

K.K.T.C.
YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MTA (MİNERAL TRİOKSİT AGGREGATE) VE
BİOAGGREGATE'İN, DENTİN TÜBÜLLERİNDEN KÖK
YÜZEYİNE KALSİYUM VE HİDROKSİL İYON
DİFÜZYONLARININ İN VİTRO OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Diş Hek. Umut AKSOY

Endodonti Programı

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Feridun ŞAKLAR

LEFKOŞA

2012

Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Endodonti Anabilim Dalı Programı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 22.06.2012

İmza

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Nuran ULUSOY

Jüri

Prof. Dr. Feridun ŞAKLAR

Jüri

Prof. Dr. Meltem Dartar ÖZTAN

Jüri

Doç. Dr. Hakkı SUNAY

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Atakan KALENDER

ONAY:

Bu tez, Yakın Doğu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İhsan ÇALIŞ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince hem akademik hem de hayata dair bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen saygıdeğer hocam, danışmanım Prof. Dr. Feridun Şaklar'a,

Tez çalışmalarım sırasında bana karşı her zaman hoşgörülü olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Nuran Ulusoy'a ve Prof. Dr. Hikmet Solak'a,

Doktora eğitimim ve tez çalışmalarımındaki çok değerli katkıları sebebiyle başta Prof. Dr. Bade Sonat, Prof. Dr. Aylin Kalaycı ve Prof. Dr. Meltem Dartar Öztan olmak üzere Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nın değerli öğretim üyelerine, Temel Tıp Bilimleri Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Tamer Yılmaz'a ve YDÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi öğretim üyesi Prof. Dr. Kaan Orhan'a,

Tanıma fırsatı bulduğum ilk günden itibaren beni kardeşi gibi görüp eğitim sürecimle yakından ilgilenen ve bana en zor durumlarda yol gösterici olan değerli hocam, abim Yrd. Doç. Dr. Atakan Kalender'e,

Tez çalışmalarımızın deneysel aşamalarındaki emeği çok büyük olan ve bana aylarca büyük bir sabır ve özveri ile katlanıp yardımcı olan YDÜ Eczacılık Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Kaan Polatoğlu'na,

Anlayış ve yardımları sebebiyle başta Dt. Fatma Basmacı olmak üzere birlikte çalıştığım için kendimi şanslı hissettiğim tüm çalışma arkadaşlarıma,

Beni bu günlere getiren, hayatım boyunca koşulsuz sevgi ve desteklerini yakından hissettiğim babam Dt. Hasan Aksoy, annem Doç. Dr. Nurhan Aksoy ve kardeşim Cansu Aksoy'a,

Hayatıma girdiği ilk andan itibaren her alanda olduğu gibi doktora eğitimim süresince de bana tüm kalbiyle inanan; özverisi, anlayışı, sabrı ile destek olan, zor günlerimde sevgisi ile bana güç veren, sevgili yaşam arkadaşım, biricik eşim Dt. Seçil Aksoy'a,

Tüm kalbimle sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Aksoy, U. MTA (Mineral Trioksit Aggregate) ve BioAggregate'in, dentin tübüllerinden kök yüzeyine kalsiyum ve hidroksil iyon difüzyonlarının in vitro olarak araştırılması. Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Endodonti Programı, Doktora Tezi, Lefkoşa, 2012.

Kanal içerisine yerleştirilen kalsiyum hidroksitten ayrılan kalsiyum ve hidroksil iyonları dentin tübüllerinden difüze olarak eksternal enflamatuvar kök rezorpsiyonlarının tedavisinde rol oynarlar. Fakat özellikle uzun dönem kanal içi kalsiyum hidroksit kullanımı kök fraktürü riskini artırır. MTA ve BioAggregate, kanal içerisinde kullanıldıklarında, kalsiyum ve hidroksil iyon kaynağı olarak görev yaparak, kalsiyum hidroksite alternatif teşkil edebilir. Bu tez çalışmasında, kanal içerisine yerleştirilen MTA ve BioAggregate'ten salınıp dentin kanallarına difüze olan ve sementten yoksun kök yüzeylerine ulaşan kalsiyum ve hidroksil iyonları, farklı seviyelerdeki kök bölgelerinde pat formundaki kalsiyum hidroksit ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla 120 adet çekilmiş tek köklü daimi insan dişleri kullanılmıştır. Dişler mine-sement seviyesinden kesilip kuronları ayrıldıktan sonra kök kanalları Protaper eğe sistemi kullanılarak crown-down prensiplerine uygun olarak şekillendirilmiştir. Eksternal kök rezorpsiyonlarını taklit etmek amacıyla silindirik elmas fissür frezle kök yüzeylerinin servikal, orta ve apikal olmak üzere üç farklı bölgelerinde yapay kaviteler açılmıştır. Ardından örnekler; kontrol (1), kalsiyum hidroksit (2), MTA (3) ve BioAggregate (4) olmak üzere 4 ana gruba, her ana grup da kendi içinde rezorpsiyon kavitelerinin yerlerine göre servikal kök bölgesi (a), orta kök bölgesi (b) ve apikal kök bölgesi (c) olmak üzere 3 alt gruba ayrılmıştır. Kontrol grubu örneklerinde kök kanalları boş bırakılmış, diğer gruplardaki örneklerde kanalların tamamı kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate ile doldurulmuştur. Yapay kaviteler

haricindeki tüm yüzeyleri izole edildikten sonra her bir örnek içerisinde 10 ml distile su bulunan plastik deney tüplerine atılmıştır. Örneklerin içerisinde bulunduğu sudaki kalsiyum iyonlarının konsantrasyonları ve hidroksil iyonlarının konsantrasyonunu ifade eden pH değerleri 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerin sonunda ölçülmüştür. Elde edilen veriler Kruskal Wallis H testi ve Bonferroni düzeltmeli Mann Whitney U testi ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çalışmamızın sonuçlarına göre kök kanalı içerisine yerleştirilen kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate materyallerinden ayrılan kalsiyum ve hidroksil iyonları, dentin bariyerini aşp sementten yoksun kök yüzeylerine ulaşabilmektedirler. Hemen hemen tüm çalışma periyodu boyunca kalsiyum ve hidroksil iyon difüzyonları açısından kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate'e göre üstün özellikler sergilemiştir. MTA ve BioAggregate materyalleri araştırılan konu itibariyle benzer özellikler göstermişler ve tüm çalışma periyodu boyunca birbirlerine üstünlük sergilememişlerdir.

Anahtar kelimeler: MTA, BioAggregate, kalsiyum hidroksit, eksternal enflamatuar kök rezorpsiyonu, iyon difüzyonu.

ABSTRACT

Aksoy, U. In vitro investigation of the diffusion of calcium and hydroxyl ions through dentinal tubules to the root surface from MTA (Mineral Trioxide Aggregate) and BioAggregate. Near East University Institute of Health Sciences, PhD Thesis in Endodontics, Lefkoşa, 2012.

Diffusion of calcium and hydroxyl ions from intracanal calcium hydroxide through dentin is used to arrest external inflammatory root resorption. However, long-term calcium hydroxide placement has been associated with an increased risk of root fracture. MTA and BioAggregate might provide an alternative to calcium hydroxide as a source of calcium and hydroxyl ions. This in vitro study compared the effects of MTA, BioAggregate and calcium hydroxide on calcium and hydroxyl ion diffusion through dentinal tubules to the root surfaces without cementum in various root levels. 120 previously extracted human permanent single-rooted teeth were used in this study. The teeth were decoronated and instrumented using crown-down technique with Protaper rotary files. To simulate external root resorption, artificial defects were created using cylindrical diamond bur in cervical-middle-apical thirds of root surfaces. The teeth were divided into four main groups: Control (1), calcium hydroxide (2), MTA (3) and BioAggregate (4). Main groups then divided into three sub-groups according to location of the simulated defects: Cervical (a), middle (b) and apical (c). In control group, root canals of specimens left empty. Other root canals of specimens filled with calcium hydroxide, MTA or BioAggregate. The entire root surfaces, except the simulated defects, were isolated. Each specimen was immersed in a vial containing 10 ml distilled water. Calcium concentrations and pH of the immersion media was measured at 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days. Statistical analysis was accomplished by Kruskal–Wallis H and Mann–Whitney U tests with Bonferroni correction. This study indicated that intracanal placement of

both calcium hydroxide, MTA and BioAggregate resulted in the diffusion of calcium and hydroxyl ions across dentine. The results showed greater calcium and hydroxyl ions released by calcium hydroxide groups than MTA and BioAggregate groups. MTA and BioAggregate groups showed similar properties and there were no differences between these groups in whole study period.

Key words: MTA, BioAggregate, calcium hydroxide, external inflammatory root resorption, ion diffusion.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	
ŞEKİLLER DİZİNİ	
TABLolar DİZİNİ	
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kök Rezorpsiyonları	4
2.1.1. Rezorpsiyonda Rol Oynayan Hücresel Faktörler	5
2.1.1.1. Monosit ve Makrofajlar	5
2.1.1.2. Osteoklastlar	6
2.1.1.3. Odontoklastlar	7
2.1.1.4. Rezorpsiyonun Mekanizması	7
2.1.2. Kök Rezorpsiyonlarının Sınıflandırılması	10
2.1.2.1. İnternal Kök Rezopsiyonları	13
2.1.2.2. Eksternal Kök Rezorpsiyonları	16

2.1.2.3. Sistemik Hastalıklarla İlişkili Kök Rezorpsiyonları	21
2.1.3. Kök Rezorpsiyonlarında Tedavi Yaklaşımları	21
2.1.3.1. İnternal kök rezorpsiyonlarında tedavi yaklaşımları	21
2.1.3.2. Eksternal kök rezorpsiyonlarında tedavi yaklaşımları	22
2.2. Kalsiyum Hidroksit	24
2.2.1. Biyokimyasal Etkileri	25
2.2.1.1. Antimikrobiyal aktivite	25
2.2.1.1.1. Bakterilerin hücre membranına etkisi	26
2.2.1.1.2. Protein denatürasyonu	26
2.2.1.1.3. DNA hasarı	26
2.2.1.2. Mineralizasyon aktivitesi	27
2.2.1.3. Nekrotik doku çözücülüğü	27
2.2.2. Klinik Kullanımı	27
2.2.2.1. Kalsiyum hidroksit taşıyıcıları	27
2.2.2.2. Kalsiyum hidroksitin kanal içi medikamanı olarak kullanımı	29
2.2.2.2.1. Kök kanalı içerisindeki antibakteriyel etkinliği	30
2.2.2.2.2. Kök kanalı içerisindeki antiendotoksin etkinliği	31
2.2.2.2.3. Kök kanalı içerisindeki antifungal etkinliği	32
2.2.2.2.4. Kök iç ve dış yüzeyindeki biyofilm tabakasına etkinliği	33
2.2.2.2.5. Kalsiyum hidroksit ve kök kanal dentini ilişkisi	34
2.2.2.2.6. Kök rezorpsiyonlarında kalsiyum hidroksit kullanımı	35
2.3. Mineral Trioxide Aggregate (MTA)	36

2.3.1. Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri	37
2.3.1.1. Basınca dayanıklılık	37
2.3.1.2. Radyoopasite	38
2.3.1.3. pH ve çözünürlük	38
2.3.1.4. Sızdırmazlık ve marjinal adaptasyon	39
2.3.1.5. Antibakteriyel ve antifungal özellikler	40
2.3.1.6. Biyouyumluluk	41
2.3.1.7. Rejeneratif potansiyeli ve biyolojik aktivitesi	42
2.3.2. Hazırlama	43
2.3.3. Klinik Kullanımı	44
2.3.3.1. Pulpa kapaklama materyali olarak kullanımı	44
2.3.3.2. Kök ucu dolgu materyali olarak kullanımı	45
2.3.3.3. Perforasyon tamir materyali olarak kullanımı	46
2.3.3.4. Apeksifikasyon sırasında apikal bariyer oluşturmak için kullanımı	48
2.3.3.5. Rezorpsiyon vakalarında kullanımı	49
2.3.3.6. Horizontal kök fraktürlerinde kullanımı	51
2.3.3.7. Devital beyazlatma öncesinde kuronal bariyer olarak kullanımı	51
2.3.3.8. Kanal dolgu materyali olarak kullanımı	51
2.4. Bioaggregate	52
2.5. Dentin ve Tübüler Yapı	55

2.5.1. Dentin Tübülleri	56
2.5.2. Peritübüler Alan	57
2.5.3. İntertübüler Matriks	57
2.5.4. Dentin Sıvısı	57
2.5.5. Dentin Geçirgenliği	58
2.5.6. Kök Dentininde Geçirgenlik	58
2.6. Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi	59
3. GEREÇ VE YÖNTEM	61
3.1. Çalışmaya Dahil Edilecek Dişlerin Seçimi	61
3.2. Örneklerin Hazırlanması	61
3.3. pH Değerlerinin Ölçümü	68
3.4. Kalsiyum Konsantrasyonlarının Ölçümü	68
4. BULGULAR	71
4.1. Kalsiyum Bulguları	71
4.1.1. Servikal bölge grupları kalsiyum değerleri	71
4.1.2. Orta bölge grupları kalsiyum değerleri	73
4.1.3. Apikal bölge grupları kalsiyum değerleri	75
4.1.4. Ana gruplar ortalama kalsiyum değerleri	77
4.1.5. Servikal, orta ve apikal alt gruplar ortalama kalsiyum değerleri	79
4.2. pH Bulguları	81
4.2.1. Servikal bölge grupları pH değerleri	81

4.2.2. Orta bölge grupları pH değerleri	83
4.2.3. Apikal bölge grupları pH değerleri	85
4.2.4. Ana gruplar ortalama pH değerleri	87
4.2.5. Servikal, orta ve apikal alt gruplar ortalama pH değerleri	89
5. TARTIŞMA	91
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	114
YAYINLAR	145

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Alan
AAE	American Association of Endodontists
AAS	Atomik absorpsiyon spektroskopisi
BA	BioAggregate
Bi ₂ O ₃	Bizmut oksit
BMP	Bone morphogenetic protein
Ca	Kalsiyum
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
3CaO.Al ₂ O ₃	Trikalsiyum aluminat
4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Tetra kalsiyum aluminaferrit
Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidroksit
2CaO.SiO ₂	Dikalsiyum silikat
3CaO.SiO ₂	Trikalsiyum silikat
Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	Hidroksiapatit kristalleri
CaSO ₄ .2H ₂ O	Kalsiyum sülfat dihidrat
CHX	Klorheksidin
CMCP	Kafurlu monoklorofenol
CNTF	Siliar nörotropik faktör
CO ₂	Karbondioksit
DNA	Deoksiribonükleik asit
EDTA	Etilen diamin tetraasetik asit
EPS	Ekzopolisakarit
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Yönetimi

g	Gram
GM-CSF	Granülosit makrofaj koloni stimulan faktör
H	Hidrojen
H ₂ CO ₃	Dihidrojen karbonat
H ₂ O	Su
H ₂ PO ₄	Dihidrojen fosfat
IL	İnterlökin
IRM	Intermediate restorative material
LaCl ₃ 7H ₂ O	Lantan klorür
LIF	Lökemi inhibitör faktör
LPS	Lipopolisakkarit
mA	Miliamper
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MPa	MegaPascal
MTA	Mineral Trioksit Aggregate
N/cm	Newtom/santimetre
nm	Nanometre
NaOCl	Sodyum hipoklorit
OH	Hidroksil
OPG	Osteoprotegerin
OSM	Onkostatin M
pH	Hidrojenin gücü
ppb	Parts per billion
ppm	Parts per million
r	Yarıçap

RANKL	Receptor activator of nuclear factor kappa B ligand
RGD	Arginine-glycine-aspartic acid
SEM	Scanning electron microscope
SS	Standart Sapma
Super EBA	Super ethoxy benzoic acid
TNF	Tümör nekrozis faktör
μL	Mikrolitre
μm	Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
π	Pi sayısı

ŞEKİLLER

3.1. Kanalların preparasyonu için kullandığımız X-Smart endodontik motor ve ProTaper eğe sistemi.	62
3.2. Kanalların doldurulmasında kullandığımız materyaller.	62
3.3. Radyografi ile kalan dentin kalınlığının belirlenmesi.	64
3.4. Servikal üçlü ve orta üçlü bölgelerinde yapay rezorpsiyon kaviteleri açılıp tırnak cilası ve mum ile izolasyonu yapılmış örnekler.	66
3.5. Apikal üçlü bölgesinde yapay rezorpsiyon kavitesi açılıp tırnak cilası ve mum ile izolasyonu yapılmış örnek ve tüm çalışma gruplarına ait örnekler.	66
3.6. Falkon tüpleri içerisinde muhafaza edilen örnekler.	67
3.7. 37 °C'ye ayarlanmış etüv içerisine yerleştirilen örnekler.	67
3.8. pH ölçümü yapılan örnekler.	68
3.9. Atomik absorpsiyon cihazı ile kalsiyum ölçümü.	70
4.1. Günlere göre 1a, 2a, 3a ve 4a gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.	71
4.2. Günlere göre 1b, 2b, 3b ve 4b gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.	73
4.3. Günlere göre 1c, 2c, 3c ve 4c gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.	75
4.4. Günlere göre 1, 2, 3 ve 4 ana gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.	77
4.5. Günlere göre a, b ve c alt gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.	79

4.6. Günlere göre 1a, 2a, 3a ve 4a gruplarındaki pH değerleri grafiği.	81
4.7. Günlere göre 1b, 2b, 3b ve 4b gruplarındaki pH değerleri grafiği.	83
4.8. Günlere göre 1c, 2c, 3c ve 4c gruplarındaki pH değerleri grafiği.	85
4.9. Günlere göre 1, 2, 3 ve 4 ana gruplarındaki ortalama pH değerleri grafiği.	87
4.10. Günlere göre a, b ve c alt gruplarındaki ortalama pH değerleri grafiği.	89

TABLOLAR

2.1. MTA ve BioAggregate'in bileşen, fonksiyon ve özellikleri bakımından karşılaştırılması.	53
2.2. Dentin dokusunun inorganik bileşenleri.	56
4.1. Servikal bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.	71
4.2. Servikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	72
4.3. Orta bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.	73
4.4. Orta bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	74
4.5. Apikal bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.	75
4.6. Apikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	76
4.7. Ana gruplar için ppm cinsinden ortalama kalsiyum değerleri.	77
4.8. Ana gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.	78
4.9. Servikal, orta ve apikal alt gruplar için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.	79
4.10. Alt gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.	80
4.11. Servikal bölge grupları pH değerleri.	81
4.12. Servikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	82
4.13. Orta bölge grupları pH değerleri.	83
4.14. Orta bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	84
4.15. Apikal bölge grupları pH değerleri.	85
4.16. Apikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.	86
4.17. Ana gruplar ortalama pH değerleri.	87
4.18. Ana gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.	88
4.19. Servikal, orta ve apikal alt bölge gruplar ortalama pH değerleri.	89
4.20. Ana gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.	90

1.GİRİŞ

İlk kez 1993 yılında diş hekimliğine tanıtılan MTA (Mineral Trioksit Aggregate), 1998 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Yönetimi (FDA) tarafından onaylanması ile hem deneysel hem de klinik olarak geniş çaplı kullanım alanı bulmuştur (Lee ve diğerleri, 1993; Schwarz ve diğerleri, 1999). Başlangıçta kök ucu dolgu materyali olarak geliştirilen MTA, sahip olduğu özellikler sayesinde klinikte zamanla, vital pulpa tedavilerinde, apeksifikasyon işlemlerinde, kök perforasyonu tedavilerinde, rezorpsiyon tedavilerinde ve kök kanal dolgu maddesi olarak da tercih edilen bir materyal haline gelmiştir.

BioAggregate; perforasyon tamiri, vital pulpa tedavileri, kök ucu dolgusu ve apeksifikasyon işlemlerinde kullanımı önerilen, yeni geliştirilen biyoseramik esaslı bir materyaldir. BioAggregate'in içeriğinin büyük oranda MTA ile benzer olduğu ve MTA'nın modifiye edilmiş bir biçimi olduğu ifade edilmiştir (Park ve diğerleri, 2010). Üretici firma, içeriğinin MTA'dan farklı olarak alüminyum içermemesinin materyalin toksik etkilerini minimize ettiğini iddia etmektedir. BioAggregate ile yapılmış olan sınırlı sayıda çalışmada elde edilen sonuçlar, materyalin MTA'ya alternatif teşkil edebileceğini göstermektedir.

Enflamatuvar kök rezorpsiyonlarının tedavisi, enflamasyon sürecinin eliminasyonu ve rezorpsiyondan sorumlu hücrelerin aktivitelerinin inhibisyonunu gerektirir (Fuss ve diğerleri, 2003). Bugüne kadar eksternal ve internal kök rezorpsiyonları için önerilen tedavi şekli, kalsiyum hidroksitin kullanımı ya da sert doku bariyeri formasyonun teşvikine yardım ederken aynı zamanda yeterli biyolojik tıkamayı da sağlayan diğer biyomateriyallerin kullanılmasıdır (Özdemir ve diğerleri, 2008). Kalsiyum hidroksit içerikli materyallerin kullanımındaki ana neden, ayrılan kalsiyum (Ca) ve hidroksil (OH) iyonlarının dentin tübüllerinden kök yüzeyine difüzyonu ile rezorpsiyon sahasındaki asidik pH'nın alkaline dönüşmesi ve aynı zamanda sert doku

formasyonunda görevli enzimlerin aktivasyonunda, hücrelerin migrasyonunda ve mineralizasyonda gerekli olan kalsiyum iyonları sayesinde iyileşme için gerekli ortam şartlarının oluşmasının beklenmesidir (Özdemir ve diğerleri, 2008; Sarkar ve diğerleri, 2005).

Yapılan çalışmalarda bildirildiği üzere, sıvı ortamdaki MTA'dan salınan temel kimyasal bileşimlerden biri hidroksit formundaki kalsiyumdur (Fridland ve Rosado, 2003; Sarkar ve diğerleri, 2005). Rezorpsiyon sahası ile arasında dentin bariyeri olan enflamatuar eksternal kök rezorpsiyonu vakalarında kanal dolgu maddesi olarak kullanılan MTA, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının yavaş ve düzenli salımını sağlayıp iyileşmeyi teşvik edebilir. Konuyla ilgili yapılan az sayıda çalışmada, kanal içerisine yerleştirilen MTA'dan salınan kalsiyum ve hidroksil iyonlarının dentin tübüleri vasıtasıyla diffüze olup sementten yoksun kök yüzeyine ve kökün bulunduğu sıvı ortama ulaşabildiği gösterilmiştir (George ve diğerleri, 2009; Heward ve Sedgley, 2011; Özdemir ve diğerleri, 2008). Bu konuda Bioaggregate ile henüz yapılmış bir çalışma yoktur. Fakat materyallerin içerikleri göz önüne alındığında BioAggregate'in MTA ile benzer özellikler göstereceği öne sürülebilir.

Kök kanalı içerisinde uzun dönem kalsiyum hidroksit kullanımının dişin yapısını zayıflattığı ve fraktür riskini artırdığı çeşitli araştırmalarda bildirilmiştir (Andreasen ve diğerleri, 2002; Rosenberg ve diğerleri, 2007). Özellikle nekrotik pulpalı açık apeksli dişlerde ve geniş periapikal lezyonlu dişlerde MTA'nın kanal dolgu maddesi olarak kullanımı ile kalsiyum hidroksitten beklediğimiz özellikleri elde etmenin yanında, aynı zamanda diş yapısının dayanıklılığının da korunması dişin uzun dönemde prognozuna olumlu katkıda bulunabilir (Bogen ve Kuttler, 2009). Bu bağlamda BioAggregate'in de benzer amaçlarla kullanılabileceği ifade edilmiştir (Tuna ve diğerleri, 2011).

Dentin tabakasının kalınlığı ile dentin tübüllerinin kökün farklı seviyelerindeki uzanım açıları, çap ve sayıları, iyon difüzyonunu etkileyebilecek faktörlerdir. Literatürde bu faktörleri göz önüne alarak konu ile

ilgili MTA, BioAggregate ve kalsiyum hidroksitin karşılaştırıldığı bir çalışma yoktur.

Yürütülen bu tez çalışmasında, kök kanallarına uygulanan MTA ve BioAggregate'in, köklerin apikal bölge, orta bölge ve servikal bölge olmak üzere farklı seviyelerinden salınan kalsiyum ve hidroksil iyonlarının diffüzyon düzeylerinin atomik absorpsiyon spektrofotometre ve pH metre cihazları kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1.Kök Rezorpsiyonları

Kök rezorpsiyonu dentin veya sement kaybı ile sonuçlanan ve fizyolojik veya patolojik olabilen bir süreçle ilgili durumu tanımlar (American Association of Endodontists [AAE], 2003). Süt dişlerinde oluşan kök rezorpsiyonları, dişlerin düşmeden önceki rezorptif aktivitesini içeren fizyolojik bir süreç iken, daimi dişleri etkileyen kök rezorpsiyonları patolojiktir (Bakland, 1992).

Daimi dişlerde kök rezorpsiyonu, ilk defa 1856 yılında Bates tarafından, periodontal membranın travmasına bağlı bir absorpsiyon süreci olarak tarif edilmiştir. 1914'te Ottolengui tarafından ortodontik tedavi ile ilişkilendirilmiştir. Ketcham, 1927 yılında bildirdiği radyografik çalışmasında köklerin kısalığının anatomik varyasyonlara bağlı olabileceği gibi, ortodontik tedavinin bir sonucu olabileceğine de işaret etmiştir. (Aktaran: Darendeliler ve Cheng, 2009, s. 85)

Ketcham yine bir başka çalışmasında (1929) hormonal dengesizlik ve beslenme yetersizliklerinin, kök rezorpsiyonlarının muhtemel nedenleri olabileceğini ileri sürmüştür. O dönemde 'absorpsiyon' ve 'rezorpsiyon' terimlerinin her ikisi de kök ucundaki madde kaybını tanımlarken, 1932 yılında Becks ve Marshall'ın sadece rezorpsiyon teriminin kullanımını önerdikleri bildirilmektedir (Aktaran: Darendeliler ve Cheng, 2009, s. 85). Kök rezorpsiyonları daha sonra birçok araştırmanın konusu haline gelmiştir.

Dişlerdeki rezorpsiyonlar istisnasız biçimde periodontal ligament ve/veya pulpa dokusundaki yaralanma ya da irritasyonun sonucunda ortaya çıkar. Bu durum travmatik diş yaralanmalarının bir sekeli olarak, ortodontik diş hareketlerine bağlı olarak veya pulpa ya da periodontal yapıların kronik enfeksiyonuna bağlı olarak oluşabilir. Rezorpsiyon süreci; enflamatuar hücreler, rezorbe edici hücreler ve sert doku yapıları arasındaki karmaşık bir

etkileşimi içermektedir. Genellikle bu patolojik durumun tahmini, teşhisi ve tedavisi zordur (Ne ve diğerleri, 1999).

Diş rezorpsiyonundaki süreç kemik dokularda oluşan rezorpsiyona benzerlik göstermektedir. Kemik, dentin ve sement dokusundaki yaralanma ve irritasyonlar, bu dokular içerisinde kimyasal değişimlere yol açarak 'klast' adı verilen çok çekirdekli dev hücrelerin oluşumuna neden olur (Pierce ve diğerleri, 1991). Bütün sert doku rezorpsiyonlarından sorumlu ana hücre tipi olan klastik hücreler makrofaj ve monositler ile etkileşim içindedirler. Tüm bu hücreler rezorpsiyon sürecini etkileyen sitokinler, enzimler ve hormonlarla birlikte moleküler düzeydeki kompleks biyolojik olayları yönetmektedirler (Ne ve diğerleri, 1999).

2.1.1.Rezorpsiyonda Rol Oynayan Hücresel Faktörler

2.1.1.1.Monosit ve makrofajlar

Kemik iliğinde üretilen monositler yaklaşık 10-12 μm çapında yuvarlak şekilli hücrelerdir. İyi gelişmiş bir golgi aygıtına, böbrek şekilli çekirdeğe ve lizozomal granüllere sahiptirler. Hücre yüzeyindeki çok sayıda mikrovilluslar ile karakterizedirler. Kemik iliğinde olgunlaşan monositler uzak dokulara ulaşp farklı makrofaj türleri ve dentritik hücreleri oluşturmak için kan dolaşımına katılırlar.

Makrofajlar, çapı 60 μm 'yi bulabilen daha büyük hücrelerdir. Çok sayıda lizozomal granüllere ve mikrovilluslara sahiptirler. Kemik doku içindeki hareketleri, makrofaj kemotaktik faktörler olan mikroorganizmalar ve onların ürünleri, kimyasal mediatörler ya da yabancı partiküller aracılığıyla olur.

Birkaç ayı bulan ömürleri içerisinde çok farklı görevleri yerine getirirler. Bu görevlerinden bazıları normal hücre ve doku döngüsüyle alakalı iken bazıları enflamatuvar ve immün cevabın bir parçasını oluşturur. Makrofajlar fonksiyonlarını yerine getirebilmek için 100'e yakın düzenleyici ve enzimatik protein üretir ve salgılarlar (Garant, 2003, s. 390-391).

Monosit ve makrofajlar, osteoklastlarla birlikte kemik ve diş rezorpsiyonlarında önemli bir rol oynamaktadırlar. Periodontal hastalıklarda, kök etrafındaki granülomlar ve kistlerde, metastatik kemik tümörlerinde komşu dokuda bulunurlar (Akamine ve diğerleri, 1994a; Akamine ve diğerleri, 1994b; Ne ve diğerleri, 1999).

Makrofajlar, osteoklastlar ile benzer bir yapı sergilese de osteoklastlarda bulunan fırçamsı kenara (ruffled border) sahip değildirler. Bu sebeple rezorpsiyon sırasında sert doku yüzeylerine tutunamazlar ve dentinal yüzeylerde lakunalar oluşturamazlar (Domon ve diğerleri, 1997; Ne ve diğerleri, 1999).

2.1.1.2.Osteoklastlar

Albert Kolliker (1873), bazı kemik yüzeylerindeki büyük, çok çekirdekli hücrelerin kemik rezorpsiyonunun direkt ajanları olduğunu öne süren ilk araştırmacıdır (Aktaran: Zaidi, 1993). Osteoklastlar, hematopoetik stem (kök) hücrelerden menşei alırlar. Oldukça hareketli, multinükleer ve lizozomal enzimler taşıyan polarize hücrelerdir. Ayrıca çok sayıda mitokondri, serbest ribozom ve yaygın golgi kompleksi içerirler. Ortalama ömürleri 2 hafta kadardır (Ne ve diğerleri, 1999).

Osteoklastların makrofajlarda bulunmayan karakteristik bir özelliği fırçamsı kenarlarıdır (ruffled border). Fırçamsı kenar, stoplazma membranının çok sayıda, ince, parmak şekilli uzantılarından oluşur. Mineralize kemik matriksinin rezorpsiyonu ve yıkımı, fırçamsı kenardan tampon bölgeye hidrojen iyonları ve proteolitik enzimlerin geçmesi ile oluşur. Osteoklastlar kemik yüzeyine yerleştğinde fırçamsı kenarın bağlandığı yerde karakteristik çukurcuklar oluştururlar. Bu çukurcuklar, ortamda osteoklast olmadığında kesinlikle oluşmaz (Garant, 2003, s. 202-211; Väänänen ve diğerleri, 2000).

Osteoklastların bir diğer önemli işleve sahip yapısal alanı organelsiz sitoplazmik bölgeleridir (clear zone). Organelsiz sitoplazmik bölge, fırçamsı kenarı çevreleyen ve kontraktil proteinlerden zengin hücresel bir alandır.

Burada bulunan mikroflamanların organize olması sonucu oluşan podozom adlı yapılar osteoklasta hareket özelliği kazandırır (Garant, 2003, s. 202-211).

Osteoklastlar, mineralize kemik matriksinin önce mineral sonra da organik kısmını yani kollajen lifleri ortadan kaldırırlar (Garant, 2003, s. 202-211).

2.1.1.3.Odontoklastlar

Osteoklastlar ile dişi rezorbe eden hücrelerin (odontoklastlar, dentinoklastlar, sementoblastlar) aynı hücreler olup olmadığı bilinmemekle birlikte birçok ortak özellikleri vardır. Odontoklastlar daha küçük hücrelerdir. Osteoklastlar gibi fırçamsı kenara sahiptirler fakat daha az hücre çekirdeği içerirler (Ne ve diğerleri, 1999). Osteoklastlarla aralarında sitokimyasal bir farklılık olmadığı bildirilmiştir (Sasaki, 2003).

2.1.1.4.Rezorpsiyonun mekanizması

Dokudaki oksijen değişimleri, hormonal değişiklikler, lokal olarak üretilen kimyasal mediatörlerin etkisi gibi kemik rezorpsiyonuna neden olabilecek şartlar altında bile, diş kökü hem eksternal hem de internal olarak rezorpsiyona dirençlidir. Çeşitli hipotezler öne sürülmüş olsa da, kök dokusunun rezorpsiyona hangi mekanizma ile direnç gösterdiği kesin olarak bilinmemektedir (Levin ve Trope, 2002).

Bir hipoteze göre, kökü bir ağ gibi saran epitelial kök kılıfı kalıntıları dişi rezorpsiyona ve ankiloza karşı korur (Orban, 1952). Fakat bu hipotez desteklenmemiştir (Levin ve Trope, 2002).

Andreasen (1988)'in ortaya attığı ikinci hipotez, dentini her iki taraftan da kaplayan sement ve preentinin, diş kökünün rezorpsiyona karşı direncinde öncelikli öneme sahip olduğunu savunmaktadır (Aktaran: Trope, 2002) Bu hipotezi destekleyen durum, osteoklastların mineralize olmayan matrikse yapışmamalarıdır (Nakamura ve diğerleri, 1996; Takahashi ve diğerleri, 2007). Osteoklastlar, arginine-glycine-aspartic acid (RGD) amino asit sırasını içeren ekstraselüler matriks proteinleri vasıtasıyla görev yaparlar.

Mineralize yüzeylerdeki kalsiyum tuz kristallerine yapışık olan RGD peptidleri, osteoklastlar için yapışma alanları oluştururlar. Sementin en dış yüzeyi mineralize olmayan sementoid tabakayı saran sementoblastlarla kaplıdır. Sementi örten bu organik matriks, osteoklastların yapışması için uygun bir alan oluşturmaz. Kökün iç yüzeyini oluşturan dentin ise benzer şekilde organik matriks oluşturan preentin tabakası ile örtülüdür. Böylece hem sement hem de preentinde RGD proteinlerinin bulunmaması osteoklastların bağlanmasını düşürerek rezorpsiyona karşı direnç oluşturur (Trope, 2002). Çok sayıda çalışma ile bu hipotez desteklenmiştir (Hammarstrom ve Lindskog, 1985; Polson ve Caton, 1982; Trope, 2002). Travmatik olgularda sement veya preentinin yaralanmasıyla osteoklastları uyarımı ve sonucunda gelişen kök rezorpsiyonu bu hipotezi desteklemektedir. Eksternal servikal rezorpsiyon vakalarında periferel dentinin büyük ölçüde harabiyete uğramasına karşın pulpa çevresindeki preentine komşulukta olan dentinin korunması, preentin dokusunun direncini göstermektedir (Tronstad, 1988).

