



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**



**STRİP PERFORASYON TAMİRİNDE FARKLI
TEKNİKLERLE UYGULANAN KALSİYUM SİLİKAT
ESASLI BİYOAKTİF MATERYALLERİN DENTİNAL
ADAPTASYONUNUN MİKRO-BT İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çağla Nur DELİBAŞI

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Meltem ÖZTAN

ANKARA

2023

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**STRİP PERFORASYON TAMİRİNDE FARKLI
TEKNİKLERLE UYGULANAN KALSİYUM SİLİKAT
ESASLI BİYOAKTİF MATERYALLERİN DENTİNAL
ADAPTASYONUNUN MİKRO-BT İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çağla Nur DELİBAŞI

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Meltem ÖZTAN

**Bu araştırma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'nün
2621 proje numarası ile desteklenmiştir.**

ANKARA 2023

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı'na

Uzmanlık tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Strip Perforasyon Tamirinde Farklı Tekniklerle Uygulanan Kalsiyum Silikat Esaslı Biyoaktif Materyallerin Dentinal Adaptasyonunun Mikro-BT ile Değerlendirilmesi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Çağla Nur Delibaşı

Tarih: 24.07.2022

İmza:

KABUL VE ONAY

ANKARA ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ENDODONTİ UZMANLIK PROGRAMI

Çerçevesinde yürütölmüş olan “Strip Perforasyon Tamirinde Farklı Tekniklerle Uygulanan Kalsiyum Silikat Esaslı Biyoaktif Materyallerin Dentinal Adaptasyonunun Mikro-BT ile Değerlendirilmesi” konulu çalışma aşğıdaki jüri tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 24.07.2023

Prof. Dr. Bade SONAT

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Faköltesi

Endodonti Anabilim Dalı

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Meltem ÖZTAN
Ankara Üniversitesi
Diş Hekimliği Faköltesi
Endodonti Anabilim Dalı
Üye

Prof. Dr. Kamran GÜLŞAHI
Başkent Üniversitesi
Diş Hekimliği Faköltesi
Endodonti Anabilim Dalı
Üye

İÇİNDEKLİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
İçindekiler	iv
Önsöz	vi
Simgeler ve Kısaltmalar	vii
Şekiller	ix
Çizelgeler	xi

1.GİRİŞ	1
1.1. Endodontik Perforasyonlar	1
1.1.1. Endodontik Perforasyonların Etiyolojisi	2
1.1.2. Endodontik Perforasyonlarda Tanı	4
1.1.3. Endodontik Perforasyonların Prognozu	6
1.1.3.1. Endodontik Perforasyonların Prognozunu Etkileyen Faktörler	7
1.1.4. Endodontik Perforasyonların Tedavisi	9
1.1.4.1. Endodontik Perforasyonların Cerrahi Tedavisi	10
1.1.4.2. Endodontik Perforasyonların Cerrahi Olmayan Tedavisi	11
1.1.5. Perforasyon Tamir Materyallerinde Aranan Özellikler	13
1.1.6. Endodontik Perforasyon Tamirinde Kullanılan Materyaller	15
1.2. Biyoseramik Simanlar	16
1.2.1. Kalsiyum Silikat İçerikli Biyoseramikler	16
1.2.2. Deneysel Kalsiyum-Alümina Silikat İçerikli Biyoseramikler	18
1.2.3. Kalsiyum Fosfat İçerikli Biyoseramikler	19
1.2.4. Kalsiyum Silikat ve Kalsiyum Fosfat Karışımı Biyoseramikler	20
1.3. Çalışmamızda Kullanılan Materyaller	20
1.3.1. ProRoot MTA	20
1.3.2. Biodentine	23
1.3.3. MTA Flow White	24
1.4. Tamir Materyali Yerleştirme Teknikleri	26
1.5. Tamir Materyalinin Diental Adaptasyonunu Görüntüleme Yöntemleri	27
1.5.1. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemiyle Görüntüleme	28
1.6. Çalışmanın Amacı	29
2.GEREÇ ve YÖNTEM	31
2.1. Örneklerin Seçilmesi	31
2.2. Örneklerin Hazırlanması	32
2.3. Perforasyon Oluşturulması	33
2.4. Deney Grupları	34
2.5. Örneklerin Mikro-BT'de Taranması	39
2.6. Örneklerin Mikro-BT Rekonstrüksiyonu ve Analizi	40
2.7. İstatistiksel Analiz	50

3. BULGULAR	51
4. TARTIŞMA	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	73
ÖZET	75
SUMMARY	76
KAYNAKLAR	77
EKLER	90
Ek-1 Etik Raporu	90
ÖZGEÇMİŞ	91



ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimim süresince ve tez çalışmamın her aşamasında büyük bir sabır ve özenle bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşan, yol gösteren, hoşgörüsüyle her konuda desteğini hissettiğim, değerli danışman hocam Prof. Dr. Meltem Öztan'a,

Uzmanlık eğitimim süresince bilimsel ve mesleki tecrübelerinden yararlandığım Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri'ne,

Tez çalışmamın deneysel sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle katkı sağlayan hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Arda Büyüksungur'a,

Tez çalışmamı destekleyen Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne,

Uzmanlık eğitimim boyunca tanımaktan ve beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum kıymetli eş kıdemlilerim Dt. Berkuk Sayar, Dt. Gizem Aynur, Dt. Ömer Faruk Topkara'ya ve değerli arkadaşım Dt. Hamdi Alperen Yalçın'a

Dostluğunun yanı sıra tez sürecim boyunca zorlandığım her an akademik bilgisi ve tecrübesiyle de her zaman yanımda olan Uzm. Dt. Ayşenur Öncü'ye

Lisans eğitimimden bu yana ve tez sürecimde de dostluğu ve yol göstericiliği ile hayatımın önemli bir parçası olan Didem Türken'e,

Hayatım boyunca bana ve yapabileceklerime inanan, benden hiçbir desteğini esirgemeyen, bu günlere gelmeme vesile olan, varlıkları ile bana güç veren aileme,

Uzmanlık sürecimin tüm zorluklarına rağmen hayatımın her alanında olduğu gibi desteği ve sonsuz sevgisi ile hayatımı paylaşmaktan gurur ve mutluluk duyduğum canım Erdem Delibaşı'na

Sonsuz Teşekkürler...

SİMGELER VE KISALTMALAR

‰: Yüzde

<: Küçük

>: Büyük

μ: Mikron

μm: Mikrometre

ark.: Arkadaşları

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

Al: Alüminyum

BT: Bilgisayarlı Tomografi

CaO: Kalsiyum Oksit

Ca(OH)₂ : Kalsiyum Hidroksit

CBCT: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

CCD: Yük Bağlı Ayrıt (Charge Coupled Device)

CLSM: Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop (Confocal laser scanning microscopy)

CTan: CT Analyser (Bilgisayarlı Tomografi analiz yazılımı)

DG: Tehlikeli Bölge (Danger Zone)

dk: Dakika

FDI: Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration)

F. nucleatum: Fusobacterium nucleatum

gr: Gram

IRM: Intermediate Restorative Material

ISO: Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (International Standards Organization)

K₂SO₄: Potasyum Sülfat

mA: Miliamper (elektrik akımı)

MgO: Magnezyum Oksit

Mikro-BT: Mikro Bilgisayarlı Tomografi

mm: Milimetre

MTA: Mineral trioxide aggregate (Mineral trioksit agregat)

Na₂SO₄: Sodyum Sülfat

NaOCl: Sodyum Hipoklorit

PDL: Periodontal Ligament

pH: Asitlik Birimi

SEM: Scanning electron microscope (Taramalı elektron mikroskobu)

Süper EBA: Super ethoxy benzoic acid (Süper etoksi benzoik asit)



ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Dekorone edilip distal kökleri uzaklaştırılmış mesial kökler	32
Şekil 2.2. Protaper Gold döner eğe sistemi (Dentsply, mMaillefer Ballaigues, İsviçre)	32
Şekil 2.3. Çalışmamızda kullanılan C tipi silikon ölçü maddesi	33
Şekil 2.4. Örneklerin dış yüzeylerinin periodontal aralığı taklit etmesi amacıyla silikon içerisine gömülmesi	33
Şekil 2.5. Mesiobukkal köklerin içbükey yüzeylerinde yapay perforasyon (1x3) mm oluşturulması.	34
Şekil 2.6. Çalışmamızda kullanılan ProRoot MTA tamir materyali	35
Şekil 2.7. ProRoot MTA'nın MTA taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınması	35
Şekil 2.8. ProRoot MTA'nın perforasyon alanına manuel kondansasyonu	36
Şekil 2.9. Çalışmamızda kullanılan UltraMint Pro (Eighteeth, Changzhou, Çin) ultrasonik ünite	36
Şekil 2.10. Plugger sapına uygulanan ultrasonik güç ile tamir materyalinin indirekt aktivasyon ile yerleştirilmesi	37
Şekil 2.11. Çalışmamızda kullanılan MTA Flow White materyali	37
Şekil 2.12. MTA Flow White kullanım kılavuzu	38
Şekil 2.13. MTA Flow White'in perforasyon alanına taşınması	38
Şekil 2.14. Biodentine'in hazırlanması	39
Şekil 2.15. Mikro-BT cihazı, Bruker MicroCT SkyScan 1275	40
Şekil 2.16. Kesitlerin CTAn programına aktarılması	41
Şekil 2.17. Kesitler üzerinde ROI çizilmesi	42
Şekil 2.18. Belirlenen ROI içerisindeki porözitenin belirlenmesi	42
Şekil 2.19. Bir örneğin CTAn yazılımında analizi	43
Şekil 2.20. Bir örneğin koronal, sagittal, transversal düzlemlerde Data Viewer ile görüntülenmesi	43
Şekil 2.21. CTvox ile bir örneğin 3 boyutlu olarak görüntülenmesi	44
Şekil 2.22. Grup 1: ProRoot MTA + manuel kondansasyon'a ait bir inceleme örneği	44

Şekil 2.23. Grup 2: ProRoot MTA + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği	45
Şekil 2.24. Grup 3: MTA Flow White + Manuel Kondansasyon'a ait bir inceleme örneği	46
Şekil 2.25. Grup 4: MTA Flow White + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği	47
Şekil 2.26. Grup 5: Biodentine + Manuel kondansasyon'a ait bir inceleme örneği	48
Şekil 2.27. Grup 6: Biodentine + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği	49
Şekil 3.1. Uygulanan teknik ve kullanılan materyale göre ortalama iç boşluk değerleri(mm ³)	52
Şekil 3.2. Uygulanan teknik ve kullanılan materyale göre ortalama dış boşluk değerleri (mm ³)	54
Şekil 3.3. CTAn yazılımı kullanılarak elde edilen, boşlukların (siyah), dolgu malzemesinin (beyaz) ve dentinin (gri) varlığını gösteren temsili mikro-BT kesitleri.	57

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1: Teknik ve materyale göre gruplar, örnek sayıları, minimum ve maksimum iç boşluk değerleri (mm^3)	51
Çizelge 3.2: Teknik ve materyale göre gruplar, örnek sayıları, minimum ve maksimum dış boşluk değerleri (mm^3)	52
Çizelge 3.3: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk üzerinde olan etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi (mm^3)	52
Çizelge 3.4: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin dış boşluk üzerinde olan etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi (mm^3)	54
Çizelge 3.5: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk üzerinde olan ortak etkisinin değerlendirilmesi (mm^3)	56
Çizelge 3.6: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin dış boşluk üzerinde olan ortak etkisinin değerlendirilmesi (mm^3)	56

1. GİRİŞ

1.1. Endodontik Perforasyonlar

Kök kanal tedavisi; pulpa dokusunun çıkarılmasının ardından kök kanallarının mekanik olarak genişletilip irrigasyon prosedürleri ile mikroorganizmalardan arındırılmasından sonra kök ucuna kadar sızdırmaz bir şekilde doldurulması işlemidir. (Alaçam, 2012 s:253)

Kök kanal tedavisi sırasında karşılaşılabilecek istenilmeyen durumlardan birisi perforasyonlardır. Anatomik yapılar arasındaki bağlantıların dışında, kök kanal sistemi ile dişin dış yüzeyi arasındaki herhangi bir açıklık perforasyon olarak kabul edilir (Endodontists, 2003). Perforasyon; kök kanal sistemi ile dişlerin destek dokuları veya ağız boşluğu arasında diş çürüğü, kök rezorpsiyonu sebebi ile patolojik olarak veya kök kanal preparasyonunun herhangi bir aşamasında iyatrojenik sebeple meydana gelebilir (Adiga ve ark., 2010; Estrela ve ark., 2018). Perforasyon varlığında mikrobiyal sızıntı kök kanal tedavisinin başarısını tehlikeye atabileceğinden bu bölgenin hermetik olarak kapatılması başarı ihtimalini arttıracaktır (Fuss ve Trope, 1996; Eghbal ve ark., 2014).

Bazı vakalarda perforasyon tamirinde cerrahi tedavi tercih edilse de bu yaklaşımda perforasyonun boyutu ve konumu gereği lezyonun tamamına erişmek için periodontal dokular önemli ölçüde zarar görebilmektedir. Bu nedenle uygun vakalarda perforasyon alanına ortograd yoldan ulaşarak uygun materyaller ile tamir önerilmektedir (Aslan ve ark., 2021).

Perforasyon tamirinin amacı, bölgenin biyouyumlu bir materyal ile sızdırmaz bir şekilde kapatılarak kökün bütünlüğünü geri kazandırmaktır. Böylece hasarlı periodontal dokunun rejenerasyonu kolaylaşacak ve mikrobiyal sızıntının önüne geçilmiş olacaktır (Hülsman M ve Schaffer E., 2014 s:385).

Perforasyon tamiri sonrası mikrosızıntı tamir materyali ile dentin arasında meydana gelmektedir. Endodontik tedavinin uzun süreli başarısını sağlamak için kalıcı olarak yerleştirilen materyallerin kök kanalı ile çevre dokular arasındaki tüm bağlantı yollarını kapatması gerekmektedir (Darvell ve Wu, 2011).

Endodontik perforasyonların tamirinde günümüze kadar çok çeşitli materyaller kullanılmıştır. Kullanılacak perforasyon tamir materyalleri biyoyumlu olmalı, vücut sıvılarında çözünmemeli, sızdırmaz olmalı, boyutsal stabilitesi olmalı, biyoaktif, radyopak ve kullanımı kolay olmalıdır (Koubi ve ark., 2013).

1.1.1. Endodontik Perforasyonların Etiyolojisi

Köklerde oluşan perforasyonlar etyolojisine göre iki ana grup altında toplanabilir:

- Patolojik perforasyonlar
- İyatrojenik perforasyonlar

Patolojik kök perforasyonları; derin çürükler, iç ve dış rezorpsiyonların ilerlemesi ile ortaya çıkar.

Tedavi edilmemiş çürükler pulpa odası tabanında veya kökün her hangi bir yerinde perforasyon oluşturabilir (Gulabivala ve Ng, 2014). Kök rezorpsiyonları osteoklastik hücrelerin faaliyeti sonucunda dentin ve sementte progresif doku kaybının meydana gelmesiyle oluşur. Bu durum kök kanal sistemi içerisinde pulpa kaynaklı olduğu zaman internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu olarak tanımlanmaktadır. Kesin nedeni bilinmemekle beraber travma, pulpal inflamasyon ve pulpotomi işlemleri sonrasında da gelişebilir. Eksternal inflamatuvar kök rezorpsiyonu ise kök yüzeyindeki periodontal ligament hücreleri ve sementin hasar görmesi sonucunda

oluşur. Rezorptif defekt kök kanal sistemine ulaşarak perforasyona neden olabilir (Patel ve Duncan, 2011; Darcey ve Qualtrough, 2013).

Perforasyonlar daha çok iyatrojenik sebeplerle meydana gelmektedir. Kaza sonucu perforasyonların, kök kanal tedavisi sırasında karşılaşılan tüm iyatrojenik hataların %29'u kadarını oluşturduğu bildirilmiştir (Gorni ve ark., 2022). Bu perforasyonlar; endodontik giriş kavitesinin açılması, kanal ağzlarının aranması, kanalların preparasyonu ve post boşluğu hazırlanması sırasında oluşabilmektedir (Frank, 2002; Cardoso ve ark., 2018).

Giriş kavitesi geleneksel olarak oklüzal veya lingual anatomiye referans alarak hazırlanmaktadır. Bununla birlikte, anatomiye tamamen güvenmek tehlikelidir, çünkü bu anatomik referans, kron çürük tarafından tahrip edildiğinde ve çeşitli restoratif materyallerle yeniden şekillendirildiğinde değişebilir. Aynı şekilde kök, dişin oklüzal yüzeyine dik olmayabilir; bu nedenle oklüzal veya lingual anatomiye tam bağımlılık servikal hat boyunca veya furkasyonda koronal perforasyonlar gibi bazı prosedürel hataların oluşmasına neden olabilir (Berman ve Hargreaves, 2020).

Pulpa odasının veya kanal ağzlarının kalsifiye olması da kanalların yanlış yerde aranmasına neden olabilir ve fazla dentin kaldırılması sonucu perforasyonlar meydana gelebilir (Frank, 2002).

Atrizyon, abrazyon ve erozyon; dentin sklerozu ve reperatif dentin oluşumuna neden olur. Restoratif işlemler, travma, atrizyon ve rekurrent çürük sonucu oluşan reperatif dentin; kanal ve pulpa odası ebatlarını küçültür. Bu vakalarda kanal ağzlarını bulmaya çalışırken veya kök preparasyonu sırasında perforasyon riski artmaktadır (Alaçam, 2012 s:1173).

Furkasyon perforasyonları giriş kavitesi hazırlığı sırasındaki komplikasyonlarla, strip ve apikal perforasyonlar ise enstrümantasyon sırasında oluşan komplikasyonlarla ilgilidir (Bhuva ve Ikram, 2020).

Orta üçlüdeki perforasyonlar genellikle eğimli kanallarda şekillendirme sırasında aşırı preparasyon, Gates-Glidden frezlerinin yanlış kullanılması, kök yapısına göre daha kalın postların yerleştirilmesi ile oluşabilir (Frank, 2002).

Kesici uçlu kanal aletlerine şekillendirme sırasında aşırı kuvvet uygulanması basamak veya tıkama oluşturabilir. Bu durum kanal ekseninden sapmalara neden olabileceğinden perforasyon açısından risk taşımaktadır (Bargholz ve ark., 2009).

Apikal üçlüdeki perforasyonlar daha çok temizleme ve şekillendirme işlemleri sırasında oluşur. Yetersiz irrigasyon ve uygun olmayan enstrüstasyon sonucu apikal bölgenin debrisyle tıkanması veya basamak oluşması perforasyon oluşumuna hazırlayıcı faktörlerdir (Alaçam, 2012, s:472).

Mandibular ve maksillar molar dişlerin mesial köklerinin furkasyon bölgesine komşu iç eğriliğindeki dentin "tehlikeli bölge" (danger zone) olarak adlandırılmıştır (Abou-Rass ve ark., 1980; Ordinola-Zapata ve ark., 2019). Tanımlanan bu alanda dentin kalınlığı nispeten daha ince olduğundan preparasyon sırasında dikkatli olunmalıdır (De-Deus ve ark., 2019). Bu bölgede kontrolsüz eğeleme ve aşırı preparasyon sonucu ince olan dentinin aşırı uzaklaştırılması ile oluşan şerit şeklindeki perforasyonlar strip perforasyon olarak adlandırılmaktadır (Alaçam, 2012, s:471; Frank, 2002).

1.1.2. Endodontik Perforasyonlarda Tanı

Perforasyonlar çoğu zaman teşhis edilemez ya da yeterli bir biçimde tedavi edilemez. Diş hekimleri yüksek perforasyon riski içeren işlemler yaparken perforasyon riskini belirlemekte veya perforasyon varlığını fark etmekte başarısız olabilirler (Bargholz ve ark., 2009).

Spesifik olmayan klinik semptomlar ve periapikal radyografilerin sınırlı kapasitesi bazen kök perforasyonlarının doğru teşhisini zorlaştırır. Doğru ve erken

teşhis, perforasyonun yerinin ve boyutunun belirlenmesi uygun bir tedavi planlanması için gereklidir (Shemesh ve ark., 2011).

Kök kanallarında enstrümantasyon veya post yerleştirme için yapılan hazırlık sırasında meydana gelen ani kanama, ağrı veya kâğıt konda görülen kan perforasyon için önemli bir işaret olabilir. Kanallar yeteri kadar temizlenip kurutulduktan sonra kâğıt konun lateral yüzeyinde kanama görülüyorsa strip perforasyon varlığını, konun uç kısmında görülüyorsa apikal perforasyon varlığını gösterebilmektedir. Bununla beraber kanamanın apikal foramen veya pulpa doku artıklarından da kaynaklanabileceği unutulmamalıdır (Hovland ve Dumsha, 1997; Clauder ve Shin, 2006).

Pulpası canlı olmayan, anestezi uygulanmamış bir dişin tedavisinde şekillendirme sırasında henüz tahmin edilen çalışma boyuna ulaşmamışken meydana gelen ağrı perforasyon belirtisi olabilir (Bargholz ve ark., 2009).

Dar ve izole periodontal defekt kök perforasyonunun bir işareti olabilir. Lokal vertikal kemik kaybını belirlemek için periodontal sond hafifçe dişeti tabanına bastırılarak diş etrafında hareket ettirilmelidir. Vertikal kök kırıklarında da dar ve izole periodontal defekt gözlenebildiğinden ayırt edici tanı amaçlı eksploratif cerrahi yapılabilir (Berman ve Hargreaves, 2020).

Tanıyı kesinleştirmek için farklı açılardan alınan radyografiler mevcut perforasyonu doğrulayabilir. Ancak radyografiler sadece iki boyutlu görüntü vermektedir, bu yüzden perforasyonun yeri ve boyutlarını değerlendirmek zor olabilir. Mesial veya distal yönde açılmalarla alınan ilave filmlerle tanı kesinleştirilmeye çalışılır ancak bukkal, palatinal veya lingual yüzeylerde oluşan perforasyonlarda radyografinin tanısal değeri sınırlıdır (Fuss ve Trope, 1996).

Elektronik apeks bulucular kök perforasyonunun konumunun belirlenmesinde radyografilerden daha güvenli sonuçlar verebilir. Şüpheli durumlarda kanal genişletme işleminden sonra çalışma boyunun tekrar elektronik apeks bulucular ile doğrulanması

önerilmektedir. Başlangıç çalışma boyundan belirgin daha kısa tespit edilen ölçümler perforasyon belirtisi olabilir (Fuss ve Trope, 1996).

Dental operasyon mikroskobu ve dental loupe aydınlatma ile sağlanan yüksek büyütme sayesinde kök kanallarında hassas görüntüleme sağlayarak perforasyon teşhisinde yardımcı olabilir (Daoudi ve Saunders, 2002).

Perforasyon değerlendirmesinde konik ışınli bilgisayarlı tomografi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Rezorptif lezyonların ve perforasyonların Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) kullanılarak doğru tespit edildiğine dair kanıtlar vardır. Ancak bu 3 boyutlu taramalar iyonize edici radyasyonun daha fazla olması nedeniyle, yalnızca klinik değerlendirmelere ileri katkılar sağlayabilecek durumlarda düşünölmelidir (Shemesh ve ark., 2011).

1.1.3. Endodontik Perforasyonların Prognozu

Endodontik perforasyonlar sonucu oluşın inflamatuvar reaksiyonlar periodontal dokuları etkileyerek alveoler kemik kaybına yol açın açabilir. Enflamasyonun şiddetine bağılı olarak perforasyon bölgesinde epitel proliferasyonu ve granülasyon dokusu oluşumu gözlenebilir. Doğru tedavi edilmezse, endodontik perforasyon diş kaybına yol açabilir. Tedavi başarısının temel olarak perforasyonun hemen kapatılmasına ve uygun enfeksiyon kontrolüne bağılı olduğı kabul edilmiştir (Saed ve ark., 2016).

Perforasyon tamirinin amacı, perforasyon bölgesinin sızdırmaz bir şekilde biyouyumlu bir materyal ile kapatılarak kökün bütönlüğünü ve hasarlı periodontal dokuların rejenerasyonunu sağlamaktır (Bargholz ve ark., 2009). Perforasyonların cerrahi olmayan tedavisi %70'in üzerinde bir başarı oranına sahiptir ve cerrahi yöntemlere tercih edilen güncel tedavi yaklaşımı olabilir (Siew ve ark., 2015; Aslan ve ark., 2021).

1.1.3.1. Endodontik Perforasyonların Prognozunu Etkileyen Faktörler

- Perforasyonun oluşumu ile tedavisi arasında geçen zaman
- Perforasyonun boyutu
- Perforasyonun lokalizasyonu
- Perforasyon bölgesindeki periodontal dokuların durumu
- Hekimin görüş etkinliği ve manipülasyon yeteneği
- Perforasyon tamir materyalinin biyolojik uyumu ve sızdırmazlığı
- Hasta kooperasyonu ve oral hijyeni

Perforasyon oluşumu ve tedavisi arasında geçen zaman: Perforasyon oluşumundan sonra periodonsiyumun kronik enflamatuvar reaksiyonu, ataşman kaybına veya diş kaybına neden olabilir. Etiyolojisi ne olursa olsun perforasyon alanı olabildiğince erken kapatılarak ataşman kaybı önlenmelidir. Perfore olmuş dişler tedaviden sonra uzun bir süre hiçbir semptom göstermese de bazen yıllar sonra akut periodontal reaksiyonlar gösterebilmektedir (Alaçam, 2012 s:462). Perforasyon ile onarım arasında geçen süre arttıkça bakteriyel enfeksiyonun boyutu ve periodontal doku yıkımı artmakta ve prognoz genel olarak kötüleşmektedir (Alsulaimani, 2018). Perforasyonların hemen kapatılması tedaviyi olumsuz etkileyecek olan kontaminasyon ve kanama varlığının önüne geçerek bir sonraki seansta endodontik tedavinin yapılmasına olanak sağlamaktadır (Unal ve ark., 2010).

Perforasyonun boyutu: Perforasyonun boyutu hermetik bir kapatma açısından oldukça önem taşır. Büyük perforasyonların operatif prosedürler sırasında ortaya çıkma olasılığı daha yüksektir ve bu da daha küçük perforasyonlara kıyasla çevre

dokularda önemli ölçüde daha fazla travmaya neden olmaktadır (Tsisis ve ark., 2010). Perforasyonun boyutu küçüldükçe tamir materyalinin çevre dokulara taşma olasılığı azalacağı ve tıkama etkinliği artacağından prognoz daha iyi olacaktır (Fuss ve Trope, 1996). Daha büyük boyutta oluşan perforasyonlar prognoz açısından daha fazla risk taşımaktadır (Balla ve ark., 1991; Fuss ve Trope, 1996).

Perforasyonun lokalizasyonu: Perforasyon alanının krestal kemik ve epitelyal ataşmana göre seviyesi tedavi prognozunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Krestal kemik ve epitelyal ataşmanın koronalinde oluşan perforasyonların ulaşımı kolay ve hekimin manipülasyon yeteneği iyi olacağından yeterli tıkama sağlanabilmekte ve prognoz daha iyi olmaktadır. Bu seviyenin altındaki perforasyonlarda da ana kanala ulaşıp başarılı bir endodontik tedavi uygulanırsa perforasyonun periodontal ilişkisi azalmakta ve prognoz olumlu yönde etkilenmektedir (Tsisis ve Fuss, 2006). Kret ve epitelyal ataşman bölgesinde oluşan perforasyonlar hızlı cep oluşumu ve epitelyal yer değiştirmeye elverişli olacağından başarı oranı daha düşüktür. Furkasyon bölgesinde oluşan perforasyonlar epitelyal ataşman ve gingival sulkusa yakınlığından dolayı krestal perforasyonlarla benzer prognoza sahiptir (Darcey ve Qualtrough, 2013). Yine köklerin servikal kısmında oluşan perforasyonların epitelyal ataşmanda kayba neden olarak periodontal dokuda defekt oluşumuna neden olma potansiyeli yüksek olduğundan prognozunun zayıf olduğu bildirilmiştir (Kvinnsländ ve ark., 1989).

