

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



BİFİD APEKSLİ MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE
MİDMEZİYAL KANAL ORANININ VE KANAL
MORFOLOJİSİNİN MİKRO-BT ARACILIĞIYLA
İNCELENMESİ

ENDODONTİ UZMANLIK TEZİ

PEMBE BÜŞRA KAYGISIZ

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. ALİ KELEŞ

Bu Tez çalışması BAP Tarafından 2025- DUP-002 Proje
Numarası ile Desteklenmiştir.

BOLU, EKİM 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Pembe Büşra KAYGISIZ tarafından hazırlanan “**BİFİD APEKSLİ MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE MİDMEZİYAL KANAL ORANININ VE KANAL MORFOLOJİSİNİN MİKRO-BT ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Endodonti Ana Bilim Dalı Uzmanlık Programında Uzmanlık Tezi olarak oy birliği ile 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 ÖZLEM SİVAS

YILMAZ

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 2024/200 sayılı ile etik izin alınmıştır.

PEMBE BÜŞRA KAYGISIZ

ÖZET

**BİFİD APEKSLİ MANDİBULAR MOLAR DİŞLERDE MİDMEZİYAL
KANAL ORANININ VE KANAL MORFOLOJİSİNİN MİKRO-BT
ARACILIĞIYLA İNCELENMESİ
UZMANLIK TEZİ
PEMBE BÜŞRA KAYGISIZ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ALİ KELEŞ)

BOLU, EKİM- 2025

70 Sayfa

Giriş: Bu çalışmanın amacı, mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanılarak bifid apeksi olan ve olmayan mandibular molarların meziyal köklerinin internal morfolojisini karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Doksan adet çekilmiş mandibular molar, bifid (n=45) ve non-bifid (n=45) gruplarına ayrıldı. Örnekler SkyScan 1172 cihazı ile (piksel boyutu 13,68 µm) tarandı; görüntüler NRecon yazılımıyla rekonstrükte edildi ve CTAn/CTVol programlarında analiz edildi. Kaydedilen parametreler arasında orifis ve ana apikal foramen sayısı, koronal/orta/apikal üçlülerdeki ana kanal sayısı, midmeziyal kanal (MMC) varlığı, meziyobukkal (MB) ve meziyolingual (ML) interorifis mesafesi yer aldı. Veriler Student's t-testi, Mann-Whitney U testi ve ki-kare testi ile analiz edildi; istatistiksel anlamlılık düzeyi 0.05 olarak belirlendi.

Bulgular: Bifid kökler, koronal, orta ve apikal üçlülerde anlamlı derecede daha fazla sayıda ana kanal ($p < .05$) ve daha yüksek oranda MMC ($p < .05$) göstermiştir. İki orifisli köklerde MB-ML interorifis mesafesi, bifid köklerde non-bifid köklere kıyasla anlamlı derecede daha büyük bulunmuştur ($p < .05$). Vertucci konfigürasyon dağılımları gruplar arasında belirgin farklılık göstermiştir; bifid köklerde ağırlıklı olarak Tip V (n = 14) ve Tip IV (n = 12) paternleri ile ek kompleks varyantlar (23, 232, 1323) gözlenirken, non-bifid köklerde daha çok Tip I (n = 14), Tip III (n = 11) ve Tip VI (n = 5) paternleri izlenmiştir.

Sonuç: Bifid apeksi bulunan mandibular molarların meziyal kökleri, non-bifid köklere kıyasla daha karmaşık kanal morfolojisi sergilemiş; bu durum daha fazla ana kanal sayısı, artmış MMC prevalansı, daha büyük interorifis mesafeleri ve farklı Vertucci konfigürasyon paternleri ile karakterize edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Bifid apeks, Mandibular molar, Mikro-BT, Orta meziyal kanal, Vertucci sınıflaması.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PREVALENCE AND MORPHOLOGY OF MIDDLE MEZİYAL CANALS IN MANDIBULAR MOLARS WITH BIFID APEX USING MICRO-CT

SPECIALTY THESIS

PEMBE BÜŞRA KAYGISIZ

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

DEPARTMENT OF ENDODONTICS

(SUPERVISOR: PROF. DR. ALİ KELEŞ)

BOLU, OCTOBER 2025

70 Pages

Introduction: This study aimed to compare internal morphology of mesial roots with and without a bifid apex in mandibular molars using micro-computed tomography (micro-CT).

Materials and Methods: Ninety extracted mandibular molars were allocated to bifid (n=45) and non-bifid (n=45) groups. Specimens were scanned with SkyScan 1172 (pixel size 13.68 μm); images were reconstructed (NRecon) and analyzed in CTAn/CTVol. Recorded outcomes included number of orifices and main apical foramina, number of main canals at coronal/middle/apical thirds, presence of a middle mesial canal (MMC), and MB–ML interorifice distance. Data were analyzed using Student's t-test, Mann–Whitney U test, and chi-square test, with statistical significance set at 0.05.

Results: Bifid roots demonstrated a significantly higher number of main canals across coronal, middle, and apical thirds ($p < .05$) and a greater prevalence of MMC ($p < .05$). In two-orifice roots, the MB–ML interorifice distance was significantly larger in bifid compared with non-bifid roots ($p < .05$). Vertucci configuration distributions differed markedly between groups, with bifid roots predominantly exhibiting Type V ($n = 14$) and Type IV ($n = 12$) patterns, along with additional complex variants (23, 232, 1323), whereas non-bifid roots more frequently presented Type I ($n = 14$), Type III ($n = 11$), and Type VI ($n = 5$).

Conclusion: The mesial roots of mandibular molars having bifid apex exhibited more complex canal morphology, characterized by a higher number of main canals, increased MMC prevalence, greater interorifice distances, and distinct Vertucci configuration patterns compared with non-bifid roots.

KEYWORDS: Bifid apex, Mandibular molar, Micro-CT, Middle mesial canal, Vertucci classification.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	4
ABSTRACT	5
İÇİNDEKİLER	6
ŞEKİL LİSTESİ.....	8
TABLO LİSTESİ.....	9
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	10
TEŞEKKÜR	11
1. GİRİŞ.....	12
2. GENEL BİLGİLER	14
2.1 Dış Gelişimi.....	14
2.1.1 Tomurcuk Aşaması	14
2.1.2 Takke Aşaması.....	15
2.1.3 Çan Aşaması	15
2.2 Kök Gelişimi	16
2.3 Kök Kanal Sistemi.....	16
2.3.1 Pulpa Odası	17
2.3.2 Kök Kanalları.....	17
2.4 Yan ve Yardımcı Kanallar.....	17
2.5 İstmus	18
2.6 Alt Molar Dişler	19
2.6.1 Bifid Apeks	20
2.6.2 Midmeziyal Kanal	21
2.7. Kök Kanal Morfolojisi üzerine etkisi olan faktörler	21
2.7.1 Yaş	21
2.7.2 Irksal Faktörler.....	22
2.7.3 Cinsiyet	22
2.8 Kök Kanal Sistemi Sınıflandırmaları	23
2.8.1 Vertucci Sınıflandırması	23
2.8.2 Gulabivala ve Arkadaşlarının Sınıflaması	25
2.8.3 Ahmed ve Dummer'ın Kök Kanal Morfolojisi Sınıflaması	26
2.9 Kök Kanal Morfolojisini İnceleme Teknikleri	27
2.9.1 Kopya Model Oluşturma Tekniği	27
2.9.2 Kesit Alma	28
2.9.3 Radyografik Görüntüleme	28
2.9.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile İnceleme	29
2.9.5 Boyama ve Şeffaflaştırma.....	29

2.9.6 Bilgisayarlı Tomografi.....	30
2.9.7 Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi	30
2.9.7 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi	32
3. MATERYAL ve METOD.....	36
3.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması.....	36
3.2 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi Taraması	37
3.3 Verilerin Analizi	37
3.3.1 Niteliksel Analizler.....	38
3.3.2 Niceliksel Analizler	40
3.4 İstatistiksel Analiz	41
4. BULGULAR	43
4.1 Kök Uzunluğu ve CEJ–Apeks Mesafesi	43
4.2 Orifis Sayısı	43
4.3 Midmeziyal Kanal (MMC) Varlığı	44
4.4 Ana Kanal Sayısı	45
4.5 Apikal Foramen Sayısı	46
4.6 İnterorifis Mesafesi.....	46
4.7 Kanal Konfigürasyonları	47
4.8 Bifid Apeksli ve Midmeziyal Kanal Bulunan Alt Molar Dişler	49
4.9 Bifid Apeks Bulunmayan ve Midmeziyal Kanal Bulunan Alt Molar Dişler	53
5. TARTIŞMA	55
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	63
7. KAYNAKLAR.....	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Diş gelişiminin morfolojik evreleri	14
Şekil 2.2. Vertucci sınıflaması (Vertucci, 1984).....	25
Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan Skyscan 1172 MBT cihazı	38
Şekil 3.2. Nrecon programında görüntülerin işlenmesi	38
Şekil 3.3. CTAn programında üç boyutlu modellerinin elde edilebilmesi amacıyla görüntülerin hazırlanması.....	40
Şekil3.4. CTVol programında numunelerin üç boyutlu modellerinin görüntülenmesi	40
Şekil 4.1. Sırasıyla bifid ve bifid olmayan dişlerde interorifis mesafe ölçümü	47
Şekil 4.2. 2-3 Kök kanal şekli.....	49
Şekil 4.3 2-3 Kök kanal şekli.....	49
Şekil 4.4. 1-2-1-3 Kök kanal şekli	49
Şekil 4.5. 1-3-2-3 Kök kanal şekli	49
Şekil 4.6. 1-3 Kök kanal şekli.....	50
Şekil 4.7. 2-3 Kök kanal şekli.....	50
Şekil 4.8. 1-2-3-2 Kök kanal şekli	50
Şekil 4.9. 1-2-3-2 Kök kanal şekli	50
Şekil 4.10. 2-3-2 Kök kanal şekli.....	51
Şekil 4.11. 1-2-3 Kök kanal şekli.....	51
Şekil 4.12. Tip 8 Kök kanal şekli.....	51
Şekil 4.13. 2-3 Kök kanal şekli.....	51
Şekil 4.14. 2-3-2 Kök kanal şekli.....	52
Şekil 4.15. 2-3-2 Kök kanal şekli.....	52
Şekil 4.16. 2-3 Kök kanal şekli.....	52
Şekil 4.17. 1-3-1 Kök kanal şekli.....	53
Şekil 4.18. 3-1-2 Kök kanal şekli.....	53
Şekil 4.19. 1-3-1-3 Kök kanal şekli	53
Şekil 4.20. 1-2-3-1-2 Kök kanal şekli.....	53
Şekil 4.21. 2-3-1-2 Kök kanal şekli	54

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Bifid ve non-bifid gruplar arasında kök uzunluğu ve cej–apeks mesafesi karşılaştırması.....	43
Tablo 4.2. Bifid ve non-bifid gruplar arasında orifis sayısı karşılaştırmasında orifis sayısı karşılaştırması	44
Tablo 4.3. Bifid ve non-bifid gruplar arasında midmeziyal kanal varlığı karşılaştırması.....	44
Tablo 4.4. Bifid ve non-bifid gruplar arasında ana kanal sayısı karşılaştırması	45
Tablo 4.5. Bifid ve non-bifid gruplar arasında apikal foramen sayısı karşılaştırması	46
Tablo 4.6. Bifid ve non-bifid gruplar arasında interorifis mesafesi karşılaştırması	46
Tablo 4.7. Bifid ve non-bifid gruplar arasında kanal konfigürasyonlarının dağılımı	48

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

CEJ: Sementoenamel birleşim (sement–mine birleşimi)

FOV: Görüntüleme alanı

HERS: Hertwig'in epitel kök kılıfı

kV: Kilovolt

KIBT: Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi

MB: Meziyobukkal

Mikro-BT: Mikro-bilgisayarlı tomografi

ML: Meziyolingual

MMC: Orta mezial kanal

mm: Milimetre

MP: Megapaskal

ms: Milisaniye

μA: Mikroamper

μm: Mikrometre

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, deneyim ve değerli katkılarıyla bana yol gösteren, sabrı ve desteğiyle her zaman yanımda olan danışmanım **Prof. Dr. Ali Keleş**'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Aynı dönemde göreve başladığımız ve tez sürecinde her zaman desteklerini hissettiğim değerli çalışma arkadaşlarım **Ali Haraç, Amine Yiğit, Furkan Yılmaz, Sude Okur ve Yasemin Özdoğan Eser**'e teşekkür ederim.

Bu yoğun ve zorlu süreçte, beni her daim destekleyen aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Sevgili annem **Handan Kaygısız**, babam **Nuh Kaygısız**, ablam **Esra Kaygısız** ve kardeşim **Yağmur Kaygısız**; sabırları, sevgileri ve her koşulda yanımda oluşlarıyla bana güç verdiler.

Hayatımda huzur ve mutluluk kaynağı olan kedilerim **Cookie, Gölge ve Zebo**'ya da varlıklarıyla bana moral oldukları için teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olup desteğini esirgemeyen değerli arkadaşlarım **Ayşen Golayoğlu, Beyza Gülhan, Ayşenur Tamer, Yaren Eren ve Damlanur Çetintaş** 'a da teşekkür ederim.

Bu araştırma, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: **2025-DUP-002**).

Bu süreçte bana destek veren herkese en içten şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

Başarılı bir endodontik tedavi, kök kanal sistemi anatomisinin ve olası morfolojik varyasyonların doğru bir şekilde bilinmesine bağlı olmaktadır. Bu bilgi, kök kanal sisteminin etkin şekilde temizlenmesi, şekillendirilmesi ve doldurulması için gerekmektedir (Vertucci, 2005).

Tedavi sürecinde kök kanallarının atlanma olasılığına karşı klinisyenlerin dikkatli olması gerekmektedir (Costa vd., 2019). Endodontik tedavinin en sık uygulandığı dişler arasında mandibular birinci molar dişler öne çıkmaktadır (Wayman vd., 1994).

Bu dişte çoğunlukla apeks bölgesinde belirgin biçimde ayrılan mezial ve distal olmak üzere iki ayrı kök bulunmaktadır. Mezial kök ise dallanmalar, morfolojik düzensizlikler ve ek kanal yapıları ile oldukça karmaşık bir morfoloji sergilemektedir (Villas-Bôas vd., 2011).

Kanal sistemindeki bu yapısal karmaşıklık, dezenfeksiyon solüsyonları ve endodontik aletlerin erişilemeyen alanlara ulaşmasını zorlaştırarak kemomekanik hazırlık süreçlerinin etkinliğini azaltabilmektedir (Alves vd., 2016).

Enfekte kök kanallarında kalıcı mikroorganizmaların varlığı tedavi başarısını riske atabileceğinden, hazırlık süreci boyunca ek anatomik yapılardaki mikrobiyal yükün etkili biçimde azaltılması gerekmektedir (Costa vd., 2019).

Turner, 1981 yılında yayımladığı çalışmada, maksiller birinci premolar dişlerde kök sayısının, köklerin çatallanma özelliklerine göre değerlendirilebileceğini belirtmiştir ve bu dişlerde gözlemlenen iki köklü morfoloji için "çift apeksli" ifadesini önermiştir (Turner, 1981). Turner'a göre, dişin uç kısmı ile onu izleyen üçte birlik bölüm arasındaki bölgede, dişin apeksinden sonraki üçte birlik kısmına kıyasla daha fazla anatomik varyasyon gözlemlenebilmesi, önerilen bu yeni isimlendirmenin biyolojik açıdan önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Kuzeybatı Afrika'da Homo sapiens bireyleri üzerinde gerçekleştirilen bir antropolojik incelemede, mandibular azı dişlerinin mezial köklerinde bifid apeks oluşumuna rastlandığı bildirilmiştir. Öte yandan, güncel bir mikro-BT çalışması, maksiller birinci molarların MB köklerinde gözlenen apikal morfolojinin, kök kanal sisteminin yapısal karmaşıklığı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Ordinola-Zapata vd., 2019).

Bu çalışmanın amacı mikro-BT görüntüleme sistemi kullanarak mandibular molar dişlerin mezial köklerinin bifid apikal konfigürasyonlarının MMC anatomisine etkisini değerlendirmektir.



2. GENEL BİLGİLER

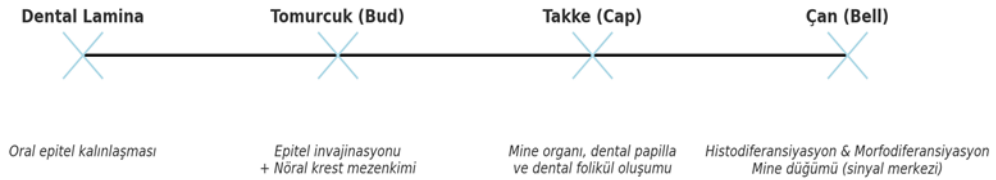
2.1 Diş Gelişimi

İnsanlarda diş gelişimi, birkaç farklı hücresel ve moleküler etkileşim sürecini içermektedir. Dişler, ağız ektoderminden ve kraniyal sinir krestinden yüz bölgesine göç eden nöral mezenkimal hücrelerden gelişmektedir (Miletich ve Sharpe, 2004).

İnsan gelişiminin 6. haftasında, oral epitel hücreleri yoğunlaşarak dental laminayı oluşturmaktadır. Bu yapı, birkaç diş tomurcuğu geliştirerek alttaki mezenkime doğru ilerlemektedir. Epitel hücreleri ve mezenkimal dokular arasındaki karşılıklı etkileşimler, diş gelişimini düzenlemektedir (Hovorakova vd., 2018).

Mine düğümü, diş gelişiminde kritik bir sinyal merkezi olarak görev yapan ve dişin şeklinin düzenlenmesinde önemli rol oynayan geçici bir epitel hücre kümesidir (Thesleff vd., 2001).

Diş germinin gelişimi tomurcuk, takke ve çan aşamalarından oluşmaktadır (Jheon vd., 2013).



Şekil 2.1. Diş gelişiminin morfolojik evreleri

2.1.1 Tomurcuk Aşaması

Tomurcuk aşaması intrauterin yaşamın 8. haftasında mine organlarının ortaya çıkmasıyla başlamaktadır. Dental lamina, diş tomurcuğunu oluşturmak üzere alttaki nöral krest kökenli mezenkime doğru invajinasyon göstermektedir. Bu epitel çıkıntı, etrafındaki yoğunlaşmış mezenkimal hücrelerle birlikte diş germini meydana getirmektedir (Jussila ve Thesleff, 2012).

Bu aşamada epitelyal tomurcuk henüz belirgin bir morfolojik farklılaşma göstermemiştir; ancak dişin ileriki yapısal özelliklerini belirleyecek sinyal etkileşimlerinin temelini oluşturmaktadır.