Dişleri rezorpsiyona karşı göreceli olarak koruyan bir diğer hipoteze göre preentin ve sementte bulunan intrinsik faktörler, resorbe edici hücrelerin inhibisyonunu sağlamaktadır (Levin ve Trope, 2002). Tümör nekrozis faktör (TNF) süperfamilyasından olan ve osteoprotegerin (OPG) olarak bilinen protein, 1997 yılında birbirinden farklı iki grup tarafından bulunmuştur. OPG 380 aminoasitten oluşan glukoprotein yapısında bir sitokin reseptörüdür (Simonet ve diğerleri, 1997). Etkilerini tuzak reseptörü olarak salgılanarak yaparlar. Receptor activator of nuclear factor kappa B ligand'a (RANKL) bağlanarak konsantrasyonunu düşürür. Böylece RANKL molekülünün osteoklast üretimini (osteoklastogenezis) stimule edici etkisini inhibe eder (Kong ve diğerleri, 1999). Sementoblast hücrelerinin OPG üretilip üretilmediği bilinmemekle beraber gingival fibroblastlar, periodontal ligament hücreleri ve pulpa hücrelerinin OPG sentezleyebildiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Rani ve MacDougall, 2000; Sakata ve diğerleri, 1999; Wada ve diğerleri, 2001).

Eksternal kök rezorpsiyonlarının bazı türleri için geçerli bir diğer hipoteze göre en içteki sement tabakası olan ara sement (intermediate sement), yüksek derecede kalsifiedir ve dentin tübülleri ile periodontal ligament arasında bariyer görevi görür (Saygın ve diğerleri, 2000). Normal şartlar altında bu bariyer, enfekte pulpadaki bakteri ve ürünlerinin periodontal ligamente ulaşmasını engeller. Fakat ara sement zarar görür veya kaybolursa enfekte pulpadan diffüze olan bakteri ve bakteri ürünleri periodontal ligamentte enflamatuar cevap oluşumuna neden olur. Enflamatuar cevabı takiben de rezorpsiyon gelişir (Levin ve Trope, 2002).

Bu hipotezlerin hiçbirisi birbirini dışlamaz ve farklı vakalardaki şartların değişkenliğine göre değişik oranlarda katkı sağlarlar (Levin ve Trope, 2002).

Hormonlar, hücre yüzey proteinleri olan integrinler, transkripsiyon faktörleri, sitokinler gibi çok çeşitli mediatörler osteoklastların fizyolojik fonksiyonundan sorumludur. Patolojik kök rezorpsiyonuna daha az faktör etki eder ve bu faktörler enfeksiyona verilen enflamatuar cevapla ilişkilidir. Enflamatuar mediatörler, osteoklast/odontoklast fonksiyonları için güçlü uyarıcılar olarak bilinmektedirler. İnterlökin-1(IL-1), IL-2, IL-3, lökemi inhibitör faktör (LIF), siliar nörotropik faktör (CNTF), onkostatin M (OSM), TNF, granülosit makrofaj koloni stimulan faktör (GM-CSF) ve c kit ligand, osteoklastların gelişimini ve aktivitesini stimule eder (Levin ve Trope, 2002).

Kök rezorpsiyonunun başlaması için iki koşulun sağlanması gereklidir: Kökü koruyucu tabakanın zarar görmesi (kökün dış yüzeyindeki presegment veya kökün iç yüzeyindeki predentin) ve zarar gören kök yüzeyine komşu dokuda enflamatuar cevap oluşturacak bir uyarıcı. Bu koşullar altında, kök rezorpsiyonunun ilk aşaması klastik hücrelerin dış yüzeyine yapışmasıdır. Çeşitli RGD peptidi içeren proteinlerin (osteopontin, kemik sialoproteini, fibronektin, vitronektin) osteoklastların yüzeye yapışmasında etkili oldukları gösterilmiştir. Özellikle osteopontin, odontoklastlardaki integrin reseptörlerine bağlanarak odontoklastların sert dokulara yapışmasında aracılık eder (Giachelli ve Steitz, 2000). Odontoklastta en yoğun saptanan integrinler; $\alpha\beta3$ (vitronektin reseptörü), $\alpha2\beta1$ (kollagen reseptörü) ve $\alpha\beta5$ 'dir (Garant,

2003, s. 202-211). Osteopontin molekülünün bir bölgesi ekspozite dentindeki kalsiyum tuzlarına bağlı iken diğer bir bölgesi ise odontoklastların hücre membranındaki integrin reseptörlerine bağlanır. Böylelikle osteopontin, klastik hücrelerin sert dokuya bağlanmasını kolaylaştırır. Bu bağlanma odontoklastların polarizasyonunun indüklenmesi için esastır (Hill, 1998). Daha sonra polarize odontoklastların karakteristik özelliği olan fırçamsı kenar ve “clear zone” oluşumu başlar. Fırçamsı kenar, odontoklastın sert dokuyla karşı karşıya geldiği bölgede hücre içi asidik veziküllerin birleşmesi ile oluşur. Bu birleşme sırasında sert doku matriksini penetre etmek için parmak-benzeri uzantılar meydana gelir. “Clear zone” organellerin olmadığı, f-aktin filamentlerden zengin olan sitoplazma bölgesidir. Bu aktin filamentler fokal adhezyonlar veya podozomları oluşturmak için integrin reseptörleri ve osteopontin içeren ekstrasellüler proteinler ile ilişkiye girmektedirler. Fokal adhezyonlar hücre-matriks sıkı bağlantısını sağlar, hücrenin yanında fırçamsı kenarın uzandığı ve kemik matriksinin çözüldüğü bir rezorpsiyon lakunası oluşur. Daha sonra mineralize kök yüzeyinde odontoklast aktive olur (Väänänen ve diğerleri, 2000). Bir yandan fırçamsı kenardaki H Pompası (H^+ -ATPaz) ile H^+ salgılanıp sert doku yıkım bölgesinde asidik pH oluşturulurken, diğer yandan salgılanan kollagenaz ve lizozomal sistein proteinazlar (katepsin K) gibi hidrolitik enzimler ile sert doku yıkımı gerçekleştirilir (Bartkiewicz ve diğerleri, 1995).

2.1.2. Kök Rezorpsiyonlarının Sınıflandırılması

Çeşitli araştırmacılar 1970'lerden günümüze kadar diş rezorpsiyonları ile ilgili pek çok farklı sınıflandırma önermiş olmalarına rağmen evrensel olarak kabul görmüş bir sınıflandırma sistemi yoktur (Bakland, 1992). Genellikle lokalize oldukları bölgeye göre eksternal ve internal olarak başlıca iki ana gruba ayrılır ve her bir grup da pek çok alt gruptan oluşur. Terminolojideki farklılıklara ve sınıflamalarda yapılan bazı ekleme ve çıkarmalara rağmen her bir sınıflandırma kendinden öncekilerle benzerlikler gösterir (Kanas ve Kanas, 2011).

Diş rezorpsiyonları için günümüze dek önerilen çeşitli sınıflandırmalar:

Andreasen'e göre (Andreasen, 1970)

- İnternal rezorpsiyon
 - Enflamatuar rezorpsiyon
 - Replasman rezorpsiyonu
- Eksternal rezorpsiyon
 - Yüzey rezorpsiyonu
 - Enflamatuar rezorpsiyon
 - Replasman rezorpsiyonu

Tronstad'a göre (Tronstad, 1988)

- İnternal rezorpsiyon
- Eksternal rezorpsiyon
 - Progresif enflamatuar rezorpsiyon
 - Servikal rezorpsiyon
 - Replasman rezorpsiyonu

Bakland' göre (Bakland, 1992)

- İnternal rezorpsiyon
- Eksternal rezorpsiyon
 - Yüzey rezorpsiyonu
 - Enflamatuar rezorpsiyon
 - Replasman rezorpsiyonu (ankiloz)
 - Basınç rezorpsiyonu
 - Sistemik faktörlerle ilgili rezorpsiyon
 - İnvaziv rezorpsiyon (servikal rezorpsiyon)
 - İdiyopatik rezorpsiyon

Ne'ye göre (Ne, 1999)

- İnternal rezorpsiyon
 - Metaplastik rezorpsiyon (replasman rezorpsiyonu)

- Enflamatuar rezorpsiyon
- Eksternal rezorpsiyon
 - Yüzey rezorpsiyonu
 - Enflamatuar rezorpsiyon
 - 1-Servikal 2-Apikal
- Ankiloz
- Replasman rezorpsiyonu
- Geçici apikal bozulma

Fuss ve diğerleri'ne göre (Fuss ve diğerleri, 2003)

- Pulpal enfeksiyona bağlı kök rezorpsiyonu
- Periodontal enfeksiyona bağlı kök rezorpsiyonu
- Ortodontik kuvvete bağlı kök rezorpsiyonu
- Gömülü diş veya tümöre bağlı kök rezorpsiyonu
- Ankilotik kök rezorpsiyonu

Heithersay'a göre (Heithersay, 2007)

- Travma kaynaklı rezorpsiyon
 - Yüzey rezorpsiyonu
 - Geçici apikal internal rezorpsiyon
 - Basınç rezorpsiyonu
 - Ortodontik rezorpsiyon
 - Replasman rezorpsiyonu
- Enfeksiyon kaynaklı rezorpsiyon
 - İnternal enflamatuar rezorpsiyon
 - Eksternal enflamatuar rezorpsiyon
 - İnternal-eksternal ilişkili rezorpsiyon
- Hiperplastik invaziv rezorpsiyon
 - İnternal invaziv replasman rezorpsiyonu
 - İnvaziv kuronal rezorpsiyon
 - İnvaziv servikal rezorpsiyon

Kök rezorpsiyonlarının sınıflamalarında; rezorpsiyona neden olan etiyolojik faktörler, rezorpsiyonun meydana geldiği lokalizasyon, rezorpsiyonun histolojik ve morfolojik özellikleri gibi etmenler rol oynamıştır. Böylece rezorpsiyonun biyolojik karakterini ve seyrini öngörüp, doğru tedavinin uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Onları tanımlanabilir kılan spesifik patolojik süreçler içeren pek çok hastalığın aksine; kök rezorpsiyonları, çok çeşitli hastalıklarda radyografik bir işaret olarak ortaya çıkar. Bu nedenle kök rezorpsiyonu, spesifik bir hastalığın varlığından ziyade altta yatan patolojik bir sürecin göstergesidir (Kanas ve Kanas, 2011). Rezorpsiyonun teşhisi ve her bir rezorpsiyon türü için altta yatan patolojinin anlaşılması, klinik olarak kritik öneme sahiptir (Heithersay, 2007).

2.1.2.1. Internal Kök Rezorpsiyonları

İnternal kök rezorpsiyonu, pulpa boşluğunda başlayıp dentin kaybına neden olan, ileri aşamalarda ise sement invazyonu ile eksternal kök yüzeyinde perforasyonla sonuçlanabilen patolojik bir süreçtir (American Association of Endodontists, 2003). Bu enflamatuvar süreçle birlikte intraradiküler dentinde ve kök kanal duvarı boyunca uzanan dentin tübüllerinde, çok çekirdekli dev hücreler aracılığıyla yıkım gerçekleşir. Yıkımın gerçekleştiği rezorpsiyon boşluklarını granülasyon dokusu doldurur. Bazı durumlarda bu granülasyon dokusuna kemik veya sement benzeri mineralize dokular da eşlik eder. İnternal kök rezorpsiyonu, daimi dişlerde nadir görülen bir durumdur (Patel ve diğerleri, 2010). Erkeklerde kadınlara göre görülme sıklığı daha fazladır. Çalışkan ve Türkün (1997), en sık etkilenen dişlerin maksiller keser dişler olduğunu bildirmişlerdir.

İnternal kök rezorpsiyonunun gelişebilmesi için, kökün iç çeperini oluşturan ve rezorpsiyona karşı koruyan odontoblast ve preentin tabakalarının zarar görmüş olması ve alttaki mineralize dentin dokusunun odontoklastik hücrelerin tutunabileceği şekilde açığa çıkmış olması gerekmektedir (Wedenberg ve Lindskog, 1985). Preentin kaybına neden olabilecek faktörler tam olarak aydınlatılamamasına rağmen pek çok farklı etiyolojik faktörün rol oynayabileceği ileri sürülmüştür. Bunlar; travma, çürük,

periodontal enfeksiyonlar, yüksek ısı artışına neden olan restoratif işlemler, kalsiyum hidroksitli tedaviler, vital kök rezeksiyonu, anakorezis, ortodontik tedaviler, çatlak diş, pulpadaki idiyopatik distrofik değişimlerdir. Bu faktörlerin içinde travma ve pulpal enflamasyon/enfeksiyonların en sık görülen etmenler olduğu bildirilmiştir (Patel ve diğerleri, 2010).

İnternal rezorpsiyonun geçici (transient) veya ilerleyici (progressive) karakterde olabileceği bildirilmiştir (Wedenberg ve Lindskog, 1985). Wedenberg ve Lindskog (1985) yaptıkları çalışma sonucunda, odontoblast ve predentin tabakalarının kaybının rezorpsiyonun gelişebilmesi için ön şart olduğunu, bakteriyel bir uyarımın olmadığı durumlarda rezorpsiyonun kendi kendini sınırladığını ve geçici olduğunu ancak bakteriyel kontaminasyonla birlikte rezorpsiyon sürecinin uzayıp ilerleyici karakter kazandığını bildirmişlerdir. Geçici rezorpsiyonlar klinik ve radyografik olarak teşhis edilemezler.

İnternal rezorpsiyonun meydana gelmesi için rezorptif lezyonun kuralindeki enfekte nekrotik pulpa dokusunun klastik hücreleri uyarımı gerçekleşirken, apikalindeki canlı pulpa dokusunun kan akımını sağlayarak klastik hücreleri beslemesi gerekir. Bakteriler pulpaya dentin tübülleri, çürük kavimleri, çatlaklar, kırıklar ve lateral kanallar yolu ile ulaşabilirler (Tronstad, 1988).

Wedenberg ve Zetterqvist (1987), internal rezorpsiyon görülen süt ve daimi dişlerde yaptıkları histolojik çalışmada, pulpal dokuların değişik seviyelerde enflame olduğunu ve ağırlıklı olarak lenfosit ve makrofajların, az miktarda da nötrofillerin enflamatuar infiltrasyonda bulunduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, oluşan granülasyon dokusunun sağlıklı pulpaya kıyasla daha az damarlanma gösterdiği, periodontal bağ dokusuna benzemekle birlikte hücre ve lif sayısının daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Kök kanal duvarındaki rezorpsiyon boşluğunda çok sayıda, geniş, çok hücreli odontoklastlar bulunduğunu ve bu odontoklastların komşu bağ dokusu kaynaklı tek hücreli enflamatuar hücrelerle birlikte aktif rezorpsiyonda rol oynadığını bulgulamışlardır. Bazı araştırmacılar pulpadaki granülasyon

dokusuna, kemik veya sement benzeri metaplastik mineralize dokuların da eşlik ettiğini rapor etmişlerdir (Cvek ve diğerleri, 1990). Bu bilgiler ışığında, Ne ve diğerleri (1999) ve Heithersay (2007) yaptıkları sınıflandırmada internal rezorpsiyonları, internal enflamatuar rezorpsiyonlar ve internal replasman rezorpsiyonları olarak iki gruba ayırmışlardır.

İnternal enflamatuar rezorpsiyonlar

Kök kanal sisteminin herhangi bir bölgesinde görülebilir. Radyografik olarak kök kanal boşluğunda oval şekilli bir genişleme ile karakterizedir. Önemli ölçüde ilerleyip perforasyona neden olmadan ya da tüm kök kanal sistemi enfekte olup total pulpa nekrozunun ardından gelişen akut veya kronik apikal periodontitis belirtileri göstermeden fark edilemeyebilir. Rezorpsiyon dişin kuronal bölgesinde oluşursa 'pink spot' adı verilen, dişte pembemsi bir renk tonuyla karakterize bir görüntüye sebep olabilir (Patel ve diğerleri, 2010).

İnternal enflamatuar rezorpsiyon intraradiküler dentinin ilerleyici bir yıkımıdır. Rezorpsiyon bölgesinde sert doku birikimi görülmez. Genellikle kronik pulpal enflamasyonla ilişkilidir. Kronik enflamasyon pulpa enfeksiyonlarında sık görülmesine rağmen internal enflamatuar rezorpsiyonun gelişmesine aracılık eden şartların sağlanması için tek başına yeterli değildir. Rezorpsiyonun başlaması için pulpadaki odontoklast öncüllerinin aktivasyonu ve aktive olan klastik hücrelerin mineralize intraradiküler dentine bağlanabilmesi için de komşu odontoblast ve prederinin tabakalarının bozulmuş olması gerekir. Bir hipoteze göre enfekte pulpanın nekrotik kuronal bölümü, apikal bölümdeki pulpanın uyarımını sağlayarak rezorptif aktiviteye neden olan enflamatuar cevabı oluşturur (Patel ve diğerleri, 2010). Alternatif bir hipotez de, kemik homeostazisinde osteoklastogenezisin inhibisyonunu sağlayarak rol oynayan osteositlere dayanılarak ileri sürülmüştür (Heino ve diğerleri, 2002) Yaşayan osteosit hücrelerinin varlığında osteoklastlar aktif rezorpsiyona katılan hücrelerin özelliği olan aktin halkalarını oluşturamazlar. Osteositlerin apoptozisinde ise osteoklastogenezise neden olup kemik rezorpsiyonunu tetikleyen sitokinlerin

sekresyonu indüklenir. Travma ya da çürük gibi çeşitli yaralanmalara bağlı olarak, osteositlerle benzer şekilde, diş pulpa hücreleri ve odondoblastlarda da apoptozis gerçekleşebileceği, bunun neticesinde de üretilen sitokinlerin apikal pulpa dokusunda rezorptif cevabı oluşturabileceği öne sürülmüştür (Gu ve diğerleri, 2005).

İnternal replasman rezorpsiyonları

İnternal replasman rezorpsiyonu radyografik olarak kök kanal boşluğunda devamlılığın kaybolması ve düzensiz bir genişleme ile karakterizedir. Genişleyen kanal boşluğu hafiften orta dereceye kadar radyodensite gösteren bulanık görünümlü bir materyal ile obliterasyon gösterir. Etkilenen diş, rezorptif süreç kök veya kuron perforasyonuna sebep olmadığı sürece asemptomatiktir ve termal ve/veya elektrikli pulpa testlerine normal cevap verir. Kronik irreversibl pulpitis veya parsiyel pulpa nekrozu gibi pulpa dokusunun düşük dereceli enflamasyonlarının etken faktör olabileceği ileri sürülmüştür. İnternal enflamatuar rezorpsiyona benzer olarak rezorpsiyonun başlaması için odontoblast ve predentin tabakalarının hasara uğramış olması gerekir. Histolojik olarak intraradiküler dentin rezorpsiyonuna kemik veya sement benzeri metaplastik sert doku birikimi eşlik eder. Metaplazik sert dokuların, pulpal kaynaklı veya periodonsiyum kaynaklı olabileceğini savunan farklı hipotezler öne sürülmüştür (Gronthos ve diğerleri, 2002; Patel ve diğerleri, 2010).

2.1.2.2.Eksternal Kök Rezorpsiyonları

Periodonsiyumda başlayıp ilk olarak kökün dış yüzeyini etkileyen, görüldüğü kök bölgesine göre servikal, lateral veya apikal olarak sınıflandırılabilen kök rezorpsiyonlarıdır. Histolojik özelliklerine göre yüzeysel, enflamatuar ya da replasman rezorpsiyonları gibi farklı tipleri vardır (American Association of Endodontists, 2003).

Eksternal yüzey rezorpsiyonu

Eksternal yüzey rezorpsiyonu kök yüzeyinde yıkım ve yapım olaylarının görüldüğü geçici bir durumdur. Sert dokularda yıkım çok azdır ve herhangi bir tedaviye gerek kalmadan kendiliğinden iyileşirler. Kök yüzeyini etkileyen fiziksel bir yaralanma sonucunda oluşur. Bu yaralanma travma veya ortodontik tedavi neticesinde gelişebilir. Klinik olarak dişin supragingival bölümünde görülen herhangi bir belirtisi yoktur. Rezorpsiyon alanının çok küçük olmasına bağlı olarak genellikle radyografik olarak izlemek mümkün değildir. Bazı durumlarda sağlıklı lamina dura ve periodontal aralığa sahip kök yüzeylerinde küçük radyolüsent kaviteler şeklinde görülebilir. İyileşme yeni sement dokusuyla olur (Ne, 1999).

Eksternal enflamatuar rezorpsiyonlar

En sık görülen kök rezorpsiyonlarını oluştururlar. Dentine penetre olmuş çanak şekilli (bowl-shaped) rezorptif defekt olarak tanımlanır (Ne, 1999).

Levin ve Trope (2002), eksternal kök yüzeyinde yaralanmayla birlikte görülen enflamatuar bileşenleri üç ana başlık altında incelemişlerdir: Basınç, pulpa boşluğu enfeksiyonları ve sulkular enflamasyonlar.

Basınç, sement dokusuna zarar vermekle birlikte rezorptif hücreler için de sürekli bir uyarıma sebep olur (Levin ve Trope, 2002). Basınç kaynaklı rezorpsiyona verilebilecek en yaygın örnek aşırı ortodontik kuvvetlere bağlı olarak görülen kök rezorpsiyonlarıdır. Bu tip rezorpsiyonlar genellikle apikal bölgede lokalize olur ve radyografide kök boyunun kısalması ile teşhis edilirler. Yaş, cinsiyet, maloklüzyonun tipi, kök anatomisi, kullanılan apareyin tipi, diş hareketinin karakteri, ortodontik kuvvetin tipi, tedavi süresi kök rezorpsiyonunun gelişiminde rol oynayan faktörlerdir. En sık etkilenen dişler maksiller ve mandibular kesicilerdir. Tedavisi, sürdürülen ortodontik hareketin durdurulması ve ekilenmiş dişlerin uzun süreli gözlem altında tutulmasıdır. Pulpal ve periapikal semptomlar yoksa endodontik tedavi önerilmez (Malmgren ve Levander, 2003; Pandis ve diğerleri, 2008).

Gömülü dişler ve kist, tümör gibi neoplazik oluşumlar da mekanik baskı ile rezorptif hücreleri aktive edip basınç kaynaklı rezorpsiyonlara neden olabilirler (Bakland, 1992). Gömülü diş kaynaklı rezorpsiyonlardan en çok ikinci molar dişlerin distal kökleri ve maksiller lateral kesici diş kökleri etkilenirler. İlerlemiş vakalarda etkilenen dişlerin çekimi gerekebilir. Bu vakaların teşhisinde üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin konvansiyonel panoramik ve periapikal radyografilere göre daha gerçekçi ve net bilgi sağlayacağı bildirilmiştir (Alqerban ve diğerleri, 2009).

Pulpa boşluğu enfeksiyonları, eksternal rezorpsiyona neden olan enflamatuar uyarım için bir başka etkidir. Kökün apikal ya da lateral bölgesinde rezorpsiyona yol açabilir. En klasik örneği, apikal eksternal rezorpsiyona sebep olan apikal periodontitislerdir. Bu tip rezorpsiyonların etiyolojisinde pulpa nekrozu vardır. Pulpa nekrozu pek çok durumda gerçekleşebilir fakat en yaygın neden çürük sebebiyle pulpaya ulaşan bakterilerdir. Pulpadaki bakteriyel enfeksiyon ve nekrozu takiben bakteriler ve ürünleri dişi saran periodonsiyuma diffüze olur. Normalde kök yüzeyi bütünlüğü bozulmamış sement dokusu tarafından korunduğundan pulpa boşluğu ile periodonsiyum arasındaki ilişki, öncelikle apikal foramen bazen de aksesuar kanallar vasıtasıyla gerçekleşir (Trope, 2002).

Apikal eksternal enflamatuar rezorpsiyonlar asemptomatiktir ve radyografilerde izlenemeyen minör rezorpsiyonlar olabileceği gibi, kökün önemli kısmının yıkıma uğradığı durumlar da görülebilir. Teşhisini sağlayan semptomlar periapikal enflamasyonun seyriyle ilişkilidir (Ne, 1999; Trope, 2002).

Apikal bölge kökün diğer bölgelerine göre enflamatuar cevap sırasında oluşan rezorbe edici faktörlere daha dirençsizdir. Apikal bölgenin yüzey alanının küçük olup rezorbe edici faktörlerin yoğunluğu bu bölgedeki direncin düşük olmasına yol açar. Sementodental birleşme bölgesinin ince bir koruyucu tabaka sergilemesi ve bu bölgedeki sement-dentin birleşimindeki hatalar, apikal bölgedeki dokunun rezorpsiyona karşı kökün diğer bölgelerine göre daha korunaksız olmasına neden olur (Levin ve Trope, 2002, s. 433).

Apikal periodontitisle birlikte gelişen apikal eksternal enflamatuvar rezorpsiyonlarda kök ucu radyografik olarak kısalmış, düzleşmiş veya normale kıyasla incelmıştır (Levin ve Trope, 2002, s. 433). Periapikal lezyonun histolojik görünümü granülomik veya kistik olabilir (Nair ve diğerleri, 1996).

Pulpal enfeksiyon kaynaklı kök rezorpsiyonları kökün lateral bölgesinde de görülebilir. En önemli sebep travmatik yaralanmalardır. Bu tip yaralanmalarda, apikal bölgedeki pulpayı besleyen damarların yaralanmasına bağlı olarak pulpa nekrozu görülebilir. Kökün üzerindeki sement tabakası da travma ve enflamasyon sebebiyle harap olmuşsa nekroze kök kanallarında üreyen bakterilerin toksinleri dentin tübüllerinden periodontal membrana ulaşarak iltihabi reaksiyonu ve rezorbe edici hücreleri uyarır ve kökte rezorpsiyon başlar (Çalışkan, 2006, s. 195).

Eksternal enflamatuvar kök rezorpsiyonları için diğer bir uyarıcı faktör sulkular (diş eti oluşu) enflamasyonlardır. Kök yüzeyindeki hasara bağlı olarak epiteliyal ataşmanın altında resorptif hücrelerin uyarımı ile başlar (Levin ve Trope, 2002, s. 436-437). Kök yüzeyindeki hasarın sebebi ortodontik diş hareketleri, travma, diş beyazlatma işlemleri, dentoalveolar cerrahi işlemler, periodontal tedavi olabilir (Tronstad, 1988). Genellikle servikal bölgede görülmeleri ve dişte farklı yönlerde ilerleyebiliş invaziv karakterde olmaları sebebiyle invaziv servikal kök rezorpsiyonları olarak adlandırılırlar (Bakland, 1992). Pulpanın bu tip rezorpsiyonlarda rolü yoktur ve genellikle sağlıklıdır. Rezorptif aktivite için uyarım diş eti oluşundaki ve diş yüzeyindeki bakterilerce sağlanır. Rezorpsiyon epiteliyal ataşmanın altındaki bölgede başlar, dentinde genişleyerek ilerler ancak pulpa predentin tabakası ile korunduğundan ilk aşamada perforasyon gerçekleşmez ve kök kanalı çevresinde yayılır (Çalışkan, 2006, s. 197).

İnvaziv servikal kök rezorpsiyonları pulpa perforasyonu oluşmamışsa asemptomatiktir ve genellikle rutin radyografilerde tespit edilir. Periodontal sondalamada cep varlığı saptanabilir. Rezorpsiyonun önemli derecede ilerlediği vakalarda pulpitis semptomları görülebilir. Eğer rezorpsiyon lakünası

diş minesinin altına uzanacak şekilde kuron bölgesine doğru ilerlerse bol damarlanma gösteren granülasyon dokusu nedeniyle dişte pembemsi bir görünüm ortaya çıkar. İnternal rezorpsiyonlarda da görülebilen bu pembe diş görünümü (pink spot), invaziv servikal rezorpsiyonların hatalı teşhis ve tedavisine neden olabilir (Tronstad, 1988).

Eksternal replasman rezorpsiyonları

Sement, dentin ve periodontal ligamentin patolojik kaybı ile kemik dokunun bu dokuların yerini almasıdır. Sement ve/veya dentin dokusu ile kemik dokusu arasında kaynaşma gerçekleşerek diş fizyolojik mobilitasını kaybeder. Total replasmanı sonucunda dişin kaybıyla sonuçlanabilir (American Association of Endodontists, 2003).

Dişin kök yüzeyinin yüzde 20'sinden geniş alanını içeren travmatik yaralanmalarda iyileşme normal periodontal ataşmanla gerçekleşmez (Lindskog ve diğerleri, 1985). Kök yüzeyindeki ciddi bir travmatik yaralanma sonucunda ilk reaksiyon, enflamasyon cevabının oluşmasıdır. Enflamatuar cevabın ardından geniş kök yüzeyleri sementten yoksun kalır. Çıplak kök yüzeylerinin etrafında genellikle periodontal ligament hücrelerinin yerine soket duvarlarından gelen kemik öncü hücreleri bulunur ve bu bölgeyi doldurur. Böylece sementten yoksun diş kökü kemik doku ile direkt ilişkiye girer. Bu durum dentoalveoler ankiloz olarak adlandırılır (Bakland, 1992; Tronstad, 1988).

Kemik doku hayat boyu süren fizyolojik bir yıkım-yapım döngüsüne sahiptir. Bu nedenle ankiloze olan kök osteoklastlarca yıkılır fakat yapım safhasında dentin yerine kemik doku oluşur. Böylece kök rezorbe olarak yerini yavaş yavaş kemik dokuya bırakır. Bu süreç osseöz replasman olarak adlandırılır. Travmanın sebep olduğu enflamatuar cevap geri dönüşümlü olduğu halde ankiloz ve osseöz replasman fizyolojik bir süreç olduğundan geri dönüşümsüzdür (Levin ve Trope, 2002, s. 430-431).

Replasman rezorpsiyonu genellikle intrüziv lüksasyon ve dişin uzun süre dışarıda kaldığı, periodontal ligamentin kuruyup canlılığını kaybettiği

avülsüyon yaralanmalarında görülür. Teşhisi klinik ve radyografik olarak yapılabilir. Dişte mobilite olmaması ve perküsyonda alınan metalik ses ankiloiz için ayırıcıdır. Radyografik olarak periodontal aralığın kaybolması ve kökün düzensiz konturları ankilozu işaret eden belirtilerdir (Bakland, 1992; Tronstad, 1988).

2.1.2.3.Sistemik Hastalıklarla İlişkili Kök Rezorpsiyonları

Hormonal düzensizlikler, hipofosfatazya, hiperparatiroidizm, Paget hastalığı, Papillon-Lefèvre sendromu, böbrek hastalıkları, karaciğer hastalıkları ve kemik displazisi gibi pek çok sistemik rahatsızlık diş köklerindeki rezorpsiyonlarla ilişkilendirilmiştir (Cholia ve diğerleri, 2005).

Çeşitli araştırmacılar, herpes zoster enfeksiyonunun pulpa nekrozu ve internal rezorpsiyon için etiyolojik faktör olabileceğini bildirmişlerdir (Ramchandani ve Mellor, 2007; Solomon ve diğerleri, 1986)

Arnas ve diğerleri (2008), Ehlers-Danlos sendromlu bir hastanın birçok dişinde kök rezorpsiyonlarına ve malformasyonlara rastlamışlardır.

Aynı ailenin bireyleri arasında görülen idiopatik eksternal kök rezorpsiyonların genetik bağlantılı olabileceği öne sürülmüştür (Levin ve Trope, 2002, s. 444-445)

Kök gelişiminin etkilendiği radyoterapi, dental displazi, hipotiroidizm ve Stevens-Johnson sendromu görülen vakalarda da eksternal kök rezorpsiyonuna benzerlik gösteren radyografik görüntüler bulunabileceği bildirilmiştir (Cholia ve diğerleri, 2005).

2.1.3. Kök Rezorpsiyonlarında Tedavi Yaklaşımları

2.1.3.1.İnternal kök rezorpsiyonlarında tedavi yaklaşımları

İnternal kök rezorpsiyonu teşhis edildiğinde klinisyen dişin prognozu hakkında karar vermelidir. Eğer diş restore edilebilir durumda ve prognozu iyi ise tedavi seçeneği kök kanal tedavisidir. İnternal kök rezorpsiyonlarında rezorptif hücreler pulpal kökenli olduklarından bu hücrelerin uyarımını

sağlayan nekrotik kuronal pulpa dokusu ve hücrelerin kan desteğini sağlayan vital apikal pulpa dokuları uzaklaştırılır. Ardından kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu ve obturasyonu sağlanır (Patel ve diğerleri, 2010).

İnternal rezorpsiyonlu olgularda kanamayı durdurmaya yönelik tüm çabalar sonuçsuz kalmışsa lezyonun perforasyona sahip olduğu düşünülmelidir. İnternal rezorpsiyonun kökü perfore ettiği bölge, epitelyal ataşmanın apikalinde bulunduğu ve kemik ile örtülü, yani kapalı bir sistemde olduğu sürece ağız sıvıları ile temasta değildir. Böyle durumlarda perforasyon bölgesinin rekalsifikasyonunu yani sert doku iyileşmesini sağlamak için kalsiyum hidroksit veya MTA kullanılabilir.

Perforasyon tamirinin mümkün olmadığı veya başarısız olduğu vakalarda flep kaldırılarak bölgeye ulaşılması, çok köklü dişlerde hemiseksiyon veya dişin çekimi gibi cerrahi yaklaşımlar da düşünülebilir (Çalışkan, 2006, s. 188).

2.1.3.2.Eksternal kök rezorpsiyonlarında tedavi yaklaşımları

Eksternal kök rezorpsiyonlarının farklı tipleri için farklı tedavi yaklaşımları vardır.

Eksternal yüzey rezorpsiyonlarında kök yüzeyindeki iyileşme yeni sement dokusuyla ve kendiliğinden gerçekleşir. Herhangi bir tedavi gerekmez (Bakland, 1992; Heithersay, 2007; Ne ve diğerleri, 1999).

Basınç kaynaklı eksternal enflamatuar rezorpsiyonlarda pulpa genellikle etkilenmemiştir ve basınca neden olan faktör ortadan kaldırılınca rezorpsiyon durur. Ortodontik tedavilerle ilişkili rezorpsiyonlarda uygulanan ortodontik kuvvet azaltılmalı veya kesilmelidir. Basıncın nedeni kist, tümör veya gömülü diş ise bu etkenlerin uzaklaştırılması sürecin durması için yeterlidir. Kanal tedavisine gerek duyulmaz (Bakland, 1992).

Rezorpsiyonun sebebi pulpa boşluğundaki enfeksiyonla birlikte gelişen apikal periodontitis ise enflamatuar sürecin altındaki sebep olan kök kanal sistemindeki bakterilerin uzaklaştırılması ve kök kanal tedavisi uygulanması

gerekir. Pulpa enfeksiyonu kaynaklı bu tip rezorpsiyonlarda, tedavi sonrası yüksek başarı oranları bildirilmiştir (Trope, 2002; Bakland, 1992).

