

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI



**MAKSİLLER VE MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE POST
BOŞLUĞU PREPARASYONUNUN KÖK DENTİN
KALINLIĞINA ETKİSİ**

ENDODONTİ UZMANLIK TEZİ

AMİNE YİĞİT

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. ALİ KELEŞ

**Bu Tez çalışması Tübitak Tarafından 124R071 Numaralı Proje
Numarası ile Desteklenmiştir.**

BOLU, EKİM 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Amine YİĞİT tarafından hazırlanan “**MAKSİLLER VE MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE POST BOŞLUĞU PREPARASYONUNUN KÖK DENTİN KALINLIĞINA ETKİSİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Endodonti Ana Bilim Dalı Uzmanlık Programında Uzmanlık Tezi olarak oy birliği kabul edilmiştir. 15.10.2025

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
PROF. DR. ALİ KELEŞ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
PROF. DR. ELİF KALYONCUOĞLU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

.....

Üye
DR. ÖĞR. ÜYESİ MERVE IŞIK AYDIN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

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 Araştırmalar Etik Kurulundan 2024/246 sayısı ile etik izin alınmıştır.

.....

AMİNE YİĞİT

ÖNSÖZ

Öncelikle bu tezin verdiği verilerle hekimlere yol gösterici olup, klinikte endodontik tedavi sonrası post restorasyonu yaparken hekimlerin bilgi seviyesini artmasına yardımcı olmasını dilerim.

Endodontik tedavi gören molar dişlerin restoratif tedavisinde, post boşluğunun dentin bütünlüğüne etkisi ve buna bağlı komplikasyonlar (perforasyon, dikey kök kırığı vb.) uzun süredir tartışılan bir konudur. Minimal invaziv yaklaşım ilkeleri ile tutarlı, kanıta dayalı ve bireyselleştirilmiş preparasyon stratejileri geliştirebilmek için, post boşluğu hazırlığı sonrası kalan dentin kalınlığının yüksek doğrulukla nicelemesine ihtiyaç vardır. Bu tez, mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanılarak, maksiller molarların palatinal köklerinde ve mandibular molarların distal köklerinde üç farklı drill çapının (1.14; 1.25; 1.55 mm) kalan dentin kalınlığına etkisini nicel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Preparasyon öncesi ve sonrası veri setlerinin hassas karşılaştırılması ile kök boyunca seviye ve yöne bağlı dentin kaybı haritalanmış; böylece klinik karar eşiklerini destekleyecek ayrıntıda ölçümler elde edilmiştir.

Elde edilen bulgular, post boşluğu hazırlığı sırasında dentin kaybının kökün geometrisi ve preparasyon yönü ile anlamlı biçimde ilişkili olduğunu; özellikle mandibular distal kökün mezial duvarında daha yüksek riskin söz konusu olduğunu göstermektedir. Çalışma, güvenli drill boyutlarının seçimi, postsuz alternatif restorasyonların endikasyonu ve periservikal dentin korunumu açısından klinisyene somut rehberlik sağlamayı hedeflemektedir.

AMİNE YİĞİT

15.10.2025

ÖZET

MAKSİLLER VE MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE POST BOŞLUĞU PREPARASYONUNUN KÖK DENTİN KALINLIĞINA ETKİSİ

UZMANLIK TEZİ

AMİNE YİĞİT

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

UZMANLIK PROGRAMI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ALİ KELEŞ)

BOLU, EKİM-2025

80 sayfa

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı çaplardaki post boşluğu frezlerinin maksiller ve mandibular molarlarda kalan dentin kalınlığı üzerine etkisini yüksek çözünürlüklü mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanarak değerlendirmektir.

Yöntem: Önceden elde edilmiş mikro-BT veri setlerinden seçilen, düz veya hafif eğimli köklere sahip otuz maksiller ve otuz mandibular molar dişler homojen gruplara ayrıldı. Maksiller molarların palatinal kökleri ve mandibular molarların distal kökleri, üç farklı çapta Peeso frez (1.14, 1.25 ve 1.55 mm; her grup için $n = 10$) ile hazırlandı. Preparasyon öncesi ve sonrası taramalar karşılaştırma yapılarak, furkasyon seviyesinden apikale doğru 1 mm aralıklarla farklı yönlerde kalan dentin kalınlığı ölçüldü. Veriler ANOVA ve post-hoc testleri ile analiz edildi ($\alpha = 0.05$).

Bulgular: Maksiller molarlarda, tüm yönlerde ve drill çaplarında dentin kalınlığı genellikle 1 mm'den fazla olarak korunmuş, sadece maksiller molarlarda 1.55 mm drill kullanılan bukkal yönde bir perforasyon saptanmıştır. Bukkal duvarlar, palatinal duvarlara kıyasla sürekli olarak daha kalındı. Mandibular molarlarda, mezial duvarlar distal duvarlardan anlamlı derecede daha incedir ($p < .05$). Özellikle 1.14 mm ve 1.25 mm drill gruplarında mezial yüzlerde postoperatif kalınlık sıklıkla 1 mm ve daha altına düştü. 1.55 mm drill grubunda üç perforasyon mezial duvarda gözlemlendi. Distal duvarlar ise genellikle 1 mm'den fazla dentin kalınlığını korudu ve perforasyon görülmedi.

Sonuç: Post boşluğu preparasyonunda kullanılan drill çapı, molar köklerde kalan dentin kalınlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Maksiller molar dişlerinin palatinal kökleri, daha büyük drillerle bile, minimum perforasyon riskiyle post boşluğu preparasyonu güvenli bir şekilde uyum sağlayabilir. Mandibular molar dişler de distal kökler dentin incilmesi ve perforasyonu açısından yüksek risk altındadır. Konservatif preparasyon veya postsuz restorasyonlar önerilir.

ANAHTAR KELİMELE: Kalan dentin kalınlığı, Post boşluğu preparasyonu, Mikro-bilgisayarlı tomografi, Molar dişler, Perforasyon

ABSTRACT

THE EFFECT OF POST SPACE PREPARATION ON ROOT DENTINE THICKNESS IN MAXILLARY AND MANDIBULAR MOLARS

SPECIALIZATION THESIS

AMİNE YİĞİT

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

DEPARTMENT OF ENDODONTICS

(SUPERVISOR: PROF. DR. ALİ KELEŞ)

BOLU, OCTOBER 2025

80 pages

Aim to evaluate the effect of different post space drill diameters on remaining dentine thickness in maxillary and mandibular molars using high-resolution micro-computed tomography (micro-CT).

Methodology Thirty maxillary and thirty mandibular molars with straight or slightly curved roots were selected from pre-existing micro-CT datasets to form homogeneous groups. Palatal roots of maxillary molars and distal roots of mandibular molars were prepared with Peeso reamers in three diameters (1.14, 1.25, and 1.55 mm; n = 10 per group). Pre- and post-preparation scans were superimposed to measure remaining dentine thickness at 1 mm intervals from the furcal level (FL) to apical in multiple directions. Data were analysed using ANOVA and post-hoc tests ($\alpha = 0.05$).

Results Maxillary molars retained ≥ 1 mm remaining dentine thickness across most surfaces and drill sizes, with only one perforation (buccal aspect, 1.55 mm group). Buccal walls were consistently thicker than palatal. Mandibular molars showed significantly thinner mesial walls than distal walls ($p < .05$), with frequent postoperative thickness ≤ 1 mm in mesial surfaces, particularly in the 1.14 mm and 1.25 mm groups. Three perforations occurred in mesial surface with the 1.55 mm drill. Distal dentine walls generally maintained ≥ 1 mm remaining thickness with no perforations.

Conclusion Drill diameter significantly influences remaining dentine thickness in molar roots. Palatal roots of maxillary molars can safely accommodate post space preparation with minimal perforation risk, even with larger drills. In mandibular molars, distal roots are at high risk of dentine thinning and perforation; conservative preparation or post-free restorations are recommended.

KEYWORDS: Remaining dentine thickness, Post space preparation, Micro-computed tomography, Molars, Perforation

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	5
ABSTRACT	6
İÇİNDEKİLER	7
ŞEKİL LİSTESİ.....	9
TABLO LİSTESİ.....	10
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	11
TEŞEKKÜR	12
1. GİRİŞ.....	13
2. GENEL BİLGİLER	16
2.1 Kök Kanal Tedavisi Amacı	16
2.2 Kök Kanal Tedavisinde Restorasyon	16
2.3 Koronal Sert Doku Kaybı Klinik Önemi.....	18
2.4 Diş Yapısının Kuvvet Dağılımı ve Stres Alanları	18
2.5 Post Seçimi	19
2.6 Post Yerleştirilecek Dişlerde Tedavi Planlaması	20
2.7 Post Seçiminde Dikkate Alınacak Kriterler	21
2.8 Post Boşluğunun Hazırlanması	21
2.9 Ferrule	22
2.10 Postun Yerleştirme Derinliği.....	23
2.11 Post Çapı.....	23
2.12 Postların Yüzey Özellikleri	24
2.13 Postların Sınıflandırılması	24
2.14 Fiber takviyeli Kompozit Postlar	24
2.15 Koronal Diş Yapısı Kayıplarının Sınıflandırılması	26
2.16 Dentin Anatomisi ve Kritik Bölgeler	29
2.16.1 Diş Yapısının Kaybı ve Dayanıklılık.....	31
2.17 Endodontik Tedavili Dişlerin Kırılganlığı	32
2.18 Post Alternatifi Restoratif Yaklaşımlar	33
2.18.1 Endokronlar	33
2.18.2 Fiber Takviyeli Kompozitler (FRC)	33
2.18.3 Direkt Kompozit Restorasyonlar	34
2.18.4 İnley / Onley Restorasyonlar	34
2.19 Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri	34
2.19.1 Endoskopik görüntüleme	34
2.19.2 Optik Koherens Tomografi.....	35
2.19.3 LED Transillüminasyon.....	35

2.19.4 Kızılötesi Termografi.....	36
2.19.5 Stereomikroskop	36
2.19.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	37
2.19.7 Mikro Bilgisayarlı Tomografi.....	37
3. MATERYAL ve METOD.....	39
3.1 Etik Kurul Onayı.....	39
3.2 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması.....	39
3.3 Homojen Grupların Oluşturulması	40
3.4 Birinci Mikro-BT Taraması.....	41
3.5 Kök Kanallarının Şekillendirilmesi	43
3.6 Post Boşluğu Preparasyonu	45
3.7 İkinci Mikro-BT taraması	46
3.8 İstatistiksel Analiz	47
4. BULGULAR	49
5. TARTIŞMA	61
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	66
7. KAYNAKLAR.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. SkyScan 1172 Mikro-BT cihazı	41
Şekil 3.2. Mikro-BT analizinde kullanılan özel yazılımlar.....	42
Şekil 3.3. Birinci Mikro-BT taraması ölçüm analizi.....	43
Şekil 3.4. Protaper Next	44
Şekil 3.5. Protaper Next Lot numarası	45
Şekil 3.6. İnod Q.P. Fiber Post Drilleri.....	46
Şekil 3.7. İkinci Mikro-BT taraması ölçüm analizi	47
Şekil 4.1. 1.55 mm çapında frez ile yapılan post boşluğu preparasyonunun kalan dentin kalınlığı üzerindeki etkisi.	57
Şekil 4.2. Kalan dentin kalınlığını farklı ölçüm seviyelerinde gösterebilmek için preparasyon öncesi ve sonrası veri setlerinin üst üste bindirilmiş görünümü.	58
Şekil 4.3. Maksiller molar dişlerde 1.14, 1.25, 1.55 çapındaki drillerle preparasyon yapılmış furkasyondan itibaren 6 mm kadar olan kesitlerin aksiyal görüntüsü.....	59
Şekil 4.4. Mandibular molar dişlerde 1.14, 1.25, 1.55 çapındaki drillerle preparasyon yapılmış furkasyondan itibaren 6 mm kadar olan kesitlerin aksiyal görüntüsü.....	60

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Deney grupları alttaki tabloda verildiği kullanılan drill çapına göre oluşturuldu.....	40
Tablo 4.1. Maksiller dişlerin homojen dağılımını gösteren kök uzunluğu ve dentin kalınlığına ilişkin 1.14, 1.25, 1.55 drill çapı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri (ortalama $\pm$ standart sapma).	50
Tablo 4.2. Mandibular dişlerin homojen dağılımını gösteren kök uzunluğu ve dentin kalınlığına ilişkin 1.14, 1.25, 1.55 drill çapı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri (ortalama $\pm$ standart sapma)	51
Tablo 4.3. Maksiller molar dişlerin üç drill çapıyla preparasyon sonrası, mezial, distal, bukkal, lingual kök yüzeylerindeki furkasyondan itibaren farklı seviyelerde ölçülen postoperatif dentin kalınlığı (mm) değerleri. Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak sunulmuştur.	52
Tablo 4.4. Mandibular molar dişlerin üç drill çapıyla preparasyon sonrası, mezial ve distal kök yüzeylerindeki furkasyondan itibaren farklı seviyelerde ölçülen postoperatif dentin kalınlığı (mm) değerleri.....	53
Tablo 4.5. Maksiller ve mandibular molar dişlerde farklı seviyelerde 1.14 mm, 1.25 mm ve 1.55 mm çaplı driller kullanılarak post boşluğu hazırlığı yapıldıktan sonra dentin kalınlığı azalmasının (mm). Ortalama $\pm$ Standart Sapması	54
Tablo 4.6. Preparasyon sonrası dentin kalınlığı kategorilerinin (≤ 0.5 mm, 0.5–1 mm, ≥ 1 mm) ve diş tipleri, yönleri ve drill boyutlarına (1.14 mm, 1.25 mm, 1.55 mm) göre dağılımı. Değerler, her kategorideki örnek sayısını temsil eder.	56

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

Al₂O₃:	Alüminyum oksit
CFR:	Karbon fiber takviyeli rezin
CFR:	Karbon asit
GFR:	Cam fiber takviyeli rezin
KIBT:	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
Mikro-BT:	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
NaOCl:	Sodyum hipoklorit
NiTi:	Nikel-Titanyum
OCT:	Optik Koherens Tomografi
PFR:	Polietilen fiber takviyeli rezin
PTN:	ProTaper Next
SEM:	Taramalı Elektron Mikroskobu
VRF:	Dikey kök kırığı
Semboller ve Birimler	
%:	Yüzde
< :	Küçüktür
≤:	Küçük-eşittir
>:	Büyüktür
≥:	Büyük-eşittir
GPa:	Gigapascal
kV:	Kilovolt
mm:	Milimetre
MPa:	Megapascal
ms:	Milisaniye
μA:	Mikroamper
μm:	Mikrometre
n:	Örnek sayısı
p:	İstatistiksel anlamlılık olasılık değeri
rpm:	Devir/dakika

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bana endodontiyi sevdiren ve tecrübelerini esirgemeyen bu çalışmanın fikirden olgun bir tez metnine dönüşmesinde belirleyici rol oynayan işini layıkıyla yapan ve mütevazilikte rol model aldığım danışmanım çok kıymetli Sayın Prof. Dr. Ali Keleş'e en derin şükranlarımı sunarım. Kendisinin bilimsel vizyonu, metodolojik titizliği ve eleştirel fakat yapıcı geri bildirimleri, araştırmanın her aşamasında yol gösterici olmuş; araştırma sorusunun keskinleştirilmesinden veri yorumuna, yazımın son kontrolüne kadar akademik standartların korunmasına büyük katkı sağlamıştır. Akademik etik ve dürüstlük ilkelerine bağlı duruşu, disiplinli çalışma kültürü ve sabırlı mentorluğu, bu tezin niteliğini doğrudan yükseltmiştir.

Çalışmanın istatistiksel planlanması, güç analizlerinin yürütülmesi, ile bulguların yorumlanmasındaki kıymetli katkıları için Sayın Prof. Dr. Cangül Keskin'e teşekkür ederim.

Bu tez, TÜBİTAK tarafından 124R071 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Kuruma sağladığı maddi ve kurumsal destek için teşekkür ederim.

Eğitimim boyunca her zaman yanımda olan, sabırları, sevgileri ve manevi destekleriyle bana güç veren canım aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Uzmanlık eğitimi boyunca yanımda olan, moral ve motivasyon desteği için desteğini esirgemeyen Melike Yalın ve Dilara Boylu 'ya; tez yazma sürecinde moral ve motivasyon desteği için Büşra Kaygısız'a içtenlikle teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Molar dişler, kompleks okluzal morfolojileri ve ağızdaki posterior konumları nedeniyle çürüğe karşı daha hassastır ve genellikle endodontik ya da protetik girişim gerektiren ciddi doku kayıplarıyla karşı karşıya kalırlar (Ottl & Lauer, 1998). Endodontik tedavi uygulanmış dişlerin restorasyonu, uzun dönemli başarılarının belirsizliği nedeniyle klinik açıdan hâlen önemli bir zorluk oluşturmaktadır (Mannocci vd., 2022). Bu belirsizliğin temel nedeni ise büyük ölçüde mevcut diş dokusunun miktarı ve yapısal kalitesiyle ilişkilidir (Al-Nuaimi vd., 2017; Mannocci vd., 2022; Rayyan vd., 2019).

Günümüzde, komplikasyon riskini en aza indirmek amacıyla, endokronlar ve indirekt onley restorasyonlar gibi post kullanılmayan restoratif yöntemler, endodontik tedavi görmüş dişlerde post yerleştirilmesine kıyasla daha sık tercih edilmektedir (Mannocci vd., 2022). Koronal yapının ciddi oranda zayıfladığı vakalarda bu tip restorasyonların yeterli retansiyon ve biyomekanik dayanıklılık sağlaması güçleşebilir. Özellikle koronal duvar kaybının ileri seviyede olduğu dişlerde, destek yüzeyinin yetersizliği restorasyonun başarısını olumsuz yönde etkileyebilir (Patel vd., 2024, 2025). Literatür, koronal duvarlarını tamamen kaybetmiş endodontik tedavili dişlerde (Naumann vd., 2018) hatta yalnızca tek bir duvarı korunan vakalarda bile (Ferrari vd., 2022) post yerleştirilmesinin önerildiğini bildirmektedir. Bu nedenle, belirli klinik koşullarda post uygulaması hâlâ geçerli ve gerekli bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir.

Özellikle fiber post sistemleri, ciddi koronal madde kaybı bulunan endodontik tedavili dişlerde hem dişin ömrünü uzatmak hem de kırılma direncini artırmak amacıyla yaygın biçimde tercih edilmektedir (Sequeira-Byron vd., 2015). Bununla birlikte, post-kor restorasyonlarının prognozu; postun uzunluğu, çapı ve yerleşim pozisyonu gibi kritik değişkenlerden etkilenmektedir (Zicari vd., 2013). Post boşluğunun hazırlanması, klinik olarak gerekli görüldüğünde dahi dentin dokusuna invaziv bir müdahale anlamına gelir. Rijit frezlerin kullanımı, kayda değer miktarda dentin kaybına yol açmakta ve bu durum hem lateral perforasyon hem de dikey kök kırığı riskini artırmaktadır. Yetersiz kalan dentin kalınlığı ise dişin uzun dönem prognozu olumsuz etkileyebilmektedir (Chen vd., 2020; Tan vd., 2022).

Çeşitli araştırmalar, post boşluğu hazırlığı sonrasında en az 1–2 mm çevresel dentin kalınlığının korunması gerektiğini vurgulamaktadır (Gluskin vd., 1995; Tjan & Whang, 1985). Ancak, yapılan çalışmalar hem kök kanal tedavisinin hem de post boşluğu preparasyonunun kalan dentin kalınlığını belirgin biçimde azalttığını ortaya koymuştur (Pilo vd., 2008). Postun çapı ve uzunluğu arttıkça retansiyon kuvveti artmakta, ancak bu durum daha fazla dentin kaybına neden olarak perforasyon ve kök fraktürü riskini artırmaktadır. Bir araştırmada, mandibular birinci molarların distal kanallarında post boşluğu hazırlığı sırasında daha geniş çaplı frezlerin kullanımının vakaların yaklaşık %25’inde perforasyona yol açtığı bildirilmiştir (Chen vd., 2020). Benzer şekilde, Kuttler ve ark. mandibular molarlarda perforasyon riskinin yüksekliğine dikkat çekmiş ve preparasyonun yalnızca endodontik olarak şekillendirilmiş kanal boşluğu ile sınırlandırılmasını tavsiye etmiştir (Kuttler vd., 2004). Maksiller molarlarda ise palatinal köklerde yapılan post preparasyonunun kök perforasyonuna veya apikal üçte birlik bölgede yapısal zayıflığa neden olabileceği belirtilmiştir (Souza vd., 2011).

Post boşluğu açıldıktan sonra geriye kalan dentin kalınlığının değerlendirilmesi, klinisyenlerin olası kök fraktürü riskini öngörmelerine katkı sağlayabilir. Bu amaçla farklı teknikler tanımlanmış olup; radyografik ölçümler (Souza vd., 2008), konik ışınli bilgisayarlı tomografi (Katz & Tamse, 2003; Tan vd., 2022) ya da kesit alma teknikleri (Leseberg & Montgomery, 1991) kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerin çoğu geri döndürülemez nitelikte olup hatalara açıktır ve aynı örnek üzerinde preparasyon öncesi ve sonrası ölçümlerin yapılmasına imkân tanımaz. Buna karşılık, mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanımı, örnek seçiminde ve grupların dağılımında standardizasyon sağlayarak bulguların güvenilirliğini artırmaktadır (De-Deus vd., 2020). Mikro-BT, yüksek çözünürlüklü ve tahribatsız görüntüleme olanağı sunarak, kalan dentin kalınlığının hem preparasyon öncesi hem de sonrası dönemde hassas biçimde ölçülmesine imkân tanır. Ayrıca, karşılaştırılabilir başlangıç boyutlarına sahip örneklerin seçilmesine olanak sağlayarak homojen çalışma gruplarının oluşturulmasına katkıda bulunur (De-Deus vd., 2020).

Bu doğrultuda, mevcut çalışma, mikro-BT yöntemi ile farklı çaplarda post frezlerinin maksiller ve mandibular molar dişlerde kalan dentin kalınlığı üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Perforasyon ve kök kırığı riskini azaltmaya yönelik ideal post frez boyutuna dair kapsamlı verilerin sınırlı olması dikkate alındığında, bu çalışmadan elde edilen bulguların klinisyenler için önemli bir yol gösterici olacağı ve mevcut literatüre anlamlı katkılar sağlayacağı öngörülmektedir. Çalışmanın sıfır hipotezi, post boşluğu hazırlığında kullanılan frez çapının maksiller ve mandibular molar dişlerde kalan dentin kalınlığı üzerinde etkisinin bulunmadığıdır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Kök Kanal Tedavisi Amacı

Kök kanal tedavisinin amacı, kanalın kemomekanik olarak temizlenmesinden sonra biyolojik uyumluluğu yüksek bir dolgu materyali ile kapatılmasıdır. Bu işlem, kanalın tekrar enfekte olmasını önlenir (Schilder & Hargreaves, 2006). Tedavinin başarısı, temizleme sırasında tüm kanal sistemindeki nekrotik dokuların ve mikroorganizma kalıntılarının tamamen uzaklaştırılmasına ve sonrasında bu sisteme yeniden kontaminasyonun önlenmesine bağlıdır (Torabinejad & White, 2016).

Endodontik tedavi aşağıdaki durumlarda uygulanmaktadır:

- Nekrotik dişler ve geri dönüşümsüz pulpitis vakaları,
- Travma veya abrazyon gibi nedenlerle pulpanın açıldığı ve direkt pulpa kuafajı ya da amputasyonun uygulanamadığı haller,
- Daha önce yapılan direkt pulpa kuafajı veya amputasyon tedavisinin başarısız olması,
- İyatrojenik etkenlere bağlı gelişen pulpa inflamasyonları,
- İnternal rezorpsiyon vakaları,
- Şiddetli kron harabiyeti nedeniyle kök kanallarından destek alınması gereken dişler,
- Periradiküler dokuların iltihabı ile karakterize hastalıklar (Çalışkan, 2006).

2.2 Kök Kanal Tedavisinde Restorasyon

Kök kanal tedavisinin başarısız olmasına neden olan en önemli unsurlardan biri, koronal ve apikal bölgelerde meydana gelen mikrosızıntıdır (Roda & Geuleman, 2011). Tedavi tamamlandıktan sonra, kalıcı ya da geçici restorasyonlarda sızıntı oluşması, restorasyonun kırılması veya düşmesi, diş dokusunda oluşan çatlak ya da kırıklar, sekonder çürükler ve preparasyon sırasında yapılan hatalara, bağlı apikal sızdırmazlığı bozarak tedavi sonucunu olumsuz yönde etkiler (Ray & Trope, 1995).

