dent Corporation, Gyeonggi-do, Güney Kore) ve tek #40 güta perka kon (X4) (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile kök kanal dolumu yapıldı. Kök kanal tedavileri tamamlanan dişler 1 hafta süresince 37°C ' de %100 nemli ortamda saklandı. 1 hafta sonra, tüm deney grubundaki dişlere 9 mm uzunluğunda post boşluğu olması kaydıyla Reforpost (Ángelus, Londrina, Brezilya) 1 numaralı driller kullanılarak apikal bölgede 5 ± 1 mm güta perka kalacak şekilde post boşluğu hazırlandı.

Post boşluğu Mirseifinejad ve ark. uyguladığı şekilde 5 mL %17 EDTA (Werax, Spot Diş Deposu, İzmir, Türkiye), 5 mL %5,25 NaOCl (Saver, Prime Dental, Hindistan) ve son olarak 5 mL distile su ile irrigate edilmesinin ardından steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Kore) ile kurutuldu. Post boşluğu %37 fosforik asit jel ile asitlendi.



Şekil 3.2. Kök kanal tedavisinde kullanılan VDW Gold Endomotor Sistemi



Şekil 3.3. Kök kanal tedavisinde kullanılan el eğeleri ve döner eğe sistemleri



Şekil 3.4. Kök kanal tedavisinde kullanılan materyaller

3.3 Deney Gruplarının Planlanması

Çalışma 2 aşamadan oluşmakta olup ilk aşamada post sistemlerinin uygulanması ve onların farklı post söküm yöntemleriyle uzaklaştırılmasını içermektedir. Postların sökümü sırasında geçen süre ve kök yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimleri değerlendirilecektir. Çalışmanın ikinci aşamasında post sökümü yapılan dişlere farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri uygulanarak irrigasyon solüsyonlarının penetrasyonu değerlendirilecektir.

Çalışmaya dahil edilen 40 adet diş yapılacak post çeşidine göre 2 eşit gruba ayrıldı (A ve B). A grubundaki toplam 20 adet diş fiber post, B grubundaki toplam 20 adet diş PEEK post uygulandı. Fiber post uygulanan 20 adet diş post söküm yöntemlerine göre 2 eşit gruba ayrıldı (A₁ ve A₂). Çalışmaya dahil edilen 10 adet diştten oluşan A₁ grubunda dişlere uygulanan fiber postlar ultrasonik yöntemle uzaklaştırılırken 10 adet diştten oluşan A₂ grubunda dişlere uygulanan fiber postlar fiber post sisteminin drilleri uygulanarak uzaklaştırıldı. PEEK post uygulanan 20 adet diş post söküm yöntemlerine göre 2 eşit gruba ayrıldı (B₁ ve B₂). Çalışmaya dahil edilen 10 adet diştten oluşan B₁ grubunda dişlere uygulanan PEEK postlar, ultrasonik yöntemle uzaklaştırılırken 10 adet diştten oluşan B₂ grubunda dişlere uygulanan PEEK postlar, fiber post sisteminin drilleri kullanılarak uzaklaştırıldı.

A₁, A₂, B₁, B₂ grupların her biri post yuvasına uygulanan irrigasyon aktivasyon yöntemine göre grupta bulunan diş sayısı 5 (n=5) olan 2 eşit gruba

ayrıldı. A_{1a}, A_{2a}, B_{1a}, B_{2a} gruplarında aynı final irrigasyon aktivasyon protokolü izlenirken irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak SWEEPS (Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım) uygulandı. A_{1b}, A_{2b}, B_{1b}, B_{2b} gruplarında aynı final irrigasyon protokolü izlenirken irrigasyon aktivasyon yöntemi olarak PUI (Pasif Ultrasonik İrrigasyon) uygulandı.

Tablo 3.1. Deney Grupları

A Grubu: Fiber Post				B Grubu: PEEK Post			
A ₁ Grubu: Ultrasonik Yöntemle Söküm		A ₂ Grubu: Post Sisteminin Drilleriyle Söküm		B ₁ Grubu: Ultrasonik Yöntemle Söküm		B ₂ Grubu: Post Sisteminin Drilleriyle Söküm	
A _{1a}	A _{1b}	A _{2a}	A _{2b}	B _{1a}	B _{1b}	B _{2a}	B _{2b}
Grubu: SWEEPS	Grubu: PUI	Grubu: SWEEPS	Grubu: PUI	Grubu: SWEEPS	Grubu: PUI	Grubu: SWEEPS	Grubu: PUI

3.4 Fiber ve PEEK Postların Yapımı

Simantasyon öncesinde post yüzeylerine herhangi bir yüzey işlemi uygulanmadan önce, tüm post örnekleri %70 etanol ile temizlendi, su ile durulandı ve hava ile kurutuldu.

Post boşluğu hazırlanmış olan 40 adet diştten A Grubuna 1 numaralı fiber post (Reforpost, Ángelus, Londrina, Brezilya) uygulandı. PEEK post uygulanacak grup (B) için fiber postlardan (Reforpost, Ángelus, Londrina, Brezilya) fiber postlarla aynı ebatta olacak şekilde tarayıcıyla (7 Series dental wings, Dental wings®, Montreal, QC, Kanada) ölçü alındı. Post yuvasına uygun PEEK postlar Set Dent Dental Laboratuvar'da üretildi.

PEEK post yüzeyine rezin simanla adezyonu arttırmak için 50 µm Al₂O₃ partikülleri ile hava aşındırma işlemi (Basic quattro IS; Renfert GmbH, Hilzingen, Almanya) uygulandı. İşlem, 35 psi basınçta, 4 farklı yönden ve post yüzeyinden 10 mm uzaklıkta, 20 saniye süreyle gerçekleştirildi. Ardından PEEK ve fiber postların yüzeyleri %37 fosforik asit jel ile asitlendi.

Üretici firmanın talimatları doğrultusunda PANA VIA V5 rezin simanı (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japonya) uygulanarak simante edildi.



Şekil 3.5. Fiber post sistemi



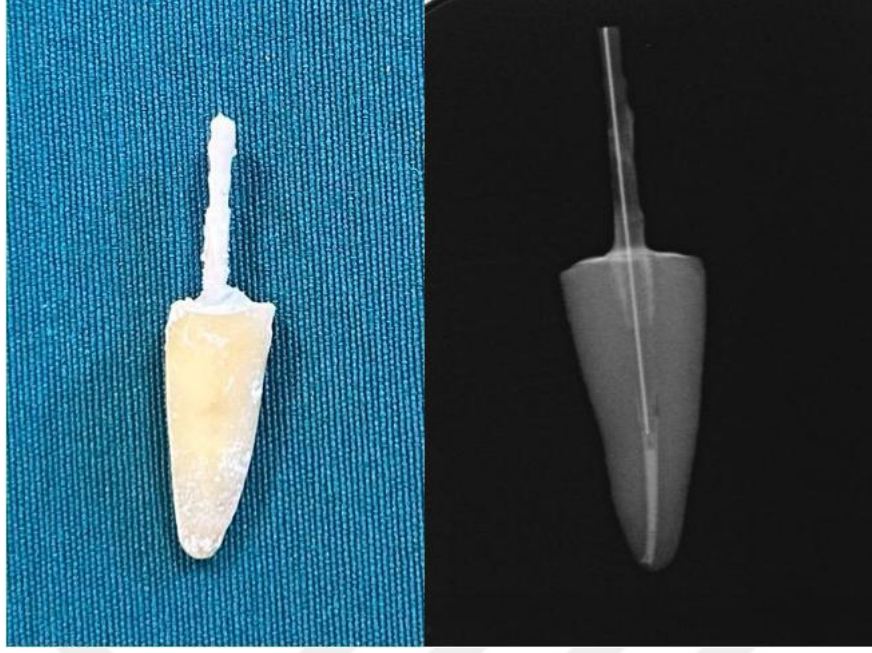
Şekil 3.6. PEEK post üretimi için kullanılan dijital tarayıcı



Şekil 3.7. Üretilen PEEK post



Şekil 3.8. Post sisteminin drilli



Şekil 3.9. PEEK post uygulaması yapılmış diş ve fiber post uygulaması yapılmış diş röntgeni

3.5 Fiber ve PEEK Postların Sökümü

Postların sökümü sırasında işlemin kontrolünü ve görüş alanını artırmak amacıyla Zumax OMS 3200 operasyon mikroskobu (Zumax Medical Co., Ltd., Çin) 20x büyütmede kullanıldı.

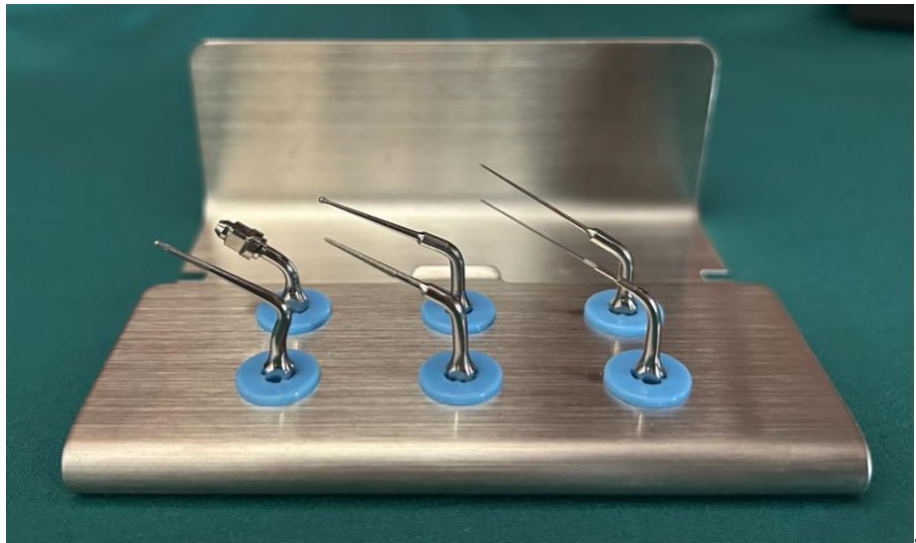
A₁ ve B₁ gruplarında ultrasonik kullanılarak PEEK ve fiber postların sökümü, Papoulidou ve ark. uyguladığı yöntemle üretici firmanın önerisi doğrultusunda ultrasonik cihaza (P5 Newtron XS, Satelec Acteon Group, Mérignac, Fransa) bağlı elmas kaplı ultrasonik uç Dr. Talal's Endo Kit Ultrasonik Endo Tip T5 ve T6 (Woodpecker, Çin) ile su soğutması altında, orta ve yüksek ayarda yapıldı (Papoulidou et al., 2023). Ultrasonik uçların oluşturduğu titreşimler yardımıyla adeziv bağın bozulması sağlanarak postların mobilizasyonu sağlandı. Deneysel işlemlerin tamamı, standardizasyonu sağlamak amacıyla tek bir operatör tarafından uygulandı.

A₂ ve B₂ gruplarında Fiber post sisteminin 1 numaralı drilli (Reforpost, Ángelus, Londrina, Brezilya) kullanılarak fiber ve PEEK postun sökümü, her 1,5

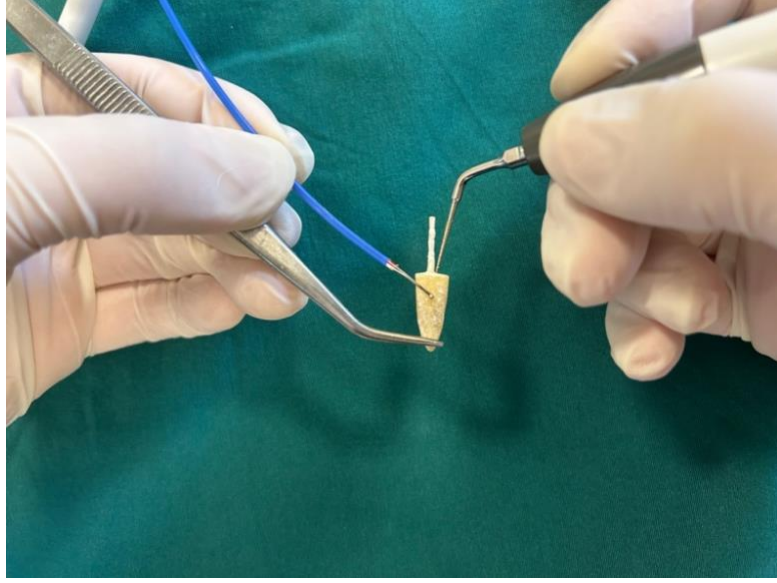
mm ilerleme kaydedildiğinde steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Kore) ile kurutulup dentin yüzeyi kontrol edilerek su soğutması altında uygulandı.



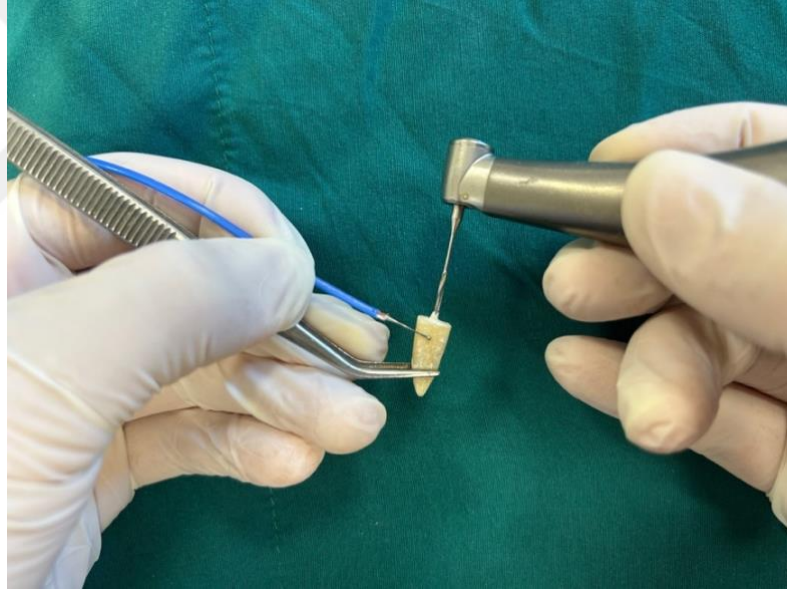
Şekil 3.10. Newtron P5 XS ultrasonik sistem (Acteon)



Şekil 3.11. Dr. Talal's Endo Kit



Şekil 3.12. Ultrasonik uç ile fiber post sökümü

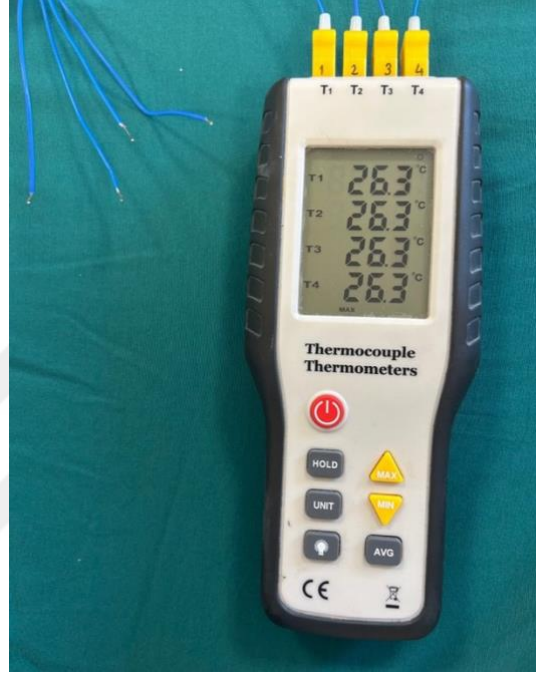


Şekil 3.13. PEEK post sökümü

3.6 Post Söküm Sürelerinin Kaydı ve Sıcaklık Ölçümlerinin Yapılması

Postların söküm sürelerinin ve sıcaklık değişimlerinin ölçümleri Deeb ve ark. uyguladığı yöntemle yapıldı (Deeb vd., 2019). Post söküm süresi her bir diş için kronometre ile ölçülerek kaydedildi. Sıcaklık ölçümü, post sökümü sırasında kökün orta üçlüsü ve koronal üçlüsünden her bir ölçüm noktasına bir mikrotermokupl elemanı yerleştirilip flaster bant ile sabitlenerek ve herhangi bir ısı

kaynağı ile doğrudan temas etmelerini engellemek için dişlerin apikal üçlüden presel yardımıyla tutulmasıyla gerçekleştirildi. Sıcaklık ölçümleri için Cem DT-3891G 4 Kanallı Termokupl Sıcaklık Data Logger (CEM, Şenzen, Çin Halk Cumhuriyeti) cihazı tercih edildi. Sıcaklık ölçümlerinin kaydı 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9. ve 10. dakikalarda yapıldı. Zaman noktaları, post sökümü sırasında klinikte yaygın olarak kullanılan olası süre aralığını simüle edecek şekilde seçildi.



Şekil 3.14. Cem DT-3891G 4 Kanallı Termokupl Sıcaklık Data Logger

3.7 Şok Dalgası ile Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım (SWEEPS)

Prosedürü

A_{1a}, A_{2a}, B_{1a}, B_{2a} gruplarında aynı final irrigasyon aktivasyon protokolü izlendi. Bu protokol, 5 mL %17 EDTA (Werax, Spot Diş Deposu, İzmir, Türkiye) ile irriga edilip ve Er Karaoğlu ve ark. uyguladığı yöntemle Er:YAG lazer cihazına (LightWalker, Fotona, Ljubljana, Slovenya) bağlı Radial SWEEPS fiber uç (SWEEPS®, Fotona, Ljubljana, Slovenya, AB) kaviteye yerleştirilerek ve 20 saniye boyunca 20 mJ, 15 Hz, 0.30 W ayarlarında, SWEEPS modunda, hava veya su püskürtmesi olmadan aktivasyon yapılmasını içermektedir. Bu döngü toplam 1 dakikalık aktivasyon süresi için 3 kez tekrarlandı. Aynı prosedür 5 mL %5,25 NaOCl (Saver, Prime Dental, Hindistan) solüsyonunu aktive etmek için de

tekrarlandı. Kök kanalları irrigasyon solüsyonları arasında ve irrigasyon solüsyonlarından sonra 2,5 mL distile su ile irrigate edildi ve ardından steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Kore) ile kurutuldu (Er Karaoğlu & Aydın, 2024).



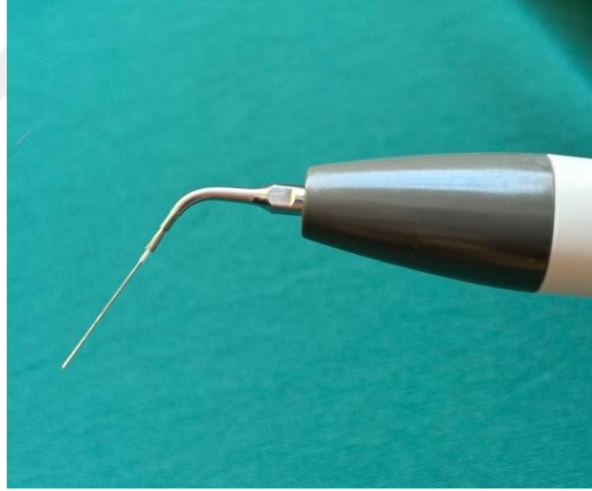
Şekil 3.15. Radial SWEEPS fiber ucun kullanıldığı LightWalker AT Er:YAG lazer cihazı (FOTONA) ve uygulama yapılan SWEEPS modu



Şekil 3.16. Radial SWEEPS fiber uç

3.8 Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUİ) Prosedürü

A_{1b}, A_{2b}, B_{1b}, B_{2b} gruplarında Güneş ve ark. uyguladığı şekilde aynı final irrigasyon protokolü izlendi. Bu protokol, 1 dakika boyunca 5 mL %17 EDTA (Werax, Spot Diş Deposu, İzmir Türkiye) ile irrigate edilip ardından ultrasonik cihaz (Newtron P5 XS BLED, Satelec/Acteon, Mérignac, Fransa) ile kök kanalına çalışma boyundan 2 mm daha kısa yerleştirilen Dr. Talal's Endo Kit Ultrasonik Endo Tip T2 (Woodpecker, Çin) uygulanarak aktive edilmesini kapsamaktadır. Aktivasyon üretici firmanın önerileri doğrultusunda 6 güç ayarında 20 saniye boyunca gerçekleştirildi. Bu prosedür toplam 1 dakikalık aktivasyon süresi için 3 kez tekrarlandı. Aynı prosedür 5 mL %5,25 NaOCl (Saver, Prime Dental, Hindistan) solüsyonunu aktive etmek için de tekrarlandı. Kök kanalları irrigasyon solüsyonları arasında ve irrigasyon solüsyonlarından sonra 2,5 mL distile su ile irrigate edildi ve ardından steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Kore) ile kurutuldu (Gunes et al., 2024).