Perforasyon bölgesindeki periodontal dokuların durumu: Perforasyon oluşan dişler periodontal olarak dikkatlice muayene edilmelidir. Bu dişlerde özenli bir cep incelemesi yapılmalıdır. Ataşman sağlıklı durumda ise tamir zamanlaması önem taşır ve tedavi idealde defektin cerrahi olmayan tedavisi ile yapılır. Bununla birlikte ataşman kaybı ve periodontal yıkım bulunduğu ortodonti, periodontoloji ve cerrahi bölümleri ile konsültasyonlar yapılmalıdır. Cerrahi ve cerrahi olmayan tedaviler arasında karar verilmelidir (Alaçam, 2012 s:462).

Hekimin görüş etkinliği ve manipülasyon yeteneği: Perforasyonların kontrol altına alınmasında en önemli adım perforasyon oluşmasına engel olmaktır. Hekim

pulpa odasının boyutları ve lokalizasyonunun yanı sıra anatomik varyasyonlar, karşılaşılabileceği perforasyonlar ve etiyolojileri hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Bilgisi ve deneyimi; oluşabilecek perforasyonları önlemesine veya oluşan perforasyonların doğru bir şekilde lokalize edebilmesinde ve tamirinde hekime önemli ölçüde yardımcı olacaktır (Clauder ve Shin, 2006). Tüm bunların yanı sıra büyüteçler, kafa lambaları ve transillüminasyon aletleri perforasyon tanısında önemli yardımcılardır. Operasyon mikroskobu görüşü arttırmakta ve cerrahi tedavi gereksiniminin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir (Alaçam, 2012 s:462).

Perforasyon tamir materyalinin biyolojik uyumu ve sızdırmazlığı: Meydana gelen perforasyon bölgesinin başarılı bir şekilde onarımı; enfeksiyonu kontrol altına alarak en iyi sızdırmazlığı sağlayan prosedürlerle mümkündür. Kök perforasyonlarının tedavisinde kullanılan materyaller periradiküler dokularla yakın temas halindedir bu sebeple başarılı bir prognoz için perforasyon alanı; gingival sulkus ile bağlantısını kesen, biyouyumlu bir materyal ile tamir edilmelidir (Bryan ve ark., 1999; Eghbal ve ark., 2014).

Hasta kooperasyonu ve oral hijyeni: Tedavi stratejileri hastaya detaylı bir şekilde anlatılmalı, tedavi hekim ve hastanın karşılıklı iş birliği ile yönetilmelidir. Hasta motivasyonu hastanın oral hijyenini sağlamasına katkıda bulunacaktır. Hastaya oral hijyen eğitimi verilerek takip edilmesi tedavi süreci ve sonrasında prognozu olumsuz etkileyebilecek faktörlerin önüne geçilmesine yardımcı olacaktır.

1.1.4. Endodontik Perforasyonların Tedavisi

Başarılı bir perforasyon tedavisi perforasyonun sızdırmaz bir şekilde kapatılabilmesi ve sağlıklı periodontal araştırmanın yeniden kurulmasına bağlıdır (Pitt Ford ve ark., 1994). Perforasyon oluşan bir dişte tedavi olasılıkları değerlendirilerek acil bir karar verilmelidir. Bu durumda perforasyon tamiri ve ilgili dişin çekimi olmak üzere iki seçenek vardır (Saed ve ark., 2016).

Öncelikle dişin restore edilebilirlik açısından değerlendirilmesi gerekir. İlerlemiş patolojik perforasyonlar dişi çoğu zaman restore edilemez hale getirir. Diş restore edilemiyorsa veya endodontik tedavinin tamamlanması imkânsız görünüyorsa, hastaya çekimin gerekliliği ve olası protez seçenekleri konusunda danışmanlık yapılmalıdır. Bazı dişlerde perforasyon alanına ortograd yoldan ulaşım imkânsız olabilir ve cerrahi ile retrograd ulaşım da belirgin periodontal hasar oluşturma riskiyle karşılaşılabilir. Bu durumda perforasyon onarımının prognozunda başarısızlık belirgin bir şekilde ön görülebilir ve böyle vakalarda ilgili dişin çekimi tek seçenek olabilir (Clauder ve Shin, 2006).

Diş restore edilebilir olarak kabul edilir ve perforasyon alanına ulaşım prognozu olumsuz etkilemeyecekse tedavi seçeneği olarak perforasyon tamiri düşünülmelidir (Saed ve ark., 2016).

1.1.4.1. Endodontik Perforasyonların Cerrahi Tedavisi

Onarım materyalinin adaptasyonuna engel olacak kadar şekilsiz ya da geniş defektlerin bulunduğu durumlarda, rezorpsiyon sonucu oluşan perforasyonlarda, cerrahi olmayan tedavinin başarısız olduğu durumlarda, ortograd yolla ulaşılamayan perforasyonlarda, perforasyon ile birlikte periodonsiyuma da müdahale edilmesi gereken durumlarda ve defekt alanına tamir materyalinin taşıdığı durumlarda cerrahi tedavi endikedir (Stromberg, 1972; Gutmann ve Harrison, 1991; Tsesis ve Fuss, 2006).

Cerrahi tedavinin amacı perforasyon alanına direkt ulaşarak görüş alanını arttırmak ve tamir materyalinin uygulanmasında manipülasyonunu kolaylaştırmaktır. Aynı zamanda enfekte periodontal dokuya direkt müdahale edilerek yumuşak dokunun da sağlığına kavuşturulması sağlanır (Tsesis ve Fuss, 2006). Cerrahi işlemden önce kök kanal tedavisi tamamlanmalıdır (Oswald, 1979).

Perforasyon alanına ulaşılabilirlik cerrahi girişim öncesi perforasyon tedavisinde belirleyici faktördür. Bukkal perforasyonların tamiri kolay olmasına karşın lateral

veya lingual/palatinal perforasyonların tamiri ulaşılmasında karşılaşılabilecek anatomik engeller sebebiyle teknik zorluklar içerir. Perforasyon tamiri kalıcı periodontal defekt oluşumuna öncülük edebileceğinden cerrahi tedavi kararı perforasyon durumuna bağlı olarak değişmektedir. Geniş perforasyonlu vakalarda perforasyon tamirini denemek yerine kök amputasyonu, hemiseksiyon veya çekim düşünülmelidir (Tsesis ve Fuss, 2006).

1.1.4.2. Endodontik Perforasyonların Cerrahi Olmayan Tedavisi

Perforasyonların cerrahi olmayan tedavisinin başarısı; perforasyon alanının enfeksiyondan korunması, enfekte ise tedaviyle enfeksiyonun kontrol altına alınması, tamir materyalinin sızdırmazlığı ve çevre dokularda irritasyon yaratmaması ile sağlanabilir (Fuss ve Trope, 1996). Cerrahi olmayan tedaviler perforasyonun oluşum yerine göre şu şekillerde tedavi edilebilir:

Koronal perforasyonlar: Perforasyon supragingival bölgede ise; restoratif bir dolgu materyali ile tıkanarak veya kron yapılarak tamir edilebilir (Frank, 1974). Koronal kök perforasyonlarında tıkama için seçilen materyal estetik açıdan önemlidir. Asitle pürüzlendirilmiş kompozit rezinler veya cam iyonomer simanlar ön dişlerde kullanılabildiği gibi arka grup dişlerde amalgam da bu materyallere ilaveten kullanılabılır (Fuss ve Trope, 1996).

Krestal perforasyonlar: Epitelyal ataçmana komşuluğu ve gingival sulkusla bağlantılı olması nedeniyle tedavisinde zorluklarla karşılaşılabılır. Yeni veya eskiden oluşmuş geniş krestal perforasyonların tamirinde cerrahi tedavi gerekebilir. Ayrıca dişe ortodontik ekstrüzyon uygulanarak dişin koronal pozisyona getirilmesiyle perforasyon cerrahi müdahale olmadan tamir edilebilir (Fuss ve Trope, 1996).

Strip perforasyonlar: Strip perforasyonların çoğu, furkasyon alanına yakın kök yüzeyinin koronal üçlüsünde meydana gelir ve o bölgede herhangi bir periodontal defekt gelişimine dikkat edilmelidir (Biggs ve ark., 1988). Strip perforasyonlar

genellikle boyut olarak büyük ve düzensiz kenarlara sahip oldukları için ileri kemik yıkımına neden olabilirler. Bu nedenle strip perforasyonların kapatılması son derece önemlidir (Kvinnsland ve ark., 1989).

Strip perforasyon basit bir perforasyon olarak ele alınamaz. İnce duvarlı büyük ve geniş oval boşluklardır. Bu özellikleri ile diğer perforasyonlardan farklı bir tedavi gerektirir. Cerrahi olarak tamir edilen perforasyonlarda; perforasyon bölgesi açığa çıkartılarak düzensiz dentin kaldırılır, kalın duvarlı bir kavite oluşturulur ve bölgenin tamir materyali ile sızdırmaz bir şekilde kapatılması sağlanır. Ancak strip perforasyon üzerinde kalın duvarlı bir tutucu kavite oluşturmak, perforasyonun daha da genişlemesine ve kök duvarlarının neredeyse tamamen tahrip olmasına yol açacaktır. Bu yüzden strip perforasyon olgularında başarılı bir tedavi; perforasyon alanına ortograd yoldan ulaşıp tamir materyalinin lateral duvarlara bağlanması sağlanarak sızdırmaz bir şekilde kapatılması ile mümkün olmaktadır (Allam, 1996).

Apikal perforasyonlar: Apikal perforasyonlar rutin endodontik prensiplere göre tedavi edilmelidir. Ana kanala uygun girişin sağlanması ve kanalın yeterli şekilde prepare edilmesinde zorluklar yaşanabilir. Kanal dolgusunda biyoseramik esaslı patların kullanımı yararlı olabilmektedir. Orjinal kanala ulaşılabilirliğin olmadığı ve apikal periodontitisin geliştiği vakalarda kök rezeksiyonu endikedir (Fuss ve Trope, 1996).

Furkasyon perforasyonları: Furkasyon bölgelerinde oluşan perforasyonların sıklıkla sulkusla bağlantılı olması ve perforasyon boyutunun çoğu zaman geniş bir alana yayılması sebebiyle tedavisi ve prognozunda güçlüklerle karşılaşmaktadır. Küçük çaplı furkal perforasyonlar hızlı sertleşen, irritan olmayan materyallerle kapatılmalıdır. Ayrıca materyalin çözünürlüğünün düşük, mekanik özelliklerinin dentine yakın olması gereklidir. Perforasyon çapının artması, materyalin alana yerleştirilmesi ve kondansasyonu zorlaştırarak taşmasına sebep olabilir. Bunu engellemek için rezorbe olabilen, hemostatik kollajen bariyerler kullanılabilir (Frank, 2002). Ancak biyoseramik esaslı materyaller nemden etkilenmeyip, sement

formasyonunu engellemediğinden bariyer uygulanmadan da kullanılabilirlerdir (Saed ve ark., 2016).

1.1.5. Perforasyon Tamir Materyallerinde Aranılan Özellikler

Kısa sertleşme süresi: Yerleştirmeden sonra materyalin kısa sürede sertleşmesi periodontal dokularla teması sonucu meydana gelebilecek bozulmanın önüne geçerek boyutsal stabiliteye katkı sağlar. Böylelikle kısa sertleşme süresi tedavinin prognozunu tehlikeye atan mikrosızıntı riskinin önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır (Santos ve ark., 2008)

Mekanik Dayanım: Basma (sıkıştırma) dayanımı, materyalin yük altında kırılmamak için gösterdiği direnme kabiliyetidir (Danesh ve ark., 2006). Basma dayanımının yüksek olmasının kök tamir materyallerinin kuvvet karşısında deformasyonunu, büzülmesini engellediği bildirilmiştir (Torabinejad ve ark., 1995). Bükülme dayanımı materyalin mekanik dayanımını belirlemek için kullanılan diğer bir ölçümdür. Klinik uygulamalarda yüksek bükülme direnci gösteren materyallerin kırılma riski düşüktür (Adabo ve ark., 2003). Bağlanma dayanımı ise materyalin kök dentinine adaptasyonunda etkilidir. Perforasyon tamirinde kullanılan materyaller için bağlanma dayanımı önemlidir. Dişin fonksiyonel hareketi ile perforasyon bölgesindeki materyalin yerinden oynamaması gerekmektedir (Sagsen ve ark., 2011).

Radyoopasite: Radyoopasite endodontik dolgu materyallerinin görüntülenmesi için önemli bir özelliktir. Endodontik materyaller, tıkama kapasitelerinin kontrolünün sağlanması için radyografik değerlendirmeye uygun radyoopasiteye sahip olmalıdırlar (Torabinejad ve ark., 1995). Radyoopasite ölçümünde alüminyum (Al) kontrol materyali olarak belirlenmiştir. 1 mm kalınlığında dentin ve minenin radyoopasite değerleri sırasıyla 1 mm Al, 2 mm Al olarak bildirilmiştir (Oztas ve ark., 2012). Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO)'nun belirlediği yönergeye göre, kök kanal materyallerinin minimal radyoopasitesi için 3 mm kalınlığında alüminyuma eş değerlik gereklidir (Gancedo-Caravia ve Garcia-Barbero, 2006).

Akışkanlık: Kullanılan siman ve patlar akışkanlıkları ile kök kanal yapıları içindeki düzensizliklere penetre olmaktadırlar. Akıcılığı ne kadar fazla ise materyalin penetrasyon yeteneği, adaptasyonu daha iyi olacaktır. Partikül boyutu küçüldükçe akışkanlık kabiliyeti artmaktadır (Silva ve ark., 2013). Ancak akıcılığın fazla olması materyalin periodontal dokulara taşarak, iyileşmeyi olumsuz etkilemesine neden olabilmektedir. Bu nedenle materyallerde orta düzeyde akıcılık istenmektedir (de Miranda Candeiro ve ark., 2012).

Düşük Porözite ve Çözünürlük: Karıştırılmış bir simandaki porözite simana katılan su miktarı, hava kabarcıklarının karıştırma esnasında siman içerisinde sıkışması ve ortamın asidik pH değeri ile ilgilidir (Fridland ve Rosado, 2003; Coomaraswamy ve ark., 2007). Porözite ne kadar düşükse mekanik direnç o kadar yüksektir. Çözünürlük ise restoratif materyallerin uygunluğunu değerlendirmede bir diğer faktördür. Düşük çözünürlük materyalin mekanik direncini arttırmaktadır ve perforasyon tamiri için istenilen bir özelliktir (Torabinejad ve ark., 1995).

Biyouyumluluk ve Biyoaktivite: Kök perforasyonlarının onarımı için temel gereksinim, onarım sürecine dahil olan hücreleri olumsuz etkilemeyen veya yabancı cisim gibi davranmayan biyolojik özelliklere sahip materyallerin kullanılmasıdır (Silva Neto ve ark., 2010). Hidrofilik olmaları, kan ve doku sıvıları ile etkileşime girdiğinde biyomineralizasyon sağlamaları istenmektedir (Küçükkaya Eren ve ark., 2019). Nemden az etkilenmeli, sement formasyonuna izin vermeli ve bulunduğu bölgede kemik oluşumunu indüklemelidir (Parirokh ve Torabinejad, 2010).

Antimikrobiyal Aktivite: İyatrojenik perforasyon olgularında kontaminasyon riski nedeniyle tüm endodontik materyallerde olduğu gibi perforasyon tamir materyallerinin de antimikrobiyal etkisi olması istenilen bir özelliktir (Nair ve ark., 2005).

1.1.6. Endodontik Perforasyon Tamirinde Kullanılan Materyaller

Geçmişte perforasyon onarımı için kullanılan çeşitli materyaller şunlardır:

- İndiyum folyo
- Amalgam
- Paris alçısı
- Çinko oksit öjenol
- Süper EBA (Süper etoksi benzoik asit)
- IRM (İntermediate Restoratif Materyal)
- Güta perka
- Cavit
- Cam iyonomer siman
- Modifiye cam iyonomer siman
- Kompozit rezin
- Dekalsifiye dondurulmuş kurutulmuş kemik
- Kalsiyum fosfat siman
- Trikalsiyum fosfat siman

- Hidroksiapatit
- Kalsiyum hidroksit

Ancak günümüzde biyoseramiklerin ortaya çıkması perforasyon tamiri için mevcut materyal grubuna üstün fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri ile endodontik uygulamalarda önemli gelişmeler sağlanmıştır.

1.2. Biyoseramik Simanlar

Seramikler, ham minerallerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla yapılan inorganik, metalik olmayan materyallerdir. Biyoseramikler; tıp ve diş hekimliğinde kullanım için üretilen, sızdırmazlığı artırılmış, antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip biyouyumlu seramik materyaller veya metal oksitlerdir (Shenoy ve Shenoy, 2010).

Biyoseramikler biyouyumlu olmaları ve üstün fizikokimyasal özellikleri nedeniyle diş hekimliğinde kemik defektlerinin doldurulmasında, kök tamirinde, kök ucu dolgusunda, perforasyonların kapatılmasında, endodontik pat bileşeni olarak ve rejenerasyon işlemlerinde kullanılmaktadır (Nasseh, 2009).

Endodontide genel olarak kalsiyum fosfat/trikalsiyum/hidroksiapatit esaslı, kalsiyum silikat esaslı veya kalsiyum silikat ve fosfatların karışımı olarak sınıflandırılabilirler (Jain ve Ranjan, 2015).

1.2.1 Kalsiyum Silikat İçerikli Biyoseramikler

Tozu esas olarak dikalsiyum ve trikalsiyum silikattan oluşan ve su ile karıştırılarak kendiliğinden sertleşen hidrolik materyallerdir. Karıştırıldıktan sonra kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) ve yapışkan koloidal kalsiyum silikat hidrat jeli

üretmek zamanla katılaşıp sert bir yapıya dönüşür (Dawood ve ark., 2017). Biyouyumluluğu, çevre dokularla fizikokimyasal etkileşimi, sert doku yapımını indüklemesi ve sızdırmazlık özelliğiyle endodontik prosedürlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dutta ve Saunders, 2014; Dawood ve ark., 2017).

Kalsiyum silikat içerikli simanların öncüsü Portland simanıdır. Portland çimentosu 1824 yılında İngiltere'de Koseph Aspdinin tarafından icat edilmiş ve patenti alınmıştır. İlk olarak 1878'de tri ve dikalsiyum silikatın meydana getirdiği Portland simanı diş hekimliğinde kullanılmıştır. Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat, tetra kalsiyum alumino ferrat ve hidratlı kalsiyum sülfattan oluşur (Silva Neto ve ark., 2010).

Daha sonra Portland simanının fizikokimyasal özellikleri geliştirilmiş ve mineral trioksit agregat (MTA) dental literatürde ilk kez 1993 yılında tanımlanmıştır (Lee ve ark., 1993).

Kalsiyum silikat içerikli biyoseramiklerin kimyasal içerikleri değiştirilerek farklı fiziksel ve kimyasal özellikte materyaller geliştirilmektedir. İlk üretilen MTA'nın mevcut dezavantajlarının azaltılması amaçlanarak benzer olumlu özelliklere sahip çeşitli kalsiyum silikat bazlı simanlar üretilmiştir (Dutta ve Saunders, 2014).

Piyasada yer alan kalsiyum silikat içerikli siman ve patlardan bazıları şunlardır:

- Portland simanı,
- ProRoot MTA (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland),
- White ProRoot MTA (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland),
- MTA Angelus (Solucoes Odontologicas, Londrina, Brazil),
- MTA Angelus Blanco (Solucoes Odontologicas, Londrina, Brazil),

- MTA Flow (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, USA)
- MTA Bio (Solucos Odontologicas, Londrina, Brazil),
- MM-MTA (Besançon Cedex-Fransa)
- NeoMTA Plus (Avalon Biomed Inc. Bradenton, USA)
- MTA Plus (Prevest DenPro Limited, Jammu, India),
- Protooth™ (Dentosolve, Aarhus, Denmark),
- Endocem (Maruchi, Wonju, Korea),
- Retro MTA, Ortho MTA (BioMTA, Seoul, Korea),
- Biodentine (Septodont, SaintMaur-des-Fossés Cedex, France),
- MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brazil),
- BioRoot RCS (Septodont, St. Maur-des-Fossés, France),
- TechBiosealer (Profdent, Kielce, Poland) (Parirokh ve Torabinejad, 2010; Ranjkesh ve ark., 2016; Raghavendra ve ark., 2017; Siboni ve ark., 2017)

1.2.2.Deneysel Kalsiyum-Alümina Silikat İçerikli Biyoseramikler

Kalsiyum silikat içerikli simanların eksikliklerinin giderilmesi için yeni ürünler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Kalsiyum mono ve di-alümina içeren deneysel biyoseramikler asidik ortamda kalsiyum silikat içerikli simanlara göre daha

dayanıklıdır. Akışkanlıkları ve manipölasyonları daha iyidir. Sertleşme zamanları daha kısadır ve daha az poröziteye sahiptirler. Ayrıca kalsiyum alümina bileşenleri osteojenik hücrelerin farklılaşmasında daha fazla etkilidirler. Kalsiyum silikat içerikli simanlarla aynı endikasyonlara sahiptirler (Liu ve ark., 2011; Niu ve ark., 2016).

Çalışmalarda yer alan kalsiyum-alümina silikat içerikli materyaller;

- EndoBinder (Binderware, São Carlos, SP, Brazil),
- GenereX A (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA)
- Capasio (Primus Consulting, Bradenton, FL, USA),
- Quick-Set (Primus Consulting, Bradenton, FL, USA) (Raghavendra ve ark., 2017)

1.2.3. Kalsiyum Fosfat İçerikli Biyoseramikler

İçeriğindeki kalsiyum ve fosfor bileşenleri ile yapısal ve kimyasal olarak insan kemiği apatitlerine benzemektedir (Shirtliff ve Hench, 2003).

Biyouyumlu olmaları, hidroksiapatit oluşturma yetenekleri ve dentin ile bağ oluşturabilme özellikleri sayesinde kalsiyum fosfat içerikli biyoseramikler endodontide kullanılmıştır. Ancak antibakteriyel özelliklerinin olmayışı ve kuvvet karşısında düşük direnç göstermeleri gibi olumsuz özellikleri vardır. Bu nedenle endodontide yüksek mekanik dayanım ve antibakteriyel özellik gösteren kalsiyum silikatlarla birlikte kullanılırlar. Böylelikle mekanik dayanım artar ve sertleşme süresi uzun olan kalsiyum silikatların sertleşme zamanı kısılır (Ko ve ark., 2014).

1.2.4. Kalsiyum Silikat ve Kalsiyum Fosfat Karışımı Biyoseramikler

Kalsiyum silikat içerikli simanlara mekanik ve biyolojik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla fosfat tuzları ilave edilerek 2006'da piyasaya sürülmüştür (Lu ve Zhou, 2009; Zhou ve ark., 2013).

- iRoot BP, iRoot BP Plus, iRoot FS (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canada)
- EndoSequence BC Sealer (Brasseler, Savannah, GA, USA)
- Total Fill BC (FKG Dentine, La Chaux-de-Fonds, Switzerland)
- BioAggregate (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canada)
- Tech Biosealer (Isasan SRL, Rovello Porro; Italy)
- Ceramicrete (Argonne National Lab, Illinois, USA) (Prati ve Gandolfi, 2015; Raghavendra ve ark., 2017)

1.3. Çalışmamızda Kullanılan Materyaller

1.3.1. ProRoot MTA

Portland simanının fizikokimyasal özellikleri geliştirilmiş ve mineral trioksit agregat (MTA) dental literatürde ilk kez 1993 yılında tanımlanmıştır (Lee ve ark., 1993) ve ABD Gıda ve İlaç İdaresi tarafından (FDI) 1998 yılında dental amaçlar için kullanımı onaylanmıştır (Lee ve Bogen, 2001).

MTA materyalleri içerik olarak Portland çimentosu ve bizmut oksidin karışımı olarak tanımlanır ve eser miktarda MgO, CaO, SiO₂, K₂SO₄ ve Na₂SO₄ içermektedir (Sarkar ve ark., 2005). Ağırlık açısından formülasyonu yaklaşık %75 Portland çimentosu, %20 bizmut oksit ve %5 alçı taşıdır (Ferris ve Baumgartner, 2004). İçeriğindeki bizmut oksit materyale dentinden daha fazla bir radyoopasite sağlamak için eklenmiştir (Torabinejad ve ark., 1995). Biyouyumluluk, biyoaktivite, hidrofilitiklik, radyopaklık, sızdırmazlık kabiliyeti ve düşük çözünürlük açısından istenen birçok özelliğe sahiptir (Faraco Jr ve Holland, 2001; Tawil ve ark., 2009).

Piyasaya sürülen ilk MTA gri renkli tozdan oluşmaktaydı ve 2002 yılında estetik kaygıların önüne geçmek için ProRoot MTA (Dentsply Endodontics, Tulsa, OK, ABD) adında beyaz bir MTA tanıtıldı (Dammaschke ve ark., 2005). Beyaz renkli MTA'da tetrakalsiyum alüminoferrit yoktur ve daha düşük demir oksit içeriği bulunmaktadır. Böylelikle estetiğin önemli olduğu durumlarda beyaz MTA kullanımı avantaj sağlamaktadır (Patel ve Duncan, 2011). Aynı zamanda beyaz MTA griye göre daha küçük boyutlu partiküller içermektedir (Dammaschke ve ark., 2005). İki materyalin apikal bariyer olarak etkinliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, beyaz MTA'nın gri MTA'ya göre daha az sızdırma gösterdiği belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2009). Yapılan bir çalışmada furkasyon perforasyon tamirinde kullanılan gri ve beyaz MTA mikrosızıntı yönünden karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Hamad ve ark., 2006).

Amalgam ile MTA'nın marjinal adaptasyonlarının karşılaştırıldıkları bir çalışmada MTA'nın daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir. MTA'nın sergilediği üstün sızdırmazlık ve dentin adaptasyonu özelliklerinin nedeninin sertleşme sırasındaki genişlemesinden kaynaklı olabileceği ileri sürülmüştür (Shipper ve ark., 2004). Sızdırmazlık yeteneği genişleme ve büzülme katsayılarının dentine çok yakın olmasından kaynaklanır, bu sayede marjinal sızıntı ve kök kanal sistemine bakteri geçişine karşı bariyer görevi görür (Duarte ve ark., 2003).

MTA ve amalgam kullanılarak furkasyon perforasyonlarının onarıldığı bir çalışmada, 45 günlük değerlendirme süresince MTA ile onarılanlarda herhangi bir

bakteri sızıntısı izlenmezken amalgamla onarılan örneklerin yaklaşık yarısının *F. nucleatum* penetrasyonuna izin verdiği görülmüştür (Adamo ve ark., 1999). Beyaz ve gri MTA arasında ise *F. nucleatum*'un penetrasyonuna karşı dirençte anlamlı bir fark bulunamamıştır (Ferris ve Baumgartner, 2004).

MTA endodontide kullanılan birçok materyalin aksine nemli ortamda sertleşir. Çevre dokulardan gelen nem sertleşme reaksiyonuna yardımcı olur. 3:1 oranında toz ve steril suyun karıştırılması ile hazırlanır. Karıştırma sonucu kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrat oluşur. Bu karışım 3-4 saat içinde kristal yapıdan fakir, poröz yapılı katı bir jele dönüşür (Camilleri, 2008). Kalsiyum hidroksitin su ile tepkimesiyle kalsiyum ve hidroksil iyonu açığa çıkar ve ortamın pH'ı artar (Duarte ve ark., 2003). Karıştırılma sonrası pH değeri 10.2 iken 3 saat sonrasında 12.5'e ulaşır (Torabinejad ve ark., 1995). Ortam pH'sının yükselmesi antimikrobiyal etkiyi ortaya çıkarır (Duarte ve ark., 2003; Dammaschke ve ark., 2005).