Endodontik tedavi uygulanmış 1010 dişin radyografik incelemesinde, kök kanal dolgusu ve koronal restorasyon kalitesinin periapikal lezyon oluşumuyla ilişkisi araştırılmıştır. Bulgulara göre hem endodontik tedavinin hem de koronal restorasyonun kaliteli olduğu durumlarda başarı oranı %91.4 iken; her ikisinin de

yetersiz olduğu dişlerde bu oran %18.1'e düşmüştür. İyi yapılmış bir kanal tedavisine rağmen restorasyonun kötü olması halinde başarı %44.1 iken; zayıf bir kanal tedavisine karşın kaliteli koronal restorasyon varlığında başarı oranı %67.6 olarak rapor edilmiştir. Sonuç olarak, koronal restorasyon kalitesinin periapikal lezyon gelişimini anlamlı ölçüde azalttığı ve başarısının endodontik tedavinin kalitesinden dahi daha belirleyici olduğu vurgulanmıştır (Ray & Trope, 1995).

Dolayısıyla, kanal tedavisi uygulanmış dişlerin uzun dönem prognozu, üzerine yapılacak koronal restorasyonla doğrudan ilişkilidir (Gillen vd., 2011). Uygun olmayan restorasyonlar, kanal tedavili dişin kaybına neden olabilir. Bu nedenle doğru tedavi planının yapılması, mevcut diş dokusunun miktarı dikkate alınarak restorasyon seçeneklerinin değerlendirilmesi gerekir. Özellikle madde kaybı fazla olan endodontik tedavili dişlerde, en sık başvurulanan yöntemlerden biri kanal içi post uygulamasıdır (Sorensen & Martinoff, 1984). Post-kor restorasyonlarla kalan diş yapısı desteklenerek retansiyonun artırılması hedeflenir (Goracci & Ferrari, 2011).

Ancak post kullanımı, fraktür veya perforasyon gibi komplikasyonlara yol açabilir (Heydecke vd., 2001). Bu tür riskleri en aza indirmek için post uygulamasında şu hususlara dikkat edilmelidir (Fernandes vd., 2003):

- Yeterli retansiyon sağlanmalı ve gereksiz dentin uzaklaştırılmamalıdır.
- Elastisite modülü dentine yakın olan postlar seçilmelidir.
- Fonksiyonel streslerin kök boyunca dengeli dağılımı sağlanmalıdır.
- Post, çevre dokular ve diş ile biyouyumlu olmalıdır.
- Yerleştirme ve simantasyon sırasında minimal stres uygulanmalıdır.
- Post, kullanılacak kor materyali ile uyumlu olmalıdır.
- Eğer dişin periapikal durumu açısından herhangi bir belirsizlik yoksa, koronal restorasyonun hemen yapılması tercih edilir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda tedavi, periapikal iyileşmenin radyografik olarak gözlenmesine kadar ertelenirse; koronal sızıntı çürük, kırık veya periodontal problemler gelişebilir (Saunders & Saunders, 1994). Dişin restorasyonu uzun ve maliyetli olabileceğinden, kök kanal dolgusu, periapikal durum, klinik ve radyografik bulgular dikkatle değerlendirilmelidir. Uzun dönem

prognozun doğru yorumlanması kritik öneme sahiptir. Kanal dolgusunun prognozunda şüphe varsa, tedavi mutlaka yenilenmelidir.

2.3 Koronal Sert Doku Kaybı Klinik Önemi

Postun retansiyon ve direnci çürük veya eski restorasyonlar uzaklaştırıldıktan sonra kalan sert doku miktarına bağlıdır. Ön grup dişlerde bir ya da iki duvarın, arka grup dişlerde ise en az iki komşu proksimal duvarın kaybı, post uygulanmasını gerekli kılar. Ancak sadece postla sağlanan tutuculuk klinik açıdan yüksek risk taşır. Bu bulgular ışığında koronal sert dokular korunmalı ve post retansiyonun, desteklenmesine yardımcı olacak şekilde planlanmalıdır (Fernandes vd., 2003).

2.4 Diş Yapısının Kuvvet Dağılımı ve Stres Alanları

Bir dişin restoratif onarımında kullanılacak yöntem; kron ve kök bölgesinde kalan sağlam doku miktarı, dişin morfolojisi, çenedeki konumu, kökün uzunluğu, kanal şekli, fonksiyonel kuvvetler, seçilecek materyalin biyouyumluluğu, kor tutuculuğu, planlanan restoratif sistemin sökülebilirliği, kron materyali, kökün çevresindeki kemik desteği ve estetik gereksinimler dikkate alınarak belirlenir. Kalan diş dokusunun miktarı ve özellikleri ayrıntılı şekilde değerlendirilmelidir. Sert doku kaybı arttıkça tutuculuğu sağlayacak yapı miktarı azalır ve restorasyonun yer değiştirme kuvvetlerine maruz olan yüzey alanı genişler. Ayrıca zayıflamış yapılar fonksiyonel yüklere karşı daha düşük direnç gösterir. Özellikle tüberkül, marjinal sırt ve transversal sırt kayıpları ile okluzal anomaliler (çapraz kapanış, rotasyon, eğim, ekstrüzyon, intrüzyon) restorasyon başarısını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bunun yanı sıra, yapılacak restorasyonun oklüzyondaki statik ve dinamik ilişkilerinin değerlendirilmesi amacıyla hem bölgesel hem de genel çiğneme sistemi analiz edilmelidir.

Restoratif yöntem seçilmeden önce, çiğneme sırasında oluşabilecek başarısızlıkları önlemek için dişlerde kuvvetin yoğunlaştığı bölgelerin bilinmesi önemlidir. Her dişin kendine özgü stres bölgeleri vardır.

Arka grup dişlerde zorlanma alanları:

- a. Fonksiyonel tarafta tüberkül tepeleri basınç kuvvetlerinin etkisindedir.
- b. Marjinal ve transversal sırtlar hem çekme hem basma kuvvetlerinden etkilenir.
- c. Aksiyal açılar, fonksiyonel olmayan tarafta çekme ve kayma, fonksiyonel tarafta ise basma ve kayma kuvvetlerinin etkisi altındadır.
- d. Klinik kron ile klinik kök arasındaki birleşim noktası kayma gerilimine uğrar.
- e. Okluzal, fasiyal veya lingual konkavitelere, karşıt tüberkül temasları basınç yükleri yoğunlaşır.

Bunun dışında, bifurkasyon ve trifurkasyon bölgeleri, derin kavitelere dentin köprüleri, kanal tedavili dişlerde pulpa odası tabanı ve mevcut çatlaklar da kırılma açısından zayıf bölgeler olarak tanımlanmaktadır (Brătoiu vd., 2025; Hisham Mohamed vd., 2023).

Dişin maruz kaldığı okluzal kuvvetler; dişin tipi, lokalizasyonu, komşu dişlerin varlığı, fonksiyonel görevleri, protez desteği ve kişinin okluzal alışkanlıklarına göre değişiklik gösterir.

Literatürde yapılan çalışmalar, post yerleşiminde stres dağılımına ilişkin bazı önemli bulgular ortaya koymuştur. En yüksek stresin apeks ve servikal bölgede yoğunlaştığı ve bu nedenle dentin dokusunun bu bölgelerde korunmasının kritik olduğu bildirilmiştir (Çelik vd.,2025). Post uzunluğu arttıkça stresin azaldığı, paralel postların konik postlara kıyasla stresi daha homojen dağıttığı belirtilmiştir (Çelik vd., 2025; M vd., 2025). Ayrıca, keskin köşe ve açılarının stres yoğunluğunu artırdığı, siman çıkış yolu bulunmayan post tasarımlarında stres konsantrasyonunun yükseldiği ve özellikle vidalı postların hem yerleştirme sırasında hem de fonksiyonel yük altında yüksek stres değerlerine yol açtığı vurgulanmaktadır (M vd., 2025).

2.5 Post Seçimi

Endodontik tedavi görmüş çok köklü dişlerde hangi köke post yerleştirileceğine karar vermek klinik açıdan güç olabilir. Genel yaklaşım, postun en fazla diş dokusu kaybı bulunan köke yerleştirilmesidir. Ancak alt molarların mezial kökleri ile üst molarların bukkal kökleri genellikle dar ve eğimli olduklarından, bu bölgelerde uygun uzunluk ve genişlikte post boşluğu hazırlamak çoğu zaman zordur. Bu nedenle genellikle alt molarlarda distal kanal, üst

molarlarda ise palatinal kanal post yerleştirilmesi tercih edilmektedir (Abou-Rass vd., 1982).

Post boşluğu hazırlığı, Peeso frezleri, Gates-Glidden frezleri veya benzeri döner aletlerle manuel ya da mekanik olarak yapılabilir. Ancak, hangi alet seçilirse seçilsin, kök yapısında perforasyon ya da stripping şeklindeki iatrojenik komplikasyonlar gelişebilir (Abou-Rass vd., 1982).

Abou-Rass ark. (1982) yaptığı çalışmalarda, Peeso frez boyutu ile perforasyon sıklığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmamasına rağmen, mezial kanalların distal duvarında 20 defa perforasyon ve stripping olduğu gözlenmiştir (Abou-Rass vd., 1982). Perforasyon ve stripping vakalarının en yoğun görüldüğü bölge, “danger zone” olarak adlandırılmıştır (Meister vd., 1979). Dolayısıyla, perforasyon riskini azaltmak amacıyla post yerleştirilmesinin çoğunlukla distal kanallarda tercih edilmesi önerilmektedir.

2.6 Post Yerleştirilecek Dişlerde Tedavi Planlaması

Post yerleştirilmesi planlanan dişlerde, restorasyonlara geçilmeden önce güvenilir ve başarılı bir kök kanal tedavisinin varlığı ön koşuldur. Bu nedenle, daha önce kanal tedavisi görmüş ya da tedavi sonrası restorasyon aşamasına geçilecek dişlerde şu kriterler yeniden değerlendirilmelidir (Stephen F. Rosenstiel vd., 2022). Öncelikle apikal tıkanmanın tam olarak sağlanmış olması, perküsyonda hassasiyet bulunmaması ve kanaldan eksüdasyon gözlenmemesi önemlidir. Gutta-perka kanal dolgusu çevresinde boşluk bulunmamalı, apikal veya lateral periodontal dokularda inflamasyon belirtileri izlenmemelidir. Yetersiz kanal dolgusu saptanan olgularda, prognozda şüphe olmadığı sürece yeniden tedavi yapılmalı, ancak sonrasında post uygulamasına geçilmelidir. Ayrıca kalan klinik kron yüksekliği, subgingival çürük varlığı, lamina dura bütünlüğü ve kemik dokusunda rezorpsiyon bulguları değerlendirilmelidir. Kök morfolojisinin olası komplikasyonlar açısından analizi, post yuvası açılmadan önce yapılmalı; hastanın okluzal ilişkileri ve çiğneme dinamikleri de tedavi planına entegre edilmelidir (Karobari vd., 2025).

2.7 Post Seçiminde Dikkate Alınacak Kriterler

Post uygulaması ve seçimi şu başlıklar altında değerlendirilmelidir:

- Koronal sert doku kaybı miktarı
- Kök morfolojisi ve uygun kökün seçimi
- Post boşluğunun hazırlanması
- Post boşluğunun kalan kök dolgusuna etkisi
- Postun derinliği
- Post çapı
- Post yüzey özellikleri
- Stres dağılımı ve çığneme kuvvetlerinin aktarımı
- Ferrule etkisi
- Kullanılan post materyallerinin fiziksel özellikleri
- Korozyon riski
- Post yapıştırmada tercih edilen siman tipi
- Kor materyalinin özellikleri

2.8 Post Boşluğunun Hazırlanması

Gutta-perkanın uzaklaştırılması için iki yöntem kullanılmaktadır:

Fiziksel yöntemler: Isıtılmış kanal sondaları, çeşitli el aletleri veya döner enstrümanlarla yapılan uygulamalar.

Gutta-perkanın mekanik olarak uzaklaştırılması en etkili yöntemlerden biridir. Bu amaçla uç kısmı kesmeyen frezler, özellikle Gates-Glidden ve Peeso frezleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Barker, 1963; Goerig & Mueninghoff, 1983; Gutmann, 1977). Bu tip aletler dirençsiz yolu izleyerek perforasyon ya da zip oluşumu riskini azaltır.

Mekanik yöntemlerin gutta-perkayı daha etkili uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Bunun nedeni döner aletlerin çevresinde oluşan çekme kuvvetidir (Jeffrey & Saunders, 1987). Ancak mekanik yöntem stripping ve lateral perforasyon riskini de artırabilir; bu nedenle uç kısmı kesmeyen frezlerin tercih edilmesi gerekir. Isı

yöntemi temel yaklaşım olarak kabul edilmektedir, mekanik yöntem ise ısının tek başına yeterli olmadığı durumlarda kullanılmalıdır (Goerig & Mueninghoff, 1983).

Kimyasal yöntemler: Çözücü ajanlar yardımıyla gutta-perkanın çözülmesi sağlar. Kloroform, ksilen, okaliptüs yağı ve terebentin yağı gibi çözücüler kullanılır.

En etkili ajanların kloroform ve işlenmiş terebentin olduğu bildirilmiştir (Kaplowitz, 1990). Ancak kloroform ve ksilen toksik ve potansiyel olarak karsinogenik maddelerdir (Brodin vd.,1982; Kaplowitz, 1990). Metil kloroform daha az toksik olup iyi bir çözücü olarak rapor edilmiştir (Wennberg & Ørstavik, 1989). İşlenmiş terebentin yağı ise güvenilirliği nedeniyle en uygun seçeneklerden biri olarak değerlendirilmektedir. Ancak çözücülerin kullanımı, gutta-perkanın boyutsal değişimine ve sızıntının artmasına yol açabilmektedir (Bourgeois & Lemon, 1981; Mattison vd., 1984).

Eski gutta-perka dolguları daha sert olduğundan uzaklaştırılmadan önce ısıtılarak yumuşatılmaları gerekir. Termal yöntemler daha güvenli olmakla birlikte dar kanallarda kullanılan ince pluggerların hızlı ısı kaybetmesi ve geniş miktarda materyalin uzaklaştırılmasındaki güçlükler bu yöntemin etkinliğini sınırlayabilmektedir (Haddix vd., 1990). Bu yöntemde ısıtılan aletin kanala fazla apikal basınç uygulanmadan indirilmesi gereklidir.

2.9 Ferrule

Servikal bölgede diş dokusunu çepeçevre saran ferrule, restorasyonun kırılmalara karşı dayanıklılığını artıran önemli bir yapısal unsurdur. Yalnızca kor materyali ile oluşturulan ferrulelerin genellikle yeterince etkili olmadığı, buna karşın kuronun servikalde genişleyerek apikalden kor'a kadar devam eden ferrule yapılarının dişlerin kırığa karşı daha yüksek direnç sağladığı bildirilmektedir. Özellikle 1 mm'den fazla sağlam diş dokusunu çevreleyen ferrule varlığı, kırık riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte, tüm çevre boyunca 2 mm'den daha fazla diş dokusunu içine alan ferruleler, yalnızca belirli alanlarda sağlanan ferrulelere kıyasla çok daha yüksek düzeyde kırık direnci kazandırmaktadır (Ng vd., 2006; Tan vd., 2005).

2.10 Postun Yerleştirme Derinliği

Normal periodontal desteği bulunan bir dişte post uzunluğu için genel kabul gören ölçütler şunlardır:

- Kök uzunluğunun yaklaşık üçte ikisi,
- Klinik kron boyuna eşit ya da daha uzun,
- Kökün kemikle desteklenen yarısı kadar.

Post uzunluğu klinik krona eşit ya da daha uzun olduğunda, rotasyon merkezi daha apikale taşınmakta ve kuvvetlerin dağılımı daha homojen hale gelmektedir. Daha derine yerleştirilen post hem retansiyonu hem de kök yüzeyinde stres dağılımını artırmaktadır (Krupp vd., 1979). Bununla birlikte, postun kanalın büyük bölümünü kaplaması, apikal sızdırmazlığı olumsuz etkileyebilir. Ayrıca paralel postların apikal daralma nedeniyle dentini zayıflatma riski bulunmaktadır.

Krupp ve ark. (1979) postun derinliğinin, retansiyonun en önemli belirleyicisi olduğunu bildirmiştir. Standlee ve ekibi ise postun uzunluğunun tutuculuğu etkilediğini, ancak post formunun etkisinin daha sınırlı olduğunu belirtmiştir (Standlee vd., 1978).

2.11 Post Çapı

Vertikal kök kırıklarının başlıca nedeni, kök kanallarının aşırı genişletilmesi ve post yuvası açılırken fazla miktarda dentin kaybı olmasıdır. Post çapı, yerleştirme derinliği kadar önemlidir bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Bazı araştırmacılar post çapının retansiyona önemli katkısı olmadığını belirtirken Johnson ve Sakumura post çapı büyüdükçe retansiyonun %24'e kadar arttığını rapor etmiştir (Johnson & Sakumura, 1978).

Çap seçimi, sağlam dentini koruyacak şekilde yapılmalıdır. Hanson ve Caputo (1974), orta boyuttaki postların (0,06 inç) en iyi retansiyonu sağladığını bildirmiştir (Hanson & Caputo, 1974). Kurer ve ark. (1977) ise çapın olabildiğince küçük tutulmasının kök kırığı riskini azalttığını ve dentin kaybını önlediğini savunmuştur (Kurer vd., 1977).

Aşırı genişletilen kanallar, dentin kaybı nedeniyle dişi zayıflatır ve fonksiyonel kuvvetler altında kırıklara yol açabilmektedir (Tjan & Whang, 1985).

Sonuç olarak, post çapının retansiyona etkisi sınırlıdır (Standlee vd., 1978). Küçük çaplı postların hem daha güvenli hem de daha koruyucu olduğu kabul edilmektedir.

2.12 Postların Yüzey Özellikleri

Postların tutuculuk performansı, yüzey tasarımları ve yapıştırma yöntemleriyle doğrudan ilişkilidir (Kurer vd., 1977). Yüzeyler düz, dişli, yivli, paralel ya da konik olabilir. Pasif retansiyon siman aracılığıyla sağlanırken, aktif retansiyon vida veya yivlerle dentine doğrudan temasla gerçekleşmektedir.

Yivli postlar en yüksek tutuculuğu sağlarken, bunları dişli ve ardından düz yüzeyli postlar izlemektedir (Standlee vd., 1978). Paralel postlar, konik olanlara kıyasla daha yüksek retansiyon sağlamaktadır. Uca doğru inceleme arttıkça retansiyon azaldığı belirtilmiştir (Johnson & Sakumura, 1978). Klinik uygulamalarda ise düz yüzeyli postların tatmin edici sonuçlar verdiği de bildirilmiştir (Weine vd., 1991). Bununla birlikte, özellikle uca doğru incelen konik-yivli postlarda en yüksek başarısızlık oranları rapor edilmiştir (Sorensen & Martinoff, 1984).

2.13 Postların Sınıflandırılması

Endodontik postlar genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Cohen vd., 1992):

Döküm postlar (custom-cast posts)

Kişiye özel olarak laboratuvarında hazırlanırlar.

Yüksek uyum ve dayanıklılık sağlarlar, ancak maliyetli ve zaman alıcıdır.

Prefabrik postlar

Fabrikasyon üretimdir ve klinikte doğrudan uygulanabilir.

İki alt gruba ayrılır:

Pasif retansiyonlu postlar: Siman aracılığıyla tutunurlar.

Aktif retansiyonlu postlar: Vida veya yivler aracılığıyla dentine mekanik olarak tutunurlar.

2.14 Fiber takviyeli Kompozit Postlar

Endodontik tedavi uygulanmış dişlerde nem oranı vital dişlere kıyasla yaklaşık %10 daha düşüktür (Papa vd., 1994). Bununla birlikte, bu değişiklik elastisite modülü (Young modülü), sertlik veya kırılma direnci gibi mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etki oluşturmamaktadır (Sedgley & Messer, 1992). Çürük lezyonları, önceki restorasyonlar veya endodontik tedavi sırasında meydana

gelen sert doku kaybı, dişin yük taşıma kapasitesini azaltan başlıca faktörler olarak kabul edilmektedir (Strub vd., 2001; Trope vd., 1985).

Son yıllarda, biyomimetik bir yaklaşımla, adeziv tekniklerin avantajlarını esnek fiber takviyeli materyallerle birleştiren yeni restoratif yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntem, restoratif materyaller ile diş sert dokuları arasındaki yapısal uyumu artırmayı hedeflemektedir ve kök kanal tedavisinde sıklıkla göz ardı edilen adeziv yapıştırma tekniklerinin kullanımını da içermektedir (Stockton vd., 1998).

Diş renginde post ihtiyacına yanıt olarak karbon fiber epoksi rezin (CFR), cam fiber destekli epoksi rezin (GFR), ultra yüksek dayanımlı polietilen fiber (PFR) ve zirkonya gibi metalik olmayan postlar geliştirilmiş ve popüler hale gelmiştir.

Bu postlar paralel kenarlı, konik, düz veya vidalı gibi farklı tasarımlarda üretilmektedir. Cam fiber postların Young modülünün dentine yakın olması, karbon fiber, altın alaşımları ya da seramik postlara kıyasla en önemli avantajı olarak belirtilmektedir (Bae vd., 2001).

Sert metal postlar, lateral kuvvetleri doğrudan dentine ileterek kök kırıklarına yol açabilmektedir. Buna karşın fiber postlar elastik yapıları sayesinde gelen yük altında hafif esneyerek post ve dentin arasındaki stres dağılımını dengeler. Bu durum diş yapısının korunmasını destekleyen olumlu bir klinik sonuç sağlar (Bateman vd., 2003; Cormier vd., 2001; Newman vd., 2003).

Fiber postlar, rezin matris içine gömülü fiberlerden oluşur. Matris genellikle iki işlevli metakrilat monomerlerinden (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA) oluşmakla birlikte epoksi rezinler de kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan fiber postlarda lifler çoğunlukla karbon, cam, silika veya kuvarstan üretilmektedir. Ancak fiberin ve matrisin türü, hacim oranı ve düzenliliği üreticiye özgüdür ve farklı sistemler arasında değişiklik gösterir. Bu üretim farklılıkları, yorulma direnci testlerinde fiber post sistemleri arasında gözlenen performans farklılıklarını açıklamaktadır (Grandini vd., 2005). Liflerin çapı genellikle 7–20 µm arasında değişmekte olup, örgülü veya uzunlamasına dizilim gibi çeşitli konfigürasyonlarda kullanılabilir. İlk jenerasyon fiber postlar karbon fiber içerirken, günümüzde kuvars fiber postlar uygun mekanik özellikleri, estetik avantajları ve polimer matrisine kimyasal bağlanabilme özellikleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Duret vd., 1990).

Yapılan çalışmalar, cam, silika veya kuvars fiber postların fleksural dayanımlarının yaklaşık 1000 MPa, elastisite modüllerinin ise 23 GPa civarında olduğunu bildirmiştir (D'Arcangelo, D'Amario, vd., 2007).

Modern fiber postlar radyoopak özelliktedir ve rezin simanların polimerizasyonunu sağlamak için ışığı iletebilirler. Işığı ileten postlar, kök kanalının apikal bölgelerinde daha iyi polimerizasyon sağlayarak rezinin sertlik değerlerini yükseltmektedir (Roberts vd., 2004; Yoldas & Alaçam, 2005).

Post-kor siman arayüzünde bağlanmayı güçlendirmek için post yüzeyine silan uygulaması veya kumlama gibi çeşitli ön işlemler önerilmiştir. Ancak silanizasyon, hidroflorik asit ile aşındırma veya Al_2O_3 (30–50 μm) ile kumlamanın fiber postların mekanik özelliklerini değiştirmediği bildirilmiştir (Balbosh & Kern, 2006).

2.15 Koronal Diş Yapısı Kayıplarının Sınıflandırılması

Koronal doku kayıplarının sınıflandırılması konusunda kesin bir görüş birliği yoktur. Literatürde önerilen sınıflamalar; diş tipi, anatomik ve fiziksel özellikler, restorasyon türü, ara yüz temasları, stres faktörleri, okluzal anomaliler, alveolar kemik kaybı gibi parametreler farklı düzeylerde ele almaktadır.