Şekil 3.17. Dr. Talal's Endo Kit Ultrasonik Endo Tip T2

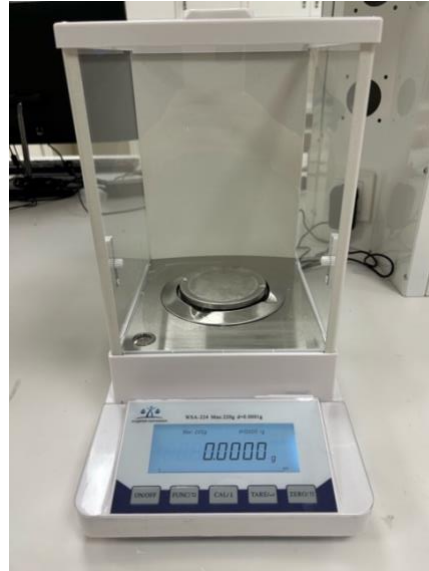
3.9 Rodamin B Floresan Boyası ile Örneklerin İşlenmesi

Nikon C2 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (CLSM) (Nikon, Tokyo, Japonya) kullanılarak solüsyon penetrasyon derinliğini ölçmek için, kesitler Rodamin B (Kimyalab, İstanbul, Türkiye) ile işaretlendi. Bu amaçla her 100 mL irrigasyon solüsyonuna 100 mg Rodamin B eklenmiş ve böylece %0.1 (w/v) konsantrasyonda boya içeren çözeltiler hazırlandı. Rodamin B önce az miktarda (1–

2 mL) steril distile su içerisinde çözölüp ardından ilgili irrigasyon solüsyonuna homojen bir şekilde karıştırıldı (Akçay et al., 2017). Karışım işlemi, manyetik karıştırıcı ile gerçekleştirildi. A_{1a}, A_{2a}, B_{1a}, B_{2a} gruplarında yukarıda anlatılan SWEEPS aktivasyon prosedürü, A_{1b}, A_{2b}, B_{1b}, B_{2b} gruplarında yukarıda anlatılan PUI aktivasyon prosedürü 30 sn boyunca Rodamin B solüsyonunu aktive etmek için de tekrarlandı. Kök kanalları son olarak 2,5 mL distile su ile irrigate edildi ve ardından steril kağıt konlar (Sure Endo, Gurodanji, Korea) ile kurutuldu.



Şekil 3.18. Rodamin B floresan boyası



Şekil 3.19. Rodamin B floresan boyasının ölçümünde kullanılan analitik terazi

3.10 Örneklerden Kesitlerin Hazırlanması

Final irrigasyon prosedürlerinin tamamlanmasının ardından, çalışmaya dahil edilen tüm dişlerden Er Karaoğlu ve ark. uyguladığı yöntemle 6 mm, 9 mm ve 13 mm seviyelerinden kesitler alındı. Bu amaçla, hassas kesim cihazında (IsoMet 1000 Precision Saw, Buehler, Lake Bluff, IL, ABD), kökün uzun aksına dik yönde yaklaşık $1.0 \text{ mm} \pm 0.1$ kalınlığında kesitler hazırlandı. Kesitlerin kalınlık ölçümleri, 0.001 mm hassasiyete sahip dijital kumpas ile gerçekleştirildi. Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (LTKM) incelemelerinde daha yüksek kaliteli görüntüler elde edebilmek amacıyla, kesit yüzeylerinde oluşan düzensizlikler giderildi. Bunun için manuel parlatma cihazı (Presi, Minitech 233, Fransa) kullanıldı (Er Karaoğlu & Aydın, 2024).



Şekil 3.20. IsoMet 1000 Precision Saw



Şekil 3.23. Diş örneğinden elmas diskle kesit alınması



Şekil 3.24. Kesitlerin yüzey düzensizliklerinin giderildiği manuel parlatma cihazı



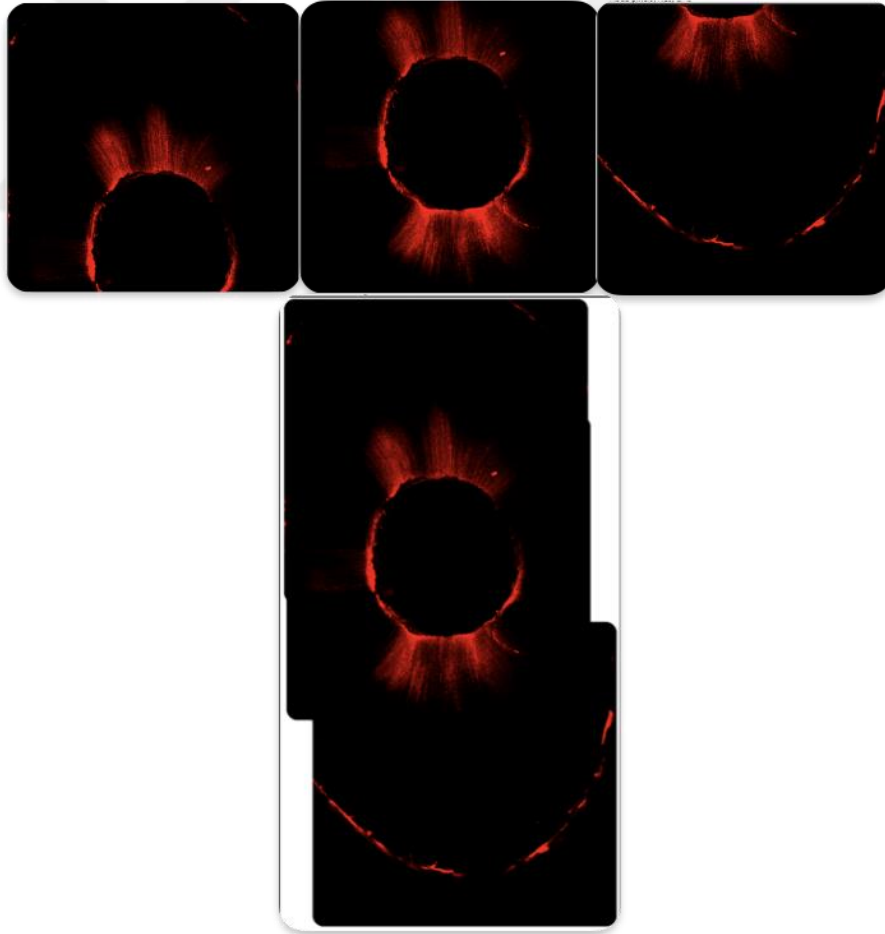
Şekil 3.21. Dişlerden alınan kesit örnekleri

3.11 Kesitlerin Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop ile İncelenmesi

Elde edilen dentin diskleri, her grup için ayrı ayrı incelenmek üzere cam lameller üzerine yerleştirildi. Örnekler, Er Karaoğlu ve ark. uyguladığı yöntemle 4× büyütmede Nikon C2 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (Nikon Corporation, Tokyo, Japonya) ile incelendi. Kök kanalının tamamının tek bir görüntüde değerlendirilemediği kesitlerde, görüntüleme standardizasyonunu sağlamak ve kesitin bütününe değerlendirebilmek amacıyla Freeform yazılımı (Apple Inc., Cupertino, CA, ABD) kullanıldı. Bu yöntemle elde edilen görüntüler birleştirilerek her örneğe ait tek bir görüntü oluşturuldu (Er Karaoğlu & Aydın, 2024).



Şekil 3.22. Nikon C2 Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop



Şekil 3.23. Tek bir görüntüde elde edilemeyen kesitlerin görüntülerinin Freeform yazılımı ile birleştirilmesi

3.12 Elde Edilen Görüntülerin Analizi

Lazer taramalı konfokal mikroskop ile elde edilen görüntüler, ImageJ yazılımı (National Institutes of Health, Bethesda, MD, ABD) kullanılarak analiz edildi. Analiz öncesinde, kök kanal lümenlerinin gerçek boyutlarının görüntü analizine yansıtılabilmesi amacıyla kalibrasyon işlemi gerçekleştirildi. Bu kapsamda, her bir kesitte kök kanalının lümen çapı dijital kumpas ile milimetre cinsinden ölçüldü. Ardından, aynı bölge ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, ABD) yazılımında düz bir çizgi ile işaretlenerek piksel uzunluğu belirlendi. Elde edilen bu iki ölçüm değeri, Analyze → Set Scale fonksiyonu aracılığıyla yazılıma tanımlanarak piksel değerlerinin milimetre karşılığı hesaplandı.

Bu işlem sayesinde konfokal lazer tarama mikroskobundan elde edilen görüntülerdeki ölçümlerin gerçek boyutlarla korelasyonu sağlanmış, böylece sonraki aşamalarda gerçekleştirilen morfometrik analizlerin güvenilirliği ve doğruluğu artırılmıştır.

Öncelikle, görüntülerin kontrastı Image → Adjust → Contrast menüsü aracılığıyla standart bir değer olan 41'e ayarlanarak görsel netlik ve analizde tutarlılık sağlandı. Ardından, Process → Binary → Make Binary komutu ile görüntüler ikili formata dönüştürüldü.

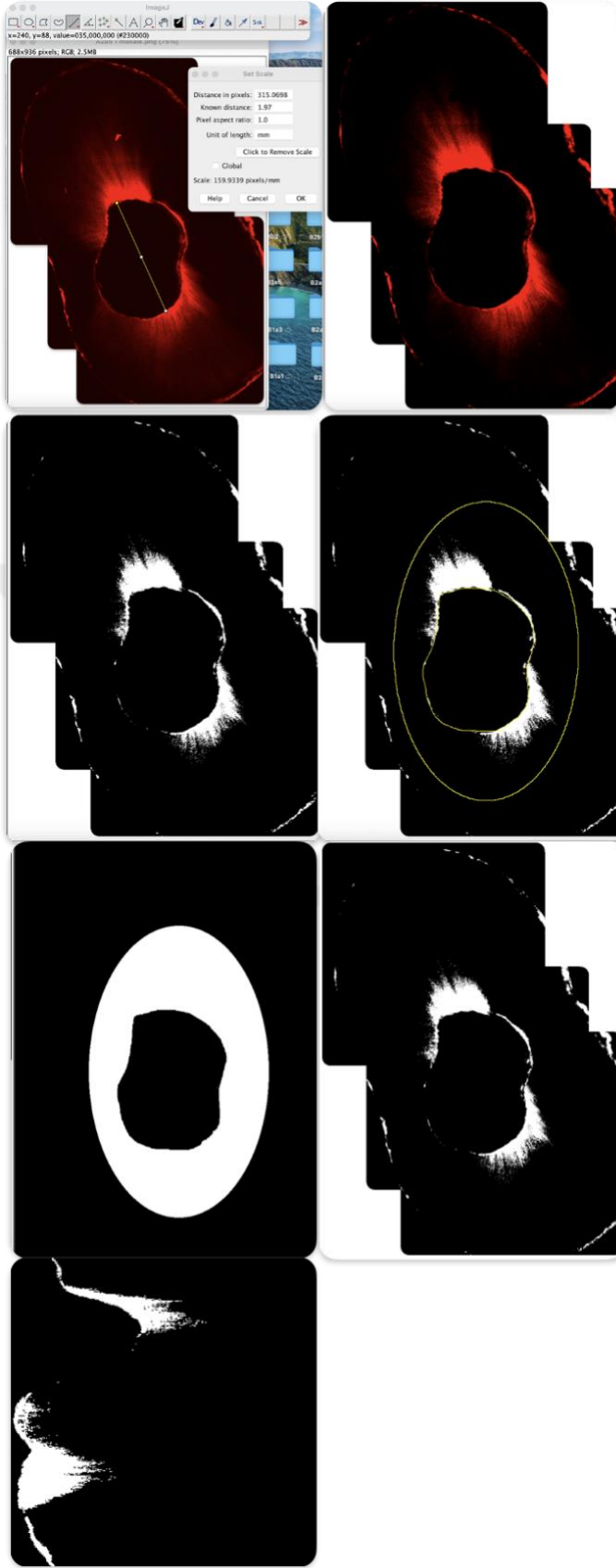
Kök kanal lümeni dairesel olarak işaretlendi ve ROI Manager'a kaydedildi. Benzer şekilde, diş kesitinin tamamı da ayrı bir ROI olarak eklendi. Daha sonra her iki ROI bir arada seçilerek XOR işlemi ile lümen dışındaki dentin bölgesini temsil eden yeni bir alan oluşturuldu. Bu alan kullanılarak Edit → Selection → Create Mask komutuyla maske üretildi.

İşlem adımlarının devamında, Process → Image Calculator menüsü kullanılarak konfokal görüntü (Image 1) ile oluşturulan maske (Image 2) "Multiply" seçeneği aracılığıyla birleştirildi. Böylece yalnızca ilgili bölgelerin görüntü analizi mümkün hale getirildi. Daha sonra Plugins → Polar Transformer komutu ile polar koordinat dönüşümü gerçekleştirildi ve analiz kolaylaştırıldı. Görüntülerde eşikleme işlemi Image → Adjust → Threshold bölümünde, tüm örnekler için 5 olarak sabitlenen eşik değeriyle uygulandı.

Son aşamada, Analyze → Analyze Particles aracı ile partikül analizi yapıldı. Bu analiz sonucunda elde edilen X eksenindeki değerlerin ortalama değerleri kaydedilerek, istatistiksel değerlendirmelere dahil edildi. Bu yöntem sayesinde dentin tübüllerine ait floresan boyanın dağılımı nicel olarak değerlendirilebildi.



Şekil 3.24. Kök kanalının lümen çapının dijital kumpas ile ölçülmesi



Şekil 3.25. Konfokal lazer tarama mikroskobu ile elde edilen görüntülerin, ImageJ yazılımı kullanılarak analiz edilmesi

3.13 İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler R yazılımı (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Öncelikle elde edilen verilerin dağılım özelliklerini değerlendirmek amacıyla Shapiro–Wilk testi ile normallik varsayımı, Levene testi ile varyans homojenliği incelendi. Parametrik test varsayımları karşılanmadığından gruplar arasındaki karşılaştırmalar Kruskal–Wallis testi ile yapıldı. Anlamlı farklılık bulunan durumlarda ikili grup karşılaştırmaları için Dunn–Bonferroni düzeltmeli post-hoc analiz uygulandı. Ayrıca sonuçların klinik önemini belirlemek amacıyla etki büyüklüğü hesaplamaları yapıldı; Kruskal–Wallis için epsilon kare (ϵ^2) ve ikili karşılaştırmalarda Cliff's delta (δ) değerleri raporlandı. Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1 Söküm Süresi Değerlerinin Bulguları

Bu bölümde, dört farklı grubun (A_1 , A_2 , B_1 , B_2) söküm süresi değerlerine ilişkin betimsel bulgular ve grup karşılaştırmaları sunulmaktadır. Analiz kapsamında grupların dağılım özellikleri incelenmiş, istatistiksel varsayımların değerlendirilmesi yapılmış ve gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesine yönelik karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Dört grup (A_1 , A_2 , B_1 , B_2) için elde edilen söküm süresi değerlerine ilişkin betimsel istatistikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Betimsel İstatistikler

Grup	Ortalama	SS	Medyan	Min	Max	%95 GA Alt	%95 GA Üst
A_1	446.3	95.500	446.5	320	620	377.980	514.620
A_2	395.1	59.080	378	325	480	352.840	437.360
B_1	468.2	108.970	442.5	358	642	390.240	546.160
B_2	279.1	49.100	258	245	370	243.980	314.220

Betimsel İstatistikler, B_1 grubunun en yüksek ortalamaya sahip olduğunu, B_2 grubunun ise en düşük değerlere ulaştığını göstermektedir. A_1 ve A_2 grupları arasında da ortalama değerlerde farklılık gözlenmiştir. Normallik ve varyans homojenliği test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri

Grup	Shapiro–Wilk p	Levene p	Karar
A_1	0.800	0.080	Kruskal
A_2	0.170	0.080	
B_1	0.050	0.080	
B_2	0.000	0.080	

Shapiro–Wilk testi bazı gruplarda normalliği doğrularken, özellikle B_2 grubunda normallik varsayımının sağlanmadığı görülmüştür. Levene testi ise varyansların homojen olmadığını göstermektedir ($p=0,08$). Dolayısıyla analizlerde Kruskal–Wallis testi uygulanmıştır. Gruplar arasındaki farklılık Kruskal–Wallis testi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 4.3. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Kruskal-Wallis Testi Sonuçları

Test	χ^2 (H)	sd	p değeri	ϵ^2
Kruskal-Wallis	19.380	3	<0.001	0.460

Kruskal-Wallis testi, dört grup arasında söküm süresi açısından anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir ($H=19,38$; $sd=3$; $p<0,001$). Etki büyüklüğü analizi sonuçları farkın güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Gruplar arasındaki farklılıkların hangi ikililerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Dunn-Bonferroni testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4.4. Söküm Süresi (sn) Değerleri için Dunn-Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları

Grup 1	Grup 2	İstatistik	p değeri	δ	Yorum
A ₁	A ₂	-0.920	0.360	-	-
A ₁	B ₁	0.290	0.770	-	-
A ₁	B ₂	-3.660	<0.001	0.920	Büyük
A ₂	B ₁	1.210	0.230	-	-
A ₂	B ₂	-2.740	0.010	0.840	Büyük
B ₁	B ₂	-3.940	<0.001	0.940	Büyük

Post-hoc analiz sonuçları, A₁-B₂, A₂-B₂ ve B₁-B₂ grupları arasında anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir. Diğer grup karşılaştırmalarında anlamlı farklılık saptanmamıştır. Cliff's delta etki büyüklüğü sonuçları, A₁-B₂, B₁-B₂ ve A₂-B₂ karşılaştırmasında büyük etki büyüklüğü gözlenmiştir. Bu bulgular, istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılıkların güçlü düzeyde etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4.2 Koronal Kesit Sıcaklık Değerlerinin Bulguları

Bu bölümde, dört farklı grupta elde edilen koronal kesit sıcaklık değerlerine ilişkin betimsel bulgular ve grup karşılaştırmaları sunulmaktadır.

Dört grup (A₁, A₂, B₁, B₂) için elde edilen koronal kesit sıcaklık değerlerine ilişkin betimsel istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Betimsel İstatistikler

Grup	Ortalama	SS	Medyan	Min	Max	%95 GA Alt	%95 GA Üst
A ₁	35.56	2.98	34.50	29.60	42.7	34.85	36.26
A ₂	27.61	3.11	27.50	20.30	34.8	26.81	28.41
B ₁	36.57	3.10	36.50	30.90	42.8	35.86	37.29
B ₂	31.82	5.37	31.30	23.10	45.1	30.19	33.45

Betimsel istatistikler, A₂ grubunun en düşük ortalama sahip olduğunu, B₁ grubunun ise en yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. Özellikle B₁ grubunun ortalama değeri diğer gruplardan belirgin şekilde yüksektir. Normallik ve varyans homojenliği test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 4.6. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri

Grup	Shapiro–Wilk p	Levene p	Karar
A ₁	0.000	<0.001	Kruskal
A ₂	1.000	<0.001	
B ₁	0.130	<0.001	
B ₂	0.120	<0.001	

Shapiro–Wilk testi bazı gruplarda normalliği doğrularken bazı gruplarda normallik varsayımının sağlanmadığını göstermiştir. Levene testi tüm gruplarda varyansların homojen olmadığını göstermektedir ($p<0,001$). Dolayısıyla analizlerde nonparametrik yöntem tercih edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılık Kruskal–Wallis testi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 4.7. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Kruskal–Wallis Testi Sonuçları

Test	χ^2 (H)	sd	p değeri	ϵ^2
Kruskal–Wallis	122.550	3	<0.001	0.480

Kruskal–Wallis testi, dört grup arasında koronal kesit sıcaklık değerleri açısından anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir ($H=122,55$; $sd=3$; $p<0,001$). Gruplar arasındaki farklılıkların hangi ikililerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Dunn–Bonferroni testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4.8. Koronal Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Dunn–Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları

Grup 1	Grup 2	İstatistik	p değeri	δ	Yorum
A ₁	A ₂	-8.680	<0.001	0.950	Büyük
A ₁	B ₁	1.500	0.130	-	-
A ₁	B ₂	-3.630	<0.001	0.400	Orta
A ₂	B ₁	10.230	<0.001	-0.960	Büyük
A ₂	B ₂	4.140	<0.001	-0.450	Orta
B ₁	B ₂	-4.980	<0.001	0.530	Büyük

Post-hoc analiz sonuçları, A₁ ile A₂, A₁ ile B₂, A₂ ile B₁, A₂ ile B₂ ve B₁ ile B₂ grupları arasında anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir. A₁ ile B₁ grupları arasında ise anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Cliff's delta etki büyüklüğü sonuçları, A₁–A₂ ve A₂–B₁ karşılaştırmalarında büyük etki büyüklükleri, A₁–B₂ ve A₂–B₂ karşılaştırmalarında ise orta düzeyde etki büyüklükleri olduğunu göstermektedir. B₁–B₂ karşılaştırmasında da büyük düzeyde etki büyüklüğü saptanmıştır.

4.3 Orta Kesit Sıcaklık Değerlerinin Bulguları

Bu bölümde, dört farklı grupta elde edilen orta kesit sıcaklık değerlerine ilişkin betimsel bulgular ve grup karşılaştırmaları sunulmaktadır. Bulgular, gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlılığını ve pratik önem düzeylerini ortaya koyarak sıcaklık değişkeninin grup üyeliklerine bağlı olarak nasıl farklılaştığını göstermektedir.