Tomurcuk aşamasına kadar geçen dönemde, gelişimsel süreç ağırlıklı olarak dental epitel tarafından yönlendirilirken, bu aşamayla birlikte kontrol giderek dental mezenkime aktarılmaktadır. Bu geçiş, mezenkimal dokunun epitelyal hücreler üzerindeki indükleyici etkisini artırmakta; BMP, FGF ve Wnt gibi morfojenlerin karşılıklı etkileşimiyle hücre proliferasyonu, farklılaşması ve yönlenmesi sağlanmaktadır (Jernvall ve Thesleff, 2000; Jussila ve Thesleff, 2012).

2.1.2 Takke Aşaması

Tomurcuk aşamasını takiben dental epitel, mezenkime doğru genişleyerek takke benzeri bir morfoloji kazanmaktadır ve bu yapı mine organı olarak tanımlanmaktadır. Mine organı: dış mine epiteli, iç mine epiteli ve aralarında yer alan stellat retikulumdan oluşmaktadır (Thesleff ve Sharpe, 1997). Bu dönemde, epitel hücrelerinin proliferasyonu dental papilla ve onu çevreleyen dental folikül mezenkimal dokularından ayırt edilebilir hâle gelmektedir. Bu yapıların her biri, ilerleyen dönemlerde farklı dentofasiyal dokulara farklılaşacaktır: dental papilla; pulpa ve dentini oluştururken, dental folikül; sement, periodontal ligament ve alveolar kemiğe dönüşecektir.

Takke aşamasının en önemli olaylarından biri, birincil mine düğümünün ortaya çıkışıdır. Bu geçici sinyal merkezi, FGF, BMP ve Wnt gibi morfojenlerin lokalize salınımıyla dişin morfolojik desenini düzenlemektedir (Harjunmaa vd., 2014; Jernvall ve Thesleff, 2000). Bu dönemde apoptoz yoluyla mine düğümünün ortadan kalkması, gelişimin bir sonraki evresine geçişi işaret etmektedir.

2.1.3 Çan Aşaması

Çan aşamasında mine organı, derinleşerek çan şeklinde bir yapı kazanmaktadır. Bu evre, hücresel düzeyde daha ileri bir organizasyonu temsil etmektedir. İç mine epiteli hücreleri ameloblastlara farklılaşırken, dental papillanın dış hücreleri ise odontoblastlara dönüşmektedir (Jussila ve Thesleff, 2012).

Bu farklılaşma ile dentin ve mine matrikslerinin salgılanması başlamakta ve bu durum sert doku oluşumunun başlangıcını ifade etmektedir. Bu süreçte ameloblastlar, odontoblastların predentin tabakasını oluşturmamasından sonra devreye girerek mine oluşumunu başlatmaktadır.

Bu evrede ayrıca sekonder mine düğümleri de belirlemektedir. Bunlar, ileride oluşacak diş tüberküllerinin yerleşimini ve sayısını belirleyen yeni sinyal merkezleridir (Harjunmaa vd., 2012). Morfogenez bu noktada tamamlanma aşamasına ulaşırken, kök gelişimi ve dişin sürme süreci de başlamak üzere hazırlanmaktadır.

2.2 Kök Gelişimi

Dişin kron kısmı tamamlandıktan sonra gelişim süreci kök oluşumu ile devam etmektedir. Bu evre, özellikle çan aşamasının geç döneminde başlamakta ve sert dokuların (dentin ve mine) kron seviyesinde oluşumunun tamamlanmasını takiben aktive olmaktadır (Jussila ve Thesleff, 2012).

Kök gelişiminin başlatılmasında, iç ve dış mine epitellerinin birleşerek oluşturduğu Hertwig'in Epitel Kök Kılıfı (HERS) temel rol oynamaktadır. HERS, dental papillaya doğru apikal uzanımıyla odontoblastların farklılaşmasını indükler ve kök dentini oluşum sürecini başlatır. Ardından, HERS zamanla parçalanır ve bu yapının kalıntıları periodontal bağ dokusu içerisinde Malassez epitel kalıntıları olarak kalmaktadır (Bosshardt, 2008).

Odontoblastlar tarafından oluşturulan kök dentininin dış yüzeyi, dental folikül kökenli sementoblastlarca kaplanmaktadır. Bu hücreler sement dokusunu oluşturarak dişin kök yüzeyini örtmektedir. Aynı zamanda, dental folikül içerisinde köken alan diğer hücreler periodontal ligament ve alveolar kemik gibi destek dokulara farklılaşmaktadır (Li vd., 2017).

2.3 Kök Kanal Sistemi

Kök kanal sistemi, dişin içerisinde bulunan ve pulpa dokusunu içeren boşluk olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem, anatomik olarak iki ana bölümden oluşmaktadır:

Pulpa odası: Dişin anatomik kron kısmında yer almakta olup görece daha geniş bir hacme sahiptir.

Kök kanalları: Dişin kök kısmında bulunan ve pulpa dokusunun kök boyunca uzandığı dar kanallardır (Ahmed vd., 2017).

2.3.1 Pulpa Odası

Pulpa odası, dişin anatomik kron bölgesi içerisinde yer alan veya bu bölgenin hemen apikaline kadar uzanabilen ve koronal pulpa dokusunu içeren boşluktur. Bu yapı, pulpa boynuzları ve odacık gövdesinden oluşur ve kök kanallarının orifislerine geçiş sağlayan bir bağlantı alanı niteliğindedir (Ahmed vd., 2021). Pulpa odasının morfolojisi esas olarak dişin koronal yapısını yansıtsa da yaş, fizyolojik süreçler ve patolojik uyaranlara bağlı olarak zaman içerisinde belirgin morfolojik değişikliklere uğrayabilmektedir (Ahmed vd., 2024).

2.3.2 Kök Kanalları

Kök kanal sistemine ve olası anatomik varyasyonlara dair bilgi sahibi olunması, endodontik tedavide karşılaşılan zorlukların azaltılmasına önemli katkı sağlamaktadır (Cleghorn vd., 2006).

Araştırmalar, bu sistemin yalnızca ana kanaldan ibaret olmadığını; istmuslar, yüzey düzensizlikleri, aksesuar kanallar ve apikal dallanmalar gibi pek çok ek anatomik yapı içerdiğini göstermektedir. Bu karmaşık morfoloji, kanalın şekillendirilmesi ve etkin biçimde dezenfekte edilmesi süreçlerinde ciddi teknik engeller oluşturabilmektedir (Versiani vd., 2023).

2.4 Yan ve Yardımcı Kanallar

Kök kanalları çoğu zaman, ince dallanmalarla birlikte görülen ve alışılmadık kesit formlarına sahip olabilen kompleks bir yapıya sahiptir. Bu tür oluşumlar özellikle kökün apikal bölgelerinde yaygın olarak rapor edilmiştir (Wolf vd., 2019).

Mikro-BT ile gerçekleştirilen ileri görüntüleme çalışmaları, yardımcı kanal yapılarının insan dişlerinde hem sık rastlanan hem de klinik açıdan kritik öneme sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Örneğin, bir meta-analiz, aksesuar kanalların tüm dişlerde görülme oranının yaklaşık %50 ile %77 arasında değiştiğini bildirmiştir. Mandibular birinci molar dişlerde yapılan bir başka çalışmada ise,

aksesuar kanal prevalansı %80,7 olarak bulunmuş; bu kanalların çoğunlukla mezial ve distal köklerin apikal uçlülerinde açık tipte yer aldığı gösterilmiştir (Al Rammahi vd., 2025).

Maksiller lateral kesici dişlerde yürütülen farklı bir mikro-BT araştırması da, apikal üçlüde %20 oranında aksesuar kanal varlığını ortaya koyarken; koronal ve orta bölgelerde bu oluşumların oldukça nadir olduğunu belirtmiştir (Wolf vd., 2024).

Bu tür anatomik varyasyonlar, kök kanal tedavisinde enstrümantasyonun ve dezenfeksiyonun tam anlamıyla sağlanmasını zorlaştırarak tedavi başarısını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, lazer veya ultrasonik aktivasyon sistemleri, apikal negatif basınçlı irrigasyon teknikleri ve gerekli durumlarda cerrahi yaklaşımların tedavi protokollerine entegre edilmesi tavsiye edilmektedir (Plotino vd., 2016).

2.5 İstmus

İstmuslar, iki kök kanalı arasında yer alan dar bağlantı yolları olup, genellikle pulpa dokusu ya da pulpa kaynaklı artık dokular içerebilmektedir (Green, 1973) (Vertucci, 1984; Weller vd., 1995). Mandibular birinci molarların mezial köklerinde istmus varlığı %83 oranında rapor edilmiştir (von Arx, 2005). Bu yapılar, kök kanal sisteminin en karmaşık morfolojik bölgelerinden birini oluşturmaktadır (Vertucci vd., 1974). Dar ve şerit benzeri yapıları nedeniyle mekanik olarak şekillendirilmeleri son derece zordur (Leoni vd., 2017).

Geniş istmus boşlukları, nekrotik doku kalıntıları ve organik materyallerin birikimine zemin hazırlayarak mikrobiyal kolonizasyonu destekleyebilmektedir (Gu vd., 2009).

Ana kök kanallarının mekanik preparasyonu sırasında sert doku artıkları bu bölgelerde birikebilmekte olup mevcut irrigasyon yöntemleriyle tamamen elimine edilememektedir (Leoni vd., 2017; Neelakantan vd., 2016). Bu durum, endodontik tedavi başarısını olumsuz etkileyebilmektedir (Gu vd., 2009).

Literatürde çeşitli istmus sınıflamaları bildirilmiştir. Fan ve ark. tarafından önerilen sınıflamaya göre, istmuslar yaprak benzeri, ayrık, karışık ve kanal benzeri olmak üzere farklı morfolojik kategoriler altında incelenmiştir. Ayrıca, iki kanalın

birleşip yeniden ayrılmasıyla oluşan, belirgin bir tavan ve tabana sahip ince bant şeklindeki bir istmus tipi de tanımlanmıştır (Keleş vd., 2022).

Hsu ve Kim'in geliştirdiği sınıflamaya göre ise istmus yapıları beş ana tipe ayrılmaktadır:

Tip I: Kanallar arasında herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır.

Tip II: İki kanal arasında zayıf bir bağlantı bulunmaktadır.

Tip III: Üç kanal arasında zayıf bir bağlantı bulunmaktadır.

Tip IV: Ana kanalın istmus bölgesine doğru genişleyerek oval bir yapı oluşturmasıdır.

Tip V: Kanallar arasında baştan sona uzanan sürekli bir bağlantı bulunmaktadır (Hsu ve Kim, 1997).

2.6 Alt Molar Dişler

Kök kanal sistemindeki morfolojik varyasyonlar, endodontik tedavinin hem tanı sürecinde hem de başarıyla sonuçlanmasında sürekli klinik zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Mantovani vd., 2022). Kök kanal sisteminin üç boyutlu yapısının ayrıntılı olarak anlaşılması; doğru tanının konulması, uygun tedavi planının hazırlanması, sürecin öngörülebilirliği ve başarılı klinik sonuçların elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Mazzi-Chaves vd., 2020).

İlave kanalların varlığının tespit edilmesi ve enstrümantasyonu, bakterilerin ve toksinlerin olumsuz etkilerinin önlenmesinde belirleyicidir. Aksi takdirde, tedavi başarısı tehlikeye girebilmektedir. Bu nedenle dişlerin iç anatomisinin bilinmesi, başarılı bir endodontik yaklaşım için temel şarttır (Versiani vd., 2016).

Mandibular birinci molarların da dahil olduğu diş morfolojisine ilişkin çeşitli çalışmalar yayımlanmıştır. Bu çalışmalar, mandibular birinci molarların genellikle üç veya dört kanal içerdiğini bildirmiştir (Pineda ve Kuttler, 1972; A. E. Skidmore ve A. M. Bjorndal, 1971; Vertucci ve Williams, 1974).

Çoğunlukla, bu dişlerin mezial kökünde biri bukkal, diğeri lingual konumlu iki kanal bulunmaktadır. Bu kanallar arasında pulpa dokusu içeren geçirgen bir bağlantı ağı yer almaktadır. Pulpa odası tabanında iki mezial kanalı birleştiren çizginin dikkatle incelenmesi ek kanal girişinin varlığına işaret edebilmektedir. Bu bölgede çöküntü hissedilmesi halinde, #6, #8 veya #10 numaralı K-eğesiyle girişin varlığı doğrulanabilmektedir. Mezial kökte saptanan bu üçüncü

kanal “orta mezial kanal” (MMC) olarak tanımlanmaktadır (Fabra-Campos, 1989).

Mandibular birinci molarların mezial kökünde ayrı bir çıkışa sahip MMC varlığı, literatürde ilk kez 1974 yılında rapor edilmiştir (B. C. Barker vd., 1974; Vertucci vd., 1974).

Mandibular molarların mezial kökünde üçüncü kanalın varlığı, %1 ile %15 arasında değişen oranlarda bildirilmektedir. Bu ek kanal, apikalde bağımsız bir foramene açılabilmekte ya da MB veya ML kanallardan biriyle birleşerek sonlanabilmektedir. Endodontik tedavide başarıyı etkileyen temel unsurlardan biri enstrümantasyon olmaktadır; bu nedenle klinisyenler, mandibular molarlarda ek kanal varlığının olasılığını göz önünde bulundurmalı ve pulpa odasının dikkatli bir biçimde incelenmesini sağlamalıdır. Bu yaklaşım, uzun dönemli başarılı bir endodontik tedavi olasılığını artırmaktadır (Baugh ve Wallace, 2004).

2.6.1 Bifid Apeks

Bifid apeks, kök kanal sisteminin apikal bölgesinde görülen ve bir kanalın iki ayrı uca ayrılmasıyla karakterize edilmekte olan anatomik bir varyasyon olarak tanımlanmaktadır. Turner, bu durumu özellikle üst birinci premolar köklerinde incelemiş ve bifid apeksin, kökün bukkal parçasındaki çatallanmanın toplam kök uzunluğunun dörtte birinden fazlasına ulaşması halinde ayrı kök olarak sınıflandırılması gerektiğini belirtmektedir. Bu tanım, yalnızca anatomik değil aynı zamanda antropolojik açıdan da önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir (Turner, 1981).

Güncel çalışmalarda, mikro-BT gibi ileri görüntüleme yöntemleri sayesinde bifid apeks daha doğru şekilde sınıflandırılabilen ve tedavi planlamasında dikkate alınmaktadır. Keleş ve ark., mandibular molarların mezial köklerinde bifid apeks oluşumunun mikro-BT verileriyle ayrıntılı biçimde analiz edilebildiğini ve bu tür çatallanmaların, radyografik olarak saptanamayacak düzeyde olsa dahi morfolojik açıdan önemli olduğunu bildirmektedir. Bu bulgular, bifid apeksin endodontik tedavide göz ardı edilmemesi gereken bir varyasyon olduğunu ortaya koymaktadır (Keleş vd., 2020).

2.6.2 Midmeziyal Kanal

1974 yılında yapılan çalışmalar, mandibular molarların meziyal köklerinde iki ana kanalın yanı sıra üçüncü bir kanalın da bulunabileceğini ortaya koymaktadır (B. C. W. Barker vd., 1974; Vertucci vd., 1974).

MMC, mandibular molarların meziyal köklerinde yer almakta ve morfolojik çeşitliliği nedeniyle endodontik tedavi başarısını doğrudan etkilemektedir. Klinik ve mikroskopik incelemeler sonucunda MMC; fin tipi, birleşen (confluent) tip ve bağımsız (independent) tip olmak üzere üç temel sınıfta değerlendirilmektedir.

Fin tipi MMC, debridman sırasında MB veya ML kanal ile bir oluk ya da bağlantı yolu aracılığıyla ilişki göstermektedir. Bu bağlantı boyunca enstrümantasyon serbestçe yapılabilmektedir. Genellikle koronal üçlü bölgede görülmekte olup, bazı durumlarda apeks seviyesine kadar üç ayrı foramenle sonlanabilmektedir.

Birleşen tip MMC, pulpa odasında ayrı bir orifisten başlamaktadır. Ancak kök boyunca ilerledikten sonra MB veya ML kanallardan biriyle apikal bölgede birleşmektedir. Birleşim; transvers anastomoz, interkanal bağlantı ya da istmus aracılığıyla gerçekleşebilmektedir.

Bağımsız tip MMC, ayrı bir orifisten başlamakta ve kendi forameni ile sonlanmaktadır. Ayrıca, tek bir geniş meziyal kanal içerisinde üç ayrı kanalın eş zamanlı olarak apeks düzeyine yerleştirilebildiği durumlar da bu gruba dahil edilmektedir (Pomeranz vd., 1981).

2.7. Kök Kanal Morfolojisi üzerine etkisi olan faktörler

2.7.1 Yaş

Fonksiyonel diş histolojisi ve onarım süreçlerindeki yaşa bağlı değişimlerin kapsamlı şekilde anlaşılması büyük önem taşımaktadır; çünkü bu değişiklikler, tanı doğruluğunu, tedavi planlamasını ve etkin ağız sağlığı hizmetlerinin sunumunu doğrudan etkilemektedir (Murray vd., 2002).

Gustafson, diş yaşlanmasını; aşınma derecesi, gingival çekilme, kök şeffaflığı, kök rezorpsiyonu, kök apeksinde sekonder sement birikimi ve sekonder dentin kalınlaşması gibi parametreler temelinde tanımlamaktadır (Metzger vd., 1980).

Gani ve ark., mandibular birinci moların mezial kök kanal sistemindeki yaşa bağlı morfolojik değişimlerini saydamlaştırma yöntemiyle incelemiş bulunmaktadır. Bulgulara göre, 13 yaş altındaki bireylerde kök kanalları genellikle tek, geniş ve üçgen formda olup, tek apikal foramen ve şerit benzeri bir aksiyel kesit yapısı göstermektedir. 20-39 yaş grubundaki genç yetişkinlerde, kanal sistemi kalsifikasyon ve dentin birikimi sonucu daha karmaşık bir morfoloji sergilemekte iken; 40 yaş ve üzerindeki bireylerde kök kanallarının belirgin şekilde daraldığı tespit edilmektedir (Gani vd., 2014).

Nosrat ve ark., MMC'nin özellikle 20 yaş altı ve 20-40 yaş aralığındaki bireylerde daha yüksek sıklıkla saptandığını bildirmektedir (Nosrat vd., 2015).

İnsan dentin pulpa kompleksinde yaşlanmaya bağlı değişiklikler, fizyolojik süreçler çerçevesinde yavaş ilerleyen sekonder dentin birikimi ile ortaya çıkmakta ve bu süreç pulpa odasının ve kök kanal sisteminin daralmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, travma, periodontal hastalık, çürük lezyonları, derin restoratif müdahaleler, pulpa inflamasyonu, sistemik hastalıklar ve genetik faktörler gibi patolojik ve iatrojenik etkenler, tersiyer dentin birikimine yol açmakta ve kök kanal anatomisinde yapısal değişikliklere sebebiyet vermektedir (Alak vd., 2023).