Fridland ve Rosado (2005), yüksek su/toz oranı ile karıştırılan MTA'dan kalsiyum salınımının arttığını, fakat karışımda daha fazla su kullanımının MTA'nın porözite ve çözünürlüğünde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. MTA'nın porözitesi karıştırma sürecinde hava kabarcıklarının karışımda sıkışması ve ortamın asidik pH'ına bağlanmaktadır. Ortam pH'ı ne kadar asidikse örneklerde porözite o kadar fazla görülmektedir (Namazikhah ve ark., 2008).

MTA'nın biyouyumluluğunun değerlendirildiği çalışmalarda MTA amalgam, süper EBA, IRM, cam iyonomer türleri ve gütaperka'dan daha iyi sonuçlar vermiştir (Huang ve ark., 2002; Souza ve ark., 2006). Ayrıca MTA, periodontal ligament (PDL) fibroblastlarının aktivitesini indükler ve PDL hücresi ataçmanları MTA yüzeylerine büyüme ve bağlanma gösterir (Balto, 2004). Yapılan çalışmalarda PDL ataçmanları MTA üzerine gelişmiş proliferasyon gösterirken gütaperka yüzeylerinde herhangi bir oluşum izlenmemiştir (Bonson ve ark., 2004; Fayad ve ark., 2004).

1.3.2. Biodentine

MTA'nın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla formüle edilmiş olup Gilles ve Olivier tarafından 2011 yılında piyasaya sürülmüştür (Septodont, Saint Maur des Fosses, France).

Özellikle rezorptif lezyonlar dahil furkasyon ve kök perforasyonlarının onarımı, apeksifikasyon, endodontik cerrahide retrograd dolgu malzemesi olarak ve vital pulpa tedavileri gibi pek çok endodontik tedavi prosedüründe kullanılmaktadır (Malkonu ve ark., 2014).

Trikalsiyum silikat ana bileşendir ve dikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, zirkonyum oksit ve demir oksit bileşenlerinden oluşur. Biodentine'deki trikalsiyum silikat tanelerinin MTA'ya göre daha ince olduğu bildirilmiştir (Camilleri ve ark., 2013). Biodentine'in partikül boyutunun küçük olması ve mekanik manipülasyonu sayesinde hidrasyon işlemi sırasında toz ve likitin temas alanı arttığından üniform, homojen bir karışım elde edilir (Nekoofar ve ark., 2010). Bu durum dentin tübüllerine daha derin bir penetrasyon ve adaptasyonla sonuçlanabilir (Alcalde ve ark., 2018).

MTA'dan farklı olarak Biodentine'de radyoopasiteyi bizmut oksit yerine zirkonyum oksit sağlar. Zirkonyum oksit biyouyumlu özelliklere ve korozyona karşı dirence sahip biyoinert bir maddedir. Biodentine'nin likit yapısında su bazlı polimer likit ve sertleşme reaksiyonunu hızlandırıcı kalsiyum klorür bulunmaktadır (Grech ve ark., 2013). Hidrasyon reaksiyonu MTA ile benzerdir. Su bazlı polimer viskoziteyi azaltarak materyalin uygulanmasını kolaylaştırır ve düşük su/toz oranında hazırlanmasına olanak sağlayarak materyalin mekanik dayanımına katkıda bulunur (Malkonu ve ark., 2014).

Toz kapsülde, likit pipette bulunur ve likitin kapsüle ilave edilmesinden sonra 30 sn amalgamatörde karıştırılır (Kaup ve ark., 2015). Çalışma süresi 6 dk civarı iken başlangıç sertleşmesi için 9-12 dk, final sertleşmesi için 45 dk yeterlidir (Camilleri, 2008). Kan ile kontaminasyonu, bağlanma dayanımını ve sertleşme reaksiyonunu

etkilememektedir (Priyalakshmi ve Ranjan, 2014). Biodentine'in sertleşme süresi MTA'dan çok daha kısadır. Bu nedenle Biodentine, kan bileşenlerini daha hızlı bloke ederek renk değişimine karşı MTA'dan daha fazla direnç gösterebilmektedir (Yoldaş ve ark., 2016).

Furkasyon perforasyonlarının tamirinde Biodentine, ProRoot MTA ve MTA Plus'ın push-out bağlanma kuvvetlerini inceleyen bir çalışma Biodentine'in bağlanma gücünün zamanla arttığını belirtmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre MTA'nın 24 saatlik push-out bağlanma gücü Biodentine'den daha azdır. Ayrıca kan kontaminasyonu MTA Plus'ın push-out bağlanma gücünü azaltırken, Biodentine'nin üzerinde etkisinin olmaması araştırmacılar tarafından materyalin olumlu bir özelliği olarak belirtilmiştir (Aggarwal ve ark., 2013).

Furkasyon perforasyonu tamirinde ProRoot MTA, IRM ve Biodentine kullanılan başka bir çalışmada, tüm materyallerde zamanla mikrosızıntının arttığı gözlenmesine rağmen MTA mikrosızıntıyı önlemede daha etkili bulunmuştur (Övsay ve ark., 2018).

MTA ve Biodentine'in farklı irrigasyon solüsyonlarına maruz kalan dentine bağlanma kuvvetinin karşılaştırıldığı bir çalışmada MTA'nın kök dentinine Biodentine'den daha düşük bağlantı gösterdiği belirtilmiştir (Guneser ve ark., 2013).

ProRoot MTA, RetroMTA ve Biodentine'in sızdırmazlık özellikleri karşılaştırıldığında Biodentine'in en iyi sızdırmazlığı gösterdiği bildirilmiştir (Sinkar ve ark., 2015).

1.3.3. MTA Flow White

MTA Flow White (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT) trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, tantal oksitten oluşan ve silikon içeren su bazlı bir jel ile karıştırılmış nispeten yeni bir materyaldir. MTA bazlı materyallerin sahip olduğu özelliklere sahiptir. Pulpotomi, pulpa kuafajı, perforasyon onarımı, apeksifikasyon,

kök rezorbsiyonu gibi endodontik prosedürlerde kullanılması önerilmiştir. (Guimaraes ve ark., 2017).

MTA'nın manipölasyon özellikleri sıklıkla tartışılmıştır ve birkaç yazar, bu simanın akışkanlığını iyileştirmek ve yerleştirmesini kolaylaştırmak için likitinin değiştirilmesini önermiştir (Ber ve ark., 2007; Hsieh ve ark., 2009; Marciano ve ark., 2016). Materyalin sertleşme sürecinde nem varlığında yıkanma (wash-out) etkisine karşı viskozitesini ve direncini artırmak amacıyla likitinin jel formunda kullanımı önerilmiştir. Jel formun, fiziksel özellikleri geliştirerek basınç dayanımını arttırdığı, sertleşme süresi ve gözenekliliği azalttığı bildirilmiştir (Formosa ve ark., 2013).

Bu amaçla üretilen MTA Flow White, hidrasyonu için kullanılan su bazlı jel sayesinde farklı toz/jel oranlarında karıştırılarak pürüzsüz bir kıvamda ulaşabilmekte ve materyalin 'ince', 'kalın' ve 'macun' kıvamında kullanımına olanak sağlamaktadır. İlk ikisi şırıngalarda kullanılabilir, bu da bir klinik kullanımda dikkate alınacak yenilikçi bir taşıma yöntemidir. Bu taşıma yöntemi ortograd yoldan ulaşımда güçlüklerle karşılaşılan kök perforasyon tamir uygulamaları için avantaj sunmaktadır (Guimaraes ve ark., 2017; Mondelli ve ark., 2019). Aynı zamanda MTA Flow White, MTA ile benzer bileşimi ile daha küçük parçacık boyutu ($<10\ \mu$) ve yaklaşık 15 dakika gibi daha kısa sertleşme süresine sahiptir (Sravya ve ark., 2022).

MTA Angelus ve MTA Flow'un karşılaştırıldığı bir çalışmada alkali aktivitenin her iki materyal için de benzer olduğu ve pH seviyesinin 3. ve 24. saatlik başlangıç zaman aralıklarına kıyasla 186. saatte ikisinde de önemli ölçüde azaldığı gösterilmiştir (Guimaraes ve ark., 2017). Pelepenko ve ark. (2021) çalışmalarında 28 günlük periyotlarda ProRoot MTA, Biodentine ve White MTA Flow materyallerinde pH değişimine bakmışlar ve zamanla önemli artışlar gözlemlenmesine rağmen Biodentin'in en düşük pH değerlerini gösterdiğini bulmuşlardır.

Kök ucu dolgusu, perforasyon tamiri gibi amaçlarla kullanılan tamir materyallerinin hacim kaybı istenilen bir özellik değildir. Bu durum mikrosızıntı riskini beraberinde getirir ve prognozu tehlikeye atar (Wu ve ark., 1995). MTA

Angelusla karşılaştırıldığı bir çalışmada da MTA Flow, istatistiksel bir fark olmaksızın ($P>.05$) MTA Angelus'a benzer hacim değişikliği gösterirken, radyoopasite yönünden MTA Flow önemli ölçüde daha düşük bir değer göstermiştir. Ancak her iki materyal de ISO standartlarının önerdiği 3 mm Al'den daha yüksek bir radyoopasiteye sahiptir (Guimaraes ve ark., 2017).

Materyal etrafında kalsiyum fosfat birikiminin araştırıldığı aynı çalışmada MTA Flow kullanılan örneklerde MTA Angelusa göre daha fazla kalsiyum fosfat çökmesi gözlenmiştir (Guimaraes ve ark., 2017). Bu farkın Formosa ve ark. (2013)'nın belirttiği gibi MTA Flow materyalinin bazı fiziko-kimyasal özelliklerini geliştirebilen jel taşıyıcıyla ilgili olabileceği düşünülmüştür.

1.4. Tamir Materyali Yerleştirme Teknikleri

Kalsiyum silikat esaslı biyomateryallerin tamir materyali olarak kullanılmasında materyal içi porözite oluşması ve kök kanal sisteminin ulaşılması zor kısımlarının yetersiz doldurulması dezavantaj olarak bildirilmiştir (Bogen ve Kuttler, 2009). Bu sorun, esas olarak materyallerin manipülasyon zorlukları ile ilgilidir ve yerleştirme tekniklerine yapılan müdahalelerle geliştirilmeye çalışılmaktadır (Küçükaya Eren ve ark., 2019).

Tamir materyalinin yerleştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda iki farklı teknik önerilmiştir;

1. El ile yerleştirme (Manuel Kondansasyon)
2. Ultrasonik aktivasyon (Aminoshariae ve ark., 2003)
 - a. Direkt Ultrasonik Aktivasyon (Aminoshariae ve ark., 2003)

b. İndirekt Ultrasonik Aktivasyon (Lawley ve ark., 2004; Yeung ve ark., 2006; Kim ve ark., 2009)

El ile yerleştirme metodunda, istenen miktarda materyal siman spatülü veya MTA taşıyıcısı ile ilgili alana taşındıktan sonra endodontik plugger ile kondense edilmektedir (Aminoshariae ve ark., 2003; Lawley ve ark., 2004).

Direkt ultrasonik aktivasyon metodunda materyal ilgili alana taşındıktan sonra aktivasyonun sağlayacağı titreşim ile direkt olarak ultrasonik cihazın ucuyla materyalin hafifçe itilmesi önerilmektedir (Aminoshariae ve ark., 2003).

İndirekt ultrasonik aktivasyon metodunda ise ilgili bölgeye materyali taşınarak plugger ile kondense edildikten sonra endodontik pluggerın boyun bölgesine ultrasonik titreşim uygulanmaktadır. Eğer materyal diş içerisine uygulanacak ise pluggerın dentin duvarlarına temas etmemesi gerektiği bildirilmiştir (Yeung ve ark 2006).

1.5. Tamir Materyalinin Dentinal Adaptasyonunu Görüntüleme Yöntemleri

Kök kanal sisteminde perforasyon tamirinden sonra kalan ara yüzey boşlukları, klinik prognozu olumsuz etkileyebilecek önemli bir konudur. Kök kanal patlarının ve tamir materyallerinin büzülme göstermesi, bakterilerin ve zararlı ürünlerinin penetrasyonuna izin verecek boşluklara neden olabilir (Ørstavik ve ark., 2001). Kanallardaki ara yüzey boşlukları ve penetrasyonun kontrolü için çeşitli *in-vitro* görüntüleme yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler; radyolojik çakıştırma yöntemi, köklerden kesit alınarak ışık mikroskobu, konfokal laser tarama elektron mikroskobu, tarama elektron mikroskobu incelemelerini ve mikro bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) yöntemi gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerini içerir (Li ve ark., 2014).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM, scanning electron microscope), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir

elektron mikroskobu türüdür. SEM ile görüntülenen kök kanal sisteminin farklı bölgeleri detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Bu yöntem endodontide kanal preparasyonu sonrası kök kanallarının dentin morfolojisi (Pirani ve ark., 2009), kök kanal patlarının sızdırmazlık özellikleri (Huang ve ark., 2018) dentin tübüllerindeki mikroorganizmaların penetrasyon miktarı (Al-Nazhan ve ark., 2014) ve kök kanal irrigantlarının smear tabakasına etkisinin incelenmesi (Kumar ve ark., 2015) vb gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Konfokal mikroskopta örnek üzerine lazer ışını gönderilir ve yansıtma mekanizması ile bu ışın tarama ışınına çevrilir. Objektif lensi yardımıyla floresan işaretlenmiş örnek üzerindeki tek bir küçük noktaya odaklanır. Böylece taranan örnek yüksek çözünürlükte görüntülenir.

Taramalı elektron mikroskobu, konfokal laser tarama elektron mikroskobu ve ışık mikroskobu altında incelenecek olan köklerden disk veya taşlar ile belirli mesafelerle yatay ya da dikey olarak kesitler alınır ve elde edilen kesitler incelenir.

Mikro bilgisayarlı tomografi, endodontide kök kanal dolgularının ve tamir materyallerinin ara yüzey kalitesinin incelenmesinde kullanılan invaziv olmayan üç boyutlu inceleme yöntemidir. Mikro-BT görüntülemesi invaziv olmadığı için, örnekler inceleme sırasında bütün olarak kalır ve sonrasında gerek görülürse tarama elektron mikroskobuyla örneklerin tekrar incelenmesine imkan verir (Li ve ark., 2014).

1.5.1. Mikro Bilgisayarlı Tomografi Yöntemiyle Görüntüleme

Bilgisayarlı tomografi vücudu kesitsel şekilde görüntülemektedir ve ilk olarak 1970'lerin başında geliştirilmiştir. Kesit kalınlığının ince olması örnekten daha fazla bilgi alınmasını sağlayarak görüntünün çözünürlüğünün artmasını sağlamaktadır (Elliott ve Dover, 1982). Daha sonraları çözünürlüğün artırılması için kesitsel kalınlığı mikrometre cinsinden ifade eden mikro bilgisayarlı tomografi cihazları geliştirilmiştir. Mikrotomografiden elde edilen veriler ile çeşitli bilgisayar programları

aracılığıyla ilgilenilen yapıları daha iyi gösteren üç boyutlu görüntüler oluşturulabilir. Bu işlem '3D rekonstrüksiyon' olarak adlandırılır (Şahin ve Topuz, 2014).

Mikrotomografi genel yapı olarak bilgisayarlı tomografiye benzemektedir. Mikrotomografi cihazının ana parçaları X-ışını tüpü, üzerine sabitlenen örneği belli aralıklar ile çeviren bilgisayar kontrollü bir adım motoru, ortamdaki X-ışınını kamera sensörü üzerine yoğunlaştıran görüntü yoğunlaştırıcı, üzerine düşen X-ışınlarını görüntü verisine çeviren bir CCD kamera, görüntü toplayıcısı ve tüm bunları kontrol eden bir bilgisayardan oluşmaktadır (Rhodes ve ark., 1999).

Mikro-BT medikal amaçlı olarak birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Örnek üzerinde herhangi bir bozulma oluşmaması ve görüntünün tekrar tekrar incelenebilmesi önemli bir avantaj olarak görülür. Katı opak cisimlerin iç yüzeylerinin, taranan cisimde herhangi bir zarara yol açmadan dijital görüntülerini alır ve bu görüntüler daha sonra taranan cismin üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır. Sistemden elde edilen görüntüler ve veriler istenirse ek olarak yapılabilen biyolojik, histolojik ve mekanik testler ile kıyaslanabilir. Mikro-BT yöntemi *in-vitro* endodontik çalışmalarda sıklıkla tercih ediliyor olmasına rağmen klinik uygulamalar için henüz uygun değildir ve *in-vivo* çalışmalarda kullanılabilecek Mikro-BT cihazı geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Balto ve ark., 2000).

1.6. Çalışmanın Amacı

Kök perforasyonlarının tedavisinde kullanılan materyaller periradiküler dokularla yakın temas halindedir. Strip perforasyonun konumu ve klinik girişimlerde ulaşım güçlükleri; etkili bir tıkamayı güçleştirebildiğinden manipülasyonu güç olan güncel perforasyon tamir materyallerinin daha basit ve başarılı uygulamaları için yeni yaklaşımlar araştırılmaktadır. Kullanılan tamir materyallerinin fiziksel özelliklerine formülasyon ve taşıyıcıları değiştirerek yapılan müdahaleler yanında, farklı uygulama aletleri ve yöntemleri de denenerek klinik başarı oranı arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle kök perforasyonlarının onarımı için temel gereksinim, onarım sürecine dahil olan hücreleri olumsuz etkilemeyen veya yabancı cisim gibi davranmayan

fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip biyouyumlu materyallerin kullanılmasıdır. Bu özellikleri ile öne çıkan kalsiyum silikat esaslı biyoaktif materyallerin perforasyon tamiri için kullanılmasında; materyal içerisinde oluşan boşluklar ve erişilmesi zor kısımların yetersiz doldurulması gibi problemlerle karşılaşıldığı bildirilmiştir. Bu problemler esas olarak materyalin perforasyon bölgesine uygulanmasında yaşanan zorluklar sebebiyle oluşmaktadır ve yerleştirme teknikleri geliştirilerek daha başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Çalışmamızda kök perforasyon tedavilerinde en çok kullanılan ProRoot MTA, Biodentine ve uygulama kolaylığı sunan daha yeni bir materyal olan MTA Flow White tamir materyali olarak seçilmiştir. Aynı zamanda ortograd yoldan yerleştirmelerdeki güçlük nedeniyle ortaya çıkan materyal içi porözitelerin önlenmesi ve adaptasyon etkinliğini arttırabileceği varsayılan indirekt ultrasonik aktivasyonun etkisinin manuel kondansasyon ile karşılaştırılması planlandı.

Bu çalışmanın amacı; kök kanalında oluşan strip perforasyon olgularında farklı kondansasyon teknikleri ile uygulanan kalsiyum silikat esaslı biyoaktif materyalleri dentinal adaptasyon ve pörozite açısından karşılaştırmaktır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'nun 18.07.2022 tarihli 16/01 sayılı onayı ile yapılmıştır. Örnek hazırlama ve deney aşamaları Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi araştırma laboratuvarında, mikro-BT incelemeleri Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Mikro-BT laboratuvarında yürütülmüştür. Bu araştırma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'nün 2621 proje numarası ile desteklenmiştir.

2.1. Örneklerin Seçilmesi

Çalışmamızda periodontal sebepler ile çekilmiş, kök ucu gelişimi tamamlanmış, benzer korono-apikal boyutlara sahip 60 adet insan daimî mandibular birinci molar dişi kullanıldı. Dişlerin seçiminde distalde bir, mesialde bukkal ve lingualde olmak üzere iki adet kanalı olması, kanallarda kalsifikasyon ve rezorbsiyon bulunmaması kriterleri göz önünde bulunduruldu. Schneider (1971) yöntemine göre mesial kökte orta derecede (10 ila 20 derece) kök kanal eğriliği olan dişler çalışmaya dahil edildi. Çekilen dişler 24 saat %0,1 timol solüsyonunda bekletildi. Dişlerin üzerindeki diş taşları, organik debris ve yumuşak dokular periodontal küret vasıtasıyla kök yüzeylerine zarar vermeden dikkatlice temizlendi ve dişler çalışmada kullanılıncaya kadar serum fizyolojik içinde, oda sıcaklığında bekletildi.

2.2. Örneklerin Hazırlanması

Örnekler, su soğutması altında elmas diskler ile mine-sement sınırından dişin uzun eksenine dik olarak dekoronize edildikten sonra çalışmamızda kullanılacak olan mesial kökler distal köklerden elmas separe yardımıyla ayrıldı (Şekil 2.1). Kanalların çalışma uzunlukları, eğin apikal foramenden çıktığında kaydedilen uzunluktan 1

mm çıkartılarak elde edildi. Tüm örneklerdeki mesiobukkal kanallar ProTaper Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, İsviçre) döner eğe sistemiyle (Şekil 2.2) X-Smart Plus Endomotor (Dentsply, Maillefer Ballaigues, İsviçre) cihazı kullanılarak S1'den F4'e kadar prepare edildi. Preparasyon sırasında her eğe değişiminde 2 ml %5.25 sodyum hipoklorit (NaOCl) (Microvem, İstanbul, Turkey) irrigasyon solusyonu kullanıldı. Döner aletlerle yapılan preparasyon tamamlandıktan sonra kanallar 2 mL distile su ile irrigate edildi.



Şekil 2.1. Dekoronize edilip distal kökleri uzaklaştırılmış mesial kökler



Şekil 2.2. Protaper Gold döner eğe sistemi (Dentsply, Maillefer Ballaigues, İsviçre).

2.3. Perforasyon Oluşturulması

Örnekler periradiküler dokuları taklit etmesi amacıyla Eppendorf tüplerinin (Eppendorf-Elkay, Shrewbury, MA, USA) içerisine yerleştirilen silikon ölçü maddesine (Zetaplus C tipi silikon, Zhermack, Badia Polesine, Italy) (Şekil 2.3.) dikkatlice gömüldü (Şekil 2.4.).



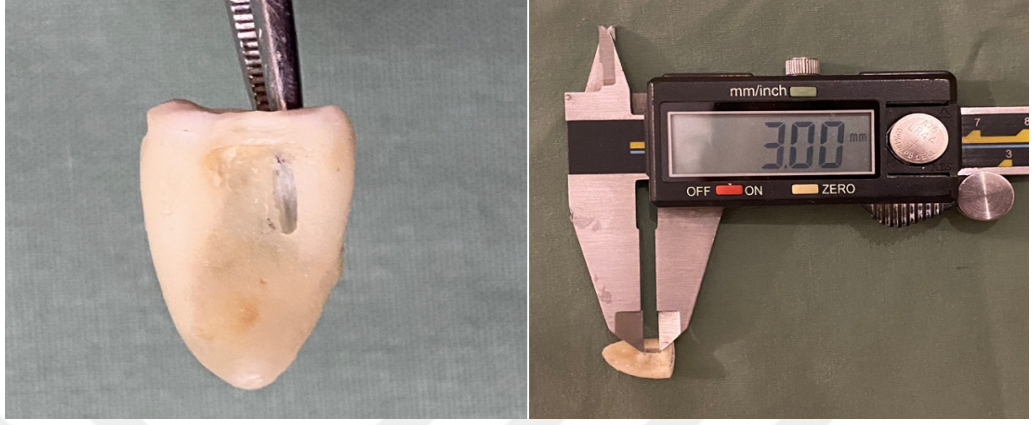
Şekil 2.3. Çalışmamızda kullanılan C tipi silikon ölçü maddesi



Şekil 2.4. Örneklerin dış yüzeylerinin periodontal aralığı taklit etmesi amacıyla silikon içerisine gömülmesi

Kalıplardan çıkarılan örneklerin mesiobukkal köklerinin içbükey yüzeylerinde mine-sement sınırının 2 mm altından ve aynı düzlemde 5 mm altında olacak şekilde iki adet işaretleme yapıldı. Bu iki nokta arasında her bir kökün uzun eksenine dik

olarak yerleştirilmiş 1 mm çapında fissür frez kullanılarak 3 mm uzunluğunda ve 1 mm genişliğinde yapay bir perforasyon alanı oluşturuldu (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Mesiobukkal köklerin içbükey yüzeylerinde yapay perforasyon (1x3)mm oluşturulması.

2.4.Deney Grupları

Toplamda 60 adet olan örnekler her birinde 10 adet olacak şekilde rastgele dağıtılarak kullanılacak olan tamir materyali ve yerleştirme tekniğine göre 6 adet deney grubu oluşturuldu. Perforasyon tamiri büyütme oranı x3,3 olan dental loupe (Orange dental GmbH & Co. KG, Almanya) kullanılarak tek operatör tarafından gerçekleştirildi.

Grup 1: ProRoot MTA + Manuel Kondansasyon (n=10)

Grup 2: ProRoot MTA + İndirek Ultrasonik Aktivasyon (n=10)

Grup 3: MTA Flow White + Manuel Kondansasyon (n=10)

Grup 4: MTA Flow White + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon (n=10)

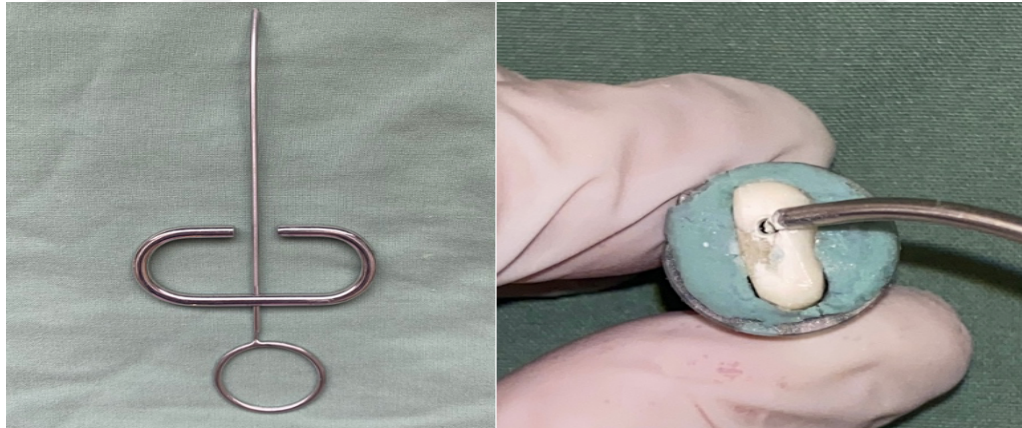
Grup 5: Biodentine + Manuel Kondansasyon (n=10)

Grup 6: Biodentine + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon (n=10)

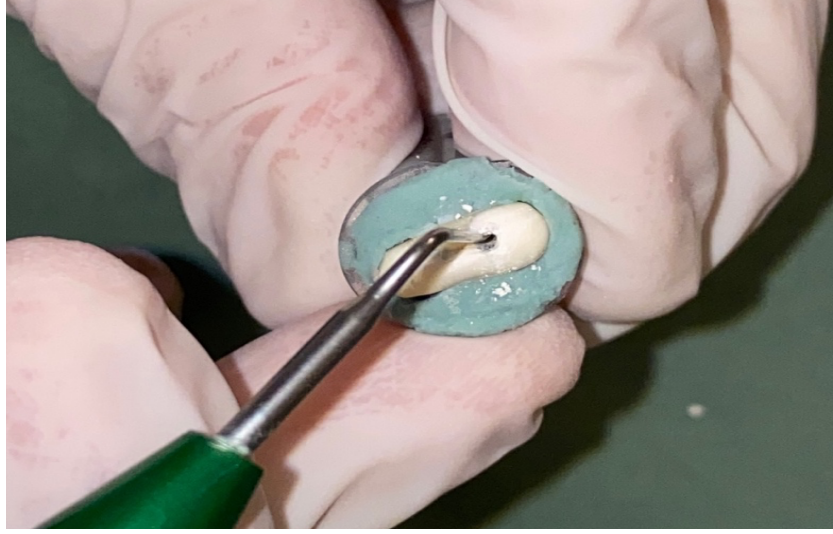
Grup 1: ProRoot MTA (Şekil 2.6.) üretici firmanın önerisi doğrultusunda 3:1 toz likit oranında steril cam üzerinde siman spatülü yardımıyla karıştırıldı. MTA taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınan MTA (Şekil 2.7.), plugger ile hafif basınç uygulanarak kondense edildi (Şekil 2.8.).