Dört grup (A₁, A₂, B₁, B₂) için elde edilen orta kesit sıcaklık değerlerine ilişkin betimsel istatistikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 4.9. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Betimsel İstatistikler

Grup	Ortalama	SS	Medyan	Min	Max	%95 GA Alt	%95 GA Üst
A ₁	34.900	2.910	34.500	28.400	41.800	34.210	35.590
A ₂	27.830	2.980	28.200	21.400	34.800	27.070	28.590
B ₁	34.320	3.560	34.400	27.500	44.100	33.500	35.130
B ₂	31.090	5.340	29.400	23.400	44.000	29.460	32.710

Betimsel istatistikler, A₂ grubunun en düşük ortalama sıcaklığa sahip olduğunu, B₁ grubunun ise en yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. Gruplar arası

dağılımlarda belirgin farklılık gözlemlenmiştir. Normallik ve varyans homojenliği test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 4.10. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri

Grup	Shapiro–Wilk p	Levene p	Karar
A ₁	0.230	<0.001	Kruskal
A ₂	0.460	<0.001	
B ₁	0.400	<0.001	
B ₂	0.010	<0.001	

Shapiro–Wilk testleri bazı gruplarda anlamlı çıkarken, Levene testi tüm gruplarda anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Bu sonuçlar parametrik test varsayımlarının karşılanmadığını ve nonparametrik yöntemlerin kullanılmasının gerektiğini göstermektedir. Gruplar arasındaki farklılık Kruskal–Wallis testi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 4.11. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Kruskal–Wallis Testi Sonuçları

Test	χ^2 (H)	sd	p değeri	ϵ^2
Kruskal–Wallis	99.540	3	<0.001	0.390

Kruskal–Wallis testi, dört grup arasında Orta Kesit Sıcaklık değerleri açısından anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir ($H=99,54$; $sd=3$; $p<0,001$). Etki büyüklüğü analizi sonuçları farkın güçlü bir etkiye sahip olduğuna işaret etmektedir. Gruplar arasındaki farklılıkların hangi ikililerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Dunn–Bonferroni testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4.12. Orta Kesit Sıcaklık Değerleri (°C) için Dunn–Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları

Grup 1	Grup 2	İstatistik	p değeri	δ	Yorum
A ₁	A ₂	-8.880	<0.001	0.91	Büyük
A ₁	B ₁	-0.850	0.390	-	-
A ₁	B ₂	-4.570	<0.001	0.47	Orta
A ₂	B ₁	8.170	<0.001	-0.84	Büyük
A ₂	B ₂	3.400	<0.001	-0.32	Küçük
B ₁	B ₂	-3.880	<0.001	0.41	Orta

Post-hoc analiz sonuçları, A₁ ile A₂, A₁ ile B₂, A₂ ile B₁, A₂ ile B₂ ve B₁ ile B₂ grupları arasında anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir. A₁ ile B₁ grupları arasında ise anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

4.4 Kök Kanal Lümenini Çevreleyen Dentin Tübüllerinde Ortalama Penetrasyon Derinliği Bulguları

Bu bölümde, sekiz farklı grubun dentin tübüllerine penetrasyon ölçüm değerlerine ilişkin betimsel bulgular ve grup karşılaştırmaları sunulmaktadır. Analiz kapsamında grupların dağılım özellikleri incelenmiş, istatistiksel varsayımların değerlendirilmesi yapılmış ve gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesine yönelik karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Sekiz grup (A_{1a}, A_{1b}, A_{2a}, A_{2b}, B_{1a}, B_{1b}, B_{2a}, B_{2b}) için elde edilen penetrasyon ölçüm değerlerine ilişkin betimsel istatistikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 4.13. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Betimsel İstatistikler

Grup	Ortalama	SS	Medyan	Min	Max	%95 GA Alt	%95 GA Üst
A _{1a}	0.600	0.243	0.544	0.236	1.280	0.474	0.725
A _{1b}	0.822	0.425	0.698	0.166	1.993	0.602	1.041
A _{2a}	0.614	0.399	0.516	0.199	1.324	0.408	0.820
A _{2b}	0.715	0.307	0.673	0.323	1.446	0.557	0.874
B _{1a}	0.527	0.253	0.450	0.234	0.972	0.396	0.657
B _{1b}	0.848	0.229	0.865	0.525	1.234	0.730	0.966
B _{2a}	0.408	0.198	0.356	0.111	0.794	0.305	0.510
B _{2b}	0.572	0.207	0.508	0.322	0.995	0.465	0.679

Tablo 1’de sekiz farklı grup için penetrasyon ölçüm değerlerine ilişkin betimsel istatistikler sunulmaktadır. Bulgular incelendiğinde, grupların ortalama değerlerinin 0.408 (B_{2a}) ile 0.848 (B_{1b}) arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum,

gruplar arasında dikkate değer düzeyde farklılıklar olabileceğine işaret etmektedir. Standart sapma (SS) değerlerinin ise 0.198 ile 0.425 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu sonuç, gruplar içerisinde gözlenen penetrasyon ölçüm değerlerinin homojenlik açısından görece benzer dağılımlara sahip olduğunu göstermektedir.

Medyan değerleri ortalamalarla büyük ölçüde örtüşmekte olup, dağılımlarda ciddi bir çarpıklık bulunmadığını düşündürmektedir. Minimum ve maksimum değerler dikkate alındığında uç değerlerin var olduğunu ve gruplar arasındaki değer aralıklarının farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

%95 güven aralıkları incelendiğinde, grupların ortalama değerleri için güven aralıklarının birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Örneğin, en düşük ortalamaya sahip B_{2a} grubunun güven aralığı 0.305–0.510, en yüksek ortalamaya sahip B_{1b} grubunun güven aralığı ise 0.730–0.966 aralığında yer almaktadır. Bu bulgu, bazı grupların ortalama değerleri arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olabileceği yönünde bir ön değerlendirme sunmaktadır.

Sonuç olarak, betimsel istatistikler penetrasyon ölçüm değerlerinin grup bazında farklı eğilimler sergilediğini, özellikle B_{1b} grubunun diğer gruplara kıyasla daha yüksek değerlere sahip olduğunu, B_{2a} grubunun ise en düşük düzeyde seyrettiğini göstermektedir. Bu bulgular, ilerleyen bölümlerde sunulan normallik ve varyans homojenliği testleri ile karşılaştırmalı analizlerin yapılması için bir ön zemin oluşturmaktadır. Normallik ve varyans homojenliği test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 4.14. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Normallik ve Varyans Homojenliği Testleri

Grup	Shapiro–Wilk p	Levene p	Karar
A _{1a}	0.042*	0.493	Kruskal
A _{1b}	0.015*		
A _{2a}	0.005*		
A _{2b}	0.286		
B _{1a}	0.054		
B _{1b}	0.396		
B _{2a}	0.374		
B _{2b}	0.158		

*p<0.05 (Normal dağılım varsayımı sağlanmamıştır.)

Tablo 2’de sekiz gruba ait normallik ve varyans homojenliği test sonuçları sunulmaktadır. Shapiro–Wilk testi sonuçlarına göre üç grup için (A_{1a} , A_{1b} , A_{2a}) için 0.05’in altında bulunmuştur. Bu durum, bu üç grubun dağılımının normal dağılım varsayımını karşılamadığını göstermektedir. Buna ek olarak, Levene testi sonucunda ($p>0.05$) gruplar arasında varyansların eşitliği varsayımını sağladığı belirlenmiştir.

Dolayısıyla, sekiz grubun karşılaştırılmasında parametrik testlerin (tek yönlü ANOVA) kullanılmasına imkân bulunmamaktadır. Normallik varsayımının tüm gruplar için sağlanmaması nedeniyle, gruplar arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde parametrik olmayan bir yaklaşım tercih edilmiştir. Bu bağlamda, Kruskal–Wallis testi uygun yöntem olarak belirlenmiş ve sonraki analizler bu test temelinde yürütülmüştür.

Tablo 4.15. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Kruskal-Wallis Testi Sonuçları

Değişken	χ^2 (H)	sd	p değeri	ϵ^2
BX	27.738	7	<0.001 (0.0002)	0.185

Tablo 3’te dört gruba ilişkin Kruskal–Wallis testi sonuçları sunulmaktadır. Analiz bulguları, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir ($\chi^2(7) = 27.738$, $p<0.001$). Elde edilen test istatistiği, grup ortanca değerleri arasında homojen bir dağılımın söz konusu olmadığını ve en az bir grubun diğerlerinden anlamlı düzeyde farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Hesaplanan etki büyüklüğü ($\eta^2 = 0.185$) ise farkın büyük düzeyde bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, gruplar arasındaki farklılıkların yalnızca istatistiksel açıdan anlamlı olmanın ötesinde, uygulamada da dikkate değer bir etkiye işaret ettiğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, sekiz grup arasında gözlenen anlamlı farklılıkların hangi ikililerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla, parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testlerinden biri olan Dunn–Bonferroni testi uygulanmış ve elde edilen bulgular Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4.16. Penetrasyon Ölçüm Değerleri (mm) için Dunn-Bonferroni Post-Hoc Testi Sonuçları

İkili Gruplar	Z	p	Cliff_delta	Cliff_yorum
A _{1a} -A _{1b}	-1.567	1.000	0.398	-
A _{1a} -A _{2a}	0.428	1.000	0.080	-
A _{1b} -A _{2a}	1.995	0.876	0.193	-
A _{1a} -A _{2b}	-1.031	1.000	0.201	-
A _{1b} -A _{2b}	0.535	1.000	0.504	-
A _{2a} -A _{2b}	-1.459	1.000	0.443	-
A _{1a} -B _{1a}	0.772	1.000	0.080	-
A _{1b} -B _{1a}	2.338	0.407	0.322	-
A _{2a} -B _{1a}	0.344	1.000	0.117	-
A _{2b} -B _{1a}	1.803	1.000	0.382	-
A _{1a} -B _{1b}	-2.422	0.339	0.170	-
A _{1b} -B _{1b}	-0.856	1.000	0.572	-
A _{2a} -B _{1b}	-2.850	0.105	0.348	-
A _{2b} -B _{1b}	-1.391	1.000	0.258	-
B _{1a} -B _{1b}	-3.194	0.037*	0.027	Küçük
A _{1a} -B _{2a}	1.997	0.916	0.413	-
A _{1b} -B _{2a}	3.564	0.010*	0.239	Küçük
A _{2a} -B _{2a}	1.569	1.000	0.102	-
A _{2b} -B _{2a}	3.029	0.061	0.322	-
B _{1a} -B _{2a}	1.226	1.000	0.231	-
B _{1b} -B _{2a}	4.419	0.000*	0.526	Büyük
A _{1a} -B _{2b}	0.207	0.836	0.246	-
A _{1b} -B _{2b}	1.774	1.000	0.557	-
A _{2a} -B _{2b}	-0.220	1.000	0.246	-
A _{2b} -B _{2b}	1.239	1.000	0.163	-
B _{1a} -B _{2b}	-0.564	1.000	0.773	-
B _{1b} -B _{2b}	2.630	0.197	0.557	-
B _{2a} -B _{2b}	-1.790	1.000	0.375	-

* p<0.05 (İki grup arasında anlamlı fark bulunmaktadır.)

Tablo 4'te sekiz grup arasındaki ikili karşılaştırmalara ilişkin Dunn–Bonferroni post-hoc testi sonuçları verilmiştir. Analiz bulguları, bazı gruplar arasında anlamlı fark bulunduğunu ortaya koymaktadır.

İkili karşılaştırmalarda p değerlerinin bazı grup ikilileri için 0.05'in altında olduğu ve bunun da gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak güçlü düzeyde olduğunu gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, farklılıkların büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla hesaplanan Cliff's delta değerleri incelendiğinde, etkilerin küçükten büyüğe kadar farklı düzeylerde dağıldığı dikkat çekmektedir.

5. TARTIŞMA

Endodontik olarak tedavi edilen aşırı madde kayıplı dişler, genellikle kron veya sabit restorasyon yapımından önce post kor ile restore edilebilmektedir. Günümüzde fazla madde kaybı olan dişlerin tedavisinde kullanılacak pek çok post seçeneği bulunmaktadır. Bu post seçenekleri metal postlar, döküm postlar gibi daha geleneksel çeşitlerde üretilebilirken seramik postlar, fiber postlar gibi daha güncel çeşitlerinin de kullanımı yaygındır (Rosentritt et al., 2000). Son yıllarda popüleritesi artan bir materyal olan polietereeterketondan (PEEK) üretilen endodontik postlar da mevcut post kor materyali olarak karşımıza çıkmaktadır (S. Ahmad et al., 2023).

Fiber postlar, uzun yıllardır kullanılan sağkalım oranı yüksek olan post sistemleridir (Naumann et al., 2012). Estetik ve kozmetik beklentilerin artmasıyla daha estetik özellikler içermekte aynı zamanda fonksiyonel kuvvetleri dentine eşit bir şekilde dağıtabilecek esneklik göstermektedir. Dentine yakın elastisite modülüne sahip post materyali olan fiber postlar, diş hekimliği rutininde oldukça sık uygulanmaktadır (L. Mishra et al., 2020).

Diş hekimliğinin farklı alanlarında kullanımı tercih edilen Polietereeterketon (PEEK) materyalinden üretilen PEEK postlar ise iyi retansiyon ve güçlü kırılma dayanımı gibi avantajlara sahiptir (Alkhatri et al., 2019). PEEK materyalinin dentine benzer bir basınç dayanımı ve elastik modülü bulunmaktadır. Bu da materyale, gelen stresi dağıtabilme ve kuvvet absorbe edebilme gibi özellikler kazandırmaktadır. Bu özellikler, PEEK materyalinin post kor restorasyonlar için alternatif bir seçenek olabileceğini düşündürmektedir (Bathala et al., 2019).

Fiber ve PEEK postların mekanik özellikleri ve tutuculuğu, self adeziv simanlar ile daha da geliştirilebilmektedir (S. Ahmad et al., 2023; Faria-e-Silva et al., 2012; Sarkis-Onofre et al., 2014). Çalışmalar adeziv siman uygulamasının, endodontik olarak tedavi edilen fiber post uygulanmış bir dişin ömrünü uzatabileceğini belirtmektedir. Adeziv simanla simantasyonu yapılan fiber postların en büyük dezavantajı ise sökülmesinin zor olmasıdır (L. Mishra et al., 2020). Her ne kadar post sistemleri dişin ağızda kalma olasılığını artırsada, travma sonrası post bütünlüğünün bozulduğu, kök kanal yenilemenin endike olduğu durumlar post sökümünü gerektirebilmektedir.

Literatürde klinikte yaygın olarak postun mekanik sökümünde elmas frezin, post sisteminin drillerinin, ultrasonik yöntemlerin ve lazer sistemlerinin rehber

şablon destekli ya da desteksiz olarak kullanıldığı bildirilmektedir (Altshul vd., 1997; Cho vd., 2022; Çapar vd., 2015; Elabdalla vd., 2025).

Ultrasonik yöntem, klinikte sıklıkla kullanılan ve üretici firmalarla desteklenen bir post söküm yöntemidir. Söküm sırasında vibrasyon enerjisini dentine ve siman-post arayüzüne ileterek adeziv bağın kolaylıkla bozulmasını sağlamaktadır (Kim vd., 2017). Buna karşın daha uzun sürede postu uzaklaştırması, işlem sırasında sıcaklık artışına yol açabilmesi, dentinde madde kaybına sebebiyet verebilmesi, dentinde kırılma direncini azaltabilmesi ve mikroçatlak riskini artırabilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Aydemir et al., 2018; Papoulidou et al., 2023; Purger et al., 2021).

Drill yöntemi, post materyalini mekanik olarak keserek uzaklaştırmakta ve bu sayede söküm işleminin daha kısa sürede tamamlanmasına olanak sağlamaktadır. Ancak söküm sırasında oluşabilecek yüksek sıcaklık artışı, dentin kaybı ve kök kanal morfolojisinin zarar görmesi gibi olumsuz durumlarla da karşılaşılabilir (Çapar vd., 2015; Scotti vd., 2013). Son yıllarda yapılan çalışmalar, driller ve söküm kitlerinin özellikle statik navigasyon teknikleriyle yönlendirildiğinde, ultrasonik yöntemlere kıyasla daha hızlı söküm işlemi sunduğunu ve daha fazla dentin koruma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Abella Sans et al., 2024).

Post sökümü çalışmalarında literatürde dentin kaybı, mikroçatlak oluşumu, post söküm sonrası kırılma direnci ve kalan rezin siman artıkları gibi pek çok parametre değerlendirilmiştir (Çapar et al., 2015; Papoulidou et al., 2023; Scotti et al., 2013). Mikro-bilgisayarlı tomografi (micro-CT) tabanlı çalışmalar, özellikle post sökümünün dentin hacmi kaybı ve rezin siman kalıntıları üzerinde anlamlı etkiler yarattığını göstermiştir. Er,Cr:YSGG lazer ve ultrasonik yöntem kullanılarak post sökümünün madde kaybının mikro bilgisayarlı tomografiyle (micro-CT) değerlendirilmesi sonucu ultrasonik yöntemin daha fazla madde kaybına sebep olduğu bunun yanı sıra Er,Cr:YSGG lazerin, mikroçatlak oluşumunda ve post söküm süresinde ultrasonik yönteme göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Cho et al., 2022b; Papoulidou et al., 2023). Ultrasonik uygulamalarda dentinde mikroçatlakların daha fazla görülebildiği, drill uygulamalarında ise işlem süresinin kısalmasına karşın daha fazla dentin kaybı yaşanabildiği bildirilmiştir (Çapar et al., 2015). Drill ve ultrasonik yöntemle post sökümü sırasında kökte mikroçatlak oluşumunu değerlendiren çalışmalardan istatistiksel olarak anlamlı

fark çıkmamıştır. Buna karşın drille post sökümünün sonik sistemle yapılan uygulamaya göre kökte mikroçatlak oluşumunu daha fazla arttırdığını bildiren çalışma da mevcuttur (Haupt et al., 2022).

Ultrasonik ve post sisteminin drilleri kullanılarak uygulanan post söküm yöntemlerinin klinik avantaj ve dezavantajlarının bulunmasının, bu yöntemlerin aynı çalışmada söküm süresi ve söküm sırasında oluşabilecek sıcaklık parametreleri açısından karşılaştırılmasının bilimsel olarak anlamlı ve değerli olacağı düşünülmektedir. Bu sayede, post sökümü sonrası dentin yapısının korunması ile işlem süresinin klinik uygulanabilirliği arasında optimal dengeyi sağlayacak yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada post söküm tekniklerinden ultrasonik ve drill kullanılarak uygulanan söküm yöntemleri söküm süresi ve söküm sırasında oluşabilecek sıcaklık parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Siman çeşidinin söküm sırasında yaratacağı etkiyi elimine etmek için ise iki farklı post çeşidinin yapıştırılması sırasında aynı siman kullanılmıştır. Kompozit rezin simanlar arasında PANA VIA V5 rezin simanı (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japonya) tercih edilmiştir. Kompozit rezin simanlar post simantasyonunda günümüzde en yaygın ve modern yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Ghodsı et al., 2022). Mine, dentin ve restoratif materyallerle hem kimyasal hem mikromekanik tutunma sağlayarak, yüksek bağlanma gücü sunmaktadır (Mitchell, 2000).

Post söküm işlemlerinin uygulanması amacıyla çalışmamızda premolar dişler tercih edilmiştir. Bu dişler tek köklü ve nispeten daha basit kök morfolojisine sahiptir. Bu özellik, deneysel grupların daha homojen olmasına katkıda bulunmaktadır. Klinik açıdan değerlendirildiğinde, alt premolar dişlerde geniş çürükler, travmalar ve köprü ayağı olarak kullanım nedeniyle koronal madde kaybı sık görülmekte, bu durum da endodontik tedavi sonrası post kor restorasyon ihtiyacını artırmaktadır. Pulpa odasının hacminin sınırlı olması ve koronal diş dokusunun yetersizliği, bu dişlerde post retansiyonunun kritik önem kazanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle alt premolar dişler, hem klinikte post gereksiniminin sık görülmesi hem de deneysel standardizasyonun sağlanması açısından uygun örneklerdir (Ferrari vd., 2012). Literatürdeki post söküm çalışmalarıyla benzer dişleri seçmek de çalışmanın literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılabilirliğini güçlendirmektedir (Çapar vd., 2015; Deeb vd., 2019; Papoulidou vd., 2023).

Bu çalışmadaki post söküm süreleri değerlendirildiğinde, gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. En kısa sürede postların uzaklaştırılması B₂ grubunda (PEEK post + drill yöntemi) gerçekleşirken, en uzun süre B₁ grubunda (PEEK post + ultrasonik yöntem) gözlenmiştir. Fiber post gruplarında drill ile söküm (A₂), ultrasonik yöntem (A₁) göre daha kısa sürmüş olsa da bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. B₂ grubunun A₁, A₂ ve B₁ gruplarına kıyasla anlamlı derecede daha kısa sürede postların uzaklaştırılmasını sağladığı belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, literatürde bildirilen sonuçlarla genel olarak uyumludur. Çeşitli çalışmalarda fiber postların uzaklaştırılmasında drill sisteminin daha kısa sürede etkili olduğu, ultrasonik yöntemlerin ise daha uzun süre gerektirdiği belirtilmiştir (Anderson et al., 2007; Gesi et al., 2003; Haupt et al., 2022; Lindeman et al., 2005). Literatürde farklı post ve söküm tekniklerini konu alan benzer çalışmalara bakıldığında; iki farklı fiber post sistemi olan D.T. Light-Post (Bisco Dental Products) ve Hi-Rem Prosthetic Post (Hi-Rem Post; Overfibers, Ferrara, Italy) sistemlerinin ultrasonik ve drill kullanılarak söküldüğü çalışmada, Hi-Rem Prosthetic Post sisteminin merkezinde yumuşak makrofiber polimerinin bulunması sebebiyle daha kısa sürede ve daha kolay söküldüğü görülmüştür. (Scotti et al., 2013).