2.7.2 Irksal Faktörler

Çalışmalar, kök kanal tiplerinin irksal farklılıklara bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğine dikkat çekmektedir. Bu araştırmaların büyük çoğunluğu Kuzey Amerika ve Uzak Doğu toplumlarının dişleri üzerinde gerçekleştirilmiş olup, Türk popülasyonuna yönelik çalışmalar sınırlı kalmaktadır (Sert ve Bayirli, 2004).

Türk popülasyonunda yapılan bir araştırmada, mandibular birinci ve ikinci molarların mezial köklerinde en sık tip IV, distal köklerinde ise tip I kanal konfigürasyonlarının görüldüğü bildirilmektedir. Ayrıca, üç köklü mandibular molarların Türk toplumunda nadir olarak rastlandığı saptanmıştır (Nur vd., 2014).

2.7.3 Cinsiyet

Genel tıp literatüründe, belirli anatomik varyasyonlar ile hastalıkların görülme sıklığı ve klinik seyri bakımından cinsiyetler arası farklılıklar ayrıntılı şekilde belgelenmektedir. Benzer biçimde, dental alanda da erkek ve kadın bireyler arasında diş kökü morfolojisine ilişkin belirgin yapısal farklılıklar saptanmakta ve

bu morfolojik varyasyonların bazı dental hastalıklarla ilişkili olabileceği bildirilmektedir (Mashyakhy ve Gambarini, 2019).

Tüm diş gruplarındaki cinsiyete bağlı morfolojik farklılıkları aynı bireyler üzerinde değerlendiren ilk in-vitro çalışma, 2004 yılında Sert ve Bayırlı tarafından Türk popülasyonu üzerinde gerçekleştirilmektedir (Sert ve Bayırlı, 2004).

Portekiz popülasyonuna yönelik gerçekleştirilen ilk kapsamlı KIBT çalışması, 2018 yılında geniş bir örneklem boyutuyla yayımlanmış olup, cinsiyetler arasında yalnızca sınırlı farklılıkların bulunduğunu ortaya koymaktadır (Martins vd., 2018). Bunu izleyen bir diğer in vivo KIBT çalışması 2019 yılında Malezya alt popülasyonu üzerinde gerçekleştirilmiş olup, genel olarak cinsiyete bağlı anlamlı bir fark saptanmamakta, yalnızca bazı belirli diş gruplarında farklılıklar bildirilmektedir (Pan vd., 2019).

2.8 Kök Kanal Sistemi Sınıflandırmaları

Kök kanal sistemine dair kapsamlı bir morfolojik bilgi, yalnızca etkili tedavi planlaması için değil; aynı zamanda sınıflandırma, belgelendirme süreçleri ve klinisyenler arasında standart bir iletişim dili kurulması açısından da büyük önem taşımaktadır. Günümüze dek çok sayıda kök kanal morfolojisi sınıflandırması geliştirilmiş olmakla birlikte, bu sistemlerin her biri belirli avantajlar sunmakta, ancak aynı zamanda çeşitli sınırlılıklar da barındırmaktadır.

Bazı sınıflama sistemleri oldukça detaylı olup klinik uygulamalarda pratiklikten uzak kalabilmektedir; öte yandan, daha sade yapıda olanlar ise kompleks anatomik varyasyonları yeterince tanımlayamamaktadır. Bununla birlikte, diş hekimi yalnızca tipik morfolojik örüntüleri değil, kök kanal sistemi içerisindeki olası varyasyonları da dikkate almak durumundadır (Karoobarı vd., 2021).

Tek kök kanal morfolojisine yönelik ilk sistematik sınıflandırma, 1969 yılında Weine ve ark. tarafından önerilmektedir (Weine vd., 1969).

2.8.1 Vertucci Sınıflandırması

Kök kanal morfolojisinin sistematik olarak tanımlanmasına yönelik en yaygın kullanılan yaklaşımlardan biri Vertucci tarafından geliştirilmiş bulunmaktadır. Vertucci, çekilmiş insan dişleri üzerinde gerçekleştirdiği çalışmalarda

şeffaflaştırma tekniğini kullanarak kök kanal konfigürasyonlarını incelemiş ve bu morfolojileri sekiz temel tip altında sınıflandırmaktadır. Bu sınıflama, kanalların koronal, orta ve apikal üçlülerde izlediği seyir ile birleşme ve ayrılma paternleri esas alınarak oluşturulmaktadır (Vertucci, 1984).

Vertucci'nin sekiz temel sınıflaması şu şekildedir:

Tip I: Pulpa odasından başlayıp apeks bölgesine kadar uzanan tek bir kanal bulunmaktadır

Tip II: Pulpa odasından ayrı çıkan iki kanal, apeks öncesinde birleşerek tek kanal hâlinde sonlanmaktadır.

Tip III: Tek kanal, kök içerisinde ikiye ayrılmakta, daha sonra birleşerek apeksi tek kanal olarak terk etmektedir.

Tip IV: Pulpa odasından apeks bölgesine kadar tamamen ayrı ve bağımsız iki kanal uzanmaktadır.

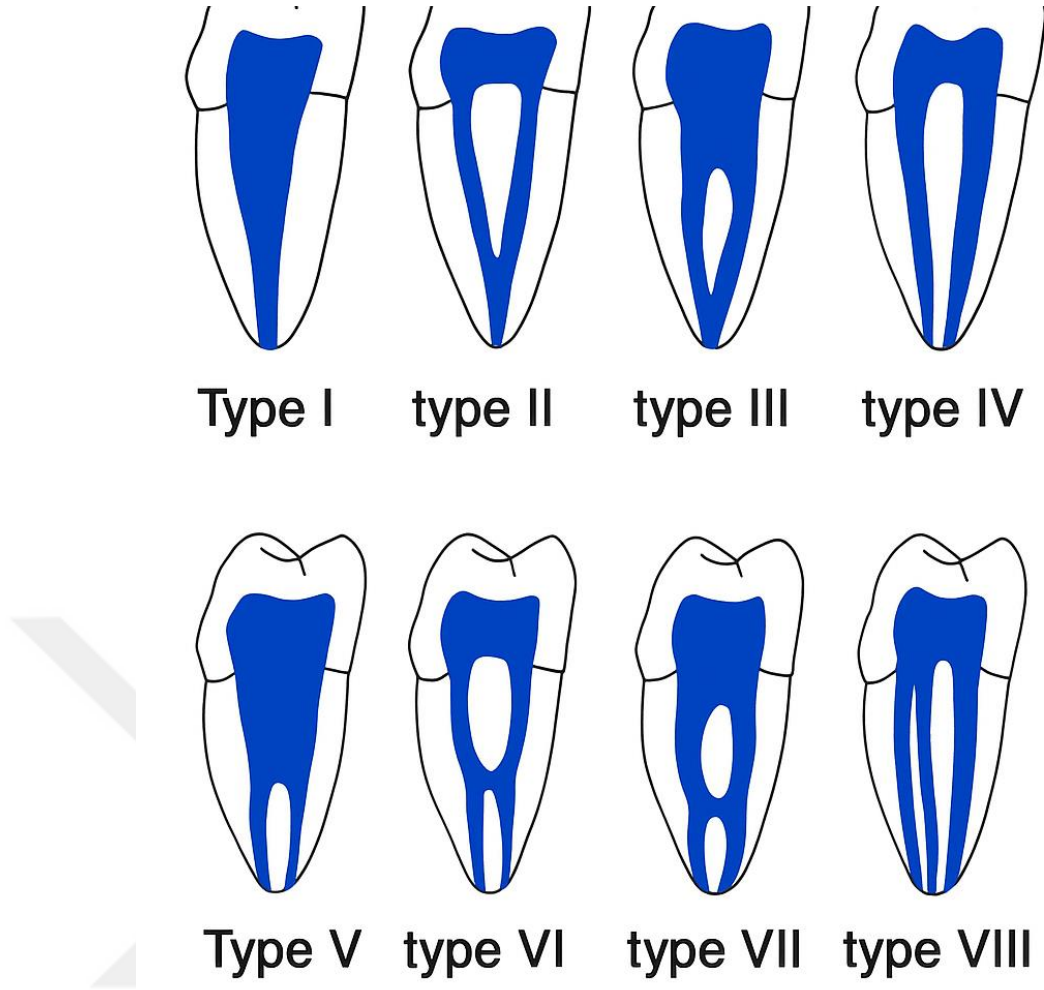
Tip V: Pulpa odasından çıkan tek kanal, kök boyunca ilerlerken ikiye ayrılmakta ve ayrı apikal foramina ile sonlanmaktadır.

Tip VI: İki ayrı kanal, kökün orta düzeyinde birleşmekte; ardından apeksin hemen öncesinde tekrar ikiye ayrılmaktadır.

Tip VII: Tek kanal, kökün orta üçlüsüne kadar ilerlemekte; burada iki kanala ayrılmakta, bir süre sonra birleşmekte ve apeks seviyesinde yeniden ikiye ayrılarak sonlanmaktadır.

Tip VIII: Pulpa odasından üç ayrı kanal çıkmakta, bu kanallar kök boyunca bağımsız seyredererek apeksi üç ayrı foramenle terk etmektedir (Vertucci, 1984).

Vertucci'nin sınıflaması, basit ve anlaşılır yapısı nedeniyle uzun yıllardır endodontik literatürde en sık kullanılan sistem olmaktadır. Bununla birlikte, yalnızca sekiz temel tip içermesi nedeniyle nadir rastlanan veya daha karmaşık konfigürasyonların açıklanmasında yetersiz kalabilmekte ve bu sebeple daha kapsamlı sistemler geliştirilmektedir.



Şekil 2.2. Vertucci sınıflaması (Vertucci, 1984)

2.8.2 Gulabivala ve Arkadaşlarının Sınıflaması

Gulabivala ve ark., çalışmalarında toplam 331 adet mandibular molar diş üzerinde inceleme yapmışlardır. Bu dişlerin 139'u birinci, 134'ü ikinci ve 58'i üçüncü molar dişlerden oluşmaktadır. Pulpa dokusu uzaklaştırıldıktan sonra kanal sistemleri çini mürekkebi ile boyanmakta, ardından dişler dekalsifiye edilmekte ve metil salisilat kullanılarak şeffaflaştırılmaktadır. Çalışmada, Vertucci'nin (1984) tanımladığı kanal konfigürasyonlarına ek olarak yedi yeni kanal konfigürasyonu rapor edilmektedir (K. Gulabivala vd., 2001).

Tip (3-1): Üç kanal pulpa odasından çıkmakta, apikal bölgede birleşerek tek kanal hâlinde sonlanmaktadır.

Tip (2-1-2-1): İki kanal pulpa odasından çıktıktan sonra birleşmekte, daha sonra tekrar ikiye ayrılmakta ve apikal seviyede yeniden tek kanal olarak sonlanmaktadır.

Tip (4-2): Pulpa odasından çıkan dört kanal, birleşerek apikal bölgede iki ayrı foramenle sonlanmaktadır.

Tip (3-2): Pulpa odasından çıkan üç kanaldan ikisi birleşmekte ve apikalde iki ayrı kanal hâlinde sonlanmaktadır.

Tip (2-3): Başlangıçta iki kanal olarak ayrılan yapı, kök boyunca dallanarak üç ayrı kanal olarak apeksi terk etmektedir.

Tip (4-4): Dört kanal hem pulpa odasından çıkışta hem de apikal bölgede bağımsız seyretmekte ve birleşmeden sonlanmaktadır

Tip (5-4): Beş kanal pulpa odasından çıkmakta, apikal bölgede birleşerek dört ayrı kanal olarak sonlanmaktadır.

2.8.3 Ahmed ve Dummer’ın Kök Kanal Morfolojisi Sınıflaması

Endodontide kök kanal sisteminin doğru tanımlanması, klinik başarı açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel sınıflama sistemleri birçok morfolojiyi açıklayabilse de bazı kompleks varyasyonları yeterince ifade edememesi önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla Ahmed ve Dummer (2017), kök kanal morfolojisinin daha ayrıntılı ve evrensel bir biçimde tanımlanabilmesini sağlayan yeni bir sınıflama ve kodlama sistemi önermiştir.

Bu sistemin üç ana bileşeni vardır: diş numarası, kök ve kanal sayısı, kanalların seyrine ilişkin konfigürasyon bilgileri.

Kodlama, dişin FDI numarası ile başlamaktadır. Ardından köklerdeki kanal sayıları ve bu kanalların koronal, orta ve apikal üçlülerdeki seyirleri rakamsal dizilerle ifade edilmektedir. Örneğin, ayrı orifislerle başlayan iki kanalın orta üçlüde birleşmesi ve apikalde tek foramenden çıkması “2-1” olarak; tek kanaldan başlayıp apikalde iki ayrı foramenden çıkması ise “1-2” şeklinde kodlanmaktadır. Bu sistemin en önemli katkılarından biri, klasik sınıflamalarda tarif edilmesi güç olan varyasyonları da açıklayabilmesidir. Örneğin, sol mandibular birinci moların (36) mezial kökünde üç orifis bulunduğunu, bunlardan MB ve MMC’nin orta üçlüde birleştiğini, fakat bifid apeks nedeniyle apikalde tekrar iki ayrı foramenden

çıkıldığını; ML kanalının ise baştan sona tek seyirli olduğunu varsayalım. Bu morfoloji Ahmed ve Dummer'ın (2017) sistemine göre şu şekilde kodlanmaktadır:

36 M (3: MB–MM [2-1-2], ML [1]) D (1)

36: Sol mandibular birinci molar.

M (3 ...): Meziyal kökte üç orifis bulunduğunu göstermektedir.

MB–MM [2-1-2]: MB ve MMC iki ayrı girişle başlamakta (2), orta seviyede birleşmekte (1) ve apikalde iki ayrı foramenden sonlanmaktadır (2).

ML [1]: ML kanal baştan sona tek seyirli olarak devam etmektedir.

D (1): Distal kök tek kanallı olup tek foramenden çıkmaktadır.

Bu örnek, sistemin MMC varlığı ve bifid apeks gibi kompleks morfolojileri tek bir kodlama ile açık şekilde ifade edebildiğini göstermektedir. Böylece hem klinik raporlamalarda hem de araştırmalarda daha standart, ayrıntılı ve evrensel bir terminoloji kullanılabilmektedir (Ahmed vd., 2017).

2.9 Kök Kanal Morfolojisini İnceleme Teknikleri

Kök kanal morfolojisinin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında kök kanal boyama ve şeffaflaştırma tekniği, kesit alma, konvansiyonel ve dijital radyografik yöntemler, bilgisayarlı tomografi (BT) ve KIBT yer almaktadır (Neelakantan vd., 2010).

2.9.1 Kopya Model Oluşturma Tekniği

Pulpa dokusu uzaklaştırıldıktan sonra, kök kanal sisteminin anatomisini yansıtabilecek özellikteki uygun materyaller kanal boşluğuna basınç veya vakum yöntemiyle uygulanmaktadır. Bu amaçla genellikle reçine veya silikon esaslı maddeler tercih edilmektedir. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra diş örneği asidik bir çözelti içerisinde dekalsifiye edilmekte ve sert dokular uzaklaştırılmaktadır. Böylece aside dayanıklı materyal, kök kanal sisteminin üç boyutlu bir replikası olarak elde edilmektedir. Bu kopya modeller, kanal morfolojisinin ayrıntılı biçimde incelenebilmesi amacıyla mikroskop altında değerlendirilmektedir (Goldman vd., 1989; Wakabayashi vd., 1988).

2.9.2 Kesit Alma

Diş köklerinden alınan enine kesitler, diskler veya taşlama aparatları kullanılarak hazırlanmakta, çeşitli boyalarla boyandıktan sonra mikroskop altında incelenmektedir. Bu amaçla geliştirilen mufla model sistemi, makroskobik kesitlerin elde edilmesine imkân tanımakta ve örneklerin özel olarak tasarlanmış muflalar içine yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Örnekler bu sistem içinde kök kanal genişletme işlemlerine tabi tutulmakta, ardından mufladan çıkarılarak değerlendirilmek üzere incelenmektedir. Yöntem hem dikey hem de yatay düzlemde kesit alınmasına imkân vermekte, ancak bazı sınırlılıklar içermektedir. Özellikle yatay kesitlerde, servikal, orta ve apikal bölgelerdeki kök eğimleri nedeniyle kanal izlenebilirliği güçleşmekte; ayrıca kesit alma sırasında meydana gelen doku kaybı, kesit kalınlıklarının ölçüm doğruluğunu etkilemekte ve yapılan ölçümlerin tekrarlanabilirliğini azaltmaktadır (Bramante vd., 1987; McCann vd., 1990).

2.9.3 Radyografik Görüntüleme

Endodontik uygulamalarda radyografik görüntüleme, tanı, tedavi, takip ve koruma amaçlı yaygın olarak kullanılmaktadır. Endodontide en sık tercih edilen görüntüleme yöntemi periapikal radyografi olmaktadır (Setzer ve Lee, 2021). Periapikal radyografiler, periradiküler lezyonların tespiti, kök kanal sisteminin morfolojisi ve komşu anatomik yapılarla ilişkisi hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Ancak yaygın kullanılmalarına rağmen sundukları veri miktarı sınırlı kalmaktadır (Patel vd., 2009).

Tedavi öncesinde restorasyon yapılabilirliğini değerlendirmek veya koronal sızıntı ve çürükleri tespit etmek amacıyla bite-wing radyografiler de kullanılmaktadır. Travmatik olgularda kök veya alveol kırıklarını saptamak için okluzal ve lateral sefalometrik radyografiler, periapikal veya panoramik radyografilere ek olarak tercih edilebilmektedir (Setzer ve Lee, 2021).

Konvansiyonel radyografi teknikleri, üç boyutlu anatomik yapıları iki boyutlu düzleme indirgediğinden, anatomik detayların eksik yansıtılması tanısal doğruluğu önemli ölçüde kısıtlamaktadır (Nance vd., 2000; Webber ve Messura, 1999).

Diş ve çevresindeki anatomik yapıların çoğu yalnızca meziyodistal düzlemde görüntülenebilmekte, bukkolingual yönde yer alan yapılar yani üçüncü boyut ise çoğunlukla yeterince değerlendirilememektedir. Bu durum, özellikle köklerin çevre anatomik oluşumlarla ve periradiküler patolojilerle olan mekânsal ilişkilerinin konvansiyonel radyografilerle tam olarak ortaya konmasını güçleştirmektedir (Cotti vd., 1999); (Cotti ve Campisi, 2004). KIBT, oral yapıların üç boyutlu olarak görüntülenmesini sağlayarak periapikal radyografilerin tamamlayıcısı ya da bazı geleneksel yöntemlerin alternatifi olarak kullanılmaktadır (Setzer ve Lee, 2021).