Şekil 2.6. Çalışmamızda kullanılan ProRoot MTA tamir materyali



Şekil 2.7. ProRoot MTA'nın MTA taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınması

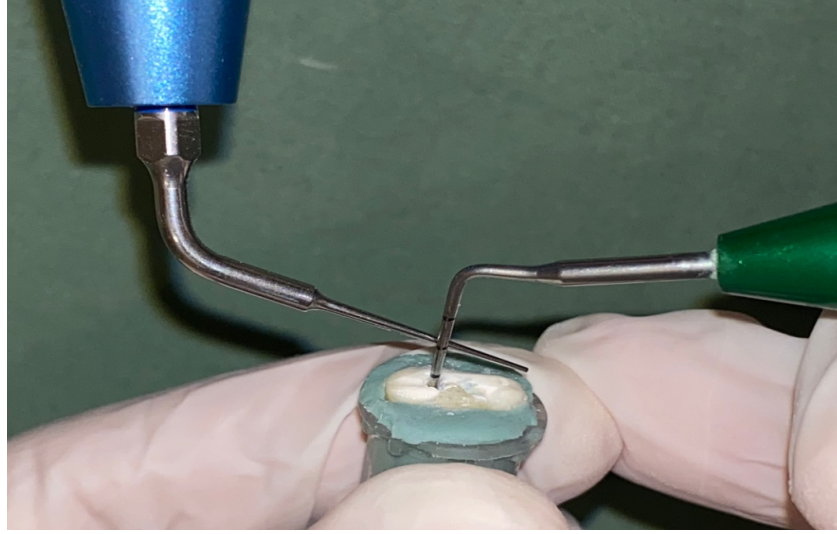


Şekil 2.8. ProRoot MTA'nın perforasyon alanına manuel kondansasyonu

Grup 2: Üretici firmanın talimatlarına göre hazırlanarak perforasyon alanına taşınan ProRoot MTA tamir materyali plugger ile kondense edildi. Daha sonra ultrasonik üniteye (UltraMint Pro, Eighteeth, Changzhou, Çin) takılan endodontik ultrasonik uç (E5-S, Eighteeth, Changzhou, Çin) (Şekil 2.9.) pluggerin sap kısmına temas ettirilerek 2 sn'lik ultrasonik güç ile indirekt aktivasyon yapıldı (Şekil 2.10.).



Şekil 2.9. Çalışmamızda kullanılan UltraMint Pro (Eighteeth, Changzhou, Çin) ultrasonik ünite.

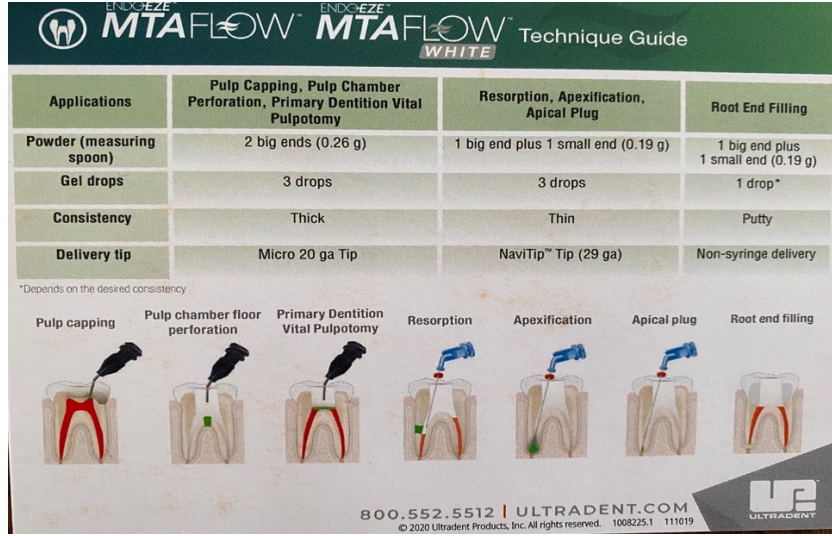


Şekil 2.10. Plugger sapına uygulanan ultrasonik güç ile tamir materyalinin indirekt aktivasyon ile yerleştirilmesi

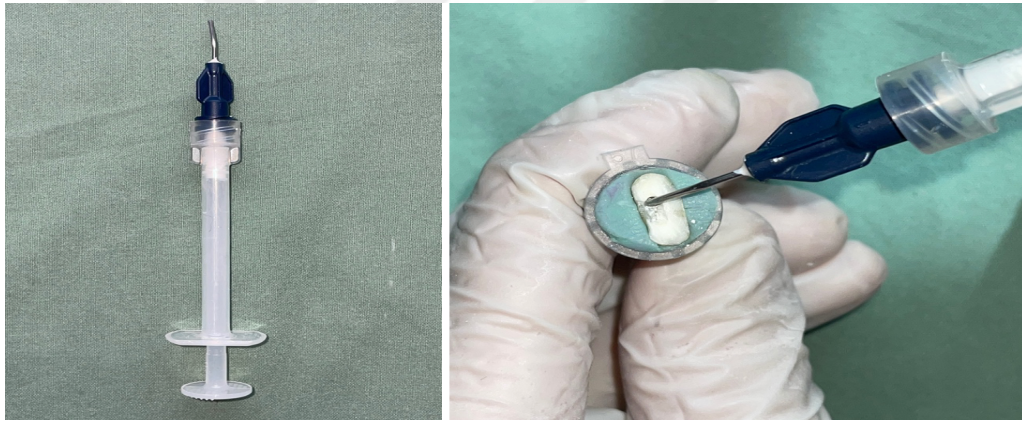
Grup 3: MTA Flow White (Şekil 2.11.) üreticinin perforasyon tamirinde kullanım talimatlarına göre (Şekil 2.12.) 2 büyük top (0,26 gr) toz 3 damla likit ile karıştırıldı. Karıştırılan materyal kendi taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınarak (Şekil 2.13.) plugger ile manuel olarak kondense edildi.



Şekil 2.11. Çalışmamızda kullanılan MTA Flow White materyali



Şekil 2.12. MTA Flow White kullanım kılavuzu



Şekil 2.13. MTA Flow White'in perforasyon alanına taşınması

Grup 4: Üretici firmanın talimatlarına göre hazırlanarak perforasyon alanına taşınan MTA Flow White tamir materyali plugger ile kondense edildi. Daha sonra ultrasonik üniteye takılan endodontik ultrasonik uç pluggerın sap kısmına temas ettirilerek 2 sn'lik ultrasonik güç ile indirekt aktivasyon yapıldı.

Grup 5: Üretici firmanın önerdiği doğrultuda 5 damla likit, toz içeren kapsüle ilave edilerek amalgamatörde 30 saniye süre ile karıştırıldı (Şekil 2.14.). Spatülle kapsülden alınan siman, MTA taşıyıcısıyla perforasyon alanına taşınarak plugger ile hafif bir basınç uygulanarak kondense edildi.



Şekil 2.14. Biodentine'in hazırlanması

Grup 6: Üreticinin talimatlarına göre hazırlanarak perforasyon alanına yerleştirilen Biodentine plugger'ın sapına uygulanan 2 sn'lik ultrasonik güç ile indirekt aktive edildi.

Sertleşmenin gerçekleşmesi için kanal ağzlarına nemli pamuk peletler yerleştirildikten sonra üzeri geçici dolgu maddesi (Cavit-G, 3M ESPE, Seefeld, Almanya) ile kapatıldı. Daha sonra tüm örnekler %100 nemli ortamda, 37⁰C'de 24 saat boyunca inkübatörde bekletildi. Materyaller sertleştikten sonra geçici dolgu maddesi ve pamuk peletler kanal ağzlarından uzaklaştırılarak Mikro-BT taramaları için örnekler silikondan çıkartıldı.

2.5.Örneklerin Mikro-BT'de Taranması

Bu tez çalışmasında örnekler yüksek çözünürlükte taranmak üzere mikro-BT (Bruker MicroCT SkyScan 1275, Kontich, Belgium) (Şekil 2.15) cihazının döner platformu üzerine ortodontik mum yardımıyla sabitlenmiş ve taramalar gerçekleştirilmiştir. Cihazın X ışını kaynağı 100 kVp ve 100 mA olacak şekilde ayarlanmıştır. Örnekler 0,5 mm Alüminyum filtresiyle, 0,2⁰ rotasyonla ışınlanmıştır. Her bir örnek 360 derece taranmış olup tarama süresi 48 dakikadır. Her görüntü 50 milisaniye pozlanmış, her açıdan 3 kez görüntü alınıp birleştirilerek tek görüntü haline

getirilmiş ve böylece gürültü (noise) oranı azaltılmıştır. Taramalar sonucunda herbir örneğin piksel boyutu 15.0 μm olacak şekilde ham görüntüleri elde edilmiştir.



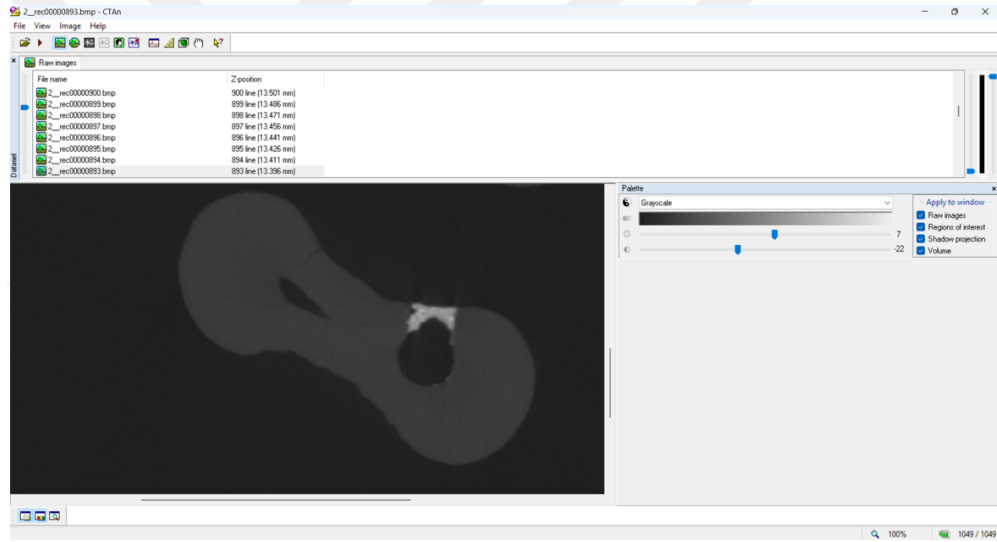
Şekil 2.15. Mikro-BT cihazı, Bruker MicroCT SkyScan 1275

2.6. Örneklerin Mikro-BT Rekonstrüksiyonu ve Analizi

Mikro-BT analizlerinde materyallerde oluşan iç ve dış boşluk hacmi değerlendirilmiştir.

Örneklerin rekonstrüksiyonu için NRecon (ver.1.7.4.2, Bruker MicroCT, Kontich, Belçika) yazılımı kullanılmıştır. NRecon yazılımı mikro-BT taramaları ile

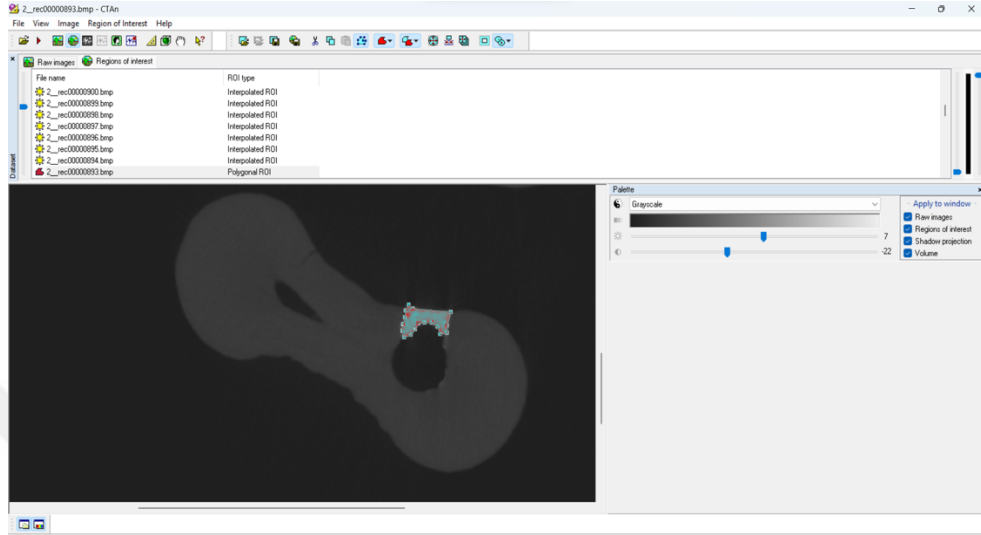
elde edilen ham görüntüleri algoritma yardımıyla birleştirerek her örneğin iç yapısının incelenmesine olanak sağlayan kısaca 3 boyutlu halde görülmesini sağlayan yazılımdır. Rekonstrüksiyon için ring artifaktı 7, düzleştirme parametresi 3, beam hardening %38 olacak şekilde belirlenmiştir. Kontrast ayarları üretici talimatlarına göre 0 ve 000000 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır. Ham görüntüler NRecon programı ile birleştirilerek her örneğin iç yapısının incelenmesine olanak sağlayacak şekilde BMP formatında kesitler elde edilmiştir. Bu kesitler; mikro-BT cihazıyla yapılan taramalardan elde edilen verileri kantitatif parametreler ve görsel modeller oluşturmakta kullanılan, densitometrik ve morfometrik ölçümlere olanak sağlayan CTAn (ver. 1.20.3.0. Bruker MicroCT, Kontich, Belçika) programına aktarılmıştır (Şekil 2.16.).



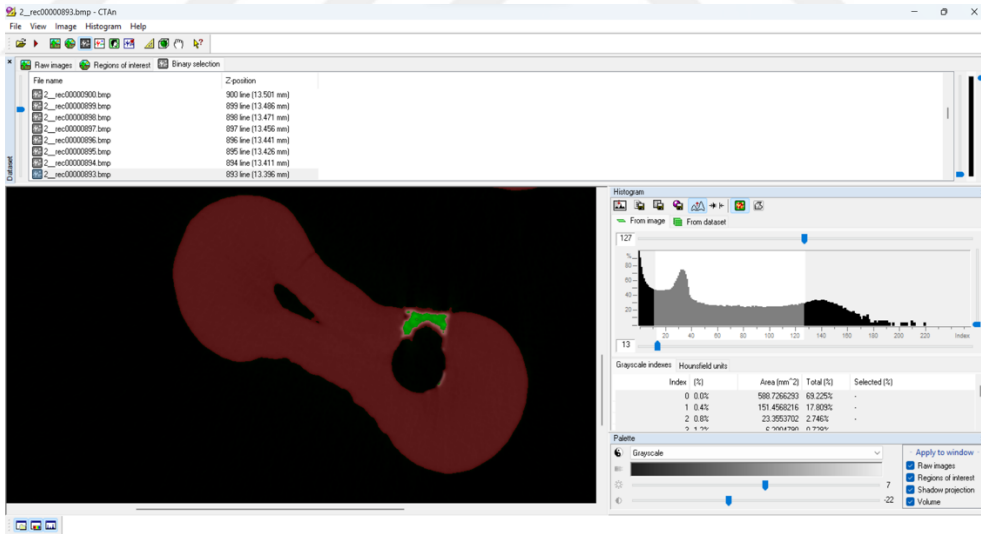
Şekil 2.16. Kesitlerin CTAn programına aktarılması

Daha sonra CTAn yazılımında, ölçüm yapılacak bölgenin sınırlarını belirlemek amacıyla kesitler üzerindeki ilgili alan (Region of Interest; ROI) çizilmiştir (Şekil 2.17.). ROI'nin belirlenmesi ile çizilen bölge içerisindeki vokseller siyah ve beyaz olarak görülmektedir. Siyah sıfır değerini verip minimum yoğunluklu alanları göstermektedir. Örneğin etrafını kaplayan hava ile örnek içindeki porözite siyah olarak görülmektedir. Standardizasyon için CTAn programının otomatik eşik değer verisi kullanılarak belirlenen ROI içerisinde boşluk hacimsel değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2.18). ROI içerisinde boşluk ve materyal miktarı hesaplandıktan sonra iç ve dış boşluk hacminin ayrıca hesaplanabilmesi için ROI alan miktarı değiştirilmiş ve sadece iç

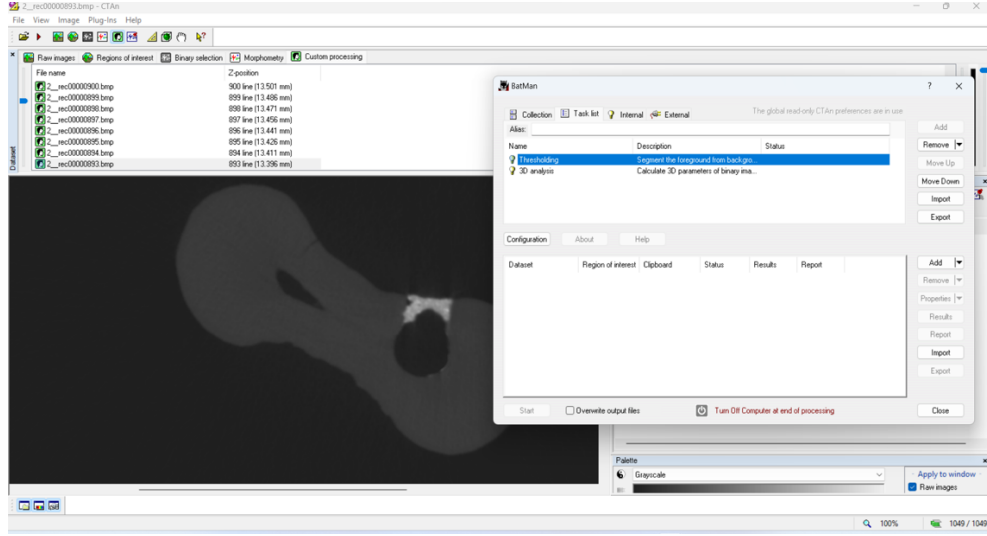
boşluğu içerecek şekilde ayarlanmıştır. Bu aşamadan sonra iç boşluk tekrar hesaplanmış, sonrasında boşluk hacimleri birbirlerinden çıkarılarak her iki hacimde hesaplanmıştır.



Şekil 2.17. Kesitler üzerinde ROI çizilmesi

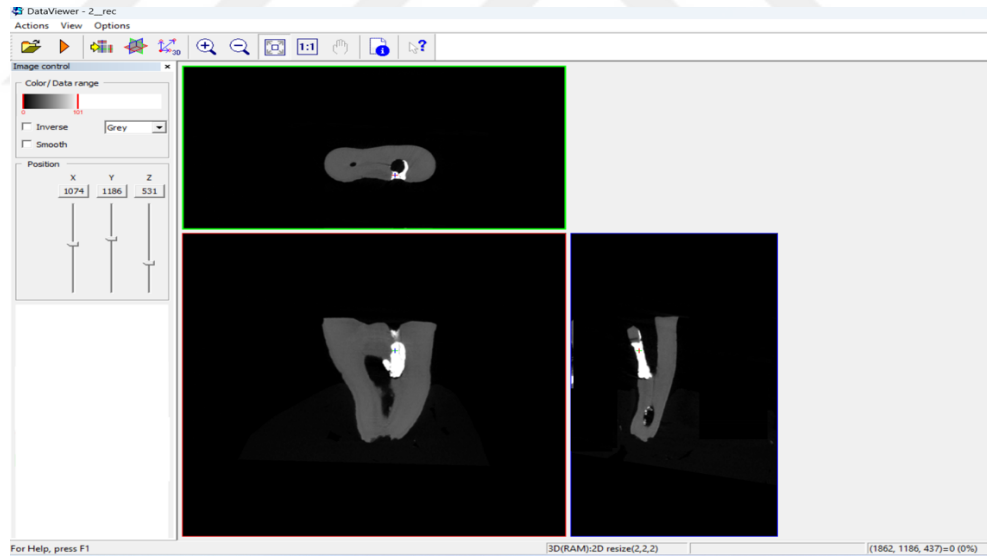


Şekil 2.18. Belirlenen ROI içerisindeki porözitenin belirlenmesi

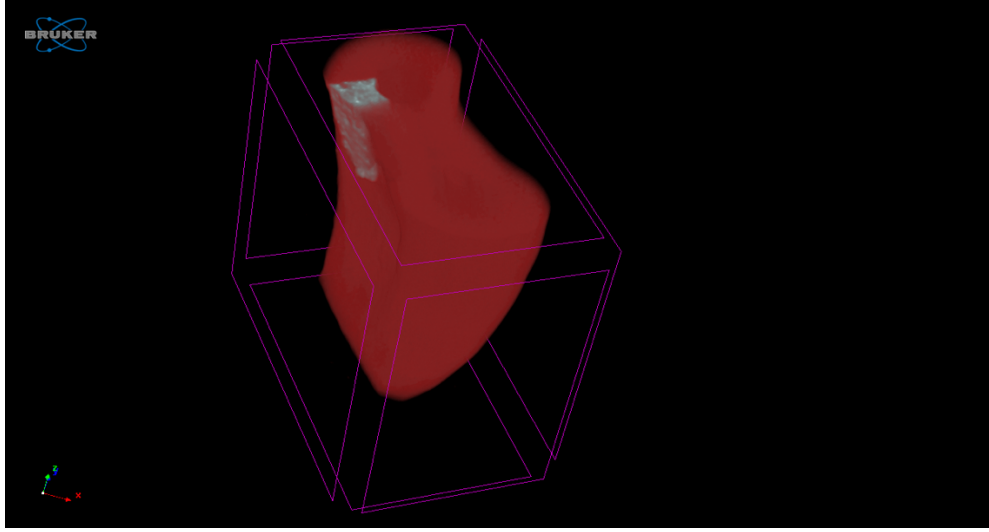


Şekil 2.19. Bir örneğin CTAn yazılımında analizi

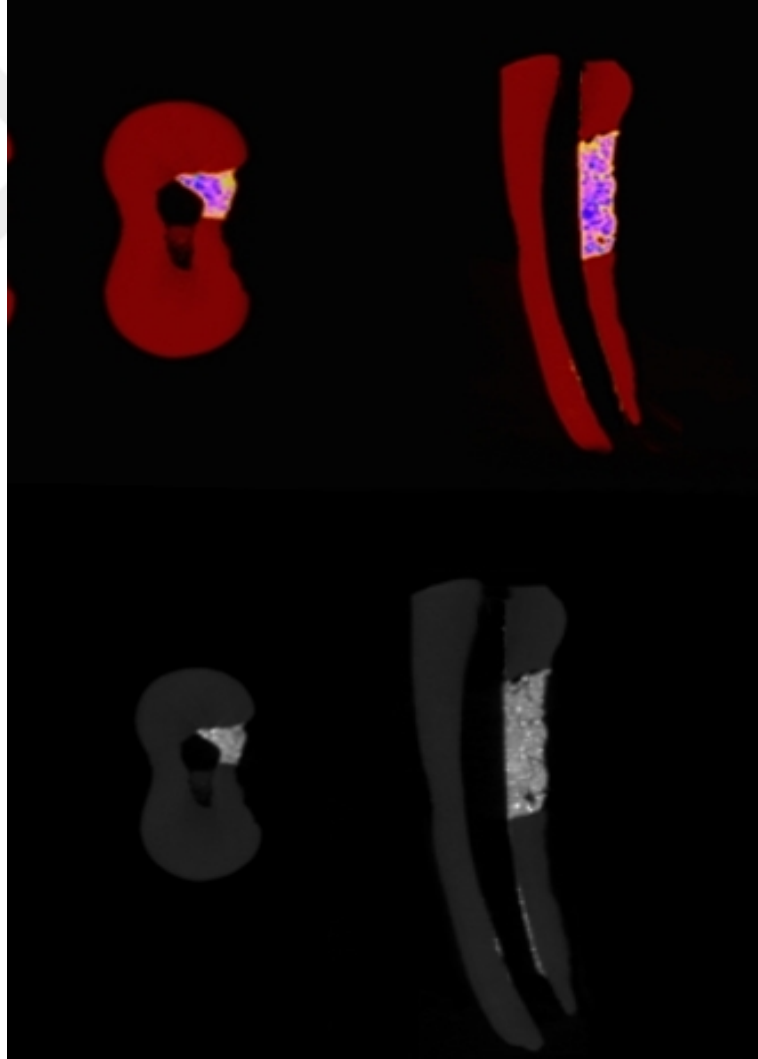
Ayrıca Data Viewer yazılımı görüntülerin x,y,z düzlemlerinde görüntülenmesinde (Şekil 2.20), CTvox yazılımı ise örneklerin 3 boyutlu olarak görüntülenmesinde kullanılmıştır (Şekil 2.21).