D.T. Light-Post sisteminin D.T. Light-Post-removal kit ve ultrasonik kullanılarak söküldüğü bir başka çalışmada ultrasonik kullanılarak post sökümünün, daha uzun süre gerektirdiği ve söküm sonrasında dentindeki kırılma direncinin daha yüksek olduğu bulunmuştur (Aydemir et al., 2018). Er:YAG lazer ve ultrasonik yöntem kullanılarak fiber postların sökümünün gerçekleştirildiği bir çalışmada ise ultrasonik yöntemin Er:YAG lazere oranla daha yavaş ve daha fazla sıcaklık artışı meydana getirerek fiber postu söktüğü belirtilmiştir (Deeb vd., 2019).

Çalışmamızda PEEK postların ultrasonik yöntemle (B₁) en uzun sürede uzaklaştırılması, materyalin dentine yakın elastik modülü, titreşim enerjisini sönümleme özelliğinin sınırlı olması ile açıklanabilir. Bu özelliklerin, ultrasonik enerjinin adeziv arayüzde etkin bir şekilde bağ kırılmasına yol açmasını güçleştirebildiği düşünülmektedir. Buna karşılık drill ile PEEK post ve fiber postların uzaklaştırılması, mekanik ablasyonun doğrudan materyal üzerinde etkili olması nedeniyle daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Fiber postlarda drill ile ultrasonik arasındaki sürenin anlamlı fark göstermemesi ise ultrasonik enerjinin

fiber postların siman-post arayüzünde daha etkili olabilmesi ile açıklanabilir. PEEK postların da Reforpost fiber post sisteminden drill yöntemiyle daha hızlı sökülmesi çalışmamızda kullanıldığımız fiber postların merkezinde bulunan paslanmaz çelik filamentin söküme gösterdiği direnç ve PEEK postların fiber postlardan daha düşük elastik modülüyle açıklanabilmektedir.

Literatürde bazı çalışmalar ise uygun uç seçimi, güç ayarları ve operatör faktörleri ile ultrasoniğin de kısa sürede etkili olabileceğini bildirmiştir (Abella Sans et al., 2024; Bianchini et al., 2020). Bu durum, çalışmamızda görülen farklılıkların kullanılan materyal, siman türü, ultrasonik uç tipleri ve protokoller gibi değişkenlerden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Ayrıca PANAVIA V5 rezin simanın (Kuraray Noritake Dental Inc., Okayama, Japonya) kullanılması, siman yapısının ultrasonik titreşimlere karşı dirençli olmasına ve sürelerin uzamasına yol açmış olabilir.

Ultrasonik yöntemin farklı protokolleri uygulanarak yapılan post sökümü sırasında oluşan sıcaklık, süre, artık madde miktarı ve hacim değişimlerinin incelendiği bir çalışmada, söküm süresi ve kalan artık madde miktarının ultrasonik yöntemin farklı protokollerle uygulanmasından etkilenmediği gösterilmiştir. (Honda et al., 2024). Literatürde farklı ultrasonik uçların post sökümünün değerlendirildiği çalışmalar sınırlı sayıdadır. İleride bu konuyla ilgili çalışmaların yapılabileceği öngörülmektedir.

Post sökümü sırasında elde edilen sıcaklık değerleri incelendiğinde ise ultrasonik yöntem uygulanan gruplarda (A₁ ve B₁) sıcaklık artışlarının anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu, drilllerin kullanıldığı gruplarda (A₂ ve B₂) ise sıcaklık değerlerinin daha düşük kaldığı görülmüştür. Özellikle B₁ grubunda (PEEK + ultrasonik) ortalama koronal sıcaklık değeri 36.57 °C ile en yüksek seviyeye ulaşırken, en düşük ortalama sıcaklık A₂ grubunda (fiber + drill) 27.61 °C olarak kaydedilmiştir. Benzer eğilim orta kesit sıcaklık ölçümlerinde de gözlenmiş, drill kullanılan gruplarda sıcaklık artışı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlar, kullanılan yöntemin sıcaklık değişimlerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular, literatürdeki mevcut verilerle büyük ölçüde uyumludur (Purger et al., 2021). Daha önceki çalışmalar, ultrasonik cihazların dentin tarafından absorbe edilen vibrasyon enerjisi yoluyla ısı artışına neden olduğunu ve özellikle soğutmasız kullanıldığında kritik düzeylere ulaşabildiğini göstermiştir

(Buoncristiani et al., 1994; Honda et al., 2024). Eriksson ve Albrektsson periodontal dokularda 10 °C'den fazla sıcaklık artışının geri dönüşsüz hasara yol açabileceğini bildirmiştir (Eriksson & Albrektsson, 1983). Honda ve ark. ultrasonik cihazların 40 saniye boyunca soğutmasız kullanımında sıcaklığın kritik düzeylerin üzerine çıktığını ve dentin kaybını artırdığını belirtmiştir (Honda et al., 2024). Bu sebeplerle sıcaklık artışını değerlendirmenin önemli olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, ultrasonik cihazların su soğutması altında kullanılması sayesinde sıcaklık artışlarının klinik olarak kabul edilebilir düzeylerde sınırlandığı görülmektedir. Nitekim Deeb ve ark., ultrasonik yöntemde sıcaklık artışlarının Er:YAG lazerden belirgin şekilde daha yüksek olduğunu, ancak kontrollü koşullarda yine de güvenli sınırlar içerisinde kaldığını rapor etmiştir (Davis vd., 2010; Deeb vd., 2019; J. T. Dominici vd., 2005; Honda vd., 2024). Bu durum, bizim çalışmamızda da gözlenen, drill gruplarında düşük sıcaklık değerleri ile ultrasonik gruplarda nispeten yüksek sıcaklık değerleri arasındaki farkın literatürdeki eğilimle uyumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Post sökümü sonrası dişlerin tekrar restore edilebilmesi için kök kanalında daha önceden bulunan postun, yapıştırma simanının ve smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu artıkların uzaklaştırılması, yeni postun adezyonu açısından kritik öneme sahiptir. Post sökümü sonrasında kök kanalına yeniden post yerleştirilmeden önce final irrigasyon prosedürü uygulanmasının ve irrigasyon aktivasyon tekniklerinin artık materyallerin uzaklaştırılmasında, smear tabakasının kaldırılmasında ve dentin tübüllerinin açılmasında etkili olacağı düşünülmektedir (Haupt et al., 2020; Iandolo et al., 2023; Purger et al., 2021). İrrigasyon aktivasyon teknikleri, irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyon derinliğini etkilemektedir (Tungsawat et al., 2021). Çeşitli irrigasyon aktivasyon teknikleri olarak; standart iğne irrigasyonu, pasif ultrasonik irrigasyon, sonik aktivasyon, foton indüklenmiş fotoakustik dalgalanma (PIPS), şok dalgası ile geliştirilmiş fotoakustik akım (SWEEPS) gösterilebilmektedir (Er Karaoğlu & Aydın, 2024). Pasif ultrasonik irrigasyon aktivasyonu (PUI), 25-30 kHz frekanslarında üretilen enerjinin kesici olmayan bir uçla irrigasyon solüsyonuna aktarılması sonucu oluşan akustik akış ve kavitasyon ile kök kanal sisteminde irrigasyon solüsyonunun dağılımını sağlayan bir irrigasyon aktivasyon tekniğidir (Er Karaoğlu & Aydın, 2024). SWEEPS ise pulpa odasının içine yerleştirilen 600 µm'lik bir fiber uç kullanılarak uygulanan, senkronize ultra

kısa darbe çiftleri kullanılarak şok dalgalarının oluşturulduğu ve geliştirilmiş fotoakustik akış sayesinde irrigasyon solüsyonunun etkinliğini arttıran bir aktivasyon tekniğidir (Lukac et al., 2017).

Bu çalışmada post sökümü sonrası irrigasyon aktivasyon tekniği olarak pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ve SWEEPS teknoloji uygulanmıştır. Aktivasyon yöntemleri açısından bakıldığında, standart iğne irrigasyonuna kıyasla pasif ultrasonik irrigasyonun (PUI) irrigantın dentin tübüllerine penetrasyonunu anlamlı derecede artırdığı gösterilmiştir (Haupt et al., 2020). Yeni jenerasyon lazer tabanlı tekniklerden SWEEPS'in ise fotoakustik akım sayesinde irrigasyon solüsyonunun dentin tübüllerine penetrasyonunu arttırdığı ve smear tabakasının uzaklaştırılmasına katkı sağladığı rapor edilmiştir (Er Karaoğlu & Aydın, 2024).

Önceki çalışmalar, aktivasyon yönteminin irrigantın dentin tübüllerine dağılımını ve derinliğini belirgin biçimde etkilediğini göstermiştir. PUI, akustik akış ve kavitasyon sayesinde irrigantın erişimini ve penetrasyonu anlamlı biçimde arttırmaktadır (Akçay et al., 2017). SWEEPS ise kök kanal içinde güçlü hidrodinamikler oluşturabilen bir lazerle irrigasyon aktivasyon tekniğidir (Lukac et al., 2017). Literatür, her iki yaklaşımın da uygun parametrelerle etkili olabildiğini; ancak parametre seçimi, fiber uç geometrisi ve kök içi sınır koşullarının sonucu belirgin biçimde etkileyebileceğini vurgulamaktadır (Akçay et al., 2017; Lukac et al., 2017).

Post boşluğunun irrigasyonu ve oluşan smear tabakası ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur (Chen vd., 2018; Gelio vd., 2022; X. H. Gu, Mao, & Kern, 2009; Mirseifinejad vd., 2017; Roitman vd., 2021). Post boşluğu hazırlanması sonrası smear tabakasını en iyi uzaklaştıran solüsyonların %17 EDTA + %5.25 NaOCl ya da %17 EDTA olduğu bildirilmiştir (X. H. Gu et al., 2009; Mirseifinejad et al., 2017). Post boşluğu hazırlama sonrası intraradiküler dezenfeksiyon protokollerinin, simanların kök dentinine marjinal adaptasyonuna etkisinin farklı irrigasyon solüsyonları ve aktivasyon yöntemleriyle değerlendirildiği bir çalışmada, %17'lik EDTA ve pasif ultrasonik aktivasyonun en yüksek marjinal adaptasyon gösterdiği bildirilmiştir (Boggian et al., 2023). Bu çalışmada da %17 EDTA + %5.25 NaOCl irrigasyon solüsyonları kullanılmıştır.

Post boşluğu preparasyonu sonrası smear tabakasının mekanik olarak uzaklaştırılmasını değerlendiren bir çalışmada XP-endo Finisher, pasif ultrasonik aktivasyon ve Rotoprox brush distile suyu aktive ederek uygulanmış, SEM

görüntüleri incelendiğinde en az smear tabakasının XP-endo Finisher grubunda görüldüğü ancak tüm örneklerde smear tabakasının bulunduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada irrigasyon solüsyonlarının smear tabakasını uzaklaştırmada etkili olduğu vurgulanmaktadır (Roitman et al., 2021).

Çalışmamızda post sökümü sonrasında irrigasyon aktivasyonu için hem PUI hem de SWEEPS yöntemlerinin seçilmesi, literatürde bildirilen bu farklı sonuçları doğrudan karşılaştırmalı olarak değerlendirmek açısından önem taşımaktadır. Bu sayede, post sökümü sonrası dentin yüzeyinde kalan siman artıklarının ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında hangi yöntemin daha etkili olduğu ortaya konularak, yeni post uygulamalarında adeziv bağlanma için daha uygun bir yüzey hazırlanması hedeflenmiştir.

Ölçülen dentin tübülü penetrasyon derinlikleri, post söküm yöntemine göre farklılık göstermekle beraber istatistiksel olarak anlamlı fark çıkmamış olup irrigasyon aktivasyon yöntemine bağlı olarak istatistiksel anlamlı farklılık göstermiştir. En yüksek ortalama penetrasyon B_{1b} (PEEK + ultrasonik söküm + PUI) grubunda (0.848 mm), en düşük ise B_{2a} (PEEK + drill söküm + SWEEPS) grubunda (0.408 mm) saptanmıştır. Bu çalışmada PUI aktivasyon yöntemi, SWEEPS aktivasyon yönteminden belirleyici olarak daha fazla penetrasyon derinliği göstermektedir.

Literatürde post boşluğunun irrigasyonu ve aktivasyonunu değerlendiren çok sayıda çalışma bulunmaktayken post sökümü sonrası post boşluğunun irrigasyon aktivasyon tekniklerini değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır (Albashaireh et al., 2024; Cândido et al., 2023; Iandolo et al., 2023). Alfadda ve ark. çalışmasında, post sökümünün ardından kök kanal tedavisinin tamamlanabilmesi amacıyla, kanal dolgusu öncesinde kök kanallarını %5.25 NaOCl ile irriga etmişlerdir (Alfadda et al., 2022). Bu çalışmayla literatüre post sökümü sonrası irrigasyon aktivasyonunun etkileri hakkında katkı sağlamak amaçlanmıştır. Literatürde SWEEPS ve PUI'nin benzer etkinlik gösterdiği çalışmalar bulunmaktadır (Akdere vd., 2023; Hepsenoglu vd., 2024; Petričević vd., 2022).

Tekinarslan ve ark. yapmış olduğu çalışmada post boşluğunu konvansiyonel iğne, sonik aktivasyon, PUI, LAI ile aktive etmişler ve smear tabakasını SEM ile incelemişlerdir. Aktive edilen gruplar arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir (Tekinarslan vd., 2024).

Çalışmamıza benzer şekilde PUI'nin SWEEPS'ten istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha etkili olduğu çalışma bulunmamaktadır. Buna karşın literatürde SWEEPS'in PUI'den etkili olduğu çalışmalar da yer almaktadır (Degirmencioglu et al., 2025; Mancini et al., 2020).

Bulgularımızda PEEK + drill + SWEEPS kombinasyonunun en düşük penetrasyonu vermesi, bu kombinasyonda artık siman ve kompakt smear tabakasının SWEEPS'in etkinliğini sınırladığını; buna karşılık PEEK + ultrasonik + PUI kombinasyonunda akustik akışın artık siman ve smear tabakasının daha etkin şekilde uzaklaştırılarak penetrasyonu artırdığını düşündürmektedir. Farklı post söküm tekniklerinin de dentin duvarlarında farklı yüzey morfolojileri, smear tabakası, adeziv kalıntıları bırakabilmesinin sonraki irrigasyon aktivasyonunun tübül penetrasyonunu doğrudan etkileyebileceği düşünülmektedir. Literatürdeki SEM çalışmalarında, apikal rezeksiyon prosedürü uygulanırken retrograd kavite açılması sırasında ultrasonik ve frezlerin dentinde smear tabakası oluşumuna etkisi değerlendirildiğinde frezlerin daha fazla smear tabakası oluşumuna sebep olduğu gösterilmiştir (Bhanja vd., 2025; Gutmann vd., 1994). Bu sonuca benzer şekilde çalışmamızda drillin ultrasonikle söküme göre daha fazla smear tabakası oluşturduğu, oluşan smear tabakasının da solüsyonların penetrasyonunu azalttığı düşünülmektedir.

Post söküm protokolünün dentin yüzeyini nasıl etkilediği de penetrasyon açısından önem taşımaktadır. Çalışmalarda fiber post sökümünde farklı tekniklerin etkinlik ve yüzey etkileri karşılaştırılmış; bazı mekanik sistemlerin zaman avantajı sağlarken dentin üzerinde daha fazla smear oluşturabildiği, ultrasoniğin ise daha az madde kaybı ile fakat daha uzun süre gerektirdiği bildirilmiştir (Aydemir et al., 2018; Buoncristiani et al., 1994; Haupt et al., 2020; Scotti et al., 2013). Literatürde PEEK postun sökümlü ile ilgili bir çalışma bulunmaması sebebiyle çalışmadan elde edilen bulgular herhangi bir veri ile karşılaştırılamamıştır.

Elde edilen bulgular, post sökümlü sonrasında uygulanacak irrigasyon aktivasyon protokolünün klinik açıdan büyük önem taşıdığını göstermektedir. Özellikle PUI'nin dentin tübüllerine daha yüksek penetrasyon sağlaması, post sökümlü sonrası kök kanal yüzeyinde kalan smear tabakasının ve siman artıklarının daha etkin şekilde elimine edilmesine katkıda bulunabilir. Bu durum, yeni yerleştirilecek postun adezyonunu güçlendirerek restorasyonun uzun dönem

başarısını artırabilmektedir. Bu nedenle klinisyenlerin post sökümü sonrası irrigasyon protokolünü planlarken yalnızca süre ve kolaylığı değil, dentin yüzeyinde oluşturulacak bağlanma ortamını ve irrigasyonun etkinliğini de dikkate alması gerekmektedir.

Elde edilen bulgular neticesinde hipotezler değerlendirilmiştir. “Farklı post sistemleri söküm kolaylığı, sıcaklık değişimi ve dentin yapısını etkilemez” hipotezi reddedilmiştir. PEEK postlarda ultrasonik yöntemle yapılan işlemlerde anlamlı şekilde daha fazla sıcaklık artışı meydana geldiği ve daha uzun sürdüğü belirlenmiştir.

“Farklı post söküm yöntemleri söküm kolaylığı, sıcaklık değişimi ve dentin yapısını etkilemez” hipotezi reddedilmiştir. Drill yöntemi daha kısa sürede ve düşük sıcaklık artışıyla sonuçlanmıştır.

“Farklı irrigasyon aktivasyon teknikleri dentin tübül penetrasyonunu etkilemez” hipotezi reddedilmiştir. Ultrasonik aktivasyon en yüksek penetrasyonu sağlamıştır.

Çalışmamızda farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin dentin tübüllerine penetrasyon etkinliği lazer taramalı konfokal mikroskop kullanılarak değerlendirilmiştir. CLSM, floresan işaretleyiciler aracılığıyla irrigantların dentin tübüllerine ne kadar derinlikte ve homojen şekilde yayıldığını görüntülemekte kullanılmaktadır (Gunes et al., 2024; Hassan & Roshdy, 2023). Bu sayede yöntemler arasındaki farklılıklar yalnızca niteliksel olarak değil, aynı zamanda kantitatif olarak da objektif biçimde ortaya konabilmiştir. Literatürde farklı irrigasyon solüsyonlarıyla irrige edilen post boşluğunun postun yapıştırılması sırasında kullanılan simanların tübül penetrasyonuna olan etkisinin lazer taramalı konfokal mikroskopla değerlendirildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Belizario et al., 2022; Cândido et al., 2023). Ayrıca post sökümü sonrası dentin tübüllerini ve smear tabakasını SEM ile değerlendiren bir çalışma mevcut olup irrigasyon solüsyonlarının dentin tübül penetrasyonunun lazer taramalı konfokal mikroskopla değerlendirildiği bir çalışma bulunmamaktadır (Deeb vd., 2019). Literatürdeki bu açıklık bu çalışma ile giderilmeye çalışılmıştır.

Lazer taramalı konfokal mikroskopunda elde edilen görüntüler, lineer düzlemde sınırlı bir alanı yansıttığından, özellikle kök kanal lümeninin dairesel yapısına ilişkin değerlendirmelerde analiz güçlükleri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, görüntülerin ImageJ programında Polar Transformer modülü ile polar

koordinat sistemine dönüştürülmesi tercih edilmiştir. Bu dönüşüm sayesinde, kanal lümenini çevreleyen dentin dokusu radyal doğrultuda açılarak iki boyutlu bir bant formunda incelenebilmiştir. Polar koordinat dönüşümü; lazer taramalı konfokal mikroskop ile elde edilen üç boyutlu verilerin kök dentini özelinde morfolometrik analize uyarlanması önemli bir metodolojik avantaj sunmaktadır. Böylece dentin tübüllerine penetrasyon gösteren floresan boyanın kanal çevresi boyunca dağılımı daha homojen ve karşılaştırılabilir şekilde değerlendirilebilmiştir.

Polar transformasyonlar ve transformer tabanlı modeller, son yıllarda tıbbi görüntü analizinde olduğu gibi diş hekimliği alanında da segmentasyon ve tanısal doğruluğu artırmak amacıyla giderek daha fazla araştırılmaktadır. Bu yöntemler, dental görüntülerde sıklıkla karşılaşılan düşük kontrast, yüksek varyasyon ve karmaşık anatomik yapılar gibi zorlukların üstesinden gelmeyi hedeflemektedir. Yapılan çalışmalar, bu yaklaşımın biyomedikal görüntülerde organ ve lezyon segmentasyonunda güncel ve değerlendirilebilir sonuçları verdiğini göstermektedir (Bencevic et al., 2021; Schneider et al., 2025; W. Song et al., 2024).

Ayrıca, diş hekimliği araştırmalarında yaygın olarak kullanılan ImageJ yazılımı polar transformasyon desteğine sahiptir. Bu durum, yöntemin araştırmacılar ve klinisyenler için erişilebilirliğini artırmaktadır.