Postun tutuculuk fonksiyonu, çürük veya eski restorasyon kaldırıldıktan sonra kalan sağlam dokuya bağlıdır. Buna göre post uygulaması:

Ön dişlerde bir veya iki duvar kaybında,

Arka dişlerde iki veya daha fazla proksimal duvar kaybında, gerekli kabul edilmektedir. Ancak tutuculuğun yalnızca postlarla sağlanması riskli olduğundan, mutlaka yan duvar, aksiyal yüzey veya ikinci bir post gibi destekleyici unsurlar ile güçlendirilmesi önerilmektedir.

Peroz ve ark. (2005), kalan duvar sayısına göre dişleri beş sınıfa ayırmıştır (Peroz vd., 2005):

I. sınıf: Sadece giriş kavitesi açılmış, dört duvarı sağlam dişler,

II. sınıf: Bir duvarı kayıp dişler,

III. sınıf: İki duvar kayıplı dişler,

IV. sınıf: Tek duvarı kalmış dişler,

V. sınıf: Koronal yapısı tamamen kaybolmuş dişler.

Araştırmacılara göre IV. ve V. sınıf dişler mutlaka post gerektirir.

Bandlish ve ark. (2006) dişleri altı bölgeye ayırarak onarılabilirlik endeksi geliştirmişlerdir (Bandlish vd., 2006). Bu endeks, kalan duvarların yüksekliği ve kalınlığına göre üç düzeyde değerlendirilir. Skor 10'dan düşükse postsuz restorasyonların uygun olmadığı bildirilmiştir.

Arka dişlerde giriş kavitesi açılması zayıflatıcı etkiye sahip olsa da marjinal sırtların korunduğu olgularda geleneksel restorasyonlar olabileceği belirtilmiştir. Ancak aşırı doku kaybı varsa tüberkül örtücü restorasyonların yapılması önerilmektedir (Ricketts vd., 2005).

Molar dişleri çürüğe daha yatkın olup hem endodontik hem de protetik açıdan restore edilmeleri gerekebilir (Ottl & Lauer, 1998). Bu dişlerin restorasyonu, uzun dönem prognozlarının belirsizliği nedeniyle dikkatle değerlendirilmelidir. Bu belirsizlik, büyük ölçüde kalan diş dokusunun miktarı ve kalitesinden etkilenmektedir (Rayyan vd., 2019; Silva-Sousa vd., 2020). Günümüzde post kullanılmayan restorasyonlar, özellikle endokronlar ve indirekt onleyler, komplikasyon riskini azaltmak amacıyla öne çıkan seçeneklerdir. Ancak ciddi koronal doku kaybı olduğunda, bu restorasyonların başarılı olabilmesi için yeterli yüzey alanı ve mekanik destek sağlanamayabilir.

Koronal madde kaybı ileri düzeyde olan endodontik tedavili dişlerin biyomekanik performansını değerlendiren laboratuvar ve modelleme çalışmaları yapılmış olsa da en uygun restoratif yöntem konusunda halen tam bir görüş birliği bulunmamaktadır (Biacchi & Basting, 2012; Dejak & Młotkowski, 2013; Guo vd., 2016).

Minimal invaziv veya biyomimetik yaklaşımların klinik geçerliliği henüz randomize klinik çalışmalarla yeterince kanıtlanmadığı için bu yöntemlerin yaygın kullanımı sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık koronal duvarı tamamen kaybolmuş dişlerde (Naumann vd., 2018) veya yalnızca tek duvarı kalan olgularda (Ferrari vd., 2022) post yerleştirilmesi halen gerekli ve kimi zaman zorunlu bir tedavi seçeneği olmaya devam etmektedir.

Fiber post uygulamaları, koronal harabiyeti fazla olan dişlerin dayanıklılığını ve uzun süre ağızda kalma şansını artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Sequeira-Byron vd., 2015). Bunun yanında, postun uzunluğu, çapı ve yerleşim yeri de prognoz üzerinde önemli rol oynamaktadır. Koronal dokunun ciddi ölçüde kaybedildiği olgularda post destekli restorasyonlar, dişin daha uzun süre ağızda kalmasına katkı sağlayabilir (Zicari vd., 2013).

Post boşluğu preparasyonu oldukça invazivdir ve rijit drillerin kullanımıyla fazla miktarda dentin kaybına yol açabilmektedir. Post sonrası kökün dayanıklılığı, kalan dentin kalınlığına bağlıdır (Chen vd., 2020; Tan vd., 2022). Yetersiz dentin kalınlığı, uzun dönem prognozu olumsuz etkileyebilir (Tan vd., 2022). Literatürde, post boşluğu hazırlığı sonrası en az 1 mm dentin kalınlığının korunması gerektiğini belirtmektedir (Caputo & Standlee, 1976; Gluskin vd., 1995; Pilo & Tamse, 2000; Raiden & Gendelman, 1994). Ancak yapılan çalışmalar hem kanal tedavisinin hem de post preparasyonunun kalan dentin kalınlığını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur (Pilo vd., 2008).

Kalan dentin kalınlığının klinik önemi iki başlık altında değerlendirilebilir:

1.Perforasyon riski: Post hazırlığı sırasında lateral perforasyon oluşabilir. Bu komplikasyonlar hem prognozu olumsuz etkileyerek cerrahi müdahale veya çekim gibi tedavilere neden olabilir (X. Chen vd., 2020).

2.Vertikal kök kırıkları: Dentin kalınlığı azaldıkça, ısırma kuvvetlerine karşı direnç düşer ve diş, mikroçatlaklar veya vertikal kırıklara daha yatkın hale gelir (Silva vd., 2021; Tsintsadze vd., 2015).

Kullanılan postun kalınlığı ve uzunluğunun retansiyonu artırması klinisyenleri daha büyük boyutlu postlara yöneltebilse de bu yaklaşım dentin kalınlığını azaltarak perforasyon ve kırık riskini artırmaktadır. Mandibular birinci molarların distal köklerinde kalın drill kullanımı, vakaların %25'inde perforasyona yol açtığını bildirmiştir (X. Chen vd., 2020). Benzer şekilde mandibular molarlarda post boşluğu açılırken ciddi perforasyon riski bulunduğunu ve preparasyonun kanal sınırlarıyla sınırlı tutulması gerektiğini vurgulamıştır (Kuttler vd., 2004). Maksiller molarlarda ise palatinal köklerde yapılan post hazırlıkları ise özellikle apikal üçlüde perforasyon veya zayıflamaya neden olabilir (Souza vd., 2011).

Kalan dentin kalınlığının değerlendirilmesi, kök kırığı riskinin öngörülmesinde kritik öneme sahiptir. Bu amaçla Muffle yöntemi (Pilo & Tamse, 2000) radyografik ölçümler (Souza vd., 2008) konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (Katz & Tamse, 2003; A. Y. Tan vd., 2022) ve kesitsel dilimleme yöntemleri (Leseberg & Montgomery, 1991) kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin preoperatif ve postoperatif ölçümlerin aynı örnek üzerinde yapılmasına izin vermez ve grupların homojenliği tam olarak sağlanamaz. Bu da bulguların geçerliliğini sınırlar.

Abou- Rass ve ark. (1982) mandibular ve maksiller molar dişlerde kesitsel inceleme ile post boşluğu sonrası kalan dentin kalınlıklarını değerlendirmiş, mandibular molarlarda dentin kalınlığının 0.7 mm'ye kadar düştüğünü göstermiştir (Abou-Rass vd., 1982). Maksiller molarlarda ise palatinal köklerde hiçbir seviyede 1 mm'nin altına inilmediği bildirilmiştir. Ouzounian ve ark. (1991) mandibular molar distal köklerinde dentin kalınlığının 0.8 mm'nin altına indiğini bulmuşlardır (Ouzounian vd., 1991). Kuttler ve ark. (2004) ise #4 Gates-Glidden frezleriyle yapılan preparasyon sonrası, mandibular molar distal köklerin yalnızca %12.7'sinde 1 mm dentin kaldığını, %40'ında ise 0.5 mm'den az dentin bulunduğunu göstermiştir (Kuttler vd., 2004).

Yakın dönemde KIBT ile maksiller molarların palatinal köklerinde farklı boyut ve derinliklerde post simülasyonları yaparak kalan dentin kalınlığını değerlendirmiştir (Tan vd., 2022). Bulgular, palatinal köklerin bukkal eğimlerinden dolayı perforasyon riskinin yüksek olduğunu ve post boyutu ile derinliği arttıkça kalan dentinin klinik olarak risk oluşturacak düzeyde incelendiğini göstermiştir.

Mikro-bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT), diş anatomisinin iki ve üç boyutlu görüntülenmesine olanak tanıyan, numuneye zarar vermeyen ileri bir yöntemdir. Bu teknik, anatomik yapıların değerlendirilmesinde, endodontik işlemlerin etkisinin incelenmesinde ve kalan dentin kalınlığının ölçülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gu vd., 2013; Mannocci vd., 2005; SM vd., 2013). Mikro-BT sayesinde post preparasyonu öncesi ve sonrası yüksek çözünürlüklü karşılaştırmalar yapılabilmekte, homojen gruplar oluşturulabilmekte ve dentin kayıpları milimetrik hassasiyetle ölçülebilmektedir (Gao vd., 2009, 2015). Bu nedenle mikro-BT ile dentin kalınlığı ölçümlerine olan ilgi giderek artmaktadır (Ordinola-Zapata vd., 2019). Örneklerin zarar görmeden taranabilmesi, homojen grupların kolayca oluşturulabilmesi ve her kesitte dentin kaybının net şekilde ölçülebilmesi bu yöntemin en önemli avantajlarıdır.

2.16 Dentin Anatomisi ve Kritik Bölgeler

Özellikle çok köklü dişlerde, furkasyon bölgesinde meydana gelen perforasyonlar klinik açıdan ciddi zorluklara yol açmaktadır (Meister vd., 1979). Mandibular birinci molarlar, kök kanal tedavisinin en sık uygulandığı dişler arasında yer almakta olup, bu dişlerin anatomik açıdan zayıf bölgelerinin ayrıntılı biçimde anlaşılması tedavi başarısızlıklarının önlenmesine katkı sağlayabilir

(Bolbolian vd., 2023). Daimî mandibular birinci molarların, en erken süren arka dişler olmalarının yanı sıra, kök kanal tedavisine ihtiyaç duyma oranı bakımından %17 ile ilk sırada yer aldığı bildirilmiştir (Zhou vd., 2020). Köklerin, kanal sistemlerinin ve dentin kalınlığının morfolojik farklılıklarının bilinmesi, iatrojenik hataların önlenmesi ve tedavi başarısının artırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır (Heyse vd., 2022). Özellikle kanal duvarı kalınlığı, tedavi sürecinde hayati öneme sahiptir; bu bölgelerde yapılacak hatalar, kök kanal tedavisinin başarısını ciddi biçimde riske atabilmektedir (Tang vd., 2025).

Dentin duvarının ince olduğu alanlarda aşırı preparasyon yapılması strip perforasyonuna yol açabilir. Bu tür perforasyonlarda, kanal duvarında yanal yönde uzanan dikdörtgenimsi bir açıklık meydana gelir ve kanal sistemi, periodontal ligament ile kemik dokusuna doğrudan açılır (Azimi vd., 2020; Heyse vd., 2022). Literatürde “danger zone” olarak tanımlanan bölgeler, dentin kalınlığının giderek azaldığı ve enstrümantasyon sırasında strip perforasyonlarının en sık görüldüğü bölgelerdir (De Sousa vd., 2022; Heyse vd., 2022). Buna karşılık, “güvenli bölgeler” dentin tabakasının daha kalın olduğu ve perforasyon riskinin görece daha düşük olduğu alanları ifade etmektedir (De-Deus vd., 2019; Garcia Filho vd., 2003). Genellikle tehlike bölgeleri, pulpa odası tabanının 4–6 mm altında yer almakta olup (Kessler vd., 1983) minimum distal dentin kalınlığı ise furkasyonun 2-3 mm altında görülmektedir (Keleş vd., 2025). Ayrıca kanal eğriliğinin artmasıyla, tehlikeli bölgelerdeki dentin kalınlığının daha da azaldığı bildirilmektedir (Bolbolian vd., 2023).

Kök kanal preparasyonu sırasında tehlike bölgesi, kanal duvarının en ince olduğu alanları temsil eder ve bu bölgelerde dentin kalınlığı önemli ölçüde azalmaktadır (Keleş vd., 2025). Aşırı genişletilen kanallar, perforasyon gibi komplikasyonlara zemin hazırlayabilir (Keleş vd., 2025). Bu nedenle mekanik enstrümantasyonun temel amacı; enfekte dentini ve biyofilmleri uzaklaştırırken kökün direncini tehlikeye atmadan yeterli dentin kalınlığını korumaktır (Heyse vd., 2022). Anatomik varyasyonların önceden bilinmesi, tedavi sırasında iatrojenik hataların önüne geçebilir. Özellikle iç duvarın ince olduğu bölgelerde yapılan aşırı preparasyon, kritik strip perforasyonlarına sebep olabilmektedir (Heyse vd., 2022).

Mandibular molarlarda, maksiller premolarlarda (Lammertyn vd., 2009) ve daha yakın zamanda maksiller birinci molarların meziobukkal kökünde (Degerness & Bowles, 2010; Ordinola-Zapata vd., 2019) tehlikeli bölgeler tanımlanmıştır. Bu

bilgiler ışığında, dentin kalınlığının daha fazla olduğu güvenli bölgelere doğru yapılan fırçalama hareketleriyle strip perforasyonu riskini azaltmayı amaçlayan “anti-kurvatür” teknikleri geliştirilmiştir (Abou-Rass vd., 1980; Lim & Stock, 1987). Bununla birlikte, dentinin aşırı incilmesi yalnızca perforasyon değil, obturasyon sırasında dikey kök kırıkları için de risk faktörü oluşturmaktadır (Heyse vd., 2022).

Diş boyu ve kök yüzeylerindeki konkavitelerin derinliği de dentin kalınlığı üzerinde etkili olmaktadır. Uzun dişlerde tehlike bölgelerinin daha ince, distal konkavitelerin ise daha derin olduğu rapor edilmiştir (Dwivedi vd., 2014). Dentin kalınlığının en düşük olduğu alanların yalnızca distal değil, bazı durumlarda kanalların yaklaşık %40’ında mezial yüzeylerde de bulunduğu bildirilmiştir (De-Deus vd., 2019).

Kanal eğriliğinin derecesi, konkavitenin yapısı ve kullanılan aletlerin özellikleri, strip perforasyonunun oluşma olasılığı ve yerini belirleyen önemli faktörlerdir. Eğrilik ne kadar belirgin ve koronal seviyede yerleşmişse, aletlerin eğilme stresine maruziyeti o ölçüde artar. Bu durum, özellikle koronal kısımlarda dentin kaybını artırarak riskli alanları daha da zayıflatmaktadır (Tang vd., 2025).

Kök perforasyonları çoğunlukla aşırı dentin uzaklaştırılmasına bağlı gelişmekte ve tedavi başarısını ciddi biçimde olumsuz etkilemektedir (De Sousa vd., 2022). Ayrıca dentin kalınlığının azalması, köklerin daha kırılgan hale gelmesine neden olmaktadır (De Sousa vd., 2022). Endodontik olarak tedavi edilen dişlerin kırılma potansiyeli, çıkarılan dentin miktarıyla orantılı olarak artar (Trabert vd., 1978).

2.16.1 Diş Yapısının Kaybı ve Dayanıklılık

Dişler, yalnızca okluzal kavite hazırlanmasıyla dahi belirgin biçimde zayıflar; uzaklaştırılan doku miktarı arttıkça yapısal dayanıklılık doğrusal olarak azalır. Bir veya her iki marjinal sırtın kaybı, tüberkül rijitliğini düşürerek kırılma eğilimini artıran başlıca etkidir (Hood, 1991; Reeh vd., 1989).

Giriş kavitesinin sağlam dentin duvarlarıyla sınırlı olduğu durumlarda tüberkül dayanıklılığındaki azalma görece sınırlı kalır. Buna karşılık, çürük, travma ya da geniş restorasyonlarla zayıflamış dişlerde (özellikle de komşu marjinal sırtın eşlik ettiği durumlarda) giriş kavitesinin açılması kritik önem kazanır. Gereğinden fazla koronal genişletme, tüberkül kırıklarına karşı duyarlılığı artırmaktadır (Hansen & Asmussen, 1993).

Mandibular molarlarda, pulpa odası tabanı ve radiküler oluk morfolojileri, kalan dentin kalınlığını ve post uygulamasının uygunluğunu doğrudan etkileyebilmektedir (Qiu vd., 2023).

Endodontik tedavi görmüş dişler, koronal sert dokuların kaybı nedeniyle yapısal ve mekanik açıdan zayıflamaktadır (Morgano & Milot, 1993). Rutin endodontik işlemler ve giriş kavitesi hazırlığı sonrasında kalan sınırlı miktardaki sağlam koronal doku, dişte belirgin biyomekanik değişikliklere yol açmaktadır. Bu bağlamda konservatif kavite tasarımı, periservikal dentinin korunması, koronal ve orta üçlüde sınırlı konikleşme (örn. 0.04 taper) ve anti-kurvatür prensiplerinin uygulanması, perforasyon ve kırık riskini azaltan rasyonel yaklaşımlardır (De-Deus vd., 2023).

2.17 Endodontik Tedavili Dişlerin Kırılabilirliği

Endodontik tedavi gören dişlerde kolajene bağlı nem oranının vital dişlere göre daha düşük olduğu saptanmıştır (Helfer vd., 1972). Ancak fiziksel testlerde elastisite modülü, sertlik ve kırılma direncinde belirgin farklılık bulunmamıştır (Pantvisai & Messer, 1995). Dişin zayıflamasına esas neden; endodontik giriş kavitesi açılması, kök kanal preparasyonu ve daha önceki çürük veya restorasyonlar nedeniyle önemli miktarda doku kaybı olmasıdır. Nitekim kavite boyutu arttıkça ve giriş kavitesi açıldığında dişlerde belirgin zayıflama meydana geldiğini, bunun da tüberkül esnemelerine yol açtığını göstermiştir. Bu nedenle dişin kırılabilirliğinden çok, yapısal doku kaybı asıl risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Pantvisai & Messer, 1995).

Endodonti sonrası restoratif yaklaşımlar, fonksiyonel ve parafonksiyonel kuvvetler altında oluşabilecek stres dağılımlarını dikkate almalı ve buna göre planlanmalıdır (Schwartz & Robbins, 2004). Kök kanal tedavisinden sonra kullanılan post sistemleri, özellikle kompozit restorasyonlarla birlikte uygulandığında retansiyonu artırarak kalan diş yapısının prognozunu olumlu etkileyebilmektedir. Günümüzde klinik eğilim, fiber post sistemleri yönündedir ve bu sistemlerin avantajları literatürde sıkça vurgulanmaktadır (Schwartz & Robbins, 2004). Bununla birlikte, aşırı enstrümantasyon, post çıkarma drilllerinin agresif kullanımı ve uzun süreli ultrasonik uygulamalar, dikey kök kırığı gelişme riskini artırabilmektedir (Cavalcante vd., 2025).

Dikey kök kırıkları, çürük ve periodontal hastalıktan sonra diş kaybının üçüncü en sık nedeni olup, endodontik tedavi başarısızlıklarının yaklaşık %4,3'ünü oluşturmaktadır (Lammertyn vd., 2009). Kırılganlığın yalnızca pulpa vitalitesinin kaybı sonrası dentinde meydana gelen yapısal değişikliklere bağlanamayacağı açıktır. Stresin dağılımı ve sönümlenmesinde etkili olan dentin sıvısının kaybı, endodontik tedavi görmüş dişlerin okluzal kuvvetlere verdiği yanıtlardaki değişikliklere katkıda bulunabilmektedir (Kahler vd., 2003).

2.18 Post Alternatifi Restoratif Yaklaşımlar

Endodontik tedavi görmüş dişlerde post uygulaması uzun yıllar boyunca standart bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte post boşluğu hazırlığı sırasında meydana gelen dentin kaybı, özellikle mandibular molarların mezial köklerinde olduğu gibi danger zone perforasyon ve vertikal kök kırığı riskini artırabilmektedir. Bu nedenle günümüzde post kullanımına alternatif, daha konservatif restoratif yöntemler geliştirilmiştir.

2.18.1 Endokronlar

Endokron restorasyonlar, retansiyonunu pulpa odası derinliğinden ve kavite duvarlarından indirekt restorasyonlardır. Post boşluğu açma ihtiyacı olmadığı için dentin korunumu maksimum düzeyde sağlanır. Sistemik derlemeler, endokronların 5 yıllık klinik sağkalım oranlarının post-kor restorasyonlarla benzer olduğunu göstermektedir (Al-Dabbagh, 2021; Sedrez-Porto vd., 2016). Bununla birlikte adeziv protokolün kalitesi, kavite geometrisi (pulpa odası derinliği, genişliği) ve okluzal yüklenme koşullarıyla ilişkilidir. Uygun endikasyonda konservatif bir alternatif sunar.

2.18.2 Fiber Takviyeli Kompozitler (FRC)

Kısa fiberlerle güçlendirilmiş kompozitler, özellikle direkt restorasyonlarda post alternatifi olarak önerilmektedir. Fiber içeriği, çatlak ilerlemesini sınırlayarak kırıkların modda gerçekleşmesine katkı sağlayabilir. Sistemik derlemeler, FRC kullanımının endodontik tedavili dişlerde kırılma direncini anlamlı şekilde artırdığını göstermektedir (Selvaraj vd., 2023). Bununla birlikte mevcut kanıtların önemli bir kısmı in vitro çalışmalara dayandığı için uzun dönem klinik veriler sınırlıdır; endikasyon seçimi ve adeziv tekniğin titiz uygulanması esastır.

2.18.3 Direkt Kompozit Restorasyonlar

Kalan koronal duvar sayısının üç ve üzerinde olduğu vakalarda, direkt kompozit restorasyonlar post gereksinimini ortadan kaldırabilmektedir. Adeziv teknolojiler sayesinde koronal sızdırmazlık sağlanırken, minimal invaziv yaklaşım da korunmuş olur (Bhuva vd., 2021). Bununla birlikte, geniş koronal kayıplarda dayanıklılık sınırlı kalabilmektedir.

2.18.4 İnley / Onley Restorasyonlar

Seramik veya kompozit materyallerden üretilen indirekt parsiyel restorasyonlar hem estetik hem de mekanik dayanıklılık sağlar. Ferrule varlığı ve uygun marjinal koşullarla uygulandığında kırılma direncini artırdığı bildirilmiştir (Kar vd., 2017). Bununla birlikte laboratuvar süreci, maliyet ve geçici restorasyon ihtiyacı gibi faktörler klinik kullanımını sınırlayabilir.

2.19 Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri

Dentin defektlerini inceleme yöntemleri pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Bunlar:

- Endoskopik görüntüleme
- Optik koherens tomografi
- LED transillüminasyon
- Kızılötesi Termografi
- Stereomikroskop
- Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)
- Mikro Bilgisayarlı Tomografi

2.19.1 Endoskopik görüntüleme

Endoskopik görüntüleme, X-ışını radyasyonu içermeyen, invazivliği düşük bir büyütme ve doğrudan görselleştirme tekniğidir. Fiberoptik ışık kaynağı ve kamera içeren esnek ya da rijit, ince ve uzun bir optik sistemden oluşur; doğal ya da cerrahi erişim yoluyla ilerletilerek iç yapıların gerçek zamanlı görüntülenmesine olanak tanır. Endodontide, kök kanal konfigürasyonlarının in vivo görselleştirilmesi ve morfolojik varyasyonların saptanması amacıyla kullanılmaktadır (Engelke vd., 2015; Moshonov vd., 2009). Yakın zamanlı bir çalışma, kök kanal endoskopisinin ana kanallardan anastomozların dallanma

noktalarını belirlemede etkili olabildiğini göstermiştir (Keles, Keskin, Alqawasmi, & Aydemir, 2020). Endoskop, endodontide ilk kez 1979'da dental kırıkların teşhisinde kullanılmıştır (Detsch vd., 1979). Von Arx ve ark. yaptıkları bir çalışmada dentindeki defektleri görüntülemek için endoskopiye kullanmışlardır (Von Arx vd., 2010). Endoskopinin başlıca avantajları radyasyonsuz oluşu, büyütme sağlaması ve doğrudan görüş sunmasıdır. Bununla birlikte görüş alanının sınırlı oluşu, çalışma alanının temizliği/nem kontrolü ve operatör deneyimi görüntü kalitesini ve bulguların yorumunu etkileyebilir.

2.19.2 Optik Koherens Tomografi

Optik koherens tomografi, diş ve yumuşak dokunun detaylarını, kızılötesine yakın bir ışık kullanarak mikron düzeyde yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntülerle sağlayan radyasyon içermeyen, non invaziv bir tekniktir (Shimada vd., 2015).