Genellikle ciddi travmatik yaralanmalardan sonra gelişen lateral eksternal enflamatuar kök rezorpsiyonlarının önlenmesi ve tedavisinde temel prensipler; travma sonrası pulpa enfeksiyonunun önüne geçilmesi, şayet enfeksiyon gerçekleşmişse pulpa boşluğundaki bakterilerin eliminasyonuna dayanır (Trope, 2002).

Pulpa boşluğundaki enfeksiyonu önlemenin en etkin yolu pulpa canlılığının korunmasıdır. Canlılığı korunmuş pulpa bakteri içermez ve bu nedenle eksternal enflamatuar rezorpsiyon oluşmaz. Pulpanın canlılığını yitirdiği bazı durumlarda revaskülarizasyon tedavisi önerilmiştir. Minimum 1 mm apikal açıklığa sahip olan immatür dişlerin revaskülarizasyon potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir. Apeksi kapalı, matür dişlerde bu potansiyel ya çok azdır ya da hiç yoktur. İmmatür dişlerde revaskülarizasyonun gerçekleşmesi, dişin yaralanmayı takiben en geç 60 dakika içerisinde asıl konumuna yerleştirilmesine bağlıdır. Araştırmacılar, eğer dişte avülsiyon gerçekleşmişse replantasyon öncesi dişin 5 dakika doksisisiklin solüsyonunda bekletilmesinin pulpanın revaskülarizasyon şansını artırdığını bildirmişlerdir. Revaskülarize olan dişte eksternal kök rezorpsiyonu oluşmaz ve kök gelişimi devam eder (American Academy of Pediatric Dentistry Reference Manual, 2011; Trope, 2002).

Travma sonrası kan akımının azaldığı veya kesildiği iskemik nekrozlu pulpada, yaralanmayı takiben 7-10 gün içerisinde enfeksiyon gelişir. Bu süre içerisinde başlanılan kök kanal tedavisi ile bakteriyel enfeksiyon kaynaklı rezorpsiyonların önüne geçilmiş olunur. Tedavisine 10 günden sonra başlanılan dişlerde veya eksternal enflamatuar rezorpsiyonun radyografik olarak izlendiği vakalarda tedavi, dişin kemomekanik preparasyonunun ardından kanala uzun dönem kalsiyum hidroksit patı uygulanmasını gerektirir (Trope ve diğerleri, 1995). Amaç, rezorpsiyon süreci için potansiyel uyarıcılar olan ve kök kanalı ile çevre dentin tübüllerinde bulunan bakterilerin eliminasyonu ve endotoksinlerin nötralizasyonudur (Trope, 2002).

İnvaziv servikal rezorpsiyonlarda tedavi, rezorpsiyonun lokalizasyonu ve genişliğine göre farklılık gösterir (Çalışkan, 2006, s. 198). Heithersay (2007) invaziv servikal rezorpsiyonları, rezorpsiyon alanının lokalizasyonu ve genişliğine göre 4 farklı sınıfa ayırmıştır:

Sınıf 1: Servikal bölgede dentin içine sığ penetrasyon, küçük rezorpsiyon kavitesi

Sınıf 2: Kural pulpa odasına yakın fakat kök dentinine çok az veya hiç nüfuz etmemiş rezorpsiyon kavitesi

Sınıf 3: Hem kural dentine hem de 1/3 kural kök dentinine invazyon gösteren rezorpsiyon kavitesi

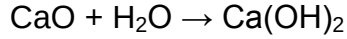
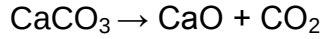
Sınıf 4: Kural 1/3 kök dentininin de ötesine uzanan geniş ve derin rezorpsiyon kavitesi

Heithersay (2007), sınıf 1 ve sınıf 2 rezorpsiyonlarda %90 triklorasetik asitin topikal uygulanmasının ardından kavite içerisinde küretajı ve cam iyonomer simanla restorasyonunu önermiştir. Sınıf 3 rezorpsiyonlarda bundan farklı olarak kök kanal tedavisinin gerekebileceğini bildirmiştir. Sınıf 4 rezorpsiyonlarda ise herhangi bir tedavi önermeyip dişin gözlem altında tutulabileceğini veya çekim tedavisi uygulanabileceğini bildirmiştir.

Fuss ve diğerleri (2003), invaziv servikal rezorpsiyonların tedavisinde yalnızca pulpa perforasyonunun olduğu durumlarda kök kanal tedavisini önermişlerdir. Rezorpsiyon sahasının apikale uzandığı vakalarda tedavi ve restorasyon için flep kaldırma veya dişin ortodontik ekstrüzyonu önerilmiştir.

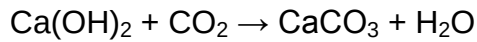
2.2.Kalsiyum Hidroksit

Kalsiyum hidroksit halk dilinde sönmüş kireç olarak bilinir. Kireç taşının (CaCO_3) 900-1200°C'ye kadar ısıtılmasıyla oluşan sönmemiş kireç (CaO) ile suyun (H_2O) birleşmesi sonucu açığa çıkar. Moleküler ağırlığı 74.08, yoğunluğu 2,1 olan beyaz, kokusuz bir tozdur. Formülü $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'dir.



Bileşikte ağırlık olarak %54.11 kalsiyum, %45.89 hidroksil bulunur. Suda çözünürlüğü azdır. Kalsiyum hidroksit; 25 °C'de 1 litre suda 1,2 g çözünür. Kimyasal olarak kuvvetli alkali özellikte olup pH'sı yaklaşık olarak 12,5 ile 12,8 arasındadır (Fava ve Saunders, 1999; Mohammadi ve Dummer, 2011).

Kalsiyum hidroksitin düşük çözülme değeri, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının yavaş salımını sağlayarak uzun dönem kullanımı için avantaj sağlar. Etkisini, ayrılan Ca^{+2} ve OH^- iyonlarının canlı dokularda gösterdiği sert doku depozisyonunun uyarımı ve antibakteriyel özelliği ile sağlar (Foreman ve Barnes, 1990; Siqueira ve Lopes, 1999). Ca^{+2} iyonları dokuda karbondioksit (CO_2) ile karşılaşırsa, biyolojik veya antibakteriyel bir özelliği olmayan kalsiyum karbonat oluşur (Fava ve Saunders, 1999).



Klinikte; pulpa kapaklaması ve pulpotomilerde, periapikal lezyonların tedavilerinde, seanslar arasında geçici kanal dolgu maddesi olarak, kök kırıklarının tedavisinde, avülse dişlerin tedavisinde, internal ve eksternal kök rezorpsiyonlarının tedavisinde ve apeksifikasyon tedavilerinde kullanılmaktadır (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.2.1.Biyokimyasal Etkileri

2.2.1.1.Antimikrobiyal aktivite

Kalsiyum hidroksitin antimikrobiyal etkinliği, hidroksil iyonlarının çevre dokulara salımıyla ilişkilidir (Siqueira, 2001a). Hidroksil iyonları birçok biyomolekülle yüksek derecede reaktivite gösteren, oksidan serbest radikallerdir. Bakteri hücreleri için öldürücü etkisini; bakterilerin hücre membranını parçalayarak, protein denatürasyonu yaparak ve bakteri DNA'sına zarar vererek gösterdiği bildirilmiştir (Siqueira ve Lopes, 1999).

2.2.1.1.1. Bakterilerin hücre membranına etkisi

Hücrenin sitoplazmik membranı hücrenin yaşayabilmesi için önemli birçok görevden sorumludur. Bunlar; seçici geçirgenlik, hücre bölünmesi ve büyümesi, hücre duvarının oluşması, yağların sentezi, elektron transferi ve oksidatif fosforilasyon, DNA sentezinde rol alan enzimlerin taşınmasıdır. Hidroksil iyonları, lipid peroksidasyonunu uyarır ve hücre membranının yapısındaki fosfolipidlerin yıkımına neden olurlar. Hidroksil iyonları, doymamış yağ asitlerinden hidrojen atomlarını ayırır. Böylece oluşan serbest lipid radikali oksijenle reaksiyona girerek, lipid peroksit radikali oluşturur. Bu sayede, başka bir hidrojen atomu ayrılır ve başka bir lipid peroksit radikali oluşur. Otokatalitik bir zincir reaksiyon oluşarak membranda ciddi hasarla sonuçlanır (Halliwell, 1987; Siqueira ve Lopes, 1999).

2.2.1.1.2. Protein denatürasyonu

Hücre metabolizması enzimatik aktivitelere bağımlıdır. Enzimler nötral pH'ya yakın dar bir aralıkta optimum aktivite ve stabilite gösterirler. Kalsiyum hidroksitin oluşturduğu alkali ortam proteinlerin yapısını bir arada tutan iyonik bağları koparır. Sonuç olarak enzim kovalent yapısını muhafaza eder fakat polipeptid zinciri uzaysal olarak rastgele ve düzensiz biçimlenir. Bu değişiklikler enzimin biyolojik aktivitesini kaybetmesine ve hücre metabolizmasının bozulmasına neden olur. Ayrıca yapısal proteinler de hidroksil iyonları ile zarar görebilir (Siqueira ve Lopes, 1999).

2.2.1.1.3. DNA hasarı

Hidroksil iyonları bakteriyel DNA ile reaksiyona girerek DNA ipliklerinin bölünmesine neden olur. Böylece DNA dizilimi kırılarak genlerin kaybolmasına yol açar. Sonuç olarak, DNA bölünmesi inhibe olur ve hücresel aktivite bozulur (Imlay ve Linn, 1988; Siqueira ve Lopes, 1999).

2.2.1.2.Mineralizasyon aktivitesi

Kalsiyum hidroksit, pulpa kapaklaması ve apeksifikasyon vakalarında kalsifik bariyer oluşumunu uyarır. Uygulanan kalsiyum hidroksitin yüksek pH'sının etkisiyle, pulpada 2 mm derinliğinde yüzeyel nekrotik bir tabaka oluşur. Bu yüzeyel nekrotik tabakasının altında hafif şiddette bir enflamatuvar cevap gelişir. Eğer uygulama alanı bakterilerden korunmuş ise bölgede sert doku şekillenir (Foreman ve Barnes, 1990; Mohammadi ve Dummer, 2011).

Kalsiyum hidroksitin hidroksil grubu alkalin bir ortam yaratarak doku tamiri ve aktif kalsifikasyonu teşvik eder. Alkali pH, dentinin mineral yapısını bozan osteoklast kaynaklı laktik asitin nötralizasyonunu sağlamakla birlikte aynı zamanda sert doku oluşumunda önemli rol oynayan alkalin fosfataz enzimini de aktive eder. Alkalin fosfataz, fosfat esterlerini ayırarak fosfat iyonlarının serbestleşmesini sağlar. Serbestleşen fosfat kalsiyum iyonları ile etkileşerek organik matrikste kalsiyum fosfat olarak çökelir. Kalsiyum fosfat, mineralizasyon sürecinde bulunan hidroksiapatitin moleküler birimidir (Mohammadi ve Dummer, 2011).

Kalsiyum iyonu, dokunun kapiller geçirgenliğini azaltır ve kalsiyum konsantrasyonu yükselir. Kalsiyum bağımlı pirofosfataz enzimi aktive olarak tamir mekanizması güçlenir (Eymirli ve Serper, 2010).

2.2.1.3.Nekrotik doku çözücülüğü

Kalsiyum hidroksitin nekrotik doku çözücü etkisini ilk defa 1988 yılında Hasselgren ve diğerleri göstermiştir. Bu etki sodyum hipoklorite benzer şekildedir fakat daha zayıftır. Ancak kanalda uzun süre kalabilmesi bu durumu kompanse eder (Eymirli ve Serper, 2010).

2.2.2.Klinik Kullanımı

2.2.2.1.Kalsiyum hidroksit taşıyıcıları

Kalsiyum hidroksitin klinik kullanım kolaylığı için bir taşıyıcıya sahip olması gerektiği bildirilmiştir (Fava ve Saunders, 1999). Toz kalsiyum

hidroksit uygun bir taşıyıcı ile karıştırıldığında pat oluşur. Kalsiyum hidroksit içeren patlar, sertleşen ve sertleşmeyen patlar olarak sınıflandırılabilir. Sertleşen patlar genelde kök kanal dolgu patı olarak, kavite kaide maddesi olarak veya kavite kaide maddesinin altında kullanılırken, sertleşmeyen patlar kanal içi medikaman olarak kullanılır (Eymirli ve Serper, 2010).

Kalsiyum hidroksit patı elde etmenin en kolay yolu, arzu edilen kıvam elde edilinceye kadar su ile karıştırmaktır (Fava ve Saunders, 1999). Fakat su ile veya diğer suda çözünür, akışkanlığı çok olan taşıyıcılarla hazırlanan patların radyoopak olmadığı, kanal içinde ve periapikal bölgede çözünür olduğu için iyi fizikokimyasal özelliklere sahip olmadığı öne sürülmüştür. Leonardo ve diğerleri (Aktaran: Fava ve Saunders, 1999), ilave edilen taşıyıcı maddenin; patın yoğunluğunu ve pH'sını koruması, akıcılığını artırması, radyoopasite sağlaması, kalsiyum hidroksitin biyolojik özelliklerini bozmaması ve klinik kullanımı kolaylaştırması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu özellikleri sağlamak için birçok likit kalsiyum hidroksit tozuna ilave edilmiştir. Kullanımdan önce hekim tarafından hazırlanan patlar olduğu gibi çeşitli ticari isimlerde kullanıma hazır kalsiyum hidroksit preparatları da bulunmaktadır.

Fava (1991)'e göre ideal taşıyıcı (Aktaran: Fava ve Saunders, 1999)

- Patın yavaş ve kademeli olarak kalsiyum ve hidroksil iyonu salımına izin vermeli
- Doku sıvılarında düşük çözünürlük ile patın dokulara yavaş difüzyonunu sağlamalı
- Sert doku oluşumunu engellememelidir.

Kalsiyum hidroksitin tüm biyolojik etkinliği, kalsiyum ve hidroksil iyonlarına ayrışması ile ilişkilidir. Kalsiyum ve hidroksil iyonlarına ayrışma hızını ise taşıyıcı belirler. Genel olarak 3 tip taşıyıcı vardır (Fava ve Saunders, 1999):

- 1.Aköz tip taşıyıcılar
- 2.Viskoz tip taşıyıcılar
- 3.Yağlı tip taşıyıcılar

Aköz tip taşıyıcılar

Su, steril su, distile su, salin, steril salin, anestezi solüsyonlar, Ringer's solüsyonu, metilselüloz ve karboksimetilselüloz, aniyonik deterjan solüsyonu aköz tip taşıyıcılardır.

Kalsiyum hidroksit bu tipte bir taşıyıcı ile karıştırıldığı zaman kalsiyum ve hidroksil iyonlarının salımı hızlıdır. Bu taşıyıcılar, pat doku ya da doku sıvılarıyla direkt kontakta kaldığında, yüksek hızda çözünürler ve makrofajlar tarafından rezorbe edilirler. Arzu edilen etkinin sağlanabilmesi için kanal birkaç kez doldurulmalı ve seans sayısı artırılmalıdır (Fava ve Saunders, 1999).

Viskoz tip taşıyıcılar

Gliserin, polietilenglikol, propilenglikol viskoz tip taşıyıcılardır. Aköz tip taşıyıcılara göre daha düşük çözünürlük sağlarlar. Bu özellik kalsiyum ve hidroksil iyonları salımının daha uzun sürede ve yavaş olmasını sağlar. Viskoz taşıyıcı içeren bir pat kök kanalında 2-4 ay kalabilir, böylece seans sayısı düşerek kanalın tekrar doldurulması gereksinimi azalır (Fava ve Saunders, 1999).

Yağlı tip taşıyıcılar

Zeytinyağı, kafurlu paraklorofenol, metakresilasetat, öjenol ve yağ asitleri yağlı tip taşıyıcı olarak kullanılırlar. Yağlı taşıyıcılar suda çözünmezler ve dokularda diğer taşıyıcılara kıyasla daha düşük çözünürlük ve difüzyon gösterirler. Bu tip taşıyıcı ile hazırlanan patlar aköz ve viskoz taşıyıcılı patlara göre kök kanalında daha uzun süre kalırlar (Fava ve Saunders, 1999).

2.2.2.2.Kalsiyum hidroksitin kanal içi medikamanı olarak kullanımı

Endodontide medikamanlar, kök kanal tedavisinde seanslar arasında kanal içerisine yerleştirilip, kanalda arta kalan mikroorganizmaları öldürmesi beklenen ve kanalın re-enfeksiyonunu önleyen antimikobiyal ajanlar olarak tanımlanır (Mohammadi ve Dummer, 2011). Seanslar arasında medikaman

kullanılmadığı durumlarda kanal içerisindeki bakteri sayısında hızlı bir artış olduğu bildirilmiştir (Byström ve Sundqvist, 1981).

2.2.2.2.1.Kök kanalı içerisindeki antibakteriyel etkinliği

Siquiera ve Lopes (1999), kalsiyum hidroksitin kök kanal sistemi içerisindeki antibakteriyel etkinliğini, yüksek pH'sını koruduğu sürece muhafaza edeceğini bildirmişlerdir. Literatürde, kalsiyum hidroksitin kanal içi medikaman olarak etkinliğini destekleyen çalışmalar olduğu gibi, bu etkinin yeterliliğini sorgulayan ve kalsiyum hidroksit yerine klorheksidin (CHX) kullanımını öneren çalışmalar da vardır (Mohammadi ve Dummer, 2011).

Byström ve diğerleri (1985), yaptıkları invivo çalışmada, kafurlu fenol, kafurlu monoklorofenol (CMCP) ve kalsiyum hidroksit'in kanal içi antibakteriyel etkilerini değerlendirmişler ve en iyi sonucu kalsiyum hidroksit grubunda elde etmişlerdir. Sjörger ve diğerleri (1991), bir hafta uygulanan kalsiyum hidroksit medikamanının kök kanalındaki biyomekanik enstrümantasyondan sonra canlı kalan bakterilerin eliminasyonu için yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Shuping ve diğerleri (2000), 42 dişi içeren in vivo çalışmalarında, enstrümantasyon ve NaOCl irrigasyonundan sonra bakterilerden arınmış kanalların oranı %61,9 iken, bu işlemleri takiben en az bir hafta kalsiyum hidroksit uygulaması ile bu oranın %92,5'e yükseldiğini bildirmişlerdir.

Haapasalo ve Ørstravik (1987), kalsiyum hidroksitin dentin tübüllerinde bulunan *E. Faecalis*'i elimine etmekte başarısız olduğunu bildirmişlerdir. Siquera ve Uzeda (1996), salinle hazırlanmış kalsiyum hidroksitin bir haftalık uygulamasının, dentin tübülleri içerisindeki *E.faecalis* ve *F.nucleatum*'un eliminasyonunda etkisiz olduğunu bildirmişlerdir. Cook ve diğerleri (2007)'nin yaptığı bir başka çalışmada ise *E.faecalis*'in dentin tübüllerinden eliminasyonunda %2 CHX, kalsiyum hidroksite kıyasla daha başarılı bulunmuştur.

2.2.2.2.2.Kök kanalı içerisindeki antiendotoksin etkinliği

Endotoksinler, tüm gram negatif bakterilerin hücre duvarında bulunan, lipopolisakkarid (LPS) yapıdaki hücre duvarı komponentleridir. Lipopolisakkaritler kimyasal olarak polisakkaritler, lipidler ve proteinlerden oluşur. Lipit-A endotoksin molekülünün toksik etkisinden sorumlu bölümüdür. Endotoksinler hücre ve dokulardaki patolojik etkilerini direkt olarak göstermezler fakat kimyasal mediatörler salınan hücrelerin uyarımına neden olurlar. Makrofajlar endotoksinler için hedef hücrelerdir (Leonardo ve diğerleri, 2004).

Bakterilerin çoğalma evrelerinde ya da ölümleri sonrasında salınan endotoksinler enflamatuvar reaksiyonlara ve kemik rezorpsiyonlarına yol açan çeşitli biyolojik etkilere sebep olurlar. Bu biyolojik etkiler, kimyasal enflamatuvar mediatörler olan tümör nekrozis faktör (TNF), interlökin-1 (IL-1), IL-5, IL-8, alfa-interferon ve prostoglandinler aracılığıyla gerçekleşir (Leonardo ve diğerleri, 2004).

Kronik periapikal lezyonlu dişlerde, yüksek oranda gram negatif anaerob bakterileri içeren ve dentin tübülleri, apikal rezorptif defektler ile sement lakünalarında bulunan apikal bakteriyel biyofilm tabakası vardır. Bu bölgelere enstrümantasyonla ulaşamadığından bakterilerin, bakteri ürün ve alt-ürünlerinin eliminasyonu için kanal içi medikasyon önerilmektedir. Bu medikasyon ve işlemler sadece bakteri ölümünü değil, aynı zamanda bakteriyel endotoksinlerin de inaktivasyonunu sağlamalıdır (Mohammadi ve Dummer, 2011).

Kalsiyum hidroksitin bakteriyel lipopolisakkaritleri detoksifiye ettiği ve molekülün toksik bölümünü oluşturan Lipit-A'yı zararsız yağ asitleri ve amino şekerlere dönüştürdüğü in vitro ve in vivo birçok çalışmada bildirilmiştir (Mohammadi ve Dummer, 2011; Nelson-Filho ve diğerleri, 2002; Safavi ve Nichols, 1993).

2.2.2.2.3.Kök kanalı içerisindeki antifungal etkinliği

Mantarlar ağız mikrobiyotasının küçük bir kısmını oluştururlar ve genellikle *Candida albicans* ile sınırlıdır (Siqueira ve Sen, 2004). *C. albicans*, hem sağlıklı hem de medikal olarak tehlikeli bireylerin oral kavitesinde en sık rastlanan mantar türüdür. Sağlıklı yetişkinlerin %30-45'inin, HIV taşıyıcılarının %95'inin ağız florasında bulunduğu tespit edilmiştir (Lucas, 1993). Primer kök kanal enfeksiyonlarında bulunabileceği gibi, daha sıklıkla tedaviden sonra enfekte olmuş kök kanal dolgulu dişlerde veya tedaviye cevap vermeyen dişlerde bulunurlar. Enfekte kök kanallarında mantar görülme oranı %1-17 olarak bildirilmiştir. Oral kavitede izole edildiği bildirilen diğer mantar türleri *C. glabrata*, *C. guilliermondii*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *C. inconspicua*, *C. dubliniensis*, *C. tropicalis* ve *Saccharomyces*'dir (Siqueira ve Sen, 2004).

C. albicans türü ve diğer tür mantar hücreleri kalsiyum hidroksite yüksek derecede dirençlidir. *C.albicans*'ın geniş pH aralıklarında canlılığını sürdürebildiği ve kalsiyum hidroksit solüsyonlarının yarattığı alkaliniteden etkilenmediği bildirilmiştir (Waltimo ve diğerleri, 1999). Ayrıca kalsiyum hidroksit patının, bu türlerin büyüme ve morfogenezinde gerekli olan Ca^{+2} iyonunu sağladığı ileri sürülmüştür (Siqueira ve Sen, 2004).

Siqueira ve diğerleri (2001b), *C.albicans* ile enfekte edilmiş kök dentininde dört farklı medikamanın etkinliğini karşılaştırmıştır: $Ca(OH)_2$ /gliserin, $Ca(OH)_2$ /0,12 CHX, $Ca(OH)_2$ /CMCP/gliserin ve 0,12 CHX/çinko oksit. Araştırmacılar *C.albicans*'a karşı en etkili medikamanların 1 saat içinde dezenfeksiyon sağlayan $Ca(OH)_2$ /CMCP/gliserin ve 0,12 CHX/çinko oksit olduğunu, $Ca(OH)_2$ /gliserin'in ancak 1 hafta sonunda etkili olduğunu, $Ca(OH)_2$ /0,12 CHX'in ise 1 hafta sonunda bile etkili olmadığını bildirmişlerdir.

Mantar enfeksiyonlarından şüphelenilen durumlarda CMCP ile kombine edilen kalsiyum hidroksit veya CHX ile medikasyon önerilmektedir (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.2.2.2.4.Kök iç ve dış yüzeyindeki biyofilm tabakasına etkinliği

Biyofilmler, bir yüzeye yapışarak kendi ürettikleri polimerik yapıda jelsi bir tabaka içinde yaşayan mikroorganizmaların oluşturduğu topluluk olarak tanımlanabilir (Bowden ve Hamilton, 1998). Bu jelsi tabaka, bakteri hücreleri tarafından üretilen, terminolojide “hücre dışı polimerik yapı”, “ekzopolisakkarit” ya da “ekzopolimer (EPS)” adı verilen polisakkarit bazlı bir ağ yapısıdır. Biyofilmler bakterileri nem, ısı ve pH değişiklikleri gibi çevresel koşullardaki değişimlerin ve ultraviyole ışığa maruz kalmanın doğuracağı zararlardan korur. Besinlerin depolanmasının ve atıkların uzaklaştırılmasının kolaylaştırılması da biyofilm oluşumunun getirdiği diğer avantajlardır. Bakterilerin kümeler halinde ve ekzopolisakkarit matriks içerisinde bulunmaları sonucu fagosite edilmeleri güçleşir ve hümoral immün sistem bileşenlerinin bakterilere ulaşmaları engellenmiş olur (Hall-Stoodley ve diğerleri, 2004).

Dış hekimliğinde en bilinen biyofilm yapısı, diş yüzeyindeki bakteri ataşmanları olan dental plaktır (Svensater ve Bergenholtz, 2004) Endodontide biyofilm tabakası, nekrotik, enfekte bir pulpaya veya pulpasız enfekte kök kanallarına sahip dişlerin kök uçlarında bulunan bakteri yapıları için kullanılmıştır. Bu bakteri yığılmalarının, tedaviye dirençli apikal periodontitisten sorumlu olduğu düşünülmüştür (Nair ve diğerleri, 2005). Nair ve diğerleri (2005), enstrümantasyon, irrigasyon ve kanal dolgusu sonrasında bile biyofilm yapıları içindeki bakterilerin, kök kanallarının dokunulmamış yüzeylerinde, istmus ve aksesuar kanallarda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Distel ve diğerleri (2002), kanal içi uygulanan kalsiyum hidroksite rağmen kök kanallarında *E. faecalis*’in biofilm formasyonu oluşturduklarını bulgulamışlardır. Chai ve diğerleri (2007)’nin yaptığı bir başka çalışmada ise kalsiyum hidroksitin, *E. faecalis*’in biyofilm formasyonuna %100 etkili olduğu bildirilmiştir.

Kalsiyum hidroksitin biyofilm tabakası üzerine etkisi konusunda yapılan az sayıda çalışmada tutarsız sonuçlar bildirilmiştir. Konunun

aydınlığa kavuşabilmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.2.2.2.5.Kalsiyum hidroksit ve kök kanal dentini ilişkisi

Kalsiyum hidroksitin kök kanalı içerisinde temasta olduğu dentin ile etkileşimi üç başlık altında incelenebilir: 1.Dentinin tamponlama etkisi ile kalsiyum hidroksitin etkinliğini düşürmesi, 2.Kalsiyum hidroksitin dentini, organik matriksi değiştirerek yapısal olarak zayıflatması, 3. Kalsiyum hidroksitten salınan kalsiyum ve hidroksil iyonlarının dentin tübüllerine diffüzyonu.

Dentinin kalsiyum hidroksit üzerine tamponlayıcı etkisi

Kök kanalı, organik ve inorganik bileşenlerin kompleks karışımından meydana gelen bir ortamdır. İnorganik bileşenlerin başlıcası hidroksiapatit iken, pulpa dokusu, mikroorganizmalar ve albümin gibi proteinlerce zengin enflamatuar eksuda kanalın organik bileşenlerini oluşturur (Haapasalo ve diğerleri, 2007). Bu organik ve inorganik bileşenlerin kalsiyum hidroksit gibi kök kanal dezenfektanlarına etkisi sınırlı sayıda çalışmada değerlendirilmiştir.

Haapasalo ve diğerleri (2000), kalsiyum hidroksitin *E. faecalis* hücrelerini birkaç dakikada öldürdüğünü ancak dentin tozu içerisine ekilmiş *E. faecalis* hücrelerinin 24 saat sonunda bile etkilenmediğini bildirmişlerdir. Portenier ve diğerleri (2001), kanal içerisindeki organik ve inorganik bileşenlerin, kalsiyum hidroksitin etkisini inhibisyona uğrattığını, dentinin pH'ı artırıcı alkali materyallere karşı tamponlayıcı etki gösterdiğini bulgulamışlardır. Tamponlayıcı etkiyi hidroksil iyonlarının dentin tübüllerine diffüze olması ile açıklamışlardır.

Sonuç olarak, dentin, hidroksiapatit, pulpa artıkları ve enflamatuar eksudanın işin içinde olduğu in vivo koşullarda kalsiyum hidroksitin etkisinin, invitro koşullara göre daha az olduğu bilinmektedir (Mohammadi ve Dummer, 2011).

Kalsiyum hidroksitin dentinin direnci üzerine etkisi

Özellikle genç, travmaya uğramış veya geniş periapikal radyolüsensi izlenen immatür dişlerde kök kanallarının uzun dönem kalsiyum hidroksitle doldurulması yaygın olarak kabul görmüş bir uygulamadır. Bu tip vakalarda kalsiyum hidroksitin uygulama süresi 2-3 aydan 2-3 yıla kadar bir zaman aralığını içerebilir. Uzun periyotlar genellikle immatür dişlerde kök kanal dolgusu öncesinde apikal sert doku bariyerinin oluşumunu teşvik etmek için gereklidir. Bu süreç apeksifikasyon olarak bilinir (Sahebi ve diğerleri, 2010). Fakat uzun dönem kalsiyum hidroksit kullanımının diş köklerini zayıflattığını ve immatür dişlerde kırıklara yol açabileceğini ileri süren çalışmalar da rapor edilmiştir (Andreasen ve diğerleri, 2002; Rosenberg ve diğerleri, 2007; Sahebi ve diğerleri, 2010; Tuna ve diğerleri, 2011; White ve diğerleri, 2002).

Dentinin organik matriksi, fosfat ve karboksilat grupları içeren asit yapıdaki protein ve proteoglikanlardan oluşur. Hidroksiapatit kristalleri ile kollajen fibrilleri arasında bağlayıcı rol oynayan bu yapılar dentin dayanıklılığını belirler. Kalsiyum hidroksitin yarattığı yüksek alkaliniteye bağlı olarak dentinin organik matriksindeki hidrolizis ile karboksilat ve fosfat gruplarının denatürasyonu sonucunda gerçekleşen proteolitik reaksiyonlar dentin yapısında bozulmaya neden olurlar. Dentinin mekanik özellikleri olumsuz etkilenir. 1 yıllık uygulama sonunda dentin dayanıklılığında %50'ye varan azalmalar bildirilmiştir (Andreasen ve diğerleri, 2002).

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, kök kanalına 30 günlük kısa dönem uygulanan kalsiyum hidroksitin bile dentinin dayanıklılığında anlamlı derecede düşüş meydana getirdiği bulgulanmıştır (Sahebi ve diğerleri, 2010).

2.2.2.2.6.Kök rezorpsiyonlarında kalsiyum hidroksit kullanımı

Kalsiyum hidroksit, osteoklastik aktiviteyi düşürerek ve tamir sürecini uyararak rezorpsiyon alanı ve çevresinde aktif bir etkiye sahiptir. Bu etki direkt olarak, dentine nüfuz edebilen kalsiyum hidroksitin alkali pH'sı ile ilgilidir. Enzimatik aktivite ile birlikte gelişen sert doku rezorpsiyonu asidik bir pH'da gerçekleşir. Kalsiyum hidroksit enzimatik reaksiyonu tersine çeviren

alkali bir ortam yaratarak sert doku birikimini uyarır. Çevre dokularda pH değişimi ile gerçekleşen bu olgu özellikle dentinin ekspozite olduğu rezorpsiyon sahalarında artar (Tronstad ve diğerleri, 1981).

İnternal kök rezorpsiyonları için tercih edilen ilk tedavi seçeneği, kök kanalının ve rezorpsiyon lakunasının kalsiyum hidroksit patı ile doldurulmasıdır. Kalsiyum hidroksit, rezorpsiyon lakunasındaki dokuları nekrotize etme eğilimindedir ve daha sonra kalan nekrotik artıklar sodyum hipoklorit irrigasyonu ile uzaklaştırılır (Trope ve Chivian, 1994, s 505).

Eksternal lateral rezorpsiyon vakalarında pulpa ekstirpasyonu ve kök kanal şekillendirmesinin ardından kanala kalsiyum hidroksit uygulanır. Şayet rezorpsiyon dentine ulaşmış ve kök kanalını perfore etmişse, 3 ay aralıklarla kalsiyum hidroksit yenilenerek uygulanır ve süreç klinik ve radyografik olarak sert doku tamiri izlenene kadar devam eder (Trope ve Chivian, 1994, s 505).

Nekrotik pulpa veya travmatik yaralanmalar kaynaklı rezorpsiyonlarda da pulpa ekstirpasyonu ve kök kanal şekillendirmesini takiben kalsiyum hidroksit tedavisi önerilmiştir (Mohammadi ve Dummer, 2011).

2.3.Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

Mineral trioxide aggregate (MTA), Loma Linda Üniversitesi'nden Mahmoud Torabinejad tarafından 1993 yılında diş hekimliğine tanıtılmıştır (Lee ve diğerleri, 1993). 1998 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Yönetimi (FDA) tarafından onaylanması ile hem deneysel hem de klinik olarak geniş çaplı kullanım alanı bulmuştur (Schwartz ve diğerleri, 1999). MTA üzerine yapılan çalışmalar, iyi bir sızdırmazlık yeteneği olduğunu, uzun vadede mükemmel bir prognoz sunduğunu, göreceli olarak kolay bir manüplasyonu olduğunu ve biyouyumluluğunun yüksek olmasının yanı sıra aynı zamanda doku rejenerasyonunu teşvik ettiğini ortaya koymuştur (Parirokh ve Torabinejad, 2010b; Rao ve diğerleri, 2009).

MTA, ticari olarak farklı isimlerde bulunmaktadır: ProRoot MTA (Dentsply), White ProRoot MTA (Dentsply), MTA-Angelus (Solucos Odontologicas), MTA- Angelus Blanco (Solucos Odontologicas), MTA Bio (Solucos Odontologicas).

2.3.1. Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri

MTA, portland çimentosunun modifiye bir formudur. MTA'nın ağırlıkça %75'ini portland çimentosu oluşturur. İçeriğinde portland çimentosundan farklı olarak bizmut oksit bulunur ve partikülleri daha küçük ve uniformdur. Temel bileşenleri; trikalsiyum silikat ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), trikalsiyum aluminat ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$), dikalsiyum silikat ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), kalsiyum sülfat dihidrat ($\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$, alçıtaşı), tetra kalsiyum aluminaferrit ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) ve materyale radyoopak özellik veren %20 oranında bizmut oksittir (Bi_2O_3) (Dammachke ve diğerleri, 2005; Rao ve diğerleri, 2009). Bu bileşim ince hidrofilik partiküllerden oluşan bir tozdur ve bileşenlerin su ile reaksiyona girmesiyle yaklaşık 3 saat içerisinde katılaşp sert bir yapıya dönüşen kolloid jel halini alır. Hidratlaşma reaksiyonunun ana ürünleri kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksittir (Camilleri ve diğerleri, 2005; Camilleri, 2008). Camilleri ve diğerleri (2005), MTA'yı silikat matriks içinde bulunan kalsiyum hidroksit olarak tanımlamışlardır.