Çalışmamızda floresan boya olarak Rodamin B tercih edilmiştir. Bu boya, dentin tübüllerine kolayca diffüze olabilmektedir. Yüksek floresan emisyon kapasitesi sayesinde konfokal lazer taramalı mikroskop analizlerinde dentin içerisindeki penetrasyon derinliğinin ve yayılımının gözlenmesine imkân tanımaktadır. Ayrıca Rodamin B, literatürde irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu değerlendirmek amacıyla sıklıkla kullanılan bir boyadır (Delgado et al., 2024; Donnermeyer et al., 2021). Özellikle sodyum hipoklorit başta olmak üzere, irrigasyon solüsyonlarının Rodamin B ile etkileşime girip, boyanın floresans özelliğini etkileme riski bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda Rodamin B distile su ile hazırlanmıştır (Pasha & Narayana, 2007).

Çalışmamızda post sökümü işlemlerinde yalnızca post ve siman uzaklaştırılmış, apikal bölgede bulunan 4–5 mm’lik güta perka segmenti yerinde bırakılmıştır. Bu yaklaşımın birkaç bilimsel gerekçesi bulunmaktadır. Öncelikle, apikal güta perka korunması, kök kanalının apikal sızdırmazlığını devam ettirerek mikrosızıntı ve mikroorganizma geçişine karşı koruyucu bir bariyer oluşturmaktadır (Al-Ashou vd., 2021).

Apikal obturasyonun tamamen uzaklaştırılması gereksiz dentin kaybına ve kök yapısının zayıflamasına yol açabilmektedir. Mikro-CT çalışmalarında post söküm işlemlerinin zaten dentin hacminde kayıp ve mikroçatlak oluşumuna sebep olabildiği gösterilmiştir (Haupt et al., 2022). Apikal segmentin korunması, bu tür iatrojenik komplikasyonların sınırlandırılmasına katkıda bulunmaktadır.

Apikal 3–5 mm’lik güta perka segmentinin yerinde bırakılması, çalışma boyunun sabit tutulmasını ve deneysel çalışmalarda standardizasyonun sağlanmasını kolaylaştırmaktadır (Hiltner vd., 1992).

Sonuç olarak, bu çalışmada apikal güta perkanın korunması, hem apikal sızdırmazlığın devamını sağlamak hem de diş dokularının gereksiz kaybını önlemek amacıyla literatürde post söküm çalışmalarında uygulanan şekilde sökümün çalışmayı etkilemeyeceği düşünüerek tercih edilmiştir (Haupt et al., 2022).

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İn vitro koşullarda gerçekleştirilmiş olması, periodontal ligament, kan akımı, ısı ve biyomekanik sınır koşulların tam olarak simüle edilememesine neden olmuştur. Bu durum, hem post söküm sürelerinin hem de sıcaklık artışlarının ve irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüllerine penetrasyonunun klinik koşullardaki gerçek dağılımını yansıtmada kısıtlılık oluşturmıştır. Çalışmamızda tek bir rezin siman, iki farklı post materyali ve sabit bir ultrasonik uç seti ile belirli bir drill sistemi kullanılmıştır farklı siman tipleri, cihaz ayarları ve uç dizaynlarıyla yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, post söküm süresinin kullanılan yöntemle göre anlamlı farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Drill yöntemi ile gerçekleştirilen söküm işlemleri, ultrasonik yöntemlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha kısa sürede tamamlanmıştır ($p<0.05$). Ultrasonik uygulamalar ise daha uzun sürmüş, bu durum özellikle fiber postlarda daha belirgin hale gelmiştir.

Sıcaklık değişimleri açısından incelendiğinde, post sökümünde ultrasonik yöntemlerin drill yöntemine göre anlamlı düzeyde daha yüksek sıcaklık artışına neden olduğu saptanmıştır ($p<0.05$).

İrrigasyon aktivasyonunun dentin tübüllerine penetrasyonu, kullanılan tekniğe bağlı olarak farklılık göstermiştir. Ultrasonik yöntemle post sökümü yapılan gruplarda, drill yöntemiyle söküm gerçekleştirilen gruplara kıyasla daha yüksek irrigasyon penetrasyonu elde edilmiştir ancak istatistiksel olarak anlamlı fark çıkmamıştır.

Post sökümü sonrası post boşluğunda, Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI), SWEEPS aktivasyonuna kıyasla daha yüksek penetrasyon değerleri sağlamıştır ($p<0.05$).

Sonuç olarak literatürde daha önce sökümle ilgili çalışması bulunmayan PEEK postların da fiber postlar gibi söküm tekniklerine bağlı olarak benzer sıcaklık ve sürede sökülebildiği, söküm sonrası uygulanan irrigasyon aktivasyon tekniklerine göre de irrigasyon solüsyon penetrasyon derinliğinin değişebileceği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abe, F., Bueno, C. E. S., De Martin, A., Davini, F., & Cunha, R. (2014). Efficiency and effectiveness evaluation of three glass fiber post removal techniques using dental structure wear assessment method. *Indian Journal of Dental Research*, 25(5), 576. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.147091>
- Abella Sans, F., Tariq Alatiya, Z., Gómez Val, G., Nagendrababu, V., Michael Howell Dummer, P., Durán-Sindreu Terol, F., & Gonzalo Olivieri, J. (2024). A laboratory study comparing the static navigation technique using a bur with a conventional freehand technique using ultrasonic tips for the removal of fibre posts. *Int Endod J*, 57, 355-368. <https://doi.org/10.1111/iej.14017>
- Abramovitz, I., Tagger, M., Tamse, A., & Metzger, Z. (2000). The effect of immediate vs. delayed post space preparation on the apical seal of a root canal filling: a study in an increased-sensitivity pressure-driven system. *Journal of endodontics*, 26 8(8), 435-439. <https://doi.org/10.1097/00004770-200008000-00001>
- Abusrewil, S., Alshanta, O. A., Albashaireh, K., Alqahtani, S., Nile, C. J., Scott, J. A., & McLean, W. (2020). Detection, treatment and prevention of endodontic biofilm infections: what's new in 2020? *Critical Reviews in Microbiology*, 46(2), 194-212. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2020.1739622>
- Adarsha, M., & Lata, D. (2010). Influence of ultrasound, with and without water spray cooling, on removal of posts cemented with resin or glass ionomer cements: An in-vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(3), 119. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.71641>
- Ahmad, M., Pitt Ford, T. R., & Crum, L. A. (1987). Ultrasonic debridement of root canals: An insight into the mechanisms involved. *Journal of Endodontics*, 13(3), 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(87\)80173-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(87)80173-5)
- Ahmad, S., Dawood, S., Health, G. D.-B. O., & 2023, undefined. (2023). Evaluation of mechanical properties of different polyetheretherketone endodontic post systems: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 23(1), 537., 23(1).
- Akçay, M., Arslan, H., Mese, M., Durmus, N., & Capar, I. D. (2017). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical Oral Investigations*, 21(7), 2205-2212. <https://doi.org/10.1007/S00784-016-2013-Y>
- Akdere, S. K., Aydin, Z. U., & Erdönmez, D. (2023). Antimicrobial effectiveness of different irrigation activation techniques on teeth with artificial internal root resorption and contaminated with *Enterococcus faecalis*: a confocal laser scanning,icroscopy analysis. *Lasers in Medical Science*, 38(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/S10103-023-03748-8/METRICS>
- Akkayan, B., & Gülmez, T. (2002). Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 87(4), 431-437. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.123227>
- Alaçam, T., & Alaçam, A. (1998). İleri restorasyon teknikleri. *Polat Yayınları*.
- Alamoudi, R. A., Alharbi, A. H., Farie, G. A., & Fahim, O. (2020). The value of assessing case difficulty and its effect on endodontic iatrogenic errors: a retrospective cross-sectional study. *The Libyan Journal of Medicine*, 15(1). <https://doi.org/10.1080/19932820.2019.1688916>
- Al-Ashou, W., Al-Shamaa, R., & Hassan, S. (2021). Sealing ability of various types of root canal sealers at different levels of remaining gutta percha after post space preparation at two time intervals. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 11(6), 721-728. https://doi.org/10.4103/JISPCD.JISPCD_178_21
- Albashaireh, Z. S. M., Taha, N. A., & Albashaireh, K. Z. (2024). The effect of ascorbic acid, QMix and other conditioning solutions on the bond strength of adhesively luted glass fiber-reinforced composite posts to root dentin, a laboratory study. *Journal of Dentistry*, 149, 105286. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2024.105286>
- Alfadda, A., Alfadley, A., & Jamleh, A. (2022). Fiber post removal using a conservative fully guided approach: a dental technique. *Case Reports in Dentistry*, 2022(1), 3752466., 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3752466>

- ALHADLAQ, S., ALTURAIKI, S., ALSULAMI, U., & SAAD, A. (2006). Efficacy of a New Brush-Covered Irrigation Needle in Removing Root Canal Debris: A Scanning Electron Microscopic Study. *Journal of Endodontics*, 32(12), 1181-1184. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.07.019>
- Al-harbi, F., & Nathanson, D. (2003). In vitro assessment of retention of four esthetic dowels to resin core foundation and teeth. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90(6), 547-555. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2003.09.014>
- Alkhatri, R., Saleh, A. R. M., & Kheder, W. (2019). Evaluating Fracture Resistance And Failure Modes Of Root Filled Teeth Restored With CAD/CAM-Fabricated Post And Core. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*, 11, 349-355. <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S219712>
- Alqahtani, N. M. (2021). The application of polyether ether ketone as post and core: A systematic review. *Annals of Medical and Health Sciences Research| Volume*, 11(5). https://www.researchgate.net/profile/Nasser-Alqahtani-15/publication/354363273_The_Application_of_Polyether_Ether_Ether_Ketone_as_Post_and_Core_a_systematic_review/links/613392ecc69a4e48797d24fb/The-Application-of-Polyether-Ether-Ether-Ketone-as-Post-and-Core-a-systematic-review.pdf
- Altshul, J., Marshall, G., Endodontics, L. M.-J. of, & 1997, undefined. (1997). Comparison of dentinal crack incidence and of post removal time resulting from post removal by ultrasonic or mechanical force. *ElsevierJH Altshul, G Marshall, LA Morgan, JC BaumgartnerJournal of Endodontics*, 1997•Elsevier, 23(11). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0099239997804013>
- Anderson, G., Perdigão, J., Hodges, J. S. , & Bowles, W. R. (2007). Efficiency and effectiveness of fiber post removal using 3 techniques. *Quintessence International*, 38(8).
- Appl Oral Sci, J., Tartari, T., Bachmann, L., Garcia Alves MALIZA, A., Bombarda de ANDRADE, F., Antonio Hungaro DUARTE, M., & Monteiro BRAMANTE, C. (t.y.). *composition by different sodium hypochlorite concentrations*. <https://doi.org/10.1590/1678-775720150524>
- Arias-Moliz, M. T., Morago, A., Ordinola-Zapata, R., Ferrer-Luque, C. M., Ruiz-Linares, M., & Baca, P. (2016). Effects of Dentin Debris on the Antimicrobial Properties of Sodium Hypochlorite and Etidronic Acid. *Journal of Endodontics*, 42(5), 771-775. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.01.021>
- Arukaskan, G., & Aydemir, S. (2019). Comparison of the efficacies of two different fiber post-removal systems: A micro-computed tomography study. *Microscopy Research and Technique*, 82(4), 394-401. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23180>
- Association, W. C.-T. J. of the A. D., & 2005, undefined. (t.y.). A review of the management of endodontically treated teeth: Post, core and the final restoration. *Elsevier*. Geliş tarihi 15 Haziran 2025, gönderen <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002817714609442>
- AYDEMİR, M., & BAĞLAR, S. (2019). Contemporary Classification of Post-Core Systems. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 25(3), 319-333. <https://doi.org/10.5336/dentalsci.2017-57231>
- Aydemir, S., Arukaskan, G., Sarıdağ, S., Kaya-Büyükbayram, I., & Yıldıran, Y. (2018). Comparing Fracture Resistance and the Time Required for Two Different Fiber Post Removal Systems. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 27(8), 771-774. <https://doi.org/10.1111/JOPR.12575>
- Basrani, B. (2015). Endodontic irrigation. *Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG*.
- Bateman, G., Ricketts, D., & Saunders, W. (2003). Fibre-based post systems: a review. *British dental journal*, 195(1), 43-48.
- Bathala, L., Majeti, V., Rachuri, N., Singh, N., & Gedela, S. (2019). The Role of Polyether Ether Ketone (Peek) in Dentistry – A Review. *Journal of Medicine and Life*, 12(1), 5-9. <https://doi.org/10.25122/jml-2019-0003>
- Belizario, L. G., Piragine, T. L., Giroto, A. C., Gelio, M. B., Pereira, J. R., Fernandez, E., & Kuga, M. C. (2022). Effect of Different Irrigants on the Adhesive Interface and Influence on the Push Out Strength of Fiber Posts. *Operative dentistry*, 47(5), E211-E221. <https://doi.org/10.2341/21-038-L>

- Bencevic, M., Galic, I., Habijan, M., & Babin, D. (2021). Training on Polar Image Transformations Improves Biomedical Image Segmentation. *IEEE Access*, 9, 133365-133375. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116265>
- Benli, M., Eker Gümüş, B., Kahraman, Y., Huck, O., & Özcan, M. (2020). Surface characterization and bonding properties of milled polyetheretherketone dental posts. *Odontology*, 108(4), 596-606. <https://doi.org/10.1007/S10266-020-00484-1/FIGURES/3>
- Berkiten, M., Berkiten, R., & Okar, I. (2000a). Comparative evaluation of antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation in root canals and dentinal tubules. *Journal of endodontics*, 26 5(5), 268-270. <https://doi.org/10.1097/00004770-200005000-00003>
- Berkiten, M., Berkiten, R., & Okar, I. (2000b). Comparative evaluation of antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation in root canals and dentinal tubules. *Journal of endodontics*, 26 5(5), 268-270. <https://doi.org/10.1097/00004770-200005000-00003>
- Berman, L., & Hargreaves, K. (2015). *Cohen's pathways of the pulp expert consult*.
- Bhanja, J., Agrawal, S., Mathur, R., Sharma, D., Gazal, S., & Awadesh, A. R. (2025). To compare and evaluate microcracks and smear layer after root end preparation by laser, ultrasonic tip, and conventional bur in single-rooted teeth: "Scanning electron microscope study". *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(1), 16-20. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_733_24
- Bianchini, L. D., Vetromilla, B. M., Skupien, J. A., Soares, C. J., & Pereira-Cenci, T. (2020). Post removal techniques: a systematic review and meta-analysis. *Giornale Italiano di Endodonzia*, 34(1), 104-114. <https://doi.org/10.32067/GIE.2020.34.01.09>
- Bilgin, M. S. (2008). *Bilgin MS. Post kor sistemlerinin fraktür analizi ve sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile değerlendirilmesi*.
- Boggian, L. C., Silva, A. V., Santos, G. R., Oliveira, G. F., Silva, W. L., Neto, I. N., Guedes, O. A., & Estrela, C. (2023). Effect of intra-radicular cleaning protocols after post-space preparation on marginal adaptation of a luting agent to root dentin. *Journal of oral science*, 65(2), 81-86. <https://doi.org/10.2334/JOSNUSD.22-0344>
- Boksman, L., Hepburn, A., Kogan, E., & Today, M. F.-D. (2011). Fiber post techniques for anatomical root variations. *Dent Today*, 30(5), 104.
- Bonsor, S. J., Nichol, R., Reid, T. M. S., & Pearson, G. J. (2006). Microbiological evaluation of photo-activated disinfection in endodontics (An in vivo study). *British Dental Journal*, 200(6), 337-341. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4813371>
- Bouillaguet, S., Wataha, J. C., Lockwood, P. E., Galgano, C., Golay, A., & Krejci, I. (2004). Cytotoxicity and sealing properties of four classes of endodontic sealers evaluated by succinic dehydrogenase activity and confocal laser scanning microscopy. *European journal of oral sciences*, 2004, 112(2), 182-187. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2004.00115.x>
- Bronnec, F., Bouillaguet, S., & Machtou, P. (2010). Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *International Endodontic Journal*, 43(8), 663-672. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01723.x>
- BROWN, D., MOORE, B., BROWNJR, C., & NEWTON, C. (1995). An in vitro study of apical extrusion of sodium hypochlorite during endodontic canal preparation. *Journal of Endodontics*, 21(12), 587-591. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81108-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81108-8)
- Bučević Sojčić, P., Leder Horina, J., Bočkaj, N., Borojević Renić, T., Turjanski, D., Goršeta, K., Jurčević Lulić, T., & Jurić, H. (2025). Stress Behaviour of an Immature Maxillary Central Incisor: A 3D Finite Element Analysis. *Materials*, 18(10). <https://doi.org/10.3390/MA18102305>
- Bukhari, S., & Babaeer, A. (2019). Irrigation in Endodontics: a Review. *Current Oral Health Reports*, 6(4), 367-376. <https://doi.org/10.1007/S40496-019-00241-6>
- Buonocristiani, J., Seto, B. G., & Caputo, A. A. (1994). Evaluation of ultrasonic and sonic instruments for intraradicular post removal. *Journal of endodontics*, 20(10), 486-489. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80044-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80044-0)
- Byström, A., Happonen, R. -P, Sjögren, U., & Sundqvist, G. (1987). Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Dental Traumatology*, 3(2), 58-63. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1987.TB00543.X>

- Camargo, S. C. C. (2012). The antibacterial effects of lasers in endodontics. *Roots, 1*, 6-21. https://www.academia.edu/download/80208487/laser-international-no-2-2012-0212-_5B16-22_5D.pdf
- CAMERON, J. A. (1995). Factors affecting the clinical efficiency of ultrasonic endodontics: a scanning electron microscopy study. *International Endodontic Journal*, 28(1), 47-53. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1995.TB00156.X>
- Cândido, B. D., Manzoli, T. M., Zaniboni, J. F., Besegato, J. F., Godoy, E. F., Kuga, M. C., & Dantas, A. A. R. (2023). Effect of antioxidants after post-space irrigation on the adhesive interface of glass fiber post cementation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(8), 1293-1300. <https://doi.org/10.1111/JERD.13081>
- CARVER, K., NUSSTEIN, J., READER, A., & BECK, M. (2007). In Vivo Antibacterial Efficacy of Ultrasound after Hand and Rotary Instrumentation in Human Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*, 33(9), 1038-1043. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.11.026>
- Caussin, E., Izart, M., Ceinos, R., Attal, J. P., Beres, F., & François, P. (2024). Advanced Material Strategy for Restoring Damaged Endodontically Treated Teeth: A Comprehensive Review. *Materials*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/MA17153736>
- Charara, K., Friedman, S., Sherman, A., Kishen, A., Malkhassian, G., Khakpour, M., & Basrani, B. (2016). Assessment of Apical Extrusion during Root Canal Irrigation with the Novel GentleWave System in a Simulated Apical Environment. *Journal of Endodontics*, 42(1), 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.009>
- Cheung, W. (2005a). A review of the management of endodontically treated teeth. *The Journal of the American Dental Association*, 136(5), 611-619. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2005.0232>
- Cheung, W. (2005b). A review of the management of endodontically treated teeth: Post, core and the final restoration. *The Journal of the American Dental Association*, 136(5), 611-619. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.2005.0232>
- Cho, J., Liu, J., Bukhari, E. A., Zheng, F., Kim, D. G., & Lee, D. J. (2022a). Comparison of Post Space Volume Changes Following Fiber Post Removal Using Er,Cr:YSGG Laser Versus Ultrasonic Instrument. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 31(3), 245-251. <https://doi.org/10.1111/JOPR.13391>
- Cho, J., Liu, J., Bukhari, E. A., Zheng, F., Kim, D., & Lee, D. J. (2022b). Comparison of Post Space Volume Changes Following Fiber Post Removal Using Er,Cr:YSGG Laser Versus Ultrasonic Instrument. *Journal of Prosthodontics*, 31(3), 245-251. <https://doi.org/10.1111/jopr.13391>
- Christos, B., & van der Sluis, L. W. M. (2015). Syringe Irrigation: Blending Endodontics and Fluid Dynamics. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 45-64. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_3
- Chugal, N. M., Clive, J. M., & Spångberg, L. S. W. (2003). Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(1), 81-90. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(02\)91703-8](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(02)91703-8)
- Cîmpean, S. I., Pop-Ciutrla, I. S., Matei, S. R., Colosi, I. A., Costache, C., Nicula, G. Z., Badea, I. C., & Colceriu Burtea, L. (2022). Effectiveness of Different Final Irrigation Procedures on Enterococcus faecalis Infected Root Canals: An In Vitro Evaluation. *Materials*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/MA15196688>
- Comino-Garayoa, R., Peláez, J., Tobar, C., Rodríguez, V., & Suárez, M. J. (2021). Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. *Materials*, 14(11), 2751. <https://doi.org/10.3390/ma14112751>
- Çapar, I. D., Uysal, B., Ok, E., & Arslan, H. (2015). Effect of the size of the apical enlargement with rotary instruments, single-cone filling, post space preparation with drills, fiber post removal, and root canal filling removal on apical crack initiation and propagation. *Journal of endodontics*, 41(2), 253-256. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2014.10.012>
- Davis, S., Gluskin, A. H., Livingood, P. M., & Chambers, D. W. (2010). Analysis of temperature rise and the use of coolants in the dissipation of ultrasonic heat buildup during post removal. *Journal of Endodontics*, 36(11), 1892-1896. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.027>