Bu teknik; dokulardan yansıyan ışığın koherensini ölçüp, kesitsel görüntüler aldığı için optik koherens tomografi olarak isimlendirilmiştir. Optik koherens tomografi, yansıyan ışığın görüntülenmesine dayanmaktadır. Bir kamera gibi yalnızca 2B görüntü değil, derinlik boyutunu da elde etmektedir. Cihaz, gerçek zamanlı olarak yüzeyden 3 mm içeride yapının ayrıntılarını sağlayabilir (Minamino vd., 2014). Bunun sayesinde dokuya zarar vermeden, mikroskop altındaki görüntüye benzer kesitsel görüntüler elde edilir.

Diş hekimliğinde ex-vivo çalışmalarda kanal anatomisini, kök perforasyonlarını değerlendirmede, (Rashed vd., 2018; Shemesh vd., 2007). Kalan dentin kalınlığını ölçmede (Rashed vd., 2018) ve kök çatlaklarını tespit etmede kullanılmış ve faydalı olduğu gösterilmiştir (Rashed vd., 2019; Shemesh vd., 2008; Yoshioka vd., 2013). Chen ve ark. 2022 yılında yaptıkları in vitro çalışmada, döner eğelerin kök kanal preparasyonu sırasında oluşturdukları kök defektlerini görüntülemek için optik koherens tomografi kullanmışlardır (Chen vd., 2022).

2.19.3 LED Transillüminasyon

Transillüminasyon, çatlak ve defektlerin ışık iletimindeki kesintiler aracılığıyla görselleştirilmesine dayanan, radyasyonsuz ve non-invaziv bir tanı yaklaşımıdır. Amerikan Endodontistler Birliği'nin eğitim materyallerinde, çatlakların yerinin ve uzanımının belirlenmesinde transillüminasyonun yararlı bir

yardımcı yöntem olduğuna vurgu yapılır. LED transillüminasyon, dentin defektlerinin değerlendirilmesinde düşük maliyetli ve hızlı bir seçenek olup, büyütme altında kullanıldığında in vitro görselleştirmeyi artırabildiği bildirilmiştir. LED, elektrik akımı yarı iletken bir malzemeden geçtiğinde görünür ışık yayan bir ışık kaynağıdır (Coelho vd., 2016). Başlıca avantajları radyasyon içermemesi, uygulama hızının yüksekliği ve kolay erişilebilirliğidir. Sınırlılıkları arasında optik penetrasyonun sınırlı olması, restorasyon/opak dentin varlığında artefakt riski, operatör bağımlılığı ve kök düzeyindeki (subgingival) çatlakların tespitinde duyarlılığın azalması sayılabilir. Bu nedenle LED transillüminasyon, mikroskopik inceleme, boyama ajanları veya uygun endikasyonda görüntüleme yöntemleriyle (KIBT) tamamlayıcı olarak kullanılmalıdır.

2.19.4 Kızılötesi Termografi

Kızılötesi termografi, yüzeyden yayılan ısı radyasyonu algılayıp sıcaklık haritaları üreten, basit, zararsız, non-invaziv ve iyonlaştırıcı olmayan bir görüntüleme tekniğidir. Yöntemle elde edilen termal görüntüler dijital olarak saklanıp sayısal analize uygun biçimde işlenebilir (Sanchis-Sánchez vd., 2015). Termografi, sıcaklık farklılıklarının 2B bir görüntüde haritalanabildiği bir işlemdir. İşlem, bir vücut veya daha yüksek sıcaklıktaki sıvılar tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonu algılar ve bir vücut tarafından yayılan termal radyasyonun, vücudun termodinamik sıcaklığının dördüncü gücüyle orantılı olduğunu belirten Stefan-Boltzmann yasasından yararlanır. Bu sayede küçük sıcaklık farkları iki boyutlu bir ısı haritasında görselleştirilebilir (Saxena & Willital, 2008). 2013 yılında yapılan bir in vitro çalışmada dentin defektlerinin görüntülemek için kullanılmıştır. (Matsushita-Tokugawa vd., 2013).

2.19.5 Stereomikroskop

Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olan nesnelerin büyütülmüş görüntülerini elde etmek için mercekler kullanan optik bir alettir (Versiani vd., 2015). Çalışmalarda örneklerden belirli seviyelerde kesitler alınır ve bu kesitler stereomikroskop altında incelenirler. Literatürde dentin defektlerini stereomikroskop ile gözlemleyen birçok çalışma vardır (Bier vd., 2009; Karataş vd., 2016; Stringheta vd., 2017; Yoldas vd., 2012). Ancak, stereomikroskop ile

inceleme için dişten kesit alma işlemlerinin dentinde çatlaklara yol açabileceği rapor edilmiştir (Stringheta vd., 2017).

2.19.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Organ, doku ve hücrelerin topografik görüntülerini incelemek için kullanılır. SEM, elektron demetinin örnek yüzeyini taraması prensibiyle çalışır.

Literatürde dentin dokusunda oluşan defektleri tespit etmek için SEM yöntemi kullanılmıştır (Çiçek vd., 2015). Ancak, diş gibi örneklerin SEM ile incelenmesi için fiksasyon ve dehidrasyon gibi aşamalardan geçmesi gerekir. Shemesh ve ark., dehidrasyon işleminin kök kanal preparasyonundan bağımsız olarak yeni dentin defektlerine neden olduğunu rapor etmişlerdir (Shemesh vd., 2018).

2.19.7 Mikro Bilgisayarlı Tomografi

Mikro-BT, diş zarar vermeden bir dişin iç yapısını görüntülemek için X-ışını ve dijital dedektörler kullanan invazif olmayan bir görüntüleme aracıdır. (Ford vd., 2003). Hedefin 2 boyutlu kesitlerinden, 3 boyutlu yüksek çözünürlüklü görüntülerin üretilmesini sağlamaktadır. Endodontide ilk defa Nielsen ve ark. (Nielsen vd., 1995) tarafından kanal preparasyon ve obtürasyon işlemlerinden sonra kök kanal sistemindeki morfolojik değişiklikleri değerlendirmek için kullanılmıştır.

Mikro-BT'nin örneklem boyutunun sınırlı olması ve yüksek dozda radyasyon içermesi, bu yöntemin canlı bireylerde doğrudan tarama aracı olarak kullanılmasını imkânsız hale getirmektedir; bu durum ise klinik kullanım alanını kısıtlamaktadır. Kesit alma, geleneksel radyografi ya da temizlik işlemleri gibi yöntemlerden farklı olarak mikro-BT, örneğin bütünlüğünü bozmadan köklerdeki karmaşık üç boyutlu iç anatomiye ve varyasyonları ayrıntılı şekilde görüntüleyebilmektedir (Keleş vd., 2020; Keskin vd., 2023). Böylelikle numuneye herhangi bir müdahale yapılmaksızın hem niteliksel hem de niceliksel kapsamlı

analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır. Milimetre altı hassasiyetle detay sunması, sağlam 3 boyutlu rekonstrüksiyon ve geometrik analiz imkânı sağlaması nedeniyle, diş köklerinde bulunan tehlikeli bölgelerin değerlendirilmesinde önemli bir avantaj sunar (Tang vd., 2025). Özellikle mikro-BT, numuneye zarar vermeden iç kök yapılarını yüksek doğrulukla ortaya koyarak tahribatsız bir inceleme yöntemi sunmaktadır (Keleş vd., 2025). Bu yöntem sayesinde, kök kanal sistemleri ve dentin kalınlığı milimetre altı seviyede ayrıntılı olarak değerlendirilebilmekte, böylece geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha kapsamlı ve güvenilir anatomik haritalama yapılabilmektedir (Tang vd., 2025).

Metodolojik açıdan değerlendirildiğinde, mikro-BT görüntüleme; endodontik işlemler öncesinde ve sonrasında kök kanal sisteminin morfolojik ve morfometrik özelliklerini yüksek hassasiyetle ortaya koyabilmesi nedeniyle, dişlerin sert dokularının incelenmesinde en güvenilir yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Peters vd., 2000). Günümüzde mikro-BT'ye dayalı görüntüleme teknikleri ile kadavra üzerinde gerçekleştirilen deneysel modeller, kök dentin yapısının durumu hakkında oldukça değerli veriler sunmaktadır (Keleş vd., 2025).

3. MATERİYAL ve METOD

3.1 Etik Kurul Onayı

Bu laboratuvar tabanlı deneysel çalışma, metodolojik şeffaflık ve tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla Laboratuvar Çalışmaları için Tercih Edilen Raporlama Ögeleri (PRILE) 2021 kılavuzuna uygun olarak yürütüldü. Maksiller ve Mandibular Molar Dişlerde Post Boşluğu Preparasyonunun Kök Dentin Kalınlığına Etkisi” isimli proje, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 24 Eylül 2024 tarih ve 2024/246 karar numarasıyla bilimsel ve etik yönden uygun bulundu.

Tüm örnekler, başka nedenlerle çekilmiş insan dişlerinden elde edildi. Çekim öncesinde tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş onam alındı.

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 124R071 proje numarası ile desteklenmiş ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD bünyesinde yürütüldü.

3.2 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Dişler daha önceden elde edilmiş olan mandibular ve maksiller molar dişlerin mikro-BT görüntüleri arasından seçildi. Ön çalışmamıza 103 mandibular molar veri seti dahil edildi ve Türk popülasyonundaki dentin kalınlıklarının literatürde önerilen dentin kalınlıklarından daha ince olduğu tespit edildi (Keleş vd., 2025). A priori power analizi, Alomari ve ark. (2011) “Effect of post length and diameter on remaining dentine thickness in maxillary central and lateral incisors” başlıklı çalışmalarındaki etki büyüklüğü (1.05) kullanılarak yapıldı. F-test ailesi ANOVA (fixed effects, omnibus, one-way) testi için örneklem sayısı hesaplaması GPower programı (GPower 3.1 for Macintosh; Heinrich Heine, Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Almanya) ile gerçekleştirildi. Analiz sonucunda, %5 tip I hata ve 0.99 güç değeriyle, grup başına düşen minimum örnek sayısı 10 olarak bulundu. Maksiller ve mandibular olmak üzere iki diş grubu ve üç farklı boyutta peeso reamer drill (Largo Peeso Reamer; Dentsply Sirona) grubu belirlendi. Toplamda 30 maksiller molar ve 30 mandibular molar diş çalışmaya dahil edildi (Tablo 3.1).

Dahil edilme kriterlerini karşılayan dişler:

- Numuneler apeksi kapanmış insan dişlerinden elde edildi.
- Mandibular molarlar distal kökleri, furkasyondan apikal foramene kadar 8.5–11 mm uzunluğa sahip olmalıdır.
- Maksiller molarlar palatinal kökleri, furkasyondan apikal foramene kadar 8.5–10 mm uzunluğa sahip olmalıdır.
- Mandibular molarlar distal kökleri, sement-mine birleşiminden apikal foramene kadar 11–15 mm uzunluğunda olmalıdır.
- Maksiller molarlar palatinal kökleri, sement-mine birleşiminden apikal foramene kadar 10–13 mm uzunluğunda olmalıdır.
- Yapısal anomaliler (füzyon, geminasyon, taurodontizm vb.) bulunmamalıdır.
- Daha önce kök kanal tedavisi uygulanmamış olmalıdır.
- Kanal içi kalsifikasyon bulunmamalıdır.
- İnternal veya eksternal rezorpsiyona mevcut olmamalıdır.
- Vertikal kırık ya da çatlak saptanmamalıdır.
- Hafif eğimli köklere sahip olmalıdır. (Orta veya şiddetli kurvatürlü kökler çalışmaya dahil edilmemiştir).

Tablo 3.1. Deney grupları alttaki tabloda verildiği kullanılan drill çapına göre oluşturuldu.

Maksiller Molar Alt Grupları	Mandibular Molar Alt Grupları
1.14 mm (Peezo Reamer #1) (n=10)	1.14 mm (Peezo Reamer #1) (n=10)
1.25 mm (Peezo Reamer #2) (n=10)	1.25 mm (Peezo Reamer #2) (n=10)
1.55 mm (Peezo Reamer #3) (n=10)	1.55 mm (Peezo Reamer #3) (n=10)

3.3 Homojen Grupların Oluşturulması

Dahil edilme kriterlerini sağlayan dişlerin, her grupta homojen olarak bulunmasını ve grup homojenliğinin sağlanmasını temin etmek amacıyla daha önce mikro-BT görüntüleri analiz edildi. Gruplar furkal seviyeden itibaren kök boyu açısından ve ölçüm yapılan her seviyede mezial ve distal yönlerdeki dentin kalınlığı açısından homojen olarak oluşturuldu (Tablo 4.1- 4.2).

3.4 Birinci Mikro-BT Taraması

Her ne kadar seçilen örneklerin mikro-BT veri seti bulunsun da çalışmanın birinci ve ikinci taramalarındaki veri setlerinin en uygun şekilde karşılaştırılabilmesi için örnekler preoperatif olarak tekrar İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde (İBTAM) SkyScan 1172 Mikro-BT cihazıyla (SkyScan 1172; Bruker mikro-BT, Kontich, Belçika) tarandı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. SkyScan 1172 Mikro-BT cihazı

Örneklerin okluzal yüzeyleri, yapıştırıcı mum yardımıyla Mikro-BT cihazının tarama platformuna sabitlendi (SkyScan 1172; Bruker microCT, Kontich, Belçika). Dişlerin bukkal yüzleri cihaz kapısına dönük konumlandırılmış, her iki taramada da aynı oryantasyon korundu. Tarama süresi örnek başına yaklaşık 60 dakika olarak gerçekleştirildi. Tarama parametreleri şu şekilde ayarlandı: rotasyon aralığı $0,6^\circ$; toplam rotasyon 180° ; rastgele hareket 20° ; pozlama süresi 2550 ms; filtre 0.5 mm Al-Cu ve 0.3 mm Cu; tüp voltajı 85 kV; tüp akımı 118 μ A; çerçeve ortalaması 2. Bu ayarlar ile 13.68 μ m voksel boyutunda hacim verileri elde edildi.

Elde edilen görüntüler, NRecon v1.7.4.2 (Bruker microBT) yazılımında şu parametrelerle beam-hardening düzeltmesi %15; smoothing 2; atenüasyon katsayısı aralığı 0–0.02; ring artefakt düzeltmesi 7 yeniden yapılandırıldı (Şekil 3.2-3.3).

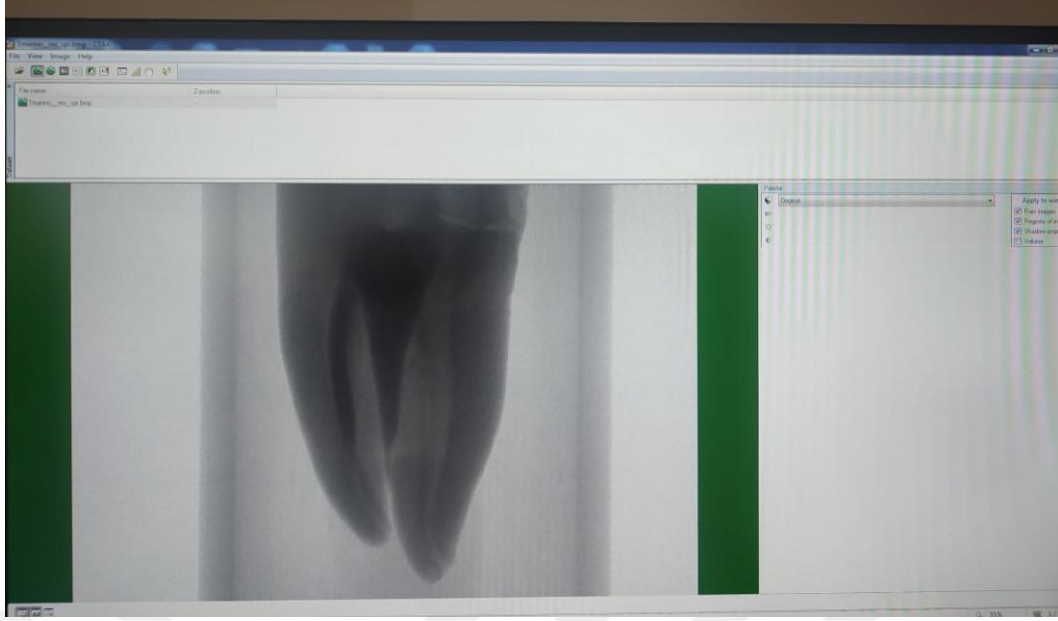
Her numune için yaklaşık 1000 adet iki boyutlu aksiyal kesit görüntüsü elde edildi.



Şekil 3.2. Mikro-BT analizinde kullanılan özel yazılımlar

Bu aşamada amaç, örneklerin preoperatif ve postoperatif olarak mümkün olan aynı pozisyonda ve aynı parametrelerle taranmasını sağlamaktır.

Birinci mikro-BT taramasından sonra dişler, kullanılına kadar salin solüsyonunda muhafaza edildi (X. Chen vd., 2020). Örneklerin giriş kavitesi, kök kanalı preparasyonu ve post boşluğu preparasyonu aynı klinisyen tarafından gerçekleştirildi. Tüm işlemler operasyon mikroskobu (Zumax OMS320, Çin) altında yapıldı.



Şekil 3.3. Birinci Mikro-BT taraması ölçüm analizi

3.5 Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

Dişlere aeratörle, elmas rond frez (Dimei, Piranha, Çin) kullanılarak giriş kavimleri açıldı. #10 K-el eğesi ile apikal patensi alındı, eğenin foramenden ilk görüldüğü noktadan 1 mm geri çekilmesiyle çalışma uzunluğu belirdi (Keleş vd., 2020). Kemomekanik preparasyon, 30 maksiller moların palatinal ve 30 mandibular moların distal kök kanallarına uygulandı. ProTaper Next (Dentsply Maillefer) döner eğe sistemi, üretici talimatlarına uygun şekilde kullanıldı ve preparasyon X3 eğesi ile tamamlandı (Rito Pereira vd., 2024) (Şekil3.4). Eğeler, X-Smart Plus endodontik motorunun “Rotasyon” modunda çalıştırıldı. Her ProTaper Next eğesi en fazla beş dişte kullanıldıktan sonra yenisiyle değiştirildi (Şekil 3.5). Her eğe preparasyonun %5 NaOCl (Wizard) ile irrigasyon yapıldı. Final irrigasyonu ise sırasıyla %5 NaOCl, %17 EDTA (Werax, İzmir, Türkiye) ve tekrar %5 NaOCl ile gerçekleştirildi. Final irrigasyonu yapılırken Woodpecker DTE Endo 3 Ultrasonik (Muenster-Germany) aktivasyon ile irrigasyon artırıldı. Kanallar paper point ile kurutuldu.



Şekil 3.4. Protaper Next



Şekil 3.5. Protaper Next Lot numarası

3.6 Post Boşluğu Preparasyonu

Post boşluğu derinliği, apikalde 4 mm kanal boyu kalacak şekilde hazırlandı (Erick Miranda Souza vd., 2011; Chen vd., 2020). Post boşluğu uzunluğu, endodontik cetvel ve stopper yardımıyla driller üzerine işaretlendi. İnod Qualified Product fiber post seti (QPA1209, Korea) 1.14 drill çapı, 1.25 drill çapı, 1.55 drill çapı tercih edildi (Şekil 3.6). Driller, üretici talimatlarına uygun olarak 1500 rpm hızda çalıştırıldı ve her bir drill 10 örnekte kullanıldıktan sonra değiştirildi. Post boşluğu hazırlığı sırasında smear tabakası ve dentin talaşları irrigasyonla

uzaklaştırıldı. Ardından fiber postlar prova edildi. Postun yeterince ilerlemediği örneklerde aynı drill ve stopper tekrar kontrol edilerek post boşluğu uygun hale getirildi. Tüm örnekler ikinci mikro-BT taramasına kadar salin solüsyonunda muhafaza edildi. Bu işlemler sırasında perforasyon gelişen örnekler kayıt altına alındı. Projenin amacı dentin kalınlığını ölçmek olduğundan, postlar dişe yerleştirilmedi; post boşluğu boş olarak tarandı.



Şekil 3.6. İnod Q.P. Fiber Post Drilleri

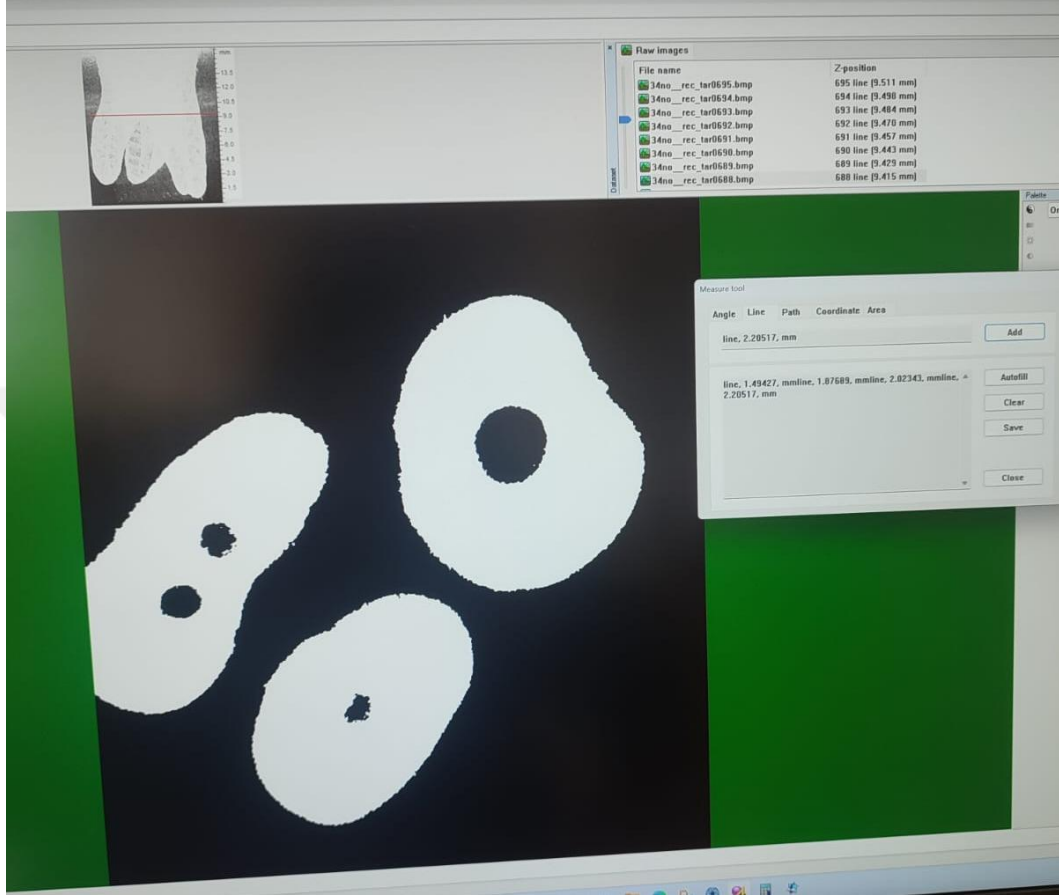
3.7 İkinci Mikro-BT taraması

İkinci mikro-BT taramasında, birinci taramada kullanılan pozisyon ve parametreler tekrar uygulandı. Yeniden yapılandırma süreci de aynı yazılımla ve aynı ayarlarla gerçekleştirildi. Elde edilen preoperatif ve postoperatif veri setleri, DataViewer v.1.5.6 yazılımının hassas çakıştırma modülü ile eşleştirildi. Kalınlık ölçümleri CTAn v1.18.8 yazılımı ile yapıldı; post boşluğuna komşu en ince dentin kalınlığı, renk kodlu kesitler üzerinde post boşluğunun apikal ucundan furkasyon seviyesine kadar 1 mm aralıklarla belirlendi ve kaydedildi (Şekil 3.7).

Yönlendirme şu şekilde standardize edilmiştir:

- Mandibular dişlerde: mezial ve distal yönler,
- Maksiller dişlerde: mezial, distal, bukkal ve lingual yönler.

Tüm ölçümler mm cinsinden kayıt altına alındı. Kalitatif karşılaştırmalar, CTVox v3.3.0 yazılımında oluşturulan 3 boyutlu dentin kalınlığı haritaları üzerinden yürütüldü (Keles, Keskin, Alqawasmi, & Versiani, 2020).