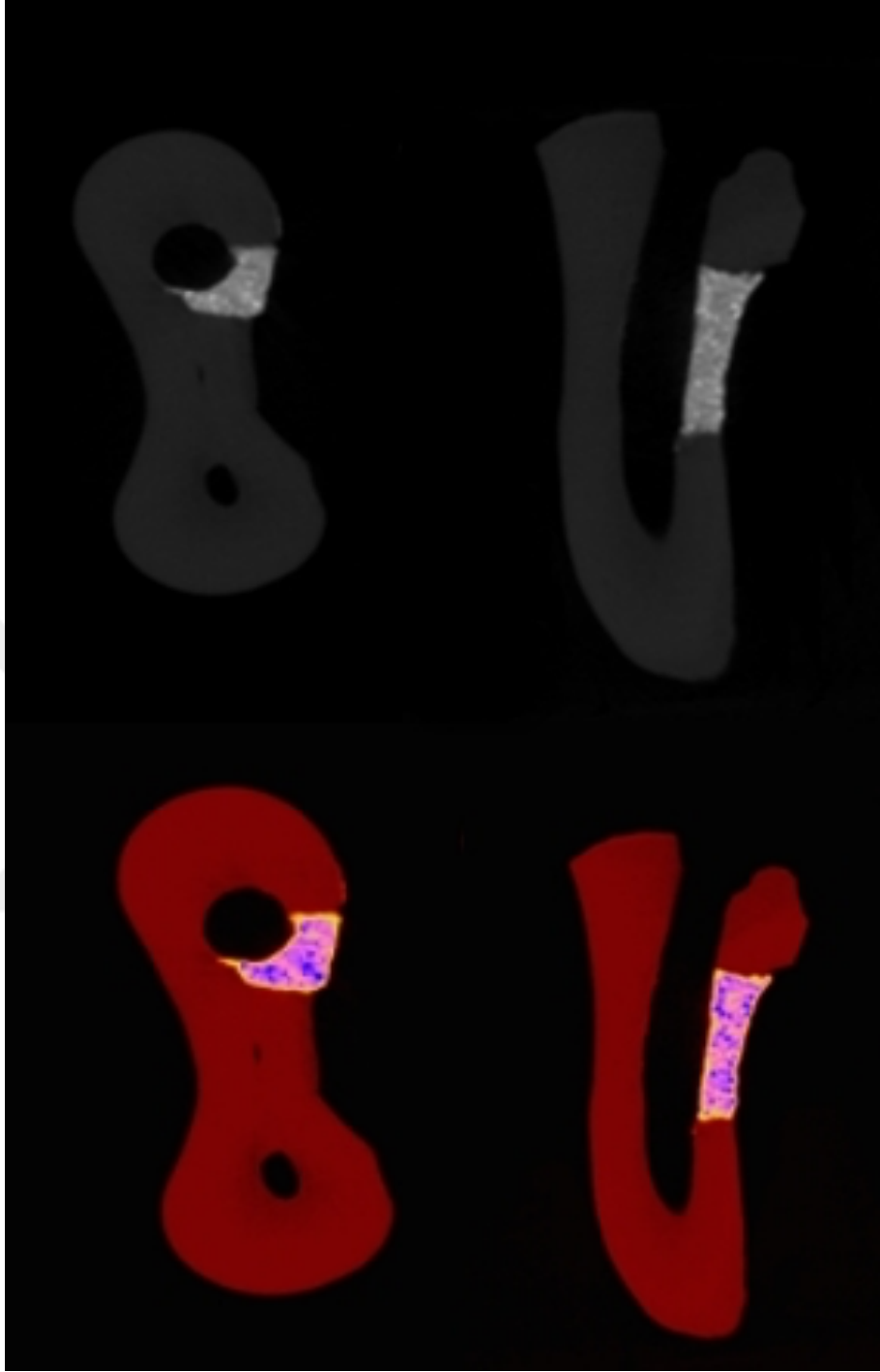
Şekil 2.20. Bir örneğin koronal, sagittal, transversal düzlemlerde Data Viewer ile görüntülenmesi



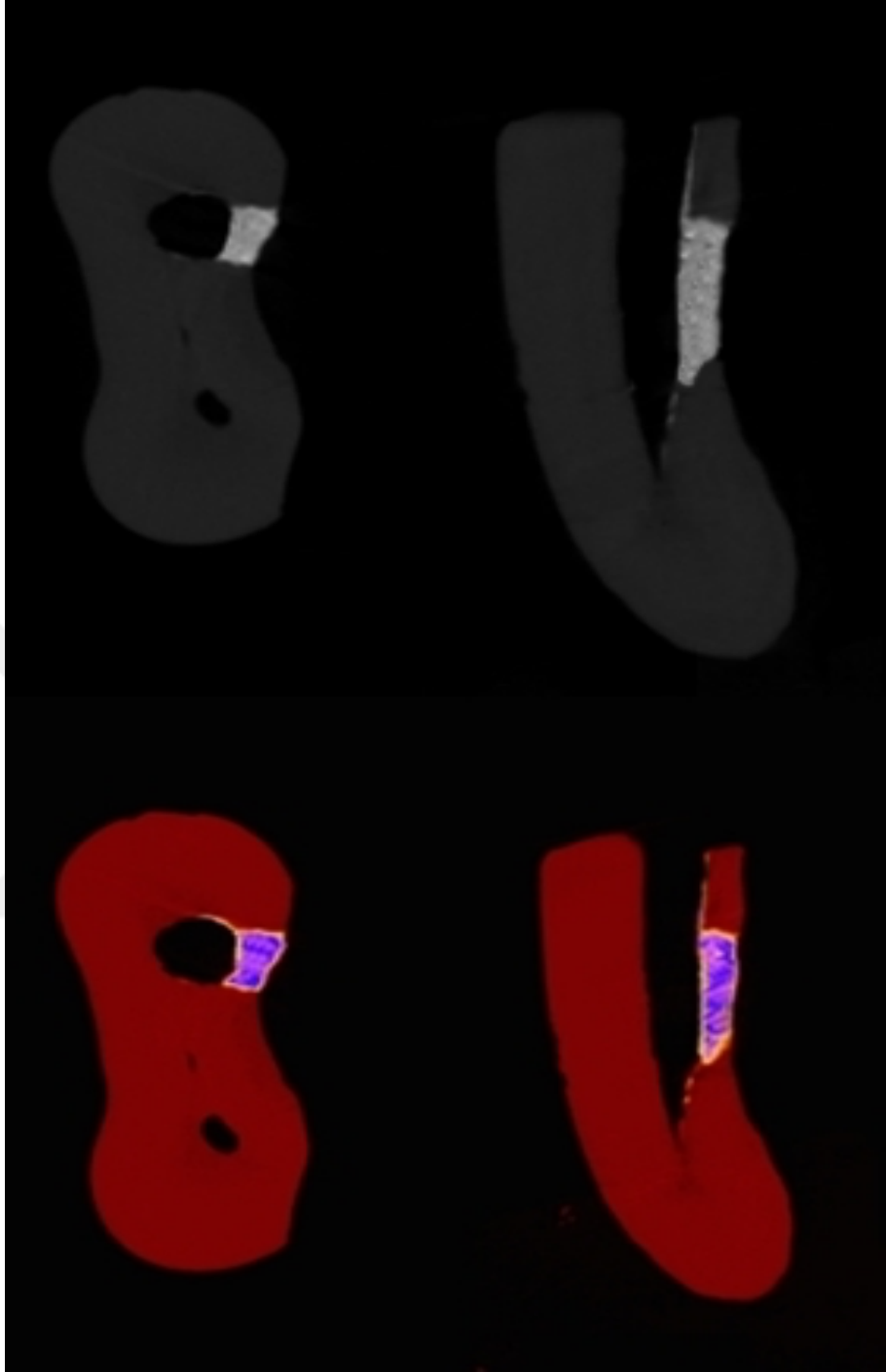
Şekil 2.21. CTvox ile bir örneğin 3 boyutlu olarak görüntülenmesi



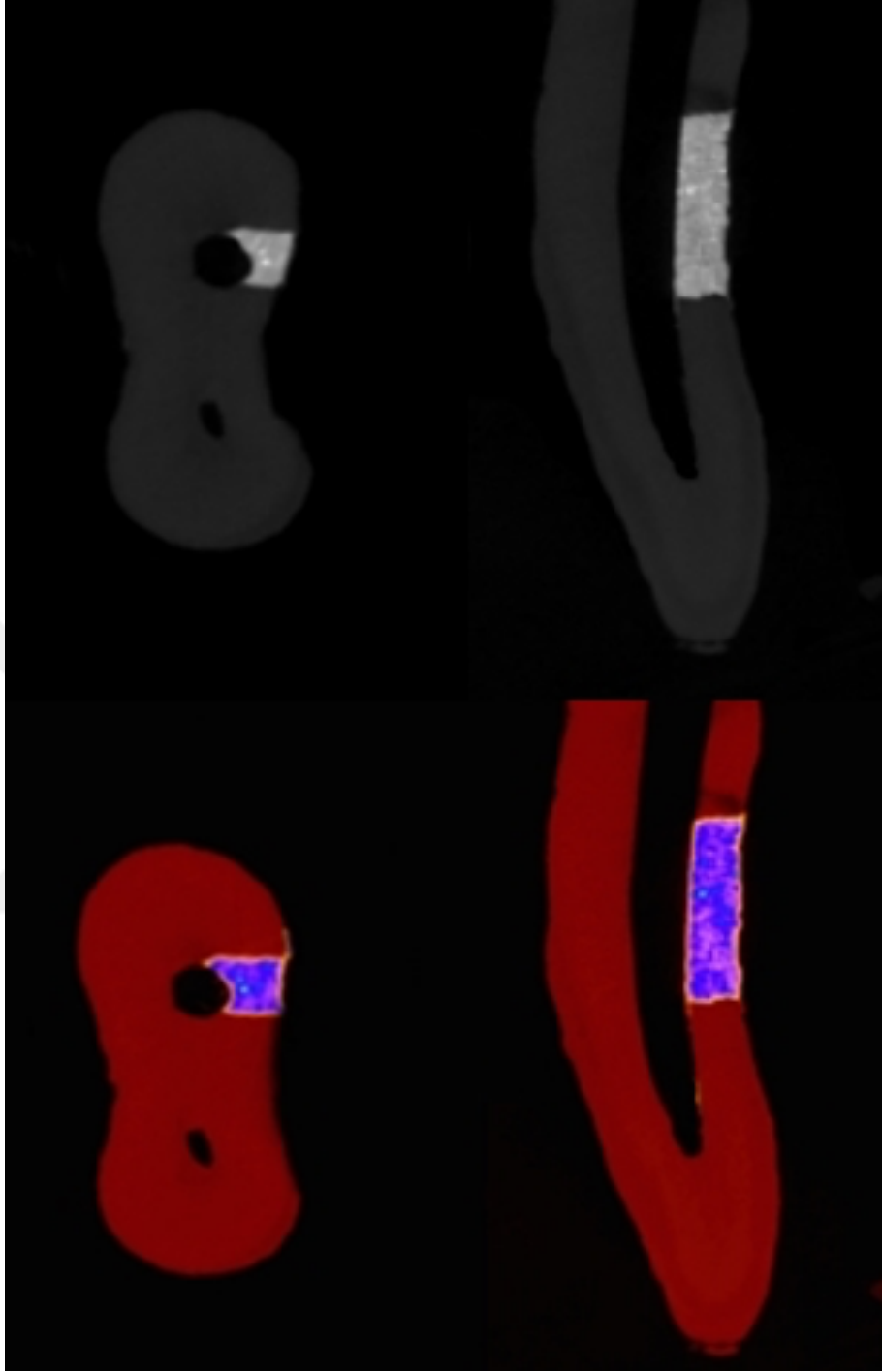
Şekil 2.22. Grup 1: ProRoot MTA + manuel kondansasyon'a ait bir inceleme örneği



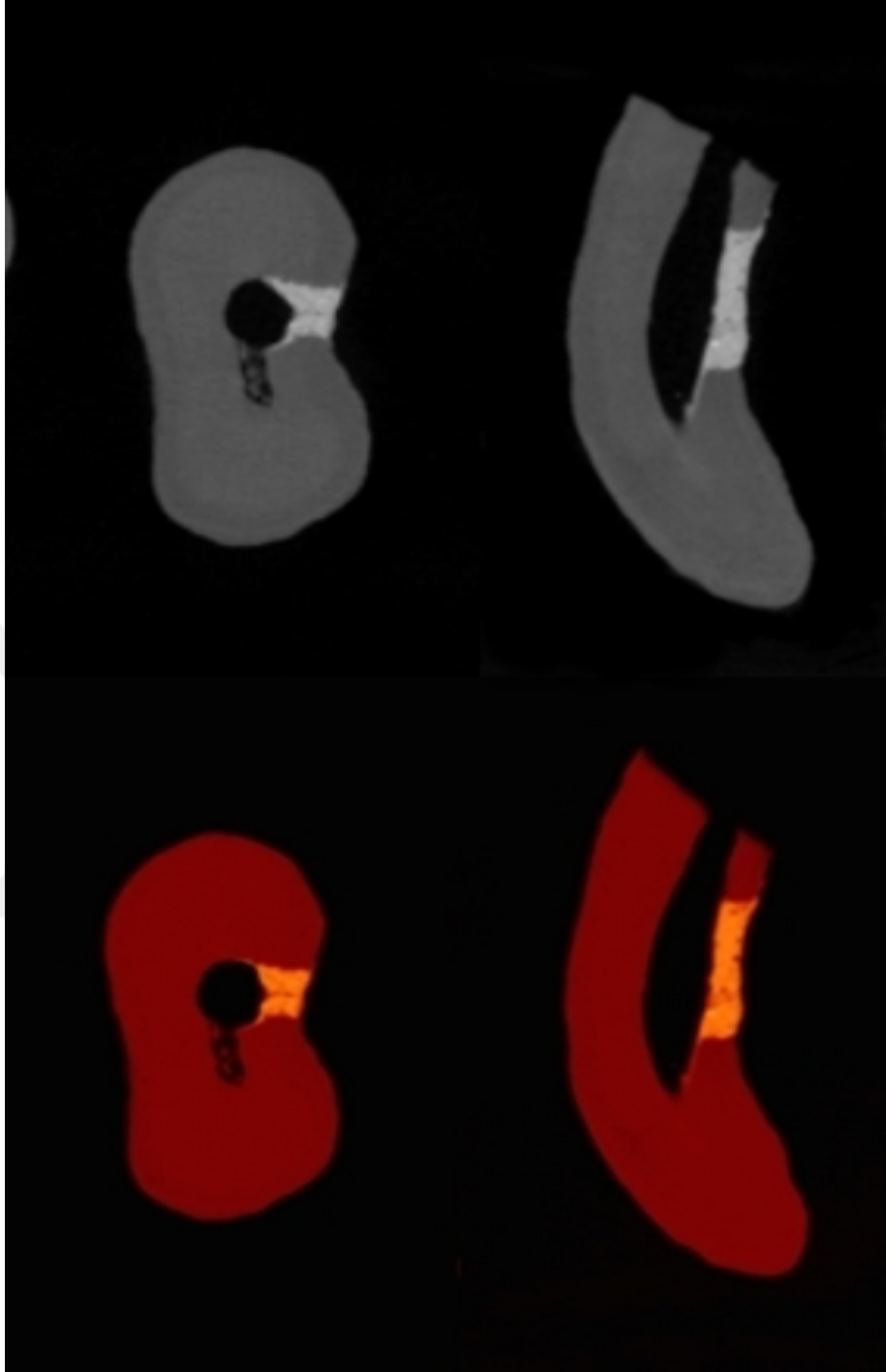
Şekil 2.23. Grup 2: ProRoot MTA + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği



Şekil 2.24. Grup 3: MTA Flow White + Manuel Kondansasyon'a ait bir inceleme örneği



Şekil 2.25. Grup 4: MTA Flow White + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği



Şekil 2.26. Grup 5: Biodentine + Manuel kondansasyon'a ait bir inceleme örneği



Şekil 2.27. Grup 6: Biodentine + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon'a ait bir inceleme örneği

2.7.İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Türkiye) programı kullanıldı.

Çalışma verileri değerlendirilirken parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilks testleri ile değerlendirilmiş ve parametrelerin normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk ve dış boşluk üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde Two-way ANOVA (Çift Yönlü Varyant Analizi) testi ve post hoc test olarak Tukey HDS testi kullanıldı.

Sonuçlar yorumlanırken anlamlılık düzeyi olarak 0,05 kullanılmış olup; $p \leq 0,05$ olması durumunda anlamlı bir farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı bir farklılığın olmadığı belirtildi.

3. BULGULAR

Bu çalışmada yapay perforasyon alanları oluşturulan çekilmiş dişler farklı tamir materyallerinin manuel kondansasyon ve indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilmesine göre iki gruba ayrıldı. Kullanılan tekniğe göre ayrılan grupların her birinde; ProRoot MTA, MTA Flow White ve Biodentine olmak üzere kullanılan tamir materyaline göre üç alt grup oluşturuldu. Her gruptaki örnekler mikro-BT görüntülemesi altında taranarak analiz edildi ve tamir materyalindeki iç boşluklar (porözite) ve materyal ile dentin arasındaki dış boşluklar ölçülerek mm³ cinsinden değerler elde edildi. Gruplar, örnek sayıları, minimum ve maksimum iç, dış boşluk değerleri aşağıdaki tabloda gösterildi (Çizelge 3.1.ve 3.2.).

Çizelge 3.1: Teknik ve materyale göre gruplar, örnek sayıları, minimum ve maksimum iç boşluk değerleri (mm³)

Teknik	Materyal	N	Minimum	Maksimum
Manuel	ProRoot MTA	10	0,110	0,498
Kondansasyon	MTA FlowWhite	10	0,004	0,159
	Biodentine	10	0.001	0.052
İndirekt	ProRoot MTA	10	0,019	0,175
Ultrasonik	MTA Flow White	10	0,003	0,015
Aktivasyon	Biodentine	10	0,001	0,021

Çizelge 3.2: Teknik ve materyale göre gruplar, örnek sayıları, minimum ve maksimum dış boşluk değerleri (mm³)

Teknik	Materyal	N	Minimum	Maksimum
Manuel	ProRoot MTA	10	0,476	0,895
Kondansasyon	MTA FlowWhite	10	0,170	0,419
	Biodentine	10	0,245	0,547
İndirekt	ProRoot MTA	10	0,353	0,772
Ultrasonik	MTA Flow White	10	0,140	0,332
Aktivasyon	Biodentine	10	0,273	0,420

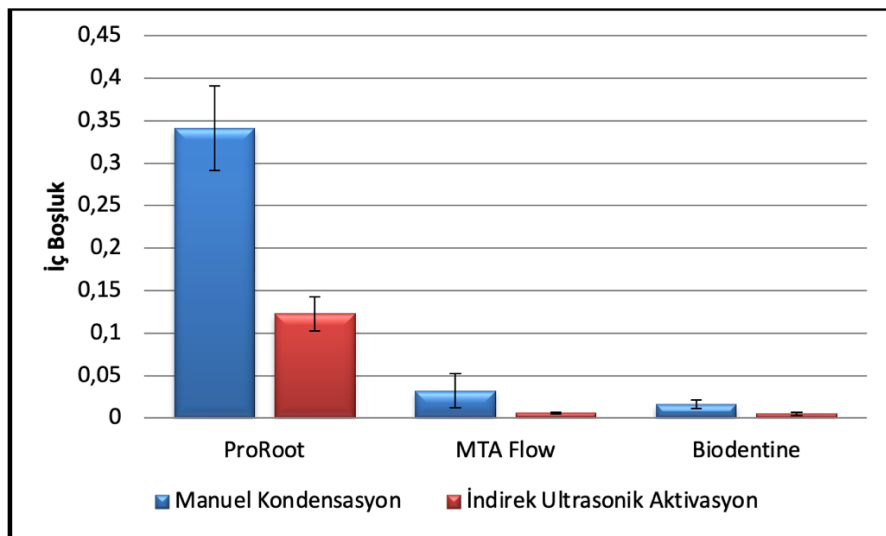
Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk üzerinde olan etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi Çizelge 3.3. ve Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk üzerinde olan etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi (mm³)

İç boşluk	ProRoot	MTA Flow	Biodentine	p
	Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	
Manuel Kondansasyon	0,341±0,05	0,032±0,02	0,016±0,005	0,001*
İndirekt Ultrasonik Aktivasyon	0,123±0,02	0,006±0,001	0,005±0,002	0,001*
p	0,003*	0,176	0,076	

Two-Way ANOVA Test

*p<0.05



Şekil 3.1. Uygulanan teknik ve kullanılan materyale göre ortalama iç boşluk değerleri (mm³)

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda (Çizelge 3.3.) uygulanan tekniklere ve materyallere göre iç boşluk düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p:0.001$; $p<0.05$).

Manuel kondansasyon uygulanan gruplarda iç boşluk düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirlendi ($p:0.001$; $p<0.05$). Anlamlılığın hangi materyaller arasında olduğunu tespit etmek için yapılan post hoc Tukey HSD test sonucunda; ProRoot MTA materyalinin iç boşluk ortalaması, MTA Flow White ($p:0.001$) ve Biodentine ($p:0.001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). MTA Flow White ve Biodentine arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

İndirek ultrasonik aktivasyon uygulanan materyaller arasında iç boşluk düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p:0.001$; $p<0.05$). Anlamlılığın hangi materyaller arasında olduğunu tespit etmek için yapılan post hoc Tukey HSD test sonucunda; ProRoot MTA materyalinin iç boşluk ortalaması, MTA Flow White ($p:0.001$) ve Biodentine ($p:0.001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). MTA Flow White ve Biodentine arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0.05$).

ProRoot MTA materyalinde; manuel kondansasyon uygulandığındaki iç boşluk ortalaması, indirekt ultrasonik aktivasyon uygulandığı durumdan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksektir ($p:0.003$; $p<0.05$).

MTA Flow materyalinde; teknikler arasında iç boşluk ortalamaları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p:0.176$; $p>0.05$).

Biodentine materyalinde; teknikler arasında iç boşluk ortalamaları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p:0.076$; $p>0.05$).

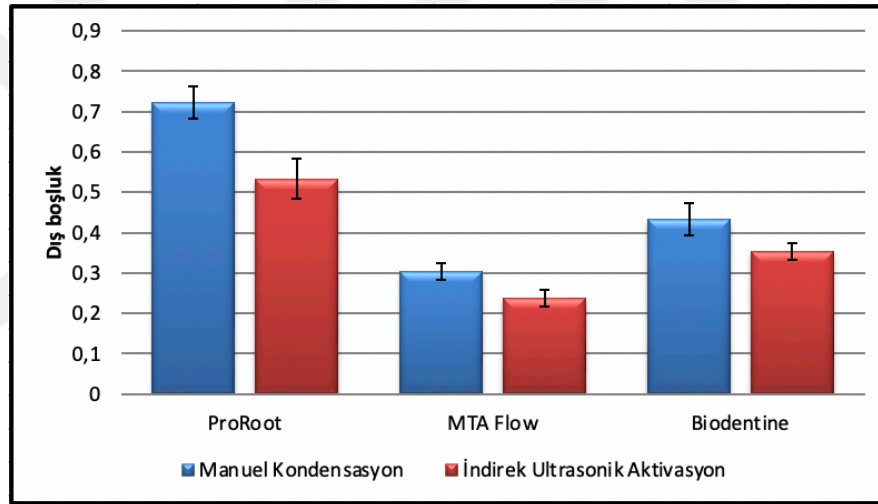
Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin dış boşluk üzerinde olan etkisi Çizelge 3.4.'de değerlendirilmiş olup Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin dış boşluk üzerinde olan etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi (mm³)

Dış boşluk	ProRoot	MTA Flow	Biodentine	p
	Ort±SS	Ort±SS	Ort±SS	
Manuel Kondansasyon	0,723±0,04	0,304±0,02	0,433±0,04	0,001*
İndirekt Ultrasonik Aktivasyon	0,533±0,05	0,238±0,02	0,354±0,02	0,001*
p	0,006*	0,039*	0,075	

Two-Way ANOVA Test

*p<0.05



Şekil 3.2. Uygulanan teknik ve kullanılan materyale göre ortalama dış boşluk değerleri (mm³)

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda (Çizelge 3.4.) materyallere ve tekniklere göre dış boşluk düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır (p:0.001; p<0.05).

Manuel kondansasyon uygulanan materyaller arasında dış boşluk düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır (p:0.001; p<0.05). Anlamlılığın hangi materyaller arasında olduğunu tespit etmek için yapılan post hoc Tukey HSD test sonucunda; ProRoot MTA materyalinin dış boşluk ortalaması, MTA Flow White (p:0.001) ve Biodentine (p:0.001) gruplarından anlamlı şekilde yüksektir (p<0.05).

Biodentine materyalinin dış boşluk ortalaması ise MTA Flow White'dan anlamlı şekilde yüksektir ($p:0.028$; $p<0.05$).

İndirekt ultrasonik aktivasyon uygulanan materyaller arasında dış boşluk düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p:0.001$; $p<0.05$). Anlamlılığın hangi materyaller arasında olduğunu tespit etmek için yapılan post hoc Tukey HSD test sonucunda; ProRoot MTA materyalinin dış boşluk ortalaması, MTA Flow White ($p:0.001$) ve Biodentine ($p:0.001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksektir ($p<0.05$). Biodentine materyalinin dış boşluk ortalaması, MTA Flow White'dan anlamlı şekilde yüksektir ($p:0.036$; $p<0.05$).

ProRoot MTA materyalinde; manuel kondansasyon uygulandığındaki dış boşluk ortalaması, indirekt ultrasonik aktivasyon uygulandığı durumdan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksektir ($p:0.006$; $p<0.05$).

MTA Flow White materyalinde; manuel kondansasyon uygulandığındaki dış boşluk ortalaması, indirekt ultrasonik aktivasyon uygulandığı durumdan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksektir ($p:0.039$; $p<0.05$).

Biodentine materyalinde; teknikler arasında dış boşluk ortalamaları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p:0.075$; $p>0.05$).

İstatistiksel analizler sonucu materyal ve tekniğin iç boşluk üzerindeki ortak etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0.01$). Materyal ve teknik bir arada iç boşluk düzeyini etkilemektedir (Çizelge 3.5.)

Çizelge 3.5: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin iç boşluk üzerinde olan ortak etkisinin değerlendirilmesi (mm³)

İç Boşluk	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	p
Materyal	0,630	2	0,315	51,88	0,001*
Teknik	0,107	1	0,107	17,656	0,001*
Materyal *					
Teknik	0,132	2	0,066	10,903	0,001*

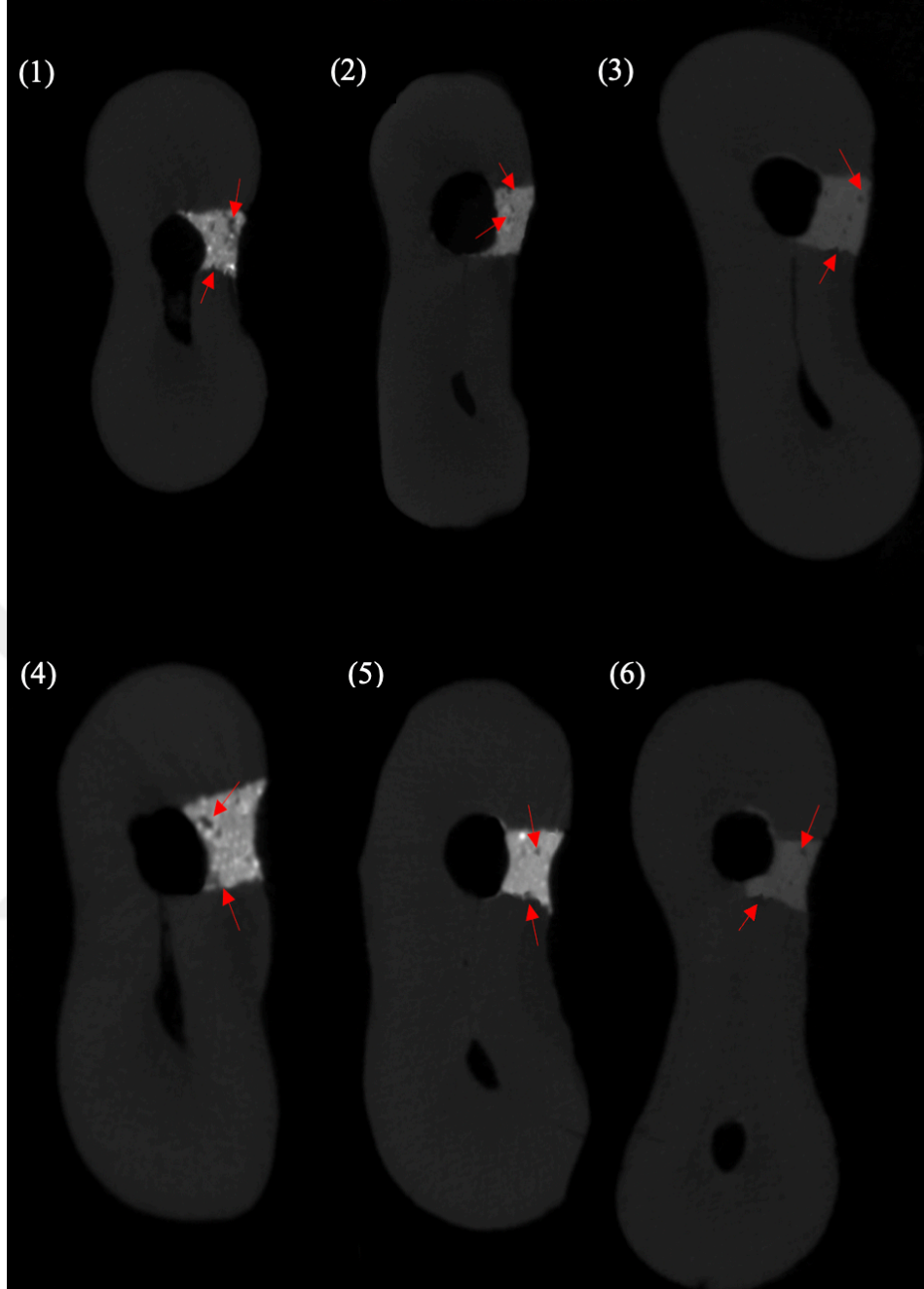
Two-Way ANOVA Test df: serbestlik derecesi, F: F dağılımı, *p<0.05

Materyal ve tekniğin dış boşluk üzerindeki ortak etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir (p:0.118; p>0.01). Materyal ve teknik bir arada dış boşluk düzeyini etkilememektedir (Çizelge 3.6.)