- De Melo Alencar, C., Ferrari Zaniboni, J., Felipe Besegato, J., Oliveira Barros, A. P., Bena Gélío, M., Belizário, L. G., Maximiliano, E., Godoy, F., & Carlos Kuga, M. (2023). Effect of irrigation acid solutions on cleaning and bond strength to post-space dentin. *Wiley Online LibraryCM Alencar, JF Zaniboni, JF Besegato, APO Barros, MB Gélío, LG Belizário, EMF GodoyEuropean Journal of Oral Sciences, 2023•Wiley Online Library, 131(4).* <https://doi.org/10.1111/eos.12939>
- De Mendonça, A. F., E Souza, G. M. d, De Mendonça, B. F., & Ellakwa, A. (2021). Clinical Performance of Cast Metal and Fiber Post Retained Restorations in Endodontically Treated Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Dental and Oral Health, 2(6)*, 5-12. <https://doi.org/10.24018/ejdent.2021.2.6.117>
- De Moor, R. J. G., Meire, M., Goharkhay, K., Moritz, A., & Vanobbergen, J. (2010). Efficacy of Ultrasonic versus Laser-activated Irrigation to Remove Artificially Placed Dentin Debris Plugs. *Journal of Endodontics, 36(9)*, 1580-1583. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.007>
- de Pellegrin, S. F., Pauletto, G., Carlotto, I. B., Mendes, A. L. G., de Azevedo Mello, P., & Bier, C. A. S. (2023). Interactions Between Calcium Hypochlorite and Irrigants Commonly Used in Endodontic Practice: A Chemical Analysis. *Journal of Endodontics, 49(7)*, 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.05.003>
- de Rijk, W. D. (2000). Removal of fiber posts from endodontically treated teeth. *Am J Dent, 13(Spec No)*, 19B-21B.
- Deeb, J. G., Grzech-Leśniak, K., Weaver, C., Matys, J., & Bencharit, S. (2019a). Retrieval of Glass Fiber Post Using Er:YAG Laser and Conventional Endodontic Ultrasonic Method: An In Vitro Study. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists, 28(9)*, 1024-1028. <https://doi.org/10.1111/JOPR.13114>
- Deeb, J. G., Grzech-Leśniak, K., Weaver, C., Matys, J., & Bencharit, S. (2019b). Retrieval of Glass Fiber Post Using Er:YAG Laser and Conventional Endodontic Ultrasonic Method: An In Vitro Study. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists, 28(9)*, 1024-1028. <https://doi.org/10.1111/JOPR.13114>
- Degirmencioglu, D., Erşahan, Ş., Hepsenoglu, Y. E., Erkan, E., Gundogar, M., & Sagir, K. (2025). The influence of cavity configuration and irrigation activation on root canal smear removal—an in vitro study. *PeerJ, 13*, e19678. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.19678>
- Delgado, A., Castagnola, R., Grande, N. M., Loroño, G., Conde, A., Estevez, R., Marigo, L., & Pérez-Alfayate, R. (2024). A Comparison of Two Fluorescent Stains for the Evaluation of Bioceramic Sealer Penetration into the Tubular Dentine Using Confocal Microscopy. *Applied Sciences, 14(17)*, 7738. <https://doi.org/10.3390/app14177738>
- Desai, P., & Himel, V. (2009). Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *Journal of Endodontics, 35(4)*, 545-549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.011>
- DIXON, E., KACZKOWSKI, P., NICHOLLS, J., & HARRINGTON, G. (2002). Comparison of Two Ultrasonic Instruments for Post Removal. *Journal of Endodontics, 28(2)*, 111-115. <https://doi.org/10.1097/00004770-200202000-00016>
- Dias-Junior, L. C. de L., Castro, R. F., Fernandes, A. D., Guerreiro, M. Y. R., Silva, E. J. N. L., & Brandão, J. M. da S. (2021). Final endodontic irrigation with 70% ethanol enhanced calcium hydroxide removal from apical third. *Journal of endodontics, 47(1)*, 105-111. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2020.09.017>
- DiVito, E., & Lloyd, A. (2012). ER:YAG laser for 3-dimensional debridement of canal systems: use of photon-induced photoacoustic streaming. *Dentistry today, 31(11)*, 122, 124-127. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23189912>
- Do, Q. L., & Gaudin, A. (2020). The Efficiency of the Er: YAG Laser and PhotonInduced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *Journal of lasers in medical sciences, 11 3(3)*, 316-334. <https://doi.org/10.34172/JLMS.2020.53>
- Dominici, J. T., Clark, S., Scheetz, J., & Eleazer, P. D. (2005). Analysis of Heat Generation Using Ultrasonic Vibration for Post Removal. *Journal of Endodontics, 31(4)*, 301-303. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000140573.72922.C9>
- Donnermeyer, D., Schmidt, S., Rohrbach, A., Berlandi, J., Bürklein, S., & Schäfer, E. (2021). Debunking the Concept of Dentinal Tubule Penetration of Endodontic Sealers: Sealer Staining

- with Rhodamine B Fluorescent Dye Is an Inadequate Method. *Materials*, 14(12), 3211. <https://doi.org/10.3390/ma14123211>
- Duncan, H. F., Kirkevang, L. L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., Chong, B. S., Galler, K. M., Segura-Egea, J. J., & Kebschull, M. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International endodontic journal*, 56(S3), 238-295. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13974>
- Duret, B., Reynaud, M., & Duret, F. (1990). [A new concept of corono-radicular reconstruction, the Composipost (2)]. *Le Chirurgien-dentiste de France*, 60(542), 69-77. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2257767>
- Edition, F. (2013). *Guide to Clinical Endodontics*.
- Eklund, S. A. (2010). Trends in dental treatment, 1992 to 2007. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 141(4), 391-399. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.2010.0191>
- El Ouarti, I., Chala, S., Sakout, M., & Abdallaoui, F. (2021). Prevalence and risk factors of Apical periodontitis in endodontically treated teeth: cross-sectional study in an Adult Moroccan subpopulation. *BMC Oral Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-021-01491-6>
- Elabdalla, M., Khosraviani, F., Irannejadrangkouhi, S., Ghadimi, N., Yalçın, T. Y., Al Hajaj, S. W. T., & Dashti, M. (2025). Guided versus non-guided fiber post removal: A systematic review and meta-analysis of the accuracy, efficiency, and dentin preservation of static navigation techniques in the removal of fiber posts. *The Journal of prosthetic dentistry*, 134(3). <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2025.04.044>
- Elaffi-Ebeid, H., Betancourt, P., Parada-Avenidaño, I., & Arnabat-Domínguez, J. (2023). Pain evaluation after different intracanal laser assisted disinfection Post-endodontic pain evaluation after different intracanal laser assisted disinfection techniques. A Systematic Review. *J Clin Exp Dent*, 15(2), 149-159. <https://doi.org/10.4317/jced.59941>
- Er Karaoğlu, G., & Aydın, Z. U. (2024). The effect of different irrigation activation methods on the penetration of the irrigation solution into the dentinal tubules in teeth with calcium hydroxide applied and oval-shaped canals: Confocal laser scanning microscope analysis. *Microscopy research and technique*, 87(9), 2194-2203. <https://doi.org/10.1002/JEMT.24594>
- Eriksson, A. R., & Albrektsson, T. (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital-microscopic study in the rabbit. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(1), 101-107. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90174-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90174-9)
- Falakaloğlu, S., Adıgüzel, Ö., & Özdemir, G. (2019). Root canal reconstruction using biological dentin posts: A 3D finite element analysis. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 13(4), 274-280. <https://doi.org/10.15171/JODDD.2019.042>
- Faria-e-Silva, A. L., Mendonça, A. A. M., Garcez, R. M. V. de B., de Oliveira, A. da S., Moreira, A. G., & de Moraes, R. R. (2012). Adhesion strategy and early bond strengths of glass-fiber posts luted into root canals. *Brazilian oral research*, 26(5), 485-487. <https://doi.org/10.1590/S1806-83242012005000017>
- Ferrari, M., Vichi, A., Fadda, G. M., Cagidiaco, M. C., Tay, F. R., Breschi, L., Polimeni, A., & Goracci, C. (2012a). A Randomized Controlled Trial of Endodontically Treated and Restored Premolars. *Journal of Dental Research*, 91, 72-78. <https://doi.org/10.1177/0022034512447949>
- Ferrari, M., Vichi, A., Fadda, G. M., Cagidiaco, M. C., Tay, F. R., Breschi, L., Polimeni, A., & Goracci, C. (2012b). A Randomized Controlled Trial of Endodontically Treated and Restored Premolars. *Journal of Dental Research*, 91, S72-S78. <https://doi.org/10.1177/0022034512447949>
- Fonseca, M. B., Tessare, P. O., Pallota, R. C., Filho, H. F., Denardin, O. V. P., Rapoport, A., Dedivitis, R. A., Veronezi, J. F., Genovese, W. J., & Ricardo, A. L. F. (2008). Photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *Photomedicine and Laser Surgery*, 26(3), 209-213. <https://doi.org/10.1089/PHO.2007.2124>
- Fortea, L., Sanz-Serrano, D., Luz, L.-B., Bardini, G., & Mercade, M. (2024). Update on chelating agents in endodontic treatment: A systematic review. *J Clin Exp Dent*, 16(4), 516-538. <https://doi.org/10.4317/jced.60989>

- Fredriksson, M., Astbäck, J., Pamenius, M., & Arvidson, K. (1998). A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 80(2), 151-157. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70103-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70103-9)
- Fuhrmann, G., Steiner, M., Freitag-Wolf, S., & Kern, M. (2014). Resin bonding to three types of polyaryletherketones (PAEKs)—Durability and influence of surface conditioning. *Dental Materials*, 30(3), 357-363. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2013.12.008>
- Furtos, G., Baldea, B., & Silaghi-Dumitrescu, L. (2016). Development of new radiopaque glass fiber posts. *Materials Science and Engineering: C*, 59, 855-862. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.091>
- Gaffney, J. L., Lehman, J. W., & Miles, M. J. (1981). Expanded use of the ultrasonic scaler. *Journal of Endodontics*, 7(5), 228-229. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(81\)80180-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(81)80180-X)
- Galler, K. M., Grubmüller, V., Schlichting, R., Widbiller, M., Eidt, A., Schuller, C., Wölflick, M., Hiller, K. -A., & Buchalla, W. (2019). Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*, 52(8), 1210-1217. <https://doi.org/10.1111/iej.13108>
- Gandolfi, M. G., Taddei, P., Pondrelli, A., Zamparini, F., Prati, C., & Spagnuolo, G. (2019). Demineralization, collagen modification and remineralization degree of human dentin after EDTA and citric acid treatments. *mdpi.comMG Gandolfi, P Taddei, A Pondrelli, F Zamparini, C Prati, G SpagnuoloMaterials*, 2018•*mdpi.com*, 12, 25. <https://doi.org/10.3390/ma12010025>
- Garcez, A. S., Nuñez, S. C., Hamblin, M. R., Suzuki, H., & Ribeiro, M. S. (2010). Photodynamic Therapy Associated with Conventional Endodontic Treatment in Patients with Antibiotic-resistant Microflora: A Preliminary Report. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1463-1466. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.001>
- Garcez, A. S., Ribeiro, M. S., Tegos, G. P., Núñez, S. C., Jorge, A. O. C., & Hamblin, M. R. (2007). Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection. *Lasers in Surgery and Medicine*, 39(1), 59-66. <https://doi.org/10.1002/lsm.20415>
- Gegauff, A. G. (2000). Effect of crown lengthening and ferrule placement on static load failure of cemented cast post-cores and crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 84(2), 169-179. <https://doi.org/10.1067/mpr.2000.107583>
- Gesi, A., Magnolfi, S., Goracci, C., & Ferrari, M. (2003). Comparison of Two Techniques for Removing Fiber Posts. *Journal of Endodontics*, 29(9), 580-582. <https://doi.org/10.1097/00004770-200309000-00009>
- Gevari, M. T., Abbasiasl, T., Niazi, S., Ghorbani, M., & Koşar, A. (2020). Direct and indirect thermal applications of hydrodynamic and acoustic cavitation: A review. *Applied Thermal Engineering*, 171. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.115065>
- Ghods, S., Aghamohseni, M., Arzani, S., Rasaeipour, S., & Shekarian, M. (2022). Cement selection criteria for different types of intracanal posts. *Dental Research Journal*, 19(1), 51. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.351339>
- Gillen, B. M., Looney, S. W., Gu, L. S., Loushine, B. A., Weller, R. N., Loushine, R. J., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2011). Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*, 37(7), 895-902. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2011.04.002>
- Glassman, G., & Charara, K. (2015). Apical Negative Pressure: Safety, Efficacy and Efficiency. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 157-171. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_9
- Goracci, C., Grandini, S., Bossù, M., Bertelli, E., & Ferrari, M. (2007). Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: A review. *Journal of Dentistry*, 35(11), 827-835. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.07.009>
- Grandini, S., Goracci, C., Monticelli, F., Tay, F. R., & Ferrari, M. (2005). Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dental Materials*, 21(2), 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.02.012>
- Gu, L., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *Journal of Endodontics*, 35(6), 791-804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.010>

- Gu, X. H., Mao, C. Y., & Kern, M. (2009). Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. *Journal of endodontics*, 35(4), 583-586. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2009.01.006>
- Gunes, B., Yeter, K. Y., & Altay, Y. (2024). Impact of different activation procedures on sodium hypochlorite penetration into dentinal tubules after endodontic retreatment via confocal laser scanning microscopy. *BMC Oral Health*, 24(1), 1103. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04891-6>
- GUTARTS, R., NUSSTEIN, J., READER, A., & BECK, M. (2005). In Vivo Debridement Efficacy of Ultrasonic Irrigation Following Hand-Rotary Instrumentation in Human Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*, 31(3), 166-170. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000137651.01496.48>
- GUTMANN, J. L., SAUNDERS, W. P., NGUYEN, L., GUO, I. Y., & SAUNDERS, E. M. (1994). Ultrasonic root-end preparation Part 1. SEM analysis. *International Endodontic Journal*, 27(6), 318-324. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1994.TB00276.X>
- Güven, M. Ç., Dayan, S. Ç., Yıldırım, G., & Mumcu, E. (2020). Custom and prefabricated PolyEtherKetoneKetone (PEKK) post-core systems bond strength: Scanning electron microscopy evaluation. *Microscopy Research and Technique*, 83(7), 804-810. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23471>
- Haapasalo, M., & Hamilton, W. Q. (2008). Irrigants and intracanal medicaments. *Ingle's endodontics. 6th ed. Hamilton, ON, Canada: BC Decker Inc*, 992-1011.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dental clinics of North America*, 54(2), 291-312. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.12.001>ExternalLink
- Haapasalo, M., Wang, Z., Shen, Y., Curtis, A., Patel, P., & Khakpour, M. (2014). Tissue Dissolution by a Novel Multisonic Ultracleaning System and Sodium Hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 40(8), 1178-1181. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.029>
- Habib, S. R., Ansari, A. S., Khan, A. S., Alamro, N. M., Alzaaqi, M. A., Alkhunefer, Y. A., AlHelal, A. A., Alnassar, T. M., & Alqahtani, A. S. (2022). Push-Out Bond Strength of Endodontic Posts Cemented to Extracted Teeth: An In-Vitro Evaluation. *Materials*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/MA15196792>
- Hamid, N. F. A., Zulkefle, N. J., Mohd Ariff, T. F. T., Ghani, Z., & Ahmad, R. (2021). Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing (CAD / CAM) Post and Core - A Review. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 10(36), 3143-3151. <https://doi.org/10.14260/jemds/2021/640>
- Han, K.-H., Lee, J.-Y., & Shin, S. (2016). Implant- and Tooth-Supported Fixed Prostheses Using a High-Performance Polymer (Pekkton) Framework. *The International Journal of Prosthodontics*, 29(5), 451-454. <https://doi.org/10.11607/IJP.4688>
- Harashima, T., Takeda, F. H., Kimura, Y., & Matsumoto, K. (1997). Effect of Nd:YAG laser irradiation for removal of intracanal debris and smear layer in extracted human teeth. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery*, 15(3), 131-135. <https://doi.org/10.1089/CLM.1997.15.131>
- Hassan, R., & Roshdy, N. N. (2023). Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer: a confocal laser microscopy study. *BMC Oral Health*, 23(1), 377. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02995-z>
- Haupt, F., Meinel, M., Gunawardana, A., & Hülsmann, M. (2020). Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. *Australian Endodontic Journal*, 46(1), 40-46. <https://doi.org/10.1111/AEJ.12342>
- Haupt, F., Riggers, I., Konietzschke, F., & Rödig, T. (2022). Effectiveness of different fiber post removal techniques and their influence on dentinal microcrack formation. *SpringerF Haupt, I Riggers, F Konietzschke, T RödigClinical oral investigations, 2022•Springer*, 1(4), 3. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04338-0>
- Hems, R. S., Gulabivala, K., Ng, Y. L., Ready, D., & Spratt, D. A. (2005). An in vitro evaluation of the ability of ozone to kill a strain of *Enterococcus faecalis*. *International Endodontic Journal*, 38(1), 22-29. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2004.00891.X>

- Hepsenoglu, Y. E., Ersahan, S., Erkan, E., Gundogar, M., & Ozcelik, F. (2024). Is SWEEPS better than PUI in reducing intracanal bacteria and inflammation in cases of apical periodontitis? *Lasers in Medical Science*, 39(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/S10103-024-04117-9/FIGURES/5>
- Hickel, R., Dasch, W., Mehl, A., & Kremers, L. (1997). CAD/CAM - Fillings of the future? *International Dental Journal*, 47(5), 247-258. <https://doi.org/10.1002/J.1875-595X.1997.TB00785.X>
- Hiltner, R. S., Kulild, J. C., & Weller, R. N. (1992). Effect of mechanical versus thermal removal of gutta-percha on the quality of the apical seal following post space preparation. *Journal of Endodontics*, 18(9), 451-454. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80848-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80848-4)
- Hockett, J. L., Dommisch, J. K., Johnson, J. D., & Cohenca, N. (2008). Antimicrobial Efficacy of Two Irrigation Techniques in Tapered and Nontapered Canal Preparations: An In Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 34(11), 1374-1377. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.022>
- Hof, R., Perevalov, V., Eltanani, M., Zary, R., & Metzger, Z. (2010). The Self-adjusting File (SAF). Part 2: Mechanical Analysis. *Journal of Endodontics*, 36(4), 691-696. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.028>
- Holliday, R., & Alani, A. (2014). Traditional and contemporary techniques for optimizing root canal irrigation. *Dental Update*, 41(1), 51-61. <https://doi.org/10.12968/DENU.2014.41.1.51>
- Honda, R., Pelepenko, L. E., Monteiro, M. F., Marciano, M. A., Gomes, B. P. F. A., de Jesus Soares, A., Ferraz, C. R., & Almeida, J. F. A. (2024). Fibre post removal using ultrasonic tips: A comparative in vitro study using different protocols. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc.* <https://doi.org/10.1111/AEJ.12898>
- Huang, D., Wang, X., Liang, J., Ling, J., Bian, Z., Yu, Q., Hou, B., Chen, X., Li, J., Ye, L., Cheng, L., Xu, X., Hu, T., Wu, H., Guo, B., Su, Q., Chen, Z., Qiu, L., Chen, W., ... Zhou, X. (2024). Expert consensus on difficulty assessment of endodontic therapy. *International Journal of Oral Science*, 16(1). <https://doi.org/10.1038/S41368-024-00285-0>
- Huang, M., Wang, B., Zhang, K., Yan, X., Chen, Z., & Zhang, X. (2024). Comparative analysis of stress distribution in residual roots with different canal morphologies: evaluating CAD/CAM glass fiber and other post-core materials. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-024-04109-9>
- Hudis, S. I., & Goldstein, G. R. (1986). Restoration of endodontically treated teeth: A review of the literature. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 55(1), 33-38. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90068-5](https://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90068-5)
- Hülsmann, M. (Ed.). (2014). *Endodontide problemler: etiyoloji, tanı ve tedavi*, Quintessence Yayıncılık.
- Iandolo, A., Pisano, M., Abdellatif, D., Amato, A., Giordano, F., Buonavoglia, A., Sangiovanni, G., & Caggiano, M. (2023). Effectiveness of Different Irrigation Techniques on Post Space Smear Layer Removal: SEM Evaluation. *Prosthesis*, 5(2), 539-549. <https://doi.org/10.3390/PROSTHESIS5020037>
- Jambagi, N., Kore, P., Dhaded, N. S., Patil, S. A., & Shankar, M. (2021). Comparison of Antimicrobial Efficacy of Diode Laser, Ultrasonic Activated and Conventional Irrigation with 2.5% NaOCl during RCT: An Interventional Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3111>
- Jaramillo, D. E. (2015). Irrigation of the Root Canal System by Laser Activation (LAI): PIPS Photon-Induced Photoacoustic Streaming. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 227-235. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_13
- Jedynakiewicz, N. M., & Martin, N. (2001). CEREC: science, research, and clinical application. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*, 22(6 Suppl), 7-13. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11913288>
- Jensen, S. A., Walker, T. L., Hutter, J. W., & Nicoll, B. K. (1999). Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*, 25(11), 735-738. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80120-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80120-4)
- Jiang, L.-M., Verhaagen, B., Versluis, M., & van der Sluis, L. W. M. (2010). Influence of the Oscillation Direction of an Ultrasonic File on the Cleaning Efficacy of Passive Ultrasonic