Şekil 3.7. İkinci Mikro-BT taranması ölçüm analiz

3.8 İstatistiksel Analiz

Tüm analizler SPSS yazılımı ile (Sürüm 21.0; IBM Corp., Armonk, NY, ABD) %5 anlamlılık düzeyinde, olarak gerçekleştirilmiştir. Normallik varsayımı $p > .05$ eşliğine göre değerlendirilmiş ve sağlandığı durumlarda parametrik testler, sağlanmadığı durumlarda non parametrik testler kullanılmıştır.

Maksiller molarlar: Preparasyon öncesi ve sonrası tüm yönlerdeki dentin kalınlığı değerleri normallik varsayımını karşılamıştır ($p > .05$) ve tek yönlü ANOVA ile gruplar ve seviyeler arasında karşılaştırılmıştır.

Mandibular molarlar: Preparasyon öncesi dentin kalınlığı değerleri normallik varsayımını karşılamış ve tek yönlü ANOVA ile karşılaştırılmıştır.

Ancak, preparasyon sonrası yönlü karşılaştırmalar (meziyal ve distal) ve tüm seviye bazındaki redüksiyon miktarı karşılaştırmaları normalliği karşılamamıştır ($p < .05$) bu nedenle Kruskal–Wallis testi ve ardından Dunn post-hoc testi ile değerlendirilmiştir. Grup içi tekrarlanan yön karşılaştırmaları Friedman testiyle; ikili karşılaştırmalar ise Wilcoxon işaretli sıralar testiyle analiz edilmiştir.

4. BULGULAR

Shapiro–Wilk testleri, tüm gruplarda verilerin normal dağılım gösterdiğini doğruladı ($p > .05$). Tek yönlü ANOVA hem üst hem de alt molar dişler için drill boyutu grupları arasında preparasyon öncesi dentin kalınlığı açısından anlamlı fark bulunmadığını gösterdi ($p > .05$). Bu bulgular, post boşluğu hazırlığı öncesinde deney gruplarının homojen olduğunu doğrulamaktadır. Preparasyon öncesi dentin kalınlığına göre üst molar dişler, tüm seviyelerde ve hem mezial hem de distal yüzeylerde, alt molar dişlere kıyasla anlamlı düzeyde daha fazla dentin kalınlığı sergilemiştir ($p < .05$). (Tablo 4.1-4.2).



Tablo 4.1. Maksiller dişlerin homojen dağılımını gösteren kök uzunluğu ve dentin kalınlığına ilişkin 1.14, 1.25, 1.55 drill çapı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri (ortalama $\pm$ standart sapma).

Dentin Kalınlığı Seviye (Mm)	Maksillar Molar											
	1.14 mm Drill				1.25 mm Drill				1.55 mm Drill			
	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal
1	2.09 $\pm$ 0.25	1.64 $\pm$ 0.12	2.11 $\pm$ 0.22	2.14 $\pm$ 0.21	2.22 $\pm$ 0.29	1.86 $\pm$ 0.17	2.20 $\pm$ 0.15	2.15 $\pm$ 0.16	2.30 $\pm$ 0.26	1.63 $\pm$ 0.20	2.08 $\pm$ 0.16	2.15 $\pm$ 0.20
2	1.85 $\pm$ 0.21	1.51 $\pm$ 0.16	2.02 $\pm$ 0.23	2.06 $\pm$ 0.26	1.92 $\pm$ 0.19	1.69 $\pm$ 0.15	2.04 $\pm$ 0.16	2.05 $\pm$ 0.10	1.84 $\pm$ 0.16	1.57 $\pm$ 0.11	2.08 $\pm$ 0.23	2.09 $\pm$ 0.20
3	1.70 $\pm$ 0.17	1.46 $\pm$ 0.13	2.00 $\pm$ 0.30	2.01 $\pm$ 0.22	1.82 $\pm$ 0.14	1.55 $\pm$ 0.13	1.99 $\pm$ 0.12	2.00 $\pm$ 0.17	1.70 $\pm$ 0.14	1.48 $\pm$ 0.17	2.04 $\pm$ 0.25	2.03 $\pm$ 0.27
4	1.62 $\pm$ 0.18	1.42 $\pm$ 0.15	1.90 $\pm$ 0.26	1.93 $\pm$ 0.19	1.71 $\pm$ 0.13	1.50 $\pm$ 0.10	1.93 $\pm$ 0.15	1.92 $\pm$ 0.13	1.63 $\pm$ 0.16	1.46 $\pm$ 0.19	1.96 $\pm$ 0.24	1.99 $\pm$ 0.26
5	1.53 $\pm$ 0.18	1.36 $\pm$ 0.15	1.85 $\pm$ 0.26	1.90 $\pm$ 0.31	1.63 $\pm$ 0.10	1.45 $\pm$ 0.13	1.91 $\pm$ 0.14	1.82 $\pm$ 0.16	1.54 $\pm$ 0.19	1.36 $\pm$ 0.22	1.89 $\pm$ 0.24	1.88 $\pm$ 0.22
6*	1.53 $\pm$ 0.11	1.37 $\pm$ 0.11	1.86 $\pm$ 0.23	2.04 $\pm$ 0.22	1.49 $\pm$ 0.17	1.34 $\pm$ 0.12	1.72 $\pm$ 0.06	1.70 $\pm$ 0.22	1.41 $\pm$ 0.37	1.30 $\pm$ 0.19	1.84 $\pm$ 0.31	1.83 $\pm$ 0.35
Kök Uzunluk (Mm)	9.04 $\pm$ 0.66				9.12 $\pm$ 0.58				9.12 $\pm$ 0.53			

Tablo 4.2. Mandibular dişlerin homojen dağılımını gösteren kök uzunluğu ve dentin kalınlığına ilişkin 1.14, 1.25, 1.55 drill çapı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri (ortalama $\pm$ standart sapma)

Dentin Kalınlığı Seviye(mm)	Mandibular Molar					
	1.14 mm Drill		1.25 mm Drill		1.55 mm Drill	
	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal
1	1.58 $\pm$ 0.31	1.66 $\pm$ 0.14	1.71 $\pm$ 0.30	1.78 $\pm$ 0.15	1.63 $\pm$ 0.27	1.67 $\pm$ 0.18
2	1.25 $\pm$ 0.27	1.54 $\pm$ 0.15	1.32 $\pm$ 0.32	1.65 $\pm$ 0.28	1.20 $\pm$ 0.25	1.52 $\pm$ 0.18
3	1.17 $\pm$ 0.23	1.46 $\pm$ 0.17	1.21 $\pm$ 0.33	1.49 $\pm$ 0.21	1.12 $\pm$ 0.29	1.43 $\pm$ 0.20
4	1.06 $\pm$ 0.13	1.39 $\pm$ 0.20	1.10 $\pm$ 0.30	1.38 $\pm$ 0.20	1.07 $\pm$ 0.32	1.32 $\pm$ 0.22
5	1.07 $\pm$ 0.18	1.34 $\pm$ 0.20	1.04 $\pm$ 0.31	1.29 $\pm$ 0.19	1.10 $\pm$ 0.32	1.30 $\pm$ 0.26
6*	1.09 $\pm$ 0.15	1.35 $\pm$ 0.13	0.98 $\pm$ 0.21	1.23 $\pm$ 0.18	1.14 $\pm$ 0.33	1.24 $\pm$ 0.27
7*	1.11 $\pm$ 0.13	1.27 $\pm$ 0.19	1.01 $\pm$ 0.20	1.25 $\pm$ 0.25	1.03 $\pm$ 0.22	1.09 $\pm$ 0.22
Kök Uzunluk(mm)	9.30 $\pm$ 0.61		9.19 $\pm$ 0.56		9.26 $\pm$ 0.58	

*Düşük örnek sayısı nedeniyle 6. ve 7. seviyeler istatistiksel analize dahil edilmemiştir.

Üst molar dişleri, tüm ölçüm seviyelerinde ve hem meziyal hem de distal yüzeylerde, alt molar dişlerine kıyasla önemli ölçüde daha fazla dentin kalınlığı gösterdi ($p < .05$).

Postoperatif ölçümler, üst molar dişlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($p > .05$) (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Maksiller molar dişlerin üç drill çapıyla preparasyon sonrası, meziyal, distal, bukkal, lingual kök yüzeylerindeki furkasyondan itibaren farklı seviyelerde ölçülen postoperatif dentin kalınlığı (mm) değerleri.

Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak sunulmuştur.

Dentin Kalınlığı Seviye (mm)	Maksillar Molar											
	1.14 mm drill				1.25 mm drill				1.55 mm drill			
	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal	Bukkal	Lingual	Meziyal	Distal
1	1.79 $\pm$ 0.31 ^a	1.47 $\pm$ 0.21 ^a	1.87 $\pm$ 0.26 ^a	2.09 $\pm$ 0.19 ^a	1.91 $\pm$ 0.27 ^a	1.60 $\pm$ 0.15 ^a	1.90 $\pm$ 0.28 ^a	2.00 $\pm$ 0.19 ^a	1.72 $\pm$ 0.29 ^a	1.33 $\pm$ 0.28 ^a	1.81 $\pm$ 0.27 ^a	1.94 $\pm$ 0.19 ^a
2	1.50 $\pm$ 0.21 ^b	1.43 $\pm$ 0.15 ^a	1.88 $\pm$ 0.26 ^a	1.92 $\pm$ 0.20 ^{ab}	1.50 $\pm$ 0.19 ^{ab}	1.57 $\pm$ 0.19 ^{ab}	1.81 $\pm$ 0.21 ^a	1.86 $\pm$ 0.21 ^{ab}	1.19 $\pm$ 0.41 ^b	1.29 $\pm$ 0.21 ^a	1.77 $\pm$ 0.25 ^a	1.81 $\pm$ 0.18 ^a
3	1.39 $\pm$ 0.14 ^b	1.36 $\pm$ 0.17 ^{ab}	1.92 $\pm$ 0.31 ^a	1.81 $\pm$ 0.18 ^{ab}	1.32 $\pm$ 0.09 ^b	1.49 $\pm$ 0.16 ^{ab}	1.87 $\pm$ 0.12 ^a	1.74 $\pm$ 0.16 ^{ab}	1.11 $\pm$ 0.46 ^b	1.27 $\pm$ 0.24 ^a	1.76 $\pm$ 0.18 ^a	1.72 $\pm$ 0.27 ^a
4	1.35 $\pm$ 0.17 ^b	1.29 $\pm$ 0.19 ^{ab}	1.85 $\pm$ 0.28 ^a	1.74 $\pm$ 0.18 ^b	1.27 $\pm$ 0.12 ^b	1.41 $\pm$ 0.12 ^b	1.85 $\pm$ 0.11 ^a	1.64 $\pm$ 0.12 ^b	1.08 $\pm$ 0.45 ^b	1.18 $\pm$ 0.29 ^a	1.76 $\pm$ 0.15 ^a	1.62 $\pm$ 0.37 ^a
5	1.38 $\pm$ 0.14 ^b	1.14 $\pm$ 0.27 ^b	1.77 $\pm$ 0.23 ^a	1.71 $\pm$ 0.32 ^b	1.31 $\pm$ 0.15 ^b	1.21 $\pm$ 0.07 ^c	1.75 $\pm$ 0.05 ^a	1.49 $\pm$ 0.15 ^b	1.06 $\pm$ 0.43 ^b	1.16 $\pm$ 0.27 ^a	1.73 $\pm$ 0.18 ^a	1.61 $\pm$ 0.38 ^a
6*	1.38 $\pm$ 0.12	0.93 $\pm$ 0.37	1.71 $\pm$ 0.14	1.87 $\pm$ 0.26	1.24 $\pm$ 0.18	1.00 $\pm$ 0.21	1.50 $\pm$ 0.20	1.44 $\pm$ 0.23	0.87 $\pm$ 0.62	1.03 $\pm$ 0.25	1.64 $\pm$ 0.20	1.44 $\pm$ 0.47

Küçük harfler sadece sütunlar arası anlamlı farkı göstermektedir.

Tablo 4.4. Mandibular molar dişlerin üç drill çapıyla preparasyon sonrası, mezial ve distal kök yüzeylerindeki furkasyondan itibaren farklı seviyelerde ölçülen postoperatif dentin kalınlığı (mm) değerleri. Değerler ortalama $\pm$ standart sapma olarak sunulmuştur.

Dentin Kalınlığı Seviye (mm)	Mandibular Molar					
	1.14 mm drill		1.25 mm drill		1.55 mm drill	
	Mezial	Distal	Mezial	Distal	Mezial	Distal
1	1.10 $\pm$ 0.21 ^a	1.42 $\pm$ 0.14 ^a	1.15 $\pm$ 0.29 ^a	1.45 $\pm$ 0.18 ^a	1.01 $\pm$ 0.30 ^a	1.28 $\pm$ 0.22 ^a
2	0.73 $\pm$ 0.27 ^b	1.35 $\pm$ 0.15 ^a	0.70 $\pm$ 0.37 ^b	1.41 $\pm$ 0.28 ^a	0.52 $\pm$ 0.25 ^b	1.19 $\pm$ 0.25 ^a
3	0.62 $\pm$ 0.25 ^b	1.25 $\pm$ 0.17 ^a	0.50 $\pm$ 0.43 ^c	1.22 $\pm$ 0.19 ^{ab}	0.43 $\pm$ 0.32 ^b	1.10 $\pm$ 0.29 ^a
4	0.50 $\pm$ 0.16 ^b	1.19 $\pm$ 0.24 ^a	0.48 $\pm$ 0.43 ^c	1.18 $\pm$ 0.20 ^b	0.45 $\pm$ 0.35 ^b	1.06 $\pm$ 0.32 ^a
5	0.60 $\pm$ 0.12 ^b	1.15 $\pm$ 0.29 ^a	0.55 $\pm$ 0.45 ^c	1.09 $\pm$ 0.22 ^b	0.56 $\pm$ 0.41 ^b	1.03 $\pm$ 0.36 ^a
6*	0.72 $\pm$ 0.15	1.12 $\pm$ 0.23	0.52 $\pm$ 0.26	0.92 $\pm$ 0.24	0.67 $\pm$ 0.48	0.97 $\pm$ 0.36
7*	0.82 $\pm$ 0.24	0.91 $\pm$ 0.22	0.72 $\pm$ 0.30	1.01 $\pm$ 0.28	0.72 $\pm$ 0.22	0.81 $\pm$ 0.27

Küçük harfler sadece sütunlar arası anlamlı farkı göstermektedir.

*6. ve 7. seviyeler düşük örnek sayısı nedeniyle istatistiksel analize dahil edilmemiştir.

Maksiller molar dişlerde bukkal dentin kalınlığı, tüm seviyelerde ve drill boyutlarında lingual dentin kalınlığından sürekli olarak daha fazlaydı ($p < .05$). Mezial ve distal kalınlıklar genel olarak benzerdi, yalnızca 1.14 mm drill grubunda furkal seviyeden 1 mm apikalde mezial kalınlık anlamlı derecede daha düşüktü ($p < .05$). Tüm farklı çaplı drill gruplarında mezial yüzeylerde anlamlı bir postoperatif değişiklik görülmedi ($p > .05$). Distalde ise 1.14 mm çap grubunda Seviye 1 ile 4 arasında ($p < .05$) ve 1.25 mm grubunda furkal seviyenin apikalinde 1-4-5 mm arasında ($p < .01$) anlamlı azalmalar bulundu (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Maksiller ve mandibular molar dişlerde farklı seviyelerde 1.14 mm, 1.25 mm ve 1.55 mm çaplı driller kullanılarak post boşluğu hazırlığı yapıldıktan sonra dentin kalınlığı azalmasının (mm). Ortalama $\pm$ Standart Sapması

Maksillar Molar Meziyodistal Yön						
Seviye	1.14 mm Drill		1.25 mm Drill		1.55 mm Drill	
	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal
1	0.23 $\pm$ 0.16 ^{A*}	0.05 $\pm$ 0.06 ^{a*}	0.30 $\pm$ 0.23 ^{A*}	0.15 $\pm$ 0.11 ^{b*}	0.22 $\pm$ 0.21 ^{A*}	0.19 $\pm$ 0.13 ^{b*}
2	0.14 $\pm$ 0.14 ^{A*†}	0.13 $\pm$ 0.10 ^{a*†}	0.22 $\pm$ 0.16 ^{A*†}	0.19 $\pm$ 0.09 ^{a*†}	0.24 $\pm$ 0.20 ^{A*}	0.25 $\pm$ 0.12 ^{a*}
3	0.07 $\pm$ 0.07 ^{A†}	0.20 $\pm$ 0.11 ^{a†}	0.12 $\pm$ 0.10 ^{AB†}	0.25 $\pm$ 0.12 ^{a†‡}	0.22 $\pm$ 0.12 ^{B*}	0.27 $\pm$ 0.20 ^{a*}
4	0.05 $\pm$ 0.05 ^{A†}	0.18 $\pm$ 0.16 ^{a†}	0.08 $\pm$ 0.11 ^{A†}	0.27 $\pm$ 0.12 ^{a†‡}	0.12 $\pm$ 0.12 ^{A†}	0.34 $\pm$ 0.27 ^{a*}
5	0.07 $\pm$ 0.08 ^{A†}	0.21 $\pm$ 0.15 ^{a†}	0.15 $\pm$ 0.13 ^{A†}	0.33 $\pm$ 0.12 ^{a‡}	0.09 $\pm$ 0.09 ^{A†}	0.24 $\pm$ 0.22 ^{a*}
Maksillar Molar Bukkolingual Yön						
Seviye	1.14 mm drill		1.25 mm drill		1.55 mm drill	
	Bukkal	Lingual	Bukkal	Lingual	Bukkal	Lingual
1	0.30 $\pm$ 0.16 ^{A*}	0.17 $\pm$ 0.15 ^{a*}	0.30 $\pm$ 0.09 ^{A*}	0.25 $\pm$ 0.07 ^{a*}	0.60 $\pm$ 0.23 ^{B*}	0.28 $\pm$ 0.14 ^{a*}
2	0.34 $\pm$ 0.09 ^{A*}	0.07 $\pm$ 0.08 ^{a†}	0.39 $\pm$ 0.14 ^{A*†}	0.12 $\pm$ 0.07 ^{a†}	0.64 $\pm$ 0.34 ^{B*}	0.26 $\pm$ 0.16 ^{b*}
3	0.31 $\pm$ 0.09 ^{A*}	0.10 $\pm$ 0.11 ^{ab*†}	0.46 $\pm$ 0.14 ^{B†}	0.06 $\pm$ 0.08 ^{a†}	0.58 $\pm$ 0.36 ^{B*}	0.19 $\pm$ 0.14 ^{b*}
4	0.27 $\pm$ 0.07 ^{A*}	0.12 $\pm$ 0.14 ^{ab*†}	0.41 $\pm$ 0.15 ^{AB†}	0.09 $\pm$ 0.06 ^{a†}	0.53 $\pm$ 0.33 ^{B*}	0.25 $\pm$ 0.18 ^{b*}
5	0.15 $\pm$ 0.08 ^{A†}	0.22 $\pm$ 0.20 ^{a*}	0.30 $\pm$ 0.16 ^{AB*}	0.24 $\pm$ 0.11 ^{a*}	0.45 $\pm$ 0.32 ^{B*}	0.17 $\pm$ 0.12 ^{a*}
Mandibular Molar Mezodistal Yön						
Seviye	1.14 mm drill		1.25 mm drill		1.55 mm drill	
	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal	Meziyal	Distal
1	0.47 $\pm$ 0.17 ^{A*}	0.24 $\pm$ 0.05 ^{a*}	0.56 $\pm$ 0.14 ^{AB*}	0.33 $\pm$ 0.11 ^{ab*}	0.62 $\pm$ 0.18 ^{B*}	0.39 $\pm$ 0.12 ^{b*}
2	0.51 $\pm$ 0.16 ^{A*}	0.18 $\pm$ 0.06 ^{a*}	0.61 $\pm$ 0.11 ^{B*†}	0.24 $\pm$ 0.08 ^{ab*†}	0.68 $\pm$ 0.13 ^{B*}	0.33 $\pm$ 0.15 ^{b*}
3	0.54 $\pm$ 0.18 ^{A*}	0.21 $\pm$ 0.14 ^{a*}	0.70 $\pm$ 0.18 ^{B†}	0.27 $\pm$ 0.24 ^{a*†}	0.68 $\pm$ 0.15 ^{B*}	0.32 $\pm$ 0.17 ^{a*}
4	0.56 $\pm$ 0.20 ^{A*}	0.20 $\pm$ 0.14 ^{a*}	0.62 $\pm$ 0.19 ^{A*†}	0.19 $\pm$ 0.09 ^{a†}	0.62 $\pm$ 0.18 ^{A*}	0.25 $\pm$ 0.15 ^{a*}
5	0.47 $\pm$ 0.17 ^{A*}	0.19 $\pm$ 0.13 ^{a*}	0.49 $\pm$ 0.22 ^{A*}	0.20 $\pm$ 0.08 ^{a†}	0.53 $\pm$ 0.23 ^{A*}	0.26 $\pm$ 0.14 ^{a*}

Farklı üst simge büyük harfler, gruplar arasında meziyal/bukkal yönde istatistiksel olarak anlamlı farkı gösterir (p < .05).

Farklı üst simge küçük harfler, gruplar arasında distal/lingual yönde istatistiksel olarak anlamlı farkı gösterir ($p < .05$).

Farklı semboller, aynı sütundaki seviyeler arasında istatistiksel olarak anlamlı farkı gösterir ($p < .05$).

Maksiller molar dişlerde bukkal yüzeyler, Seviye 1 ile diğer seviyeler arasındaki karşılaştırmalara bağlı olarak sürekli olarak anlamlı (seviyeler arası) farklılıklar gösterdi ($p < .05$), lingual yüzeylerde ise daha az fakat özellikle furkal seviyeden 5 mm uzaklıkta anlamlı farklılıklar gözlemlendi ($p < .05$).

Mandibular molarlarda distal dentin kalınlığı, tüm seviyelerde ve tüm drill çapı gruplarında meziyalden anlamlı derecede fazlaydı ($p > .05$). Meziyalde gruplar arası anlamlı bir farklılık gözlenmedi ($p > .05$). Distalde, furkal seviyeden 1–2 mm uzaklıktaki kalınlık, 1.14 mm ve 1.25 mm drill gruplarında, 1.55 mm drill grubuna göre anlamlı derecede daha yüksekti ($p < .05$). Tüm gruplarda (1.14 mm, 1.25 mm ve 1.55 mm), mezial kalınlık furkal seviyeden 1 mm de anlamlı bir azalma gösterirken ($p < .05$), distal kalınlık tüm seviyelerde değişmeden kalmıştır ($p > .05$).

Bu bulgular, post boşluğu preparasyonunda drill çapı ve kök yüzeyi farklılıklarının dikkate alınması gerektiğini ve özellikle mandibular mezial duvarlar ile maksiller bukkal duvarların perforasyon açısından yüksek risk taşıdığını göstermektedir (Şekil 4.1).