MTA, piyasada Beyaz MTA ve Gri MTA olmak üzere iki farklı formda bulunur. Beyaz ve Gri MTA içerik bakımından benzerlik gösterirler. Renkleşme problemlerini ortadan kaldırmak için 2002 yılında piyasaya sürülen beyaz MTA'nın yapısında tetra kalsiyum aluminaferrit daha düşük oranda bulunur. (Asgary ve diğerleri, 2005).

2.3.1.1. Basınca dayanıklılık

MTA, amalgam, IRM ve Süper-EBA ile karşılaştırıldığında ilk 24 saat içinde baskı kuvvetlerine en düşük direnci göstermektedir. Ancak 21 gün sonra baskı kuvvetinin 67,3 MPa'ya yükseldiği, direncinin IRM ve Süper-EBA ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu, ancak amalgamdan anlamlı derecede düşük olduğu bildirilmiştir (Torabinejad ve diğerleri, 1995a).

Gri MTA ile beyaz MTA'nın basınca dayanıklılık özelliklerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda birbiri ile çelişkili sonuçlar rapor edilmiştir (Parirokh ve Torabinejad, 2010a).

2.3.1.2. Radyoopasite

MTA için ortalama radyoopasite 7,17 mm kalınlıkta alüminyuma eşdeğer olarak bildirilmiştir ve bu değer IRM, Super EBA, amalgam ve gütâ perkadan daha düşük olmasına rağmen radyografik olarak kolayca görülebilmesi için yeterlidir (Rao ve diğerleri, 2009; Torabinejad ve diğerleri, 1995a).

2.3.1.3. pH ve çözünürlük

Su ile karıştırılan MTA'nın ilk pH değeri 10,2 olarak bildirilmiştir. Bu değer yükselerek 3 saat sonunda 12,5'e çıkar ve sabit kalır (Torabinejad ve diğerleri, 1995a). Bu değerler, kalsiyum hidroksit pH'sı ile benzerlik gösterir. MTA ve kalsiyum hidroksit materyallerinin benzer alkali pH derecelerine sahip olması, her iki materyalin de sert doku oluşumunu indüklemeye özelliğini artırmakta ve materyallere antimikrobiyal özellikler kazandırmaktadır (Schwartz ve diğerleri, 1999; Torabinejad ve diğerleri, 1995a).

MTA'nın çözünürlük derecesi araştırmacılar arasında tartışma konusu olmuştur. Araştırmaların çoğu, MTA'nın ya hiç çözünmediği ya da düşük miktarlarda çözünür olduğunu bildirmiştir (Danesh ve diğerleri, 2006; Torabinejad ve diğerleri, 1995a). Bunun nedeni, MTA'nın temel olarak çözünürlüğü olmayan silika matriksten oluşması ve bu nedenle bütünlüğünü kaybetmemesidir (Fridland ve Rosado, 2003). Buna karşın Fridland ve Rosado (2005), MTA'nın uzun dönemde artan çözünürlük değerlerinin MTA'nın karışım sonrasında oluşan kalsiyum hidroksit formasyonunun çözünürlüğüne bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmalar, MTA kaynaklı kalsiyum hidroksit ayrışma ürünleri olan hidroksil ve kalsiyum iyonları üzerinedir.

Duarte ve diğerleri (2003), ProRoot MTA ve Angelus MTA'dan iyonize su bulunan ortama kalsiyum iyonlarının salımını bulgulamışlar ve her iki materyalin de alkalinite artışına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Fridland ve Rosado (2005), MTA'nın çözünen kısmının kalsiyum hidroksit kaynaklı olduğunu, uzun dönemde elde edilen yüksek pH değerlerinin MTA'dan sürekli bir kalsiyum hidroksit salımı ile sağlandığını bildirmişlerdir. Bu çalışmanın bulguları ile MTA'nın yüksek örtücülük özellikleri sergilemesinin yanında, kalsiyum hidroksitin sahip olduğu biyolojik ve antibakteriyel özelliklere sahip olmasının açık apeksli dişlerin tedavisindeki klinik önemine dikkat çekmişlerdir.

Islam ve diğerleri (2006), beyaz ve gri MTA'ların çözünürlüklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında beyaz MTA'nın çözünürlüğünün daha yüksek olduğunu bulgulamışlardır.

Fridland ve Rosado (2005), yüksek su/toz oranlarının MTA'da porozite ve çözünürlükte artışa neden olduğunu, karışımda daha fazla su kullanımının MTA'dan kalsiyum salımını artırdığını bildirmişlerdir.

2.3.1.4. Sızdırmazlık ve marjinal adaptasyon

MTA'nın sızdırmazlık özelliklerinin değerlendirildiği literatürdeki birçok çalışmada MTA'nın; IRM, Super EBA, amalgam ve cam iyonomer simanla benzer yada daha iyi sızdırmazlık özellikleri sergilediği bildirilmiştir (Chong ve diğerleri, 2003; Fischer ve diğerleri, 1998; Fogel ve Peikoff, 2001; Nakata ve diğerleri, 1998).

Torabinejad ve diğerleri (1995d), kök ucu kavimleri MTA, amalgam, Super-EBA ve IRM ile doldurulan tek köklü dişlerin kanallarındaki bakterilerin sızıntılarını incelemişlerdir. Araştırmacılar, 90. günün sonunda MTA ile doldurulan dişlerde hiçbir bakteriyel sızıntı tespit edemezken, amalgam ile doldurulan dişlerde 28., Super-EBA ile doldurulan dişlerde 34., IRM ile doldurulan dişlerde 15. gün sonunda bakteri sızıntısı görüldüğünü bildirmişlerdir.

Shipper ve diğerleri (2004), amalgam ile MTA'nın marjinal adaptasyonlarını karşılaştırdıkları çalışmada MTA'nın daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. MTA'nın sertleşme sırasındaki genişlemesinin, MTA'nın sergilediği üstün sızdırmazlık ve dentin adaptasyonu özelliklerinin nedeni olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

2.3.1.5. Antibakteriyel ve antifungal özellikler

MTA'nın antibakteriyel ve antifungal özelliklerinin araştırıldığı birçok çalışmada çeşitli sonuçlar rapor edilmiştir.

Torabinejad ve diğerleri (1995b), MTA, amalgam, çinkooksit öjenol ve Super EBA'nın antimikrobiyal etkinliklerini incelemişlerdir. MTA'nın, çalışmalarında kullandıkları yedi farklı fakültatif bakteri grubundan (*S. faecalis*, *S. rnitis*, *S. mutans*, *S. salivarius*, *L. species*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *B. subtilis*, *E. coli* B.) sadece beşine (*S. mitis*, *S. mutans*, *S. salivarius*, *L. species*, *S. epidermidis*) antibakteriyel etkinliği olduğunu bildirmişlerdir. MTA'nın, anaerop gruplar (*P. (Bacteroides) buccae*, *B. fragilis*, *P. (Bacteroides) intermedia*, *P. (Bacteroides) melaninogenica*, and *P. Anaerobius*) üzerine ise herhangi bir antibakteriyel etkinliği olmadığını bulgulamışlardır. MTA'nın gösterdiği antibakteriyel özelliklerini yüksek pH'ına ve ortama saldırdığı diffüze olabilen maddelere bağlamışlardır.

Stowe ve diğerleri (2004), beyaz MTA'nın (White ProRoot MTA, Dentsply) antimikrobiyal aktivitesini araştırdıkları çalışmalarında, test edilen sekiz mikroorganizmaya (*A. odontolyticus*, *F. nucleatum*, *S. sanguis*, *E. faecalis*, *E.coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *C. albicans*) etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu etkinin steril su yerine 0,12'lik kloreksidin glukonat kullanıldığında anlamlı olarak arttığını bulgulamışlardır.

Al-Nazhan ve Al-Judai (2003), yaptıkları çalışma sonucunda, MTA'nın özellikle inatçı apikal periodontitis olgularında izole edilen *C. albicans*'a karşı iyi derecede antifungal etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Yine *C. albicans* üzerine olan antifungal etkinliğin araştırıldığı Mohammadi ve diğerleri

(2006)'nin yapmış olduğu bir başka çalışmada hem gri hem de beyaz MTA'nın antifungal etkinlik gösterdiği bildirilmiştir.

2.3.1.6. Biyouyumluluk

Endodontide kullanılan materyaller sıklıkla periodonsiyum ile yakın ilişki içerisinde olduklarından konak dokularla biyolojik olarak uyumlu olmalı ve toksisite göstermemelidirler (Torabinejad ve Parirokh, 2010). Biyouyumluluk ve mutajenitenin araştırıldığı birçok çalışmada MTA'nın Super EBA, IRM, ve amalgama kıyasla daha biyouyumlu bir materyal olduğu bildirilmiştir (Fernández-Yáñez Sánchez ve diğerleri, 2008).

Kettering ve Torabinejad (1995), çeşitli kök ucu dolgu materyallerinin mutajenitesini araştırdıkları çalışmalarının sonucunda, MTA'nın mutajenik özellik taşımadığını bildirmişlerdir.

Torabinejad ve diğerleri (1995c), sitotoksiteleri test edilen dört farklı kök ucu dolgu materyalinden (MTA, amalgam, Super EBA, IRM) en iyi sonuçları MTA grubunda almışlardır.

MTA varlığında insan osteoblastlarının sitomorfolojisini ve sitokin üretimini in-vitro olarak inceleyen Koh ve diğerleri (1998), materyalin kemik hücreleri için biyolojik olarak aktif substrat sağladığı ve interlökin üretimini uyardığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, MTA'nın kemik apozisyonuna katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Asrari ve Lobner'in (2003); MTA, amalgam, Super EBA ve Diaket'in nöral hücreler üzerine toksisitesini araştırdıkları çalışmalarında, MTA haricindeki materyallerin nörotoksik özellik gösterdiklerini bulgulamışlardır.

de Souza Costa ve diğerleri (2008), kalsiyum hidroksit ve gri MTA'nın pulpa hücrelerine sitotoksitesini değerlendirdikleri in-vitro ve pulpotomi sonrası pulpal cevabın değerlendirildiği in-vivo çalışmalarının sonucunda kalsiyum hidroksitin daha sitotoksik olduğu ve hücrelerde metabolik aktiviteyi gri MTA'ya kıyasla üç kat daha fazla düşürdüğünü bildirmişlerdir.

2.3.1.7. Rejeneratif potansiyeli ve biyolojik aktivitesi

MTA kemik, dentin ve sement dokularının oluşumunu uyarır ve periapikal dokularda rejenerasyon potansiyeline sahiptir. Osteokondüktif, osteoindüktif ve sementojenik özellikleri taşır (Bogen ve Kuttler, 2009; Parirokh ve Torabinejad, 2010b). Zarar görmüş sementin tamiri, rejenerasyonu ve periapikal kemik defektlerinin iyileşmesi için gerekli olan lenfokinlerin, kemik bağlayıcı faktörlerin immün hücrelerden salımını uyarır (Economides ve diğerleri, 2003; Koh ve diğerleri, 1997).

Periodontal bağ dokusunda yerleşik temel hücreler fibroblastlardır. Gingival fibroblastlar, gingival bağ dokusunun bütünlüğünü korumakla görevli iken, periodontal ligament fibroblastları periodontal ligament liflerinin bütünlüğünü sağlamalarının yanı sıra komşu alveolar ligament ve sement dokusunun tamiri ve rejenerasyonunu içeren bazı özelleşmiş fonksiyonlara sahiptirler (Bartold ve diğerleri, 2000). MTA periodontal ligament fibroblastlarını, osteojenik fenotip sergilemesi ve osteonektin, osteopontin ve osteonidojen üretimi için uyarır (Bonson ve diğerleri, 2004).

In-vitro araştırmaların birçoğu MTA'nın, sert doku iyileşmesi sürecinde gerekli olan sitokin ve sinyal moleküllerinin üretimini teşvik ettiği konusunda hemfikirdir. MTA'nın ortamda bulunması, IL-1 α , IL-1 β , IL-2, IL-4, IL-6, IL-8, IL-10, IL-18, osteokalsin, alkalin fosfataz, kemik sialoproteini, osteopontin ve BMP-2 gibi birçok sitokinin up-regülasyonuna neden olduğu çeşitli hücre kültürü çalışmalarında gösterilmiştir (Torabinejad ve Parirokh, 2010).

MTA'nın osteojenik aktivitesinin, materyalden salınan bol miktarda kalsiyum iyonunun, biyolojik ortamdaki fosfat grupları ile etkileşime girip hidroksiapatit oluşturması ile ilgili olduğuna inanılmaktadır (Bozeman ve diğerleri, 2006). Sarkar ve diğerleri (2005)'nin yürüttüğü çalışmada sentetik doku sıvıları ile temasta olan MTA'nın yüzeyinde hidroksiapatit kristallerinin oluştuğu gözlenmiştir. MTA'nın bu yeteneği ona biyouyumluluğun yanı sıra aynı zamanda biyoaktif bir materyal özelliği de katmaktadır. Biyoaktivite bu bağlamda, MTA'nın inert olmadığını, kalsiyum salımı ve bunu takiben

hidroksiapatit oluşumu ile sert doku oluşumunu teşvikte aktif rol oynadığını gösterir.

2.3.2.Hazırlama

Uygulama ve kullanım kolaylığı için 1 gram tek kullanımlık ambalajları mevcuttur. Kullanım sonrası artan materyal, su ve hava geçirmez bir kap içerisinde 4 haftaya kadar saklanabilir (Srinivasan ve diğerleri, 2006).

MTA, uygulama tekniği hassas bir materyal olarak tanımlanmıştır (Caicedo ve diğerleri, 2006). Kullanılmadan hemen önce karıştırılmalıdır. Tozun steril suyla 3:1 oranında karıştırıldığı çalışma süresi yaklaşık 5 dakika, ortalama donma süresi 165 ± 5 dakikadır. Bu süre amalgam, Super EBA ve IRM (intermediate restorative material) ile karşılaştırıldığında daha uzundur (Torabinejad ve diğerleri, 1993). Bir materyal ne kadar hızlı katılaşır, boyut değişimi de o kadar fazla olacağından MTA'nın diğer materyallere kıyasla daha uzun sürede katılaşması, mikrosızıntıyı önlemede materyalin lehine olarak yorumlanmıştır. Buna karşın uzun sertleşme süresi materyalin en önemli dezavantajı olarak kabul edilmektedir. Araştırmacılar tarafından sertleşme süresinin kısaltılması için sodyum fosfat ve kalsiyum klorür kullanılması önerilmektedir (Parirokh ve Torabinejad, 2010a).

Karıştırma işlemi kağıt veya cam bir yüzeyde plastik ya da metal spatül kullanılarak gerçekleştirilebilir. Karıştırma işleminin 4 dakikadan fazla olmaması gerektiği, uzayan karıştırma sürelerinde karışımın dehidrate olduğu bildirilmiştir (Sluyk ve diğerleri, 1998). Daha sonra karışım metal ya da plastik bir taşıyıcı ile uygulanacak bölgeye taşınır. Materyalin adaptasyonunda ise kağıt konlar, el aletleri veya özel tepiciler kullanılabilir. Tüm irrigasyon işlemleri, MTA yerleştirilmeden önce tamamlanmalıdır. Çünkü materyal yerleştirildikten sonra, yapılacak en ufak irrigasyon materyalin akıp gitmesine neden olabilir (Torabinejad ve Chivian, 1999).

Bazı araştırmacılar MTA'nın yerleştirilmesi sırasında ilave olarak ultrasoniklerin kullanılması ile çok daha iyi bir tıkanmanın sağlandığını ve ultrasoniklerle kondanase edilen MTA'da daha az boşluk kalmasından dolayı

daha radyoopak görüntü elde edildiğini ileri sürmüşlerdir (Lawley ve diğerleri, 2004).

Torabinejad ve Chivian, çalışmaları sonucunda eğer MTA karışımı hafif dehidrate olmuş ise su ile nemlendirilebileceği veya sulu olmuşsa kuru bir pamuk pelet vasıtası ile fazla neminin alınabileceğini bildirmişlerdir (Torabinejad ve Chivian, 1999). Hazırlanış sırasında çok fazla veya yetersiz su ilavesi materyalin son sertliğini azaltmaktadır. Fridland ve Rosado'nun (2003) yayınladıkları bir çalışmada, su-toz oranı arttıkça, MTA karışımının çözünürlüğünün ve porözitesinin de arttığı sonucu bildirilmiştir.

Eğer materyal dişin iç yüzeyine yerleştirilecekse, ilk seansta üzerine nemli bir pamuk pelet konulup giriş kavitesinin kapatılması önerilir. Torabinejad ve Chivian (1999) pulpa kapaklaması, perforasyon tamiri veya apikal tıkaçlama gibi tedavilerde nemli pamuk pelet kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. İlk 24 saat MTA üzerine nemli pamuk pelet yerleştirilmesinin materyalin esneme dayanıklılığını ve adaptasyonunu arttırdığını ama sertleşme zamanına etki etmediği bildirilmiştir (Parirokh ve Torabinejad, 2010a; Sluyk ve diğerleri, 1998).

2.3.3.Klinik Kullanımı

İlk olarak kök ucu dolgu materyali olarak kullanıma sunulmuş olan MTA, zamanla pulpa kapaklaması, perforasyon tamiri ve apikal bariyer oluşturma gibi çok çeşitli klinik uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamaların temelini MTA'nın biyouyumluluğu, iyi sızdırmazlık yeteneği, pulpa ve periapikal dokuların rejenerasyonunu artırma kapasitesi gibi özellikleri oluşturmaktadır (Parirokh ve Torabinejad, 2010b).

2.3.3.1.Pulpa kapaklama materyali olarak kullanımı

Birçok araştırmacı, MTA'nın sahip olduğu mükemmel doku uyumu sayesinde reversibl pulpitisli dişlerde pulpa kapaklama materyali olarak kullanımını önermiştir. Yapılan çok sayıda hayvan ve insan çalışmalarında

MTA'nın kalsiyum hidroksitle karşılaştırıldığında eşit ya da daha üstün özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Parirokh ve Torabinejad, 2010b).

Ford ve diğerleri (1996), canlı maymun dişlerinde pulpa kapaklama materyali olarak MTA ile kalsiyum hidroksiti kıyaslamışlardır. Yapılan direkt pulpa kapaklamalarının beş aylık gözlem periyodunun sonunda, MTA kullanılan 6 dişin 5'inde hiçbir enflamasyon görülmezken, örneklerin tümünde dentin köprüsü olduğu gözlenmiştir. Kalsiyum hidroksit kullanılan dişlerin tümünde pulpada enflamasyon görülmüş ve sadece 6 dişin 2'sinde dentin köprüsü oluşmuştur.

Aeinehchi ve diğerleri (2003), 11 çift çürüksüz üçüncü molar dişte pulpa kapaklama materyali olarak MTA ve kalsiyum hidroksiti karşılaştırmışlar, histolojik olarak, MTA uygulanan dişlerde kalsiyum hidroksite göre daha az enflamasyon, hiperemi ve nekroz bulgularına rastlamışlardır. Ayrıca, MTA uygulanan dişlerde oluşan dentin köprüsünün daha kalın olduğunu rapor etmişlerdir.

Iwamoto ve diğerleri (2006), 24 çift çürüksüz üçüncü molar dişte yaptıkları çalışmada pulpa kapaklama meteryallerini klinik ve histolojik olarak karşılaştırmışlar, kalsiyum hidroksit ve MTA arasında klinik semptomlar, pulpa canlılığı ve dentin köprüsü formasyonu açısından anlamlı bir farklılık olmadığını bildirmişlerdir.

Klinik uygulama sırasında MTA kaviteye amalgam taşıyıcı ile taşınır. Islak pamuk pelet ile MTA'nın üzeri örtülüp kavite geçici dolgu ile kapatılır. Sonraki seansta geçici dolgu ve pamuk pelet uzaklaştırılıp daimi dolgu yapılabilir (Rao ve diğerleri, 2009).

2.3.3.2.Kök ucu dolgu materyali olarak kullanımı

Endodontik cerrahi işlemleri, rutin endodontik tedaviye cevap vermeyen olgularda gerekli olabilir. Bu işlemler kök ucunun cerrahi olarak ortaya çıkarılması, kesilmesi ve ardından sızdırmaz, doku sıvılarında çözünmeyen, toksik olmayan, boyutsal olarak stabil ve radyopak bir

materyal ile tıkanmasını içerir (Torabinejad ve diğerleri, 1995d). Bu amaçla pek çok materyal denenmiş olup bu maddelerin birçoğunun sızıntıyı önlemede ve biyolojik olarak uyumlulukta yetersiz oldukları bildirilmiştir. MTA'nın kök ucu dolgu materyali olarak geliştirildiği 1993 yılından günümüze kadar yapılan çeşitli çalışmalarda materyalin bu konudaki üstün özellikleri bildirilmiştir.

Torabinejad ve diğerleri (1993)'nin, rhodamine B floresan boyası kullanarak yaptıkları çalışmalarının sonucunda kök ucu dolgu materyali olarak kullanıldığında, MTA'nın Süper-EBA ve amalgama kıyasla daha az sızıntı gösterdiğini bulgulamışlardır. Yine Torabinejad ve diğerleri (1995d)'nin yürüttüğü bir başka çalışmada amalgam, Super-EBA, IRM ve MTA'nın bakteri sızıntıları karşılaştırılmış ve 90 günlük değerlendirme süresi sonucunda MTA'nın diğer materyallerden daha az bakteri sızıntısına neden olduğu bildirilmiştir.

Saunders (2008), konvansiyonel endodontik tedaviye cevap vermeyen 321 dişte cerrahi endodontik uygulamaları takiben kök ucu dolgu materyali olarak MTA kullanmış ve %88 başarı oranı bildirmiştir.

Shipper ve diğerleri (2004), oluşturdukları SEM çalışma modelinde, kök ucu dolgu materyali olarak amalgam ve MTA'nın marjinal adaptasyonlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak araştırmacılar, MTA'nın marjinal adaptasyonunun amalgama göre daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.

2.3.3.3.Perforasyon tamir materyali olarak kullanımı

Perforasyon, kök kanal sistemi ile dişin dış yüzeyi arasında mekanik ya da patolojik olarak meydana gelen ilişkiyi tanımlar (AAE, 2003). Kök perforasyonları sıklıkla kök kanal tedavisi ya da post boşluğu preparasyonu işlemleri sırasında iatrojenik olarak gerçekleşebileceği gibi nadiren ilerleyen internal rezorpsiyonun periodonsiyuma ulaşması ile de oluşabilir. Perforasyonların tamiri dişin içerisinden veya eksternal olarak cerrahi yaklaşımlarla yapılabilir. Bu amaçla Cavit, çinkooksit öjenol, kalsiyum

hidroksit, amalgam, güta perka, trikalsiyum fosfat, hidroksiapatit, Super EBA, IRM ve cam iyonomer simanlar denenmiş fakat hiçbir materyalden ideal sonuçlar alınamamıştır. MTA, perforasyonların tamirinde başarı ile kullanımı birçok raporda bildirilmiş nispeten yeni bir materyaldir (Ghoddusi ve diğerleri, 2007; Lee ve diğerleri, 1993)

Lee ve diğerleri, 1993 yılında yaptıkları sızıntı çalışmalarında, çekilmiş dişlerde deneysel olarak oluşturulan kök perforasyonlarında MTA'nın amalgam ve IRM'ye göre daha az sızıntı gösterdiğini saptamışlardır.

Ford ve diğerleri (1995), köpek dişlerinde deneysel olarak oluşturdukları furkal perforasyonların tamirinde amalgam ve MTA kullanmışlar ve sonuçları histolojik olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda, furka perforasyonlarının tedavisinde MTA'nın amalgama kıyasla çok daha iyi bir materyal olduğunu sonucuna varmışlardır.

Main ve diğerleri (2004), kliniklerinde çeşitli kök seviyelerinde meydana gelmiş olan 16 kök perforasyonu vakasını MTA kullanarak tamir etmişlerdir. Vakaların, klinik ve radyografik olarak takibini yapmış, 12-45 aylık değerlendirmeler sonucunda hiçbir vakada patolojik bulgulara rastlamamışlardır. Bir başka vaka serisinde Ghoddusi ve diğerleri (2007), mekanik olarak oluşmuş furkal veya strip perforasyon bulunan 28 vakayı MTA kullanarak tamir etmiş ve tedavi sonrası 6-12 aylık değerlendirmelerde vakaların %92,9'unda başarı bildirmişlerdir.

MTA'nın perforasyon tamiri için kullanımında, uygulanacak yüzey sodyum hipoklorit ile dezenfekte edilmelidir. Eğer kanama kontrolü sağlanamıyorsa kalsiyum hidroksit bu amaçla takip eden seansa kadar geçici olarak kullanılabilir. Fakat MTA yerleştirilmeden önce mutlaka tamamen uzaklaştırılmalıdır. MTA bölgeye uygun bir taşıyıcı ile yerleştirildikten sonra üzeri ıslak pamuk pelet ile örtülür ve diş geçici bir dolgu materyali ile en az 3-4 saat kadar kapatılır. Daha sonra geçici dolgu ve pamuk pelet uzaklaştırılarak daimi restorasyon yapılır. İyileşme 3-6 aylık periyotlarda değerlendirilir (Rao ve diğerleri, 2009).

2.3.3.4.Apeksifikasyon sırasında apikal bariyer oluşturmak için kullanımı

Kök gelişimi, travma veya pulpal patolojiler nedeni ile tamamlanmamış açık apeksli dişlerde tedavi ve restorasyon, kanal dolgu materyallerinin kontrolünü sağlayan apikal stop bölgesinin olmaması ve dişlerin ince ve kırılgan dentin duvarları sebebiyle her zaman sorun olmuştur (Steinig ve diğerleri, 2003). Nekrotik pulpalı, kök ve kök ucu gelişimini tamamlamamış dişlerin köklerinin oluşumunun tamamlanması ve kök ucunda sert doku oluşumunun indüklenmesi işlemi apeksifikasyon olarak tanımlanır (AAE, 2003).

Apeksifikasyon için pek çok materyal denenmiş olmasına rağmen en çok tercih edileni kalsiyum hidroksit olmuştur (Steinig ve diğerleri, 2003). Fakat kalsiyum hidroksit kullanılarak uygulanan apeksifikasyon yöntemi; tedavi süresinin uzunluğu ve değişkenliği, randevu ve alınan radyografi sayısının çokluğu, hasta takibinin güç olması, ertelenen tedaviler ve uzun süre kalsiyum hidroksit kullanılmasına bağlı olarak gelişen kök fraktürü riskinin artması gibi pek çok dezavantajlara sahiptir. Andreasen ve diğerleri (2002), apeksifikasyon işlemi için 1 yıldan daha fazla kalsiyum hidroksit uygulanan immatür dişlerde, kırılma direncinin %50 oranında azaldığını bildirmiştir. Bu nedenlerden dolayı araştırmacılar açık apeksli dişlerde, apikal bariyer olarak alternatif materyal arayışına girmişler. Günümüzde MTA, tek seansta uygulanabilir olup uzun süreli apeksifikasyon tedavisini elimine etmesi, periapikal iyileşmeyi teşvik etmesi, iyi örtücülük özellikleri ve biyoyumluluğu gibi olumlu özellikleri nedeniyle geleneksel apeksifikasyon yöntemine güçlü bir alternatiftir (Steinig ve diğerleri, 2003).

Shababhang ve diğerleri (1999), açık apeksli köpek dişlerinde yaptıkları çalışmada; osteojenik protein-1, MTA ve kalsiyum hidroksit'in sert doku bariyeri oluşturmadaki etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; yapılan histolojik incelemede, 3 grupta da kalsifiye doku oluşumları gözlenirken, MTA grubunda daha düzgün yapıda bir apikal bariyer olduğu

belirtilmiştir. Oluşan sert doku miktarı ve enflamasyonun dereceleri açısından ise istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını bildirmişlerdir.

Literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından, MTA kullanılarak yapılan, pek çok başarılı apeksifikasyon tedavileri bildirilmiştir (Er ve Akpınar,2003; Ghaziani ve diğerleri, 2007). Holden ve diğerleri (2008)'nin bildirdiği retrospektif çalışmada açık apeksli dişlerde bariyer olarak kullanılan MTA'nın %85 oranında başarı sağladığı bulunmuştur.

Nekrotik pulpalı açık apeksli dişlerde rutin endodontik işlemlerin ardından kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu için bir hafta kalsiyum hidroksit uygulaması yapılabilir. Bu sürenin ardından kalsiyum hidroksit kanaldan yıkanarak uzaklaştırılır ve kök kanalının 3-4 mm'lik apikal bölümüne MTA yerleştirilir. Bu amaçla amalgam taşıyıcılar, endodontik tepiciler ve kağıt konlar kullanılabilir. Bu işlemler sırasında kök ucunda yeterli adaptasyonun sağlanıp sağlanmadığı radyografi ile kontrol edilmelidir. Sonrasında steril su ile nemlendirilen pamuk kanal içerisine yerleştirilip diş geçici dolgu materyali ile kapatılır. Yerleştirilen MTA'nın sertleşmesinden sonra kanalın kalan kısmının güta perka ile doldurulabileceği bildirilmiştir ancak, son yıllarda tüm kök kanalının MTA ile doldurulabileceğini bildiren araştırmalar da vardır. Kök ucu ve çevresinde iyileşme 3-6 aylık kontrollerle değerlendirilmelidir (Rao ve diğerleri., 2009; Torabinejad ve Chivian, 1999; Tunç ve Çetiner, 2006).

2.3.3.5.Rezorpsiyon vakalarında kullanımı

Eksternal rezorpsiyon

Eksternal rezorpsiyon kaynaklı kök defektlerinin restorasyonunda amalgam, kompozit rezin, cam iyonomer siman gibi farklı materyaller denenmiştir. Son yıllarda literatürde, MTA kullanılarak eksternal rezorpsiyon defektlerinin tamir edildiği başarılı vakalar rapor edilmiştir (Pace ve diğerleri, 2008; Yılmaz ve diğerleri, 2010). MTA'nın bu tip vakalarda tercih edilme nedeni, uygulandığı alanda biyolojik olarak uyumlu bir yüzey sağlayarak olası kemik ve sement adhezyonuna izin verebilmesidir (Baek ve diğerleri, 2005). Kök ucu dolgu maddesi olarak kullanılan MTA'nın yüzeyinde, sement

dokusunun doğrudan apozisyonu gözlenmiştir (Torabinejad ve diğerleri, 1997). MTA'ya özgü olan bu özellik sayesinde materyal özellikle oral kavite ile direkt ilişkide olmayan eksternal kök rezorpsiyonlarının tedavisinde tercih sebebi olmuştur. Oral kavite ile direkt ilişkide olan eksternal invaziv servikal rezorpsiyonlarda, uygulanan MTA'da oral flora ile kontaminasyon söz konusudur. MTA'nın sahip olduğu pürüzlü yüzey subgingival plak oluşumunu teşvik eder. Ayrıca MTA sert bir materyal olmadığından mekanik temizlik sırasında kısmen kazınıp zarar görebilir. Bu nedenle bu tip durumlarda tek başına kullanımı önerilmez (Bargholz, 2005).

Eksternal enflamatuar rezorpsiyon görülen açık apeksli dişlerde MTA'nın ortograd kanal dolgu materyali olarak kullanımı geçerli bir seçenek olarak sunulmuştur (Güzeler ve diğerleri, 2010). Kalsiyum salımına sahip olması ve yüksek pH değerini uzun periyotlarda koruması ile dentin tübülleri vasıtasıyla resorpsiyon lakünaasına ulaşan kalsiyum ve hidroksil iyonları enflamatuar süreci baskılar, odontoklastik aktiviteyi durdurur ve çevre dokuların tamir potansiyelini destekler (Aggarwal ve Singla, 2010; Özdemir ve diğerleri, 2008). Ciddi derecede rezorbe olup kök boyu kısalmış açık apeksli dişlerde MTA'nın apikal bariyer olarak kullanımı kanalın büyük ölçüde MTA ile dolumunu gerektirir ve diğer bir kök kanal dolgu maddesine yeterli yer kalmaz. Bu durumda kanalın tamamen MTA ile doldurulması önerilir (Canoglu ve diğerleri, 2010).

İnternal Rezorpsiyon

Özellikle kök kanal duvarında perforasyon oluşturmuş internal resorpsiyona sahip dişlerde MTA'nın perforasyon alanının tamiri ve rezorpsiyon lakünaasının doldurulması amacıyla kullanıldığı pek çok vaka rapor edilmiştir (Hsien ve diğerleri, 2003; Meire ve De Moor, 2008).

Perforasyon görülen internal rezorpsiyon vakalarında kanalın obturasyonu hibrit teknik ile yapılır. Rezorpsiyon lakünaasının apikalinde bulunan kök kanalı güta perka ve kanal patı ile doldurulur. Perforasyon sahası MTA ile tıkanır ve rezorpsiyon kavitesine MTA yerleştirilip kondanse

edilir (Patel ve diğerleri, 2010). Eğer kanal içi perforasyon tamiri başarılı olmazsa veya perforasyona kaviteden ulaşamıyorsa cerrahi tedavi endikedir. Flep kaldırıldıktan ve perforasyon bölgesi lokalize edildikten sonra, eğer gerekliyse, defekt küçük bir rond frez ile modifiye edilebilir. MTA perforasyon alanına yerleştirildikten sonra bölge yıkanmadan flep suture edilir.

2.3.3.6.Horizontal kök fraktürlerinde kullanımı

Özellikle kökün apikal ve orta üçlü bölümünde meydana gelen horizontal kök fraktürleri yüksek bir iyileşme potansiyeline sahiptir ve kendiliğinden iyileşirler (Orhan ve diğerleri, 2010). Fakat bazı durumlarda kuronal fragmandaki pulpa canlılığını kaybeder. Kuronal fragmanın kök kanal tedavisine ihtiyaç duyulur. Kuronal fragmandaki pulpanın nekroze olduğu horizontal kök fraktürlü dişlerde MTA, fraktür alanında apikal bariyer olarak kullanılabilir. Kanalin kalan kısmı gütta perka ve kanal patı yardımıyla doldurulabileceği gibi kuronal fragmanın tamamen MTA ile doldurulduğu başarılı vakalar da rapor edilmiştir (Kuşgöz ve diğerleri, 2009).

2.3.3.7.Devital beyazlatma öncesinde kuronal bariyer olarak kullanımı

Intrakuronal olarak uygulanan beyazlatma ajanlarının kök yüzeyindeki pH'ı düşürdüğü ve düşük pH'ın osteoklastik aktivitede artışla birlikte rezorpsiyona neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle beyazlatma ajanlarının kök kanalına sızıntısını önlemek için koruyucu bir tabakanın yerleştirilmesi önerilmiştir. Bu amaçla kullanılan MTA, hazırlanan kaviteye 3-4 mm kalınlığında yerleştirilmelidir. Islak bir pamuk pelet materyal üzerine konulduktan sonra, kavite en az 3-4 saat geçici olarak kapatılmalıdır (Rao ve diğerleri, 2009).