Çizelge 3.6: Kullanılan materyal ve uygulanan tekniğin dış boşluk üzerinde olan ortak etkisinin değerlendirilmesi (mm³)

	Kareler				
Dış Boşluk	Toplamı	df	Ortalama Kare	F	p
Materyal	1,319	2	0,659	62,516	0,001*
Teknik	0,188	1	0,188	17,791	0,001*
Materyal * Teknik	0,047	2	0,023	2,220	0,118

Two-Way ANOVA Test df: serbestlik derecesi, F: F dağılımı, *p<0.05



Şekil 3.3. CTAn yazılımı kullanılarak elde edilen, boşlukların (siyah), dolgu malzemesinin (beyaz) ve dentinin (gri) varlığını gösteren temsili mikro-BT kesitleri. (1): ProRootMTA + Manuel Kondansasyon, (2): MTA Flow White + Manuel Kondansasyon, (3): Biodentine + Manuel Kondenzason, (4): ProRoot MTA + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon, (5): MTA Flow White + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon, (6): Biodentine + İndirekt Ultrasonik Aktivasyon

4.TARTIŞMA

Kök kanal perforasyonları endodontik tedavi sırasında en sık görülen komplikasyonlardan biridir. Perforasyonlar, iç veya dış kök rezorpsiyonu, invaziv diş çürüğü gibi patolojik nedenlerle veya giriş kavitesi hazırlığı, kök kanal tedavisi, post yuvası hazırlığı sırasında meydana gelen iyatrojenik bir kazanın sonucu olabilir. Kök kanal tedavisi başarısızlıklarının %10'a kadarının perforasyonlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir (Sarao ve ark., 2021). Yapılan çalışmalarda ise yeniden tedavi edilen dişlerin %2-12'sinde iyatrojenik kök perforasyonu varlığı tespit edilmiştir (Fuss ve Trope, 1996; Friedman ve ark., 2003; Gorni ve Gagliani, 2004). Kvinnsland ve arkadaşlarına (1989) göre, bu tür durumların %53'ü prostodontik tedaviden kaynaklanırken %47'si rutin endodontik tedavi sırasında meydana gelmektedir.

Abou-Rasset ark. (1980) mandibular birinci molarların, mesiobukkal kökün furkasyon bölgesine bakan distal yüzeyini 'tehlikeli bölge' (Danger Zone) olarak adlandırmıştır. Daha fazla iç bükeyliğe ve daha ince dentin kalınlığına sahip bu bölgenin mine sement sınırının yaklaşık 2 mm altında olduğu bildirilmiştir (Berutti ve Fedon, 1992). Bu bölgede yapılan aşırı enstrümantasyondan kaynaklanan strip perforasyonlar; kök bütünlüğünün kaybına, komşu periodontal dokularda hasara ve bölgenin kontaminasyonuna neden olabilir (Kabtouleh ve ark., 2023).

Çalışmamızda klinik koşullar ile uyumlu sonuçlar alınabilmesi amacıyla çekilmiş daimî insan dişlerinin kullanılması tercih edilmiştir. Deney standardizasyonunun sağlanması amacıyla her grupta strip perforasyonun en çok meydana geldiği alt birinci daimî molar dişlerin mesiobukkal kanalları kullanılmış ve mine sement sınırının 2 mm altından yapay strip perforasyonlar oluşturulmuştur.

Perforasyon tedavisinde bakteriyel sızıntı veya tamir materyallerinin biyoyumluluğu prognozda etkili faktörlerdir. Kök perforasyonlarının onarımında amalgam, çinko oksit öjenol, kalsiyum hidroksit, cam iyonomer, kompozit rezinler gibi çok çeşitli materyaller kullanılmıştır. Ancak hiçbirisi kök onarımında osteojenik,

sementojenik, antibakteriyel etki ve sızdırmazlık yönünden yeterli koşulları karşılayacak ideal özelliklere sahip değildir (Parirokh ve Torabinejad, 2010).

Son yıllarda biyomedikal alanındaki gelişmeler doğrultusunda bioseramikler, iskeletsel onarım ve rekonstrüksiyonda kullanımı ile tıp alanında önemli bir yer almıştır. Diş hekimliğinde ise bu materyaller mineralizasyon oluşturmaları nedeniyle endodonti işlemlerinde özellikle apeksogenezis, apeksifikasyon, vital pulpa tedavileri, retrograd tıkama ve perforasyon onarımında uygulama alanı bulmuşlardır (Best ve ark., 2008).

Endodontide kullanılan biyoseramikler arasında kalsiyum silikat bazlı simanlar en yaygın olanlarıdır (Dawood ve ark., 2017). Mükemmel fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmanın yanı sıra biyouyumlulukları ve biyoaktiviteleri nedeniyle endodontik tedavide önemli bir rol oynarlar (Jitaru ve ark., 2016; Song ve ark., 2021). Endodontide uygulanan ilk biyoaktif seramik materyal olan mineral trioksit agregat (MTA), bugüne kadar üzerinde en çok çalışılan kalsiyum silikat esaslı biyoseramiktir (Khan ve ark., 2021). İyatrojenik olarak meydana gelen perforasyonların onarımında kullanılan materyallerin hem sızdırmazlık hem de mekanik dayanım göstermesi gereklidir. MTA'nın yavaş çözünmesi, nemden az etkilenmesi, sement formasyonuna izin vermesi, uygulanan bölgede kemik oluşumunu indüklemesi gibi özelliklerinden dolayı perforasyon tamiri için uygun bir materyal olduğu bildirilmiştir (Parirokh ve Torabinejad, 2010). MTA'nın strip perforasyon olgularında biyolojik başarısını, klinik ve radyografik olarak gösteren vaka çalışmaları mevcuttur (Yildirim ve Dalci, 2006; Adiga ve ark., 2010; Froughreyhani ve ark., 2013; Rathinam ve ark., 2016; Al Attas ve ark., 2022).

Bununla birlikte kalsiyum silikat esaslı ProRoot MTA'nın uzun sertleşme süresi, klinik olarak manipülasyonunu ve yerleştirilmesini zorlaştıran kısıtlamaları dezavantaj olarak bildirilmiştir (Roberts ve ark., 2008). Bu dezavantajlarına çözüm getirebilmek amacıyla materyalin bileşenlerine yapılan müdahaleler ile yeni biyoseramik simanlar piyasaya sürülmüştür. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla bu materyallerin sızdırmazlık,

porözite, dentinal adaptasyonları gibi fiziksel özellikleri ve biyolojik özellikleri değerlendirilmiştir.

Biodentin, MTA'ya alternatif olarak piyasaya sürülen kalsiyum silikat bazlı bir materyaldir. MTA ile karşılaştırıldığında, daha küçük partikül boyutu, iyi renk stabilitesi, nispeten daha kısa bir sertleşme süresi ve daha kolay kullanım özellikleri gösterir ve karıştırma işlemi mekanik olarak yapılır. Bununla birlikte MTA'ya benzer biyouyumluluk, düşük sitotoksisite ve mineralize doku oluşumunu takiben pulpa hücre farklılaşmasını indüklemeye kabiliyeti gösterir (Aslan ve ark., 2021).

Son yıllarda geliştirilmiş MTA Flow White; MTA'nın uzun sertleşme süresi, kumlu kıvamı ve yerleştirilmesindeki zorlukların getirdiği dezavantajların üstesinden gelinmesi amacıyla üretilmiştir (Pelepenko ve ark., 2021). Çeşitli toz/jel oranlarında karıştırılarak pürüzsüz bir kıvam elde edilebildiği ve sahip olduğu taşıyıcı sayesinde belirtilen alanlara daha kolay yerleştirilebildiği belirtilmiştir (Mondelli ve ark., 2019).

Perforasyon tedavilerinin başarısı kullanılan materyallerin sızdırmazlığı ile doğrudan ilişkilidir. Materyalin dentinal adaptasyonu sızdırmazlığını belirleyen kritik bir faktördür. (De Bruyne ve ark., 2006). Dentinal adaptasyon; partikül büyüklüğü, materyalin içeriği, sertleşme süresi, likit/toz oranı, karıştırma esnasında ve manipülasyonda meydana gelen problemlerden doğrudan etkilenmektedir (Caceres ve ark., 2021). Bu sebeple çalışmamızda likiti steril su olan kalsiyum silikat içerikli ProRoot MTA, likiti kalsiyum klorür ile polimerden oluşan, diğer materyallerden farklı olarak mekanik yöntemle karıştırılan kalsiyum silikat içerikli Biodentine ve silikon içeren su bazlı likite sahip, farklı kıvamda kullanıma olanak sağlayan, kendisine ait bir taşıyıcısı bulunan kalsiyum silikat içerikli MTA Flow White materyali karşılaştırılmıştır.

Yerleştirilmesinde teknik hassasiyet gerektirmesi ve en etkili yerleştirme tekniği konusunda henüz fikir birliği sağlanamaması MTA'nın dezavantajlarından biridir (Bogen ve Kuttler, 2009; El-Ma'aite ve ark., 2012). Bu nedenle, yerleştirme tekniklerinde farklı yöntemler denenerek MTA'nın porözite ve adaptasyon özellikleri

üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Basturk ve ark., 2014; Parashos ve ark., 2014). Bazı çalışmalarda MTA manuel kondansasyon ile yerleştirildiğinde direkt ultrasonik aktivasyona göre materyalde daha fazla yoğunluk ve daha az boşluk gözlemlendiği bildirilmiştir (Aminoshariae ve ark., 2003; El-Ma'aita ve ark., 2012). Buna karşılık MTA'nın indirekt ultrasonik aktivasyon yöntemi ile yerleştirilmesinin daha yoğun bir kök kanal dolgusu, daha az boşluk ve daha yüksek basınç dayanımı sağladığı sonucuna varan çalışmalar mevcuttur (Yeung ve ark., 2006; Basturk ve ark., 2014; Parashos ve ark., 2014). Son yıllarda perforasyon bölgesine tamir materyalinin yerleştirilmesinde indirekt ultrasonik aktivasyonla yerleştirme tekniği tercih edildiğinden çalışmamızda manuel yerleştirme tekniği ile karşılaştırılmak istenmiştir.

Ghasemi ve ark. (2017) ultrasonik aktivasyonla kondansasyonun süresi ve enerjisindeki artışın porözite miktarını arttırdığı ve dentin duvarına düşük adaptasyonla sonuçlandığını göstermiştir. Parashos ve ark. (2014) MTA'ya 2 saniyeden 18 saniyeye kadar farklı sürelerde indirekt yöntemle ultrasonik aktivasyon uygulanmasının bazı fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İndirekt ultrasonik aktivasyon uygulama süresi arttıkça mikrosertlik değerleri düşmüş, boya penetrasyonu artmıştır. İndirekt aktivasyonun 2 sn uygulandığı örneklerde mikrosertlik manuel kondansasyona göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Araştırmacılar aktivasyonun 2-8 saniyelik periyotlarda uygulanmasının 10-18 saniyelerdeki uygulamalara göre materyalde çok daha az boşluk bıraktığını fakat uzun süreli uygulamanın MTA'nın özelliklerini olumsuz olarak etkilediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar aşırı ultrasonik aktivitenin MTA'nın özelliklerini olumsuz etkilediği ve materyal özelliklerini iyileştirmek için 2 saniyelik bir aktivasyon süresinin yeterli olduğunu bildirmişlerdir (Parashos ve ark., 2014). Bu bilgiler doğrultusunda çalışmamızda indirekt ultrasonik aktivasyon ile kondansasyon yapılan örneklerde plugger sapına uygulanan aktivasyon süresi 2 sn ile sınırlı tutulmuştur.

Adaptasyon değerlendirilmesinde kullanılan başlıca görüntüleme yöntemleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), lazer taramalı konfokal mikroskop (CLSM), elektrokimyasal araçlar ve mikro-BT gibi üç boyutlu inceleme teknikleridir (Torabinejad ve ark., 1994).

Işık mikroskobu ve lazer konfokal tarama mikroskobu; kanal dolgusunun değerlendirilmesinde dentin tübüllerine penetre olan pat miktarı, boşluklar, guta-perka ve pat ile dolu alanların yüzdesini saptamada ve perforasyon tamir materyali ile dentin arasında oluşan boşlukları saptamada kullanışlı olmasına rağmen bu morfolojik değerlendirme teknikleri ince ara yüzey boşluklarını ölçmek için gerekli çözünürlüğe sahip değildir (Ørstavik ve ark., 2001).

Tarama elektron mikroskobunun avantajı, ara yüzeyleri incelemede yüksek kaliteli çözünürlük sunmasıdır. Temel dezavantajları ise örneklerin hazırlanması sırasında artefaktların oluşabilmesi, laboratuvar sürecinde örneğin dehidrate olabilmesi ve yüksek vakumlu ortamın örneklerde artefaktiyel ara yüzey boşluğuna sebep olabilmesidir (Li ve ark., 2014). Ayrıca Torabinejad ve ark. (1995), materyallerin marjinal adaptasyonunun SEM altında değerlendirilmesinde uzunlamasına alınan kesitlerin istenmeyen boşluklar oluşturabileceğini ve bunun sonucu olarak da yanıltıcı sonuçların ortaya çıkabileceğini bildirmişlerdir.

Endodontide mikro-BT kök kanal morfolojilerinin, mineralize doku miktarının (Keles ve Keskin, 2018), ege sistemleri uygulanması sonrası kök dentin defektinin (Bayram ve ark., 2017), ege sistemlerinin şekillendirme etkinliğinin (Guimaraes ve ark., 2017), taşan debrisin (Lopes ve ark., 2018), kullanılan pat ve dolgu materyallerinin kalitesinin (Huang ve ark., 2017; Huang ve ark., 2018) belirlenmesinde kullanılmaktadır. Materyallerin internal yapısının niceliksel ve niteliksel olarak değerlendirilmesini sağlar. Porözite gösteren materyallerin açık, kapalı porlarının tespitinde, oranının, yüzey alanının, hacminin, lokalizasyonunun belirlenmesinde mikro-BT 3 boyutlu analiz sağlamaktadır (Huang ve ark., 2018). Örnek üzerinde herhangi bir bozulma oluşmadan görüntünün tekrar tekrar incelenebilmesi önemli bir avantajdır. Aynı zamanda taranan cismin üç boyutlu görüntüsü elde edilerek kayıt altına alınabilir ve veriler istenirse biyolojik, histolojik, mekanik testlerle kıyaslanabilir. Bu bilgiler doğrultusunda, çalışmamızda hazırlanan örneklerin biyoseramik esaslı ProRoot MTA, MTA Flow White ve Biodentine'in sızdırmazlığına etkisi olan dentinal adaptasyonun günümüzde geçerli bir yöntem olan

mikro-BT taramaları yapılarak perforasyon bölgesindeki tamir materyalinde oluşan iç ve dış boşluk miktarları analiz edilmiştir.

Literatürde kullanılan mikro-BT taramalarında dental simanların iç ve dış boşluk değerlendirilmesi için belirli yüzde oranı ya da sabit bir porözite derecesi rapor edilmemiştir (Malkoç ve ark., 2015). Bu nedenle diğer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kontrol grubu kullanılmamış, test edilen materyallerin boşluk ölçümleri kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Porözite, biyoseramik esaslı simanların doğal karakteristik bir özelliğidir. Porözite materyalin absorpsiyonunu, geçirgenliğini ve çözünürlüğünü artırarak, marjinal adaptasyonunu, sızdırmazlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Milutinović-Nikolić ve ark., 2007).

Çalışmamızın sonuçlarında Biodentine ve MTA Flow White materyali porözite açısından hem manuel kondansasyon kullanılan gruplarda hem de indirekt ultrasonik aktivasyon ile kondanze edilen gruplarda ProRoot MTA'dan anlamlı derecede daha düşük porözite göstermiştir. MTA Flow White ve Biodentine grupları arasında ise anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde De Souza ve ark. (2013)'nın yürüttüğü *in vitro* bir çalışmada Ceramicrete, iRoot BP Plus, ProRoot MTA ve Biodentine'in poröziteleri karşılaştırılmış ve materyaller mikro-BT ile analiz edilerek değerlendirilmiştir. Sonuçlar bu materyaller arasında porözite açısından anlamlı bir fark olmadığını, ancak istatistiksel olarak anlamlı olmasa da Biodentine'in porözite oranının daha az olduğu, bu durumun karıştırma esnasında az miktarda su içermesi ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Bu sonucu destekler nitelikte Camilleri ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada Biodentine'in MTA'ya göre daha düşük porözite gösterdiğini bildirmişlerdir. ProRoot MTA ve Biodentine'in silikon kalıplara gömülerek porözite miktarlarının mikro-BT ile değerlendirildiği başka bir çalışmada da Biodentine'in anlamlı derecede daha az porözite gösterdiği belirtilmiştir (Guerrero ve Berástegui, 2018). Akıncı ve ark. (2020) MTA, Biodentine ve BioAggregate materyallerinin asidik

ortamda porözitelerini mikro-BT ile değerlendirmiştir. Asidik ortamda Biodentine, BioAggregate ve MTA'dan anlamlı derecede daha az porözite göstermiştir. Buna karşılık, Agraftioti ve ark. (2016) asidik koşullarda Biodentine ve MTA arasında porözite açısından anlamlı bir fark bulmamıştır. Bu sonuçlardaki farklılığın deneylerde kullanılan asit türlerinden kaynaklanıyor olabileceği bildirilmiştir (Akinci ve ark., 2020).

Biodentine'in ProRoot MTA'ya göre daha az porözite göstermesi, daha küçük partikül boyutuna sahip olması ve mekanik olarak karıştırılması nedeniyle operatör hatası riskinin en aza inerek daha yoğun ve homojen bir karışım elde edilmesi ile açıklanabilir.

MTA Flow White'in hidrasyonu için kullanılan su bazlı jel ile materyalin erken dönemde çözünmeye karşı (wash-out) daha dayanıklı hale gelmesinin sağlandığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Formosa ve ark., 2013; Guimaraes ve ark., 2017). Formosa ve ark. (2013) MTA Flow White materyalinin likit kısmında bulunan jelin, materyalin manipülasyonunu kolaylaştırdığını, fiziksel özelliklerini geliştirdiğini, basınç dayanımını arttırdığını, sertleşme süresi ve gözenekliliğini azalttığını bildirmişlerdir. ProRoot MTA'ya göre sertleşme süresinin daha düşük olması ve likit içeriği sayesinde erken dönemde çözünmeye karşı daha dirençli olması çalışmamızda porözite açısından daha iyi sonuçlar göstermesini açıklayabilir. ProRoot MTA içeriğinde radyopak ajan olarak bulunan bizmut oksit, hidrasyon reaksiyonuna müdahale ederek ve materyal içinde daha fazla reaksiyona girmemiş su bırakarak iç boşluk özelliklerini olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir (Coomaraswamy ve ark., 2007). Bu olumsuz özelliğiyle öne çıkan bizmut oksit yerine MTA Flow White materyali içerisinde radyopak ajan olarak tantal oksit bulunmaktadır. Bizmut oksit yerine Biodentine içerisinde radyopak ajan olarak bulunan zirkonyum oksit biyoinert bir maddedir ve boşluk oluşumunda bir etkisi bulunmamaktadır (Gilles ve Olivier, 2011). Ayrıca Camilleri ve ark. (2013a, 2013b) yaptıkları iki çalışmada, tozunda büyük partikül içeren simanların karıştırıldıktan sonra porözitenin daha fazla görülebildiğini vurgulamışlardır. Çalışmamızda kullanılan MTA Flow White

materyali de Biodentine gibi ProRoot MTA'dan daha küçük partikül boyutlarına sahiptir ve bu durumun daha az porözite göstermelerine katkı sağladığı düşünülmüştür.

Bu çalışmada değerlendirilen diğer bir parametre, perforasyon tamir materyalleri ile dentin duvarları arasındaki dış boşluk hacmidir. Materyal ile dentin yüzeyi arasında bulunan dış boşluklar, materyalin geçirgenliğini artırır ve marjinal adaptasyonunu ve sızdırmazlık kabiliyetini olumsuz etkiler (Celikten ve ark., 2022). Mikrosızıntıyı önlemek için biyoaktif partiküllerin dentin tübüllerine derinlemesine nüfuz etmesi gerekir. Ara yüzeydeki dış boşlukların sayısı, siman partiküllerinin dentin yüzeyine adaptasyonu hakkında fikir verir (Bolhari ve ark., 2015).

Çalışmamızda uygulanan her iki teknikte de MTA Flow White materyali ile tamir edilen gruplarda Biodentine ve ProRoot MTA gruplarına göre anlamlı derecede daha düşük arayüz boşluğu gözlemlendi. Bununla birlikte Biodentine ile tamir edilen gruplarda da ProRoot MTA gruplarına göre daha az boşluk gösterildi.

Literatürde MTA Flow White materyalinin adaptasyonu ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. MTA Flow White'in adaptasyonu ile yapılan çalışmaların çoğu bizim sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Koronal perforasyonların tedavisi için *in vitro* yapılan bir çalışmada perforasyonlar ProRoot MTA ve MTA Flow materyalleri ile tedavi edilmiş ve marjinal adaptasyonlar SEM görüntülenmesi altında incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre MTA Flow ile tamir edilen örneklerde daha az marjinal boşluk gözlemlendiği belirtilmiştir (Dewi ve ark., 2017). El-Sherief ve ark. (2019) kök ucu dolgu materyali olarak kullandıkları Harvard MTA (Universal, Handmix, Germany, Harvard), MTA Flow ve cam iyonomer simanın dentinal adaptasyonlarını SEM görüntülenmesi altında incelemişlerdir. Çalışma sonucunda en fazla boşluk cam iyonomer simanda görülmüş olup Harvard MTA ile MTA Flow arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmasa da MTA Flow'un en az boşluğu gösterdiği bildirilmiştir.

Garcia ve ark. (2021) ince, kalın ve macun kıvamında kullanıma izin veren MTA Flow'u üç farklı kıvamda kullanarak MTA Angelus ve Biodentine'in marjinal

adaptasyonlarını değerlendiren bir çalışma yapılmıştır. Bu alışmada MTA Flow kalın ve macun kıvamda en yüksek intratübüler infiltrasyon sağlayarak en iyi marjinal adaptasyonu göstermiştir. Biodentine de MTA Angelus'tan daha fazla intratübüler infiltrasyon sağlayarak daha iyi bir marjinal adaptasyon gösterdi. MTA Flow 'ince' kıvamda diğer örnek gruplarından daha düşük marjinal adaptasyon göstermiştir. MTA Flow 'ince' kıvamda daha seyreltik bir kıvama sahiptir ve iyi intratübüler infiltrasyon göstermesi beklenir ancak kıvamı nedeniyle yıkama (wash-out) etkisine maruz kalabilmektedir (García ve ark., 2021). Bu çalışmaların sonuçları bizim çalışmamızda da üreticinin perforasyon tamirindeki kullanım talimatlarına göre kalın kıvamında kullanılan MTA Flow White materyalinin en düşük arayüz boşluğunu gösterdiği sonuçlarımızı desteklemektedir.

MTA Flow White, MTA'ya kıyasla iyileştililmiş maniplasyon ve taşınma özelliklerinin yanı sıra daha hızlı sertleşme süresi ve dolayısıyla artan arınma direnci nedeniyle klinik uygulanabilirlik açısından geleneksel MTA'ya göre avantajları vardır (Guimaraes ve ark., 2017; Drukteinis ve ark., 2019). Likit kısmı, jel formunda wash-out etkisine karşı güçlendirilmiş ve kendine ait bir taşıyıcı geliştirilmiştir. Böylelikle alışmamızda kullanılan diğer materyallerden farklı olarak likit toz oranına müdahaleler ile klinisyene materyalin manipüle edilmesini kolaylaştırarak çeşitli kıvamlarda kullanabilme ve bu kıvamların kendi taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınabilmesini sağlamaktadır. Materyalin wash-out etkisine karşı güçlendirilmesi ve sertleşme süresinin azaltılması erken dönemde yıkama etkisi karşısında çözünmesinin önüne geçerek dentin ile arasında oluşabilecek boşluk miktarını azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca taşıyıcının ulaşılması zor olan strip perforasyon alanına iletilmesinin sağladığı bu kolaylık perforasyon alanında manipülasyona da katkıda bulunarak adaptasyonu arttırabileceği düşünülmektedir. Ultra ince partikül boyutu ile MTA'nın kumlu kıvamına kıyasla daha yumuşak bir kıvamda kullanılmasına izin vererek ve dentin tübüllerine daha iyi nüfus edebileceği bildirilmiştir (Silva ve ark., 2016). MTA Flow White alışmamızda kullanılan ProRoot MTA ve Biodentine'den daha yumuşak bir kıvama sahiptir. Bu da diğer materyaller göre MTA Flow White materyaliyle tamir edilen örneklerde dentin ile daha az boşluk oluşmasını açıklayabilir.

Çalışmamızda Biodentine materyalinde ProRoot MTA'ya kıyasla daha az dış boşluk gözlemlendi. Biodentine ve MTA materyalinin adaptasyonunun değerlendirildiği pek çok çalışma mevcuttur.

Biodentin, MTA ve cam iyonomer simanın dentine marjinal adaptasyonu üzerine yapılan bir SEM çalışması, Biodentin'in MTA ve cam iyonomer simana kıyasla dentine daha iyi marjinal adaptasyon gösterdiği sonucuna varmıştır (Sulaiman ve ark., 2014). Bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak Ravichandra ve ark. (2014) çalışmalarında dentin ile kök ucu dolgu materyali arasındaki arayüz boşluklarını analiz etmek ve marjinal uyumu değerlendirmek için Konfokal Lazer Tarama Mikroskobu (CLSM) kullanılmış ve çalışma sonucunda Biodentine test edilen MTA ve Cam iyonomer simana göre anlamlı derecede daha iyi marjinal uyum ve adaptasyon göstermiştir. 2015 yılında Malhotra ve Hegde, adaptasyon değerlendirilmesi için metilen mavisi penetrasyon tekniğini kullandı ve en düşük mikrosızıntı Biodentine'de bildirildi. Biodentine'in ardından ProRoot MTA, MTA Angelus en iyi sızdırmazlığı gösterirken cam iyonomer en fazla sızdırmazlık gösteren materyal oldu. Yine konfokal lazer taramalı elektron mikroskobu ile marjinal adaptasyonu inceleyen başka bir çalışmada Biodentine'de MTA'ya göre daha az boşluk olduğu bildirildi (Vemisetty ve ark., 2014). Başka bir adaptasyon çalışmasında Biodentine'de MTA'ya göre anlamlı derecede daha az boşluk gözlemlendiği bildirilmiştir (Bioçanın ve ark., 2018). Suryalakshmi (2019) yaptığı *in-vitro* çalışmada mandibular molar dişlerin furkasyon bölgelerinde yapay perforasyon oluşturup White ProRoot MTA ve Biodentine ile manuel olarak yerleştirilerek tamir etmiştir. Daha sonra örnekler mikro-BT ile taranarak dentin ile materyal ara yüzeyindeki boşluklar değerlendirilmiştir. Çalışma sonucuna göre Biodentine grubunun marjinal adaptasyonu White ProRoot MTA grubuna göre daha iyi gözlemlendi ancak gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu. Çalışmada bu fark tamir materyallerinin çözünürlüğüne atfedildi. White ProRoot MTA'nın Biodentine göre daha yavaş sertleşme hızı çözünürlüğün artmasına neden olabileceği bildirildi (Parirokh ve Torabinejad, 2010). Bu durumun Biodentine ile karşılaştırıldığında White ProRoot MTA'nın zayıf marjinal adaptasyonuna sebep olabileceği bildirildi (Suryalakshmi, 2019). Biodentine, ProRoot MTA ve RetroMTA 'nın kök ucu dolgu materyali olarak kullanıldığı bir çalışmada

marjinal adaptasyon değerleri SEM görüntülenmesi altında değerlendirilmiştir. Biodentine test edilen diğer materyallere göre en iyi dentin adaptasyonunu gösteren materyel olmuştur (Bolbolian ve ark., 2020). Çalışmamızın sonuçları bu çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olarak Biodentine ile tamir edilen perforasyon bölgelerindeki dış boşluk oranı istatistiksel olarak anlamlı düzeyde MTA ile tamir edilen perforasyon bölgelerindeki dış boşluk oranından düşüktü.