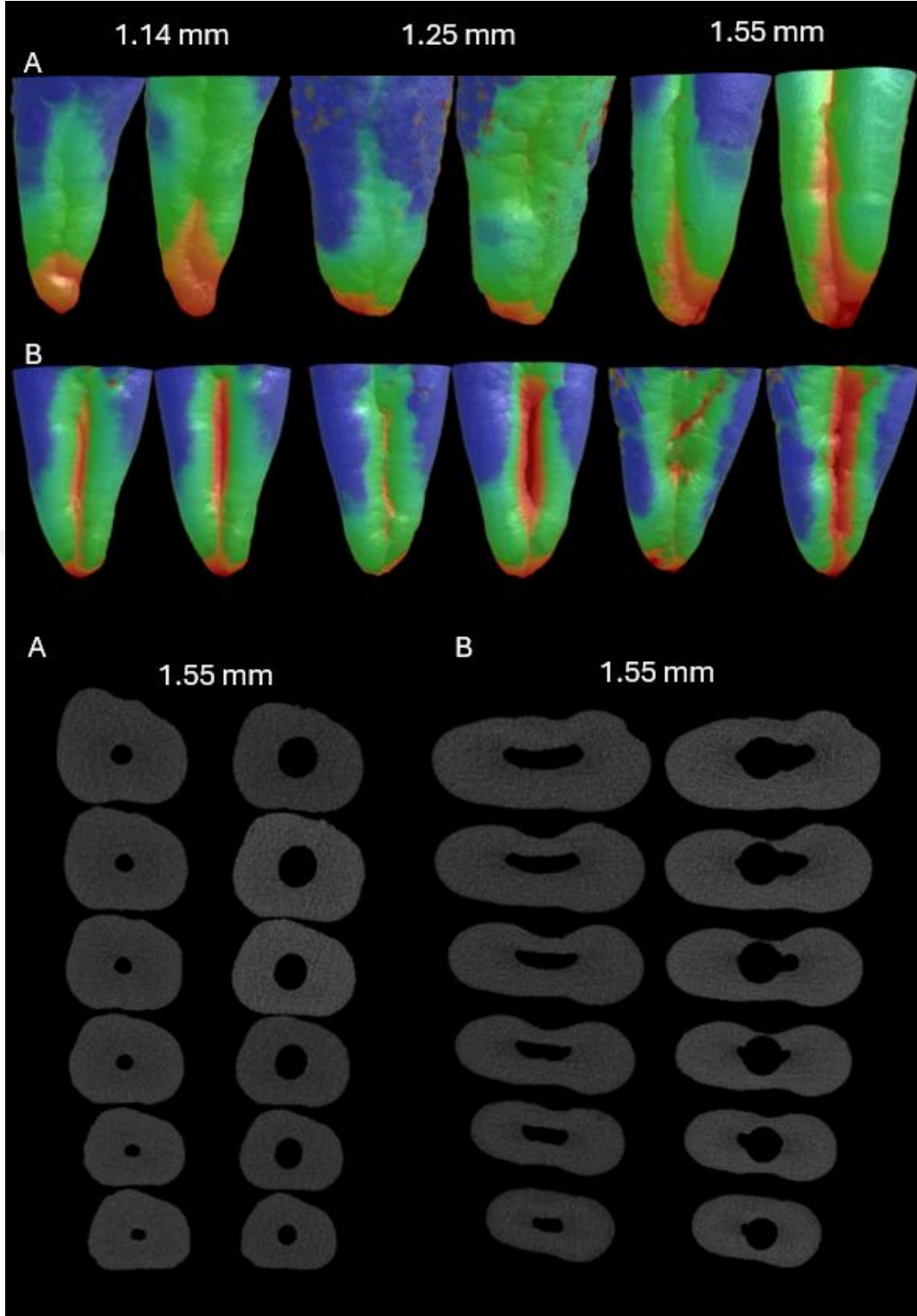
Üç drill boyutu için maksiller ve mandibular molar dişlerinin her bir yüzeyindeki postoperatif kalan dentin kalınlığının frekans dağılımını ve perforasyon oluşumunu sunmaktadır (Tablo 4.6). Maksiller molarlarda çoğu yüzeyde dentin kalınlığı bir milimetre ve üzerinde korunmuştur. Yalnızca 1.55 mm grubunun bukkal yüzünde ($n = 1$) perforasyon gözlenmiş, diğer yüzeylerde perforasyon oluşmamıştır.

Mandibular molarlarda ise özellikle 1.14 mm ve 1.25 mm gruplarında mezial yüzeylerde sıklıkla bir milimetre ve altında dentin kalınlığı saptanmıştır. Ayrıca 1.55 mm grubunun mezial yüzeyinde üç perforasyon meydana gelmiştir (Şekil 4.2). Mandibular molarların distal yüzeylerinde genellikle bir milimetre ve üzerinde dentin kalınlığı korunmuş ve perforasyon görülmemiştir.

Tablo 4.6. Preparasyon sonrası dentin kalınlığı kategorilerinin (≤ 0.5 mm, $0.5-1$ mm, ≥ 1 mm) ve diş tipleri, yönleri ve drill boyutlarına (1.14 mm, 1.25 mm, 1.55 mm) göre dağılımı. Değerler, her kategorideki örnek sayısını temsil eder.

Diş Tipi	Yön	1.14 mm drill				1.25 mm drill				1.55 mm drill			
		≤ 0.5 mm	$0.5 - 1$ mm	≥ 1 mm	Perforasyon	≤ 0.5 mm	$0.5 - 1$ mm	≥ 1 mm	Perforasyon	≤ 0.5 mm	$0.5 - 1$ mm	≥ 1 mm	Perforasyon
Maksillar Molar	Bukkal	0	0	10	0	0	0	10	0	2	1	7	1
	Lingual	1	2	7	0	0	3	7	0	0	2	8	0
	Meziyal	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0
	Distal	0	0	10	0	0	0	10	0	0	1	9	0
Mandibular Molar	Meziyal	6	4	0	0	7	2	1	1	7	3	0	3
	Distal	0	2	8	0	0	5	5	0	0	4	6	0

Bu bulgular, mandibular distal kökün meziyal duvarların post preparasyon sırasında en riskli bölge olduğunu ve daha küçük drill çaplarının tercih edilmesinin perforasyon riskini azaltabileceğini göstermektedir. Maksiller molarlarda ise bukkal yüzeyler, özellikle geniş drill çaplarında, dikkat edilmesi gereken kritik alanlardır (Şekil 4.3-4.4)

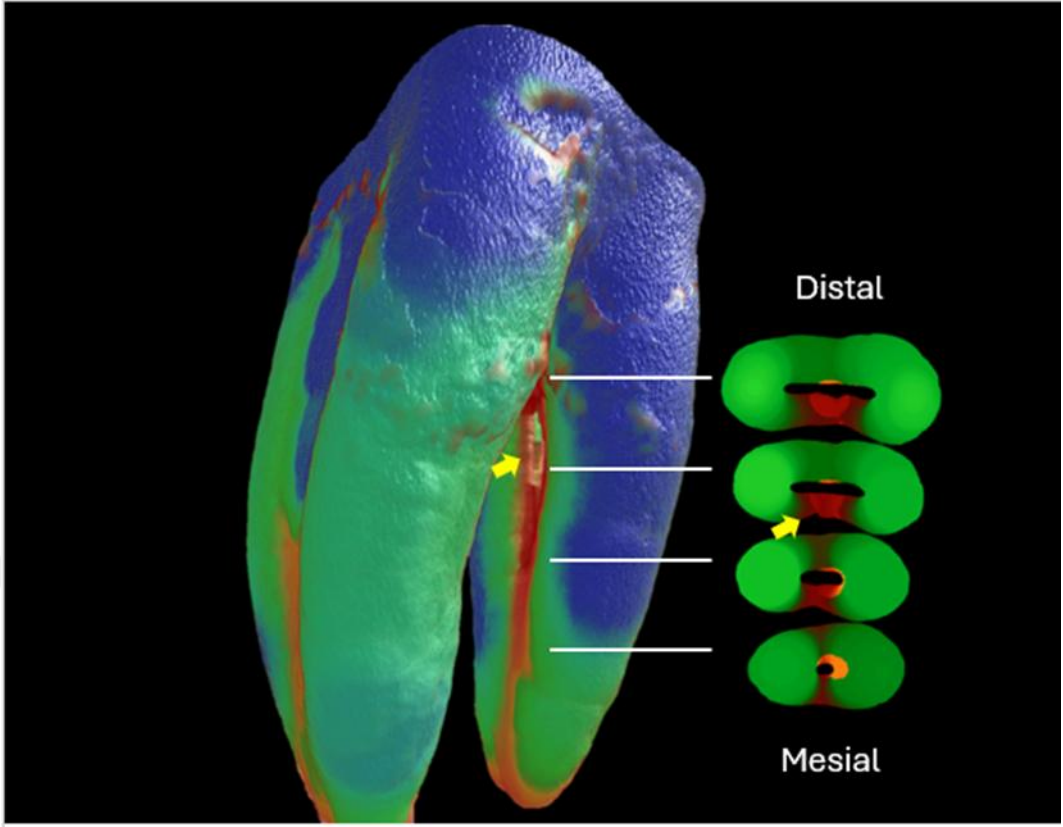


Şekil 4.1. 1.55 mm çapında frez ile yapılan post boşluğu preparasyonunun kalan dentin kalınlığı üzerindeki etkisi.

Preparasyondan önce ve sonra alınan temsili 2 boyutlu mikro-BT görüntüleri:

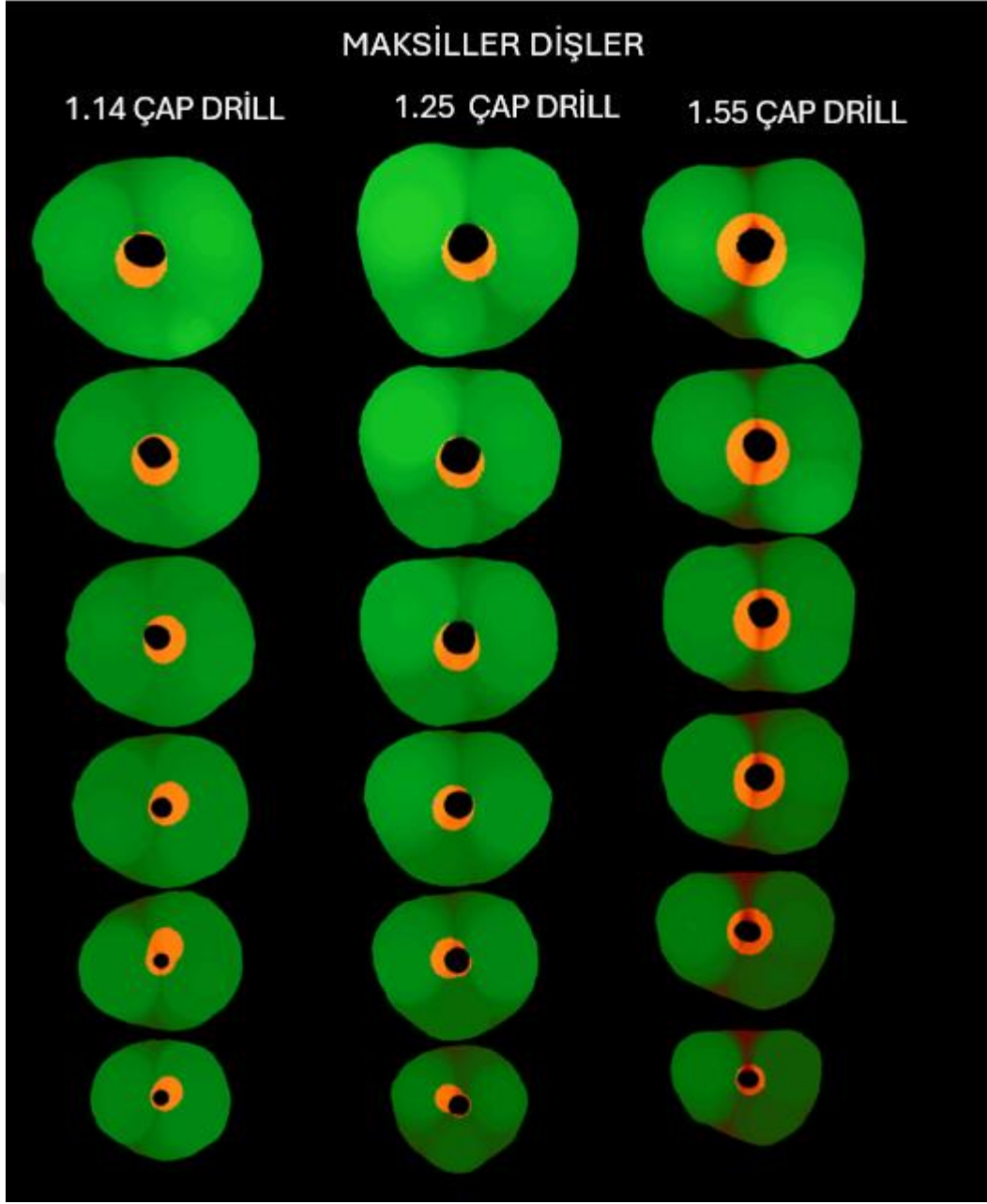
(A) Maksiller moların palatinal kökü,

(B) Mandibular moların distal kökü.

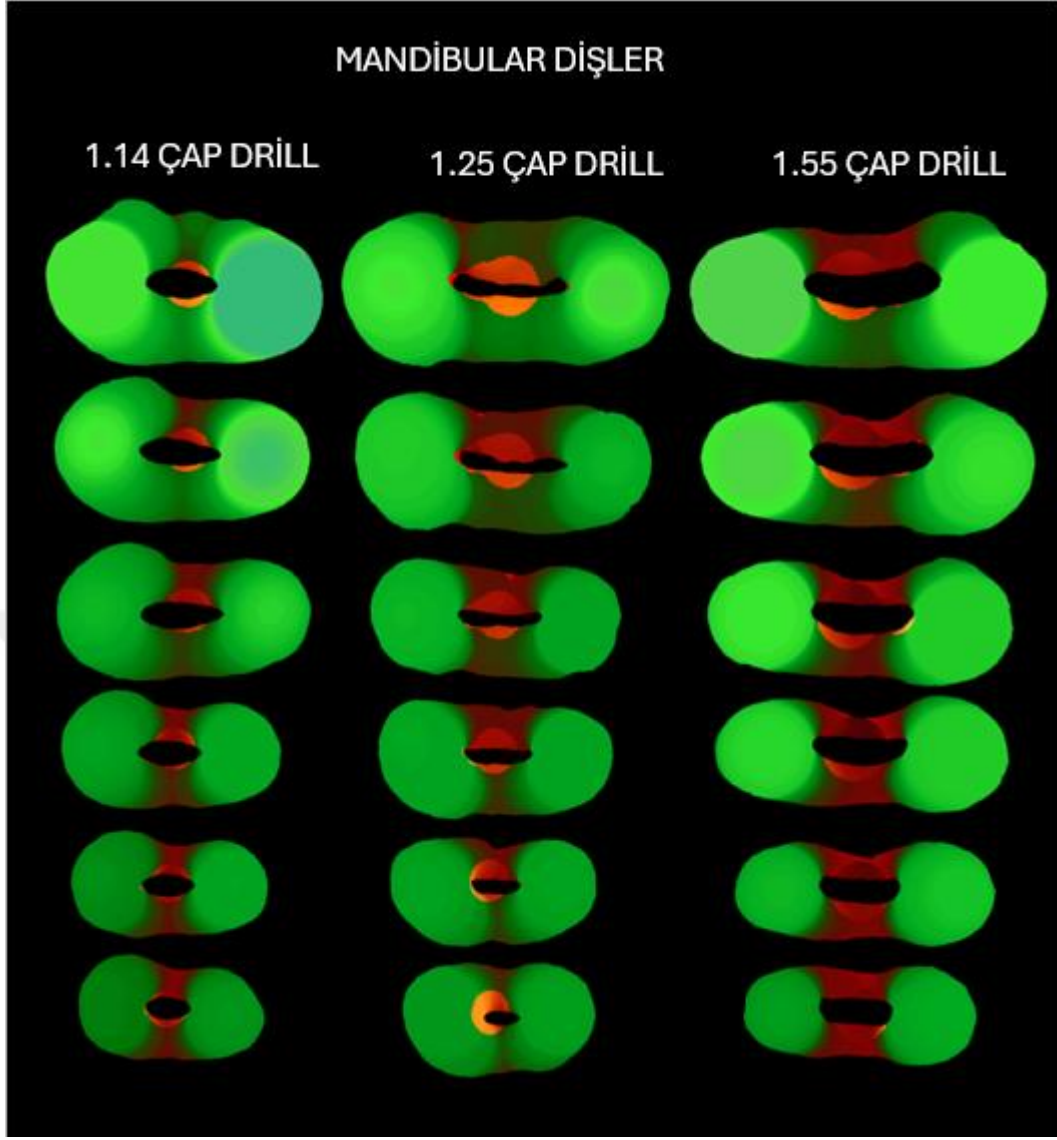


Şekil 4.2. Kalan dentin kalınlığını farklı ölçüm seviyelerinde gösterebilmek için preparasyon öncesi ve sonrası veri setlerinin üst üste bindirilmiş görünümü.

Sarı ok perforasyon bölgesini göstermektedir



Şekil 4.3. Maksiller molar dişlerde 1.14, 1.25, 1.55 çapındaki drillerle preparasyon yapılmış furkasyondan itibaren 6 mm kadar olan kesitlerin aksiyal görüntüsü.



Şekil 4.4. Mandibular molar dişlerde 1.14, 1.25, 1.55 çapındaki drillerle preparasyon yapılmış furkasyondan itibaren 6 mm kadar olan kesitlerin aksiyal görüntüsü.

5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisi görmüş dişlerin yapısal bütünlüğü ve uzun dönem prognozu açısından, post boşluğu hazırlığı sonrasında yeterli kalan dentin kalınlığının korunması kritik öneme sahiptir (Pilo vd., 2008). Aşırı dentin uzaklaştırılması, kırılma direncini azaltır, dikey kök kırıklarına yatkınlığı artırır ve lateral perforasyon riskini yükseltir (Chen vd., 2023). Bu çalışma, yüksek çözünürlüklü mikro-BT kullanarak, maksiller molarların palatinal köklerinde ve mandibular molarların distal kökünde üç farklı çapta post boşluğu frezinin (1.14, 1.25 ve 1.55 mm) kalan dentin kalınlığı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Preparasyon öncesi ve sonrası karşılaştırılan taramalar, birden fazla kök seviyesinde ve yönde dentin uzaklaştırılmasının kantitatif olarak ölçülmesini sağlamış; böylece kesitsel ya da iki boyutlu radyolojik çalışmaların metodolojik sınırlılıkları büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

Bu çalışmanın bulguları sıfır hipotezini reddetmektedir; zira frez çapı, belirli kök seviyeleri ve yüzeylerde kalan dentin kalınlığını anlamlı biçimde etkilemiştir.

Kalan dentin kalınlığının klinik açıdan iki temel sonucu bulunmaktadır. Birincisi, hazırlık sırasında lateral perforasyon olasılığıdır; bu durum kötü prognozlu iyatrojenik bir hata olarak kabul edilir çoğu kez cerrahi onarım ya da çekim gerektirir (Fuss & Trope, 1996). İkincisi, azalmış kalan dentin kalınlığı ile dikey kök kırığı arasında güçlü bir ilişki bildirilmiştir (Silva vd., 2021). Farklı post boşluğu hazırlama teknikleri fiber post tutuculuğunu etkileyebilse de (Tsintsadze vd., 2015), tutuculuğu artırma amacıyla yapılan agresif genişletmeler dentin duvarlarını aşırı incelterek mikro çatlak oluşumu ve dikey kök kırığı riskini artırabilir. Nitekim, çalışmalarda post boşluğu hazırlanmış mandibular molarların distal köklerinde minimum kalan dentin kalınlığının 0.5 ve altında olma oranlarının kayda değer düzeyde olduğu bildirilmiştir (Abou-Rass vd., 1982; Keleş vd., 2025; Ouzounian & S., 1991).

Kuttler ve ark. (2004), #4 Gates-Glidden hazırlığı sonrasında mandibular molar distal köklerinin yalnızca %12.7'sinde minimum kalan dentin kalınlığının bir milimetre ve üzerinde olduğunu, %40'ında ise 0.5 mm'nin altına düştüğünü raporlamıştır.

Mevcut çalışmamızın bulguları, mandibular molarlarda daha belirgin incelleme eğilimi bildiren bu literatürle örtüşmektedir (Chen vd., 2020; Kuttler vd., 2004; Ouzounian vd., 1991; Keleş vd., 2025).

Post boşluklarını retansiyonu artırmak amacıyla genişletme kararı, kalan dentin kalınlığındaki olası azalma ile dikkatle dengelenmelidir.

Ayrıca verilerimiz, frez çapının 1.14 mm'den 1.55 mm'ye artırılmasının mandibular molarlarda 0,5 mm ve altında kalan dentin oranının belirgin biçimde arttığını; maksiller molarlarda ise etkinin daha sınırlı kaldığını göstermektedir (Tablo 4.2–4.5).

Maksiller molarların palatinal kökleri, genel olarak tüm yüzeylerde ve frez çaplarında bir milimetre ve üzerinde dentin kalınlığı korunmuştur; en geniş frez grubunda yalnızca tek bir perforasyon kaydedilmiştir (Tablo 4.6). Bukkal duvar, hemen her düzeyde linguale göre daha fazla kalınlık sergilemiş; bu bulgu, palatinal köklerde bukkal duvarların daha kalın olduğunu bildiren morfometrik çalışmalarla uyumludur (Ordinola-Zapata vd., 2019; Souza vd., 2011). Klinik olarak bu sonuçlar, kanal sınırları içinde kalındığı sürece, palatinal köklerde post hazırlığının büyük frezler kullanılsa dahi görece güvenli olduğunu düşündürmektedir.

Mandibular molarlarda, distal kökün mezial duvarının diğer yüzeylere kıyasla belirgin derecede daha ince olduğu; postoperatif dönemde dentin kalınlığının sıklıkla bir milimetre ve altına düştüğü ve 1,55 mm frez kullanıldığında perforasyon riskinin anlamlı şekilde arttığı tespit edilmiştir. Distal duvarda perforasyon saptanmamıştır; perforasyonlar, 1.55 mm grubunda distal kökün mezial duvarında görülmüştür (Tablo 4.6). Bu durum, distal kanalların daha geniş boyutlara ve daha kalın dentin duvarlarına sahip olduğunu bildiren anatomik çalışmalarla da uyumludur (Chen vd., 2020; Kuttler vd., 2004, Keleş vd., 2025). Özellikle koronal ve orta üçlüde belirginleşen bu zayıflık, konservatif post boşluğu hazırlığı gereksinimini hatta mümkünse bu köklerde posttan kaçınılmasını vurgular. 1.55 mm grubunda distal kökün mezial duvarında görülen üç perforasyon, dar köklerde frez çapının sınırlandırılmasına yönelik önerileri pekiştirmektedir. Bu bulgular, agresif preparasyon yapıldığında distal köklerde yüksek perforasyon insidansı bildiren Chen ve ark. (2020) ile uyumlu olup, dikkat edilmesi gerektiğini mandibular molarların distal kökleri için de genişletmektedir (Chen vd., 2020; Keleş vd., 2025).

Dentin kaybının yön ve düzey bağımlılığı da dikkat çekicidir. Mikro-BT ile yapılan çalışmalar, post boşluğu hazırlıklarının kök boyunca homojen dağılmadığını ve dentin kaybının çevresel olarak eşit olmadığını, bazı alanlarda daha belirgin incelleme bulunduğunu göstermiştir (Jamleh vd., 2022; Keleş vd., 2025). Mevcut çalışmada da maksimum dentin kaybı belirli yön ve seviyelerde daha belirgin olup; maksillerlerde azalma bukkal yüzlerde linguale göre daha fazla, mandibular molarlarda mezialde distale göre daha fazla daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 4.3-4.5). Bu yönelim, kanal eğimi ve preparasyon yolunun doğrultusunun dentin uzaklaştırmasının miktar ve konumunu belirleyen ana etkenler olduğuna işaret etmektedir. Eğime bağlı bu asimetrik incelleme, belirli düzlemlerde kök direncini daha da zayıflatabileceğinden, eğime uyarlanmış preparasyon protokollerine gereksinimi vurgular.

Restoratif açıdan, post çapı seçimi kök morfolojisi ve hatta hafif eğim varlığına göre bireyselleştirilmelidir. Daha büyük frezler post tutuculuğunu artırabilse de dentin kaybındaki ödün olası faydaları gölgede bırakabilir. Mandibular molarlarda, diş yapısını zayıflatmamak için post kullanılmayan yaklaşımlar veya alternatif tutuculuk stratejileri düşünülmelidir. Literatürde, endokron restorasyonların kök içi preparasyon gerektirmemeleri sayesinde dentin korunumu açısından avantajlı olduğu; 5 yıllık sağkalım oranlarının post-kor kuron restorasyonlarla karşılaştırılabilir olabildiği bildirilmiştir (Al-Dabbagh, 2021; Sedrez-Porto vd., 2016). Fiber takviyeli kompozitler (SFRC, Ribbond vb.) de post boşluğu açılmadan kırılma direncini artırabilmekte ve ince dentinli bölgelerde konservatif bir alternatif sunmaktadır (Eapen vd., 2017). Bununla birlikte uzun dönem klinik kanıtların sınırlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın en önemli güçlü yönlerinden biri, yüksek anatomik doğruluk sağlayan mikro-BT teknolojisinin kullanılmasıdır. Elde edilen verilerin kapsamlı anatomik haritalama ile literatür bulgularıyla uyum göstermesi, sonuçların güvenilirliğini artırmıştır (Tang vd., 2025; Keleş vd., 2020). Ayrıca tek operatör, mikroskop altında standartlaştırılmış protokoller ve sabit tarama parametreleri kullanılmış; gruplar homojen olacak biçimde oluşturulmuştur.

Yöntem ve ekipman bağlamında, bu çalışmada kök kanal şekillendirmesi için ProTaper Next (PTN) sistemi kullanılmıştır. PTN, eksantrik dikdörtgen kesit tasarımı ile torsiyonel stresi azaltırken etkin kesim ve debris uzaklaştırma sağlar (Elnaghy & Elsaka, 2014). Bu özellikler standardizasyon ve etkinlik kazandırsa da

özellikle distal kökün mezial duvarı gibi anatomik olarak riskli alanlarda görece agresif kesim karakteri dentin incelmesini artırmış olabilir. Bu durum, çalışmamızın potansiyel bir yöntem etkisi olarak not edilmelidir.