2.3.3.8.Kanal dolgu materyali olarak kullanımı

MTA'nın; biyouyumluluğu, iyi bir sızdırmazlık göstermesi, hidroksiapatit oluşumunu teşvik ederek biyoaktif özellik sergilemesi, sahip

olduğu yüksek alkalinitesi ve başlıca bileşeni olan kalsiyum hidroksit salımı gösterebilmesi sebebiyle kök kanal dolgu materyali olarak da kullanılabileceği düşünülmüştür. Kanal dolgu maddesi olarak kullanılan MTA ile, uzun dönem kalsiyum hidroksit tedavisinin bir komplikasyonu olan kök yapısının zayıflaması ve uzun tedavi sürecinin yarattığı hasta uyumsuzluğu sorunlarının da önüne geçilebileceği öne sürülmüştür (Bogen ve Kuttler, 2010; Hansen ve diğerleri, 2011).

MTA'nın ortograt dolgu materyali olarak kullanımı ile ilgili yapılan sızıntı çalışmalarında başarılı sonuçlar bildirilmiştir. Martin ve diğerleri (2007), çalışmalarında kullandıkları fosfat tamponlu salin solüsyonu ile MTA'nın etkileşerek apatit birikimine neden olduğu ve bu durumun MTA'nın sızdırmazlık özelliğine katkıda bulunduğunu öne sürmüşlerdir. Gri MTA'nın sızdırmazlık özelliğinin beyaz MTA'ya kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Matt ve diğerleri, 2004).

MTA'nın, sahip olduğu karakteristik özellikleri nedeniyle gütta perka ve kanal patı ile gerçekleştirilen tedaviye geçerli bir alternatif olabileceği ileri sürülmüştür (Bogen ve Kuttler, 2010). Bogen ve Kuttler (2010); MTA'nın özellikle açık apeksli dişlerde, retreatment tedavilerinde, internal rezorpsiyonda, apikal cerrahi öncesinde, dens invaginatus, C şekilli kanallar gibi anatomik varyasyon gösteren dişlerde parsiyel ya da total kanal dolgu materyali olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Kanal dolgu materyali olarak kullanılan MTA, dişte renkleşmelere neden olması, bilinen bir çözücüsünün olmaması nedeniyle retreatmentinin neredeyse imkânsız olması, kanal içerisinde dolum uzunluğunun kontrolünün zor olması ve dolum sonrasında materyal içerisinde boşlukların kalabilmesi gibi dezavantajlara sahiptir (Bogen ve Kuttler, 2010).

2.4.BioAggregate

Geçtiğimiz on yıl içinde, endodontik malzeme biliminde yeni gelişmeler görülmektedir. Bu gelişmeler arasında, biyoseramik teknolojisinin birçok klinik uygulama alanı ile birlikte endodontik kullanımına sunulması önemli bir yer

teşkil eder. Son nanoteknolojik gelişmeler sayesinde biyoseramikler, sağladığı tüm faydalarla birlikte kök kanal tamirinde, apikal retrograd dolgularda, apeksifikasyon ve vital pulpa tedavilerinde kullanılabildiği gibi, kök kanal dolgu patı olarak da kullanımları mümkün olmuştur. Bu faydalardan ilki biyoseramiklerin fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Biyoseramikler biyolojik olarak son derece uyumludurlar, toksik değildir, kullanımları sonrasında büzülme göstermezler ve kimyasal olarak stabillerdir. İkinci olarak, kanal dolgusu, kök kanal tamiri gibi uygulamalarda kanal dışına taşmaları durumunda dokularda önemli bir enflamatuar cevap görülmez (Koch, 2009; Mukhtar-Fayyad, 2011).

BioAggregate, Innovative BioCeramix Inc. laboratuvarlarında geliştirilen kalsiyum-silikat-fosfat bazlı, biyouyumlu seramik nano partiküllerden oluşan bir materyaldir (De-Deus ve diğerleri, 2009). BioAggregate'in içeriği çok sayıda sentetik bileşenlerin karışımından oluşur: kalsiyum silikat hidrat, kalsiyum hidroksit, hidroksiapatit, tantal oksit ve amorf silikon oksit. Üretici firma dokular için toksik etkilerini azaltmak amacıyla alüminyum içermediğini iddia etmektedir (Park ve diğerleri, 2010).

Tablo 2.1. MTA ve BioAggregate'in bileşen, fonksiyon ve özellikleri bakımından karşılaştırılması (Verio Dental Co Ltd., 2011).

Bileşen	BioAggregate	MTA	Fonksiyon ve Özellikler
Kalsiyum Silikat Hidrat	Var	Var	Yapısal ana bileşendir; simana dayanıklılık, sertlik ve sızdırmazlık özellikleri sağlar
Kalsiyum Aluminat Hidrat	Yok	Var	Sertleşmeyi hızlandırır. Çözünür formdaki alüminyum iyonu toksiktir.
Kalsiyum Hidroksit	Var (MTA'dan az)	Var	Kalsiyum silikatın hidrasyon ürünüdür. Yapısal olarak zayıftır.
Hidroksiapatit	Var	Yok	Hidrate olmuş kalsiyum silikattan kalsiyum hidroksiti ayırır. Dağılık çöktürmesi kalsiyum silikat hidrojele dayanıklılık sağlar
Kalsiyum Sülfat	Yok	Var	Sertleşme zamanını ayarlar
Bizmut Oksit	Yok	Var	Radyoopasite sağlar
Tantal Oksit	Var	Yok	Radyoopasite sağlar
Amorf Silikon Oksit	Var	Yok	Hidrate olmuş kalsiyum silikattan kalsiyum hidroksiti ayırır.

Kullanım endikasyonları beyaz MTA ile aynıdır. Beyaz MTA ile benzer teknolojik özellikler ve kompozisyona sahip olmakla birlikte en büyük farklılığı içeriğinde alüminyum olmamasıdır. Ayrıca maddeye radyopak özellik kazandırmak için bizmut oksit yerine tantal oksit kullanılmıştır ve biyolojik olarak aktif olan hidroksiapatit içerir (Leal ve diğerleri, 2011).

BioAggregate'in ticari preparatı, tek kullanımlık toz (1g'lık paket) ve likitlerden (0,38ml'lik kapsül) oluşur. Likit deiyonize sudur. Toz ve likit ince krem kıvamında bir karışım elde edinceye kadar yaklaşık 2 dakika karıştırılır ve uygulanacak alana hemen yerleştirilmelidir. Çalışma süresi 5 dakikadır. Materyal karışımdan 5 dakika sonra dehidrate olup kurumaya başlar. Sertleşme süresi ise 4-72 saattir. Üretici firma BioAggregate'in kullanım alanlarını şu şekilde sıralamıştır:

- Kök perforasyonlarının tamiri
- Kök rezorpsiyonlarının tamiri
- Kök ucu dolgusu
- Apeksifikasyon
- Pulpa kapaklaması

BioAggregate'in antimikrobiyal etkinliği MTA ile benzerdir. Enterococcus fecalis'e karşı güçlü bir antibakteriyel özellik gösterir (Zhang ve diğerleri, 2009). Candida albicans'a karşı uygulandığı ilk gün etkisiz olduğu ancak 24 saat sonra antifungal etki gösterdiği bildirilmiştir (Dohaithem ve diğerleri, 2011).

BioAggregate'in sızdırmazlık yeteneğinin araştırıldığı bir çalışmada glukoz sızıntı modeli kullanılmış ve MTA ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir (Leal ve diğerleri, 2011).

BioAggregate'in biyoyumluluğunun in vitro olarak araştırıldığı hücre toksisite çalışmasında insan mezenşim hücreleri kullanılmış ve sonuç olarak beyaz MTA ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı bildirilmiştir (De-Deus ve diğerleri, 2009). Bir diğer hücre toksisitesi çalışmasında insan periodontal ligament fibroblastları kullanılmış ve

BioAggregate'in bu tip hücrelere toksik özellik göstermediği bildirilmiştir (Mukhtar-Fayyad, 2011).

Osteoblast hücrelerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, BioAggregate'in fare osteoblast hücrelerinde mineralizasyon süreciyle ilişkili olan genlerin ekspresyonunu uyardığı gösterilmiştir. Bu yeteneğinin yapısında bulunan hidroksiapatit molekülüne bağlı olabileceği öne sürülmüştür (Yuan ve diğerleri, 2010).

2.5.Dentin ve Tübüler Yapı

Dentin dişin kuron kısmında mine, kök kısmında ise sement ile kuşatılmış pulpa boşluğunu çevreleyen, diş dokuları arasında en büyük kütleyi oluşturan avasküler, mineralize olmuş bir bağ dokusudur. Yapısı yaklaşık olarak % 70 inorganik maddelerden, % 20 organik maddelerden ve % 10 da sudan oluşur. İnorganik kısmın esas bileşeni hidroksiapatit kristalleridir ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Organik kısmın ise büyük bir bölümü (%91'i) kollajenden oluşmaktadır (Trowbridge ve Kim, 1994, s 301).

Dentin dokusunda bulunan hidroksiapatitin kristal yapısı mineye göre daha küçüktür. İçeriğinde mineye oranla daha düşük miktarda kalsiyum bulunduğu ve % 4 – 5 oranında karbonat bulunduğu bildirilmiştir. Küçük kristal boyutu, düşük kalsiyum ve yüksek karbonat içeriği ile dentin dokusu yüksek çözünülebilirlik ve iyonik değişim potansiyeline sahiptir. Dentinin ana inorganik yapısını kalsiyum, fosfor, karbonat, sodyum ve magnezyum oluşturmakta, ayrıca çinko, demir, bakır gibi elementler de eser miktarda bulunmaktadır (Marshall ve diğerleri, 1997).

Tablo 2.2. Dentin dokusunun inorganik bileşenleri (Marshall, 1993).

Bileşen	% Kuru Ağırlık
Kalsiyum	26.9
Fosfor	13.2
Karbonat	4.6
Sodyum	0.6
Magnezyum	0.8

Dentinin organik matriksi protein ve proteoglikanlardan meydana gelmiştir. Dentinin organik matriksinde bulunan ve fibriler yapıyı oluşturan tip 1 kollajen değişik derecelerde dayanıklılığa ve elastisiteye sahip yapısal bir proteindir. Dentinin organik kısmı % 90 oranında kollajenden oluşmaktadır (Marshall, 1993).

Dentin su ihtiva eden bir yapıdır ve histolojik olarak incelendiğinde 4 elemandan oluştuğu görülür:

- 1-Tübüller
- 2-Yüksek derecede mineralize peritübüler bölge
- 3-Apatit kristalleri ve tip 1 kollajen içeren intertübüler matriks
- 4-Dentin sıvısı

2.5.1.Dentin Tübülleri

Dentin tübülleri, pulpa-dentin sınırından başlayarak dentin dokusu boyunca S-biçiminde kıvrım oluşturup uzanan ve mine sınırında sonlanan tünel şeklinde yapılardır. Yüzeyel dentinde toplam hacmin %1'ini, derin dentinde ise %30'unu oluştururlar. Mine-dentin sınırındaki tübül sayısı 15.000-20.000 tübül/mm² iken, pulpaya yakın kısımlarda 45.000-65.000 tübül/mm²'ye kadar çıkar. Bunun nedeni mine ya da sement tarafındaki dentin yüzeyinin, pulpa tarafındakine göre çok daha geniş olması ve odontoblastların dentini oluştururken pulpaya doğru birbirlerine yaklaşarak çekilmeleridir (Pashley ve Liewehr, 2006, s. 467).

Dentin tübüllerinin çapı pulpal yüzeyde yaklaşık 2,5 µm iken, dentinin yüzeyel kısmında ise ortalama 0,8 µm'ye kadar azalır. Bu tübüllerde, Tomes lifleri adı verilen odontoblast hücrelerinin sitoplazmik uzantıları ve dentin sıvısı yer alır (Pashley ve Liewehr, 2006, s. 467).

2.5.2.Peritübüler alan

Tübüller, uzunluklarının büyük bir kısmı boyunca, peritübüler dentin (intratübüler dentin) denilen yüksek oranda mineralize olmuş sınıra sahiptirler. Peritübüler dentin, intertübüler matrikse göre çok daha az kollajen içermesine karşın daha fazla kristalleşme gösterir, %40 oranında daha mineralizedir ve intertübüler dentinden neredeyse 5 kat daha serttir (Mjör ve Nordahl, 1996; Pashley ve Liewehr, 2006, s. 467-468).

2.5.3.Intertübüler Matriks

Tübüller arası bölgedeki dentin dokusudur ve intertübüler dentin olarak da adlandırılır. Peritübüler dentinin aksine kollajenden zengin ancak mineral yönünden fakirdir. Tübüller arası alanın genişliğine bağlı olarak intertübüler dentin miktarı da değişiklik gösterir. Mine-dentin sınırında dentinin %96'sını oluştururken pulpaya yakın kısımlarda bu oran %12'ye düşer (Marshall ve diğerleri, 1997; Pashley ve Liewehr, 2006, s. 468.)

2.5.4.Dentin Sıvısı

Dentin sıvısı, dentin tübüllerinin içinde bulunmaktadır. Dentin dokusunun yüzeyelinde yapının % 1'ini, pulpaya yakın dentin bölgesinde % 22'sini oluşturmaktadır. Dentin sıvısının kaynağı pulpadaki kılcal kan damarlarıdır. Bu sıvı plazma benzeri bir yapıdadır ancak iyonize kalsiyum miktarı normal plazmadan 2-3 kat daha fazladır. Dentin sıvısı, albümin, immünglobülin, fibrinojen gibi büyük plazma proteinlerini de içerir (Pashley ve Liewehr, 2006, s. 469).

Dentin de oluşabilecek bir travma veya kavite preparasyonu sırasında dentin tübüllerinin açığa çıkması sonucu dentin sıvısı dışarıya doğru hareket etmeye başlar. Dentin sıvısının dentin tübüllerinde hızlı hareket etmesi

sonucu sinir reseptörleri uyarılarak dentin hassasiyeti oluşur (Pashley ve Liewehr, 2006, s. 469).

2.5.5.Dentin Geçirgenliği

Dentin, sahip olduğu tübüler yapısı nedeni ile bakteri, bakteriyel ürünler ve dış kaynaklı diğer maddelerin difüzyonuna izin veren pöröz bir yapıdadır. Dentin-mine ve dentin-sement sınırından pulpaya doğru yaklaşıldıkça dentin tübül sayısının ve çapının artması ile doğru orantılı olarak dentin geçirgenliği de artmaktadır. Dentin geçirgenliği, tübül sayısı ve çapının yanı sıra tübül içerisinde bulunan odontoblast uzantıları, kollajen fibriller ve kalsifiye daralımlar gibi oluşumlardan da etkilenmektedir. Dentinin geçirgenlik özelliği dentin dokusunun kalınlığının yanı sıra yaş ve irritasyonlara bağlı sklerotik dentin yapımı ile değişim göstermektedir. Su gibi küçük moleküller için yüksek derecede geçirgenliğe sahip olmasına karşın, moleküler ağırlığı yüksek olan albümin globülin veya endotoksinler için daha düşük seviyede geçirgenliğe sahiptir (Pashley, 2002, s. 72).

Orchardson ve Cadden (2001), dentin geçirgenliğini etkileyen ek faktörleri şöyle sıralamıştır:

- Tübüllerin açıklığı
- Dentin kalınlığı (tübül uzunluğu)
- Dentin alanı (tübül sayısı)
- Konsantrasyon değişim ölçüsü
- Difüzyon katsayısı (materyalin doğası)
- Dentin sıvı akımı
- Odontoblast bariyerinin geçirgenliği

2.5.6.Kök dentininde geçirgenlik

Kök dentini kuronal dentine göre daha az geçirgendir. Kök dentininde geçirgenliğe etki eden faktörler kuronal dentin ile benzerlik gösterir. Dentinin semente bakan dış yüzeyinden kök kanal boşluğuna bakan iç yüzeyine kadar uzanan tübüllerin sayısı sabit kalır fakat iç yüzeyde tübüller birbirlerine

yaklaşarak tübül/mm² değerini yükseltir. Bunun nedeni, dentinin semente bakan yüzeyine kıyasla, kök kanal duvarlarında daha küçük bir yüzey alanına sahip olmasıdır. Kök kanalının daha konkav bir yüzeye sahip bukkal ve lingual duvarlarında tübüllerin densitesi daha yüksektir (Pashley, 2002, s.74).

Kök dentinindeki dentin tübüllerinin sayısı birçok çalışmada araştırılmış ve 4900-57000/mm² arasında değişen farklı sonuçlar bildirilmiştir. Tübüllerin sayısı, kurondan apikale doğru düzenli olarak azalır (Mannocci ve diğerleri, 2004). Apikal bölgedeki sklerotik dentinin fazlalığı ve aynı zamanda daha az tübül yapı sergilemesi nedeniyle apikal bölgedeki dentin geçirgenliği orta ve kuronal bölgelere kıyasla daha düşüktür (Ribeiro ve diğerleri, 2010).

Kök kanalında enstrümantasyon ile dentinin en iç tabakası kaldırılır ve kök dentininin kalınlığı azalır. Buna bağlı olarak geçirgenliğin artması beklenirken enstrümantasyon sonrası oluşan smear tabakası tübüllerde tıkaçlar oluşturarak geçirgenliğin %25-30 oranında azalmasına neden olur. Smear tabakasının kaldırılması kök dentininde geçirgenliği artıran bir faktördür (Foster ve diğerleri, 1993; Pashley, 2002, s. 75).

2.6.Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS) elementlerin tayini için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Atomik absorpsiyon spektrometresi, biyolojik, klinik ve çevre araştırma laboratuvarlarında ve rutin analizler için analitik laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Aletin kullanımı göreceli olarak kolaydır. Genellikle duyarlılıkları ppm ile ppb arasındadır ve bir analiz çoğu kez birkaç dakikada tamamlanabilir.

AAS, elektromagnetik ışığın yüksek sıcaklıkta gaz halindeki element atomları tarafından absorpsiyonunun ölçülmesi ilkesine dayanır. Bir elementin AAS ile analizinin yapmak için o elementin önce nötral hale sonra buhar haline gelmesi, daha sonra da bir kaynaktan gelen elektromagnetik

ışın demetinin yoluna dağıtılması gerekir. Işığı absorplayan atomlar, temel enerji düzeyinden kararsız uyarılmış enerji düzeylerine geçerler ve absorpsiyon miktarı, temel düzeydeki atom sayısına bağlıdır.

Atomik absorpsiyon spektrometrelerinin en önemli bileşenleri; analiz elementinin absorplayacağı ışımayı yayan ışık kaynağı (oyuk katot lambası), örnek çözeltisinin atomik buhar haline getirildiği atomlaştırıcı, çalışılan dalga boyunun diğer dalga boylarından ayrıldığı monokromatör ve ışık şiddetinin ölçüldüğü detektörlerdir.

Oyuk katot lambaları, atomik absorpsiyon spektroskopisi yönteminde en fazla kullanılan ışık kaynaklarıdır. Lamba içinde oluşturulan gerilimle uyarılan atomlar, temel enerji seviyesine dönerken katot elementine özgü dalga boyunda ışın yaparlar. İncelenen her element için, o elemente özgü oyuk katot lambasının spektrometreye yerleştirilmesi gerekir.

Atomlaştırıcılarda günümüzde yaygın olarak, hava-hidrojen, diazotoksit-asetilen ve hava-asetilen alevleri kullanılır. Bunlardan en yaygın olanı ise hava-asetilen alevidir. Alev sıcaklığı iyonlaşmaya yol açmayacak kadar düşük, atom buharlarını oluşturabilecek kadar yüksek olmalıdır. Alev sıcaklığı 1800-3100⁰C arasında değişir.

Alevli atomlaştırıcılarda örnek çözeltisi aleve havalı bir sisleştirici yardımıyla püskürtülür. Çözelti aleve püskürtüldüğü zaman ilk olay, damlacıkların kuruması yani çözücünün buharlaşmasıdır. Buharlaşma hızı, damlacıkların büyüklüğüne ve çözücü türüne bağlıdır. Buharlaşma sonucu oluşan katı parçacıklar, alev sıcaklığının etkisiyle çeşitli değişikliklere uğrarlar. Organik bileşikler yanarken, inorganik maddeler buharlaşır veya birbirleriyle ve alev gazları ile tepkimelere girerler. Çözeltideki taneciklerin buharlaşmasından sonra oluşan gaz moleküller, ısısal ayrışma ile atomlarına ayrılırlar. Katot lambasından çıkan ışın demeti, atomlaştırıcının içinden geçerken, alev içindeki karakteristik atomlar tarafından kısmen absorbe edilerek monokromatöre ve detektöre ulaşır. Işın demetinin şiddetindeki azalma derecesine göre elde edilen sinyalle elementin değeri tespit edilir (Broekaert, 2005; Ebdon ve diğerleri, 1998).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma, Yakın Doğu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Değerlendirme Etik Kurulu tarafından 28.03.2011 tarihinde değerlendirilmiş ve onaylanmıştır (YDÜ/2011/3-8).

3.1.Çalışmaya Dahil Edilecek Dişlerin Seçimi

Çalışmada 120 adet çekilmiş daimi tek köklü üst keser, üst kanin ve alt premolar insan dişleri kullanıldı. Dişler seçilirken radyografik olarak değerlendirildi. Apikal oluşumunu tamamlamış dişlerde kök kanalının tek olması ve düzgün izlenmesi şartı arandı. Dişlerin kök yüzeylerindeki yumuşak doku ve eklentiler diş fırçası yardımıyla temizlenip kök yüzeylerinde rezorpsiyon, defekt, kırık veya çatlak gözlenen dişler çalışma dışı bırakıldı. Çalışmaya dahil edilen dişler örnek sayısı tamamlanıncaya kadar oda sıcaklığında salin solüsyonunda bekletildi.

3.2.Örneklerin Hazırlanması

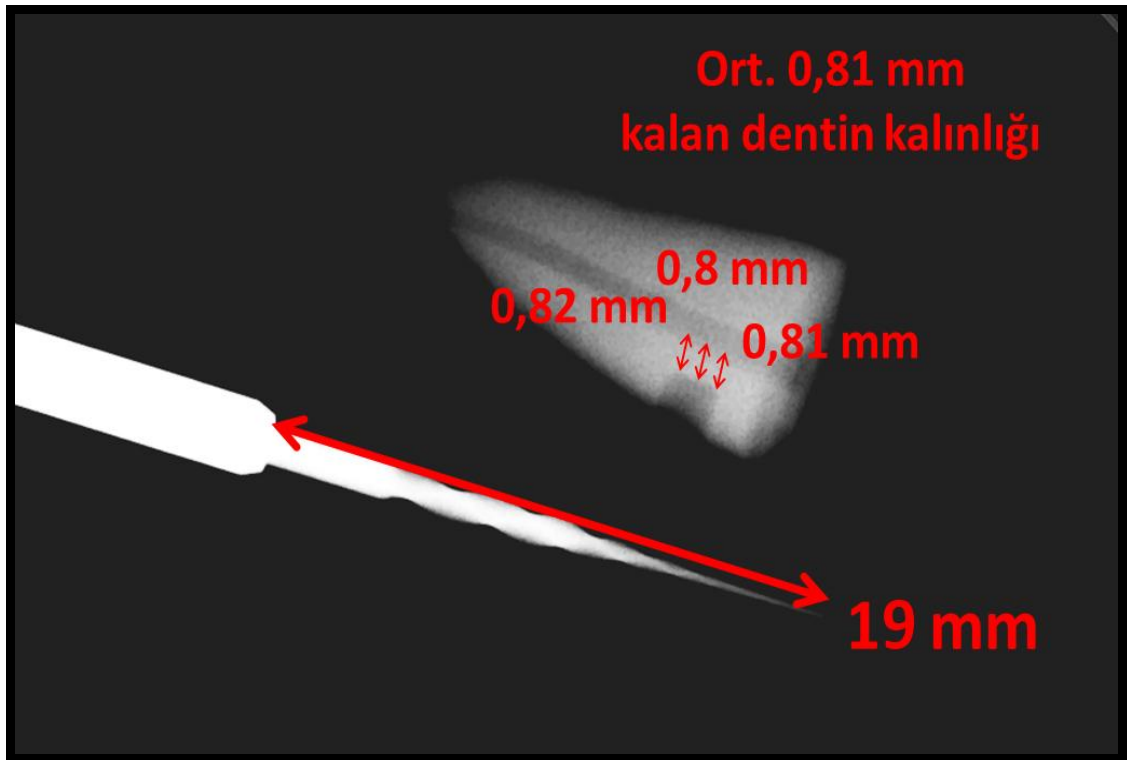
Dişlerin kuron kısmı, mine sement sınırından elmas disk yardımı ile su soğutması altında uzaklaştırıldı. 10 numaralı K-tipi eğe kanala yerleştirilip apikal foramenden çıktığı ilk noktadan 0,5 mm kısa olacak şekilde çalışma boyutu belirlendi.

Kanallar ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) döner eğe seti ile X-Smart (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) endodontik motor kullanılarak 300 devir/dakika hızında, üreticinin her eğe için belirlediği 1,0-3,0 N/cm tork ayarında kullanılarak crown-down prensiplerine uygun ve son preparasyon F5 kodlu döner eğe olacak şekilde genişletildi. Kanalların temizleme ve şekillendirme işlemleri sırasında yıkama solüsyonu olarak her alet değişiminde 5 ml. %5 sodyum hipoklorit (NaOCl) solüsyonu (Wizard, Rehber Kimya San., Türkiye) kullanıldı.

- Grup 1a. Boş kanallara sahip servikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 1b. Boş kanallara sahip orta kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 1c. Boş kanallara sahip apikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 2a. Kalsiyum hidroksit patı ile doldurulmuş kanallara sahip servikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 2b. Kalsiyum hidroksit patı ile doldurulmuş kanallara sahip orta kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 2c. Kalsiyum hidroksit patı ile doldurulmuş kanallara sahip apikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 3a. MTA ile doldurulmuş servikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 3b. MTA ile doldurulmuş orta kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 3c. MTA ile doldurulmuş apikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 4a. BioAggregate ile doldurulmuş servikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 4b. BioAggregate ile doldurulmuş orta kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.
- Grup 4c. BioAggregate ile doldurulmuş apikal kök üçlüsünde defekt oluşturulmuş dişler.

Diş köklerinde eksternal kök rezorpsiyonlarını taklit etmek amacıyla köklerin bukkal yüzeylerinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde standardize kaviteler ISO No:16 silindirik elmas fissür frez (Hager & Meisinger GmbH, Neuss, Almanya) kullanılarak oluşturuldu. Bu işlem, kalan dentin kalınlığını mümkün olduğunca standardize etmek amacıyla dijital radyografi cihazı (Planmeca Intra, Planmeca Oy, Helsinki, Finlandiya) ile paralel teknik kullanılarak ve her seferinde görüntüde ölçümler yapılarak 2-3 basamakta kademeli bir şekilde gerçekleştirildi.

Radyografi üzerindeki ölçümler için referans olarak uzunluğu 19 mm olan Protaper S_x kanal aleti kullanıldı. Dijital görüntü üzerinden cihazın yazılım programı (Planmeca Dimaxis Pro Version 4.3.2.) kullanılarak kanal aletinin bilinen uzunluğu ile kalibrasyon yapıldı. Yazılımın magnifikasyon özelliği kullanarak görüntü büyütülüp, oluşturulan kavitenin 3 ayrı bölgesinden kanal boşluğuna kadar olan en kısa mesafe kalan dentin kalınlığı olarak ölçüldü. Yapılan 3 ayrı ölçümün ortalaması alındı ve ilgili diş için kalan dentin kalınlığı olarak kaydedildi. Hazırlanan kavitelerde 0,75-0,9 mm arasında kalan dentin kalınlığı elde edilinceye kadar çalışmaya devam edildi. Hatalı şekilde bu aralıktan daha düşük kalan dentin kalınlığı elde edilen dişler çalışma dışı bırakıldı. Sonuç olarak tüm dişler için kalan dentin kalınlığı ortalaması 0,84 mm (standart sapma: 0,07) olarak gerçekleşti.



Şekil 3.3. Radyografi ile kalan dentin kalınlığının belirlenmesi.

Kanal şekillendirmesi tamamlanmış ve eksternal rezorpsiyon kavitesi oluşturulmuş olan dişlerde smear tabakasını kaldırılması amacıyla kanal içi ve rezorpsiyon kaviteleri sırasıyla 5 ml %17 EDTA (Ultradent® EDTA,

Ultradent Products Inc., ABD), 5 ml %5 NaOCl (Wizard, Rehber Kimya San., Türkiye) ve 10 ml distile su ile yıkandı. Ardından kanallar kağıt konlar yardımıyla kurulandı.

Grup 1'e ait örneklerde kanal boş bırakılarak kuronal giriş IRM (Intermediate Restorative Material, Dentsply Caulk, ABD) ile kapatıldı.

Grup 2'ye ait örnekleri hazırlamak için şırınga içinde hazır pat formunda kalsiyum hidroksit preparatı olan Calsipast kullanıldı. Şırınganın ucu kanalın 1/3 apikal bölümüne yerleştirilip kalsiyum hidroksit patı kanal içine şırınga yavaşça geri çekilerek enjekte edildi. Kuronal girişten taşan pat pamuk pelet yardımıyla uzaklaştırıldı. Alınan radyografi ile kanalın kalsiyum hidroksit patı ile uniform bir şekilde tamamen dolup dolmadığı kontrol edildi. Boşluk bulunan kanallarda pat distile su ile yıkanıp uzaklaştırıldı, ardından aynı işlem tekrarlandı. Kuronal giriş IRM ile kapatıldı.

Grup 3'e ait örnekleri hazırlamak için ProRoot MTA üretici firmanın talimatlarına uygun şekilde deiyonize su ile karıştırıldı. Kök kanalına pat göndermek amacıyla üretilmiş olan Pastinject (Micro-Mega, Fransa) kanal aleti kullanılarak, hazırlanan MTA yavaş hızda kanal girişinden taşıdığı gözleninceye kadar kanala yerleştirildi. Kanala yerleştirilen MTA'nın kanal duvarlarına daha iyi adapte olabilmesi için, elle kullanılan tepiciler yardımıyla MTA kanal girişinden vertikal olarak kondanse edildi. Alınan radyografi ile kanalın MTA ile uniform bir şekilde tamamen dolup dolmadığı kontrol edildi. Boşluk bulunan kanallara sahip dişler çalışma dışı bırakıldı ve yeni örnek hazırlandı. Kuronal giriş IRM ile kapatıldı.

Grup 4'e ait örnekleri hazırlamak için DiaRoot BioAggregate üretici firmanın talimatlarına uygun şekilde deiyonize su ile karıştırıldı. Kök kanalına pat göndermek amacıyla üretilmiş olan Pastinject kanal aleti kullanılarak, hazırlanan DiaRoot BioAggregate yavaş hızda kanal girişinden taşıdığı gözleninceye kadar kanala yerleştirildi. Kanala yerleştirilen DiaRoot BioAggregate'nin kanal duvarlarına daha iyi adapte olabilmesi için, elle kullanılan tepiciler yardımıyla DiaRoot BioAggregate kanal girişinden vertikal olarak kondanse edildi. Alınan radyografi ile kanalın DiaRoot BioAggregate

ile uniform bir şekilde tamamen dolup dolmadığı kontrol edildi. Boşluk bulunan kanallara sahip dişler çalışma dışı bırakıldı ve yeni örnek hazırlandı. Kronal giriş IRM ile kapatıldı. Tüm örneklerin sadece rezorpsiyon kaviteleri açıkta kalacak şekilde bütün yüzeyleri önce iki kat tırnak cilası, ardından mum ile izole edildi.

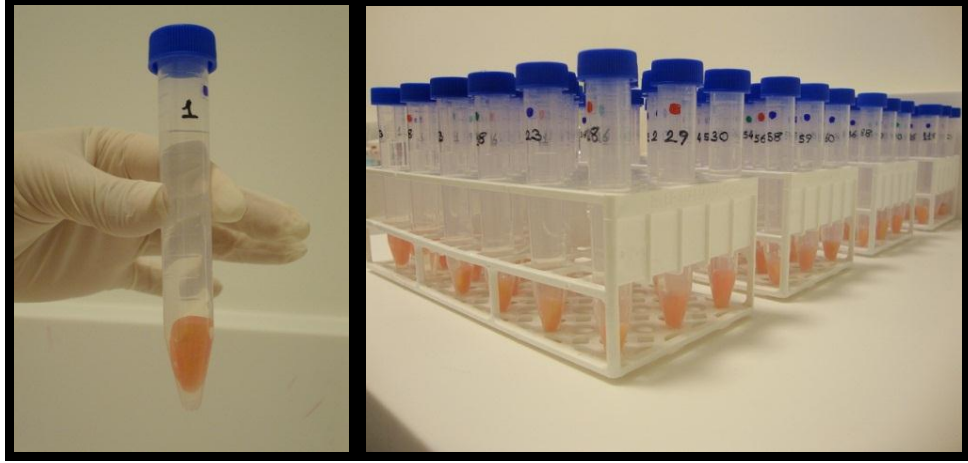


Şekil 3.4. Servikal üçlü ve orta üçlü bölgelerinde yapay rezorpsiyon kaviteler açılıp tırnak cilası ve mum ile izolasyonu yapılmış örnekler.



Şekil 3.5. Apikal üçlü bölgesinde yapay rezorpsiyon kavitesi açılıp tırnak cilası ve mum ile izolasyonu yapılmış örnek ve tüm çalışma gruplarına ait örnekler.

Her bir örnek, içerisinde 10 ml distile su bulunan kapaklı plastik deney tüplerine atıldı ve tüplerin kapakları kapatıldı. Örnekleri içeren 120 adet falkon tüpü 37°C etüvde beklemeye bırakıldı.



Şekil 3.6. Falkon tüpleri içerisinde muhafaza edilen örnekler.



Şekil 3.7. 37 °C'ye ayarlanmış etüv içerisine yerleştirilen örnekler.

Örneklerin içerisinde bulunduğu sudaki kalsiyum iyonlarının konsantrasyonları ve hidroksil iyonlarının konsantrasyonunu ifade eden pH değerleri 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerin sonunda ölçüldü.

3.3.pH Değerlerinin Ölçümü

pH değerlerinin ölçümü Yakın Doğu Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Analitik Kimya Laboratuvarı'nda yapıldı. 37°C'de etüv içerisinde bekletilen deney tüplerinin kapakları açılıp örnekler deney tüpleri içerisinde dikkatlice çıkarıldı. Ölçüm öncesinde pH metre (S20 SevenEasy™, Mettler Toledo, ABD) cihazının kalibrasyonu için cihazın elektrotu saf su ile temizlendi ve pH 7 ve pH 10 tampon çözeltileri kullanıldı. Deney tüpleri içerisindeki sıvının pH'sı her bir örnek için 3 kez ölçülüp değerlerin aritmetik ortalaması kaydedildi. Ölçümler 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde yapıldı.



Şekil 3.8. pH ölçümü yapılan örnekler.