2.9.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile İnceleme

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), sınırlı bir alanın yüksek çözünürlükte ve ayrıntılı şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. SEM ile furkasyon bölgesi ve pulpa odası tabanında yer alan aksesuar kanalların varlığı, kanallar arası anastomozlar ile kök ucunda bulunan ana ve aksesuar foramenlerin sayısı tespit edilebilmektedir (Gutierrez ve Aguayo, 1995; Morabito ve Defabianis, 1992; Tam ve Yu, 2002).

2.9.5 Boyama ve Şeffaflaştırma

Kanal boyama ve şeffaflaştırma tekniğinin, kök kanal morfolojisini üç boyutlu olarak değerlendirmede etkinliğinin kanıtlandığı bildirilmektedir. Geleneksel yöntem şu şekilde uygulanmaktadır: Krona giriş kavitesi açılmakta ve pulpa dokusu çıkarılmaktadır. Ardından, kök kanal sistemine mürekkep enjekte edilmekte; bazı durumlarda bu mürekkep penetrasyonu, apikalden uygulanan vakum emişi ile desteklenen negatif basınç aracılığıyla artırılabilir. Daha sonra diş demineralize edilmekte, dehidrate edilmekte ve sonunda şeffaflaştırılmaktadır (Weng vd., 2009). Bununla birlikte, kanal boyama ve şeffaflaştırma tekniğinin birtakım sınırlılıkları bulunmaktadır. Özellikle demineralizasyon ve dehidratasyon aşamalarında meydana gelen doku kayıpları, kök kanal sisteminin orijinal morfolojisinin kısmen bozulmasına yol açabilmektedir. Ayrıca şeffaflaştırma işlemi, örneklerin tekrarlı ölçümler için yeniden kullanılmasına olanak vermemekte ve yöntemin invaziv doğası nedeniyle

elde edilen bulguların in vivo koşullara doğrudan genellenebilirliğini kısıtlamaktadır (Dwivedi vd., 2014; Weng vd., 2009).

2.9.6 Bilgisayarlı Tomografi

Konvansiyonel radyografinin sınırlılıkları iyi bilinmektedir. İki boyutlu (2B) görüntülerin tanısal değeri; anatomik gürültünün ilgi alanını maskeleymesi ve geometrik distorsiyon nedeniyle çeşitli derecelerde azalabilmektedir (Patel vd., 2019). BT, ilk olarak 1972 yılında geliştirilmiş ve 1973 yılında literatürde bildirilmiştir. Bu teknoloji, tanısal amaçlı üç boyutlu görüntüleme elde edilmesine imkan tanımaktadır (Hounsfield, 1973).

Başlangıçta farklı tıp alanlarında kullanılan bu yöntem, implant cerrahisinin gelişmesiyle birlikte diş hekimliğinde de uygulanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, klasik BT cihazları büyük boyutlu ve yüksek maliyetli olmakta, ayrıca hastalar için nispeten yüksek radyasyon dozuna neden olmaktadır. Bu sınırlamaları aşmak amacıyla kompakt BT cihazları, yani KIBT sistemleri geliştirilmiştir (Nasseh ve Al-Rawi, 2018).

2.9.7 Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

KIBT sistemlerinde baş bölgesini kapsayan geniş konik biçimli X-ışınları kullanılmakta, doğrusal dedektör dizileri yerine iki boyutlu düzlemsel dedektörler tercih edilmektedir. Konik ışınların, yalnızca ince bir kesit yerine geniş bir hacmi ışınlaması sayesinde cihazın birden fazla dönüş yapmasına gerek kalmamakta; tek bir döngüyle hedeflenen bölgeye ait tüm görüntü verileri toplanabilmektedir. Bu yöntem ile düşük dozda X-ışını kullanılarak farklı düzlemlerde iki boyutlu görüntüler ve üç boyutlu rekonstrüksiyonlar elde edilebilmektedir (Scarfe ve Farman, 2008).

KIBT sistemleri; düşük radyasyon dozu, düşük maliyet, kısa tarama süresi ve maksillofasiyal bölgeye özgü görüntüleme modları gibi avantajlar sunmaktadır. Ayrıca görüntüleme alanının ayarlanabilir olması, 0,076–0,4 mm voksel boyutlarıyla yüksek çözünürlük sağlaması ve metal artefaktlarını azaltması önemli özelliklerindendir. Ergonomik tasarımı, kullanım kolaylığı, minimal görüntü bozulması ve DICOM formatı ile uyumluluğu da KIBT'ı klinik uygulamalarda etkili kılmaktadır (Schulze vd., 2011).

KIBT'nın maksillofasiyal görüntülemelerde kullanıma girmesi, diş hekimliğinde iki boyutlu görüntülemeden üç boyutlu görüntülemeye geçişte önemli bir paradigma değişimini beraberinde getirmektedir. KIBT, oral ve maksillofasiyal lezyonların tanısı ve tedavi planlamasında tıbbi BT'ye alternatif olarak geliştirilmiş olup, hem geleneksel 2B tekniklere hem de tıbbi BT'ye kıyasla sunduğu avantajlar sayesinde diş hekimliği alanında önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir (Hegde vd., 2018).

Günümüzde endodontik uygulamalarda periapikal patolojilerin görüntülenmesinde konvansiyonel iki boyutlu periapikal radyografiler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, yüksek çözünürlük sağlaması ve ekonomik olmasıyla tanınal açıdan avantaj sunmaktadır. Öte yandan, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, intraoral, panoramik ya da sefalometrik görüntüleme teknikleriyle saptanamayan anatomik yapıların üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanınmasıyla öne çıkmaktadır (Scarfe vd., 2009).

Endodontide KIBT kullanımı, kök kanal sistemi ve periodonsiyumun karmaşık yapılarının ayrıntılı şekilde değerlendirilebilmesi için yüksek çözünürlüklü görüntüler gerektirmektedir. Bununla birlikte, yüksek çözünürlük artan radyasyon maruziyeti ile ilişkili olabilmektedir. Bu nedenle, endodontik problemlerin tanı ve yönetiminde yalnızca küçük görüş alanına (FOV) sahip KIBT taramaları önerilmektedir. Küçük FOV hem maruz kalınan doku hacmini hem de etkin radyasyon dozunu azaltmakta, ayrıca saçılmayı düşürerek görüntü kalitesini artırmaktadır (Spin-Neto vd., 2015).

KIBT'nın endodontideki başlıca endikasyonları arasında kök kanal sisteminin morfolojik özelliklerinin incelenmesi, periapikal lezyonların üç boyutlu olarak görüntülenmesi, endodontik ya da endodontik olmayan kaynaklı lezyonların teşhisi, atlanmış veya tedavi edilmemiş kanalların belirlenmesi ve kök kanal dolgusunda meydana gelen taşkın materyalin saptanması yer almaktadır. Ayrıca kök yüzeyinde oluşan internal ve eksternal rezorpsiyonların değerlendirilmesi ile köklerde meydana gelen vertikal ve horizontal fraktürlerin görüntülenmesi de KIBT'nın endodontideki önemli endikasyonları arasındadır (Nasseh ve Al-Rawi, 2018).

2.9.7 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi

Mikro-BT'nin fiziksel temeli, X-ışını radyasyonunun maddeler tarafından zayıflatılması ilkesine dayanmaktadır. Elde edilen kesit görüntüsü, her noktadaki doğrusal zayıflatma katsayısının kantitatif bir haritasını oluşturmaktadır. Bu katsayı, X-ışını taraması sırasında meydana gelen saçılma ve absorpsiyon gibi etkileşimlerin yerel düzeydeki oranını yansıtmaktadır. Dolayısıyla, yoğun ve heterojen yapılar olan dental dokuların incelenmesinde mikro-BT önemli bir yöntem hâline gelmektedir; zira bu tür dokularda küçük yapısal değişimlerin belirlenebilmesi için yüksek çözünürlük gerekmektedir (Teles vd., 2025).

Geleneksel klinik BT tarayıcıları genellikle 1 mm³ hacme sahip vokseller üretmekteyken, 1980'li yılların başlarında geliştirilen X-ışını mikro-BT sistemleri çok daha yüksek çözünürlük sunmaktadır. Bu sistemler, yaklaşık 5–50 mikrometre (µm) aralığında voksel boyutlarıyla çalışmakta olup, konvansiyonel BT görüntülerine kıyasla milyon kat düzeyinde daha küçük hacimlerde detayların incelenmesine olanak sağlamaktadır (Swain ve Xue, 2009).

Mikro-BT, dişlerin iç anatomisinin ayrıntılı olarak incelenmesi, kök kanalı şekillendirme ve dolum tekniklerinin değerlendirilmesi, tekrar tedavi uygulamalarının analizi ve endodontik materyallerin fiziksel ile biyolojik özelliklerinin araştırılması amacıyla endodontide giderek daha yaygın şekilde kullanılan invaziv olmayan ve tahribatsız bir görüntüleme yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Al-Rammahi vd., 2023).

2.9.7.1 Kök Kanal Morfolojisinin Analizi

Mikro-BT sistemlerinin kullanıma girmesiyle birlikte, kök kanal morfolojisi yüksek çözünürlükle incelenebilir hâle gelmektedir. Bu teknolojiler sayesinde bir taramadan çok sayıda veri elde edilebilmekte; görüntü dilimleri istenilen düzlemde yeniden oluşturulabilmekte ve veriler hem iki boyutlu hem de üç boyutlu görseller şeklinde sunulabilmektedir. İç ve dış anatomik yapılar eşzamanlı ya da ayrı ayrı görüntülenebilmekte ve bu görüntüler hem niteliksel hem de niceliksel olarak değerlendirilebilmektedir (Dowker vd., 1997; Rhodes vd., 1999).

Mikro-BT taramalarıyla elde edilen veriler kullanılarak, pulpa boşluğunun yapısal özellikleri, pulpa boynuzunun toplam hacim içindeki oranı, pulpa odasının üst ve alt sınırları ile kök kanallarının bukkal ve lingual giriş çapları

belirlenebilmekte ve bu ölçümler yaş grupları arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmektedir (Oi vd., 2004).

2.9.7.2 Kök Kanal Preparasyonunun Değerlendirilmesi

Endodontik preparasyon sürecinin ardından kök kanal sisteminde meydana gelen morfolojik değişiklikler; yüzey alanı, kanal hacmi, uzaklaştırılan dentin miktarı, kanal çapındaki varyasyonlar, şekillendirilen yüzeyin büyüklüğü, kanal kurvatüründeki değişiklikler, kanal transportasyonu ve düzleştirme oranı gibi çeşitli kantitatif parametreler kullanılarak ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmektedir (Moore vd., 2009; Peters, Laib, vd., 2001; Peters, Schönerberger, vd., 2001).

2.9.7.3 İrrigasyon ve Sert Doku Debris Birikimi

Mikro-BT kesitlerinde sert doku debrisinin belirlenebilmesi amacıyla, preparasyon öncesi taramalarda yumuşak doku, sıvı veya hava olarak sınıflandırılan; ancak preparasyon sonrasında radyoopak özellik kazanan vokseller tespit edilmektedir. Bu voksellerin sayısı, tek bir vokselin hacmiyle çarpılarak, orijinal kök kanal boşluğunda biriken sert doku debrisinin hacmi hesaplanmaktadır (Paqué vd., 2009; Paqué vd., 2012). Bu sistem aracılığıyla farklı kök kanal preparasyon teknikleri ile çeşitli irrigasyon solüsyonları ve uygulama yöntemleri, inorganik debris birikimi açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilebilmektedir (Endal vd., 2011; Paqué vd., 2012; Robinson vd., 2013).

2.9.7.4 Kök Kanal Dolgusunun Değerlendirilmesi

Kök kanal dolgularında oluşan boşlukların nicel olarak analizinde, mikro-BT görüntülemesi ile geleneksel histolojik kesit yöntemlerini karşılaştıran çalışmalarda, her iki tekniğin hem yapısal hem de sayısal veriler açısından yüksek düzeyde uyum sağladığı gösterilmektedir. Mikro-BT teknolojisi, kanal dolgusunun tüm hacmini üç boyutlu olarak görüntüleyebilme imkânı tanımaktadır. Ayrıca belirli düzlemlerde elde edilen enine kesitler aracılığıyla gutta-perka, kanal patı ve potansiyel boşluk alanlarının hacimsel ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda dolgu materyalinin lateral kanallar ve isthmus gibi kompleks anatomik bölgeleri hangi oranda doldurduğunu değerlendirmek için de etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Jung vd., 2005).

2.9.7.5 Endodontide Mikro-BT Kullanım Avantajları:

1. Tahribatsız görüntüleme:

İncelenen örneğe fiziksel zarar verilmeden analiz yapılabilmekte, bu da ölçümlerin aynı örnek üzerinde tekrarlanabilmesine imkân sağlamaktadır (Kurt ve Orhan, 2016).

2. Yüksek doğrulukta üç boyutlu görüntüleme:

Örneklerin hacimsel yapıları, yüksek çözünürlükle ve gerçek boyutlarıyla üç boyutlu olarak görüntülenebilmektedir (Flannery vd., 1987).

3. Yumuşak ve sert doku ayırımı:

Hem mineralize sert dokular hem de sınırlı ölçüde yumuşak dokular ile dental materyaller görselleştirilebilmektedir.

4. Klinik yönergelerin geliştirilmesine katkı:

Farklı tedavi yöntemlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamakta ve en etkili klinik uygulamaların belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

5. Histolojik yöntemlerle uyumlu sonuçlar:

Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, histolojik tekniklerle karşılaştırılabilir düzeyde güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmektedir (Erpaçal vd., 2019).

2.9.7.6 Endodontide Mikro-BT Kullanım Dezavantajları:

1. Örnek Boyutu:

Mikro-BT, yüksek çözünürlüklü tarama olanağı sunmasına karşın, genellikle sınırlı boyuttaki örneklerle uyumludur. Bu teknik kısıtlılık, tüm dişin tek parça halinde üç boyutlu olarak görüntülenmesini güçleştirebilmektedir ve analiz edilecek alanların sınırlı tutulmasını gerektirebilmektedir.

2. Maliyet ve Erişilebilirlik:

Mikro-BT cihazlarının yüksek maliyeti, özel donanım gereksinimleri ve kullanımında uzmanlık isteyen teknik altyapı nedeniyle bu teknoloji, her klinik ortama kolaylıkla entegre edilememektedir. Bu durum, yöntemin endodontik uygulamalarda rutin ve yaygın kullanımını kısıtlayan başlıca etkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

3. Görüntüleme Artefaktları:

Çeşitli nedenlerle oluşan artefaktlar mikro-BT görüntülemede kalite kaybına yol açabilmektedir. Bu tür bozulmalar, özellikle dental yapıların detaylı anatomik özelliklerinin belirlenmesini zorlaştırarak görüntülerin tanısal değerini sınırlayabilmektedir.

4.Yumuşak Doku Kontrastının Sınırlılığı:

Mikro-BT, mineralize dokuların üç boyutlu ve yüksek çözünürlüklü olarak görüntülenmesinde etkili bir yöntemdir; ancak yumuşak dokular arasındaki kontrastın düşük olması; pulpa dokusu, vasküler yapılar ve sinirlerin net biçimde ayırt edilmesini güçleştirmektedir ("Micro-computed tomography as a transformative tool in endodontics: A narrative review," 2023).



3. MATERİYAL ve METOD

Bu çalışma, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı ve İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi, Micro-CT Laboratuvarı'nın in vitro şartlarında yapıldı ve Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Klinik Araştırma Etik Kurulu (KAEEK) tarafından (2024/200) onaylandı.

Örneklem büyüklüğünün belirlenmesi; çalışma için a priori power analizi Keleş ve Keskin'in "Micro-computed tomographic analysis of the mezial root of mandibular first molars with bifid apex" başlıklı çalışmalarının etki büyüklüğü kullanılarak (0.66), F-test ailesi ANOVA (fixed effects, omnibus, one-way) testi için örneklem sayısı hesaplaması G*Power programı (G*Power 3.1 for Macintosh; Heinrich Heine, Universitat Dusseldorf, Dusseldorf, Almanya) ile yapıldı (Keleş, Keskin, Alqawasmi, & Versiani, 2020). Analiz sonucunda 0.05 tip bir hata ve 0.99 beta değerleriyle grup başına düşen minimum örnek sayısı 45 bulunmuştur. Çalışmamızda 1. ve 2. grup için 45'er örnek dahil edilmiştir.

3.1 Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Bu çalışmada, çeşitli nedenlerle çekilmiş 90 adet mandibular molar diş kullanıldı. Dişler, Bolu ve çevre illerdeki diş kliniklerinden temin edildi. Toplama sürecinde hastaların yaşı, cinsiyeti ve dişlerin çekilme nedenleri kaydedilmedi. Dişler operasyon mikroskobu altında incelendi ve periapikal radyografileri alındı. Kron bütünlüğü ileri derecede bozulmuş, kök gelişimini tamamlamamış, daha önce kök kanal tedavisi uygulanmış veya pulpa ekspozu bulunan dişler çalışma dışı bırakıldı.

Bifid apeks varlığı, çıplak gözle ve periapikal görüntüleme ile yapılan morfolojik değerlendirme ile saptandı. Dişler üzerindeki yumuşak ve sert doku artıkları küret yardımıyla temizlendi ve örnekler bifid apeks durumuna göre iki gruba ayrıldı:

- **Grup Bifid (n = 45):** Mezial kökünde bifid apeks bulunan mandibular molar dişler
- **Grup Non- Bifid (n = 45):** Mezial kökünde bifid apeks bulunmayan mandibular molar dişler

Dişler, oda sıcaklığında distile su içinde saklandı. Bu çalışma için yeni diş çekimi yapılmadı, sadece kliniklerden elde edilen örnekler kullanıldı.

Dahil edilme kriterleri

- Diş boyutlarının görüntüleme programı ile ölçülebilir olması
- Mandibular molar dişte mezial kökün sağlam olması

Dışlama kriterleri

- Görüntülerde ilgili dişlerin incelenmesini engelleyen artefakt ve distorsiyon varlığı
- Kök gelişiminin tamamlanmamış olması
- Pulpa ekspozuna neden olan kırık, çürük veya restoratif materyallerin bulunması
- Daha önce kök kanal tedavisi uygulanmış dişler

3.2 Mikro-Bilgisayarlı Tomografi Taraması

Örnekler tarama için 85 kV güç ve 118 µA akım ile çalıştırılan SkyScan 1172 (Bruker-microCT, Kontich, Belçika) Mikro-BT cihazına yerleştirildi (Şekil 3.1). 11 MP kamera yardımıyla, her bir örnekten 13.68 µm piksel boyutuna sahip kesitler elde edildi. Taramalar dikey ekseninde 193° dönme açısı, 0.6° dönme aralığı ve 0.5 mm alüminyum-bakır alaşımlı bir filtre kullanarak 2450 ms kamera ekspozür zamanı ile gerçekleştirildi.