Alternatif görüntüleme yöntemleri bağlamında, klinik erişilebilirliği yüksek olan konik ışınli bilgisayar tomografi (KIBT), düşük radyasyon dozu ve geniş görüntüleme alanı avantajı sunar (Patel vd., 2009); ancak çözünürlüğü mikro-BT'ye kıyasla sınırlıdır ve submilimetrik dentin kalınlığı ölçümleri için yeterli hassasiyet sağlamaz. SEM ise yüzey morfolojisinin detaylandırılmasında güçlü olmakla birlikte yalnızca iki boyutlu görüntüler sunar ve hacimsel değişiklikleri yakalamada yetersiz kalır. Bu nedenlerle, kök boyunca üç boyutlu kantitatif değerlendirme amacıyla mikro-BT tercih edilmiştir (Peters vd., 2001; Swain & Xue, 2009; Deus vd., 2015; Keles vd., 2020).

Çalışmada, post preparasyonu esnasında mandibular molarların distal köklerinin mezial duvarlarında sıklıkla 0.5 mm ve altında dentin kalınlığı tespit edilmiş, bazı olgularda ise perforasyon meydana gelmiştir (Tablo 4.6). Sistematik bir derleme, perforasyon insidansının %0.6 ile %17.6 arasında değişebildiğini ve en sık post yuvası preparasyonu sırasında meydana geldiğini bildirmiştir (Sarao vd., 2021). Bu veriler, çalışmamızda saptanan dentin incemesi ve perforasyon riskinin, özellikle mandibular distal kökün mezial duvarında klinik açıdan kritik olduğunu desteklemektedir. Öte yandan bir sistematik derlemede post varlığının bazı koşullarda dikey kök kırığı riskini azaltıcı yönde yorumlanabildiği bildirilmiştir (García-Guerrero vd., 2021); ancak dentin kaybındaki artış özellikle post boşluğu nedeniyle kök duvarlarını zayıflatarak bu olası faydayı tersine çevirebilir (Rathke vd., 2022). Bu bağlamda, çalışmamızda distal kökün mezial duvarında kritik değerlere düşen dentin kalınlıkları yalnızca perforasyon değil, uzun dönemde dikey kök kırığı açısından da risk işaretidir.

Çalışmanın sınırlılıkları şunlardır: ex vivo tasarım ve yalnızca hafif eğimli köklerin dâhil edilmesi genellenebilirliği kısıtlayabilir ve eğriliğin nicel etkisini test etme kapasitesini sınırlar; yalnızca üç frez çapı incelenmiştir; literatürde 0.9 mm'den küçük ve 2 mm'den büyük çapların kullanıldığı çalışmalar mevcuttur ve bu çapların dentin kalınlığı ile perforasyon riski üzerindeki etkileri değişken olabilir (Sağsen vd., 2012); standart post drillerinin kullanımı preparasyonların homojenliğini artırsa da, bu drillerin kök duvarlarında önemli dentin kaybına yol açabileceği bildirilmiştir (Cagidiaco vd., 2007; Soares vd., 2012).

Diğer taraftan endodontik frezler veya Gates Glidden gibi alternatifler daha konservatif kabul edilmekle birlikte, post kanal uyumunu olumsuz etkileyebilir (D'Arcangelo, Cinelli, vd., 2007). Çalışmamızda yalnızca post drillerinin kullanılmış olması, klinik gerçekliği artırırken farklı tekniklerle doğrudan karşılaştırma yapılmamasını bir sınırlılık hâline getirmiştir.

Gelecek çalışmalar, farklı kalan dentin kalınlığı profillerine sahip köklerde gerilim dağılımını modellemek üzere sonlu eleman analizini içermeli; KIBT–mikro-BT korelasyonu üzerinden klinik karar eşiklerinin (≤ 0.5 mm; 0.5–1.0 mm) perforasyon ve dikey kök kırığı ile uzun dönem ilişkilendirilmesi hedeflenmelidir. Farklı post sistemleri ve frez geometrilerinin (daha küçük/büyük çaplar; Gates-Glidden/endodontik frezler) tutuculuk dentin kaybı dengesi üzerindeki etkileri doğrudan karşılaştırılmalıdır.

Restoratif açıdan, post çapı seçimi kök morfolojisi ve hatta hafif eğim varlığına göre bireyselleştirilmelidir. Daha büyük frezler post retansiyonunu artırabilse de dentin kaybındaki olası faydaları gölgede bırakabilir. Mandibular molarlarda, diş yapısını zayıflatmamak için post kullanılmayan yaklaşımlar veya alternatif retansiyon stratejileri düşünülmelidir.

Yalnızca düz veya hafif eğimli köklerin dâhil edilmesi, grupların homojenliğini sağlamak amacıyla tercih edilse de kök eğiminin kalan dentin kaybına etkisini değerlendirme kabiliyetimizi sınırlamış olabilir. Görüntüleme artefaktlarını önlemek için kanal dolguları yapılamamış ve postlar simante edilmemiştir. Bu sınırlamalara karşın, hazırlık öncesi ve sonrası mikro-BT taramalarının kullanımı kesin ve tekrarlanabilir ölçümler sağlamış, gruplar arasında standartlaştırılmış karşılaştırmalara olanak tanımıştır (Keleş vd., 2025). Gelecek çalışmalar, farklı kalan dentin kalınlığı profillerine sahip köklerde gerilim dağılımını modellemek için sonlu eleman analizini içermeli; ayrıca in vitro eşiklerin 0.5 mm'den daha az dentin kalınlığı uzun dönem kırık ve perforasyon oranları ile ilişkilendirildiği klinik sonuç çalışmaları planlanmalıdır.

Bu ex vivo çalışmanın sınırlamaları dâhilinde, mandibular molarların distal kökleri için konservatif preparasyon, daha küçük frezler veya alternatif retansiyon yöntemleri önerilirken; maksiller molarların palatinal kökleri post yerleşimini görece daha güvenli biçimde tolere edebilmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu mikro-BT çalışması, molar dişlerde güvenli post boşluğu hazırlanmasına rehberlik edecek nicel kanıtlar sunmaktadır. Üst molar dişlerin palatinal kökleri, daha geniş çaplı driller kullanılsa dahi preparasyon sonrasında genellikle bir milimetre ve üzerinde dentin kalınlığını korumakta ve perforasyon riski minimal düzeyde kalmaktadır. Buna karşılık, alt molar dişlerin mezial kökleri, özellikle 1.55 mm drillerle sıklıkla 1 mm güvenlik eşiğinin altına düşer ve daha yüksek perforasyon insidansı gösterir. Klinisyenler, drill boyutunu ve preparasyon stratejisini kök morfolojisine göre ayarlamalı ve dentini korumak ve komplikasyonları önlemek için yüksek riskli köklerde post içermeyen restorasyonları düşünmelidir.

Kritik bölgelerde perforasyon riskini azaltmak amacıyla, endokron veya fiber takviyeli kompozit restorasyonlar post kullanımına alternatif olarak değerlendirilmelidir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı post materyalleri ve çapları, alternatif restoratif yaklaşımlar ve uzun dönem klinik başarı oranları İn-vivo koşullarda incelenmelidir.

Frez çapı arttıkça 1.14, 1.25, 1.55 mm post çevresindeki en ince dentin değerleri kademeli olarak azalmakta, bu etki mandibular distal kökün mezial duvarında orantısız biçimde belirginleşmektedir.

Dentin kaybı yön ve düzeye bağlıdır: maksillerde bukkal lingualden fazla, mandibularda mezial distalden fazla örüntüsü; koronal-orta üçlülerde incelme daha belirgindir.

1. Mandibular distal kökün mezial duvarında post boşluğu hazırlığı konservatif yapılmalı; mümkün olduğunda daha küçük çaplı frezler tercih edilmeli, anatomik risk yüksekse post kullanılmayan veya post alternatifi yaklaşımlar düşünülmelidir.

2. Maksiller palatinal kök, kanal sınırları gözetildiğinde post yerleşimini görece güvenli biçimde tolere edebilir; yine de yön düzey bazlı incelme dikkate alınmalıdır.

3. Şekillendirmede düşük koniklik, yüksek esnek NiTi enstrümantasyon ve periservikal dentin korunumu strip perforasyon ve yapısal zayıflama riskini azaltmada rasyonel stratejilerdir.

Bu sonuçlar, ex vivo koşullar ve test edilen üç frez çapı ile sınırlıdır; post simantasyon ve kanal dolgusu yapılmamış, klinik kuvvet aktarımı birebir simüle edilmemiştir.

Bu çalışma, molar köklerde güvenli post boşluğu hazırlanmasına yönelik nicel bir yol haritası sunmakta; özellikle mandibular distal kökün mezial duvarında dentin korunumu odaklı bireyselleştirilmiş preparasyon ve gerektiğinde post alternatif restorasyonların tercih edilmesi gerektiğini güçlü biçimde desteklemektedir.



7. KAYNAKLAR

- Abou-Rass, M., Frank, A. L., & Glick, D. H. (1980). The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. *Journal of the American Dental Association* (1939), 101(5), 792-794. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.1980.0427>
- Abou-Rass, M., Jann, J. M., Jobe, D., & Tsutsui, F. (1982). Preparation of Space for Posting: Effect on Thickness of Canal Walls and Incidence of Perforation in Molars. *The Journal of the American Dental Association*, 104(6), 834-837. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.1982.0305>
- Al-Dabbagh, R. A. (2021). Survival and success of endocrowns: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(3), 415.e1-415.e9. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.01.011>
- Al-Nuaimi, N., Patel, S., Austin, R. S., & Mannocci, F. (2017). A prospective study assessing the effect of coronal tooth structure loss on the outcome of root canal retreatment. *International Endodontic Journal*, 50(12), 1143-1157. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12760>,
- Azimi, V. F., Samadi, I., Saffarzadeh, A., Motaghi, R., Hatami, N., & Shahravan, A. (2020). Comparison of dentinal wall thickness in the furcation area (danger zone) in the first and second mesiobuccal canals in the maxillary first and second molars using cone-beam computed tomography. *European Endodontic Journal*, 5(2), 81-85. <https://doi.org/10.14744/ej.2020.18189>
- Bae, J. M., Kim, K. N., Hattori, M., Hasegawa, K., Yoshinari, M., Kawada, E., & Oda, Y. (2001). The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix. *The International journal of prosthodontics*, 14(1), 33-39.
- Balbosh, A., & Kern, M. (2006). Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 95(3), 218-223. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2006.01.006>,
- Bandlish, R. B., McDonald, A. V., & Setchell, D. J. (2006). Assessment of the amount of remaining coronal dentine in root-treated teeth. *Journal of Dentistry*, 34(9), 699-708. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2006.01.002>
- Barker, B. C. W. (1963). The restoration of non-vital teeth with crowns*. *Australian Dental Journal*, 8(3), 191-200. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.1963.TB05973.X>
- Bateman, G., Ricketts, D. N. J., & Saunders, W. P. (2003). Fibre-based post systems: A review. *British Dental Journal*, 195(1), 43-48. <https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.4810278>,
- Bhuva, B., Giovarruscio, M., Rahim, N., Bitter, K., & Mannocci, F. (2021). The restoration of root filled teeth: a review of the clinical literature. *International Endodontic Journal*, 54(4), 509-535. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13438>,
- Biacchi, G. R., & Basting, R. T. (2012). Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. *Operative Dentistry*, 37(2), 130-136. <https://doi.org/10.2341/11-105-L>,
- Bier, C. A. S., Shemesh, H., Tanomaru-Filho, M., Wesselink, P. R., & Wu, M. K. (2009). The Ability of Different Nickel-Titanium Rotary Instruments To Induce Dentinal Damage During Canal Preparation. *Journal of Endodontics*, 35(2), 236-238. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.10.021>

- Bolbolian, M., Ramezani, M., Valadabadi, M., Alizadeh, A., Tofangchiha, M., Ghonche, M. R. A., Reda, R., Zanza, A., & Testarelli, L. (2023). Dentin Thickness of the Danger Zone in the Mesial Roots of the Mandibular Molars: A Cone Beam Computed Tomography Analysis. *Frontiers in Bioscience - Scholar*, 15(1). <https://doi.org/10.31083/j.fbs1501003>
- Bourgeois, R. S., & Lemon, R. R. (1981). Dowel space preparation and apical leakage. *Journal of Endodontics*, 7(2), 66-69. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(81\)80244-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(81)80244-0),
- Brătoiu, M. R., Mercuț, R., Iacov-Crăițoiu, M. M., Scieciu, M., Măgureanu Murariu, C., Stănuși, A., Popa, D. L., & Mercuț, V. (2025). Stress Evaluation in Endodontically Treated Virtual Teeth Restored with Composite Fillings and Cast or Fiberglass Posts—A Finite Element Analysis. *Biomedicines* 2025, Vol. 13, Page 974, 13(4), 974. <https://doi.org/10.3390/BIMEDICINES13040974>
- Brodin, P., Røed, A., Aars, H., & Ørstavik, D. (1982). Neurotoxic Effects of Root Filling Materials on Rat Phrenic Nerve in vitro. *Journal of Dental Research*, 61(8), 1020-1023. <https://doi.org/10.1177/00220345820610080501>,
- Capar, I. D. avut, Arslan, H., Akcay, M., & Uysal, B. (2014). Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *Journal of endodontics*, 40(9), 1482-1484. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2014.02.026>,
- Caputo, A. A., & Standlee, J. P. (1976). Pins and Posts—Why, When and How. *Dental Clinics of North America*, 20(2), 299-311. [https://doi.org/10.1016/S0011-8532\(22\)00950-8](https://doi.org/10.1016/S0011-8532(22)00950-8)
- Cavalcante, D. M., Tavares, S. J. O., Purger, L. O., Scelza, P., Gallito, M. A., Saddock, A., Lopes, R. T., & Scelza, M. F. Z. (2025). Vertical root fractures and cracked teeth: post-endodontic root dentinal status through micro-CT assessment after ex vivo fiber post removal. *Clinical Oral Investigations*, 29(1). <https://doi.org/10.1007/S00784-024-06116-0>,
- Chen, C., Zhang, W., & Liang, Y. (2022). Evaluation of apical root defects during canal instrumentation with two different nickel-titanium (NiTi) systems by optical coherence tomography (OCT) scan. *Journal of Dental Sciences*, 17(2), 763-770. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.10.009>
- Chen, S., Arola, D., Ricucci, D., Bergeron, B. E., Branton, J. A., Gu, L. sha, & Tay, F. R. (2023). Biomechanical perspectives on dentine cracks and fractures: Implications in their clinical management. *Journal of Dentistry*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104424>
- Chen, X., Min, Y., Gao, Y., & Peng, L. (2020). Microcomputer tomography measurement of minimum residual dentin thickness in mandibular first molars after virtual fiber post placement. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(3), 506-513. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.11.018>
- Coelho, M. S., Card, S. J., & Tawil, P. Z. (2016). Light-emitting Diode Assessment of Dentinal Defects after Root Canal Preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold Systems. *Journal of Endodontics*, 42(9), 1393-1396. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2016.06.003>,
- Cohen, B. I., Condos, S., Musikant, B. L., & Deutsch, A. S. (1992). Retentive properties of a split-shaft threaded post: Cut at different apical lengths. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 68(6), 894-898. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90546-M](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90546-M)
- Cormier, C. J., Burns, D. R., & Moon, P. (2001). In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists*, 10(1), 26-36. <https://doi.org/10.1111/J.1532-849X.2001.00026.X>
- Çalışkan K. (2006). EndodonCde Tanı ve Tedaviler. *İstanbul: Nobel Tıp Kitapevleri; 2. Baskı.*

- Çelik Uzun, N., Uşun, A., & Çelik, D. (2025). Unveiled stress dynamics: the role of post length and repair materials in perforated tooth models: a finite element analysis study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/S12903-025-05750-8/FIGURES/3>
- Çiçek, E., Koçak, M. M., Sallam, B. C., & Koçak, S. (2015). Evaluation of microcrack formation in root canals after instrumentation with different NiTi rotary file systems: A scanning electron microscopy study. *Scanning*, 37(1), 49-53. <https://doi.org/10.1002/SCA.21178>,
- D'Arcangelo, C., D'Amario, M., Vadini, M., De Angelis, F., & Caputi, S. (2007). Influence of Surface Treatments on the Flexural Properties of Fiber Posts. *Journal of Endodontics*, 33(7), 864-867. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.03.004>
- De Sousa, V. C., De Alencar, A. H. G., Bueno, M. R., Decurcio, D. D. A., Estrela, C. R. A., & Estrela, C. (2022). Evaluation in the danger zone of mandibular molars after root canal preparation using novel CBCT software. *Brazilian Oral Research*, 36, 1-12. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2022.VOL36.0038>,
- De-Deus, G., Belladonna, F. G., Souza, E. M., Silva, E. J. N. L., Neves, A. D. A., Alves, H., Lopes, R. T., & Versiani, M. A. (2015). Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *Journal of endodontics*, 41(7), 1116-1119. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2015.02.012>
- De-Deus, G., Rodrigues, E. A., Belladonna, F. G., Simões-Carvalho, M., Cavalcante, D. M., Oliveira, D. S., Souza, E. M., Giorgi, K. A., Versiani, M. A., Lopes, R. T., Silva, E. J. N. L., & Paciornik, S. (2019). Anatomical danger zone reconsidered: a micro-CT study on dentine thickness in mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 52(10), 1501-1507. <https://doi.org/10.1111/iej.13141>
- De-Deus, G., Rodrigues, E. A., Lee, J. K., Kim, J., Silva, E. J. N. L., Belladonna, F. G., Simões-Carvalho, M., Souza, E. M., & Versiani, M. A. (2023). Taper 0.06 Versus Taper 0.04: The Impact on the Danger Zone. *Journal of Endodontics*, 49(5), 536-543. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.02.009>
- De-Deus, G., Simões-Carvalho, M., Belladonna, F. G., Versiani, M. A., Silva, E. J. N. L., Cavalcante, D. M., Souza, E. M., Johnsen, G. F., Haugen, H. J., & Paciornik, S. (2020). Creation of well-balanced experimental groups for comparative endodontic laboratory studies: a new proposal based on micro-CT and in silico methods. *International Endodontic Journal*, 53(7), 974-985. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13288>,
- Degerness, R. A., & Bowles, W. R. (2010). Dimension, anatomy and morphology of the mesiobuccal root canal system in maxillary molars. *Journal of Endodontics*, 36(6), 985-989. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.02.017>
- Dejak, B., & Młotkowski, A. (2013). 3D-Finite element analysis of molars restored with endocrowns and posts during masticatory simulation. *Dental Materials*, 29(12). <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2013.09.014>,
- Detsch, S. G., Cunningham, W. T., & Langloss, J. M. (1979). Endoscopy as an Aid to Endodontic Diagnosis. *Journal of Endodontics*, 5(2), 60-62. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(79\)80109-0](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(79)80109-0),
- Duret, B., Reynaud, M., & Duret, F. (1990). [New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1)]. *Le Chirurgien-dentiste de France*, 60(540), 131-41 contd.
- Dwivedi, S., Dwivedi, C. D. har, & Mittal, N. (2014). Correlation of root dentin thickness and length of roots in mesial roots of mandibular molars. *Journal of endodontics*, 40(9), 1435-1438. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2014.02.011>,

- Eapen, A. M., Amirtharaj, L. V., Sanjeev, K., & Mahalaxmi, S. (2017). Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Restored with 2 Different Fiber-reinforced Composite and 2 Conventional Composite Resin Core Buildup Materials: An In Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1499-1504. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2017.03.031>,
- Engelke, W., Leiva, C., Wagner, G., & Beltrán, V. (2015). In vitro visualization of human endodontic structures using different endoscope systems. *International journal of clinical and experimental medicine*, 8(3), 3234-3240.
- Fernandes, A. S., Shetty, S., & Coutinho, I. (2003). Factors determining post selection: a literature review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90(6), 556-562. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2003.09.006>
- Ferrari, M., Pontoriero, D. I. K., Ferrari Cagidiaco, E., & Carboncini, F. (2022). Restorative difficulty evaluation system of endodontically treated teeth. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(1), 65-80. <https://doi.org/10.1111/JERD.12880>,
- Ford, N. L., Thornton, M. M., & Holdsworth, D. W. (2003). Fundamental image quality limits for microcomputed tomography in small animals. *Medical Physics*, 30(11), 2869-2877. <https://doi.org/10.1118/1.1617353>,
- Fuss, Z., & Trope, M. (1996). Root perforations: Classification and treatment choices based on prognostic factors. *Endodontics and Dental Traumatology*, 12(6), 255-264. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1996.TB00524.X>,
- Gao, Y., Peters, O. A., Wu, H., & Zhou, X. (2009). An Application Framework of Three-dimensional Reconstruction and Measurement for Endodontic Research. *Journal of Endodontics*, 35(2), 269-274. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.11.011>
- Gao, Y., Shen, Y., Zhou, X., & Haapasalo, M. (2015). Remaining root dentin thickness in mesiobuccal canals of maxillary first molars after attempted removal of broken instrument fragments. *Australian Endodontic Journal*, 41(3), 122-127. <https://doi.org/10.1111/AEJ.12103>,
- Garcia Filho, P. F., Letra, A., Menezes, R., & Carmo, A. M. R. do. (2003). Danger zone in mandibular molars before instrumentation: an in vitro study. *Journal of applied oral science: revista FOB*, 11(4), 324-326. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572003000400009>
- García-Guerrero, C., Mendoza-Beltrán, W., Roldan-Roldan, M., Villa-Machado, P., & Restrepo-Restrepo, F. (2021). Vertical root fractures: A time-dependent clinical condition. A case-control study in two colombian populations. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 13(11), e1104. <https://doi.org/10.4317/JCED.58701>
- 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>
- Gluskin, A. H., Radke, R. A., Frost, S. L., & Watanabe, L. G. (1995). The mandibular incisor: Rethinking guidelines for post and core design. *Journal of Endodontics*, 21(1), 33-37. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80554-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80554-6)
- Goerig, A. C., & Mueninghoff, L. A. (1983). Management of the endodontically treated tooth. Part II: Technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 49(4), 491-497. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90309-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90309-8)
- Goracci, C., & Ferrari, M. (2011). Current perspectives on post systems: a literature review. *Australian dental journal*, 56 Suppl 1(SUPPL. 1), 77-83. <https://doi.org/10.1111/J.1834-7819.2010.01298.X>

- 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, Y. C., Zhang, Y. P., Liao, Z. G., & Fei, X. D. (2013). A micro-computed tomographic analysis of wall thickness of c-shaped canals in mandibular first premolars. *Journal of Endodontics*, 39(8), 973-976. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.039>
- Guo, J., Wang, Z., Li, X., Sun, C., Gao, E., & Li, H. (2016). A comparison of the fracture resistances of endodontically treated mandibular premolars restored with endocrowns and glass fiber postcore retained conventional crowns. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 8(6), 489-493. <https://doi.org/10.4047/JAP.2016.8.6.489>,
- Gutmann, J. L. (1977). Preparation of endodontically treated teeth to receive a post-core restoration. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 38(4), 413-419. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(77\)90095-6](https://doi.org/10.1016/0022-3913(77)90095-6),
- Haddix, J. E., Mattison, G. D., Shulman, C. A., & Pink, F. E. (1990). Post preparation techniques and their effect on the apical seal. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 64(5), 515-519. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(90\)90119-W](https://doi.org/10.1016/0022-3913(90)90119-W)
- Hansen, E. K., & Asmussen, E. (1993). Cusp fracture of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam: Teeth restored in Denmark before 1975 versus after 1979. *Acta Odontologica Scandinavica*, 51(2), 73-77. <https://doi.org/10.3109/00016359309041151>,
- Hanson, E. C., & Caputo, A. A. (1974). Cementing mediums and retentive characteristics of dowels. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 32(5), 551-557. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(74\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(74)90010-9),
- Helfer, A. R., Melnick, S., & Schilder, H. (1972). Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 34(4), 661-670. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(72\)90351-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(72)90351-9),
- Heydecke, G., Butz, F., & Strub, J. R. (2001). Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: An in-vitro study. *Journal of Dentistry*, 29(6), 427-433. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(01\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(01)00038-0)
- Heyse, J. D., Ordinola-Zapata, R., Gaalaas, L., & McClanahan, S. B. (2022). The effect of rotary instrumentation on dentin thickness in the danger zone of the MB2 canal of maxillary first molars. *Australian Endodontic Journal*, 48(2), 239-244. <https://doi.org/10.1111/AEJ.12555>,
- Hisham Mohamed, M., Negm, M., & Ahmed Ali Morsy, D. (2023). Effect of different dentin thicknesses between floor of pulp chamber and furcation area, alone or with addition of MTA, on fracture resistance in mandibular molars (An in-vitro study). *Advanced Dental Journal*, 5. <https://doi.org/10.21608/ADJC.2023.208130.1298>
- Hood, J. A. (1991). Biomechanics of the intact, prepared and restored tooth: some clinical implications. *International dental journal*, 41(1), 25-32.
- Jamleh, A., Alghilan, M., Alsharif, A., Alqahtani, N., Aloqayli, A., & Aljarrah, A. (2022). Vertical Load and Torque during Postspace Preparation and Their Influence on Microcrack Development. *Journal of Prosthodontics*, 31(3), 252-256. <https://doi.org/10.1111/JOPR.13392>,
- JEFFREY, I. W. M., & SAUNDERS, W. P. (1987). An investigation into the bond strength between a root canal sealer and root-filling points. *International Endodontic Journal*, 20(5), 217-222. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1987.TB00617.X>,