3.4.Kalsiyum Konsantrasyonlarının Ölçümü

Kalsiyum konsantrasyonlarının ölçümü için Yakın Doğu Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Enstrümental Analiz Laboratuvarı'nda bulunan atomik absorpsiyon spektrometre cihazı (iCE 3500 AA Spectrometer, Thermo Scientific, A.B.D.) kullanıldı.

Çalışma sırasında kullanılacak tüm cam eşyalar nitrik asit ile yıkandı. 200°C'lik etüvde 4 saat bekletilerek kurutulan kalsiyum karbonat tuzundan

(CaCO₃, Sigma-Aldrich, ABD) hassas terazi ile 2,497 g tartılarak 20 ml hidroklorik asit ile birlikte 100 ml hacimli balon jojeye aktarıldı. Balon jojenin kalanı hacim çizgisine kadar distile su ile tamamlanarak ultrasonik banyo ile CaCO₃ 'un tam olarak çözünmesi sağlandı. Elde edilen 10000 ppm lik kalsiyum çözeltisi seyreltilerek sırasıyla 20 ppm, 15 ppm, 10 ppm, 8 ppm, 6 ppm, 4 ppm, 2ppm, 1 ppm, 0,8 ppm, 0,4 ppm, 0,2 ppm, 0,1 ppm konsantrasyonlarında standart çözeltiler hazırlandı. Kalsiyum ölçümü sırasında meydana gelebilecek olası kimyasal girişimleri önlemek için tüm standart solüsyonlara son lantan konsantrasyonu 3000 ppm olacak şekilde lantan klorür (LaCl₃7H₂O, Merck, Almanya) ilave edildi.

Atomik absorpsiyon spektrometre cihazında kalsiyum katod lambası takılıp lamba akımı 4,5 mA, dalga boyu 422,7 nm, bandpass 2,6 nm olarak ayarlandı.

Çalışma, cihazın alev (flame) ünitesinde yapıldı. Alev ünitesinde hava-asetilen gazı kullanıldı. Kullanılan alev başlığı standart tip olup yüksekliği 8 mm olarak ayarlandı. Yakıcı gaz olarak hava, yanıcı gaz olarak ise asetilen kullanıldı.

Konsantrasyonları bilinen standart solüsyonlar cihaza okutularak alınan absorbans değerleri ile konsantrasyon-absorbans grafiği oluşturuldu. Ölçümü yapılacak 120 örneğe ait deney tüpleri tek tek cihaza okutularak elde edilen absorbans değerleri kaydedildi. Standart solüsyonlarla oluşturulan konsantrasyon-absorbans grafiği kullanılarak örneklerin konsantrasyonları bulundu. Ölçümler 1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde yapıldı.



Şekil 3.9. Atomik absorpsiyon cihazı ile kalsiyum ölçümü.

Elde edilen veriler SPSS 15.0 paket programı ile değerlendirilmiştir. Verilerin normallik testi sonucunda, normal dağılmayan değişkenlerde gruplar arasında farklılık incelenirken gruplarda parametrik olmayan testlerden Kruskal Wallis H testi kullanılmıştır. Kruskal Wallis H testi sonucunda anlamlılık bulunursa farkı ortaya çıkarmak için ikili karşılaştırmalarda ise Bonferroni düzeltmeli Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Gruplar arası farklılık incelenirken; anlamlılık seviyesi olarak 0,05 kullanılmış olup $p < 0,05$ olması durumunda gruplar arası anlamlı farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise gruplar arası anlamlı farklılığın olmadığı belirtilmiştir.

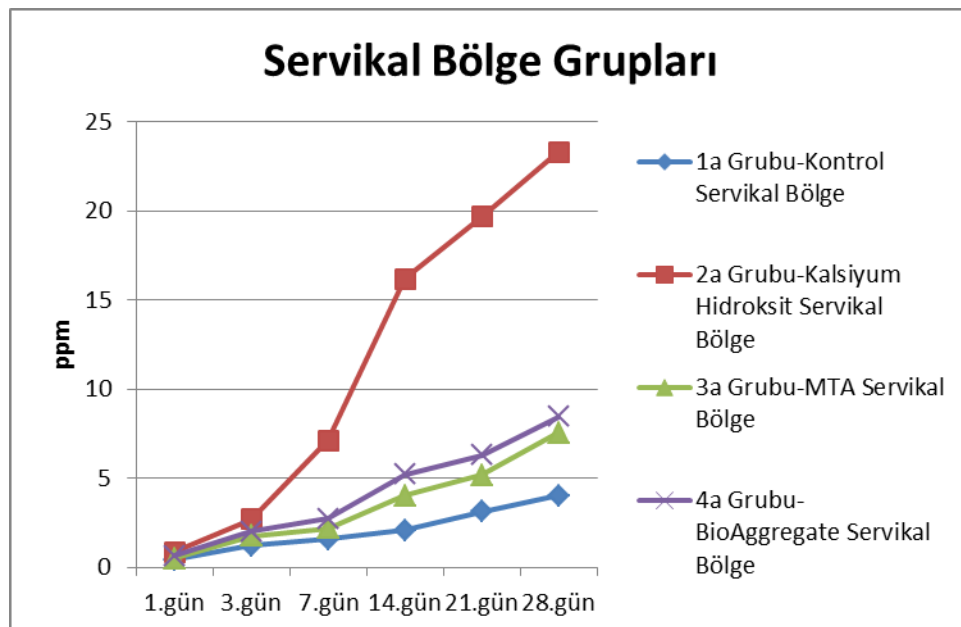
4. BULGULAR

4.1. Kalsiyum Bulguları

4.1.1. Servikal bölge grupları kalsiyum değerleri

Tablo 4.1. Servikal bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Servikal Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1a.Kontrol	0,451±0,131 (0,431)	1,232±0,313 (1,134)	1,572±0,276 (1,5)	2,095±0,365 (2,095)	3,147±0,591 (3,016)	4,016±0,892 (3,775)
2a.Kalsiyum Hidroksit	0,869±0,229 (0,824)	2,693±0,699 (2,52)	7,137±1,985 (6,735)	16,196±2,645 (15,948)	19,686±2,362 (19,399)	23,307±2,298 (23,327)
3a.MTA	0,51±0,302 (0,399)	1,75±0,588 (1,567)	2,207±1,043 (1,835)	4,018±1,53 (3,647)	5,188±1,974 (4,764)	7,554±2,704 (7,251)
4a.BioAggregate	0,66±0,209 (0,629)	2,013±0,853 (1,767)	2,739±0,96 (2,437)	5,216±1,489 (4,729)	6,294±1,499 (5,879)	8,464±1,973 (8,444)
p değeri	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.1. Günlere göre 1a, 2a, 3a ve 4a gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.

Tablo 4.2. Servikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p<0,05$).

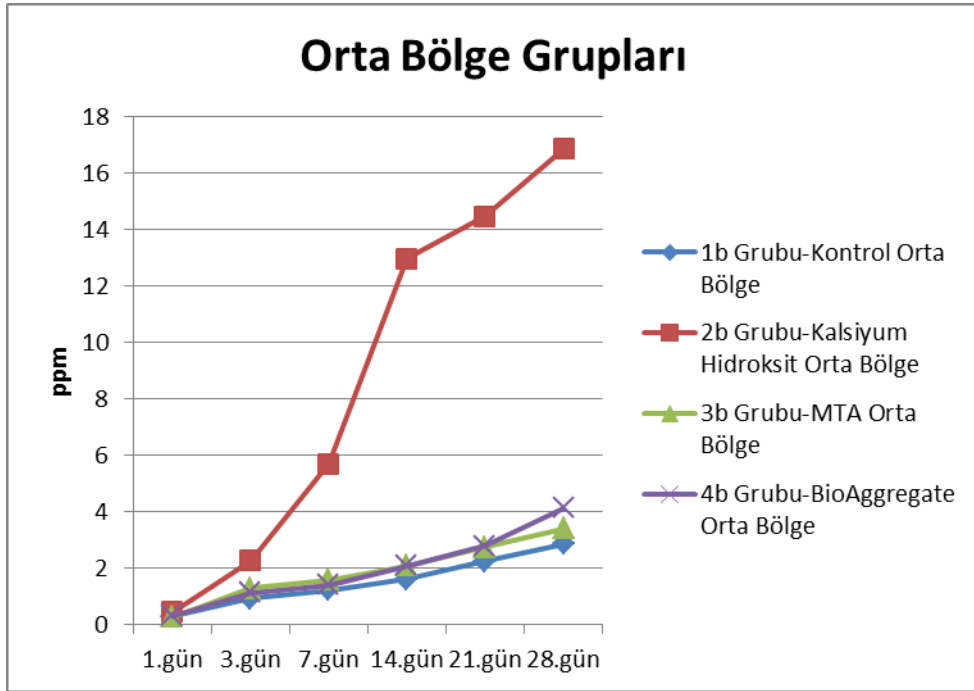
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
1a-2a	+	+	+	+	+	+
1a-3a				+	+	+
1a-4a	+	+	+	+	+	+
2a-3a	+	+	+	+	+	+
2a-4a	+	+	+	+	+	+
3a-4a	+			+		

1. günden itibaren ölçüm yapılan tüm günlerde en yüksek kalsiyum değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2a) için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2a) değerleri, karşılaştırılan tüm günlerde, diğer üç gruptan (1a, 3a, 4a) istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol grubu (1a) ile karşılaştırıldığında, BioAggregate (4a) ve kalsiyum hidroksit (2a) grupları için tüm günlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşurken; MTA grubunda bu farklılık ancak 14. gün ve sonrasında bulunmuştur ($p<0,05$). BioAggregate grubu (4a) MTA grubundan (3a) ölçüm yapılan tüm günlerde biraz yüksek kalsiyum değerleri vermiş, bu yüksek değerler sadece 1. ve 14. gün için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir ($p<0,05$). Kalsiyum hidroksit (2a) ve BioAggregate (4a) gruplarında en hızlı kalsiyum artışı 7-14. günler arasında gerçekleşirken, MTA grubu için en yüksek artış 21-28. günler arasında olmuştur.

4.1.2.Orta bölge grupları kalsiyum değerleri

Tablo 4.3.Orta bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Orta Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1b.Kontrol	0,294±0,048 (0,301)	0,931±0,323 (0,918)	1,238±0,317 (1,252)	1,642±0,327 (1,618)	2,251±0,397 (2,18)	2,872±0,555 (2,73)
2b.Kalsiyum Hidroksit	0,444±0,091 (0,431)	2,261±0,67 (2,33)	5,693±1,391 (5,255)	12,974±2,915 (11,778)	14,477±3,285 (12,993)	16,85±3,051 (15,765)
3b.MTA	0,275±0,034 (0,399)	1,301±0,284 (1,278)	1,595±0,288 (1,513)	2,098±0,676 (1,902)	2,752±0,872 (2,464)	3,899±1,211 (3,034)
4b.BioAggregate	0,32±0,076 (0,301)	1,142±0,449 (1,255)	1,404±0,428 (1,49)	2,103±0,315 (2,183)	2,803±0,296 (2,853)	4,149±0,355 (4,1)
p değeri	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.2. Günlere göre 1b, 2b, 3b ve 4b gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.

Tablo 4.4. Orta bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p<0,05$).

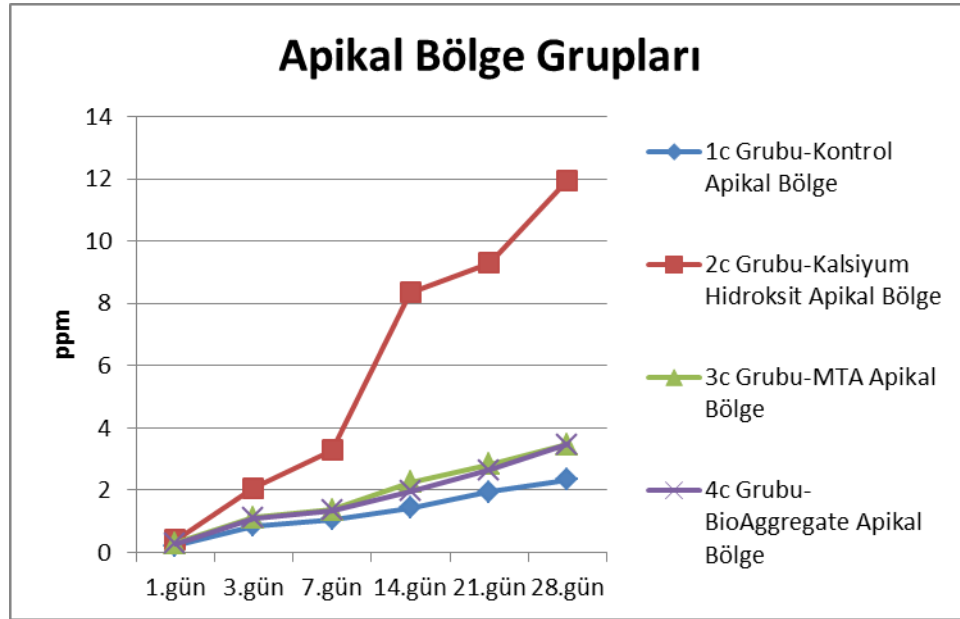
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
1b-2b	+	+	+	+	+	+
1b-3b				+	+	+
1b-4b				+	+	+
2b-3b	+	+	+	+	+	+
2b-4b	+	+	+	+	+	+
3b-4b						

1. günden itibaren ölçüm yapılan tüm günlerde en yüksek kalsiyum değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2b) için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2b) değerleri, karşılaştırılan tüm günlerde, diğer üç gruptan (1b, 3b, 4b) istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol grubu (1b) ile karşılaştırıldığında, MTA (3b) ve BioAggregate (4b) gruplarında 1., 3. ve 7. günlerde istatistiksel bir fark bulunmazken 14. gün ve sonrasındaki ölçümlerde MTA (3b) ve BioAggregate (4b) gruplarında, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek kalsiyum değerleri bulgulanmıştır ($p<0,05$). MTA (3b) ve BioAggregate (4b) grupları, ölçüm yapılan tüm günlerde benzer sonuçlar vermişlerdir. MTA (3b) ve BioAggregate (4b) grupları günler arasında ortalama 0,5-0,6 ppm'lik konsantrasyon artışları gösterirken, kalsiyum hidroksit (2b) grubu için en yüksek kalsiyum konsantrasyon artışı 7-14. günler arasındaki 7,2 ppm olarak gerçekleşmiştir.

4.1.3. Apikal bölge grupları kalsiyum değerleri

Tablo 4.5. Apikal bölge grupları için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Apikal Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1c.Kontrol	0,216±0,062 (0,235)	0,862±0,255 (0,876)	1,058±0,21 (1,077)	1,442±0,25 (1,412)	1,946±0,359 (1,951)	2,344±0,479 (2,338)
2c.Kalsiyum Hidroksit	0,392±0,193 (0,366)	2,077±0,85 (2,064)	3,28±1,122 (3,084)	8,358±2,181 (8,089)	9,306±2,138 (9,118)	11,966±2,631 (11,695)
3c.MTA	0,307±0,143 (0,301)	1,118±0,39 (0,997)	1,36±0,378 (1,297)	2,249±0,553 (2,229)	2,837±0,712 (2,824)	3,478±1,075 (3,255)
4c.BioAggregate	0,275±0,108 (0,235)	1,11±0,419 (1,02)	1,358±0,501 (1,32)	1,978±0,724 (1,719)	2,658±0,803 (2,278)	3,475±1,116 (3,182)
p değeri	0,004	0,004	0	0	0	0



Şekil 4.3. Günlere göre 1c, 2c, 3c ve 4c gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.

Tablo 4.6. Apikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p<0,05$).

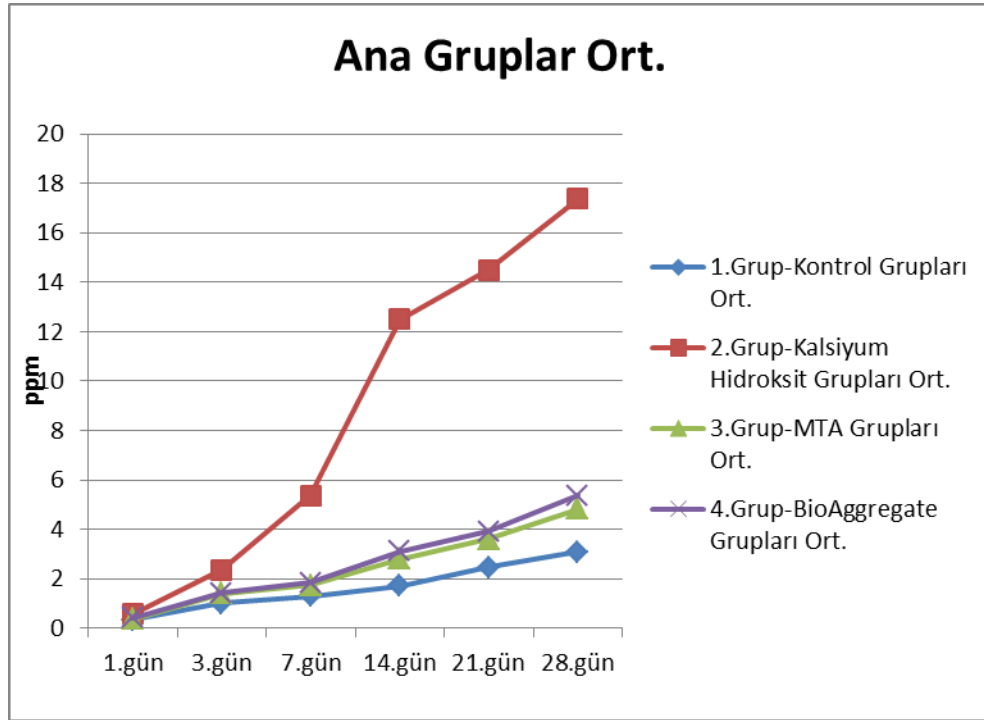
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
1c-2c	+	+	+	+	+	+
1c-3c				+	+	+
1c-4c				+	+	+
2c-3c		+	+	+	+	+
2c-4c		+	+	+	+	+
3c-4c						

1. günden itibaren ölçüm yapılan tüm günlerde en yüksek kalsiyum değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2c) için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2c) değerleri, 1. gün haricindeki ölçüm yapılan tüm günlerde, diğer üç gruptan (1c, 3c, 4c) istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol grubu (1c) ile karşılaştırıldığında, MTA (3c) ve BioAggregate (4c) gruplarında 1., 3. ve 7. günlerde istatistiksel bir fark bulunmazken 14. gün ve sonrasındaki ölçümlerde MTA (3c) ve BioAggregate (4c) gruplarında, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek kalsiyum değerleri bulgulanmıştır ($p<0,05$). MTA (3c) ve BioAggregate (4c) grupları, ölçüm yapılan tüm günlerde benzer sonuçlar vermişlerdir. MTA (3c) ve BioAggregate (4c) grupları günler arasında ortalama 0,5-0,6 ppm'lik konsantrasyon artışları gösterirken, kalsiyum hidroksit (2c) grubu için en yüksek kalsiyum konsantrasyon artışı 7-14. günler arasında 5 ppm olarak gerçekleşmiştir.

4.1.4. Ana gruplar ortalama kalsiyum değerleri

Tablo 4.7. Ana gruplar için ppm cinsinden ortalama kalsiyum değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Ana Gruplar Ort.	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1.Kontrol	0,32±0,131 (0,301)	1,008±0,331 (1,026)	1,289±0,34 (1,296)	1,72±0,415 (1,618)	2,448±0,683 (2,355)	3,078±0,958 (2,905)
2.Kalsiyum Hidroksit	0,569±0,279 (0,497)	2,344±0,764 (2,376)	5,37±2,198 (5,297)	12,509±4,122 (12,225)	14,49±5,008 (13,222)	17,374±5,385 (15,807)
3.MTA	0,364±0,215 (0,301)	1,39±0,503 (1,293)	1,721±0,735 (1,528)	2,788±1,322 (2,392)	3,592±1,709 (2,899)	4,81±2,641 (3,735)
4.BioAggregate	0,418±0,223 (0,333)	1,422±0,724 (1,382)	1,834±0,919 (1,709)	3,099±1,789 (2,304)	3,918±1,962 (3,023)	5,361±2,586 (4,479)
p değeri	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.4. Günlere göre 1, 2, 3 ve 4 ana gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.

Tablo 4.8. Ana gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p < 0,05$).

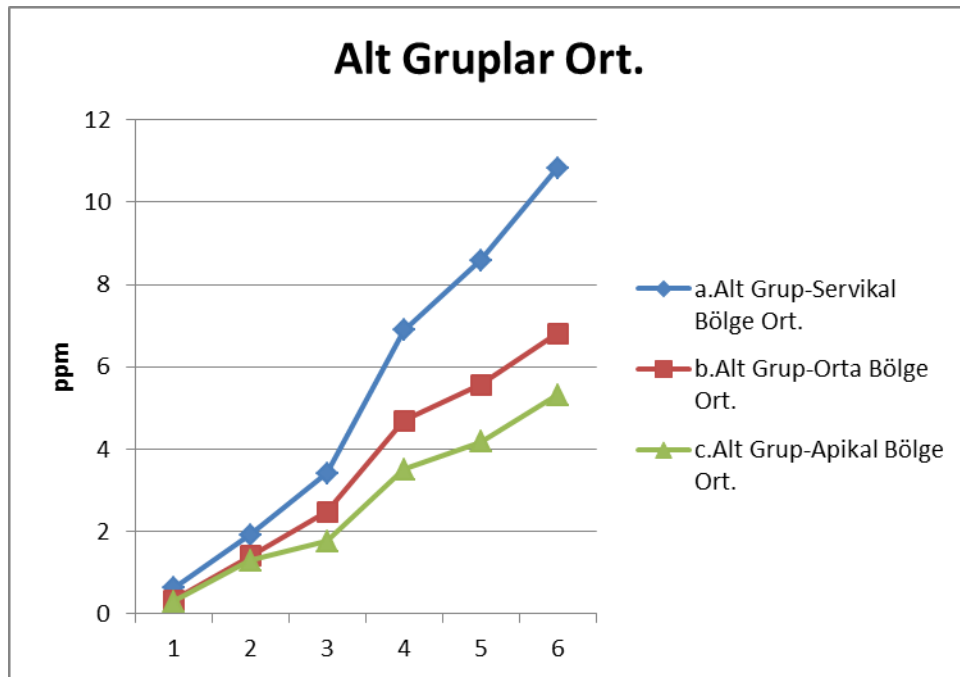
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
1-2	+	+	+	+	+	+
1-3		+	+	+	+	+
1-4		+	+	+	+	+
2-3	+	+	+	+	+	+
2-4		+	+	+	+	+
3-4						

Kontrol (1a, 1b ve 1c ortalaması), kalsiyum hidroksit (2a, 2b ve 2c ortalaması), MTA (3a, 3b ve 3c ortalaması) ve BioAggregate (4a, 4b ve 4c ortalaması) ana gruplar ortalamaları değerlendirildiğinde 1. günden itibaren ölçüm yapılan tüm günlerde en yüksek kalsiyum değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2) için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2) değerleri, kontrol (1) ve MTA (3) gruplarından ölçüm yapılan tüm günlerde, BioAggregate (4) grubundan ise 1. gün haricinde ölçüm yapılan tüm günlerde istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Kontrol grubu (1) ile karşılaştırıldığında, MTA (3) ve BioAggregate (4) gruplarında sadece 1. günde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken, sonrasındaki ölçümlerde MTA (3) ve BioAggregate (4) gruplarında, kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek kalsiyum değerleri bulgulanmıştır ($p < 0,05$). MTA (3) ve BioAggregate (4) gruplarında ölçüm yapılan tüm günlerde benzer kalsiyum değerleri bulgulanmıştır.

4.1.5.Servikal, orta ve apikal bölge alt grupları ortalama kalsiyum değerleri

Tablo 4.9. Servikal, orta ve apikal alt gruplar için ppm cinsinden kalsiyum değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
Alt Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
a.Servikal	0,623±0,272 (0,562)	1,922±0,817 (1,701)	3,414±2,511 (2,344)	6,881±5,799 (4,154)	8,579±6,802 (5,239)	10,835±7,746 (7,593)
b.Orta	0,333±0,092 (0,301)	1,409±0,678 (1,301)	2,482±2,018 (1,621)	4,7±5,056 (2,16)	5,571±5,467 (2,788)	6,817±6,1 (3,866)
c.Apikal	0,297±0,145 (0,235)	1,292±0,692 (1,039)	1,764±1,092 (1,373)	3,507±3,072 (2,141)	4,187±3,229 (2,704)	5,316±4,189 (3,192)
p değeri	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.5. Günlere göre a, b ve c alt gruplarındaki kalsiyum değerleri grafiği.

Tablo 4.10. Alt gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p<0,05$).

Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün
a-b	+	+	+	+	+	+
a-c	+	+	+	+	+	+
b-c	+					

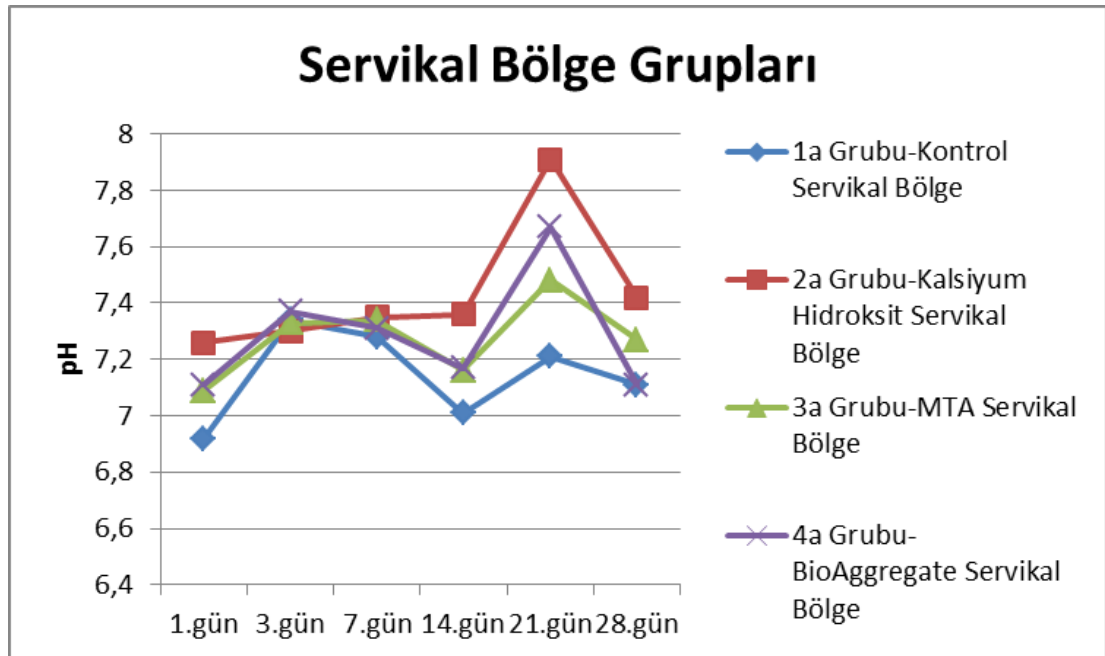
Servikal (1a, 2a, 3a ve 4a ortalaması), orta (1b, 2b, 3b ve 4b ortalaması), apikal (1c, 2c, 3c ve 4c ortalaması) alt gruplar ortalamaları değerlendirildiğinde, 1. günden itibaren ölçüm yapılan tüm günlerde en yüksek kalsiyum değerleri servikal alt grup için elde edilmiştir. Servikal alt grup değerleri hem orta hem de apikal alt grup değerleri ile karşılaştırıldığında tüm günlerde istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir ($p<0,05$). Orta alt grup, apikal alt grup değerlerine göre tüm günlerde daha yüksek kalsiyum değerlerine sahiptir. İstatistiksel olarak karşılaştırıldığında orta alt grup, apikal alt grup değerlerine göre 1. günde anlamlı farklılık gösterirken, diğer günlerde aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur.

4.2. pH Bulguları

4.2.1. Servikal bölge grupları pH değerleri

Tablo 4.11. Servikal bölge grupları pH değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
Servikal Bölge Grupları	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)
1a.Kontrol	6,92 $\pm$ 0,2 (6,92)	7,34 $\pm$ 0 (7,34)	7,28 $\pm$ 0 (7,28)	7,01 $\pm$ 0,2 (7,05)	7,21 $\pm$ 0,2 (7,2)	7,11 $\pm$ 0,2 (7,18)	7,14 $\pm$ 0,2 (7,19)
2a.Kalsiyum Hidroksit	7,26 $\pm$ 0,2 (7,35)	7,3 $\pm$ 0,1 (7,37)	7,35 $\pm$ 1,1 (7,3)	7,36 $\pm$ 0,2 (7,34)	7,91 $\pm$ 0,2 (7,88)	7,42 $\pm$ 0,2 (7,47)	7,43 $\pm$ 0,3 (7,39)
3a.MTA	7,09 $\pm$ 0,2 (7,02)	7,33 $\pm$ 0,1 (7,35)	7,34 $\pm$ 0,1 (7,34)	7,16 $\pm$ 0,1 (7,15)	7,48 $\pm$ 0,1 (7,47)	7,27 $\pm$ 0,2 (7,27)	7,28 $\pm$ 0,2 (7,32)
4a.BioAggregate	7,11 $\pm$ 0,2 (7,08)	7,37 $\pm$ 0 (7,36)	7,31 $\pm$ 0,1 (7,28)	7,17 $\pm$ 0,1 (7,14)	7,67 $\pm$ 0,1 (7,65)	7,11 $\pm$ 0,2 (7,08)	7,29 $\pm$ 0,2 (7,28)
p değeri	0,01	0,457	0,181	0	0	0,03	0



Şekil 4.6. Günlere göre 1a, 2a, 3a ve 4a gruplarındaki pH değerleri grafiği.

Tablo 4.12. Servikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p < 0,05$).

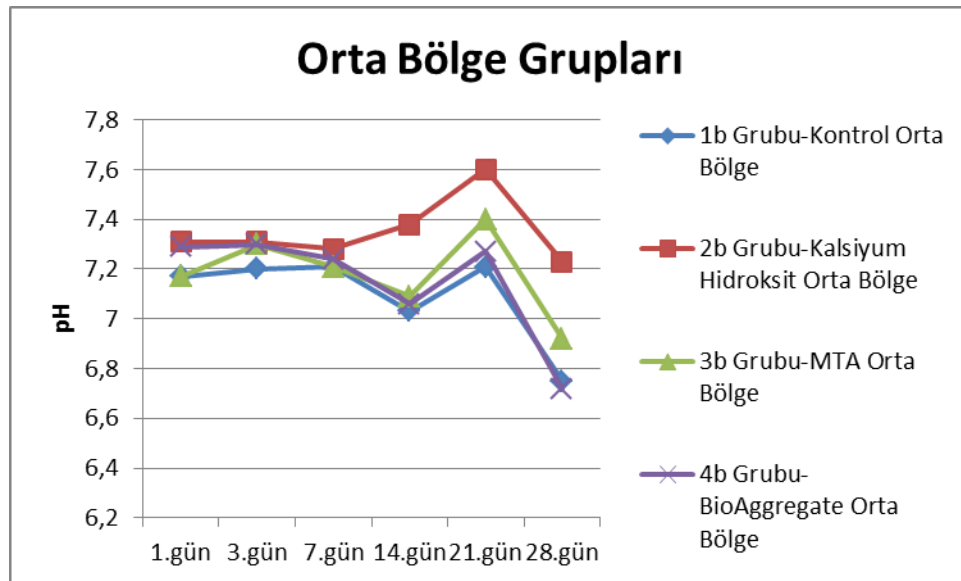
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
1a-2a	+			+	+	+	+
1a-3a					+		+
1a-4a					+		+
2a-3a				+	+		+
2a-4a				+	+	+	+
3a-4a					+		

1, 7, 14, 21 ve 28. gün ölçümlerinde gruplar arasındaki en yüksek pH değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2a), 3. günde ise BioAggregate (4a) grubu için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2a) değerleri, kontrol grubu (1a) ile karşılaştırıldığında 1, 14, 21 ve 28. günlerde istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksekken 3. ve 7. günlerde farklılık yoktur. MTA (3a) ve BioAggregate (4a) gruplarında ise kontrol grubu (1a) ile karşılaştırıldığında yalnızca 21. günde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. MTA (3a) ve BioAggregate (4a) grupları kendi aralarında karşılaştırıldığında; 1, 3, 7, 14 ve 28. günlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmezken, 21. günde BioAggregate (4a) grubunun istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerine sahip olduğu görülmektedir. Kalsiyum hidroksit (2a), MTA (3a) ve BioAggregate (4a) içeren her üç grupta da en yüksek pH değerleri 21. günde elde edilmiştir. Grupların tüm ölçüm periyodundaki ortalama pH değerleri karşılaştırıldığında kalsiyum hidroksit (1a), MTA (3a) ve BioAggregate (4a) gruplarının kontrol grubuna (4a) göre, kalsiyum hidroksit (1a) grubunun ise ayrıca MTA (3a) ve BioAggregate (4a) grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek pH değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu anlamda MTA (3a) ve BioAggregate (4a) grupları arasında ise istatistiksel olarak bir farklılık görülmemiştir.

4.2.2.Orta bölge grupları pH değerleri

Tablo 4.13. Orta bölge grupları pH değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
Orta Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1b.Kontrol	7,17±0,1 (7,16)	7,20±0,1 (7,22)	7,21±0,1 (7,2)	7,03±0,1 (7,06)	7,21±0,2 (7,22)	6,75±0,2 (6,75)	7,09±0,2 (7,15)
2b.Kalsiyum Hidroksit	7,31±0,1 (7,33)	7,31±0,1 (7,34)	7,28±0,2 (7,23)	7,38±0,1 (7,37)	7,6±0,1 (7,58)	7,23±0,2 (7,28)	7,35±0,2 (7,36)
3b.MTA	7,17±0,2 (7,25)	7,3±0,1 (7,35)	7,21±0 (7,22)	7,09±0,1 (7,09)	7,4±0,1 (7,38)	6,92±0,2 (6,93)	7,18±0,2 (7,21)
4b.BioAggregate	7,29±0,1 (7,27)	7,3±0,1 (7,33)	7,24±0,1 (7,21)	7,06±0,1 (7,09)	7,27±0,2 (7,27)	6,72±0,2 (6,7)	7,15±0,2 (7,21)
p değeri	0,536	0,018	0,71	0	0	0	0



Şekil 4.7. Günlere göre 1b, 2b, 3b ve 4b gruplarındaki pH değerleri grafiği.

Tablo 4.14. Orta bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p < 0,05$).