3.3 Verilerin Analizi

Elde edilen görüntüler, NRecon (v.1.6.10.2, Bruker-microCT) yazılımında %15 beam-hardening düzeltilmesi, 2 smoothing ve 0.0-0.02 kontrast sınırları ile yeniden oluşturuldu (rekonstrüksiyon) (Şekil 3.2). Rekonstrüksiyon sonrası her bir numunenin toplamda yaklaşık 1000 adet iki boyutlu aksiyel kesit görüntüleri elde edilmiş oldu. Üç boyutlu modellerin elde edilebilmesi ve kesitler üzerinde iki boyutlu ölçümlerin yapılabilmesi amacıyla CTAn (v.1.18.8.0+, Bruker-micro CT) yazılımına görüntüler aktarıldı.



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan Skyscan 1172 MBT cihazı



Şekil 3.2. NRecon programında görüntülerin işlenmesi

3.3.1 Niteliksel Analizler

Alt büyük azı dişlerin mezial kökleri, kök kanal morfolojisinin ayrıntılı olarak değerlendirilebilmesi ve sistematik biçimde tanımlanabilmesi amacıyla CTAn ve DataViewer (v.1.5, Bruker-microCT, Kontich, Belçika) yazılımlarında analiz edildi. İlk aşamada, taramalardan elde edilen kesitler üzerinde otomatik segmentasyon (thresholding) uygulanarak dentin ve kök kanallarına ait bölgeler ayrıştırıldı. Ardından, CTAn yazılımı kullanılarak üç boyutlu yüzey modelleri oluşturuldu (Şekil 3.3).

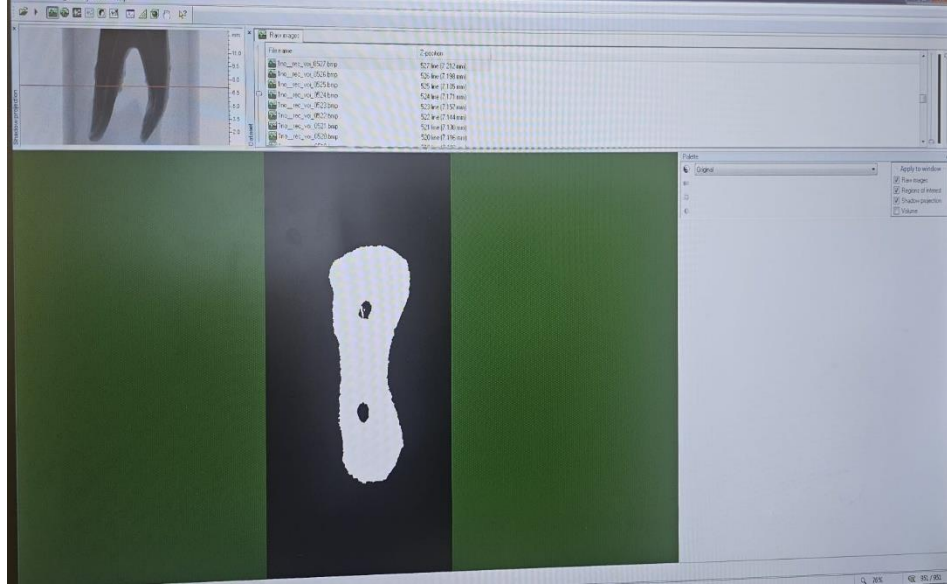
Elde edilen üç boyutlu modeller, CTVol (v.2.3.1.0, Bruker-microCT) yazılımında yarı şeffaf dentin yüzeyleri üzerinde görselleştirildi. Kök kanalları

farklı renklerle boyanarak morfolojik özelliklerin daha net izlenmesi sağlandı (Şekil 3.4). Böylece hem iki boyutlu aksiyel kesitler hem de üç boyutlu rekonstrüksiyonlar birlikte değerlendirilerek, her bir dişteki kanal orifisi sayıları ve ana apikal foramen sayıları tespit edildi.

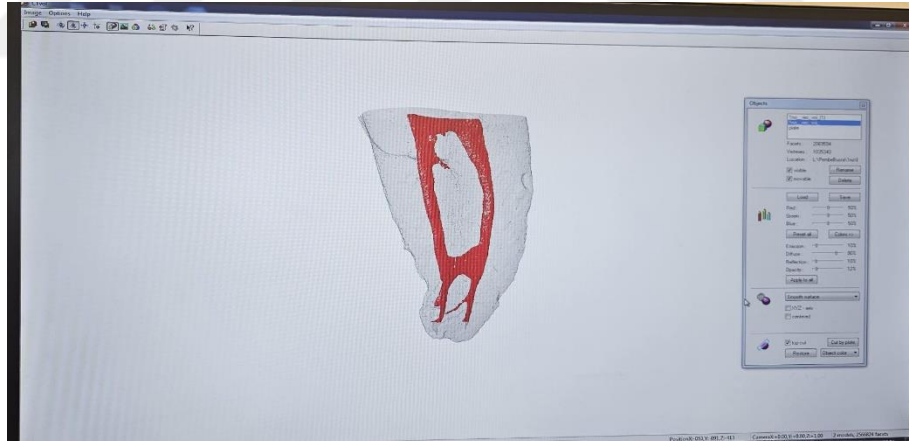
Dişler, orifis sayısına göre tek, çift ve üç orifisli; ana apikal foramen sayısına göre ise tek, çift ve üç foramenli alt gruplara ayrılarak morfolojik olarak sınıflandırıldı. Böylelikle örneklerin hem giriş orifisleri hem de apikal çıkış foramenleri açısından ayrıntılı morfolojik kayıtları elde edildi ve analizler bu gruplar üzerinden gerçekleştirildi. Ayrıca, mezial kökler her iki çalışma grubunda da MMC varlığı açısından incelendi ve bu doğrultuda ayrı bir sınıflandırmaya tabi tutuldu (Versiani vd., 2016).

Her bir diş ayrıca koronal, orta ve apikal üçlü bölgelerde ayrı ayrı değerlendirildi. Bu seviyelerde gözlenen ana kanal sayısı temel alınarak örnekler sistematik biçimde gruplandırıldı. Kök kanal morfolojilerinin tanımlanmasında, endodontik literatürde yaygın olarak kabul gören Vertucci'nin sınıflandırma sistemi esas alındı (Vertucci, 1984). Vertucci'nin (1984) sınıflamasına uymayan konfigürasyonlar ise ayrı bir kategori altında kaydedildi ve analiz edildi.

Sonuç olarak, tüm mezial köklerde saptanan kök kanal konfigürasyonları hem iki boyutlu kesit görüntüleri hem de CTVol yazılımı ile oluşturulan üç boyutlu rekonstrüksiyonlar birlikte incelenerek belirlendi. Bu sayede her dişin kanal morfolojisi, orifis ve foramen sayısı ile MMC varlığı açısından sistematik olarak tanımlandı ve kaydedildi.



Şekil 3.3. CTAn programında üç boyutlu modellerinin elde edilebilmesi amacıyla görüntülerin hazırlanması



Şekil 3.4. CTVol programında numunelerin üç boyutlu modellerinin görüntülenmesi

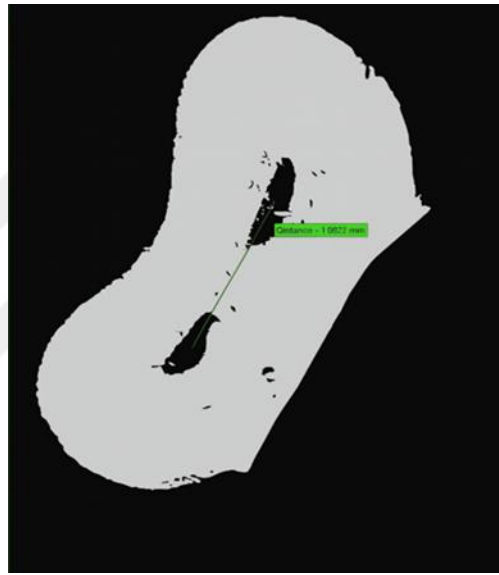
3.3.2 Niceliksel Analizler

Mezihal kök kanallarına ait iki boyutlu ölçümler CTAn yazılımı (Bruker-microCT, Kontich, Belçika) kullanılarak gerçekleştirildi. Tarama sonrası elde

edilen aksiyel kesitler üzerinde dişlerin orifis, mine-sement birleşimi (CEJ) ve anatomik apeks seviyeleri kaydedildi. Bu referans noktaları temel alınarak her diş için kök kanal boyu ile CEJ–apeks arası mesafe hesaplandı. Elde edilen veriler, kök kanal boyunun ve CEJ–apeks mesafesinin, bifid apeks anatomik varyasyonu ile olası ilişkisi açısından analiz edildi.

İki ve üç orifise sahip dişlerde, MB ve ML orifisleri arasındaki uzaklık CTAn yazılımı üzerinden ölçüldü (Şekil 3.5).

Analiz sürecinde, CTAn yazılımında ROI sınırları meziyal kökle sınırlanarak, ilgili bölgelerde kesit bazlı ölçümler yapıldı.



Şekil 3.5. CtVol programında numunelerin üç boyutlu modellerinin görüntülenmesi

Tüm niteliksel ve niceliksel ölçümler, aynı değerlendirici tarafından, bir aylık aralıkla iki kez tekrarlanarak intra-examiner güvenilirliği değerlendirilmiştir.

3.4 İstatistiksel Analiz

İntra-examiner güvenilirlik, kategorik değişkenler (kanal konfigürasyonları, MMC varlığı, orifis, kanal ve foramina sayıları) için Cohen's kappa katsayısı ile değerlendirildi. Verilerin normalliği Shapiro–Wilk testi ile incelendi. Normal dağılım gösteren sürekli değişkenler (ör. kök boyu, interorifis mesafe) için

Student's t-testi uygulanırken, normal dağılım göstermeyen veriler (ör. üç bölümdeki kanal sayıları, orifis sayıları) Mann–Whitney U testi ile analiz edildi. Kategorik değişkenler (ör. MMC varlığı, kanal konfigürasyon tipleri) ki-kare testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edildi. Analizler SPSS Statistics yazılımı (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi.



4. BULGULAR

Bu çalışmada toplam 90 adet meziyal kök (bifid = 45, non-bifid = 45) mikro-BT ile incelenmiş ve elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Tüm parametreler için intra-examiner uyumu mükemmel bulunmuş olup, Cohen's kappa katsayıları 0.81 ile 0.97 arasında değişmiştir. Bu sonuç, yapılan ölçümlerin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini göstermektedir.

4.1 Kök Uzunluğu ve CEJ–Apeks Mesafesi

Bifid ve non-bifid gruplar arasında kök uzunluğu (11.17 ± 1.50 mm – 11.80 ± 1.69 mm) ve CEJ –apeks mesafesi (12.47 ± 1.49 mm – 12.94 ± 1.74 mm) açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p > .05$). Bu bulgu, bifid apeks oluşumunun kök boyutlarıyla doğrudan ilişkili olmadığını düşündürmektedir. (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Bifid ve non-bifid gruplar arasında kök uzunluğu ve cej–apeks mesafesi karşılaştırması

	Bifid	Non-Bifid
Kök uzunluğu	11.17 ± 1.50^a	11.80 ± 1.69^a
CEJ-apeks mesafesi	12.47 ± 1.49^a	12.94 ± 1.74^a

Not: İstatistiksel analizlerde t testi kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p > .05$). Farklı harflerle gösterilen değerler ise istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < .05$).

4.2 Orifis Sayısı

Ortalama orifis sayısı bifid köklerde 1.51 ± 0.55 , non-bifid köklerde ise 1.31 ± 0.51 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamış olmakla birlikte, bifid apeksli köklerde iki orifis görülme sıklığının daha yüksek

olduğu gözlenmiştir. Bu bulgu, klinik açıdan giriş kavitesi planlamasında dikkate alınması gereken bir durumdur (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Bifid ve non-bifid gruplar arasında orifis sayısı karşılaştırmasında orifis sayısı karşılaştırması

		Bifid	Non-bifid	Kappa
Orifis sayısı (Ortalama)		1.51 ± 0.55 ^a	1.31 ± 0.51 ^a	0.97
Orifis sayısı (Frekans)	1	23	32	
	2	21	12	
	3	1	1	

Not: İstatistiksel analizlerde Mann–Whitney U testi ve ki-kare testi kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p > .05$). Farklı harflerle gösterilen değerler ise istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < .05$).

4.3 Midmeziyal Kanal (MMC) Varlığı

MMC, bifid apeksli köklerde anlamlı derecede daha sık saptanmıştır. 45 bifid kökün 16'sında MMC varlığı görülürken, non-bifid köklerde bu oran yalnızca 5/44 olarak kaydedilmiştir ($p < .05$). Bu bulgu, bifid apeks morfolojisinin iç anatomik kompleksiteyi artırdığını ve ek kanal ihtimalinin göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Bifid ve non-bifid gruplar arasında midmeziyal kanal varlığı karşılaştırması

		Bifid	Non-bifid	Kappa
MMC varlığı	Bulunmayan	29	40	0.90
	Bulunan	16	5	

Not: İstatistiksel analizlerde ki-kare testi kullanılmıştır. Gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur, $\chi^2(1, N = 90) = 5.73, p < .05$.

4.4 Ana Kanal Sayısı

Bifid köklerde her seviyede ana kanal sayısı daha yüksek bulunmuştur. Koronal üçlüde ortalama 1.98 ± 0.15 kanal, orta üçlüde 2.07 ± 0.38 kanal, apikal üçlüde ise 2.20 ± 0.50 kanal gözlenmiştir. Non-bifid grupta ise bu değerler sırasıyla 1.62 ± 0.49 , 1.64 ± 0.49 ve 1.20 ± 0.40 olarak kaydedilmiştir. Tüm seviyelerdeki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < .05$). Özellikle apikal üçlüde bifid grupta gözlenen kanal sayısının belirgin şekilde artmış olması, endodontik tedaviler açısından kritik öneme sahiptir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Bifid ve non-bifid gruplar arasında ana kanal sayısı karşılaştırması

	Bifid	Non-bifid	KAPPA
Koronal üçlüde ana kanal sayısı	1.98 ± 0.15^a	1.62 ± 0.49^b	0.85
Orta üçlüde ana kanal sayısı	2.07 ± 0.38^a	1.64 ± 0.49^b	0.94
Apikal üçlüde ana kanal sayısı	2.20 ± 0.50^a	1.20 ± 0.40^b	0.96

Not: İstatistiksel analizlerde Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p > .05$). Farklı harflerle gösterilen değerler ise istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < .05$).

4.5 Apikal Foramen Sayısı

Ana apikal foramen sayısı bifid grupta ortalama 2.24 ± 0.43 , non-bifid grupta ise 1.33 ± 0.52 olarak bulunmuş ve bu fark oldukça anlamlıdır ($p < 0.001$). Bu durum, bifid apeksli köklerde apikal bölgede daha fazla çıkış yolunun bulunduğunu ve apikal sızdırmazlığın sağlanmasının daha zor olabileceğini göstermektedir.

Tablo 4.5. Bifid ve non-bifid gruplar arasında apikal foramen sayısı karşılaştırması

	Bifid	Non-bifid	KAPPA
Foramen sayısı	2.24 ± 0.43^a	1.33 ± 0.52^b	0.81

Not: İstatistiksel analizlerde Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p > .05$). Farklı harflerle gösterilen değerler ise istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < .05$).

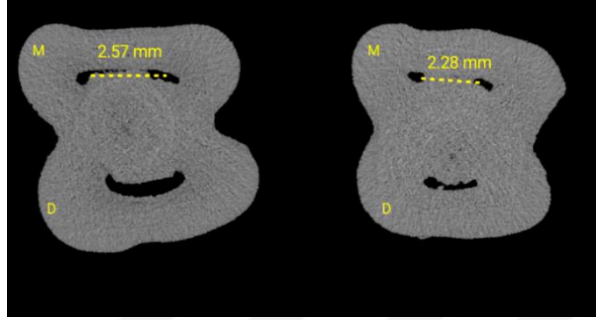
4.6 İnterorifis Mesafesi

İki orifisli köklerde MB–ML interorifis mesafesi bifid grupta 2.57 ± 0.56 mm iken, non-bifid grupta 2.28 ± 0.50 mm olarak ölçülmüş olup bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < .05$). Bu sonuç, bifid apeksli köklerde ortalama olarak daha geniş bir interorifis mesafesi eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu fark, klinisyenlerin giriş kavitesi tasarımında orifis lokalizasyonuna dikkat etmeleri gereken potansiyel bir anatomik farklılığa işaret edebilir.

Tablo 4.6. Bifid ve non-bifid gruplar arasında interorifis mesafesi karşılaştırması

	Bifid	Non-bifid
2 ve 3 orifisli köklerde	N= 20	N = 12
interorifis mesafe	2.57 ± 0.56^a	2.28 ± 0.50^b

Not: İstatistiksel analizlerde t testi kullanılmıştır. Aynı harf ile gösterilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p > .05$). Farklı harflerle gösterilen değerler ise istatistiksel olarak anlamlı farkı ifade etmektedir ($p < .05$).



Şekil 4.1. Sırasıyla bifid ve bifid olmayan dişlerde interforamen mesafe ölçümü

4.7 Kanal Konfigürasyonları

Kanal konfigürasyonlarının dağılımı gruplar arasında önemli farklılıklar göstermiştir.

Bifid apeksli köklerde en sık Vertucci Tip V ($n=14$) ve Tip IV ($n=12$) konfigürasyonları saptanmıştır. Ayrıca çok sayıda kategorize edilemeyen kompleks varyant ($n=14$) gözlenmiş, 23, 232, 1323 gibi alışılmadık konfigürasyonlar da rapor edilmiştir.

Non-bifid apeksli köklerde ise en sık Tip I ($n=14$), Tip III ($n=12$) ve Tip VI ($n=5$) konfigürasyonları görülmüştür. Kompleks varyantlar bu grupta daha az sıklıkta bulunmuştur (6/45).

Bu dağılım, bifid apeks varlığının morfolojik çeşitliliği artırdığını ve Vertucci sınıflaması dışında kalan konfigürasyonların daha sık görülmesine yol açtığını ortaya koymaktadır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Bifid ve non-bifid gruplar arasında kanal konfigürasyonlarının dağılımı

Konfigürasyon	Bifid (n=45)	Non-bifid (n=45)	Toplam
23	4	0	4
232	2	0	2
1232	1	0	1
1323	1	0	1
13	2	0	2
123	1	0	1
Kompleks	14	6	20
Tip 1	0	14	14
Tip 2	0	3	3
Tip 3	0	12	12
Tip 4	12	3	15
Tip 5	14	1	15
Tip 6	1	5	6
Tip 7	3	1	4
Tip 8	1	0	1

Not: Kategorize edilemeyen kompleks konfigürasyonlar, bifid köklerde (14/45) bifid olmayan köklere (6/45) kıyasla daha sık gözlenmiştir; ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($\chi^2 = 3,15$, $p = .076$; Fisher's exact $p = .074$).