Fakat çalışmamızın sonuçları Bolhari ve ark. (2015) ve Soundappan ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalar tarafından desteklenmemektedir. Bolhari ve ark. (2015) kök ucu dolgu materyali olarak kullandıkları MTA, Biodentine ve BioAggregate'ın marjinal adaptasyonunu, simüle salin solüsyonu ve insan kanı ortamlarında SEM görüntülenmesi altında değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda bizim çalışmamızdan farklı olarak materyaller arasında adaptasyon açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır (Bolhari ve ark., 2015). Soundappan ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada ise 30 adet insan keser dişinde ultrasonik preparasyonla 3mmlik retrograd kaviterler açılmış ve MTA, IRM, Biodentine ile kök uçlarını doldurmuşlardır. Daha sonra köklerden 1mm'lik ve 2 mm'lik kesitler alınarak taramalı elektron mikroskobu altında marjinal adaptasyonları incelenmiştir. Yapılan *in-vitro* alışmanın sonuçlarına göre 1mm seviyesinde marjinal adaptasyon MTA, IRM ve Biodentine arasında benzerdi. 2 mm seviyesinde MTA, hem IRM'den hem de Biodentine'den üstündü (Soundappan ve ark., 2014). Bizim alışmamızda deneyler kuru ortamda yapılırken Bolhari ve ark. (2015) deneylerini salin solüsyonu ve insan kanı ortamında yapılmıştır. Sonuçlar arasındaki farklılık deneylerin farklı ortamda değerlendirilmesinden kaynaklı olabilir. Soundappan ve ark. (2014) ve Bolhari ve ark. (2015) deney sonuçlarını SEM görüntülemesi altında değerlendirirken bizim çalışmamızda örnekler mikro-BT ile taranarak analiz edilmiştir. Soundappan ve ark. (2014) ve Bolhari ve ark. (2015) SEM görüntülenmesi için kesit alınması sırasında materyallerde meydana gelebilecek kopmaların sonuçları etkileyebileceğinden bizim çalışmamızla arasında farklı sonuçlar çıkması açıklanabilir.

Biodentine'in partikül boyutunun küçük olması ve mekanik maniplasyonu sayesinde hidrasyon işlemi sırasında toz ve likitin temas alanını arttırarak

manipölasyonu kolaylaştırır ve üniform, homojen bir karışım elde edilmesini sağlar (Nekoofar ve ark., 2010). Son raporlar, elle karıştırılan ürünlere kıyasla mekanik olarak karıştırılan ürünlerle daha iyi kullanım özelliklerine sahip daha tutarlı ve standartlaştırılmış karışımların elde edilebileceğini göstermektedir. (Almeida ve ark., 2007; Sisli ve Ozbas, 2017). Biodentine'in kapsül yöntemi ile toz- sıvı oranını stabilize ederek mekanik olarak karıştırılması operatör hatası riskini ortadan kaldıracağı bildirilmiştir (Nekoofar ve ark., 2010). Biodentine'in daha az dış boşluk göstermesi kısmen, materyalin dentin tübüllerine nüfuz etmesini artırma potansiyeline sahip olan ve daha iyi bağlanma gücüne yol açan ProRoot MTA'ya kıyasla daha küçük partikül boyutundan kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Nagas ve ark., 2016). Bu durum yapılan çalışmalarda ve bizim çalışmamızda tamir materyali olarak kullanılan Biodentine'de MTA'dan daha az porözite oluşmasını ve dentin ile materyal arasında daha az boşluk oluşması sonucu daha iyi dentinal adaptasyon göstermesini açıklayabilir.

Çalışmamızda karşılaştırılan uygulama tekniklerinden indirekt ultrasonik aktivasyon, manuel kondansasyonla tamir edilen örneklerle göre ProRoot MTA materyalinin porözite miktarını azaltırken MTA Flow White ve Biodentine materyallerinde teknikler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bununla birlikte indirekt ultrasonik aktivasyon ProRoot ve MTA Flow White materyalinin dış boşluk miktarını azaltırken Biodentine gruplarında manuel kondansasyon ile yerleştirilen materyaller arasında dış boşluk açısından anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Çeşitli karıştırma ve yerleştirme tekniklerinin MTA'nın fiziksel özelliklerine etkileri birçok çalışmada araştırılmıştır (Aminoshariae ve ark., 2003; Lawley ve ark., 2004; Matt ve ark., 2004; Yeung ve ark., 2006; Kim ve ark., 2009; El-Ma'aite ve ark., 2012; Bernabé ve ark., 2013; Basturk ve ark., 2014; Basturk ve ark., 2015; Friedl ve ark., 2016; Basturk ve ark., 2018).

Yerleştirme tekniklerinin materyallerin iç porözite ve dentinal adaptasyonlarının incelendiği bir çalışmada; Aminoshariae ve ark. (2003) MTA'yı polietilen tüplere iki farklı yöntemle ortograd olarak yerleştirmişler ve manuel yerleştirilen MTA'nın

ultrasonik yönteme göre t p duvarlarına daha iyi adapte olduğu ve daha az boşluk oluştuğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile değerlendirilmiştir. SEM analizi porözite değerlendirmesine izin verse de numunelerin iç yapılarının gözlemlenmesi için kesit alınması gerekmektedir. Kesit alınması sırasında MTA materyalinde kopmalar oluşabilmekte ve bu da yanıltıcı sonuçlara sebep olabilmektedir. EL-Ma'aite ve arkadaşları (2012), yaptıkları mikro-BT analizleri sonucunda MTA'nın manuel olarak ortograd yoldan yerleştirilen örneklerde, ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilenlere göre daha az boşluk gözlendiği sonucuna varmışlardır. Bu iki çalışmada da bizim çalışmamızdan farklı olarak ultrasonik gücün MTA  zerine direkt uygulanmış olup direkt uygulamanın aşırı vibrasyon kuvvetine neden olarak boşluk oluşumunu arttırmış olabileceği düşünülmektedir.

Yine başka bir çalışmada MTA Flow materyalinin direkt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilmesinde daha fazla i  porözite oluştuğu bildirilmiştir. Bu çalışmada da direkt ultrasonik enerjinin potansiyel olarak materyale hava girmesine yol açabileceği ve böylece daha yüksek por ziteye katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Drukteinis ve ark., 2019).  alışmalar arasındaki farklı sonuçlar, ultrasonik aktivasyonun uygulama süresi, materyalin karıştırma yöntemi ve kullanılan materyal türü gibi çeşitli değişkenlerle ilgili olabilir (Küçükkaya Eren ve ark., 2019).

Bizim çalışmamıza benzer olarak manuel yerleştirilen MTA ile indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilen MTA'nın sızdırmazlık ve yoğunluk özelliklerinin karışlaştırıldığı bazı *in vitro*  alışmalarda; indirekt ultrasonik aktivasyon ile kondansasyonun, tek başına elle kondansasyona göre önemli ölçüde daha yoğun bir materyal ve daha iyi sızdırmazlık ile sonuçlandığı bildirilmiştir (Lawley ve ark., 2004; Yeung ve ark., 2006; Kim ve ark., 2009; Basturk ve ark., 2014; Friedl ve ark., 2016; Sisli ve Ozbas, 2017). Matt ve ark. (2004), apikal bariyer olarak indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilen MTA'da manuel yerleştirilen bariyerlere göre daha az boşluk olduğu bildirilmiştir. Porözite ve adaptasyon aynı zamanda materyalin bağlanma kuvveti ile ilişkilidir. Aguiar ve ark. (2018) indirekt ultrasonik aktivasyonun

MTA Angelus, MTA Repair HP ve Biodentine'in dentine bağlanma kuvvetini ve adaptasyonunu arttırdığını bildirmiştir.

Çalışmamızın sonuçları bu çalışmaların sonuçlarını destekleyerek indirekt ultrasonik aktivasyonun ProRoot materyalinin porözite ve dentinal adaptasyonu iyileştirdiğini kanıtlamıştır. MTA Flow White materyalinde ise porözite açısından istatistiksel fark yaratmasa da dış boşluk miktarını anlamlı derecede azaltarak dentinal adaptasyonunu arttırmıştır.

Ultrasonik aktivasyonun yarattığı vibrasyonun materyalin içindeki boşlukları azaltarak uniform ve daha yoğun bir karışım elde edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Ayrıca materyalin akıcılığını arttırarak dentin tübüllerine daha iyi nüfus etmesini sağlar (Yeung ve ark., 2006). Bu durum çalışmamızda indirekt ultrasonik aktivasyonun materyallerdeki iç ve dış boşluk miktarını azaltması sonuçlarını açıklamaktadır.

Biodentine materyali ile tamir edilen gruplarda indirekt ultrasonik aktivasyon porözite ve dış boşluk açısından çalışmamızda istatistiksel bir fark yaratmamıştır. Bu sonucun materyalin mekanik olarak karıştırılmasının sağladığı olumlu fiziksel özelliklere bağlı olduğu düşünülmüştür.

Sonuçlarımıza benzer şekilde, Celikten ve ark. (2022) yaptığı çalışmada indirekt ultrasonik aktivasyonun MTA ve BioAggregate'in dış boşluk miktarını azaltarak marjinal adaptasyon kalitesini arttırdığını, mekanik olarak karıştırılan Biodentine'de ise marjinal adaptasyon açısından anlamlı bir fark yaratmadığını bildirmişlerdir.

Küçükkaya ve ark. (2019) çalışmalarında kök yüzeyini perfore ederek internal rezorpsiyon oluşturulan dişleri mekanik olarak karıştırılan çeşitli kalsiyum silikat esaslı materyaller ile manuel kondansasyon ve indirekt ultrasonik aktivasyon ile doldurmuşlar ve dolgu kalitelerini mikro-BT ile değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada önceden dozlanmış kapsüllerde, Biodentine gibi mekanik olarak karıştırılan MM-MTA (Besançon Cedex-Fransa) ve Biodentine materyalleri kullanılmış, poröziteleri

açısından indirekt aktivasyon ve manuel kondansasyon arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Dincer ve ark (2020) Biodentine ile normalde manuel olarak karıştırılan NeoMTA Plus ve ProRoot WMTA'yı karıştırma tekniğinin tüm materyallerde standart olması için mekanik karıştırma yöntemi ile hazırlayarak kök kanallarının doldurulması sonrasında dentin ile oluşan arayüzey boşluklarını mikro-BT'de incelemişler ve NeoMTA Plus ve ProRoot WMTA'nın Biodentine'den daha az gözeneklilik sergilediğini bildirmişlerdir. Normalde manuel olarak karıştırılan NeoMTA Plus ve Pro-Root WMTA'nın mekanik olarak karıştırılmasının, materyallerin manipstasyonunu kolaylaştırdığı ve mikro gözeneklilik hacmini azalttığı sonucuna varmışlardır (Dincer ve ark., 2020).

Bu tez çalışmasının sonuçları sıfır hipotezimiz olan, ProRoot MTA, MTA Flow White ve Biodentine'in dentinal adaptasyonunda; bileşim, sertleşme süresi, karıştırma ve taşıyıcıdaki farklılıklar nedeniyle, uygulama teknikleri açısından da belirli farklılıklar olacağını desteklemiştir. *İn vitro* koşullarda gerçekleştirilen çalışmamızın ağız ortamını taklit etmemesi sonuçlar üzerinde sınırlayıcı bir faktördür. Bu nedenle, sonuçlarımızı desteklemek için daha büyük bir örneklem büyüklüğü ve *in vivo* koşulları yansıtan ortamlarda daha fazla araştırma yapılması gerekir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda strip perforasyon oluşturulan dişlerde ProRoot MTA, MTA Flow White ve Biodentine'in manuel kondansasyon ve indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilmesini takiben mikro-BT ile dentinal adaptasyonları ve iç boşluk analizi yapılarak değerler karşılaştırılmıştır.

Mikro-BT analizi sonuçlarına göre her iki teknikte de MTA Flow White materyali ile tamir edilen örneklerde ProRoot MTA ve Biodentine'e göre daha az dış boşluk gözlenmiştir. Biodentine grupları ise ProRoot MTA gruplarına göre daha az dış boşluk göstermiştir. İndirekt ultrasonik aktivasyon ProRoot MTA ve MTA Flow White materyalinin dış boşluk oranını azaltırken Biodentine gruplarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmamıştır.

İç boşluk sonuçlarına göre ise en yüksek iç boşluğu ProRoot MTA göstermiş olup MTA Flow White ve Biodentine grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

MTA Flow White'ın kendi taşıyıcısı ile perforasyon alanına taşınmasının yanı sıra kullanımı kolay yumuşak kıvamının karıştırma ve manipülasyondan doğabilecek hataları elimine etmesi nedeniyle strip perforasyon onarımında diğer iki materyale göre daha uygun olabileceği kanısındayız.

Çalışmamızda değerlendirdiğimiz parametre olan iç boşluk (porözite) ve dış boşluk (dentinal adaptasyon) materyallerin fiziksel özellikleri hakkında fikir verir. Ancak perforasyon alanının okluzal yüklerden etkilenmesi, aynı zamanda da periodonsiyum ile ilişkili olmasından dolayı onarımda kullanılacak materyallerin mekanik dayanımı yanında biyouyumluluk, biyoaktivite gibi olumlu özelliklere de sahip olması gerekir. Tedavide kullanılacak materyallerin özellikleri bütün olarak değerlendirilip seçilmelidir. Kullandığımız materyallerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değerlendirildiği çalışmalar göz önüne alındığında herbirinin perforasyon onarımında kullanımı uygun olabilmektedir. İndirekt ultrasonik aktivasyon bazı gruplarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmasa da

Çalışmamızda kullanılan tüm materyallerin fiziksel özelliklerini geliştirmiş, iç ve dış boşluk ortalamalarını azaltmıştır. Bu çalışmanın sınırları dahilinde strip perforasyon olgularında kullanılan kalsiyum silikat esaslı tamir materyallerinin indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilmesinin daha az porözite ve daha iyi dentinal adaptasyona katkı sağlayarak tedavinin uzun dönem prognozunu olumlu etkileyeceğı sonucuna varılmıştır.



ÖZET

Strip Perforasyon Tamirinde Farklı Tekniklerle Uygulanan Kalsiyum Silikat Esaslı Biyoaktif Materyallerin Dentinal Adaptasyonunun Mikro-BT ile Değerlendirilmesi

Strip perforasyon, sıklıkla maksillar ve mandibular dişlerin mesial köklerinin furkasyona bakan yüzeyinde tehlikeli bölgede aşırı preparasyon sonucu sıyırma şeklinde meydana gelen lateral kök perforasyonlarıdır. Strip perforasyonun konumu ve klinik girişimlerde ulaşım güçlükleri etkili bir tıkamayı güçleştirebildiğinden manipülasyonu güç olan güncel perforasyon tamir materyallerinin daha basit ve başarılı uygulamaları için yeni yaklaşımlar araştırılmaktadır. Bu amaçla tamir materyali olarak olumlu özelliklere sahip bazı kalsiyum silikat esaslı simanların manuel kondansasyon ve indirekt ultrasonik aktivasyon ile yerleştirilmelerini takiben iç ve dış boşluk miktarı değerlendirildi.

Çalışmamızda çekilmiş mandibular birinci molar dişlerin mesial köklerinde strip perforasyon oluşturuldu. ProRoot MTA, MTA White Flow ve Biodentine gibi kalsiyum silikat esaslı materyaller perforasyon bölgesine manuel kondansasyon ve indirekt ultrasonik aktivasyon teknikleriyle yerleştirilerek yapılarındaki porözite miktarı ve dentinle arasında oluşan dış boşluk miktarı mikro-BT kullanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirildi.

Çalışmanın sonucunda ProRoot MTA en fazla iç ve dış boşluk gözlenen materyal oldu. MTA Flow White ve Biodentine arasında iç porözite açısından istatistiksel bir fark bulunamazken MTA Flow White materyalinde dış boşluk miktarının daha az olduğu gözlemlendi. İndirekt ultrasonik aktivasyon ProRoot MTA'nın iç ve dış boşluk miktarını azaltırken, MTA Flow White grubunda iç porözitede istatistiksel olarak anlamlı fark yaratmadığı dış boşluk miktarını ise azalttığı belirlendi. Biodentine gruplarında iç ve dış porözitede indirekt ultrasonik aktivasyon istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadı.

Çalışmamızın sınırları dahilinde indirekt ultrasonik aktivasyon yöntemi tüm materyallerde iç ve dış porözite miktarlarında azalma sağladığından strip perforasyon tamirinde uygun bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Kıvam ve uygulama formu yönünden diğerlerinden farklı, daha güncel bir materyal olan MTA Flow White çalışmamızda dentinal adaptasyon açısından diğer materyallere göre daha iyi bulunsa da literatürde az sayıda çalışmaya ulaşılabilirdiğinden hakkında daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Anahtar Sözcükler: Adaptasyon, Biodentine, Mikro-BT, MTA, MTA Flow, İndirekt ultrasonik aktivasyon, Porözite, Strip perforasyon,

SUMMARY

Evaluation of Dentinal Adaptation of Calcium Silicate-based Biocompatible Materials Applied with Different Techniques in Strip Perforation Repair using Micro-CT

Strip perforation refers to lateral root perforations that occur as a result of excessive preparation in the dangerous zone on the furcation-facing surface of the mesial roots of maxillary and mandibular teeth. The location of strip perforation and the difficulties in accessing it during clinical procedures can make achieving effective sealing challenging. Therefore, new approaches are being investigated for simpler and more successful application of current perforation repair materials that are difficult to manipulate. In this regard, the amounts of internal and external voids were evaluated after the placement of certain calcium silicate-based cements with favorable properties as repair materials using manual condensation and indirect ultrasonic activation.

In our study, strip perforation was created in the mesial roots of extracted mandibular first molar teeth. Calcium silicate-based materials such as ProRoot MTA, MTA White Flow, and Biodentine were placed in the perforation area using manual condensation and indirect ultrasonic activation techniques, and the amount of porosity in their structures and the external voids formed between them and dentin were comparatively evaluated using micro-CT.

As a result of the study, ProRoot MTA showed the highest amount of internal and external voids. While no statistically significant difference was found in terms of internal porosity between MTA Flow White and Biodentine, MTA Flow White material exhibited a lower amount of external voids. Indirect ultrasonic activation reduced the internal and external voids of ProRoot MTA, while it reduced the amount of external voids in the MTA Flow White group, although it did not create a statistically significant difference in internal porosity. Indirect ultrasonic activation did not result in a statistically significant difference in internal and external porosity in the Biodentine groups.

Within the limitations of our study, it was concluded that indirect ultrasonic activation is an appropriate method for reducing the amounts of internal and external porosity in strip perforation repair for all materials. MTA Flow White, which is a more recent material with different consistency and application form, was found to have better dentinal adaptation compared to other materials in our study. However, due to the limited number of studies available in the literature, further research is needed on MTA Flow White.

Key Words: Adaptation, Biodentine, Micro-CT, MTA, MTA Flow, Indirect ultrasonic activation, Porosity, Strip perforation.

KAYNAKLAR

- ABOU-RASS M, FRANK AL, GLICK DH (1980). The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. *Journal of the American Dental Association* (1939),101: 792-794.
- ADABO GL, DOS SANTOS CRUZ CA, FONSECA RG, VAZ LSG (2003). The volumetric fraction of inorganic particles and the flexural strength of composites for posterior teeth. *Journal of Dentistry*,31: 353-359.
- ADAMO H, BURUIANA R, SCHERTZER L, BOYLAN R (1999). A comparison of mta, super-eba, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *International Endodontic Journal*,32: 197-203.
- ADIGA S, ATAIDE I, FERNANDES M, ADIGA S (2010). Nonsurgical approach for strip perforation repair using mineral trioxide aggregate. *Journal of conservative dentistry: JCD*,13: 97.
- AGGARWAL V, SINGLA M, MIGLANI S, KOHLI S (2013). Comparative evaluation of push-out bond strength of proroot mta, biodentine, and mta plus in furcation perforation repair. *Journal of conservative dentistry: JCD*,16: 462.
- AGRAFIOTI A, TZIMPOULAS N, CHATZITHEODORIDIS E, KONTAKIOTIS EG (2016). Comparative evaluation of sealing ability and microstructure of mta and biodentine after exposure to different environments. *Clinical oral investigations*,20: 1535-1540.
- AKINCI L, SIMSEK N, AYDINBELGE HA (2020). Physical properties of mta, bioaggregate and biodentine in simulated conditions: A micro-ct analysis. *Dental materials journal*,39: 601-607.
- ALAÇAM, T (2012). Endodonti. 1. Baskı, İstanbul, Özyurt Matbaacılık, s.:462, s.:469, s.:471-472, s:705, s.:1173.
- AL ATTAS MH, ALDHELAI TA, JAVED MQ (2022). Management of concomitant strip and apical perforation in mandibular first molar. *Pakistan Journal of Medical Sciences*,38.
- AL-NAZHAN S, AL-SULAIMAN A, AL-RASHEED F, ALNAJJAR F, AL-ABDULWAHAB B, AL-BADAH A (2014). Microorganism penetration in dentinal tubules of instrumented and retreated root canal walls. In vitro sem study. *Restorative Dentistry & Endodontics*,39: 258-264.
- ALCALDE MP, VIVAN RR, MARCIANO MA, DUQUE JA, FERNANDES SL, ROSSETO MB, DUARTE MAH (2018). Effect of ultrasonic agitation on push-out bond strength and adaptation of root-end filling materials. *Restorative dentistry & endodontics*,43.
- ALLAM CR (1996). Treatment of stripping perforations. *Journal of endodontics*,22: 699-702.
- ALMEIDA J, GOMES B, FERRAZ C, SOUZA-FILHO F, ZAIA A (2007). Filling of artificial lateral canals and microleakage and flow of five endodontic sealers. *International Endodontic Journal*,40: 692-699.

- ALSULAIMANI RS (2018). Immediate and delayed repair of 2 sizes of furcal perforations in dogs' teeth using mineral trioxide aggregate cement. *Journal of endodontics*,44: 1000-1006.
- AMINOSHARIAE A, HARTWELL GR, MOON PC (2003). Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. *Journal of Endodontics*,29: 679-682.
- ASLAN T, ESIM E, ÜSTÜN Y, ÖZKAN HD (2021). Evaluation of stress distributions in mandibular molar teeth with different iatrogenic root perforations repaired with biodentine or mineral trioxide aggregate: A finite element analysis study. *Journal of endodontics*,47: 631-640.
- BALLA R, LOMONACO CJ, SKRIBNER J, LIN LM (1991). Histological study of furcation perforations treated with tricalcium phosphate, hydroxylapatite, amalgam, and life. *Journal of endodontics*,17: 234-238.
- BALTO HA (2004). Attachment and morphological behavior of human periodontal ligament fibroblasts to mineral trioxide aggregate: A scanning electron microscope study. *Journal of Endodontics*,30: 25-29.
- BALTO K, MULLER R, CARRINGTON D, DOBECK J, STASHENKO P (2000). Quantification of periapical bone destruction in mice by micro-computed tomography. *Journal of Dental Research*,79: 35-40.
- BARGHOLZ C, HÜLSMANN M, SCHÄFER E (2009). Problems in endodontics; etiology, diagnosis and treatment.
- BASTURK F, NEKOOFAR MH, GUNDAY M, DUMMER P (2018). X-ray diffraction analysis of mta mixed and placed with various techniques. *Clinical Oral Investigations*,22: 1675-1680.
- BASTURK FB, NEKOOFAR MH, GUNDAY M, DUMMER PM (2014). Effect of various mixing and placement techniques on the flexural strength and porosity of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*,40: 441-445.
- BASTURK FB, NEKOOFAR MH, GUNDAY M, DUMMER PM (2015). Effect of varying water-to-powder ratios and ultrasonic placement on the compressive strength of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*,41: 531-534.
- BAYRAM HM, BAYRAM E, OCAK M, UYGUN AD, CELIK HH (2017). Effect of protaper gold, self-adjusting file, and xp-endo shaper instruments on dentinal microcrack formation: A micro-computed tomographic study. *Journal of endodontics*,43: 1166-1169.
- BER BS, HATTON JF, STEWART GP (2007). Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. *Journal of endodontics*,33: 1231-1234.
- BERMAN LH, HARGREAVES KM. Cohen's pathways of the pulp-e-book: Elsevier Health Sciences; 2020
- BERNABÉ PFE, GOMES-FILHO JE, BERNABÉ DG, NERY MJ, OTOBONI-FILHO JA, DEZAN-JR E, CINTRA LTA (2013). Sealing ability of mta used as a root end filling material: Effect of the sonic and ultrasonic condensation. *Brazilian Dental Journal*,24: 107-110.
- BERUTTI E, FEDON G (1992). Thickness of cementum/dentin in mesial roots of mandibular first molars. *Journal of Endodontics*,18: 545-548.

- BEST S, PORTER A, THIAN E, HUANG J (2008). Bioceramics: Past, present and for the future. *Journal of the European Ceramic Society*,28: 1319-1327.
- BHUVA B, IKRAM O (2020). Complications in endodontics. *Primary Dental Journal*,9: 52-58.
- BIGGS JT, BENENATI FW, SABALA CL (1988). Treatment of iatrogenic root perforations with associated osseous lesions. *Journal of Endodontics*,14: 620-624.
- BIOČANIN V, ANTONIJEVIĆ Đ, POŠTIĆ S, ILIĆ D, VUKOVIĆ Z, MILIĆ M, FAN Y, LI Z, BRKOVIĆ B, ĐURIĆ M (2018). Marginal gaps between 2 calcium silicate and glass ionomer cements and apical root dentin. *Journal of Endodontics*,44: 816-821.
- BOGEN G, KUTTLER S (2009). Mineral trioxide aggregate obturation: A review and case series. *Journal of endodontics*,35: 777-790.
- BOLBOLIAN M, MOSTAFAEI FS, FAEGH S (2020). Evaluation of the marginal adaptation of proroot mta, biodentine, and retromta as root-end filling materials. *Dental Hypotheses*,11: 97.
- BOLHARI B, YAZDI KA, SHARIFI F, PIRMOAZEN S (2015). Comparative scanning electron microscopic study of the marginal adaptation of four root-end filling materials in presence and absence of blood. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*,12: 226.
- BONSON S, JEANSONNE B, LALLIER T (2004). Root-end filling materials alter fibroblast differentiation. *Journal of dental research*,83: 408-413.
- BRYAN EB, WOOLLARD G, MITCHELL W (1999). Nonsurgical repair of furcal perforations: A literature review. *General dentistry*,47: 274-278; quiz 279.
- CACERES C, LARRAIN MR, MONSALVE M, PENA-BENGOA F (2021). Dentinal tubule penetration and adaptation of bio-c sealer and ah-plus: A comparative sem evaluation. *Eur Endod J*,6: 216-220.
- CAMILLERI J (2008). Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*,41: 408-417.
- CAMILLERI J, FORMOSA L, DAMIDOT D (2013a) The setting characteristics of MTA Plus in different environmental conditions. *Int Endod J*, 46: 831-840.
- CAMILLERI J, SORRENTINO F, DAMIDOT D (2013b). Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, biodentine and mta angelus. *Dental materials*,29: 580-593.
- CARDOSO M, DOS ANJOS PIRES M, CORRELO V, REIS R, PAULO M, VIEGAS C (2018). Biodentine for furcation perforation repair: An animal study with histological, radiographic and micro-computed tomographic assessment. *Iranian endodontic journal*,13: 323.
- CELIK TEN B, ONCU A, KOOHNAVARD M, OCAK M, ORHAN K (2022). Micro-ct comparative evaluation of porosity and dentin adaptation of root end filling materials applied with incremental, bulk, and ultrasonic activation techniques. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*,236: 1209-1215.
- CLAUDER T, SHIN SJ (2006). Repair of perforations with mta: Clinical applications and mechanisms of action. *Endodontic Topics*,15: 32-55.