- Johnson, J. K., & Sakumura, J. S. (1978b). Dowel form and tensile force. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 40(6), 645-649. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(78\)90063-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(78)90063-X)
- Kahler, B., Swain, M. V., & Moule, A. (2003). Fracture-toughening mechanisms responsible for differences in work to fracture of hydrated and dehydrated dentine. *Journal of Biomechanics*, 36(2), 229-237. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00327-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00327-5)
- Kaplowitz, G. J. (1990). Evaluation of gutta-percha solvents. *Journal of Endodontics*, 16(11), 539-540. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(07\)80217-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(07)80217-2)
- Kar, S., Tripathi, A., & Trivedi, C. (2017). Effect of different ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth: An in vitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(4), ZC49-ZC52. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24669.9675>,
- Karataş, E., Gündüz, H. A., Kırıcı, D., & Arslan, H. (2016). Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. *International Endodontic Journal*, 49(9), 905-910. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12541>,
- Karobari, M. I., Veeraraghavan, V. P., Nagarathna, P. J., Varma, S. R., Kodangattil Narayanan, J., & Patil, S. R. (2025). Predictive analysis of root canal morphology in relation to root canal treatment failures: a retrospective study. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1540038. <https://doi.org/10.3389/FDMED.2025.1540038/BIBTEX>
- Katz, A., & Tamse, A. (2003). A combined radiographic and computerized scanning method to evaluate remaining dentine thickness in mandibular incisors after various intracanal procedures. *International Endodontic Journal*, 36(10), 682-686. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2591.2003.00714.X>,
- Keles, A., Keskin, C., Alqawasmi, R., & Aydemir, H. (2020). Accuracy of an endoscope to detect root canal anastomoses in mandibular molar teeth: a comparative study with micro-computed tomography. *Acta Odontologica Scandinavica*, 78(6), 433-437. <https://doi.org/10.1080/00016357.2020.1735515>,
- Keles, A., Keskin, C., Alqawasmi, R., & Versiani, M. A. (2020). Evaluation of dentine thickness of middle mesial canals of mandibular molars prepared with rotary instruments: a micro-CT study. *International Endodontic Journal*, 53(4), 519-528. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13247>,
- Keleş, A., Keskin, C., Karataşlıoğlu, E., Kishen, A., & Versiani, M. A. (2020). Middle Mesial Canal Preparation Enhances the Risk of Fracture in Mesial Root of Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*, 46(9), 1323-1329. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.05.019>
- Keleş, A., Yiğit, A., & Keskin, C. (2025). Micro-CT evaluation of dentin thickness in distal root canals of mandibular first molars: assessing the influence of dimension and correlation with sulcus depth. *Odontology*. <https://doi.org/10.1007/S10266-025-01145-X>
- Keskin, C., Toplu, D., & Keleş, A. (2023). Dentine thickness in maxillary fused molars depends on the fusion type: An ex vivo micro-computed tomography study. *International Endodontic Journal*, 56(5), 637-646. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13891>,
- Kessler, J. R., Peters, D. D., & Lorton, L. (1983). Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *Journal of Endodontics*, 9(10), 439-447. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80260-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80260-X)

- Krupp, J. D., Caputo, A. A., Trabert, K. C., & Standlee, J. P. (1979). Dowel retention with glass-ionomer cement. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 41(2), 163-166. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90301-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90301-9),
- Kurer, H. G., Combe, E. C., & Grant, A. A. (1977). Factors influencing the retention of dowels. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 38(5), 515-525. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(77\)90026-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(77)90026-9),
- <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2004.0336>
- Kuttler, S., McLean, A., Dorn, S., & Fischzang, A. (2004). The impact of post space preparation with Gates-Glidden drills on residual dentin thickness in distal roots of mandibular molars. *Journal of the American Dental Association*, 135(7), 903-909. <https://doi.org/10.14219/JADA.ARCHIVE.2004.0336>,
- Lammertyn, P. A., Rodrigo, S. B., Brunotto, M., & Crosa, M. (2009). Furcation Groove of Maxillary First Premolar, Thickness, and Dentin Structures. *Journal of Endodontics*, 35(6), 814-817. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.012>
- Leseberg, D. A., & Montgomery, S. (1991). The effects of Canal Master, Flex-R, and K-Flex instrumentation on root canal configuration. *Journal of Endodontics*, 17(2), 59-65. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81609-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81609-2)
- LIM, S. S., & STOCK, C. J. R. (1987). The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filing compared with the stepback technique. *International Endodontic Journal*, 20(1), 33-39. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1987.TB00586.X>,
- M, J. U., Raghavan, R., T, H. M., A, S. P., V, R. A. L. S., M, J. U., Raghavan, R., T, H. M., A, S. P., & V, R. A. L. S. (2025b). The Effect of Stress Distribution by Fiberglass Post System With Different Designs on Endodontically Treated Maxillary Central Incisors: A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Cureus*, 17(3). <https://doi.org/10.7759/CUREUS.81545>
- Mannocci, F., Bitter, K., Sauro, S., Ferrari, P., Austin, R., & Bhuvu, B. (2022). Present status and future directions: The restoration of root filled teeth. *International Endodontic Journal*, 55(S4), 1059-1084. <https://doi.org/10.1111/iej.13796>
- Mannocci, F., Peru, M., Sherriff, M., Cook, R., & Pitt Ford, T. R. (2005). The isthmuses of the mesial root of mandibular molars: A micro-computed tomographic study. *International Endodontic Journal*, 38(8), 558-563. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2005.00994.X>,
- Matsushita-Tokugawa, M., Miura, J., Iwami, Y., Sakagami, T., Izumi, Y., Mori, N., Hayashi, M., Imazato, S., Takeshige, F., & Ebisu, S. (2013). Detection of dentinal microcracks using infrared thermography. *Journal of Endodontics*, 39(1), 88-91. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.033>
- Mattison, G. D., Delivanis, P. D., Thacker, R. W., & Hassell, K. J. (1984). Effect of post preparation on the apical seal. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 51(6), 785-789. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(84\)90377-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(84)90377-9)
- McComb, D., & Smith, D. C. (1975). A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 1(7), 238-242. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(75\)80226-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(75)80226-3),
- Meister, F., Lommel, T. J., Gerstein, H., & Davies, E. E. (1979). Endodontic perforations which resulted in alveolar bone loss. Report of five cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 47(5), 463-470. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(79\)90131-2](https://doi.org/10.1016/0030-4220(79)90131-2)

- Minamino, T., Mine, A., Omiya, K., Matsumoto, M., Nakatani, H., Iwashita, T., Ohmi, M., Awazu, K., & Yatani, H. (2014). Nondestructive observation of teeth post core space using optical coherence tomography: a pilot study. *Journal of Biomedical Optics*, 19(4), 046004. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.19.4.046004>,
- 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),
- Moshonov, J., Michaeli, E., & Nahlieli, O. (2009). Endoscopic root canal treatment. *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)*, 40(9), 739-744.
- 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), 19-24. <https://doi.org/10.3290/J.JAD.A39961>,
- Newman, M. P., Yaman, P., Dennison, J., Rafter, M., & Billy, E. (2003). Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 89(4), 360-367. <https://doi.org/10.1067/mpr.2003.75>
- Ng, C. C. H., Dumbrigue, H. B., Al-Bayat, M. I., Griggs, J. A., & Wakefield, C. W. (2006). Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 95(4), 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.02.026>
- Nielsen, R. B., Alyassin, A. M., Peters, D. D., Carnes, D. L., & Lancaster, J. (1995). Microcomputed tomography: An advanced system for detailed endodontic research. *Journal of Endodontics*, 21(11), 561-568. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80986-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80986-6),
- Ordinola-Zapata, R., Martins, J. N. R., Versiani, M. A., & Bramante, C. M. (2019b). Micro-CT analysis of danger zone thickness in the mesiobuccal roots of maxillary first molars. *International Endodontic Journal*, 52(4), 524-529. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13025>,
- Ottl, P., & Lauer, H. C. (1998). Success rates for two different types of post-and-cores. *Journal of Oral Rehabilitation*, 25(10), 752-758. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2842.1998.00320.X>,
- Ouzounian, Z., S., & Schilder, H. (1991). Remaining dentin thickness after endodontic cleaning and shaping before space preparation. *Oral Health*, 81(13)(5).
- Pantvisai, P., & Messer, H. H. (1995). Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics*, 21(2), 57-61. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81095-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81095-2)
- Papa, J., Cain, C., & Messer, H. H. (1994). Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*, 10(2), 91-93. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1994.TB00067.X>,
- Patel, S., Dawood, A., Whaites, E., & Pitt Ford, T. (2009). New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *International endodontic journal*, 42(6), 447-462. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2008.01530.X>
- Patel, S. R., Jarad, F., Moawad, E., Boland, A., Greenhalgh, J., Liu, M., & Maden, M. (2024). The tooth survival of non-surgical root-filled posterior teeth and the associated prognostic tooth-related factors: A systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 57(10), 1404-1421. <https://doi.org/10.1111/IEJ.14116>,

- Patel, S. R., Youngson, C., & Jarad, F. (2025). Principles guiding the restoration of the root-filled tooth. *British Dental Journal*, 238(7), 508-516. <https://doi.org/10.1038/S41415-025-8401-4>,
- Peroz, I., Blankenstein, F., Lange, K.-P., & Naumann, M. (2005). Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review. *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)*, 36(9), 737-746.
- Peters, O. A., Laib, A., Göhring, T. N., & Barbakow, F. (2001). Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *Journal of Endodontics*, 27(1), 1-6. <https://doi.org/10.1097/00004770-200101000-00001>
- Peters, O. A., Laib, A., Rügsegger, P., & Barbakow, F. (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *Journal of Dental Research*, 79(6), 1405-1409. <https://doi.org/10.1177/00220345000790060901>,
- Pilo, R., Shapenco, E., & Lewinstein, I. (2008). Residual dentin thickness in bifurcated maxillary first premolars after root canal and post space preparation with parallel-sided drills. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 99(4), 267-273. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60059-1](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60059-1)
- Pilo, R., & Tamse, A. (2000). Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with gates glidden and ParaPost drills. *The Journal of prosthetic dentistry*, 83(6), 617-623. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(00\)70059-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(00)70059-X)
- Qiu, S., Chen, Y., Tsao, C., Wu, W., Huang, D., Zhou, X., Peng, L., & Gao, Y. (2023). Microcomputed tomography analysis of the radicular residual dentin thickness in mandibular second molars after virtual fiber post placement: Identification of danger zones. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(1), 109.e1-109.e10. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.04.010>
- Rafter, M. (2005). Apexification: A review. *Dental Traumatology*, 21(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.2004.00284.X>
- Raiden, G. C., & Gendelman, H. (1994). Effect of dowel space preparation on the apical seal of root canal fillings. *Dental Traumatology*, 10(3), 109-112. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1994.TB00534.X>
- Rashed, B., Iino, Y., Ebihara, A., & Okiji, T. (2019). Evaluation of Crack Formation and Propagation with Ultrasonic Root-End Preparation and Obturation Using a Digital Microscope and Optical Coherence Tomography. *Scanning*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5240430>,
- Rashed, B., Iino, Y., Komatsu, K., Nishijo, M., Hanada, T., Ebihara, A., Sunakawa, M., Sumi, Y., & Okiji, T. (2018). Evaluation of Root Canal Anatomy of Maxillary Premolars Using Swept-Source Optical Coherence Tomography in Comparison with Dental Operating Microscope and Cone Beam Computed Tomography. *Photomedicine and Laser Surgery*, 36(9), 487-492. <https://doi.org/10.1089/PHO.2017.4416>,
- Rathke, A., Frehse, H., & Hrusa, B. (2022). Vertical root fracture resistance and crack formation of root canal-treated teeth restored with different post-luting systems. *Odontology*, 110(4), 719-725. <https://doi.org/10.1007/S10266-022-00709-5/TABLES/1>
- RAY, H. A., & TROPE, M. (1995). Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *International endodontic journal*, 28(1), 12-18. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.1995.TB00150.X>
- Rayyan, M. R., Alauti, R. Y., Abanmy, M. A., AlReshaid, R. M., & Bin Ahmad, H. A. (2019). Endocrowns versus post-core retained crowns for restoration of compromised

mandibular molars: an in vitro study. *International journal of computerized dentistry*, 22(1), 39-44.

- Reeh, E. S., Messer, H. H., & Douglas, W. H. (1989). Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics*, 15(11), 512-516. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(89\)80191-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(89)80191-8),
- 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*, 198(9), 533-541. <https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.4812300>,
- Roberts, H. W., Leonard, D. L., Vandewalle, K. S., Cohen, M. E., & Charlton, D. G. (2004). The effect of a translucent post on resin composite depth of cure. *Dental Materials*, 20(7), 617-622. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.10.004>
- Roda RS, & Geuleman BH. (2011). Nonsurgical Retreatment, Pathways of the Pulp. 10th ed. *In Cohen S, Hargreaves KM, editors*.
- Sağsen, B., Üstün, Y., Pala, K., & Demirbuğa, S. (2012). Resistance to fracture of roots filled with different sealers. *Dental Materials Journal*, 31(4), 528-532. <https://doi.org/10.4012/DMJ.2011-266>
- Sanchis-Sánchez, E., Salvador-Palmer, R., Codoñer-Franch, P., Martín, J., Vergara-Hernández, C., Blasco, J., Ballester, E., Sanchis, E., González-Peña, R., & Cibrián, R. (2015). Infrared thermography is useful for ruling out fractures in paediatric emergencies. *European Journal of Pediatrics*, 174(4), 493-499. <https://doi.org/10.1007/S00431-014-2425-0>,
- Sarao, S. K., Berlin-Broner, Y., & Levin, L. (2021). Occurrence and Risk Factors of Dental Root Perforations: A Systematic Review. *International Dental Journal*, 71(2), 96. <https://doi.org/10.1111/IDJ.12602>
- Saunders, W. P., & Saunders, E. M. (1994). Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Dental Traumatology*, 10(3), 105-108. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1994.TB00533.X>,
- Saxena, A. K., & Willital, G. H. (2008). Infrared thermography: Experience from a decade of pediatric imaging. *European Journal of Pediatrics*, 167(7), 757-764. <https://doi.org/10.1007/S00431-007-0583-Z>,
- Schilder, H., & Hargreaves, K. M. (2006). Filling root canals in three dimensions. *Journal of Endodontics*, 32(4), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.02.007>
- Schwartz, R. S., & Robbins, J. W. (2004). Post placement and restoration of endodontically treated teeth: A literature review. *Journal of Endodontics*, 30(5), 289-301. <https://doi.org/10.1097/00004770-200405000-00001>
- Sedgley, C. M., & Messer, H. H. (1992). Are endodontically treated teeth more brittle? *Journal of Endodontics*, 18(7), 332-335. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80483-8](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80483-8)
- Sedrez-Porto, J. A., Rosa, W. L. de O. da, da Silva, A. F., Münchow, E. A., & Pereira-Cenci, T. (2016b). Endocrown restorations: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 52, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.07.005>
- Selvaraj, H., Krithikadatta, J., Shrivastava, D., Onazi, M. A. Al, Algarni, H. A., Munaga, S., Hamza, M. O., saad Al-fridy, T., Teja, K. V., Janani, K., Alam, M. K., & Srivastava, K. C. (2023). Systematic review fracture resistance of endodontically treated posterior teeth restored with fiber reinforced composites- a systematic review. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-023-03217-2>,
- Sequeira-Byron, P., Fedorowicz, Z., Carter, B., Nasser, M., & Alrowaili, E. F. (2015). Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root-filled teeth. *Cochrane*

- Shemesh, H., Lindtner, T., Portoles, C. A., & Zaslansky, P. (2018). Dehydration Induces Cracking in Root Dentin Irrespective of Instrumentation: A Two-dimensional and Three-dimensional Study. *Journal of Endodontics*, 44(1), 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.07.025>
- Shemesh, H., van Soest, G., Wu, M. K., van der Sluis, L. W. M., & Wesselink, P. R. (2007). The Ability of Optical Coherence Tomography to Characterize the Root Canal Walls. *Journal of Endodontics*, 33(11), 1369-1373. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.06.022>
- Shemesh, H., van Soest, G., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2008). Diagnosis of Vertical Root Fractures with Optical Coherence Tomography. *Journal of Endodontics*, 34(6), 739-742. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.03.013>
- Shimada, Y., Sadr, A., Sumi, Y., & Tagami, J. (2015). Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Current Oral Health Reports*, 2(2), 73-80. <https://doi.org/10.1007/S40496-015-0045-Z>,
- Silva, L. R., de Lima, K. L., Santos, A. A., Leles, C. R., Estrela, C., de Freitas Silva, B. S., & Yamamoto-Silva, F. P. (2021). Dentin thickness as a risk factor for vertical root fracture in endodontically treated teeth: a case-control study. *Clinical Oral Investigations*, 25(3), 1099-1105. <https://doi.org/10.1007/S00784-020-03406-1>,
- Silva-Sousa, A. C., Moris, I. C. M., Barbosa, A. F. S., Silva-Sousa, Y. T. C., Sousa-Neto, M. D., Pires, C. R. F., & Gomes, E. A. (2020). Effect of restorative treatment with endocrown and ferrule on the mechanical behavior of anterior endodontically treated teeth: An in vitro analysis. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 112. <https://doi.org/10.1016/J.JMBBM.2020.104019>,
- SM, A.-S., D, A.-S., M, A., G, G., & FA, A. (2013). Microcomputed tomographic analysis of the furcation grooves of maxillary first premolars. *Annali di stomatologia*, 4(1). <https://doi.org/10.11138/ADS.0142>
- Sorensen, J. A., & Martinoff, J. T. (1984). Intracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 51(6), 780-784. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(84\)90376-7](https://doi.org/10.1016/0022-3913(84)90376-7)
- Souza, E. M., Bretas, R. T., Cenci, M. S., Maia-Filho, E. M., & Bonetti-Filho, I. (2008). Periapical radiographs overestimate root canal wall thickness during post space preparation. *International Endodontic Journal*, 41(8), 658-663. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2008.01410.X>,
- Souza, E. M., Do Nascimento, L. M., Filho, E. M. M., & Alves, C. M. C. (2011). The impact of post preparation on the residual dentin thickness of maxillary molars. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 106(3), 184-190. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(11\)60119-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(11)60119-4)
- Standlee, J. P., Caputo, A. A., & Hanson, E. C. (1978b). Retention of endodontic dowels: Effects of cement, dowel length, diameter, and design. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 39(4), 401-405. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(78\)80156-5](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80156-5),
- Stephen F. Rosenstiel, Martin F. Land, & Robert D. Walter. (2022). The complete cast crown preparation. *Contemporary Fixed Prosthodontics*, 209-221. <https://www.nobelkitabevi.com.tr/dis-hekimligi-kitaplari/21954-contemporary-fixed-prosthodontics-6th-edition-9780323720892.html>

- Stockton, L., Lavelle, C. L. B., & Suzuki, M. (1998). Are posts mandatory for the restoration of endodontically treated teeth? *Endodontics and Dental Traumatology*, 14(2), 59-63. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1998.TB00810.X>,
- Stringheta, C. P., Pelegri, R. A., Kato, A. S., Freire, L. G., Iglecias, E. F., Gavini, G., & Bueno, C. E. da S. (2017). Micro-computed Tomography versus the Cross-sectioning Method to Evaluate Dentin Defects Induced by Different Mechanized Instrumentation Techniques. *Journal of Endodontics*, 43(12), 2102-2107. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2017.07.015>,
- Strub, J. R., Pontius, O., & Koutayas, S. (2001). Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems after exposure in the artificial mouth. *Journal of Oral Rehabilitation*, 28(2), 120-124. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2842.2001.00720.X>,
- Swain, M. V., & Xue, J. (2009). State of the art of Micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science*, 1(4), 177-188. <https://doi.org/10.4248/IJOS09031>
- Tan, A. Y., Poon, L., Ng, E. L. M., Monsour, P., El Masoud, B. M., Moule, A., & Bogen, G. (2022). Cone beam computed tomography analysis of residual dentin thickness after virtual post placement in the palatal roots of maxillary first molars. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(4), 702-708. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.12.005>
- Tan, P. L. B., Aquilino, S. A., Gratton, D. G., Stanford, C. M., Tan, S. C., Johnson, W. T., & Dawson, D. (2005). In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(4), 331-336. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.01.013>
- Tang, Y., Qiu, Y., Zhang, P., Wang, L., Fan, J., Zhou, W., Li, J., & Gu, Y. (2025). A micro-computed tomographic study of the anatomic danger zone in mesial roots of permanent mandibular first and second molars. *BMC Oral Health*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05675-2>
- Tjan, A. H. L., & Whang, S. B. (1985). Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 53(4), 496-500. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90633-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90633-X)
- 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), 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2015.11.017>
- Trabert, K. C., Caputo, A. A., & Abou-Rass, M. (1978). Tooth fracture\3-A comparison of endodontic and restorative treatments. *Journal of Endodontics*, 4(11), 341-345. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(78\)80232-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(78)80232-5)
- Trope, M., Maltz, D. O., & Tronstad, L. (1985). Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*, 1(3), 108-111. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1985.TB00571.X>,
- Tsintsadze, N., Garcia, M., Grandini, S., Goracci, C., & Ferrari, M. (2015). Effect of Reciproc endodontic treatment with three different post space preparation instruments on fiber post retention. *American journal of dentistry*, 28(5), 251-254.
- Versiani, M. A., Souza, E., & De-Deus, G. (2015). Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endodontic Topics*, 33(1), 87-156. <https://doi.org/10.1111/ETP.12091>

- Von Arx, T., Kunz, R., Schneider, A. C., Bürgin, W., & Lussi, A. (2010). Detection of dentinal cracks after root-end resection: An ex vivo study comparing microscopy and endoscopy with scanning electron microscopy. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1563-1568. <https://doi.org/10.1016/J.JOEN.2010.06.016>,
- Weine, F. S., Wax, A. H., & Wenckus, C. S. (1991). Retrospective study of tapered, smooth post systems in place for 10 years or more. *Journal of Endodontics*, 17(6), 293-297. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81870-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81870-4),
- Wennberg, A., & Ørstavik, D. (1989). Evaluation of alternatives to chloroform in endodontic practice. *Dental Traumatology*, 5(5), 234-237. <https://doi.org/10.1111/J.1600-9657.1989.TB00367.X>,
- yıkılğan ihsan, & bala oya. (2013). *Endodontik tedavi görmüş dişlerin konservatif restorasyonlar*. 30(1), 44-48.
- Yoldas, O., & Alaçam, T. (2005). Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *Journal of Endodontics*, 31(2), 104-106. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000133160.08600.47>
- Yoldas, O., Yilmaz, S., Atakan, G., Kuden, C., & Kasan, Z. (2012). Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *Journal of Endodontics*, 38(2), 232-235. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.10.011>
- Yoshioka, T., Sakaue, H., Ishimura, H., Ebihara, A., Suda, H., & Sumi, Y. (2013). Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomedicine and Laser Surgery*, 31(1), 23-27. <https://doi.org/10.1089/PHO.2012.3383>,
- Zhou, G., Leng, D., Li, M., Zhou, Y., Zhang, C., Sun, C., & Wu, D. (2020). Root dentine thickness of danger zone in mesial roots of mandibular first molars. *BMC Oral Health*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-020-1026-8>,
- Zicari, F., Van Meerbeek, B., Scotti, R., & Naert, I. (2013). Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *Journal of Dentistry*, 41(3), 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.10.004>