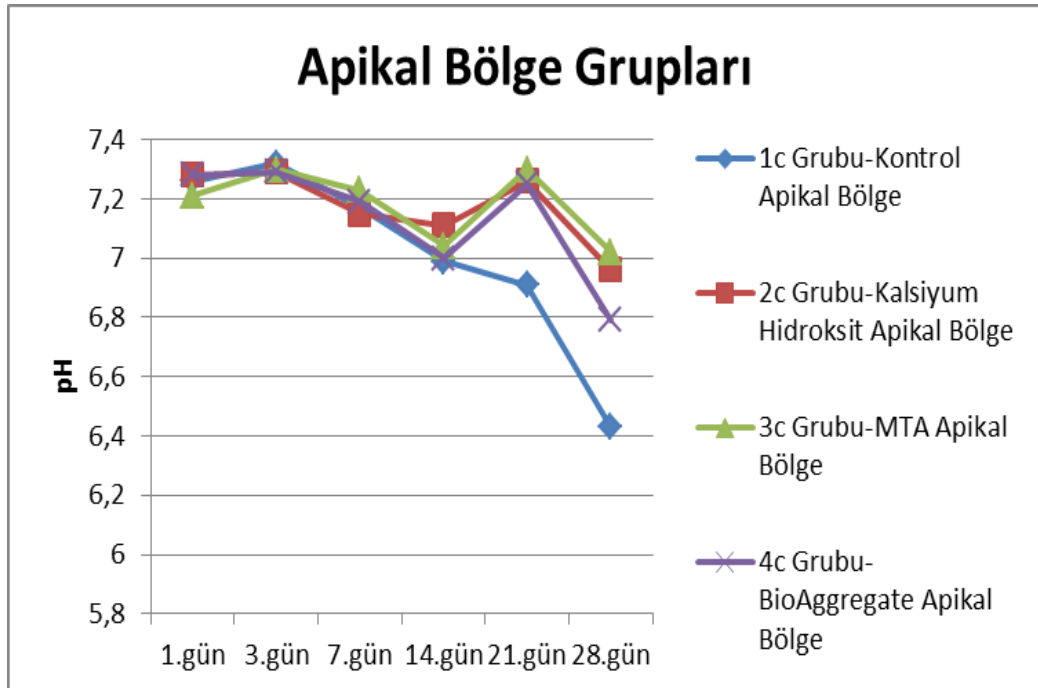
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
1b-2b		+		+	+	+	+
1b-3b		+					
1b-4b		+					
2b-3b				+	+	+	+
2b-4b				+	+	+	+
3b-4b							

Ölçüm yapılan tüm günlerde gruplar arasındaki en yüksek pH değerleri kalsiyum hidroksit grubu (2b) için elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2b) değerleri, kontrol grubu (1b) ile karşılaştırıldığında 3, 14, 21 ve 28. günlerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerlerine sahiptir. MTA (3b) ve BioAggregate (4b) grupları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında her iki grupta da yalnızca 3. günde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmektedir. MTA (3b) ve BioAggregate (4b) grupları kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ölçüm yapılan hiçbir günde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemektedir. MTA (3b) ve BioAggregate (4b) grupları tek tek kalsiyum hidroksit grubu (2b) ile karşılaştırıldıklarında 1, 3 ve 7. günlerde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmezken, 14. gün ve sonrasında kalsiyum hidroksit grubuna (2b) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük pH değerlerine sahiptirler. Kalsiyum hidroksit (2b), MTA (3b) ve BioAggregate (4b) içeren her üç grupta da en yüksek pH değerleri 21. günde elde edilmiştir. Grupların tüm ölçüm periyodundaki ortalama pH değerleri karşılaştırıldığında kalsiyum hidroksit (1a) grubunun diğer üç gruptan istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerlerine sahip olduğu bulgulanmıştır. Bu anlamda diğer üç grup değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunamamıştır.

4.2.3. Apikal bölge grupları pH değerleri

Tablo 4.15. Apikal bölge grupları pH değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
Apikal Bölge Grupları	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1c.Kontrol	7,26±0,1 (7,24)	7,32±0,1 (7,34)	7,17±0 (7,17)	6,99±0,1 (7,01)	6,91±0,2 (6,93)	6,43±0,1 (6,46)	7,01±0,3 (7,14)
2c.Kalsiyum Hidroksit	7,28±0,2 (7,31)	7,29±0,1 (7,32)	7,15±0,1 (7,15)	7,11±0,2 (7,12)	7,26±0,2 (7,29)	6,96±0,1 (7,01)	7,18±0,2 (7,18)
3c.MTA	7,21±0,1 (7,25)	7,3±0,1 (7,32)	7,23±0 (7,23)	7,04±0,1 (7,05)	7,3±0,2 (7,36)	7,02±0,2 (7,03)	7,18±0,2 (7,23)
4c.BioAggregate	7,28±0,1 (7,29)	7,29±0,1 (7,28)	7,19±0,1 (7,19)	7,0±0,1 (7,01)	7,25±0,2 (7,27)	6,79±0,2 (6,77)	7,13±0,2 (7,19)
p değeri	0,382	0,814	0,033	0,033	0,001	0	0,015



Şekil 4.8. Günlere göre 1c, 2c, 3c ve 4c gruplarındaki pH değerleri grafiği.

Tablo 4.16. Apikal bölge grupları arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p<0,05$).

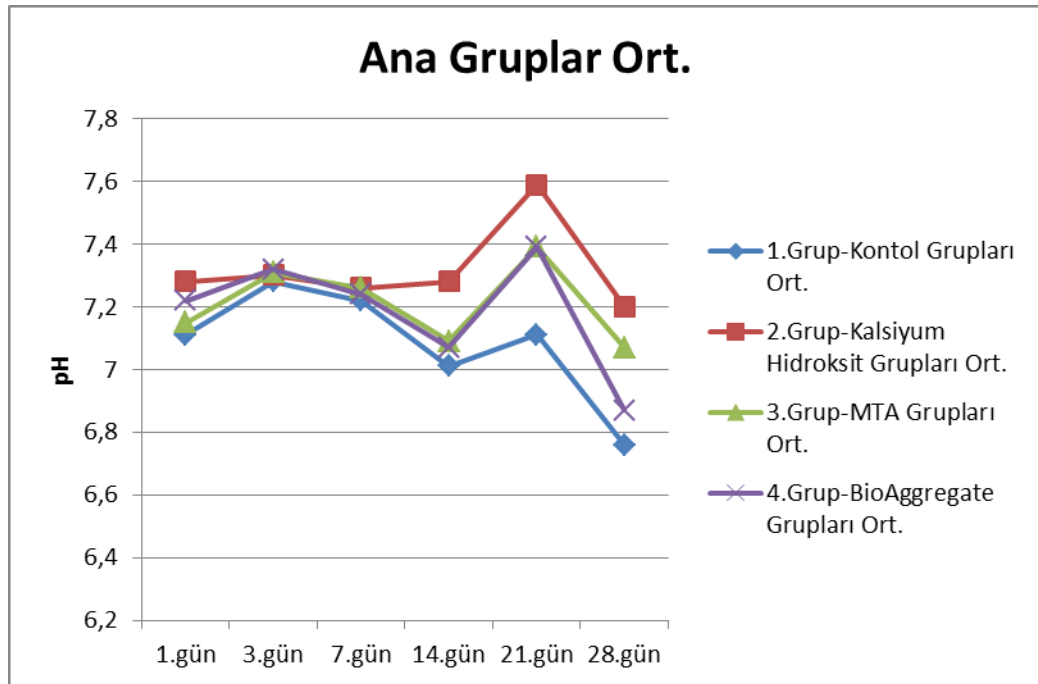
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
1c-2c				+	+	+	+
1c-3c					+	+	+
1c-4c					+	+	
2c-3c			+				
2c-4c							
3c-4c							

Kalsiyum hidroksit (2c), MTA (3c) ve BioAggregate grupları için en yüksek pH değerleri 3. ve 21. günlerde elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2c) değerleri, kontrol grubu (1c) ile karşılaştırıldığında 14. güne kadar anlamlı bir farklılık görülmezken, 14. gün ve sonrasında kalsiyum hidroksit grubu için (2c) istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerleri bulgulanmıştır. MTA (3c) ve BioAggregate (4c) grupları, tek tek kontrol grubu ile karşılaştırıldıklarında 21. güne kadar her iki grup için de anlamlı bir farklılık görülmezken, 21. ve 28. günlerde kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek değerler görülmektedir. Ölçüm yapılan hiçbir günde MTA (3c) ve BioAggregate (4c) grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemektedir. Grupların tüm ölçüm periyodundaki ortalama pH değerleri karşılaştırıldığında kalsiyum hidroksit (1c) ve MTA (3c) gruplarının kontrol grubuna (1c) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

4.2.4. Ana gruplar ortalama pH değerleri

Tablo 4.17. Ana gruplar ortalama pH değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
Ana Gruplar Ort.	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)	Ortalama±SS (Ortanca)
1.Kontrol	7,11±0,2 (7,17)	7,28±0,1 (7,31)	7,22±0,1 (7,21)	7,01±0,1 (7,02)	7,11±0,2 (7,15)	6,76±0,3 (6,75)	7,08±0,3 (7,16)
2.Kalsiyum Hidroksit	7,28±0,1 (7,32)	7,3±0,1 (7,32)	7,26±0,2 (7,25)	7,28±0,2 (7,29)	7,59±0,3 (7,58)	7,2±0,3 (7,15)	7,31±0,2 (7,32)
3.MTA	7,15±0,2 (7,2)	7,31±0,1 (7,34)	7,26±0,1 (7,24)	7,09±0,1 (7,09)	7,39±0,2 (7,4)	7,07±0,2 (7,06)	7,21±0,2 (7,24)
4.BioAggregate	7,22±0,1 (7,27)	7,32±0,1 (7,34)	7,24±0,1 (7,22)	7,07±0,1 (7,07)	7,39±0,3 (7,37)	6,87±0,3 (6,85)	7,19±0,2 (7,22)
p değeri	0,001	0,5	0,33	0	0	0	0



Şekil 4.9. Günlere göre 1, 2, 3 ve 4 ana gruplarındaki ortalama pH değerleri grafiği.

Tablo 4.18. Ana gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p < 0,05$).

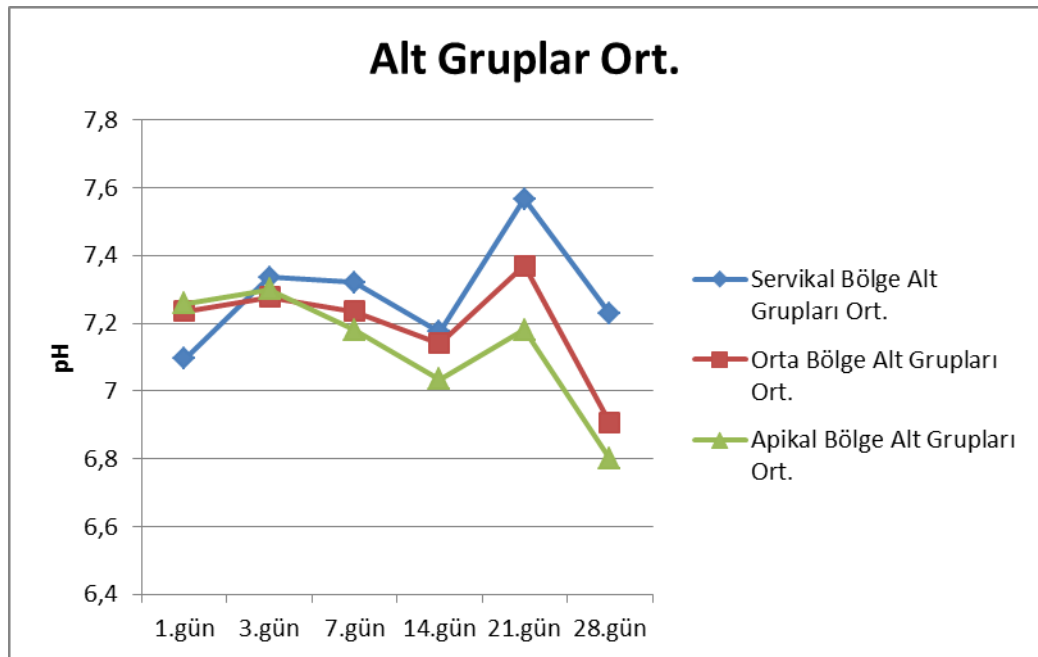
Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
1-2	+			+	+	+	+
1-3					+	+	+
1-4					+	+	+
2-3	+			+	+		+
2-4				+	+	+	+
3-4						+	

Kalsiyum hidroksit (2a, 2b ve 2c ortalaması), MTA (3a, 3b ve 3c ortalaması) ve BioAggregate (4a, 4b ve 4c ortalaması) ana gruplar ortalamaları değerlendirildiğinde 3. günde hafif bir yükselme gösteren pH değerlerinin 14. güne kadar düşme eğiliminde olduğu ve 21. günde tekrar artış göstererek 28. günde azaldığı görülmektedir. Kalsiyum hidroksit (2), MTA (3) ve BioAggregate (4) grupları için en yüksek pH değerleri 21. günde elde edilmiştir. Kalsiyum hidroksit grubu (2), kontrol grubu (1) ile karşılaştırıldığında 1, 14, 21 ve 28. günlerde istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerlerine sahiptir. MTA (3) ve BioAggregate (4) grupları, kontrol grubu ile karşılaştırıldıklarında, 21. güne kadar anlamlı bir fark bulunmazken, 21. ve 28. günlerde kontrol grubuna (1) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerleri bulgulanmıştır. Grupların tüm ölçüm periyodundaki ortalama pH değerleri karşılaştırıldığında MTA (3) ile BioAggregate (4) grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmazken kontrol grubu (1) diğer üç gruptan istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük pH değerlerine sahiptir. Kalsiyum hidroksit grubunun (1), MTA (3) ve BioAggregate (4) gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

4.2.5.Servikal, orta ve apikal bölge alt gruplar ortalama pH değerleri

Tablo 4.19. Servikal, orta ve apikal alt bölge gruplar ortalama pH değerleri.

	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
Alt Gruplar Ort.	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)	Ortalama $\pm$ SS (Ortanca)
a.Servikal Bölge	7,09 $\pm$ 0,2 (7,06)	7,33 $\pm$ 0,1 (7,35)	7,32 $\pm$ 0,1 (7,29)	7,17 $\pm$ 0,2 (7,14)	7,56 $\pm$ 0,3 (7,56)	7,23 $\pm$ 0,2 (7,21)	7,29 $\pm$ 0,2 (7,29)
b.Orta Bölge	7,23 $\pm$ 0,1 (7,27)	7,28 $\pm$ 0,1 (7,31)	7,24 $\pm$ 0,1 (7,21)	7,14 $\pm$ 0,2 (7,11)	7,37 $\pm$ 0,2 (7,38)	6,91 $\pm$ 0,3 (6,88)	7,19 $\pm$ 0,2 (7,22)
c.Apikal Bölge	7,26 $\pm$ 0,1 (7,27)	7,3 $\pm$ 0,1 (7,32)	7,19 $\pm$ 0,1 (7,17)	7,04 $\pm$ 0,1 (7,03)	7,18 $\pm$ 0,2 (7,26)	6,8 $\pm$ 0,3 (6,83)	7,13 $\pm$ 0,2 (7,18)
p değeri	0,002	0,81	0	0	0	0	0



Şekil 4.10. Günlere göre a, b ve c alt gruplarındaki ortalama pH değerleri grafiği.

Tablo 4.20. Alt gruplar arası ikili karşılaştırma tablosu.

(+) = İstatistiksel olarak anlamlı farklılık (Mann Whitney U testi, $p < 0,05$).

Karşılaştırma	1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	21.gün	28.gün	Ortalama
a-b	+		+		+	+	+
a-c	+		+	+	+	+	+
b-c			+	+	+		+

Servikal (1a, 2a, 3a ve 4a ortalaması), orta (1b, 2b, 3b ve 4b ortalaması), apikal (1c, 2c, 3c ve 4c ortalaması) alt grupları ortalamaları değerlendirildiğinde, servikal (a) ve orta alt (b) gruplar için en yüksek pH değerleri 21. günde elde edilirken apikal alt grup (c) için en yüksek pH değeri 3. günde görülmektedir. 3. gün ve sonrasındaki tüm günlerde en yüksek pH değerlerini servikal alt grup (a) göstermektedir. Servikal alt grup için (a) elde edilen bu yüksek değerler 7, 21 ve 28. günlerde hem orta (b) hem de apikal (c), 14. günde ise yalnızca apikal (c) alt gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir. Grupların tüm ölçüm periyodundaki ortalama pH değerleri karşılaştırıldığında her üç grubun da birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği, en yüksek pH değeri servikal grupta (a) bulgulanırken en düşük pH değerinin apikal grupta (c) bulgalandığı görülmektedir.

5.TARTIŞMA

Kök yüzeyindeki sement tabakasının devamlılığının bozulması ile birlikte aynı zamanda kanal içi enfeksiyon gelişimi, genellikle bir travma sekeli olarak karşımıza çıkar ve eksternal enflamatuvar kök rezorpsiyonu adı verilen ve sonucunda dişin kaybına neden olabilecek bir süreci tetikler (Andreasen, 1981). Ciddi derecede lüksasyon, intrüzyon görülen veya avülse olmuş ve vitalitesini yitirmiş dişlerde uygulanacak tedavideki ana amaç, diş enfekte olmadan endodontik tedaviye başlanarak kök yüzeyindeki osteoklastik aktivitenin önüne geçilmesidir (Heward ve Sedgley, 2011). Travmatik yaralanmaların yanında ayrıca, apikal periodontitis, tümörler ve kistler de eksternal enflamatuvar kök rezorpsiyonunu başlatabilir (Laux ve diğerleri, 2000; Nair, 1997).

Eksternal kök rezorpsiyonunun radyografik olarak görünür olduğu durumlarda kök kanal dolgusu öncesinde kanal içi uzun dönem kalsiyum hidroksit medikamanı uygulanması önerilmektedir. Amerikan Endodonti Derneği, kapalı apekse sahip avülse olmuş ve eksternal rezorpsiyon bulguları gösteren dişlerde, kök kanal dolgusu öncesinde uzun dönem kalsiyum hidroksit medikasyonu ile 3 aylık dönemlerle lamina duranın ve kanaldaki kalsiyum hidroksitin takibinin yapılmasını önermektedir (AAE, 2004). Kalsiyum hidroksit, kanal içerisindeki organik dokuların çözünmesine (Hasselgren, 1988), mikroorganizmaların yok edilmesine (Siqueira ve Lopes, 1999) ve rezorpsiyon sürecinin durdurulmasına yardımcı olur (Hammarstrom ve diğerleri, 1986; Mohammadi ve Dummer, 2011; Tronstad ve diğerleri, 1981).

Kalsiyum hidroksit; kanal içindeki biyolojik ve antibakteriyel etkinliğini, kimyasal olarak kalsiyum ve hidroksil iyonlarına ayrışması ve bu iyonların doku ve bakteriler üzerindeki etkisi ile gösterir (Estrela ve diğerleri, 1995).

Ayrışan hidroksil iyonları pH'ın yükselmesine neden olur. Yükselmiş pH ile birlikte protein denatürasyonu gerçekleşir, bakteri DNA'sı ve

membranları zarar görerek canlılığını yitirir ve gram negatif bakterilerin ürettiği bir toksin olan lipopolisakkaritler inaktive olur (Mohammadi ve Dummer, 2011; Safavi ve Nichols, 1993; Siqueira ve Lopes; 1999). Apikal foramen vasıtasıyla komşu periodontal dokulara ulaşan hidroksil iyonları ile oluşan alkali ortam, bölgedeki osteoklastik aktivitenin baskılanmasını sağlar ve sert doku oluşumu için uygun şartlar oluşturarak iyileşmeyi destekler (Eldeniz ve diğerleri, 2007; Tronstad ve diğerleri, 1981).

Yüksek pH'ın diğer bir etkisi mineralizasyon süreciyle yakından ilgili olduğu bilinen alkalen fosfataz enzimini aktive etmesidir. Alkalen fosfataz, dokularda bağlı bulunan çeşitli moleküllerden fosfat gruplarının koparılmasını sağlar. Serbest kalan fosfat iyonları kan dolaşımından gelen kalsiyum iyonları ile reaksiyona girip, organik matrikste kalsiyum fosfat çökeltileri oluşturur. Kalsiyum fosfat, hidroksiapatitin moleküler yapı birimidir (Estrela ve diğerleri, 1995).

Kalsiyum iyonlarının varlığı, iyileşme sürecinde hücre migrasyonu ve diferansiyasyonu için gereklidir. Ortamda bulunan kalsiyum, dokulardaki karbonik gaz ile etkileşerek kalsiyum karbonat kristalini oluşturur. Bu kristal kalsifikasyon için çekirdek görevi görür. Aynı zamanda karbon dioksit ile etkileşen kalsiyum iyonları, anaerobik bakterilerin respirasyon kaynağını azaltırlar (Eldeniz ve diğerleri, 2007; Estrela ve diğerleri, 1995; Kontakiokis ve diğerleri, 1995).

Rezorpsiyon sahasında bulunan kalsiyum miktarının osteoklastların aktivitesini kontrol ettiği bildirilmiştir (Sharan ve diğerleri, 2008; Zaidi ve diğerleri, 1993). Artmış kalsiyum konsantrasyonu, osteoklastik kemik rezorpsiyonunu inhibe eder ve osteoblastların proliferasyonu ve kemotaksisi için uyarıcı rol oynar (Zaidi ve diğerleri, 1993).

Kalsiyum hidroksitin kanal içi medikaman olarak etkili bir biçimde rol alabilmesi için kalsiyum ve hidroksil iyonlarının apikal foramen ve aksesuar kanallardan difüze olmasının yanı sıra; dentin dokusuna penetre olup dentin tübülleri vasıtasıyla mikroorganizmalarca kontamine olmuş alanlara ve kök

yüzeyindeki rezorpsiyon sahalarına ulaşması beklenir (Duarte ve diğerleri, 2000; Mori ve diğerleri, 2009; Tronstad ve diğerleri, 1981).

Kanal içine yerleştirilen kalsiyum hidroksitten ayrılan kalsiyum ve hidroksil iyonlarının dentin içine difüze olup kök yüzeyine ulaşabildiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Chamberlain ve diğerleri, 2009; Esberard ve diğerleri, 1996; Nerwich ve diğerleri, 1993; Tronstad ve diğerleri, 1981). Bazı çalışmalarda ise kalsiyum iyonlarının kök yüzeyine ulaşabildiği gösterilirken, hidroksil iyonlarının dentin tübüllerinde tamponlanıp yüzeye ulaşamadığı bildirilmiştir (Çalt ve diğerleri, 1999; Özdemir ve diğerleri, 2008).

Kalsiyum hidroksit, kök kanalı içerisinde üstün biyolojik ve antimikrobiyal etkinlik göstermesine rağmen bazı dezavantajlara sahiptir. Enflamatuvar kök rezorpsiyonu görülen vakalarda ve özellikle apeksifikasyon işlemleri sırasında tedavi süreci uzundur, çok sayıda seans gerektirir (Trobe ve diğerleri, 1995) ve seanslar arasında kanalın re-enfeksiyon riski vardır. Kök kanalı daimi olarak doldurulmadan önce kalsiyum hidroksitin kanaldan tamamen uzaklaştırılması zordur. Kanal içerisinde kalan artık kalsiyum hidroksit, kanal patı ile kimyasal olarak etkileşerek, patın fiziksel özelliklerini bozabilir. Kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonunu ve kanal dolgu maddesinin kanal duvarlarına yapışmasını etkileyerek tedavinin prognozunu olumsuz yönde etkiler (Kuga ve diğerleri, 2012; Ricucci ve Langeland, 1997).

Son yıllarda, kalsiyum hidroksitin kanal içi medikaman olarak gerek uzun, gerekse kısa dönem kullanımının dental yapıları zayıflattığı ve buna bağlı olarak fraktür riskini artırabileceğini bildiren çalışmalar yayınlanmıştır. Andreasen ve diğerleri (2002), açık apeksli koyun dişleri kullandıkları çalışmalarında, dişlerin kök kanalına yerleştirilen kalsiyum hidroksitin, bir yılın sonunda dişin kırılma direncini yarı yarıya azalttığını bildirmişlerdir. Rosenberg ve diğerleri (2007), daimi maksiller keser dişlerde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kalsiyum hidroksitin dişin kırılma direncine etkisini mikro gerilme test metodu ile araştırmışlar ve 12 haftanın sonunda %43,9'a varan azalma rapor etmişlerdir. Sahebi ve diğerleri (2010) ise kalsiyum hidroksitin 30 günlük kısa dönem uygulanması sonrasında dentin

dayanıklılığının istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Andreasen ve diğerleri (2002) bu durumun dentinin organik matriksinde meydana gelen değişikliklerle ilişki olabileceğini öne sürmüşlerdir. Kalsiyum hidroksitin neden olduğu yüksek alkalinitenin, dentinin organik matriks elemanları olan ve kollajen ağ ile hidroksiapatit kristalleri arasında bağlayıcı görev gören asit proteinleri ve proteoglikanların nötralizasyonuna, çözünmesine veya denatürasyonuna sebep olduğunu ve böylece dentin yapısının bozulduğunu bildirmişlerdir (Andreasen ve diğerleri, 2002).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında kalsiyum hidroksitle benzer etki mekanizmasına sahip MTA'nın ve MTA'ya göre nispeten daha yeni, MTA benzeri bir materyal olan BioAggregate'in, kalsiyum hidroksitin yukarıda bahsedilen özelliklerine sahip olduğu ve enfeksiyon kaynaklı eksternal rezorpsiyon görülen, özellikle kırılma direnci düşük açık apekse sahip dişlerde veya eksternal rezorpsiyon oluşma ihtimali yüksek olan replantasyonu geç yapılmış avülse dişlerde ortograd kanal dolgu materyali olarak kullanımının geçerli bir seçenek olabileceği düşüncesinden yola çıkarak bu çalışma planlanmıştır. Bu amaçla kanal içerisine yerleştirdiğimiz kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate'den salınıp dentin tübülleri vasıtasıyla kök yüzeyine, dolayısıyla örneklerin içerisinde bulunduğu sıvı ortama ulaşan ve materyallerin biyokimyasal etkinliğinde temel unsurlar olan kalsiyum ve hidroksil iyonlarının miktarlarını ölçtük. Bu ölçümle aynı zamanda MTA ve BioAggregate'in perforasyon tamiri, kök ucu dolgusu gibi kanal içerisindeki diğer kullanım alanlarında bu mekanizma ile göstereceği biyokimyasal etkinliği de dolaylı olarak karşılaştırmak amaçlanmıştır.

Hidroksil iyonlarının dentin tübüllerinden difüzyonunun tespiti için dentin ana yapısının pH'sı (Tronstad ve diğerleri, 1981), dişin içinde bulunduğu sıvı ortamın pH'sı (Çalt ve diğerleri, 1999; Foster ve diğerleri, 1993; Rehman ve diğerleri, 1996; Özdemir ve diğerleri, 2008) ve kök yüzeylerinde açılan kaviteelerin (Chamberlain ve diğerleri, 2009; Esberard ve diğerleri, 1996; Hansen ve diğerleri, 2011; Heward ve Sedgley, 2011; Nerwich ve diğerleri, 1993; Perez ve diğerleri, 2001) pH'sının araştırıldığı

çeşitli deney düzeneklerinden yararlanılmış, bu amaçla pH-indikatör solüsyonlar, kağıtlar ve pH metreler kullanılmıştır (Nerwich ve diğerleri, 1993). Bu çalışmada örneklerin içinde bulunduğu sıvı ortamın pH'sının ölçümü, günümüzdeki en geçerli metod olan ve 0,01 hassasiyetinde sonuçlar veren elektronik pH metre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kalsiyum iyonlarının difüzyonun tespiti için örneklerin içinde bulunduğu sıvıdaki kalsiyum iyonlarının miktarı ölçülmüştür. Literatür incelendiğinde sıvı ortamlardaki kalsiyum iyonlarının tayini için kompleksometrik titrasyon yöntemi (Lohbauer ve diğerleri, 2005), alev fotometresi (Sayın ve diğerleri, 2007), atomik absorpsiyon spektroskopisi (Duarte ve diğerleri, 2012) gibi farklı ölçüm teknikleri ve cihazların kullanıldığı görülmüştür. Çalışmamızda, kalsiyum miktar tayini için 0,08 ppm düzeyinde yüksek bir hassasiyet ile hızlı bir ölçüm sağlayan ve Üniversitemiz Eczacılık Fakültesi laboratuvarlarında mevcut olan atomik absorpsiyon spektrometre cihazı kullanılmıştır.

Literatürde bulunan konu ile ilgili benzer çalışmalarda, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının dentinden difüzyonunun, kök yüzeylerinin farklı bölgelerinde açılan rezorpsiyon kaviteleri ile incelendiği görülmüştür. Bu amaçla Nerwich ve diğerleri (1993), farklı kalsiyum hidroksit preparatları kullandıkları çalışmalarında, kök yüzeylerinin servikal ve apikal bölgelerinde derin ve yüzeysel olmak üzere kaviteler oluşturmuşlardır. Foster ve diğerleri (1993), smear tabakasının, kalsiyum hidroksit geçirgenliğine etkisini araştırdıkları çalışmalarında kök yüzeylerinin servikal üçlü bölgelerinde 3 mm çapında ve 1 mm derinliğinde kaviteler oluşturmuşlardır. Esberard ve diğerleri (1996), üç farklı kalsiyum hidroksit patı ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında 0,75 mm derinliğinde ve 1,5 mm çapında kraterleri bukkal kök yüzeylerinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde oluşturmuşlardır. Rehman ve diğerleri (1996), kalsiyum hidroksit içerikli bir kök kanal dolgu patı ile kalsiyum hidroksit medikamanını karşılaştırdıkları benzer çalışmalarında rezorpsiyon kavitelerini dişlerin apikal üçlü bölgelerinde oluşturmuşlardır. Bu amaçla 016 nolu rond frezi, frezin çapı kadar derinlikte kullandıklarını bildirmişlerdir. Çalt ve diğerleri (1999), farklı kalsiyum hidroksit patları ile

gerçekleştirdikleri çalışmalarında, kök yüzeylerinin servikal üçlü bölgelerinde 3 mm çapında ve 1 mm derinliğinde rezorpsiyon kaviteleri oluşturmuşlardır. Perez ve diğerleri (2001), kaviteleri açmadan önce, kalan dentin kalınlığını standardize etmek amacıyla radyografilerden yararlanmışlardır. 1 mm kalan dentin kalınlığı belirleyip, kaviteleri diş köklerinin distal yüzeylerinde servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde oluşturmuşlar ve farklı kalsiyum hidroksit preparatlarını test etmişlerdir. Ardeshtna ve diğerleri (2002), kalsiyum hidroksit içerikli güta perka ile pat formunda kalsiyum hidroksit kullandıkları çalışmalarında, rezorpsiyon kavitelerini mine-sement sınırından 3 mm uzaklıkta olacak şekilde servikal bölgede ve apikal foramenden 3 mm uzaklıkta olacak şekilde apikal bölgede oluşturmuşlardır. Bu servikal ve apikal bölgedeki kaviteleri dişlerin radyografik olarak önceden kontrol ettikleri en kalın bölgesinde 014 nolu tungsten-karbid rond frezi, frez başının boyu kadar derinlikte kullanarak oluşturmuşlardır. Sevimay ve diğerleri (2003), yine farklı kalsiyum hidroksit preparatları kullandıkları çalışmalarında 3 mm çapında ve 1 mm derinliğinde kaviteleri dişlerin servikal üçlü bölgesinde oluşturmuşlardır. Camargo ve diğerleri (2006), farklı kalsiyum hidroksit taşıyıcılarının iyon difüzyonuna etkilerini araştırdıkları çalışmalarında diş köklerinin orta üçlü bölgelerinde 4 mm uzunluk, 2 mm genişlik ve 1 mm derinliğinde kaviteler oluşturmuşlardır. Özdemir ve diğerleri (2008) ve George ve diğerleri (2009)'nin birer yıl ara ile gerçekleştirdikleri, metodolojik olarak birbirleri ile benzer çalışmaları, bilgilerimize göre konu ile ilgili MTA kullanılarak yapılan ilk araştırmalardır. Her iki çalışmada da kaviteler, köklerin orta üçlü bölgelerinde 012 nolu silindirik elmas frez kullanılarak 3 mm çapında ve 1 mm derinliğinde oluşturulmuştur. Araştırmacılar, kaviteleri oluşturduktan sonra kalan dentin kalınlığını radyografik metodlarla ölçmüşler; Özdemir ve diğerleri (2008) kalan dentin kalınlığını $1,48 \pm 0,13$ mm, George ve diğerleri (2009) ise $1,49 \pm 0,12$ mm olarak bildirmişlerdir. Chamberlain ve diğerleri (2009), kalsiyum hidroksiti kanal içerisine farklı seviyelerde yerleştirdikleri çalışmalarında, aynı kök üzerinde radyografik apekten 1 mm, 3 mm ve 5 mm uzaklıkta üç kavite oluşturmuşlar ve kavitelerin boyutlarını 1 mm çap ve 0,5 mm derinlik olarak belirlemişlerdir. Heward ve Sedgley

(2011), MTA ile kalsiyum hidroksiti karşılaştırdıkları çalışmalarında 1,4 mm çapında ve 0,7 mm derinliğinde kaviteleri radyografik apeksten 5 mm uzaklıkta olacak şekilde oluşturmuşlardır. Hansen ve diğerleri (2011), EndoSequence kanal tamir materyali ile MTA'yı karşılaştırdıkları çalışmalarında, dişin apeksinden 2 mm ve 5 mm uzaklıkta ve 1,4 mm çap ve 0,7 mm derinliğinde kaviteler oluşturmuşlardır. Duarte ve diğerleri (2012), kalsiyum hidroksitin ultrasonik aktivasyonunun iyon difüzyonuna etkisini araştırdıkları çalışmalarında sığır dişleri kullanmışlar ve Camargo ve diğerleri (2006) ile aynı metodolojiyi kullandıklarını bildirmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan beşinde bizim çalışmamız ile benzer şekilde hem kalsiyum hem de hidroksil iyonlarının difüzyonu araştırılmıştır (Camargo ve diğerleri, 2006; Çalt ve diğerleri, 1999; Duarte ve diğerleri, 2012; Foster ve diğerleri, 1993; Özdemir ve diğerleri, 2008). İki çalışmada sadece kalsiyum iyonlarının difüzyonu araştırılmış (George ve diğerleri, 2009; Rehman ve diğerleri, 1996), diğer çalışmalarda ise sadece hidroksil iyonlarının difüzyonu araştırılmıştır.

Özdemir ve diğerleri (2008)'nin çalışmalarında vurguladıkları gibi dentin tübüllerinin oryantasyonu, iyon difüzyonunu etkileyebilecek bir faktördür. Kökün orta üçlüsünde rezorpsiyon sahasına 90°'lik açıyla uzanan tübüller apikal bölgeye doğru daha oblik bir yol izler. Böylece iyonların katetmeleri gereken mesafe uzar. İyon difüzyonlarını etkileyebilecek bir diğer konu ise dentin tübüllerinin kökün farklı bölgelerinde değişen çap ve sayılarıdır. Tüm bu etkenlerin kalsiyum hidroksitten salınan hidroksil iyonlarının difüzyonunu etkilediği çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Hansen ve diğerleri, 2011; Nerwich ve diğerleri, 1993; Perez ve diğerleri, 2001).