- COOMARASWAMY KS, LUMLEY PJ, HOFMANN MP (2007). Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic portland cement-based (mta-like) system. *Journal of endodontics*,33: 295-298.
- DAMMASCHKE T, GERTH HU, ZÜCHNER H, SCHÄFER E (2005). Chemical and physical surface and bulk material characterization of white proroot mta and two portland cements. *Dental Materials*,21: 731-738.
- DANESH G, DAMMASCHKE T, GERTH H, ZANDBIGLARI T, SCHÄFER E (2006). A comparative study of selected properties of proroot mineral trioxide aggregate and two portland cements. *International Endodontic Journal*,39: 213-219.
- DAOUDI MF, SAUNDERS WP (2002). In vitro evaluation of furcal perforation repair using mineral trioxide aggregate or resin modified glass ionomer cement with and without the use of the operating microscope. *Journal of Endodontics*,28: 512-515.
- DARCEY J, QUALTROUGH A (2013). Resorption: Part 1. Pathology, classification and aetiology. *British dental journal*,214: 439-451.
- DARCEY J, QUALTROUGH A (2013). Resorption: Part 2. Diagnosis and management. *British dental journal*,214: 493-509.
- DARVELL B, WU R (2011). "Mta"—an hydraulic silicate cement: Review update and setting reaction. *Dental Materials*,27: 407-422.
- DAWOOD AE, PARASHOS P, WONG RH, REYNOLDS EC, MANTON DJ (2017). Calcium silicate-based cements: Composition, properties, and clinical applications. *Journal of investigative and clinical dentistry*,8: e12195.
- DE BRUYNE MA, DE BRUYNE RJ, DE MOOR RJ (2006). Capillary flow porometry to assess the seal provided by root-end filling materials in a standardized and reproducible way. *Journal of Endodontics*,32: 206-209.
- DE MIRANDA CANDEIRO GT, CORREIA FC, DUARTE MAH, RIBEIRO-SIQUEIRA DC, GAVINI G (2012). Evaluation of radiopacity, ph, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *Journal of endodontics*,38: 842-845.
- DE SOUZA ETG, NUNES TAMEIRÃO MD, ROTHER JM, DE ASSIS JT, DE ALMEIDA NEVES A, DE-DEUS GA (2013). Tridimensional quantitative porosity characterization of three set calcium silicate-based repair cements for endodontic use. *Microscopy research and technique*,76: 1093-1098.
- DE-DEUS G, RODRIGUES E, BELLADONNA F, SIMÕES-CARVALHO M, CAVALCANTE D, OLIVEIRA D, SOUZA E, GIORGI K, VERSIANI M, LOPES R (2019). Anatomical danger zone reconsidered: A micro-ct study on dentine thickness in mandibular molars. *International Endodontic Journal*,52: 1501-1507.
- DEWI F, ASRIANTI D, MARGONO A (2017). Microleakage evaluation of modified mineral trioxide aggregate effect toward marginal adaptation on cervical dentin perforation. *International Journal of Applied Pharmaceutics*,9: 10-13.
- DINCER AN, GÜNEŞER MB, SISLI SN (2020). Micro-ct analysis of the marginal adaptation and porosity associated with ultrasonic activation of coronally placed tricalcium silicate-based cements. *Australian Endodontic Journal*,46: 323-329.
- DRUKTEINIS S, PECIULIENE V, SHEMESH H, TUSAS P, BENDINSKAITE R (2019). Porosity distribution in apically perforated curved root canals filled with two different

- calcium silicate based materials and techniques: A micro-computed tomography study. *Materials*,12: 1729.
- DUARTE MAH, DE OLIVEIRA DEMARCHI ACC, YAMASHITA JC, KUGA MC, DE CAMPOS FRAGA S (2003). Ph and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,95: 345-347.
- DUTTA A, SAUNDERS WP (2014). Calcium silicate materials in endodontics. *Dental Update*,41: 708-722.
- EGHBAL MJ, FAZLYAB M, ASGARY S (2014). Repair of a strip perforation with calcium-enriched mixture cement: A case report. *Iranian endodontic journal*,9: 225.
- EL-MA'AITA AM, QUALTROUGH AJ, WATTS DC (2012). A micro-computed tomography evaluation of mineral trioxide aggregate root canal fillings. *Journal of Endodontics*,38: 670-672.
- EL-SHERIEF SM, RABIE MI, NEGM AM (2019). Marginal adaptation of a new formulation of mta material used as root-end filling: A scanning electron microscopy (sem) study. *Egyptian Dental Journal*,65: 2813-2819.
- ELLIOTT JC, DOVER S (1982). X-ray microtomography. *Journal of microscopy*,126: 211-213.
- ENDODONTISTS A (2003). Glossary of endodontic terms. *Chicago: American Association of Endodontists*.
- ESTRELA C, DECURCIO DDA, ROSSI-FEDELE G, SILVA JA, GUEDES OA, BORGES ÁH (2018). Root perforations: A review of diagnosis, prognosis and materials. *Brazilian oral research*,32.
- FARACO JR IM, HOLLAND R (2001). Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dental traumatology*,17: 163-166.
- FAYAD MI, HAWKINSON R, DANIEL J, HAO J (2004). The effect of co2 laser irradiation on pdl cell attachment to resected root surfaces. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,97: 518-523.
- FERRIS DM, BAUMGARTNER JC (2004). Perforation repair comparing two types of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*,30: 422-424.
- FORMOSA L, MALLIA B, CAMILLERI J (2013). Mineral trioxide aggregate with anti-washout gel-properties and microstructure. *Dental materials*,29: 294-306.
- FRANK AL (1974). Resorption, perforations, and fractures. *Dental Clinics of North America*,18: 465-487.
- FRANK R (2002). Endodontic mishaps: Their detection, correction, and prevention. *Endodontics 5th ed London: BC Decker Inc*: 769.
- FRIDLAND M, ROSADO R (2003). Mineral trioxide aggregate (mta) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *Journal of endodontics*,29: 814-817.
- FRIEDL CC, WILLIAMSON AE, DAWSON DV, GOMEZ MR, LIU W (2016). Comparison of mechanical and indirect ultrasonic placement technique on mineral trioxide aggregate retrofill density in simulated root-end surgery. *Journal of Endodontics*,42: 650-653.

- FRIEDMAN S, ABITBOL S, LAWRENCE HP (2003). Treatment outcome in endodontics: The toronto study. Phase 1: Initial treatment. *Journal of endodontics*,29: 787-793.
- FROUGHREYHANI M, MILANI AS, BARAKATEIN B, SHIEZADEH V (2013). Treatment of strip perforation using root mta: A case report. *Iranian Endodontic Journal*,8: 80.
- FUSS Z, TROPE M (1996). Root perforations: Classification and treatment choices based on prognostic factors. *Dental Traumatology*,12: 255-264.
- GANCEDO-CARAVIA L, GARCIA-BARBERO E (2006). Influence of humidity and setting time on the push-out strength of mineral trioxide aggregate obturations. *Journal of endodontics*,32: 894-896.
- GARCÍA MB, MEZA EH, REYES-CARMONA J (2021). Ex vivo analysis of mta flow® biomineralization and push-out strength: A pilot study. *Odovtos-International Journal of Dental Sciences*,23: 76-90.
- GILLES R, OLIVIER M (2011). Dental composition. *Patent WO*,124841.
- GORNI FG, GAGLIANI MM (2004). The outcome of endodontic retreatment: A 2-yr follow-up. *Journal of endodontics*,30: 1-4.
- GORNI FG, IONESCU AC, AMBROGI F, BRAMBILLA E, GAGLIANI MM (2022). Prognostic factors and primary healing on root perforation repaired with mta: A 14-year longitudinal study. *Journal of Endodontics*,48: 1092-1099.
- GRECH L, MALLIA B, CAMILLERI J (2013). Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dental Materials*,29: e20-e28.
- GUERRERO F, BERÁSTEGUI E (2018). Porosity analysis of mta and biodentine cements for use in endodontics by using micro-computed tomography. *Journal of clinical and experimental dentistry*,10: e237.
- GUIMARAES BM, VIVAN RR, PIAZZA B, ALCALDE MP, BRAMANTE CM, DUARTE MAH (2017). Chemical-physical properties and apatite-forming ability of mineral trioxide aggregate flow. *Journal of endodontics*,43: 1692-1696.
- GULABIVALA K, NG Y. The restorative-endo interface. *Endodontics*: Mosby; 2014. p. 334-360.
- GUNESER MB, AKBULUT MB, ELDENIZ AU (2013). Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *Journal of endodontics*,39: 380-384.
- GUTMANN JL, HARRISON JW. *Surgical endodontics*: Blackwell scientific publications Boston; 1991
- HAMAD HA, TORDIK PA, MCCLANAHAN SB (2006). Furcation perforation repair comparing gray and white mta: A dye extraction study. *Journal of endodontics*,32: 337-340.
- HOVLAND EJ, DUMSHA T (1997). Problems in the management of tooth resorption. *Problem solving in endodontics*,3: 253-276.
- HSIEH S-C, TENG N-C, LIN Y-C, LEE P-Y, JI D-Y, CHEN C-C, KE E-S, LEE S-Y, YANG J-C (2009). A novel accelerator for improving the handling properties of dental filling materials. *Journal of endodontics*,35: 1292-1295.

- HUANG F-M, TAI K-W, CHOU M-Y, CHANG Y-C (2002). Resinous perforation-repair materials inhibit the growth, attachment, and proliferation of human gingival fibroblasts. *Journal of endodontics*,28: 291-294.
- HUANG Y, CELIKTEN B, DE FARIA VASCONCELOS K, FERREIRA PINHEIRO NICOLIELO L, LIPPIATT N, BUYUKSUNGUR A, JACOBS R, ORHAN K (2017). Micro-ct and nano-ct analysis of filling quality of three different endodontic sealers. *Dentomaxillofacial Radiology*,46: 20170223.
- HUANG Y, ORHAN K, CELIKTEN B, ORHAN AI, TUFENKCI P, SEVIMAY S (2018). Evaluation of the sealing ability of different root canal sealers: A combined sem and micro-ct study. *Journal of Applied Oral Science*,26.
- JAIN P, RANJAN M (2015). The rise of bioceramics in endodontics: A review. *Int J Pharm Bio Sci*,6: 416-422.
- JITARU S, HODISAN I, TIMIS L, LUCIAN A, BUD M (2016). The use of bioceramics in endodontics-literature review. *Clujul medical*,89: 470.
- KABTOULEH A, ALJABBAN O, TOLIBAH YA, KABTOLEH A (2023). Fracture resistance of molars with simulated strip perforation repaired with different calcium silicate-based cements. *Cureus Journal of Medical Science*,15.
- KAUP M, SCHÄFER E, DAMMASCHKE T (2015). An in vitro study of different material properties of biodentine compared to proroot mta. *Head & face medicine*,11: 1-8.
- KELES A, KESKIN C (2018). Deviations of mesial root canals of mandibular first molar teeth at the apical third: A micro-computed tomographic study. *Journal of Endodontics*,44: 1030-1032.
- KHAN AS, UR REHMAN S, AHMAD S, ALMAIMOUNI YK, ALZAMIL MA, DUMMER PM (2021). Five decades of the international endodontic journal: Bibliometric overview 1967–2020. *International endodontic journal*,54: 1819-1839.
- KIM U-S, SHIN S-J, CHANG SW, YOO H-M, OH T-S, PARK DS (2009). In vitro evaluation of bacterial leakage resistance of an ultrasonically placed mineral trioxide aggregate orthograde apical plug in teeth with wide open apices: A preliminary study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,107: e52-e56.
- KO C-L, CHEN J-C, HUNG C-C, WANG J-C, TIEN Y-C, CHEN W-C (2014). Biphasic products of dicalcium phosphate-rich cement with injectability and nondispersibility. *Materials Science and Engineering: C*,39: 40-46.
- KOUBI G, COLON P, FRANQUIN J-C, HARTMANN A, RICHARD G, FAURE M-O, LAMBERT G (2013). Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, biodentine, in the restoration of posterior teeth—a prospective study. *Clinical oral investigations*,17: 243-249.
- KUMAR VR, BAHUGUNA N, MANAN R (2015). Comparison of efficacy of various root canal irrigation systems in removal of smear layer generated at apical third: An sem study. *Journal of conservative dentistry: JCD*,18: 252.
- KÜÇÜKKAYA EREN S, AKSEL H, ASKERBEYLI ÖRS S, SERPER A, KOÇAK Y, OCAK M, ÇELİK HH (2019). Obturation quality of calcium silicate-based cements placed with different techniques in teeth with perforating internal root resorption: A micro-computed tomographic study. *Clinical oral investigations*,23: 805-811.

- KVINNSLAND I, OSWALD R, HALSE A, GRØNNINGSAETER A (1989). A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. *International endodontic journal*,22: 75-84.
- LAWLEY GR, SCHINDLER WG, WALKER III WA, KOLODRUBETZ D (2004). Evaluation of ultrasonically placed mta and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *Journal of Endodontics*,30: 167-172.
- LEE D, BOGEN G (2001). Multifaceted use of proroottm mta root canal repair material. *Pediatric Dent*,23: 326-330.
- LEE S-J, MONSEF M, TORABINEJAD M (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *Journal of endodontics*,19: 541-544.
- LI G-H, NIU L-N, SELEM LC, EID AA, BERGERON BE, CHEN J-H, PASHLEY DH, TAY FR (2014). Quality of obturation achieved by an endodontic core-carrier system with crosslinked gutta-percha carrier in single-rooted canals. *Journal of dentistry*,42: 1124-1134.
- LIU WN, CHANG J, ZHU YQ, ZHANG M (2011). Effect of tricalcium aluminate on the properties of tricalcium silicate–tricalcium aluminate mixtures: Setting time, mechanical strength and biocompatibility. *International endodontic journal*,44: 41-50.
- LOPES RMV, MARINS FC, BELLADONNA FG, SOUZA EM, DE-DEUS G, LOPES RT, SILVA EJNL (2018). Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. *Australian Endodontic Journal*,44: 260-266.
- LU D, ZHOU S. Hydraulic cement compositions and methods of making and using the same. Google Patents; 2009.
- MALKOÇ MA, SEVIMAY M, TATAR İ, ÇELİK HH (2015). Micro-ct detection and characterization of porosity in luting cements. *Journal of Prosthodontics*,24: 553-561.
- MALKONDU Ö, KAZANDAĞ MK, KAZAZOĞLU E (2014). A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed research international*,2014.
- MARCIANO MA, DUARTE MAH, CAMILLERI J (2016). Calcium silicate-based sealers: Assessment of physicochemical properties, porosity and hydration. *Dental Materials*,32: e30-e40.
- MATT GD, THORPE JR, STROTHER JM, MCCLANAHAN SB (2004). Comparative study of white and gray mineral trioxide aggregate (mta) simulating a one-or two-step apical barrier technique. *Journal of Endodontics*,30: 876-879.
- MILUTINOVIĆ-NIKOLIĆ AD, MEDIĆ VB, VUKOVIĆ ZM (2007). Porosity of different dental luting cements. *Dental Materials*,23: 674-678.
- MONDELLI J, HOSHINO R, WECKWERTH P, CERRI P, LEONARDO R, GUERREIRO-TANOMARU J, TANOMARU-FILHO M, DA SILVA G (2019). Biocompatibility of mineral trioxide aggregate flow and biodentine. *International endodontic journal*,52: 193-200.

- NAGAS E, CEHRELI Z, UYANIK M, VALLITTU P, LASSILA L (2016). Effect of several intracanal medicaments on the push-out bond strength of proroot mta and biodentine. *International endodontic journal*,49: 184-188.
- NAIR P, HENRY S, CANO V, VERA J (2005). Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,99: 231-252.
- NAMAZIKHAH M, NEKOO FAR MH, SHEYKHREZAE M, SALARIYEH S, HAYES SJ, BRYANT ST, MOHAMMADI M, DUMMER PMH (2008). The effect of ph on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*,41: 108-116.
- NASSEH A (2009). The rise of bioceramics. *Endodontic practice*,2: 17-22.
- NEKOO FAR MH, ASELEY Z, DUMMER PMH (2010). The effect of various mixing techniques on the surface microhardness of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*,43: 312-320.
- NIU L-N, PEI D-D, MORRIS M, JIAO K, HUANG X-Q, PRIMUS CM, SUSIN LF, BERGERON BE, PASHLEY DH, TAY FR (2016). Mineralogenic characteristics of osteogenic lineage-committed human dental pulp stem cells following their exposure to a discoloration-free calcium aluminosilicate cement. *Dental Materials*,32: 1235-1247.
- ORDINOLA-ZAPATA R, MARTINS J, VERSIANI MA, BRAMANTE CM (2019). Micro-ct analysis of danger zone thickness in the mesiobuccal roots of maxillary first molars. *International Endodontic Journal*,52: 524-529.
- ØRSTAVIK D, NORDAHL I, TIBBALLS JE (2001). Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dental materials*,17: 512-519.
- OSWALD RJ (1979). Procedural accidents and their repair. *Dental Clinics of North America*,23: 593-616.
- OZTAS B, KURSUN S, DINC G, KAMBUROGLU K (2012). Radiopacity evaluation of composite restorative resins and bonding agents using digital and film x-ray systems. *European journal of dentistry*,6: 115-122.
- ÖVSAY E, KAPTAN R, ŞAHİN F (2018). The repair of furcal perforations in different diameters with biodentine, mta, and irm repair materials: A laboratory study using an e. Faecalis leakage model. *BioMed research international*,2018.
- PARASHOS P, PHOON A, SATHORN C (2014). Effect of ultrasonication on physical properties of mineral trioxide aggregate. *BioMed research international*,2014.
- PARIROKH M, TORABINEJAD M (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—part iii: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of endodontics*,36: 400-413.
- PATEL S, DUNCAN HF. Pitt ford's problem-based learning in endodontology: Wiley-Blackwell; 2011
- PELEPENKO LE, SAAVEDRA F, ANTUNES TB, BOMBARDA GF, GOMES BP, ZAIA AA, CAMILLERI J, MARCIANO MA (2021). Physicochemical, antimicrobial, and biological properties of white-mtaflow. *Clinical Oral Investigations*,25: 663-672.

- PIRANI C, FELETTI G, CRETTI R, ACQUAVIVA GL, MARCHIONNI S, PRATI C (2009). Sem evaluation of root canal dentin morphology after ni-ti instrumentation. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*,7: 116-122.
- PITT FORD T, TORABINEJAD M, HONG C, KARIYAWASAM S (1994). Assessment of mineral trioxide aggregate as a retrograde root filling. *J Dent Res*,73: 804.
- PRATI C, GANDOLFI MG (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental materials*,31: 351-370.
- PRIYALAKSHMI S, RANJAN M (2014). Review on biodentine-a bioactive dentin substitute. *J Dent Med Sci*,13: 51-57.
- RAGHAVENDRA SS, JADHAV GR, GATHANI KM, KOTADIA P (2017). Bioceramics in endodontics—a review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*,51: S128.
- RANJKESH B, CHEVALLIER J, SALEHI H, CUISINIER F, ISIDOR F, LØVSCHALL H (2016). Apatite precipitation on a novel fast-setting calcium silicate cement containing fluoride. *Acta biomaterialia odontologica Scandinavica*,2: 68-78.
- RATHINAM E, RAJASEKHARAN S, CHITTURI RT, DECLERCQ H, MARTENS L, DE COSTER P (2016). Gene expression profiling and molecular signaling of various cells in response to tricalcium silicate cements: A systematic review. *Journal of Endodontics*,42: 1713-1725.
- RAVICHANDRA P, VEMISETTY H, DEEPTHI K, JAYAPRADA REDDY S, RAMKIRAN D, JAYA NAGENDRA KRISHNA M, MALATHI G (2014). Comparative evaluation of marginal adaptation of biodentine™ and other commonly used root end filling materials-an invitro study. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*,8.
- RHODES J, FORD TP, LYNCH J, LIEPINS P, CURTIS R (1999). Micro-computed tomography: A new tool for experimental endodontology. *International endodontic journal*,32: 165-170.
- ROBERTS HW, TOTH JM, BERZINS DW, CHARLTON DG (2008). Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dental materials*,24: 149-164.
- SAED SM, ASHLEY M, DARCEY J (2016). Root perforations: Aetiology, management strategies and outcomes. The hole truth. *British dental journal*,220: 171.
- SAGSEN B, USTÜN Y, DEMIRBUGA S, PALA K (2011). Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *International endodontic journal*,44: 1088-1091.
- SANTOS AD, ARAÚJO EB, YUKIMITU K, BARBOSA JC, MORAES JC (2008). Setting time and thermal expansion of two endodontic cements. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,106: e77-e79.
- SARAO SK, BERLIN-BRONER Y, LEVIN L (2021). Occurrence and risk factors of dental root perforations: A systematic review. *international dental journal*,71: 96-105.
- SARKAR N, CAICEDO R, RITWIK P, MOISEYEVA R, KAWASHIMA I (2005). Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*,31: 97-100.
- SHEMESH H, CRISTESCU RC, WESSELINK PR, WU M-K (2011). The use of cone-beam computed tomography and digital periapical radiographs to diagnose root perforations. *Journal of endodontics*,37: 513-516.

- SHENOY A, SHENOY N (2010). Dental ceramics: An update. *Journal of conservative dentistry: JCD*,13: 195.
- SHIPPER G, GROSSMAN E, BOTHA A, CLEATON-JONES P (2004). Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (mta) compared with amalgam as a root-end filling material: A low-vacuum (lv) versus high-vacuum (hv) sem study. *International endodontic journal*,37: 325-336.
- SHIRTLIFF V, HENCH L (2003). Bioactive materials for tissue engineering, regeneration and repair. *Journal of materials science*,38: 4697-4707.
- SIBONI F, TADDEI P, PRATI C, GANDOLFI M (2017). Properties of neo mta plus and mta plus cements for endodontics. *International endodontic journal*,50: e83-e94.
- SIEW K, LEE AH, CHEUNG GS (2015). Treatment outcome of repaired root perforation: A systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*,41: 1795-1804.
- SILVA EJ, CARVALHO NK, ZANON M, SENNA PM, DE-DEUS G, ZUOLO ML, ZAIA AA (2016). Push-out bond strength of mta hp, a new high-plasticity calcium silicate-based cement. *Brazilian oral research*,30.
- SILVA EJ, ROSA TP, HERRERA DR, JACINTO RC, GOMES BP, ZAIA AA (2013). Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer mta fillapex. *Journal of endodontics*,39: 274-277.
- SILVA NETO JDD, BRITO RHD, SCHNAIDER TB, GRAGNANI A, ENGELMAN M, FERREIRA LM (2010). Root perforations treatment using mineral trioxide aggregate and portland cements. *Acta Cirurgica Brasileira*,25: 479-484.
- SINKAR RC, PATIL SS, JOGAD NP, GADE VJ (2015). Comparison of sealing ability of proroot mta, retromta, and biodentine as furcation repair materials: An ultraviolet spectrophotometric analysis. *Journal of conservative dentistry: JCD*,18: 445.
- SISLI SN, OZBAS H (2017). Comparative micro-computed tomographic evaluation of the sealing quality of proroot mta and mta angelus apical plugs placed with various techniques. *Journal of endodontics*,43: 147-151.
- SONG W, LI S, TANG Q, CHEN L, YUAN Z (2021). In vitro biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *International journal of molecular medicine*,48: 1-22.
- SOUNDAPPAN S, SUNDARAMURTHY JL, RAGHU S, NATANASABAPATHY V (2014). Biodentine versus mineral trioxide aggregate versus intermediate restorative material for retrograde root end filling: An invitro study. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*,11: 143.
- SOUZA N, JUSTO G, OLIVEIRA C, HAUN M, BINCOLETTA C (2006). Cytotoxicity of materials used in perforation repair tested using the v79 fibroblast cell line and the granulocyte-macrophage progenitor cells. *International endodontic journal*,39: 40-47.
- SRAVYA V, DEEPA VL, LALITHA PL, KOMANDLA DR, BOLLU IP, DALAVAI P (2022). Role of phosphate-buffered saline on push-out bond strength of mta flow™ and biodentine™ after acid challenge: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*,25: 264.

- STROMBERG T (1972). Endodontic treatment of traumatic root perforations in man, a clinical and roentgenological follow-up study. *Swed Dent J*,65: 457-466.
- SULAIMAN J, YAHYA MM, AL-ASHOU WM (2014). An in-vitro scan electron microscope comparative study of dentine-biodentine interface. *Journal of Baghdad College of Dentistry*,325: 1-14.
- SURYALAKSHMI V. Marginal adaptation of white proroot mta and biodentine as furcal perforation repair materials in mandibular first molars: Micro ct analysis. 2019.
- ŞAHİN FÜ, TOPUZ Ö (2014). Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontologica Turcica*,31: 114-120.
- TAWIL PZ, TROPE M, CURRAN AE, CAPLAN DJ, KIRAKOZOVA A, DUGGAN DJ, TEIXEIRA FB (2009). Periapical microsurgery: An in vivo evaluation of endodontic root-end filling materials. *Journal of endodontics*,35: 357-362.
- TORABINEJAD M, HIGA RK, MCKENDRY DJ, FORD TRP (1994). Dye leakage of four root end filling materials: Effects of blood contamination. *Journal of endodontics*,20: 159-163.
- TORABINEJAD M, HONG C, MCDONALD F, FORD TP (1995). Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*,21: 349-353.
- TORABINEJAD M, HONG C-U, FORD TRP, KARIYAWASAM SP (1995). Tissue reaction to implanted super-eba and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: A preliminary report. *Journal of Endodontics*,21: 569-571.
- TSESIS I, FUSS Z (2006). Diagnosis and treatment of accidental root perforations. *Endodontic Topics*,13: 95-107.
- TSESIS I, ROSENBERG E, FAIVISHEVSKY V, KFIR A, KATZ M, ROSEN E (2010). Prevalence and associated periodontal status of teeth with root perforation: A retrospective study of 2,002 patients' medical records. *Journal of endodontics*,36: 797-800.
- UNAL GC, MADEN M, ISIDAN T (2010). Repair of furcal iatrogenic perforation with mineral trioxide aggregate: Two years follow-up of two cases. *European journal of dentistry*,4: 475-481.
- VEMISETTY H, REDDY S, KRISHNA MJ, MALATHI G (2014). Comparative evaluation of marginal adaptation of biodentine (tm) and other commonly used root end filling materials-an invitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*,8: 243-245.
- WU MK, WESSELINK P, BOERSMA J (1995). A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *International Endodontic Journal*,28: 185-189.
- YEUNG P, LIEWEHR FR, MOON PC (2006). A quantitative comparison of the fill density of mta produced by two placement techniques. *Journal of endodontics*,32: 456-459.
- YILDIRIM G, DALCI K (2006). Treatment of lateral root perforation with mineral trioxide aggregate: A case report. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,102: e55-e58.
- YOLDAŞ SE, BANI M, ATABEK D, BODUR H (2016). Comparison of the potential discoloration effect of bioaggregate, biodentine, and white mineral trioxide

- aggregate on bovine teeth: In vitro research. *Journal of endodontics*,42: 1815-1818.
- ZHANG W, LI Z, PENG B (2009). Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*,107: e79-e82.
- ZHOU H-M, SHEN Y, WANG Z-J, LI L, ZHENG Y-F, HÄKKINEN L, HAAPASALO M (2013). In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *Journal of endodontics*,39: 478-483.



EKLER

Ek-1. Etik Onay

	T.C. ANKARA ÜNİVERSİTESİ Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu	
Konu : Etik Kurul Hk. Sayı : 36290600/ 62/2022		18.07.2022
Sayın Prof. Dr. Meltem DARTAR ÖZTAN Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Öğretim Üyesi		
Prof. Dr. Meltem DARTAR ÖZTAN danışmanlığında Dt. Çağla Nur DELİBAŞI ve Dr. Öğr. Üyesi Arda BÜYÜKSUNGUR tarafından yürütülecek olan “Strip Perforasyon Tamirinde Farklı Tekniklerle Uygulanan Kalsiyum Silikat Esaslı Biyoaktif Materyallerin Dentinal Adaptasyonunun Mikro-BT ile Değerlendirilmesi” konulu çalışma, Etik Kurulumuz tarafından incelenmiş ve araştırma etiği açısından UYGUN bulunmuştur.		
Bilgilerinizi saygılarımla rica ederim.		
Eki: 3 sayfa		

ÖZGEÇMİŞ

I. Bireysel Bilgiler

Adı: Çağla Nur

Soyadı: Delibaşı