- Irrigation. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1372-1376. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.03.019>
- Judy, M. M., Matthews, J. L., Aronoff, B. L., & Hults, D. F. (1993). Soft tissue studies with 805 nm diode laser radiation: Thermal effects with contact tips and comparison with effects of 1064 nm Nd:YAG laser radiation. *Lasers in Surgery and Medicine*, 13(5), 528-536. <https://doi.org/10.1002/LSM.1900130506>
- Kaur, A. M. D. (2023). Dental LASER - An Innovative Tool in Endodontics. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(8), 229-234. <https://doi.org/10.21275/SR23731105751>
- Keir, D. M., Senia, E. S., & Montgomery, S. (1990). Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of Endodontics*, 16(7), 323-327. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81942-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81942-4)
- Khalidi, F. (2020). Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a review. *International Journal of Medicine in Developing Countries*, 534-537. <https://doi.org/10.24911/IJMDC.51-1577134335>
- Kharouf, N., Pedullà, E., La Rosa, G. R. M., Bukiet, F., Sauro, S., Haikel, Y., & Mancino, D. (2020). In Vitro Evaluation of Different Irrigation Protocols on Intracanal Smear Layer Removal in Teeth with or without Pre-Endodontic Proximal Wall Restoration. *Journal of Clinical Medicine*, 9(10), 1-15. <https://doi.org/10.3390/JCM9103325>
- Kim, J. J., Alapati, S., Knoernschild, K. L., Jeong, Y.-H., Gyoon Kim, D., Lee, D. J., & Damian Lee, C. J. (2017a). Micro-computed tomography of tooth volume changes following post removal. *Wiley Online LibraryJJ Kim, S Alapati, KL Knoernschild, YH Jeong, DG Kim, DJ LeeJournal of Prosthodontics*, 2017•Wiley Online Library, 26(6), 522-528. <https://doi.org/10.1111/jopr.12442>
- Kim, J. J., Alapati, S., Knoernschild, K. L., Jeong, Y.-H., Gyoon Kim, D., Lee, D. J., & Damian Lee, C. J. (2017b). Micro-computed tomography of tooth volume changes following post removal. *Wiley Online LibraryJJ Kim, S Alapati, KL Knoernschild, YH Jeong, DG Kim, DJ LeeJournal of Prosthodontics*, 2017•Wiley Online Library, 26(6), 522-528. <https://doi.org/10.1111/jopr.12442>
- Kishen, A., & Shrestha, A. (2015). Photodynamic Therapy for Root Canal Disinfection. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 237-251. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_14
- Klinke, T., Klimm, W., & Gutknecht, N. (1997). Antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation within root canal dentin. *Journal of clinical laser medicine & surgery*, 15 1(1), 29-31. <https://doi.org/10.1089/CLM.1997.15.29>
- Konadu, A. B., Ampofo, P. C., Akyeh, M. L., Hewlett, S. A., Osei-Tutu, K., & Nyako, E. A. (2024). Comparative evaluation of selected concentrations of sodium hypochlorite on the outcome of endodontic therapy among Ghanaians. *PLOS ONE*, 19(7), e0306693. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0306693>
- Koutayas, S., & Kern, M. (1999). *All-ceramic posts and cores: the state of the art*.
- Kuştarıcı, A., & Er, K. (2015). Efficacy of Laser Activated Irrigation on Apically Extruded Debris with Different Preparation Systems. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33(7), 384-389. <https://doi.org/10.1089/pho.2015.3900>
- Kwiatkowski, S., & Geller, W. (1999). A preliminary consideration of the glass-ceramic dowel post and core. *International Journal of Prosthodontics*, 2(1).
- Lamichhane, A., Xu, C., & Zhang, F. qiang. (2014). Dental fiber-post resin base material: a review. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 6(1), 60-65. <https://doi.org/10.4047/JAP.2014.6.1.60>
- Lanza, A., Aversa, R., Rengo, S., Apicella, D., & Apicella, A. (2005). 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dental Materials*, 21(8), 709-715. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.09.010>
- Lasers in Endodontics. (2016). İçinde G. Olivi, R. De Moor, & E. DiVito (Ed.), *SpringerG Olivi, R De Moor, E DiVito, S c BackgroundScientific Background and Clinical Applications*. Cham: Springer International, 2016•Springer. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19327-4>

- Lee, K. S., Shin, J. H., Kim, J. E., Kim, J. H., Lee, W. C., Shin, S. W., & Lee, J. Y. (2017). Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored with High Performance Polymer PEKK Post-Core System: A 3D Finite Element Analysis. *BioMed Research International*, 2017(1), 1373127. <https://doi.org/10.1155/2017/1373127>
- Lee, M. T., Bird, P. S., & Walsh, L. J. (2004). Photo-activated disinfection of the root canal: A new role for lasers in endodontics. *Australian Endodontic Journal*, 30(3), 93-98. <https://doi.org/10.1111/J.1747-4477.2004.TB00417.X>
- Lee, S. J., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2004). The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *International Endodontic Journal*, 37(9), 607-612. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2004.00857.X>
- Leung, G. K. H., Wong, A. W. Y., Chu, C. H., & Yu, O. Y. (2022). Update on Dental Luting Materials. *Dentistry Journal*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/DJ10110208>
- Li, Y., Wang, Z., Bao, P., Meng, T., Liu, M., Li, H., Shen, Y., Liu, D., Jia, Z., & Liu, H. (2023). Cleaning and Disinfecting Oval-Shaped Root Canals: Ex Vivo Evaluation of Three Rotary Instrumentation Systems with Passive Ultrasonic Irrigation. *Medicina*, 59(5), 962. <https://doi.org/10.3390/medicina59050962>
- Lim, Z., Cheng, J. L., Lim, T. W., Teo, E. G., Wong, J., George, S., & Kishen, A. (2009). Light activated disinfection: An alternative endodontic disinfection strategy. *Australian Dental Journal*, 54(2), 108-114. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.2009.01102.X>
- Lindeman, M., Yaman, P., Dennison, J., & Herrero, A. (2005). Comparison of the Efficiency and Effectiveness of Various Techniques for Removal of Fiber Posts. *Journal of Endodontics*, 31(7), 520-522. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000167397.60943.6e>
- Lindemann, M., Yaman, P., Dennison, J. B., & Herrero, A. A. (2005). Comparison of the Efficiency and Effectiveness of Various Techniques for Removal of Fiber Posts. *Journal of Endodontics*, 31(7), 520-522. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000167397.60943.6E>
- Loyola-Fonseca, S. C., Campello, A. F., Rodrigues, R. C. V., Alves, F. R. F., Brasil, S. C., Vilela, C. L. S., Gonçalves, L. S., Provenzano, J. C., Siqueira, J. F., & Rôças, I. N. (2023). Disinfection and shaping of Vertucci class II root canals after preparation with two instrument systems and supplementary ultrasonic activation of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*, 49(9), 1183-1190. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2023.06.017>
- Luk, K., Zhao, I. S., Gutknecht, N., & Chu, C. H. (2019). Use of carbon dioxide lasers in dentistry. *Lasers in Dental Science*, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/S41547-018-0047-Y>
- Lukac, N., Tasic Muc, B., Jezersek, M., & Lukac, M. (2017). Photoacoustic Endodontics Using the Novel SWEEPS Er:YAG Laser Modality. *J Laser Health Acad.*, 2017(1), 1-07. www.laserandhealth.com
- Lumley, P. J., Walmsley, A. D., Walton, R. E., & Rippin, J. W. (1992). Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *Journal of Endodontics*, 18(12), 616-619. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81333-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81333-6)
- Machado, J., Almeida, P., Fernandes, S., Marques, A., & Vaz, M. (2017). Currently used systems of dental posts for endodontic treatment. *Procedia Structural Integrity*, 5, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.056>
- Machry, R. V., Fontana, P. E., Bohrer, T. C., Valandro, L. F., & Kaizer, O. B. (2020). Effect of Different Surface Treatments of Resin Relined Fiber Posts Cemented With Self-adhesive Resin Cement on Push-out and Microtensile Bond Strength Tests. *Operative Dentistry*, 45(4), E185-E195. <https://doi.org/10.2341/19-108-L>
- Machtou, P. (2015). Manual Dynamic Activation (MDA) Technique. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 149-155. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_8
- Maden, E., & Altun, C. (2012). Use of Polyethylene Fiber (Ribbond) in Pediatric Dentistry. *Archives of Clinical and Experimental Surgery (ACES)*, 1(2), 110. <https://doi.org/10.5455/aces.20120416115640>
- Magne, P., & Knezevic, A. (2009). Simulated fatigue resistance of composite resin versus porcelain CAD/CAM overlay restorations on endodontically treated molars. *Quintessence International*, 40(2).

- Magni, E., Scianna, A., Connert, T., Leontiev, W., Weiger, R., & Eggmann, F. (2024). A Novel Educational Approach For Safe Endodontic Syringe Irrigation: A Randomised Controlled In Vitro Study. *European Endodontic Journal*, 9(3), 279-286. <https://doi.org/10.14744/EEJ.2024.32559>
- Maiti, S., Islam, M. R., Uddin, M. A., Afroj, S., Eichhorn, S. J., & Karim, N. (2022). Sustainable Fiber-Reinforced Composites: A Review. *Advanced Sustainable Systems*, 6(11). <https://doi.org/10.1002/ADSU.202200258>
- Mallya, L., & Jathanna, V. (2019). Confocal LASER Scanning Microscopy (CLSM) for Evaluation of Endodontic Microflora-A Review. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 10(1).
- Mamootil, K., & Messer, H. H. (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and *in vivo*. *International Endodontic Journal*, 40(11), 873-881. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01307.x>
- Mamoun, J. (2017). Post and core build-ups in crown and bridge abutments: Bio-mechanical advantages and disadvantages. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 9(3), 232-237. <https://doi.org/10.4047/JAP.2017.9.3.232>
- Mancini, M., Cerroni, L., Palopoli, P., Olivi, G., Olivi, M., Buoni, C., & Cianconi, L. (2020). *FESEM evaluation of smear layer removal from conservatively shaped canals: laser activated irrigation (PIPS and SWEEPS) compared to sonic and passive ultrasonic activation-an ex vivo study*. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01427-0>
- Mannocci, F., Ferrari, M., & Watson, T. F. (1999). Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *Journal of Adhesive Dentistry*, 1(2).
- Maroulakos, G., He, J., & Nagy, W. W. (2018). The Post–endodontic Adhesive Interface: Theoretical Perspectives and Potential Flaws. *Journal of Endodontics*, 44(3), 363-371. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2017.11.007>
- Martin, H., & Cunningham, W. (1985). Endosonics – The ultrasonic synergistic system of endodontics. *Dental Traumatology*, 1(6), 201-206. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1985.TB00582.X>
- Mazlan, M. K. F., Mahmud, M., Ahmad, R., & Lim, T. W. (2024). A Case-Control Split-Mouth Study of Comparison of Maximum Occlusal Forces in Endodontically Treated Teeth and Vital Counterparts. *The International journal of prosthodontics*, 0 0, 1-17. <https://doi.org/10.11607/IJP.8849>
- Metzger, Z., & Kfir, A. (2015). Continuous Instrumentation and Irrigation: The Self-Adjusting File (SAF) System. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 199-220. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_11
- Metzger, Z., Solomonov, M., & Kfir, A. (2013). The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics*, 29(1), 87-109. <https://doi.org/10.1111/ETP.12048>
- Metzger, Z., Teperovich, E., Zary, R., Cohen, R., & Hof, R. (2010). The Self-adjusting File (SAF). Part 1: Respecting the Root Canal Anatomy—A New Concept of Endodontic Files and Its Implementation. *Journal of Endodontics*, 36(4), 679-690. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.036>
- Miller, T. E. (1993). A new material for periodontal splinting and orthodontic retention. *Compendium (Newtown, Pa.)*, 14(6), 800, 802-804, 806 passim; quiz 812. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8221753>
- Mirseifinejad, R., Tabrizzade, M., Davari, A., & Mehravar, F. (2017). Efficacy of Different Root Canal Irrigants on Smear Layer Removal after Post Space Preparation: A Scanning Electron Microscopy Evaluation. *Iranian endodontic journal*, 12(2), 185-190. <https://doi.org/10.22037/IEJ.2017.36>
- Mishra, D. R., Shetty, V. S., D'Costa, V. F., & Shetty, K. H. (2017). Evolution of Posts—From Rigidity to Flexibility. *Int. J. Sci. Res. IJSR*, 6, 2671-2677.
- Mishra, L., Khan, A. S., Campos Velo, M. M. de A., Panda, S., Zavattini, A., Piola Rizzante, F. A., Arbildo Vega, H. I., Sauro, S., & Lukomska-Szymanska, M. (2020). Effects of Surface Treatments of Glass Fiber-Reinforced Post on Bond Strength to Root Dentine: A Systematic Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081967>

- Mitchell, C. A. (2000a). Selection of materials for post cementation. *Dental update*, 27(7), 350-354. <https://doi.org/10.12968/DENU.2000.27.7.350>
- Mitchell, C. A. (2000b). Selection of materials for post cementation. *Dental update*, 27(7), 350-354. <https://doi.org/10.12968/DENU.2000.27.7.350>
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., Soltani, M. K., & Asgary, S. (2013). A review of the properties and applications of ozone in endodontics: an update. *Iranian endodontic journal*, 8(2), 40-43. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23717326>
- Molander, A., Reit, C., Dahlén, G., & Kvist, T. (1998). Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International Endodontic Journal*, 31(1), 1-7. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.t01-1-00111.x>
- Morgano, S. M., & Brackett, S. E. (1999). Foundation restorations in fixed prosthodontics: Current knowledge and future needs. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 82(6), 643-657. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(99\)70005-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(99)70005-3)
- Morgano, S. M., & Milot, P. (1993). Clinical success of cast metal posts and cores. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 70(1), 11-16. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(93\)90030-R](https://doi.org/10.1016/0022-3913(93)90030-R)
- Mucaj, A. B. A. (2015). Utilization of Lazer Therapy in Dentistry as Contemporary Application in Albania. *International Journal of African and Asian Studies*, 16, 43-45.
- Nahar, R., Mishra, S. K., & Chowdhary, R. (2020). Evaluation of stress distribution in an endodontically treated tooth restored with four different post systems and two different crowns- A finite element analysis. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 10(4), 719-726. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2020.10.004>
- NAIR, P. N. R., SJÖGREN, U., SCHUMACHER, E., & SUNDQVIST, G. (1993). Radicular cyst affecting a root-filled human tooth: a long-term post-treatment follow-up. *International Endodontic Journal*, 26(4), 225-233. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1993.TB00563.X>
- Nair, P. N. R., Sjögren, U., Krey, G., & Sundqvist, G. (1990). Therapy-resistant foreign body giant cell granuloma at the periapex of a root-filled human tooth. *Journal of Endodontics*, 16(12), 589-595. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80202-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80202-0)
- Naumann, M., Koelpin, M., Beuer, F., & Meyer-Lueckel, H. (2012). 10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study. *Journal of endodontics*, 38(4), 432-435. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2012.01.003>
- Naumann, M., Schmitter, M., & Krastl, G. (2018). Postendodontic Restoration: Endodontic Post-and-Core or No Post At All? *The journal of adhesive dentistry*, 20 1(1), 19-24. <https://doi.org/10.3290/J.JAD.A39961>
- Naumann, M., Sterzenbach, G., Rosentritt, M., Beuer, F., & Frankenberger, R. (2008). Is Adhesive Cementation of Endodontic Posts Necessary? *Journal of Endodontics*, 34(8), 1006-1010. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.05.010>
- Neuhaus, K. W., Liebi, M., Stauffacher, S., Eick, S., & Lussi, A. (2016). Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1799-1803. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.024>
- Newman, M. P., Yaman, P., Dennison, J., Rafter, M., & Billy, E. (2003). Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 89(4), 360-367. <https://doi.org/10.1067/mpd.2003.75>
- Ni, C. W., Chang, C. H., Chen, T. Y. F., & Chuang, S. F. (2011). A multiparametric evaluation of post-restored teeth with simulated bone loss. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4(3), 322-330. <https://doi.org/10.1016/J.JMBBM.2010.10.012>
- Nicoll, B. K., & Peters, R. J. (1998). Heat Generation During Ultrasonic Instrumentation of Dentin as Affected by Different Irrigation Methods. *Journal of Periodontology*, 69(8), 884-888. <https://doi.org/10.1902/jop.1998.69.8.884>
- Nielsen, B. A., & Craig Baumgartner, J. (2007). Comparison of the EndoVac System to Needle Irrigation of Root Canals. *Journal of Endodontics*, 33(5), 611-615. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.01.020>
- Nogales, C. G., Ferrari, P. H., Kantorovich, E. O., & Lage-Marques, J. (2008). Ozone therapy in medicine and dentistry. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 9(4). <https://doi.org/10.5005/JCDP-9-4-75>

- Nusstein, J. M. (2015). Sonic and Ultrasonic Irrigation. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System*, 173-197. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_10
- O'Brien, W. J. (2002). *Dental materials and their selection*. https://dentalbooks.bg/PDF/dental_material.pdf
- Olivi, G., & Olivi, M. (2016). Different lasers used in endodontics. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Applications*, 83-107. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19327-4_5
- Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Cavenago, B., Graeff, M. S. Z., Gomes de Moraes, I., Marciano, M., & Duarte, M. A. H. (2012). Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *International Endodontic Journal*, 45(2), 162-168. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2011.01959.X>
- Oshima, F., Okada, D., Ogura, R., Shin, C., Ueda, Y., Inagaki, T., Fujita, R., & Miura, H. (2016). A finite element analysis of stress distribution in roots with different types of post systems. *Asian Pacific Journal of Dentistry*, 16(1), 1-7. <https://doi.org/10.47416/APJOD.16-0218>
- Özarslan, M., Büyükkaplan, U. Ş., & Özarslan, M. M. (2021). Comparison of the fracture strength of endodontically treated teeth restored with polyether ether ketone, zirconia and glass-fibre post-core systems. *International Journal of Clinical Practice*, 75(9), e14440. <https://doi.org/10.1111/IJCP.14440>
- Papoulidou, I., Dionysopoulos, D., Mourouzis, P., Naka, O., Sarris, K., Baldi, A., Scotti, N., & Tolidis, K. (2023). Evaluation of Er,Cr:YSGG laser technique for fiber post removal of endodontically treated teeth using micro-computed tomography. *Microscopy research and technique*, 86(7), 803-812. <https://doi.org/10.1002/JEMT.24340>
- Paqué, F., Al-Jadaa, A., & Kfir, A. (2012). Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 45(5), 413-418. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2011.01991.X>
- Pasha, C., & Narayana, B. (2007). A facile spectrophotometric method for the determination of hypochlorite using rhodamine B. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 18(1), 167-170. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532007000100018>
- Pasricha, N., Sidana, V., Bhasin, S., & Makkar, M. (2012). Canine protected occlusion. *Indian Journal of Oral Sciences*, 3(1), 13. <https://doi.org/10.4103/0976-6944.101670>
- Patel, P., Hull, T. R., McCabe, R. W., Flath, D., Grasmeder, J., & Percy, M. (2010). Mechanism of thermal decomposition of poly(ether ether ketone) (PEEK) from a review of decomposition studies. *Polymer Degradation and Stability*, 95(5), 709-718. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.01.024>
- Peters, O. A., Bardsley, S., Fong, J., Pandher, G., & DiVito, E. (2011). Disinfection of Root Canals with Photon-initiated Photoacoustic Streaming. *Journal of Endodontics*, 37(7), 1008-1012. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.016>
- Petričević, G. K., Katić, M., Anić, I., Salarić, I., Vražić, D., & Bago, I. (2022). Efficacy of different Er:YAG laser-activated photoacoustic streaming modes compared to passive ultrasonic irrigation in the retreatment of curved root canals. *Clinical Oral Investigations*, 26(11), 6773-6781. <https://doi.org/10.1007/S00784-022-04637-0/METRCS>
- Piconi, C., & Maccauro, G. (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*, 20(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(98\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(98)00010-6)
- Pitt, W. G. (2005). Removal of oral biofilm by sonic phenomena. *American journal of dentistry*, 18(5), 345-352.
- Pjetursson, B. E., Valente, N. A., Strasding, M., Zwahlen, M., Liu, S., & Sailer, I. (2018). A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic single crowns. *Clinical Oral Implants Research*, 29, 199-214. <https://doi.org/10.1111/CLR.13306>
- PLOTINO, G., PAMEIJER, C., MARIAGRANDE, N., & SOMMA, F. (2007). Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *Journal of Endodontics*, 33(2), 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.10.008>