4.8 Bifid Apeksli ve Midmeziyal Kanal Bulunan Alt Molar Dişler



Şekil 4.2. 2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.3 2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.4. 1-2-1-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.5. 1-3-2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.6. 1-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.7. 2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.8. 1-2-3-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.9. 1-2-3-2 Kök kanal şekli



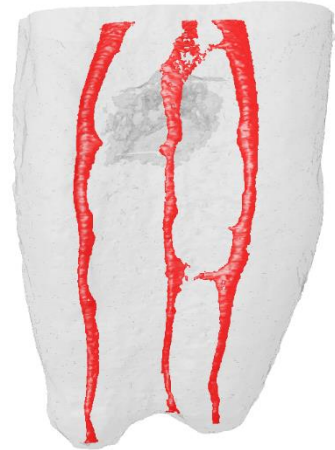
Şekil 4.10. 1-2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.11. 2-3-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.12. 2-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.13. Tip 8 Kök kanal şekli



Şekil 4.10. 2-3-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.11. 2-3-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.12. 2-3 Kök kanal şekli

4.9 Bifid Apeks Bulunmayan ve Midmeziyal Kanal Bulunan Alt Molar Dişler



Şekil 4.13. 1-3-1 Kök kanal şekli



Şekil 4.14. 3-1-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.15. 1-3-1-3 Kök kanal şekli



Şekil 4.16. 1-2-3-1-2 Kök kanal şekli



Şekil 4.17. 2-3-1-2 Kök kanal şekli

5. TARTIŞMA

Endodontik tedavinin temel amacı, kök kanal sistemi içerisinde hastalığa neden olabilecek tüm uyarıcıların uzaklaştırılmasıdır. Bu uyarıcılar arasında nekrotik pulpa artıkları, mikroorganizmalar ve onların metabolik ürünleri yer almakta olup, bu unsurların elimine edilmesi tedavinin başarısı için kritik öneme sahiptir (Nosrat vd., 2015). Ancak özellikle mandibular birinci molarların mezial kökleri gibi karmaşık anatomik bölgelerde bu hedefe ulaşmak her zaman kolay değildir. Literatürde başarısızlıkla sonuçlanan endodontik tedavilerin yaklaşık dörtte birinde (%23,04) gözden kaçan kanalların rol oynadığı rapor edilmiştir (Berman ve Hargreaves, 2020). Tedavi edilmeyen ek kanalların varlığı, histolojik olarak bakteriyel kolonizasyon ve nekrotik dokunun devamlılığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle, klinik başarı için tüm kanalların bulunması ve tedavi edilmesi kritik öneme sahiptir (Nair, 2006; Sert ve Bayirli, 2004).

Mandibular molar dişler, endodontik tedaviye en sık ihtiyaç duyulan diş grubu olarak literatürde öne çıkmaktadır (Hull vd., 2003). Mandibular birinci molar, ağızda süren ilk daimi diş olma özelliğine sahiptir. Anatomisinin karmaşık yapısı ve sınırlı kendini temizleme kapasitesi nedeniyle pulpa patolojilerine yatkınlığı yüksektir ve bu diş sıklıkla kök kanal tedavisine ihtiyaç duymaktadır (Chaleefong vd., 2021). Mandibular molarların mezial köklerinde, MB ve ML kanallara ek olarak ortaya çıkabilen MMC bu açıdan klinik olarak kritik bir varyasyondur. MMC'nin varlığı, kök kanal sisteminin daha karmaşık bir yapıya sahip olmasına ve tedavi sırasında irrigasyon ve şekillendirme aşamalarında teknik zorlukların artmasına neden olabilmektedir (Pomeranz vd., 1981). Özellikle MMC'nin varlığı, kök kanal sisteminde istmus yapıları ve aksesuar bağlantılarla birlikte değerlendirildiğinde, endodontik tedavide temizlik ve obturasyon basamaklarının başarısız olmasına yol açabilecek önemli bir risk faktörüdür. Bu durumun göz ardı edilmesi, persistan enfeksiyonların en önemli nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle klinisyenlerin, özellikle bifid apeks gibi morfolojik varyasyonlara sahip dişlerde MMC varlığını rutin olarak araştırmaları önerilmektedir. Bu bağlamda, endodontik başarısızlıkların önlenmesi yalnızca kök kanallarının mekanik olarak hazırlanmasına değil, aynı zamanda varyasyonların önceden öngörülmesine de bağlıdır.

Güncel literatür, giriş kavitesi planlamasında bu varyasyonların dikkate alınmamasının kanalın gözden kaçma riskini artırdığını göstermektedir. Mandibular molarlarda MMC'nin varlığı farklı araştırmalarda değişen oranlarda rapor edilmiştir. Bu farklılığın nedenlerinden biri, kanalların tespiti için kullanılan yöntemlerin çeşitliliğidir. Literatürde kullanılan yöntemler arasında; plastik modelleme çalışmaları, şeffaflaştırma işlemleri, taramalı elektron mikroskobu analizleri, mikro-BT görüntülemeleri ve büyütme altında yapılan mekanik sondalamalar bulunmaktadır (Forner Navarro vd., 2007; K. Gulabivala vd., 2001; Harris vd., 2013; Karapinar-Kazandag vd., 2010; Arthur E Skidmore ve Arne M Bjorndal, 1971). Kullanılan yönteme bağlı olarak bildirilen prevalans oranları %0 ile %36 arasında değişmektedir (Harris vd., 2013; Arthur E Skidmore ve Arne M Bjorndal, 1971). Mikro-BT ve KIBT yöntemleriyle gerçekleştirilen araştırmalar, mandibular molarlarda MMC görülme oranının oldukça değişken olduğunu ve yaklaşık %0,3 ile %19 arasında rapor edildiğini ortaya koymuştur (Kim vd., 2013; Versiani vd., 2016).

Brezilya popülasyonunda yapılan bir mikro-BT çalışmasında MMC oranını %20,1 olarak rapor edilmiş, bu çalışmada da yüksek çözünürlük sayesinde daha önce KIBT veya clearing yöntemleri ile gözden kaçabilecek ince kanallar tespit edilmiştir (Versiani vd., 2016). İran'da KIBT kullanarak yapılan bir çalışmada mandibular birinci molarlarda MMC prevalansını %8,7 olarak bildirilmiştir (Hajizadeh vd., 2024). KIBT ile yapılan bazı araştırmalarda, mezial kökte üçüncü bir kanalın bulunması nadir bir bulgu olarak kaydedilmiş olup, prevalans birinci molarlarda %5.5, ikinci molarlarda ise %2.2 olarak rapor edilmiştir (Martins vd., 2017).

Çalışmamızda iki boyutlu radyografik yöntemler veya daha düşük çözünürlüklü üç boyutlu görüntüleme yöntemleri yerine mikro-BT'nin tercih edilmesinin temel nedeni, araştırma amacımızın kök kanal sisteminin tüm morfolojik detaylarını eksiksiz şekilde ortaya koymak olmasıdır. İki boyutlu radyografiler, anatomik yapıların süperpozisyonu ve projeksiyon distorsiyonu nedeniyle özellikle bifid apeks gibi morfolojik varyasyonların ve MMC gibi ince kanalların tespitinde sınırlı kalmaktadır. Ayrıca iki boyutlu görüntülerde kanalların konumlarının üst üste binmesi, fin ve isthmus gibi bağlantı yapılarını görünmez hâle getirebilmektedir (Peters vd., 2000). Mikro-BT'nin en büyük avantajlarından biri, non destrüktif yapısıyla örneğin bütünlüğünü koruyarak üç boyutlu veri elde

etmesidir. Ayrıca yüksek kontrast çözünürlüğü sayesinde dentin, pulpa boşluğu ve hatta dolgu materyalleri gibi farklı yoğunluktaki yapılar net bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Elde edilen hacimsel veriler, yazılım aracılığıyla kesitsel, aksiyel, sagittal ve koronal düzlemlerde incelenebilir, ayrıca hacim ölçümleri, yüzey alanı analizleri ve kanal eğrilik hesaplamaları gibi detaylı morfolometrik analizler yapılabilmektedir (Peters vd., 2000). Ayrıca, mikro-BT'nin klinik ve araştırma alanındaki değerini vurgulayan çalışmalar, bu yöntemin KIBT'e kıyasla özellikle küçük çaplı kanalları, istmusları ve aksesuar bağlantıları daha güvenilir şekilde ortaya koyduğunu göstermiştir. Mikro-BT kullanarak mandibular birinci molarların mezial köklerinde çok sayıda ek kanal ve bağlantı ayrıntılı olarak ortaya konmuş ve bu yöntemin kök kanal morfolojisinin karmaşıklığını yüksek doğrulukla yansıttığı bildirilmiştir (Harris vd., 2013). Bununla birlikte, mikro-BT'nin ex vivo sınırlılıkları nedeniyle klinik pratikte KIBT vazgeçilmez bir yöntem olarak kullanılmaya devam etmektedir. Ancak düşük çözünürlük sebebiyle özellikle ince kanallarda tanısal yetersizlikler görülebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, mikro-BT araştırma düzeyinde “altın standart” olarak kabul edilirken, KIBT klinik düzeyde en uygulanabilir yöntemdir. Gelecekte, her iki yöntemin avantajlarını bir araya getiren hibrit görüntüleme teknolojilerinin geliştirilmesi beklenmektedir.

Bifid apeksin teşhisi çoğu zaman güçtür, çünkü rutin iki boyutlu periapikal radyografiler anatomik süperpozisyon ve projeksiyon distorsiyonu nedeniyle bu varyasyonu güvenilir biçimde yansıtamaz. Klinik olarak, tedavi sırasında beklenenden farklı sayıda apikal foramen saptanması, apikal bölgede kanal yöneliminde ani değişikliklerin görülmesi veya çalışma boyu belirlemede tekrarlayan farklı uzunlukların elde edilmesi bifid apeksi düşündürebilecek önemli bulgular arasında yer alır. Ayrıca, radyografik olarak apeks bölgesinde lamina duranın çift kontur şeklinde izlenmesi ya da kanal dolumu sırasında dolgu materyalinin apeksin ayrı dallarından periapikal dokulara taşması, retroaktif olarak bifid apeksi işaret edebilir. Bu nedenle, bifid apeks şüphesi olan olgularda KIBT kullanımı önemli avantaj sağlar.

Çalışmamızda MMC varlığı açısından bifid köklerin 16'sında (%35,5) MMC bulunurken, non-bifid köklerde bu oran yalnızca 5 (%11,4) olarak saptanmış ve fark anlamlıdır ($p < .05$) (Tablo 4.3). Bir mikro-BT çalışmasında, bifid apeksli mandibular birinci molar mezial köklerde MMC oranı %33,3 bulunmuş, bifid olmayan köklerde bu oran anlamlı şekilde daha düşük saptanmıştır (Keleş vd.,

2020). Çalışmamızda da benzer şekilde bifid apeksli köklerde MMC sıklığının yüksek bulunması, kök gelişiminde ortak bir gelişimsel mekanizmanın rol oynayabileceğini düşündürmektedir. HEK'in apikal bölgede simetrik olmayan büyümesi veya epitel diyaframın tam kapanmaması hem bifid apeks oluşumuna hem de kanal sistemi içinde ek bağlantıların (MMC dahil) oluşmasına neden olabilmektedir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre bifid ve non-bifid gruplar arasında kök uzunluğu (11.17 ± 1.50 mm ve 11.80 ± 1.69 mm) ile CEJ-apeks mesafesi (12.47 ± 1.49 mm ve 12.94 ± 1.74 mm) açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > .05$) (Tablo 4.1). Bu sonuç, bifid apeks oluşumunun kök boyutlarıyla doğrudan ilişkili olmadığını göstermektedir. Literatürde de benzer şekilde, kök uzunluklarının morfolojik varyasyonlarla birebir bağlantılı olmadığı, ancak apeks bölgesinde kanal dallanmaları ve foraminal çoğalmanın daha belirleyici olduğu bildirilmektedir (Ordinola-Zapata vd., 2019).

Orifis sayısı açısından bifid köklerde ortalama değer 1.51 ± 0.55 , non-bifid köklerde ise 1.31 ± 0.51 olarak bulunmuş, fark anlamlı olmamakla birlikte bifid apeksli köklerde çoklu orifislerin daha sık görüldüğü gözlenmiştir. Bifid köklerin 21'inde iki orifis, 1'inde üç orifis bulunurken; non-bifid köklerde yalnızca 12 kökte iki orifis ve 1 kökte üç orifis belirlenmiştir (Tablo 4.2). Bu sonuç, bifid apeks varlığının orifis çeşitliliğini artırabileceğini düşündürmektedir. Mikro-BT çalışmalarında da bifid apeksli köklerin orifis tespiti ve lokalizasyonunda klinik zorluklara yol açabileceği bildirilmiştir (Keleş vd., 2020). Klinik uygulamada bu durum, özellikle giriş kavitesi hazırlığı sırasında dikkatli genişletme yapılmasını gerekli kılmaktadır. Çünkü orifis çeşitliliği, giriş kavitesinin yönlendirilmesinde hata yapılmasına ve kanalların gözden kaçmasına yol açabilir. Ayrıca, ultrasonik troughing ve operasyon mikroskobu kullanımı bu çeşitliliğin daha doğru şekilde yönetilmesine katkı sağlayabilir.

Literatürde mezial interorifis mesafesi ile MMC varlığı arasındaki ilişki farklı sonuçlarla rapor edilmiştir. Bir çalışmada, MMC varlığı olan grupta mezial interorifis mesafesi 3.66 ± 0.24 mm, MMC bulunmayan grupta ise 3.07 ± 0.38 mm olarak hesaplanmış; ancak bu farklılık istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır (Arun ve Pradeep). Öte yandan, MMC bulunan olgularda mezial interorifis mesafesi ortalama 3.84 mm, MMC bulunmayan olgularda ise 3.62 mm olarak ölçülmüş ve MMC'nin mevcut olduğu durumlarda mesafenin anlamlı şekilde daha

geniş olduğu ortaya konmuştur (Wang vd., 2025). Bizim çalışmamızda ise değerlendirme doğrudan MMC varlığına göre değil, iki ve üç orifisli bifid ve non-bifid kökler arasında yapılmıştır. Bulgularımızda interorifis mesafe bifid grupta (2.57 ± 0.56 mm), non-bifid grupta (2.28 ± 0.50 mm) olarak ölçülmüş, aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < .05$) (Tablo 4.6). Dolayısıyla literatürdeki çalışmalar genellikle interorifis mesafesini MMC varlığı ile ilişkilendirirken, bu çalışmada bifid morfolojinin interorifis mesafesi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu farklı yaklaşım doğrudan karşılaştırmayı sınırlasa da hem MMC varlığı hem de bifid morfoloji ile ilişkili olarak daha geniş interorifis mesafelerinin rapor edilmesi, bu ölçütün kök kanal kompleksitesini öngörmede potansiyel bir gösterge olabileceğini düşündürmektedir. Daha geniş örneklemli ve farklı tasarımlara sahip ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmamızda kökün farklı seviyelerindeki kanal sayıları incelendiğinde, bifid apeksli köklerde koronal (1.98 ± 0.15), orta (2.07 ± 0.38) ve apikal (2.20 ± 0.50) üçlülerde kanal sayısının non-bifid köklere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p < .05$) (Tablo 4.4). Bu bulgu, bifid apeksin yalnızca apikal bölgede değil, kökün tüm seviyelerinde daha karmaşık bir morfolojiye yol açtığını ortaya koymaktadır. Literatürde de benzer şekilde, mandibular molarların mezial köklerinde kanal sisteminin kök boyunca farklılaşabileceği, özellikle orta ve apikal üçlüde kanal birleşmeleri ve ayrılmalarının sık görüldüğü bildirilmiştir (Vertucci, 1984). Bir mikro-BT çalışmasında da koronal seviyede nispeten daha basit görünen kanal sisteminin apikal bölgeye doğru ilerledikçe çoğaldığı ve morfolojik kompleksitenin arttığı belirtilmiştir (Keleş ve Keskin, 2017). Çalışmamızın sonuçları da bu verilerle uyumludur ve bifid apeksin kanal sistemindeki varyasyonları kökün tüm uzunluğu boyunca artırarak endodontik tedaviyi daha karmaşık hale getirdiğini göstermektedir.