- Plotino, G., Cortese, T., Grande, N. M., Leonardi, D. P., Di Giorgio, G., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2016). New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Brazilian Dental Journal*, 27(1), 3-8. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600726>
- Prathima, G. S., Bhadrashetty, D., Babu, S. B. U., & Disha, P. (2015). Microdentistry with Lasers. *Journal of international oral health: JIOH*, 7(9), 134-137. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26435633>
- Preethi, G., & Kala, M. (2008). Clinical evaluation of carbon fiber reinforced carbon endodontic post, glass fiber reinforced post with cast post and core: A one year comparative clinical study. *Journal of Conservative Dentistry*, 11(4), 162. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.48841>
- Purger, L. O., Tavares, S. J., Lch Martinez, R., Caldas, I., Antunes, L. A., & Scelza, M. Z. (2021). Comparing techniques for removing fiber endodontic posts: A systematic review. *thejcdp.com* LO Purger, SJO Tavares, RLCH Martinez, I Caldas, LAA Antunes, MZ Scelza *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 2021•thejcdp.com, 22(5), 587-595. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3083>
- Qualtrough, A., & Chandler, N. (2003). A comparison of the retention of tooth-colored posts. *QUINTESSENCE INTERNATIONAL-ENGLISH EDITION*-, 34(3), 199-202. https://www.rtdental.com/media/files/documents/Qualtrough_-A-comparison-of-the-retention-of-tooth-colored-p.pdf
- Qutieshat, A., Al Harthy, N., Al Busaidi, S., Al Sadoon, A., Al Sayahien, D., Sedqi, M., Al Rashdi, S., & Al Ghamari, S. (2023). Antimicrobial Irrigation Solutions in Root Canal Treatment: A Glance at the Past, the Present, and the Future. *The Open Dentistry Journal*, 17(1). <https://doi.org/10.2174/18742106-v17-230621-2023-5>
- Ramirez, I., Bertolini, G. R., Candemil, A. P., Sousa-Neto, M. D., & Souza-Gabriel, A. E. (2023). Chemical and morphological analysis of dentin irradiated by different high-power lasers: a systematic review. *Lasers in Medical Science*, 38(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/S10103-023-03912-0>
- Rasool, T., & Al-Barazanchi, H. (2023). Evaluation of mechanical properties of different polyetheretherketone endodontic post systems: an in vitro study. *Springer*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03193-7>
- Ricketts, D. N. J., Tait, C. M. E., & Higgins, A. J. (2005). Post and core systems, refinements to tooth preparation and cementation. *British Dental Journal* 2005 198:9, 198(9), 533-541. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4812300>
- Rocha, R. F. V., Anami, L. C., Campos, T. M. B., Melo, R. M. de, Souza, R. O. de A. e, & Bottino, M. A. (2016). Bonding of the Polymer Polyetheretherketone (PEEK) to Human Dentin: Effect of Surface Treatments. *Brazilian Dental Journal*, 27(6), 693-699. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600796>
- Roitman, M. L., Pinasco, L. B., Loiacono, R., Panetta, V. C., Anaise, C. A., & Rodríguez, P. A. (2021). Efficacy of different instruments for the mechanical removal of the smear layer in immediate post preparations: a comparative study. *Acta odontologica latinoamericana : AOL*, 34(2), 166-172. <https://doi.org/10.54589/AOL.34/2/166>
- Rosentritt, M., Behr, M., Lang, R., & Handel, G. (2000). Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. *Journal of Oral Rehabilitation*, 595-601. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2000.00548.x>
- Rotstein, I., & Simon, J. H. (2004). Diagnosis, prognosis and decision-making in the treatment of combined periodontal-endodontic lesions. *Periodontology* 2000, 34(1), 165-203. <https://suffolkrootcanal.co.uk/wp-content/uploads/2015/04/Diagnosis-prognosis-and-decision-making-in-the-treatment-of-combined-periodontal-endodontic-lesions-Rotstein-2004.pdf>
- Rödig, T., Bozkurt, M., Konietschke, F., & Hülsmann, M. (2010). Comparison of the Vibringe System with Syringe and Passive Ultrasonic Irrigation in Removing Debris from Simulated Root Canal Irregularities. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1410-1413. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.023>
- RUDDLE, C. (2004). Nonsurgical Retreatment. *Journal of Endodontics*, 30(12), 827-845. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000145033.15701.2d>

- Ruddle, C. (2015). Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.4103/1658-5984.149080>
- Ruddle, C. J. (2001). Microbrush for endodontic use. İçinde *Google Patents*.
- SABINS, R., JOHNSON, J., & HELLSTEIN, J. (2003). A Comparison of the Cleaning Efficacy of Short-Term Sonic and Ultrasonic Passive Irrigation after Hand Instrumentation in Molar Root Canals. *Journal of Endodontics*, 29(10), 674-678. <https://doi.org/10.1097/00004770-200310000-00016>
- Sammany, F., Sultan, M., & Ide, N. (2019). Stress and strain distribution in a single root canal post made of polyether ether ketone using three-dimensional finite elements method. *Acad. J. Oral Dent. Med*, 8, 1-7. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajodm.2019.01.07>
- Santiago Vaz-Garcia, E., Talarico Leal Vieira, V., Pereira da Silva Ferreira Petitet, N., Jorge Lima Moreira, E., Pereira Lopes, H., Nelson Elias, C., João Nogueira Leal Silva, E., & dos Santos Antunes, H. (2018). Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *SciELO Brasil ES Vaz-Garcia, VTL Vieira, NPSF Petitet, EJM Moreira, HP Lopes, CN Elias, EJNL SilvaBrazilian Dental Journal*, 2018•SciELO Brasil, 29(2), 208-213. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201801903>
- Sarkis-Onofre, R., Skupien, J. A., Cenci, M. S., Moraes, R. R., & Pereira-Cenci, T. (2014). The role of resin cement on bond strength of glass-fiber posts luted into root canals: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Operative dentistry*, 39(1). <https://doi.org/10.2341/13-070-LIT>
- Saydjari, Y., Kuypers, T., & Gutknecht, N. (2016). Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd:YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals—A Literature Overview. *BioMed Research International*, 2016, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2016/8421656>
- Schirrmeister, J. F., Huber, K., Hellwig, E., & Hahn, P. (2009). Four-year evaluation of a resin composite including nanofillers in posterior cavities. *The journal of adhesive dentistry*, 11(5), 399-404. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19841767>
- Schneider, L., Krasowski, A., Pitchika, V., Bombeck, L., Schwendicke, F., & Büttner, M. (2025). Assessment of CNNs, transformers, and hybrid architectures in dental image segmentation. *Journal of Dentistry*, 156, 105668. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2025.105668>
- Schoeffel, G. J. (2007). The EndoVac method of endodontic irrigation: safety first. *Dentistry today*, 26(10), 92, 94, 96 passim. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17993054>
- Scotti, N., Bergantin, E., Alovise, M., Pasqualini, D., & Berutti, E. (2013). Evaluation of a simplified fiber post removal system. *Journal of endodontics*, 39(11), 1431-1434. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2013.08.005>
- Seefeld, F., Wenz, H.-J., Ludwig, K., & Kern, M. (2007). Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dental Materials*, 23(3), 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.01.018>
- Sengun, A., Cobankara, F. K., & Orucoglu, H. (2008). Effect of a new restoration technique on fracture resistance of endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*, 24(2), 214-219. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2007.00538.x>
- Serino, G., Comba, A., Baldi, A., Carossa, M., Baldissara, P., Bignardi, C., Audenino, A., Torres, C. G. R., & Scotti, N. (2022). Could light-curing time, post-space region and cyclic fatigue affect the nanomechanical behavior of a dual-curing cement for fiber post luting? *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 125, 104886. <https://doi.org/10.1016/J.JMBBM.2021.104886>
- Shillingburg, H., & Kessler, J. (1982). Restoration of the endodontically treated tooth. *cir.nii.ac.jp*.
- Sigurdsson, A., Garland, R. W., Le, K. T., & Rassoulia, S. A. (2018). Healing of Periapical Lesions after Endodontic Treatment with the GentleWave Procedure: A Prospective Multicenter Clinical Study. *Journal of Endodontics*, 44(3), 510-517. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.12.004>
- Skirbutis, G., Dzingutė, A., Masiliūnaitė, V., Šulcaitė, G., & Žilinskas, J. (2018). PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. A review. *A review. Stomatologija*, 20(2), 54-58., 20(2).

- Sluis, L. van der, Wu, M., & Wesselink, P. (2009). Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence international*, 40(10).
- Smidt, A., & Venezia, E. (2003). Techniques for immediate core buildup of endodontically treated teeth. *Quintessence international*, 34(4).
- Smith, C., & Schuman, N. (1998). Biomechanical criteria for evaluating prefabricated post-and-core systems: a guide for the restorative dentist. *Quintessence international*, 29(5).
- Song, C. H., Choi, J. W., Jeon, Y. C., Jeong, C. M., Lee, S. H., Kang, E. S., Yun, M. J., & Huh, J. B. (2018). Comparison of the Microtensile Bond Strength of a Polyetherketoneketone (PEKK) Tooth Post Cemented with Various Surface Treatments and Various Resin Cements. *Materials* 2018, Vol. 11, Page 916, 11(6), 916. <https://doi.org/10.3390/MA11060916>
- Song, M., Kim, H.-C., Lee, W., & Kim, E. (2011). Analysis of the Cause of Failure in Nonsurgical Endodontic Treatment by Microscopic Inspection during Endodontic Microsurgery. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1516-1519. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.032>
- Song, W., Wang, X., Guo, Y., Li, S., Xia, B., & Hao, A. (2024). CenterFormer: A Novel Cluster Center Enhanced Transformer for Unconstrained Dental Plaque Segmentation. *IEEE Transactions on Multimedia*, 26, 10965-10978. <https://doi.org/10.1109/TMM.2024.3428349>
- Souza, L. D. S., Ruano, V., Rocha, R. S., Varanda, E., Caneppele, T. M. F., & Bresciani, E. (2025). Association between dental fracture and amalgam restoration: a case-control study. *Journal of Applied Oral Science*, 33. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2024-0467>
- Stabholz, A., & Friedman, S. (1988). Endodontic retreatment—Case selection and technique. Part 2: Treatment planning for retreatment. *Journal of Endodontics*, 14(12), 607-614. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(88\)80058-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(88)80058-X)
- Stamos, D. E., & Gutmann, J. L. (1993). Survey of endodontic retreatment methods used to remove intraradicular posts. *Journal of Endodontics*, 19(7), 366-369. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81365-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81365-8)
- Stamos, D. E., Sadeghi, E. M., Haasch, G. C., & Gerstein, H. (1987). An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *Journal of Endodontics*, 13(9), 434-440. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(87\)80061-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(87)80061-4)
- Stockton, L. W. (1999). Factors affecting retention of post systems: A literature review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 81(4), 380-385. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(99\)80002-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(99)80002-X)
- Stone, S., Whitworth, J., & Wassel, R. (2018). Viability of Posts and Cores. In *Extra-Coronal Restorations: Concepts and Clinical Application* (pp. 115-133). Cham: Springer International Publishing.
- Sundqvist, G. (1992). Ecology of the root canal flora. *Journal of Endodontics*, 18(9), 427-430. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80842-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80842-3)
- ŞEN, B. H., WESSELINK, P. R., & TÜRKÜN, M. (1995). The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *International Endodontic Journal*, 28(3), 141-148. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1995.TB00289.X>
- Takeda, F. H., Harashima, T., Kimura, Y., & Matsumoto, K. (1999). A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *International Endodontic Journal*, 32(1), 32-39. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00182.x>
- Tanomaru-Filho, M., Torres, F. F. E., Chávez-Andrade, G. M., Miano, L. M., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2016). Intermittent or continuous ultrasonically activated irrigation: micro-computed tomographic evaluation of root canal system cleaning. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1541-1546. <https://doi.org/10.1007/S00784-015-1645-7>
- Tardivo, D., Pommel, L., La Scola, B., About, I., & Camps, J. (2010). Antibacterial efficiency of passive ultrasonic versus sonic irrigation. Ultrasonic root canal irrigation. *Odontostomatologie tropicale = Tropical dental journal*, 33(129), 29-35. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20839477>
- Tekin, B., Demirkaya, K., Tekin, B., & Demirkaya, K. (2020). Natural irrigation solutions in endodontics. *Gulhane Medical Journal*, 62(3), 133-138. <https://doi.org/10.4274/GULHANE.GALENOS.2020.902>
- Tekinarslan, D., Erkal, D., Koç, S., Er, H., & Er, K. (2024). Effects of irrigation activation techniques on root canal walls after post-space preparation: A scanning electron microscopy study.

- Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 65(3), 121-128. <https://doi.org/10.24873/j.rpemd.2024.10.1228>
- Thirumalai, A., Sekar, M., & Mylswamy, S. (2008). Retrieval of a separated instrument using Masserann technique. *Journal of Conservative Dentistry*, 11(1), 42. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.43417>
- Tinschert, J., Zvez, D., Marx, R., & Anusavice, K. J. (2000). Structural reliability of alumina-, feldspar-, leucite-, mica- and zirconia-based ceramics. *Journal of Dentistry*, 28(7), 529-535. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(00\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(00)00030-0)
- Tiwari, A., Sethuraman, R., & Patel, v. (2018). Computer-aided design computer-aided manufacturing fabricated polyetheretherketone post and core restoration. *Int J Oral Care Res*, 5(1), S101-5., 5(1), 101-105. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-00000-0000>
- Toksavul, S., Zor, M., Toman, M., Güngör, M. A., Nergiz, I., & Artunç, C. (2006). Analysis of Dentinal Stress Distribution of Maxillary Central Incisors Subjected to Various Post-and-core Applications. *Operative Dentistry*, 31(1), 89-96. <https://doi.org/10.2341/04-192>
- Torabinejad, M., & White, S. N. (2016). Endodontic treatment options after unsuccessful initial root canal treatment: Alternatives to single-tooth implants. *Journal of the American Dental Association*, 147 3(3), 214-220. <https://doi.org/10.1016/J.ADAJ.2015.11.017>
- Tortopidis, D., Kourtis, S., & Kountouras, K. (2015). Restoration of Endodontically Treated Anterior Teeth with Cast Metallic Post or Prefabricated Fibre Post Placement: 2 Case Reports and Critical Literature Review. *Balkan Journal of Dental Medicine*, 19(2), 86-91. <https://doi.org/10.1515/BJDM-2015-0040>
- Tungawatt, P., Arunrukthavorn, P., Phuntusuntorn, P., Opatragoon, S., Sirirangsee, P., & Inklub, S. (2021). Comparison of the Effect of Three Irrigation Techniques and Root Canal Preparation Size on Sodium Hypochlorite Penetration into Root Canal Dentinal Tubules. *International journal of dentistry*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6612588>
- Uzun, G., Hersek, N., & Tinçer, T. (1999). Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 81(5), 616-620. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(99\)70218-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(99)70218-0)
- Uzun, G., & Keyf, F. (2007). *Geleneksel post-core sistemlerine bir alternatif: polietilen fiber post*. Hacettepe Dişhekimliği Fakültesi Dergisi, 31(2), 43-48.
- Vadavadi, S. V., Dhananjaya, K. M., Yadahalli, R. P., Lahari, M., Shetty, S. R., & Bhavana, B. L. (2017). Comparison of Different Post Systems for Fracture Resistance: An in vitro Study. *The journal of contemporary dental practice*, 18 3(3), 205-208. <https://doi.org/10.5005/JP-JOURNALS-10024-2017>
- Valenti, C., Pagano, S., Bozza, S., Ciurnella, E., Lomurno, G., Capobianco, B., Coniglio, M., Cianetti, S., & Marinucci, L. (2021). Use of the Er:YAG Laser in Conservative Dentistry: Evaluation of the Microbial Population in Carious Lesions. *Materials*, 14(9), NAs. <https://doi.org/10.3390/MA14092387>
- van der Sluis, L. W. M., Verhaagen, B., Macedo, R., & Versluis, M. (2016). The role of irrigation in endodontics. *Lasers in Endodontics: Scientific Background and Clinical Applications*, 45-69. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19327-4_3
- Van Der Sluis, L. W. M., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International endodontic journal*, 40 6(6), 415-426. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2007.01243.X>
- Vano, M., Goracci, C., Monticelli, F., Tognini, F., Gabriele, M., Tay, F. R., & Ferrari, & M. (2006). The adhesion between fibre posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *Wiley Online LibraryM Vano, C Goracci, F Monticelli, F Tognini, M Gabriele, FR Tay, M FerrariInternational Endodontic Journal*, 2006•Wiley Online Library, 39(1), 31-39. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01044.x>
- Vieira, C., Bachmann, L., De Andrade Lima Chaves, C., Correa Silva-Sousa, Y. T., Correa Da Silva, S. R., & Alfredo, E. (2021). Light transmission and bond strength of glass fiber posts submitted to different surface treatments. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(4), 674.e1-674.e7. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2020.11.031>

- Vila Galhano, G. A. ', Valandro, F., Marques De Melo, R., Scotti, R., & Bottino, M. A. (2005). Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. *ElsevierGÁ Galhano, LF Valandro, RM De Melo, R Scotti, MA BottinoJournal of endodontics, 2005•Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009923990560146X>
- Viraparia, P., White, J. M., & Vaderhobli, R. (2012). CO2 Laser: Evidence Based Applications in Dentistry. *CO2 Laser - Optimisation and Application*. <https://doi.org/10.5772/38845>
- Walmsley, A. D., & Williams, A. R. (1989). Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *Journal of Endodontics, 15*(5), 189-194. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(89\)80233-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(89)80233-X)
- WALTERS, M., BAUMGARTNER, J., & MARSHALL, J. (2002). Efficacy of Irrigation with Rotary Instrumentation. *Journal of Endodontics, 28*(12), 837-839. <https://doi.org/10.1097/00004770-200212000-00011>
- Wang, J. hui, Yang, K., Zhang, B. ze, Zhou, Z. fei, Wang, Z. rui, Ge, X., Wang, L. lu, Chen, Y. jiang, & Wang, X. jing. (2020). Effects of Er:YAG laser pre-treatment on dentin structure and bonding strength of primary teeth: an in vitro study. *BMC Oral Health, 20*(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-020-01315-Z>
- WANG, Q., ZHANG, C., & YIN, X. (2007). Evaluation of the Bactericidal Effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG Lasers in Experimentally Infected Root Canals. *Journal of Endodontics, 33*(7), 830-832. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.03.017>
- Warren, S. R., & Gutmann, J. L. (1979). Simplified method for removing intraradicular posts. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 42*(3), 353-356. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90230-0](https://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90230-0)
- Weller, R. N., Brady, J. M., & Bernier, W. E. (1980). Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics, 6*(9), 740-743. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(80\)80185-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(80)80185-3)
- Williams, V. D., & Bjorndal, A. M. (1983). The Masserann technique for the removal of fractured posts in endodontically treated teeth. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 49*(1), 46-48. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90236-6](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90236-6)
- Wilson, P. H., Fisher, N. L., & Bartlett, D. W. (2003). Direct core materials. *Dental update, 30*(7), 362-368. <https://doi.org/10.12968/DENU.2003.30.7.362>
- Wong, J., Manoil, D., Näsman, P., Belibasakis, G. N., & Neelakantan, P. (2021). Microbiological Aspects of Root Canal Infections and Disinfection Strategies: An Update Review on the Current Knowledge and Challenges. *Frontiers in Oral Health, 2*. <https://doi.org/10.3389/FROH.2021.672887>
- Yavuzylmaz, H., Ulusoy, M., Kedici, P. S., & Kansu, G. (2003). *Protetik diş tedavisi terimleri sözlüğü*. Türk Prostodonti ve İmplantoloji Derneği Ankara şubesi derneği yayınları, Ankara.
- Yıkılğan, İ., & Bala, O. (2013). Endodontik tedavi görmüş dişlerin konservatif restorasyonları. *Acta Odontologica Turcica, 30*(1), 44-8.
- Yilmaz, H., Aydın, C., & Çağlar, A. (2003). The effect of glass fiber reinforcement on the residual monomer content of two denture base resins. *Quintessence International, 34*(2).
- Zakariasen, K. L., Dederich, D. N., Tulip, J., DeCoste, S., Jensen, S. E., & Pickard, M. A. (1986). Bactericidal action of carbon dioxide laser radiation in experimental dental root canals. *Canadian Journal of Microbiology, 32*(12), 942-946. <https://doi.org/10.1139/m86-174>
- Zehnder, M. (2006). Root Canal Irrigants. *Journal of Endodontics, 32*(5), 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>
- Zheng, H., Guo, J., & Zhang, X. (2014). Effect of different surface treatments on the bond strength of fiber posts to resin cement. *Shanghai Journal of Stomatology, 23*(6), 689., 23 6, 689-694.
- Zhu, Z., Dong, X.-Y., He, S., Pan, X., & Tang, L. (2015). Effect of Post Placement on the Restoration of Endodontically Treated Teeth: A Systematic Review. *The International journal of prosthodontics, 28* 5(5), 475-483. <https://doi.org/10.11607/IJP.4120>
- Zhuang, H., Liang, Y., Xiang, S., Li, H., Dai, X., & Zhao, W. (2021). Dentinal tubule occlusion using Er:YAG Laser: an in vitro study. *Journal of Applied Oral Science, 29*. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0266>
- Zicari, F., Couthino, E., De Munck, J., Poitevin, A., Scotti, R., Naert, I., & Van Meerbeek, B. (2008). Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. *Dental materials : official*

publication of the Academy of Dental Materials, 24 7(7), 967-977.
<https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2007.11.011>

Zoidis, P., Bakiri, E., & Polyzois, G. (2017). Using modified polyetheretherketone (PEEK) as an alternative material for endocrown restorations: A short-term clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 117(3), 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.08.009>