Çalışmamız, mandibular molarların mezial kök morfolojisinde bifid apeks varlığının Vertucci konfigürasyon dağılımını anlamlı ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bifid apeksli köklerde en sık Tip V ve Tip IV varyasyonları saptanırken, non-bifid köklerde Tip I ve Tip III tiplerinin baskın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, bifid apeksli köklerin daha kompleks ve heterojen bir morfolojiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Vertucci'nin clearing yöntemiyle yaptığı klasik çalışmada mandibular molar mezial köklerinde en sık Tip II (%37,5)

ve Tip IV (%35) konfigürasyonlarının gözlemlendiği rapor edilmiştir (Vertucci, 1984). Ancak bu sınıflama sekiz tip ile sınırlıdır ve günümüzde mikro-BT çalışmaları Vertucci'nin tanımladığı tiplerin ötesinde çok daha fazla varyasyon olduğunu göstermektedir (Versiani vd., 2016). Çalışmamızda da Vertucci'nin sınıflamasında yer almayan 23, 232 ve 1323 gibi kompleks konfigürasyonlar tespit edilmiştir (Tablo 4.7). Bu bulgu, Vertucci'nin sisteminin temel bir referans olmasına rağmen, kök kanal morfolojisinin gerçek çeşitliliğini yansıtmada sınırlı kalabileceğini desteklemektedir. Tayland popülasyonunda yapılan clearing temelli çalışmada Vertucci'nin tiplerinin ötesinde çok sayıda yeni konfigürasyon rapor edilmiş ve bu durumun özellikle Asya popülasyonlarında daha sık gözlemlendiği belirtilmiştir (K Gulabivala vd., 2001). Türk popülasyonunda Vertucci sistemine sığmayan yeni tipler tanımlanmış, bu nedenle popülasyonlar arası farklılıkların dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır (Sert ve Bayirli, 2004). Mikro-BT ile yapılan son dönem çalışmalar, bu varyasyonların hem daha sık hem de daha kompleks olduğunu doğrulamaktadır (Keleş vd., 2020). Çalışmamızda bifid apeksli köklerde Tip V'in baskın olması, apikal bölgede kanal ayrılmalarının artmasıyla uyumludur. Tip I ve Tip III'ün non-bifid köklerde daha sık görülmesi ise bu köklerin daha basit ve lineer morfolojiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu farklılık, klinisyen açısından özellikle çalışma boyu belirleme ve obtürasyon aşamalarında önemlidir. Tip V konfigürasyonlarında apikal dallanma nedeniyle apikal sızıntı riski artmakta, bu da tedavinin prognozunu olumsuz etkileyebilmektedir. Ahmed ve Dummer'in önerdiği yeni kodlama sistemi, bu tür kompleks varyasyonları daha detaylı ve evrensel bir biçimde tanımlamaya imkân sağladığından, Vertucci sınıflamasının sınırlılıklarını aşmak için alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Özellikle bifid apeksli köklerde görülen 23 veya 1323 gibi nadir konfigürasyonların evrensel kodlama ile kayıt altına alınması, farklı popülasyonlarda yapılacak karşılaştırmalı çalışmalar için daha güvenilir veri sağlayacaktır. Bu sayede klinik rehberler, yalnızca klasik sekiz tip üzerine değil, güncel morfolojik çeşitliliğe de dayandırılabilir. Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları bifid apeks varlığının Vertucci konfigürasyon dağılımını değiştirdiğini, morfolojiyi daha karmaşık hale getirdiğini ve klasik sınıflamanın ötesinde yeni varyasyonların tanımlanmasını gerekli kıldığını göstermektedir. Bu nedenle klinisyenlerin yalnızca Vertucci sistemine güvenmek yerine, modern görüntüleme yöntemleri ve güncel kodlama sistemlerini de dikkate almaları tedavi başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Mevcut bulgular yorumlanırken bazı sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Ex vivo mikro-BT tasarımı, hasta yaşı, cinsiyeti ve sistemik faktörler gibi kök kanal morfolojisini etkileyebilecek klinik değişkenlerin değerlendirilmesini engellemiştir. Çalışmadaki dişler, araştırmayla ilgisiz nedenlerle çekilmiş olup demografik veya coğrafi farklılıklar dikkate alınmamıştır; bu durum sonuçların daha geniş popülasyonlara uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Literatürde özellikle yaş, cinsiyet ve etnik kökenin de MMC prevalansı üzerinde rol oynadığı vurgulanmaktadır. Yaşın etkisi değerlendirildiğinde, genç bireylerde sekonder dentin oluşumunun daha az olması nedeniyle ek kanalların daha kolay saptanabildiği, buna karşılık yaş ilerledikçe kanal lümeninin daraldığı ve kanal obliterasyonu sonucu MMC'nin klinik olarak bulunabilirliğinin azaldığı belirtilmiştir (Azim vd., 2015). Buna karşın, Tahmasbi ve ark. en yüksek prevalansı 41–60 yaş grubunda, Srivastava ve ark. ise 31–50 yaş grubunda bildirmiştir. Bulgular arasındaki farklılık, MB ve ML kanallar arasındaki istmusa dentin oluşumu ile ilişkili olabilmektedir; önceden birleşik olan kanal dentin ile ayrılıp yeni bir kanal haline gelebilmektedir (Srivastava vd., 2018; Tahmasbi vd., 2017).

Literatürde cinsiyetin MMC görülme sıklığı üzerindeki etkisine dair çelişkili bulgular mevcuttur. Bir sistematik derleme ve meta-analize göre, MMC prevalansı genel popülasyonda %5.09 iken, kadınlarda bu oran erkeklerden %4.16 daha yüksek ve aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır (Bukhary vd., 2023). Bu sonuç, kadınlarda MMC'nin daha sık görülebileceğini düşündürmektedir. Türk popülasyonunda yapılan KIBT temelli araştırmada, erkek ve kadın bireyler arasında MMC görülme sıklığında anlamlı bir farklılık olmadığı rapor edilmiştir (Sert ve Bayirli, 2004). Benzer şekilde, MMC varlığı ile cinsiyet arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı rapor edilmiştir (Wang vd., 2025). Bu veriler, cinsiyetin tek başına MMC prevalansı üzerinde güçlü bir belirleyici faktör olmadığını göstermekte olup, genel eğilim kadın-erkek arasında belirgin bir fark olmadığını işaret etmektedir.

Irksal ve genetik faktörler, MMC morfolojisinin en güçlü belirleyicileri arasında yer almaktadır. Taylandlı bireylerde MMC prevalansı %13 olarak rapor edilmiş, farklı etnik gruplar arasında belirgin değişiklikler olduğu ortaya konmuştur (K Gulabivala vd., 2001). Bu nedenlerle klinisyenlerin tedavi planlamasında yaş ve ırk gibi faktörleri dikkate alması, MMC'nin gözden kaçmasını ve buna bağlı endodontik başarısızlıkları en aza indirebilmektedir. Mevcut çalışmamızda ise yaş,

cinsiyet ve ırk bilgileri mevcut olmadığından, bu faktörlerin MMC varlığı üzerindeki olası etkileri değerlendirilememiştir; bu durum önemli bir sınırlılık olarak görülmelidir.

Bu çalışmada gözlemci güvenilirliğini artırmak amacıyla tüm mikro-BT verileri aynı araştırmacı tarafından iki ayrı zamanda, bir ay arayla olmak üzere tekrar değerlendirildi. Bu yaklaşım, değerlendiricinin önceki gözlemlerini hatırlamasını önleyerek tarafsızlığı artırmakta ve olası ölçüm hatalarını en aza indirmektedir. Önceki mikro-BT çalışmalarında da benzer metodolojik yaklaşımlarla yüksek düzeyde tekrarlanabilirlik elde edildiği gösterilmiştir (Versiani vd., 2016). Gelecekte yapılacak araştırmalarda, bu tür gözlemci bağımlılığını azaltmak için yapay zekâ tabanlı otomatik kanal segmentasyon yöntemlerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, bifid apeks ve MMC gibi varyasyonların yalnızca akademik açıdan değil, klinik tedavi başarısı için de kritik olduğu açıktır. Bu nedenle modern görüntüleme yöntemlerinin kullanımı ve güncel morfolojik sınıflamaların dikkate alınması, endodontik tedavinin başarısını artırmak için vazgeçilmezdir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bifid apeksli ve non-bifid apeksli mandibular molarların mezial kök morfolojisi mikro-BT yöntemi kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmanın güvenilirliğini artırmak için tüm görüntüler aynı araştırmacı tarafından bir ay arayla iki kez değerlendirilmiş ve Cohen's kappa değerlerinin 0.81 ile 0.97 arasında bulunması yüksek derecede uyum sağlandığını göstermiştir. Bulgulara göre kök uzunluğu ve CEJ –apeks mesafesi bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamış, ancak bifid apeksli köklerde orifis sayısının daha yüksek olduğu, MMC varlığının daha sık gözlemlendiği ve kökün koronal, orta ve apikal üçlülerinde ana kanal sayısının belirgin şekilde fazla olduğu ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra bifid apeksli köklerde ana apikal foramen sayısı anlamlı düzeyde artmış, iki orifisli köklerde MB–ML interorifis mesafesi daha geniş ölçülmüştür. Kanal konfigürasyonlarının dağılımı da gruplar arasında belirgin farklılık göstermiş; bifid apeksli köklerde Vertucci Tip V ve Tip IV konfigürasyonları daha sık görülürken, non-bifid grupta Tip I, Tip III ve Tip VI konfigürasyonları daha yaygın bulunmuştur. Ayrıca bifid apeksli köklerde kategorize edilemeyen kompleks varyasyonların daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bu bulgular bifid apeks varlığının mezial kök kanal sisteminde morfolojik karmaşıklığı artırdığını ve endodontik tedaviler açısından ek zorluklar barındırdığını göstermektedir. Klinik açıdan değerlendirildiğinde, bifid apeksli köklerde kanal anatomisinin daha kompleks olabileceği göz önünde bulundurulmalı ve kanal sisteminin ayrıntılı şekilde araştırılması sağlanmalıdır. Orifislerin lokalizasyonunda büyütme sistemleri ve ultrasonik enstrümanların kullanılması ek kanalların özellikle MMC'nin tespit edilme olasılığını artırabilir. Tedavi planlamasında bifid apeks varlığı mutlaka dikkate alınmalı, giriş kavitesi tasarımı bu varyasyonların yaratabileceği farklılıklar hesaba katılmalıdır. Morfolojik açıdan şüpheli olgularda konvansiyonel radyografilere ek olarak KIBT gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinden yararlanılması uygun olacaktır. Gelecek araştırmalarda bifid apeks morfolojisinin yaş, cinsiyet ve etnik farklılıklarla ilişkisini inceleyen daha geniş örneklemli çalışmalar yapılmalı, mikro-BT verilerinin klinikte uygulanabilir yöntemlerle karşılaştırılması sağlanmalı ve farklı endodontik tedavi protokollerinin bifid apeksli köklerdeki etkinliği klinik olarak değerlendirilmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Ahmed, H. M. A., Ibrahim, N., Mohamad, N. S., Nambiar, P., Muhammad, R. F., Yusoff, M., ve Dummer, P. M. H. (2021). Application of a new system for classifying root and canal anatomy in studies involving micro-computed tomography and cone beam computed tomography: Explanation and elaboration. *Int Endod J*, 54(7), 1056-1082. <https://doi.org/10.1111/iej.13486>
- Ahmed, H. M. A., Keleş, A., Wolf, T. G., Rossi-Fedele, G., ve Dummer, P. M. H. (2024). A proposal to develop a new classification for pulp chamber anatomy. *Eur Endod J*, 9(1), 1-7. <https://doi.org/10.14744/ej.2023.82713>
- Ahmed, H. M. A., Versiani, M. A., De-Deus, G., ve Dummer, P. M. H. (2017). A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J*, 50(8), 761-770. <https://doi.org/10.1111/iej.12685>
- Al-Rammahi, H. M., Chai, W. L., Nabhan, M. S., ve Ahmed, H. M. A. (2023). Root and canal anatomy of mandibular first molars using micro-computed tomography: A systematic review. *BMC Oral Health*, 23(1), 339. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03036-5>
- Al Rammahi, H. M., Chai, W. L., ve Ahmed, H. M. A. (2025). Morphology of accessory canals in mandibular first molar of a malaysian subpopulation using a novel coding system: A micro-computed tomographic study. *Eur Endod J*, 10(3), 188-197. <https://doi.org/10.14744/ej.2025.00922>
- Alak, S. G., Keleş, A., Keskin, C., Martins, J. N. R., ve Versiani, M. A. (2023). Age-related changes in the morphology of the root canal system of mandibular first molars: A micro-ct study. *Clin Oral Investig*, 27(8), 4667-4675. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05093-0>
- Alves, F. R., Andrade-Junior, C. V., Marceliano-Alves, M. F., Pérez, A. R., Rôças, I. N., Versiani, M. A., Sousa-Neto, M. D., Provenzano, J. C., ve Siqueira, J. F., Jr. (2016). Adjunctive steps for disinfection of the mandibular molar root canal system: A correlative bacteriologic, micro-computed tomography, and cryopulverization approach. *J Endod*, 42(11), 1667-1672. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.003>
- Arun, N., ve Pradeep, S. Radiographic analysis of interorifice distance and canal configuration in meziyal roots of mandibular first molars. *International Journal of Health Sciences(II)*, 4327-4335.
- Azim, A. A., Deutsch, A. S., ve Solomon, C. S. (2015). Prevalence of middle meziyal canals in mandibular molars after guided troughing under high magnification: An in vivo investigation. *Journal of Endodontics*, 41(2), 164-168.
- Barker, B. C., Parsons, K. C., Mills, P. R., ve Williams, G. L. (1974). Anatomy of root canals. Iii. Permanent mandibular molars. *Aust Dent J*, 19(6), 408-413. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1974.tb02372.x>
- Barker, B. C. W., Parsons, K. C., Mills, P. R., ve Williams, G. L. (1974). Anatomy of root canals. Iii. Permanent mandibular molars. *Aust Dent J*, 19(6), 408-413. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1974.tb02372.x>
- Baugh, D., ve Wallace, J. (2004). Middle meziyal canal of the mandibular first molar: A case report and literature review. *Journal of Endodontics*, 30(3), 185-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/00004770-200403000-00015>
- Berman, L. H., ve Hargreaves, K. M. (2020). *Cohen's pathways of the pulp-e-book: Cohen's pathways of the pulp-e-book*. Elsevier Health Sciences.
- Bosshardt, D. D. (2008). Biological mediators and periodontal regeneration: A review of enamel matrix proteins at the cellular and molecular levels. *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 87-105. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01264.x>
- Bramante, C. M., Berbert, A., ve Borges, R. P. (1987). A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod*, 13(5), 243-245. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(87\)80099-7](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(87)80099-7)
- Bukhary, S., Alkahtany, S. M., Bukhari, A., Aldosari, A., ve Alanazi, R. (2023). Prevalence of middle meziyal canal using cone beam computed tomography: A systematic review and meta-analysis. *The Saudi Dental Journal*, 35(8), 904-915.
- Chaleefong, M., Prapayasatok, S., Nalampang, S., ve Louwakul, P. (2021). Comparing the pulp/tooth area ratio and dentin thickness of mandibular first molars in different age groups:

- A cone-beam computed tomography study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 24(2), 158-162.
- Cleghorn, B. M., Christie, W. H., ve Dong, C. C. (2006). Root and root canal morphology of the human permanent maxillary first molar: A literature review. *J Endod*, 32(9), 813-821. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.04.014>
- Costa, F., Pacheco-Yanes, J., Siqueira, J. F., Jr., Oliveira, A. C. S., Gazzaneo, I., Amorim, C. A., Santos, P. H. B., ve Alves, F. R. F. (2019). Association between missed canals and apical periodontitis. *Int Endod J*, 52(4), 400-406. <https://doi.org/10.1111/iej.13022>
- Cotti, E., ve Campisi, G. (2004). Advanced radiographic techniques for the detection of lesions in bone. *Endodontic Topics*, 7(1), 52-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2004.00064.x>
- Cotti, E., Vargiu, P., Dettori, C., ve Mallarini, G. (1999). Computerized tomography in the management and follow-up of extensive periapical lesion. *Endod Dent Traumatol*, 15(4), 186-189. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1999.tb00799.x>
- Dowker, S. E., Davis, G. R., ve Elliott, J. C. (1997). X-ray microtomography: Nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 83(4), 510-516. [https://doi.org/10.1016/s1079-2104\(97\)90155-4](https://doi.org/10.1016/s1079-2104(97)90155-4)
- Dwivedi, N., Gupta, B., Tiwari, B., Raj, V., Kashyap, B., ve Chandra, S. (2014). Transparent tooth model: A study of root canal morphology using different reagents. *European Journal of General Dentistry*, 3, 66. <https://doi.org/10.4103/2278-9626.126215>
- Endal, U., Shen, Y., Knut, A., Gao, Y., ve Haapasalo, M. (2011). A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. *J Endod*, 37(2), 223-227. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.10.012>
- Erpaçal, B., Adigüzel, Ö., ve Cangül, S. (2019). The use of micro-computed tomography in dental applications. *International Dental Research*, 9, 78-91. <https://doi.org/10.5577/intdentres.2019.vol9.no2.7>
- Fabra-Campos, H. (1989). Three canals in the mezial root of mandibular first permanent molars: A clinical study. *Int Endod J*, 22(1), 39-43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1989.tb00503.x>
- Flannery, B. P., Deckman, H. W., Roberge, W. G., ve D'Amico, K. L. (1987). Three-dimensional x-ray microtomography. *Science*, 237(4821), 1439-1444. <https://doi.org/10.1126/science.237.4821.1439>
- Forner Navarro, L., Luzi, A., Almenar García, A., ve Hervás García, A. (2007). Third canal in the mezial root of permanent mandibular first molars: Review of the literature and presentation of 3 clinical reports and 2 in vitro studies. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal (Internet)*, 12(8), 605-609.
- Gani, O. A., Boiero, C. F., Correa, C., Masin, I., Machado, R., Silva, E. J., ve Vansan, L. P. (2014). Morphological changes related to age in mezial root canals of permanent mandibular first molars. *Acta Odontol Latinoam*, 27(3), 105-109. <https://doi.org/10.1590/s1852-48342014000300001>
- Goldman, M., Sakurai-Fuse, E., Turco, J., ve White, R. R. (1989). A silicone model method to compare three methods of preparing the root canal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 68(4, Part 1), 457-461. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0030-4220\(89\)90146-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0030-4220(89)90146-1)
- Green, D. (1973). Double canals in single roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 35(5), 689-696. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(73\)90037-6](https://doi.org/10.1016/0030-4220(73)90037-6)
- Gu, L., Wei, X., Ling, J., ve Huang, X. (2009). A microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mezial root of mandibular first molars in a chinese population. *J Endod*, 35(3), 353-356. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.11.029>
- Gulabivala, K., Aung, T., Alavi, A., ve Ng, Y. L. (2001). Root and canal morphology of burmese mandibular molars. *International endodontic journal*, 34(5), 359-370.
- Gulabivala, K., Aung, T. H., Alavi, A., ve Ng, Y. L. (2001). Root and canal morphology of burmese mandibular molars. *Int Endod J*, 34(5), 359-370. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00399.x>
- Gutierrez, J. H., ve Aguayo, P. (1995). Apical foraminal openings in human teeth. Number and location. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 79(6), 769-777. [https://doi.org/10.1016/s1079-2104\(05\)80315-4](https://doi.org/10.1016/s1079-2104(05)80315-4)
- Hajizadeh, S., Amiri, M. K., Mihandoust, S., Sabet, Z. S., ve Khomeiran, R. T. (2024). Prevalence of middle mezial canal in mandibular first permanent molars in a persian population: An

- in vivo cone-beam computed tomography study. *Clinical and Experimental Dental Research*, 10(4), e935.
- Harjunmaa, E., Kallonen, A., Voutilainen, M., Hämäläinen, K., Mikkola, M. L., ve Jernvall, J. (2012). On the difficulty of increasing dental complexity. *Nature*, 483(7389), 324-327. <https://doi.org/10.1038/nature10876>
- Harjunmaa, E., Seidel, K., Häkkinen, T., Renvoisé, E., Corfe, I. J., Kallonen, A., Zhang, Z. Q., Evans, A. R., Mikkola, M. L., Salazar-Ciudad, I., Klein, O. D., ve Jernvall, J. (2014). Replaying evolutionary transitions from the dental fossil record. *Nature*, 512(7512), 44-48. <https://doi.org/10.1038/nature13613>
- Harris, S. P., Bowles, W. R., Fok, A., ve McClanahan, S. B. (2013). An anatomic investigation of the mandibular first molar using micro-computed tomography. *Journal of Endodontics*, 39(11), 1374-1378.
- Hegde, S., Ajila, V., Kamath, J. S., Babu, S., Pillai, D. S., ve Nair, S. M. (2018). Importance of cone-beam computed tomography in dentistry: An update. *SRM Journal of Research in Dental Sciences*, 9(4), 186-190. https://doi.org/10.4103/srmjfds.srmjfds_26_18
- Hounsfield, G. N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol*, 46(552), 1016-1022. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-46-552-1016>
- Hovorakova, M., Lesot, H., Peterka, M., ve Peterkova, R. (2018). Early development of the human dentition revisited. *J Anat*, 233(2), 135-145. <https://doi.org/10.1111/joa.12825>
- Hsu, Y. Y., ve Kim, S. (1997). The resected root surface. The issue of canal isthmuses. *Dent Clin North Am*, 41(3), 529-540.
- Hull, T. E., Robertson, P. B., Steiner, J. C., ve del Aguila, M. A. (2003). Patterns of endodontic care for a washington state population. *Journal of Endodontics*, 29(9), 553-556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/00004770-200309000-00002>
- Jernvall, J., ve Thesleff, I. (2000). Reiterative signaling and patterning during mammalian tooth morphogenesis. *Mech Dev*, 92(1), 19-29. [https://doi.org/10.1016/s0925-4773\(99\)00322-6](https://doi.org/10.1016/s0925-4773(99)00322-6)
- Jheon, A. H., Seidel, K., Biehs, B., ve Klein, O. D. (2013). From molecules to mastication: The development and evolution of teeth. *Wiley Interdiscip Rev Dev Biol*, 2(2), 165-182. <https://doi.org/10.1002/wdev.63>
- Jung, M., Lommel, D., ve Klimek, J. (2005). The imaging of root canal obturation using micro-ct. *Int Endod J*, 38(9), 617-626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00990.x>
- Jussila, M., ve Thesleff, I. (2012). Signaling networks regulating tooth organogenesis and regeneration, and the specification of dental mesenchymal and epithelial cell lineages. *Cold Spring Harb Perspect Biol*, 4(4), a008425. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a008425>
- Karapinar-Kazandag, M., Basrani, B. R., ve Friedman, S. (2010). The operating microscope enhances detection and negotiation of accessory mezial canals in mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1289-1294.
- Karobari, M. I., Parveen, A., Mirza, M. B., Makandar, S. D., Nik Abdul Ghani, N. R., Noorani, T. Y., ve Marya, A. (2021). Root and root canal morphology classification systems. *International Journal of Dentistry*, 2021(1), 6682189. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/6682189>
- Keleş, A., ve Keskin, C. (2017). Apical root canal morphology of mezial roots of mandibular first molar teeth with vertucci type ii configuration by means of micro-computed tomography. *J Endod*, 43(3), 481-485. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.045>
- Keleş, A., Keskin, C., Alqawasmi, R., ve Versiani, M. A. (2020). Micro-computed tomographic analysis of the mezial root of mandibular first molars with bifid apex. *Arch Oral Biol*, 117, 104792. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2020.104792>
- Keleş, A., Keskin, C., Çiftçiöğlu, E., ve Alak, G. (2022). Evaluation of the band-shaped isthmuses in the mesiobuccal root canal system using micro-computed tomography. *Clin Oral Invest*, 26(9), 5909-5914. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04548-0>
- Kim, S. Y., Kim, B. S., Woo, J., ve Kim, Y. (2013). Morphology of mandibular first molars analyzed by cone-beam computed tomography in a korean population: Variations in the number of roots and canals. *J Endod*, 39(12), 1516-1521. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.015>
- Kurt, H., ve Orhan, K. (2016). The use of micro-ct in dentistry. *Türkiye Klinikleri Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Özel Dergisi*, 2, 14-21.
- Leoni, G. B., Versiani, M. A., Silva-Sousa, Y. T., Bruniera, J. F., Pécora, J. D., ve Sousa-Neto, M. D. (2017). Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mezial root canal system of mandibular first molars. *Int Endod J*, 50(4), 398-406. <https://doi.org/10.1111/iej.12630>

- Li, J., Parada, C., ve Chai, Y. (2017). Cellular and molecular mechanisms of tooth root development. *Development*, 144(3), 374-384. <https://doi.org/10.1242/dev.137216>
- Mantovani, V. O., Gabriel, A. E. S., Silva, R. G., Savioli, R. N., Sousa-Neto, M. D., ve Cruz-Filho, A. M. (2022). Analysis of the mandibular molars root canals morphology. Study by computed tomography. *Braz Dent J*, 33(5), 1-8. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202205105>
- Martins, J. N., Marques, D., Mata, A., ve Caramês, J. (2017). Root and root canal morphology of the permanent dentition in a caucasian population: A cone-beam computed tomography study. *International endodontic journal*, 50(11), 1013-1026.
- Martins, J. N. R., Marques, D., Francisco, H., ve Caramês, J. (2018). Gender influence on the number of roots and root canal system configuration in human permanent teeth of a portuguese subpopulation. *Quintessence Int*, 49(2), 103-111. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a39508>
- Mashyakh, M., ve Gambarini, G. (2019). Root and root canal morphology differences between genders: A comprehensive in-vivo cbct study in a saudi population. *Acta Stomatol Croat*, 53(3), 213-246. <https://doi.org/10.15644/asc53/3/5>
- Mazzi-Chaves, J. F., Silva-Sousa, Y. T. C., Leoni, G. B., Silva-Sousa, A. C., Estrela, L., Estrela, C., Jacobs, R., ve Sousa-Neto, M. D. (2020). Micro-computed tomographic assessment of the variability and morphological features of root canal system and their ramifications. *J Appl Oral Sci*, 28, e20190393. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2019-0393>
- McCann, J. T., Keller, D. L., ve LaBounty, G. L. (1990). A modification of the muffle model system to study root canal morphology. *J Endod*, 16(3), 114-115. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)81585-2](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81585-2)
- Metzger, Z., Buchner, A., ve Gorsky, M. (1980). Gustafson's method for age determination from teeth--a modification for the use of dentists in identification teams. *J Forensic Sci*, 25(4), 742-749.
- Micro-computed tomography as a transformative tool in endodontics: A narrative review. (2023). *Medical Forum Monthly*, 34(11). <https://medicalforummonthly.com/index.php/mfm/article/view/4511>
- Miletich, I., ve Sharpe, P. T. (2004). Neural crest contribution to mammalian tooth formation. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 72(2), 200-212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bdrc.20012>
- Moore, J., Fitz-Walter, P., ve Parashos, P. (2009). A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J*, 42(12), 1057-1064. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01626.x>
- Morabito, A., ve Defabianis, P. (1992). A sem investigation on pulpal-periodontal connections in primary teeth. *ASDC J Dent Child*, 59(1), 53-57.
- Murray, P. E., Stanley, H. R., Matthews, J. B., Sloan, A. J., ve Smith, A. J. (2002). Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 93(4), 474-482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1067/moe.2002.120974>
- Nair, P. N. (2006). On the causes of persistent apical periodontitis: A review. *Int Endod J*, 39(4), 249-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01099.x>
- Nance, R., Tyndall, D., Levin, L. G., ve Trope, M. (2000). Identification of root canals in molars by tuned-aperture computed tomography. *Int Endod J*, 33(4), 392-396. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00330.x>
- Nasseh, I., ve Al-Rawi, W. (2018). Cone beam computed tomography. *Dent Clin North Am*, 62(3), 361-391. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.002>
- Neelakantan, P., Devaraj, S., ve Jagannathan, N. (2016). Histologic assessment of debridement of the root canal isthmus of mandibular molars by irrigant activation techniques ex vivo. *J Endod*, 42(8), 1268-1272. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.05.005>
- Neelakantan, P., Subbarao, C., ve Subbarao, C. V. (2010). Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone-beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography, and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology. *J Endod*, 36(9), 1547-1551. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.05.008>
- Nosrat, A., Deschenes, R. J., Tordik, P. A., Hicks, M. L., ve Fouad, A. F. (2015). Middle mezial canals in mandibular molars: Incidence and related factors. *J Endod*, 41(1), 28-32. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.08.004>
- Nur, B. G., Ok, E., Altunsoy, M., Aglarci, O. S., Colak, M., ve Gungor, E. (2014). Evaluation of the root and canal morphology of mandibular permanent molars in a south-eastern turkish

- population using cone-beam computed tomography. *Eur J Dent*, 8(2), 154-159. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.130584>
- Oi, T., Saka, H., ve Ide, Y. (2004). Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-ct. *Int Endod J*, 37(1), 46-51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00757.x>
- Ordinola-Zapata, R., Martins, J. N. R., Niemczyk, S., ve Bramante, C. M. (2019). Apical root canal anatomy in the mesiobuccal root of maxillary first molars: Influence of root apical shape and prevalence of apical foramina - a micro-ct study. *Int Endod J*, 52(8), 1218-1227. <https://doi.org/10.1111/iej.13109>
- Pan, J. Y. Y., Parolia, A., Chuah, S. R., Bhatia, S., Mutalik, S., ve Pau, A. (2019). Root canal morphology of permanent teeth in a malaysian subpopulation using cone-beam computed tomography. *BMC Oral Health*, 19(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0710-z>
- Paqué, F., Laib, A., Gautschi, H., ve Zehnder, M. (2009). Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod*, 35(7), 1044-1047. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.026>
- Paqué, F., Rechenberg, D. K., ve Zehnder, M. (2012). Reduction of hard-tissue debris accumulation during rotary root canal instrumentation by etidronic acid in a sodium hypochlorite irrigant. *J Endod*, 38(5), 692-695. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.12.019>
- Patel, S., Brown, J., Pimentel, T., Kelly, R. D., Abella, F., ve Durack, C. (2019). Cone beam computed tomography in endodontics - a review of the literature. *Int Endod J*, 52(8), 1138-1152. <https://doi.org/10.1111/iej.13115>
- Patel, S., Dawood, A., Whaites, E., ve Pitt Ford, T. (2009). New dimensions in endodontic imaging: Part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J*, 42(6), 447-462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01530.x>
- Peters, O. A., Laib, A., Göhring, T. N., ve Barbakow, F. (2001). Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod*, 27(1), 1-6. <https://doi.org/10.1097/00004770-200101000-00001>
- Peters, O. A., Laib, A., Rügsegger, P., ve Barbakow, F. (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *Journal of dental research*, 79(6), 1405-1409.
- Peters, O. A., Schönenberger, K., ve Laib, A. (2001). Effects of four ni-ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*, 34(3), 221-230. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2001.00373.x>
- Pineda, F., ve Kuttler, Y. (1972). Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 33(1), 101-110. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(72\)90214-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(72)90214-9)
- Plotino, G., Cortese, T., Grande, N. M., Leonardi, D. P., Di Giorgio, G., Testarelli, L., ve Gambarini, G. (2016). New technologies to improve root canal disinfection. *Braz Dent J*, 27(1), 3-8. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600726>
- Pomeranz, H. H., Eidelman, D. L., ve Goldberg, M. G. (1981). Treatment considerations of the middle mezial canal of mandibular first and second molars. *Journal of Endodontics*, 7(12), 565-568. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(81\)80216-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0099-2399(81)80216-6)
- Rhodes, J. S., Ford, T. R., Lynch, J. A., Liepins, P. J., ve Curtis, R. V. (1999). Micro-computed tomography: A new tool for experimental endodontology. *Int Endod J*, 32(3), 165-170. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00204.x>
- Robinson, J. P., Lumley, P. J., Cooper, P. R., Grover, L. M., ve Walmsley, A. D. (2013). Reciprocating root canal technique induces greater debris accumulation than a continuous rotary technique as assessed by 3-dimensional micro-computed tomography. *J Endod*, 39(8), 1067-1070. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.003>
- Scarfe, W. C., ve Farman, A. G. (2008). What is cone-beam ct and how does it work? *Dental Clinics of North America*, 52(4), 707-730. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.05.005>
- Scarfe, W. C., Levin, M. D., Gane, D., ve Farman, A. G. (2009). Use of cone beam computed tomography in endodontics. *International Journal of Dentistry*, 2009(1), 634567.
- Schulze, R., Heil, U., Gross, D., Bruellmann, D. D., Dranischnikow, E., Schwanecke, U., ve Schoemer, E. (2011). Artefacts in cbct: A review. *Dentomaxillofac Radiol*, 40(5), 265-273. <https://doi.org/10.1259/dmfr/30642039>
- Sert, S., ve Bayirli, G. S. (2004). Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the turkish population. *J Endod*, 30(6), 391-398. <https://doi.org/10.1097/00004770-200406000-00004>

- Setzer, F. C., ve Lee, S.-M. (2021). Radiology in endodontics. *Dental Clinics of North America*, 65(3), 475-486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cden.2021.02.004>
- Skidmore, A. E., ve Bjorndal, A. M. (1971). Root canal morphology of the human mandibular first molar. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 32(5), 778-784.
- Skidmore, A. E., ve Bjorndal, A. M. (1971). Root canal morphology of the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 32(5), 778-784. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(71\)90304-5](https://doi.org/10.1016/0030-4220(71)90304-5)
- Spin-Neto, R., Matzen, L. H., Schropp, L., Gotfredsen, E., ve Wenzel, A. (2015). Factors affecting patient movement and re-exposure in cone beam computed tomography examination. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 119(5), 572-578. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2015.01.011>
- Srivastava, S., Alrogaibah, N. A., ve Aljarbou, G. (2018). Cone-beam computed tomographic analysis of middle mezial canals and isthmus in mezial roots of mandibular first molars- prevalence and related factors. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 21(5), 526-530.
- Swain, M. V., ve 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>
- Tahmasbi, M., Jalali, P., Nair, M. K., Barghan, S., ve Nair, U. P. (2017). Prevalence of middle mezial canals and isthmi in the mezial root of mandibular molars: An in vivo cone-beam computed tomographic study. *Journal of Endodontics*, 43(7), 1080-1083.
- Tam, A., ve Yu, D. C. (2002). Location of canal isthmus and accessory canals in the mesiobuccal root of maxillary first permanent molars. *J Can Dent Assoc*, 68(1), 28-33.
- Teles, G. J. C., Lopes, R., ve Machado, A. (2025). Application of x-ray microtomography in dental science. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*. <https://doi.org/10.15392/2319-0612.2024.2689>
- Thesleff, I., Keränen, S., ve Jernvall, J. (2001). Enamel knots as signaling centers linking tooth morphogenesis and odontoblast differentiation. *Adv Dent Res*, 15, 14-18. <https://doi.org/10.1177/08959374010150010401>
- Thesleff, I., ve Sharpe, P. (1997). Signalling networks regulating dental development. *Mech Dev*, 67(2), 111-123. [https://doi.org/10.1016/s0925-4773\(97\)00115-9](https://doi.org/10.1016/s0925-4773(97)00115-9)
- Turner, C. G., 2nd. (1981). Root number determination in maxillary first premolars for modern human populations. *Am J Phys Anthropol*, 54(1), 59-62. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330540108>
- Versiani, M. A., Martins, J., ve Ordinola-Zapata, R. (2023). Anatomical complexities affecting root canal preparation: A narrative review. *Aust Dent J*, 68 Suppl 1, S5-s23. <https://doi.org/10.1111/adj.12992>
- Versiani, M. A., Ordinola-Zapata, R., Keleş, A., Alcin, H., Bramante, C. M., Pécora, J. D., ve Sousa-Neto, M. D. (2016). Middle mezial canals in mandibular first molars: A micro-ct study in different populations. *Archives of Oral Biology*, 61, 130-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.10.020>
- Vertucci, F., Seelig, A., ve Gillis, R. (1974). Root canal morphology of the human maxillary second premolar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 38(3), 456-464. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(74\)90374-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(74)90374-0)
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 58(5), 589-599. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90085-9)
- Vertucci, F. J. (2005). Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics*, 10(1), 3-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00129.x>
- Vertucci, F. J., ve Williams, R. G. (1974). Root canal anatomy of the mandibular first molar [Article]. *Journal of the New Jersey Dental Association*, 45(3), 27-28passim. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0016044347&partnerID=40&md5=2e95d4da13e36e1de8cf602f3b5d8b9e>
- Villas-Bôas, M. H., Bernardineli, N., Cavenago, B. C., Marciano, M., Del Carpio-Perochena, A., de Moraes, I. G., Duarte, M. H., Bramante, C. M., ve Ordinola-Zapata, R. (2011). Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mezial root canals of mandibular molars. *J Endod*, 37(12), 1682-1686. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.08.001>
- von Arx, T. (2005). Frequency and type of canal isthmuses in first molars detected by endoscopic inspection during periradicular surgery. *Int Endod J*, 38(3), 160-168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00915.x>

- Wakabayashi, H., Matsumoto, K., Shirasuka, T., Funato, A., ve Tsuzuki, N. (1988). Scanning electron microscopic study of dentin walls of the pulp chamber by a replica technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 66(2), 236-242. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(88\)90100-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(88)90100-4)
- Wang, D., Wang, R., Xu, H., Zhang, Q., ve Guo, Y. (2025). Prevalence and morphology of middle mezial canals in mandibular first molars and their relationship with anatomical aspects of the mezial root: A cbct analysis. *BMC Oral Health*, 25(1), 147. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05533-1>
- Wayman, B. E., Patten, J. A., ve Dazey, S. E. (1994). Relative frequency of teeth needing endodontic treatment in 3350 consecutive endodontic patients. *J Endod*, 20(8), 399-401. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)80299-2](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80299-2)
- Webber, R. L., ve Messura, J. K. (1999). An in vivo comparison of diagnostic information obtained from tuned-aperture computed tomography and conventional dental radiographic imaging modalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 88(2), 239-247. [https://doi.org/10.1016/s1079-2104\(99\)70122-8](https://doi.org/10.1016/s1079-2104(99)70122-8)
- Weine, F. S., Healey, H. J., Gerstein, H., ve Evanson, L. (1969). Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 28(3), 419-425. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(69\)90237-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(69)90237-0)
- Weller, R. N., Niemczyk, S. P., ve Kim, S. (1995). Incidence and position of the canal isthmus. Part 1. Mesiobuccal root of the maxillary first molar. *J Endod*, 21(7), 380-383. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)80975-1](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80975-1)
- Weng, X.-L., Yu, S.-B., Zhao, S.-L., Wang, H.-G., Mu, T., Tang, R.-Y., ve Zhou, X.-D. (2009). Root canal morphology of permanent maxillary teeth in the han nationality in chinese guanzhong area: A new modified root canal staining technique. *Journal of Endodontics*, 35(5), 651-656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.02.010>
- Wolf, T. G., Rempapi, T., Schumann, S., Campus, G., Spagnuolo, G., Armogida, N. G., ve Waber, A. L. (2024). Micro-computed tomographic analysis of the morphology of maxillary lateral incisors. *Clin Oral Investig*, 28(6), 335. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05727-x>
- Wolf, T. G., Wentaschek, S., Wierichs, R. J., ve Briseño-Marroquín, B. (2019). Interradicular root canals in mandibular first molars: A literature review and ex vivo study. *J Endod*, 45(2), 129-135. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.10.019>