Literatür araştırmasında, kanal içerisine yerleştirilen materyallerin dentin tübüllerine kalsiyum iyon difüzyonlarının servikal, orta ve apikal olmak üzere kökün farklı bölgelerinde araştırıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. MTA'nın dentin tübüllerine kalsiyum iyon difüzyonunun araştırıldığı yalnızca iki çalışma vardır ve bu çalışmalarda da sonuçlar kökün orta üçlüsündeki

rezorpsiyon kavileri ile incelenmiştir. BioAggregate ile ilgili bu konuda henüz yapılmış bir çalışma yoktur.

Tüm bu sebepler dikkate alınarak çalışmamızda rezorpsiyon kavileri dişlerin kök yüzeylerinin üç farklı bölgesinde oluşturulmuştur. Metodolojimizin benzerlik göstermesi ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek amacıyla Özdemir ve diğerleri (2008) ve George ve diğerleri (2009)'nin yapmış oldukları çalışmalarında kullandıkları kavite boyutları kullanılmıştır. Fakat örnekleri hazırlamadan önce yürüttüğümüz ön çalışmalarda apikal kök bölgesinde 3 mm çapında kaviter oluşturmanın yüzey alanının küçüklüğünden dolayı mümkün olmadığı gözlemlenmiştir. Apikal bölgede en uygun boyutta kaviterin 016 nolu silindirik frezin çapı kadar genişlikte açılabilceğini belirledikten sonra araştırmamızda tüm kavileri oluşturmak için bu frezi kullanmaya karar verilmiştir.

Konu ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde, iyon difüzyonlarının miktarını etkileyebilecek diğer bir önemli faktör olan kalan dentin kalınlıklarının bir çok çalışmada dikkate alınmadığı görülmektedir (Chamberlain ve diğerleri, 2009; Esberard ve diğerleri, 1996; Sevimay ve diğerleri, 2003). Nerwich ve diğerleri (1993), oluşturdukları kaviterlerde kalan dentin kalınlığını standardize etmek için proksimal radyografilerden yararlanmışlar fakat buna rağmen gruplar içinde 0,32 mm'ye varan standart sapmalar bildirmişlerdir. Perez ve diğerleri (2001), kalan dentin kalınlığını 1 mm olarak standardize etmek amacıyla, kaviter oluşturulmadan önce alınan radyografilerde 1 mm dentin kalınlığını elde etmek için açılması gereken kavite derinliğini belirlemişlerdir. Bu boyutu frez üzerindeki bir lastik stop yardımıyla işaretleyip kaviteri oluşturmuşlardır. Fakat çalışmalarında, kaviter oluşturulduktan sonra gerçekleşen kalan dentin kalınlıkları ölçülmemiş, 1 mm olarak belirledikleri kalınlığa örneklerinde ne derece ulaşıldığı bildirilmemiştir. Yaptığımız ön çalışmalarda çalışılan boyutların küçüklüğü ve frez üzerinde lastik stopun işaretlenmesinin zorluğu gibi sebeplerden dolayı yöntemin efektif olmadığına karar verilmiştir. Özdemir ve diğerleri (2008) ile George ve diğerleri (2009) ise kökün orta üçlüsünde

hazırladıkları standart derinlikteki kaviteler için kalan dentin kalınlığını radyografi yardımıyla işlem sonrasında ölçerek bildirmişlerdir. Yakın tarihte yürütülen iki çalışmada (Hansen ve diğerleri, 2011; Heward ve Sedgley, 2011) ise standart derinlikte kaviteler, aynı bireyden çekimi yapılan diş çiftlerinde oluşturulup oluşabilecek farklılıkların kompanzasyonu amaçlanmıştır.

Kökün farklı seviyelerindeki dentin kalınlıklarının farklılık göstermesi, bir başka deyişle kökün servikal bölgesinden apikale doğru inildikçe kök dentininin kalınlığının azalması nedeniyle, kök yüzeyinde derinliği standart kaviteler oluşturmak, servikal, orta ve apikal bölgelerdeki kalan dentin kalınlıklarında büyük farklılıklara neden olmaktadır. Yine farklı bireylerden çekilen dişlerin farklı boyut ve morfolojilerine bağlı olarak da bu farklılıklar oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı, kalan dentin kalınlığını mümkün olduğunca standardize etmek amacıyla rezorpsiyon kavitelerini, önceden radyografik olarak belirlediğimiz kök dentininin kalınlığına göre farklı derinliklerde oluşturulmuş ve bu işlem her seferinde radyografiler olarak kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak tüm gruplardaki örnekler için kalan dentin kalınlığını 0,07 gibi küçük bir standart sapma ile ortalama 0,84 mm olarak hazırlanmıştır.

Dentin tübüllerinden iyon difüzyonlarını etkileyebilecek bir diğer faktör, örneklerde kullanılan dişlerin çekiminin yapıldığı hastaların yaşıdır. Carrigan ve diğerleri (1984), 20 yaşından 80 yaşına kadar olan hasta gruplarının dentin yapısını inceledikleri SEM çalışmalarında, yaşla birlikte dentin tübüllerinin sayısının istatistiksel olarak anlamlı derecede azaldığını bildirmişlerdir (maksiller keser dişlerde 20-34 yaş grubu için ortalama 242775 iken 80 ve üzeri yaş grubu için ortalama 149025). Tübüllerin sayısının yaşla birlikte azalması hiç kuşkusuz dentin geçirgenliğini de etkileyecektir. Fakat örneklerde kullandığımız dişleri elde etmenin zorluğu ve dişlerin çekimi yapılan hastaların yaşlarının kaydı olmaması sebebiyle çalışmamızda yaşla ilgili bir standardizasyona gitmeyerek bu durum gözardı edilmiştir.

Chamberlain ve diğerleri (2009), Heward ve Sedgley (2011) ve Hansen ve diğerleri (2011) kök kanal boyutlarını, dolayısı ile kanal içerisine yerleştirilen materyallerin miktarlarını standardize etmek amacıyla kök boyutları standart 14 mm veya 10 mm olacak şekilde dişlerin kuralal kısımlarını uzaklaştırmışlardır. Bizim yaptığımız çalışmamızda, farklı kanal boylarına sahip dişlerde gerçekleştirilecek böyle bir işlemin, bazı diş köklerinin servikal bölgelerinin kaybına neden olacağını gözlemledik. Bu sebeple kanal içerisine yerleştirilecek materyallerin hacminde bir standardizasyona gitmedik. Buna rağmen, materyallerden ayrışıp rezorpsiyon sahasındaki dentinden difüze olan iyonların, sadece ilgili bölge ile temas eden sınırlı, küçük bir yüzeyde meydana geldiğini düşünmekteyiz. Araştırmamızın sonuçlarının gösterdiği 10 ml solüsyondaki milyonda bir düzeyinde (ppm) ölçülen kalsiyum iyon miktarları, bu görüşümüzü desteklediğini düşünmekteyiz.

Diş üzerinde kullanılan çeşitli kesici, dönücü aletlerin diş sert dokularında yaptığı kesme ve aşındırma işlemleri sonucunda, bu dokular üzerinde yapışık bir halde ortaya çıkan amorf yapıda, iyatrojen kökenli sıvışık tabakaya 'smear tabakası' adı verilir. Pashley (1988), dentindeki difüzyonun dentin tübüllerinin yüzey alanıyla direkt ilişkili olduğunu ve dentin tübülleri üzerinde bulunan smear tabakasının bir bariyer rolü oynayarak dentin difüzyonunu % 25-30 kadar düşürebileceğini vurgulamıştır. Foster ve diğerleri (1993)'nin yürüttükleri çalışmaların sonuçları da smear tabakasının, hidroksil iyonlarının difüzyonunu etkilediğini göstermiştir. Bu sebeple örnekleri hazırlarken in-vivo şartları daha iyi taklit edebilmek için, kök kanal preparasyonu sırasında dentin yüzeyinde oluşan smear tabakasını kaldırmanın yanı sıra, aynı zamanda frez ile oluşturduğumuz yapay rezorpsiyon kavite yüzeylerinde oluşan ve aslında in-vivo şartlarda bulunmaması gereken smear tabakasının da kaldırılması amaçlanmıştır.

Smear tabakasının kaldırılması amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler ve solüsyonlar denenmiş ve kullanılmıştır. EDTA ve NaOCl sıvılarının kombine bir şekilde kullanılması smear tabakasının

kaldırılmasında etkili yöntemlerden biridir (Goldman ve diğerleri, 1982; Violich ve Chandler, 2010). Birçok farklı yüzde ve kombinasyonun kullanıldığı çalışmalarda smear tabakasının kaldırılmasında en etkili karışımın son yıkama işleminde % 17 EDTA, devamında %5,25 NaOCl olduğu Yamada ve diğerleri (1983) tarafından belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da smear tabakasının kaldırılmasında bu yöntem kullanılmıştır.

Konu ile ilgili çalışmalarda, apikal foramen ve kuronal kanal girişi bölgesinden veya sement yüzeyindeki tespit edilememiş bir çatlak vasıtasıyla gerçekleşebilecek kanal içi ile sıvı ortam arasındaki ilişki, dişlerin rezorpsiyon sahaları dışındaki bölgelerinin izolasyonunu gerektirmiştir. Bu amaçla iki veya üç kat tırnak cilası ile yapışkan mum kullanılmıştır. Önceden gerçekleştirdiğimiz ön çalışmalarda, tırnak cilası ve yapışkan mumu birlikte kullandığımız örneklerin daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlemlendiğinden, örnek izolasyonu önce iki kat tırnak cilası ve ardından kırmızı mum ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda örneklerin bekletildiği ortam olarak plastik falkon tüplerindeki distile su tercih edilmiştir. Özellikle kalsiyum iyon analizi yapılan birçok çalışmada da aynı ortam tercih edilmiştir (George ve diğerleri, 2009; Ghazvini ve diğerleri, 2009; Kuga ve diğerleri, 2011; Massi ve diğerleri, 2011; Sevimay ve diğerleri, 2003). Kanal içerisinden ortama ulaşacak olan hidroksil iyonlarının çok düşük miktarlarda olacağını varsayarak ve oluşturacağı pH değişiminin pH metremizin sınırları içerisinde kalması için mümkün olan en az miktarda distile su kullanması gerektiğini düşünülmüştür. Atomik absorpsiyon cihazının kalsiyum ölçümü için yaklaşık 5 ml sıvı örneğe ihtiyaç duyması bu noktada belirleyici olmuştur. Kalsiyum ölçümleri sırasında ilk seferde meydana gelebilecek hataların da telafi edilebilmesi adına miktar 10 ml olarak belirlenmiştir. Aynı miktarın önceki birçok benzer çalışmada da kullanıldığı literatür incelemesinde görülmektedir (de Vasconcelos ve diğerleri, 2009; Kuga ve diğerleri, 2011; Massi ve diğerleri, 2011; Özdemir ve diğerleri, 2008).

Çalışmamızda elde ettiğimiz kalsiyum değerlerine ilişkin bulgularımız incelendiğinde, ölçüm yapılan tüm günlerde (1, 3, 7, 14, 21 ve 28. günler), kalsiyum hidroksit içerikli servikal, orta ve apikal üçlü gruplarındaki kalsiyum iyon konsantrasyonlarının kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgumuz aynı konunun araştırıldığı diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Camargo ve diğerleri, 2006; Foster ve diğerleri, 1993; Rehman ve diğerleri, 1996).

Rehman ve diğerleri (1996), apikal üçlü bölgedeki kalsiyum iyon difüzyonlarını, pat formundaki kalsiyum hidroksit preparatı (Rootcal, Ellum International Inc., ABD) ve kalsiyum hidroksit içerikli bir kanal dolgu patı (Apexit, Vivadent, Liechtenstein) ile araştırdıkları çalışmalarında pat formundaki kalsiyum hidroksit içeren grupta tüm periyotlarda (1., 2., 3., 7. gün ve 2., 3., 4., 8. hafta) kalsiyum iyon difüzyonunun gerçekleştiğini bulgulamışlardır. Benzer sonucu daha az miktarlarda olacak şekilde kanal patı içeren grup için de bildirmişlerdir.

Çalt ve diğerleri (1999), servikal üçlü bölgedeki kalsiyum iyon difüzyonlarını, pat formundaki üç farklı kalsiyum hidroksit preparatı (DT Temporary Dressing, Dental Therapeutics AB, İsveç; Temp Canal, Pulpdent Corp., ABD; salin ile karıştırılmış toz kalsiyum hidroksit, Merck, Almanya) ve kalsiyum hidroksit içerikli güta perka kullanarak araştırdıkları çalışmalarında bizim çalışmamızla aynı periyotlarda ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Pat formundaki kalsiyum hidroksit içeren gruplarda, ölçüm yapılan tüm günlerde düzenli kalsiyum iyon difüzyonunun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bu anlamda kalsiyum hidroksit içerikli güta perkayı başarısız bulmuşlardır.

George ve diğerleri (2009), orta üçlü bölgedeki kalsiyum iyon difüzyonlarını pat formundaki kalsiyum hidroksit preparatı (ApexCal, Vivadent, Liechtenstein) ve MTA kullanarak araştırdıkları çalışmalarında 1, 7, 12, 14 ve 28. günlerde ölçümler yapmışlardır. Örneklerin içinde bulunduğu ortam olan distile suya, ölçüm yapılan tüm günlerde kalsiyum iyon difüzyonu gerçekleştiğini bulgulamışlardır. 1. günde ölçülen kalsiyum konsantrasyonları açısından negatif kontrol grubu ile kalsiyum hidroksit grubu arasında anlamlı

bir fark olmadığı, diğer günlerde ise kalsiyum hidroksit grubundaki değerlerin kontrol grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Hem bizim çalışmamızda, hem de konunun araştırıldığı diğer çalışmalarda elde edilen bulgular ışığında, kanala yerleştirilen pat formundaki kalsiyum hidroksitten ayrılan kalsiyum iyonlarının kök kanalı ile dışın bulunduğu ortam arasındaki dentin duvarını, dentin tübülleri vasıtasıyla aşabildiğini göstermektedir. Bu manada kalsiyum hidroksitin etkin rol oynadığını düşünmekteyiz.

Bulgularımıza göre MTA içerikli servikal, orta ve apikal bölge gruplarındaki kalsiyum konsantrasyonları, ölçülen tüm periyotlarda kontrol grubuna göre daha yüksek değerlerde olmasına rağmen 14. güne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. 14, 21 ve 28. günlerde ise MTA gruplarındaki kalsiyum konsantrasyon değerleri her üç kök seviyesinde de kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir.

Literatürde, MTA ve MTA benzeri materyallerin sıvı ortamlardaki kalsiyum iyon salımları çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır. Fridland ve Rosado (2003), farklı toz-likit oranları ile hazırlanan ProRoot MTA'nın çözünürlüklerini araştırdıkları çalışmalarında, sıvı ortamdaki MTA'dan ayrılan temel bileşiğin, hidroksit formundaki kalsiyum olduğunu bildirmişlerdir. Duarte ve diğerleri (2003), Angelus MTA ve ProRoot MTA'nın sıvı ortamdaki kalsiyum salımlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, ilk üç saat içerisinde en yüksek seviyede olan kalsiyum iyon salımının sonraki 168 saate kadar olan periyotlarda azalma eğilimi göstererek devam ettiğini bildirmişlerdir. Angelus MTA için, ProRoot MTA'ya göre biraz daha yüksek kalsiyum değerleri bildirmişlerdir. Vasconcelos ve diğerleri (2009), gri ProRoot MTA, gri MTA Angelus, beyaz MTA Angelus ve MTA benzeri bir materyal olan CPM'nin sıvı ortamdaki kalsiyum iyon salımlarını araştırdıkları çalışmalarında 168 saatlik çalışma süresi boyunca materyallerden düzenli kalsiyum iyon salımı olduğunu bildirmişlerdir. Benzer sonuçlar Sarkar ve diğerleri (2005),

Bortoluzzi ve diğerleri (2006), Vivan ve diğerleri (2010) tarafından da bildirilmiştir.

MTA'nın kök dentininden kalsiyum iyon difüzyonunun araştırıldığı sadece iki çalışmaya ulaşılabilmektedir. Özdemir ve diğerleri (2008)'nin yaptıkları çalışmada, MTA grubundaki örneklerin, ölçüm yapılan tüm günlerde (1, 3, 7, 14, 28. gün) kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek kalsiyum konsantrasyon değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir. George ve diğerleri (2009)'nin yürüttükleri çalışmada ise, MTA grubunun 1. günde kontrol grubu ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığı ancak takip eden günlerde (7, 12, 14, 28) ortamdaki kalsiyum miktarlarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış olduğu bildirilmiştir. Bu bağlamda MTA her iki çalışmada da, ilk iki haftalık ölçümler değerlendirildiğinde, üstelik çalışmalarda bildirilen ortalama kalan dentin kalınlıkları bizim çalışmamızdakinden yaklaşık 1,7 kat fazla olmasına rağmen, bizim çalışmamızdan daha başarılı bulunmuştur. Bu sonuçta etkili olan durumun, oluşturulan rezorpsiyon kavitelerinin yüzey alanları ile ilişkili olduğunu düşünmekteyiz. Bizim çalışmamızda oluşturduğumuz 016 nolu frezin çapı ve dolayısı ile kavitemizin çapı 1,6 mm'dir. Özdemir ve diğerleri (2008) ve George ve diğerleri (2009) ise çalışmalarında 3 mm çapında rezorpsiyon kaviteleri oluşturmuşlardır. Yaklaşık 1,8 kat olan bu farklılık, $A = \pi \cdot r^2$ formülü ile kavitelerin yüzey alanı hesaplandığında yaklaşık 3,5 kata çıkmaktadır. Yani diğer iki çalışmada oluşturulan kavitelerin yüzey alanı, bizim çalışmamızda oluşturduğumuzdan 3,5 kat daha büyüktür. Daha geniş yüzey alanına sahip örneklerden solüsyona ulaşacak olan kalsiyum iyon miktarlarının daha fazla olmasının, ilk iki haftalık ölçümlerde kontrol grubu ile istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturabileceğini ve bu durumun sonuçlarda etkili olduğunu düşünmekteyiz.

BioAggregate içerikli servikal grubuna ilişkin kalsiyum konsantrasyon verileri değerlendirilmiş ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, tüm değerlendirme periyotlarında istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek değerler bulgulanmıştır. Bu bağlamda BioAggregate'in kökün servikal üçlü

bölgesinde MTA'dan daha başarılı olduğu görülmektedir. BioAggregate içerikli orta ve apikal gruplarda ise, MTA gruplarıyla benzerlik göstererek, tüm periyotlarda kontrol grubuna göre yüksek sonuçlar elde edilmesine karşın, bu sonuçlar ancak 14. gün ve sonrasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmuştur. Yaptığımız literatür taramasında, BioAggregate gruplarına ilişkin elde ettiğimiz verileri karşılaştırabileceğimiz henüz yapılmış bir çalışma bulunamamıştır.

Tüm çalışma periyodumuz değerlendirildiğinde kalsiyum hidroksit içerikli gruplardaki örneklerde, MTA ve BioAggregate gruplarına göre yaklaşık 3 ila 5 kat daha yüksek kalsiyum konsantrasyon değerleri bulgulanmıştır. Bu sonuçlar istatistiksel olarak da anlamlı farklılık oluşturmaktadır. Tüm bu veriler ışığında, kanal içerisine yerleştirilen MTA ve BioAggregate'den ayrılan kalsiyum iyonlarının kökün tüm bölgelerinde dentin tübülleri vasıtasıyla kök yüzeyine ulaşabildiğini fakat materyallerin sahip olduğu bu yeteneklerin, kanal içerisine yerleştirilen pat formundaki kalsiyum hidroksite göre daha az ve yavaş olduğunu düşünmekteyiz. George ve diğerleri (2009)'nin çalışmasında da, kalsiyum hidroksit preparatı olan ApexCal'ın MTA'ya göre daha yüksek kalsiyum difüzyon yeteneğine sahip olduğu bulgulanmıştır. Bu sonuç bizim çalışmamızla paralellik göstermektedir.

Çalışmamızdaki, kanallarının boş olduğu dişleri içeren kontrol gruplarında kalsiyum iyonlarının bulunması, benzer çalışmalarda da bulgulanmıştır (Duarte ve diğerleri, 2012; George ve diğerleri, 2009; Özdemir ve diğerleri, 2008). Bu durumun, dinamik bir yapıya sahip olan dişin bünyesinde bulunan ve ortamla temasta olan diş yüzeyindeki hidroksiapatitten çözünen kalsiyum iyonlarından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Duarte ve diğerleri, 2012). Biz de bulguların kalsiyumun bununla birlikte, izolasyon amacıyla kullandığımız kırmızı mum veya rezorpsiyon kavitesine yapışmış olup distile su ile bolca yıkamamıza rağmen kalmış olabilecek dentin taşları veya kullandığımız materyal artıklarından

kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Benzer bir yorum Rehman ve diğerleri (1996) tarafından bildirilmiştir.

Çalışmamızda farklı kök seviyelerinde, dentin tübüllerinden gerçekleşen kalsiyum iyon difüzyonları farklılık göstermiştir. Tüm servikal bölge, orta bölge ve apikal bölge gruplarındaki kalsiyum konsantrasyonlarının ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek değer 5,37 ppm ile servikal bölge grubunda elde edilmiştir. Servikal bölge grubunu, 3,55 ppm ile orta bölge grubu ve 2,72 ppm ile apikal bölge grubu izlemiştir. Bu sonuçlar hidroksil iyonlarının dentin difüzyonunu araştıran önceki çalışmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir (Esberard ve diğerleri, 1996; Nerwich ve diğerleri, 1993; Perez ve diğerleri, 2001). Bu durumda etkili olan faktörün, kökün apikalinden servikaline doğru dentin tübüllerinin çap ve sayılarının artması ve bununla doğru orantılı olarak dentin geçirgenliğinin artması olduğunu düşünmekteyiz.

Kök kanal çapının kökün servikal ve orta üçlüsünde daha geniş olması sebebiyle, kanal yıkama solüsyonlarının kanalın apikal üçlüsüne kıyasla bu bölgelerdeki kanal duvarlarıyla daha yüksek hacimlerde temas ettiği ve smear tabakasının kanalın servikal ve orta üçlü bölgesinde, apikal üçlü bölgeye göre daha etkili bir biçimde uzaklaştırıldığı çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Khedmat ve Shokouhinejad, 2008; Mancini ve diğerleri, 2009; Wu ve diğerleri, 2012). Smear tabakasının dentin geçirgenliğini azalttığını bildiren çalışmaların sonuçlarını da göz önüne aldığımızda apikal üçlü bölgedeki düşük difüzyon değerinin bir sebebi de, apikal bölgedeki yetersiz uzaklaştırılan smear tabakası olabilir.

Kanal içerisine yerleştirilen çeşitli materyallerden salınan hidroksil iyonlarının dentin dokusuna difüzyonu birçok araştırmaya konu olmuştur.

Tronstad ve diğerleri (1981), kök kanallarına kalsiyum hidroksit yerleştirilen maymun dişlerini 1 aylık süre sonunda histolojik kesitlerde pH-indikatör solüsyon kullanarak incelemiş ve kök kanalı çevresinde yüksek değerlere sahip olup periferal dentine doğru azalan pH değerleri

bulgulamışlardır. Sement dokusunda pH'ın değişmediğini, ancak sementin mevcut olmadığı rezorpsiyon sahalarındaki dentin yüzeylerinde artmış pH değerlerini bildirmişlerdir.

Nerwich ve diğerleri (1993), kök yüzeyinin servikal ve apikal olmak üzere iki farklı bölgesinde farklı derinlikte kaviterler oluşturmuş ve bu kaviterlerdeki sıvının pH'sını, mikroelektroda sahip pH metre ile ölçmüşlerdir. Kanal içerisine yerleştirilen kalsiyum hidroksitten ayrılan hidroksil iyonlarının saatler içerisinde dentin içine diffüze olduğunu fakat kökün dış yüzeyindeki dentine ulaşması için 1-7 güne ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca servikal bölgede hidroksil iyonlarının difüzyon hızının daha yüksek olduğunu ve daha yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaştığını bulgulamışlardır.

Esberard ve diğerleri (1996), farklı kalsiyum hidroksit preparatları ile doldurulan kanallara sahip dişlerde, kök yüzeyinin servikal, orta ve apikal olmak üzere üç farklı bölgesinde oluşturdukları kaviterlerden pH ölçümleri yapmışlar ve 120 günlük süre boyunca tüm gruplarda yüksek pH değerleri elde etmişlerdir.

Çalt ve diğerleri (1999), kök kanallarını 4 farklı kalsiyum hidroksit içerikli medikamanla doldurdukları dişlerin kök yüzeylerinde kaviterler oluşturmuşlardır. Çeşitli zaman aralıklarında örneklerin bulunduğu ortamın pH değerlerini ölçmüşler ve tüm gruplar için başlangıçta elde edilen 7,64 civarındaki pH değerlerinin 28. güne kadar olan gözlem periyodunda azalma eğilimi gösterdiğini bulgulamışlardır. Bu gözlemleri neticesinde, hidroksil iyonlarının difüzyon ile dentin dış yüzeyine ulaşamadığı sonucuna varmışlardır. Bu sonuçta etkili olan faktörün, Wang ve Hume (1988)'un bildirdiği gibi, dentin yapısında bulunan ve hidroksil iyonları için yüksek derecede tamponlayıcı özellik gösteren hidroksiapatitten kaynaklanabileceğini düşünmüşlerdir. Tamponlama ile, hidroksiapatitin hidrate tabakasındaki proton kaynaklarının (H_2PO_4^- , H_2CO_3 ve H_2CO_3^-), ortama verdiği hidrojenlerin pH'ın değişimini önlediği bildirilmiştir. Wang ve Hume (1988), hidroksil iyonlarının dentin tübüllerindeki hareketini yavaşlatan

bir diğerk faktörün, hidroksil iyonlarının hidroksiapatit kristallerinin hidrate tabakası tarafından emilimi olabileceğini bildirmişlerdir.

Chamberlain ve diğerkleri (2009), kök apeksinden 1 mm, 3 mm ve 5 mm uzaklıkta rezorpsiyon kavileri oluşturmuşlar ve kanal içersine farklı seviyelerde yerleştirilen kalsiyum hidroksitin, rezorpsiyon kavilerinde oluşturduğu pH değişimini çeşitli periyotlarda araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, kanal içersine yerleştirilen kalsiyum hidroksitin, dentin tübüllerinden kök yüzeyine hidroksil iyon difüzyonuna neden olduğunu ve bu difüzyonun derecesinin, kanalın ne kadarının kalsiyum hidroksitle doldurulduğuyla ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Duarte ve diğerkleri (2012), kanal içersine yerleştirilen kalsiyum hidroksitin ultrasonik aktivasyonunun, dentin tübüllerinden eksternal kök yüzeylerine gerçekleşen kalsiyum ve hidroksil iyon difüzyonuna etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kalsiyum ve hidroksil iyonlarının kök yüzeylerine ulaşabildiğini ve ultrasonik aktivasyonun bu olguyu destekleyerek artırdığını bildirmişlerdir.

Yakın zamanda yapılan MTA ve kalsiyum hidroksitin bu konudaki etkinliğini araştıran çalışmalar da birbirleri ile çelişen sonuçlar vermektedir. Özdemir ve diğerkleri (2008)'nin yürüttükleri çalışmada, kanal içersine yerleştirilen MTA'nın, örneklerin bulunduğu ortamın pH'sında bir değişikliğe neden olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sonucu göz önünde bulundurarak, kanal içersinde ortograd kullanılan MTA'dan, kök yüzeyinde oluşacak yüksek pH'nın yaratacağı iyileşmeye katkı özelliğinin beklenmemesi gerektiğini bildirmişlerdir. Heward ve Sedgley (2011), aynı konudaki çalışmalarında MTA ve kalsiyum hidroksiti kullanmışlar, her iki grupta da hidroksil iyon difüzyonunun gerçekleştiği, bu konuda MTA'nın daha başarılı olduğunu bulgulamışlardır. Bu bulgularının ışığında, rezorptif lezyonlarda oluşturduğu alkali pH ile birlikte sahip olduğu iyi sızdırmazlık yeteneği sayesinde, özellikle kısa ve uzun dönem kalsiyum hidroksit medikasyonunun kök kırığıyla sonuçlanabileceği vakalarda bir tedavi seçeneği olabileceğini ve bu seçeneğin ileri çalışmalarla araştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Hansen

ve diğerleri (2011), bu konuda ProRoot MTA ve EndoSequence kanal tamir materyallerini 4 haftalık süre içerisinde karşılaştırdıkları çalışmalarında, ProRoot MTA grubunun alkali pH'yı daha uzun süreler muhafaza ettiğini fakat 1 hafta sonunda pH'nın azalarak 4. haftada negatif kontrol grubuyla benzer seviyeye indiğini bildirmişlerdir.

Çalışmamızda, pH değerleri ile ilgili elde ettiğimiz veriler, bütün gruplardaki ölçümü yapılan ortam olan 10 ml distile suda ufak pH değişiklikleri olduğunu göstermektedir. Kalsiyum hidroksit grubu için gerçekleşen bu değişiklikler, özellikle 14. gün ve sonrasında kontrol grubu ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar yaratmıştır. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında MTA ve BioAggregate gruplarında servikal bölgede 21. gün, orta bölgede 3. gün ve apikal bölgede 21. ve 28. gün ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşmuştur. Bu verilerden yola çıkarak, kanal içerisine yerleştirilen pat formundaki kalsiyum hidroksitten ayrılan hidroksil iyonlarının tüm kök seviyelerinde, ancak 14. gün ve sonrasında rezorpsiyon bölgesine ulaşabildiğini ve devamlılık arz ederek etkinlik gösterebileceğini düşünmekteyiz. Bu bağlamda, MTA ve BioAggregate'in, kalsiyum hidroksitle karşılaştırıldığında daha düzensiz sonuçlar verdiği ve etkinliğinin devamlılık göstermediği görülmektedir. Çalışmamızda ulaştığımız bu sonuç, Heward ve Sedgley (2011)'in çalışmalarında bildirdikleri ile çelişmekte iken Hansen ve diğerleri (2011)'nin çalışmasındaki sonuçları kısmen desteklemektedir. Bu durumun sebebi, Heward ve Sedgley (2011)'in çalışmalarında, bizim çalışmamızdan farklı olarak MTA'yı kanala yerleştirdikten sonra MTA'nın üzerini 1 mm'lik nemli kağıt kon ile örtmeleri ve nem varlığında hidroksil iyonlarının dentin tübüllerine daha iyi difüzyon göstermesi olabilir. Hansen ve diğerleri (2011) ise, EndoSequence ile MTA'yı karşılaştırdıkları çalışmalarında pozitif kontrol grubu olarak kalsiyum hidroksit kullanmışlar ve 4 haftalık tüm çalışma periyotları boyunca pozitif kontrol grubunda MTA ve EndoSequence gruplarına göre daha yüksek pH değerleri bulgulamışlardır.

Kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate gruplarındaki tüm örneklerin (apikal, orta ve servikal) pH ortalaması göz önüne alındığında, kalsiyum hidroksit grubunun ilk 2 haftalık sürelerde yaklaşık aynı pH değerlerinde seyrettiği görülmektedir. 2. ve 3. haftalar arasında ortama maksimum hidroksil iyonu salımı olduğu ve pH'ın en yüksek seviyeye ulaştığı, ardından bir hafta sonra tekrar yaklaşık aynı pH değerine döndüğü görülmektedir. MTA ve BioAggregate grupları, tüm ölçüm periyotlarında birbirleri ile çok benzer sonuçlar vermiş, 3. hafta ölçümlerinde en yüksek değerine ulaşan pH, ardından düşüşe geçmiştir. Bu düşüş MTA'ya nazaran BioAggregate'de daha fazla olmuştur.

Çalışmamızdaki kontrol gruplarında, özellikle 3. gün ve 21. gün ölçümlerinde ufak pH artışları bulgulanmıştır. Benzer bulgu, önceki benzer çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Esberard ve diğerleri, 1996; Minana ve diğerleri, 2001; Perez ve diğerleri, 2001; Sevimay ve diğerleri, 2003). Gözlemlenen bu durumu Minana ve diğerleri (2001), kanal enstrümantasyonu ve irrigasyonundan sonra dentin tübüllerinde kalan sodyum hipoklorit kalıntılarının difüzyonuna bağlayarak açıklamışlardır.

Farklı kök seviyelerinde, dentin tübüllerinden gerçekleşen hidroksil iyonlarının difüzyon miktarlarının farklılıklar gösterdiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Esberard ve diğerleri (1996), servikal ve orta kök bölgesinde, apikal kök bölgesine kıyasla hidroksil iyonlarının difüzyonunun daha hızlı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Benzer bir sonuç Nerwich ve diğerleri (1993) tarafından da vurgulanmıştır. Hansen ve diğerleri (2011) de apikalden 5 mm uzaklıkta hazırladıkları kavitelere, apikalden 2 mm uzaklıkta hazırlanan kavitelere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek pH değerleri elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz değerler de bu bulguları desteklemektedir. Çalışmamızda, 1. gün dışındaki tüm ölçümlerde servikal gruplarda daha yüksek pH değerleri ölçülmüştür. Tüm servikal, orta ve apikal bölge grupları için pH değerleri ortalamaları sırasıyla 7,29, 7,19 ve 7,13 olarak gerçekleşmiştir. Değerler arasındaki bu farklılık, birbirleri ile karşılaştırıldıklarında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

pH ölçümlerinin, örneklerin içinde bulunduğu ortamdan yapıldığı dentin difüzyon çalışmaları incelendiğinde kalsiyum hidroksit grupları için, Çalt ve diğerleri (1999) 8,13-8,48 pH aralığında, Sevimay ve diğerleri (2003) 8,13-8,48 pH aralığında, Duarte ve diğerleri (2012) ise 7,8-8,1 pH aralığında değerler bildirmişlerdir. Özdemir ve diğerleri (2009), MTA grubu için 7,41-7,49 pH aralığında değerleri bildirmiştir. Bizim yaptığımız çalışmada ise kalsiyum hidroksit grubu için elde ettiğimiz pH değerleri 6,9-7,9 aralığındadır. MTA ve BioAggregate grubundaki değerlerimiz ise 6,7-7,7 pH aralığındadır. Bu farklılıkların sebebinin ölçümlerin distile su, deiyonize su ve salin gibi farklı maddelerin farklı miktarlarından (10-20 ml) yapılması ve açılan rezorpsiyon alanlarının boyutlarının farklılıklar göstermesinden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Örneklerin bulunduğu ortamdan çıkarılıp kurutulduğu, ardından sadece rezorpsiyon kavitesinin distile su ile (yaklaşık 2 µL) doldurulup pH ölçümlerinin mikroelevtroda sahip pH metre ile bu sıvıdan yapıldığı çalışmalarda daha yüksek pH değerleri bildirilmiştir. Esberard ve diğerleri (1996), farklı kalsiyum hidroksit patları için bu metodla ölçüm yapılan pH değerlerinin, 120 günlük incelemelerdeki hiçbir periyotta 9,4'ün altına düşmediğini bulgulamışlardır. Ardeshtna ve diğerleri (2001) ise 3 hafta süresince ölçüm yaptıkları çalışmalarında, pat formundaki kalsiyum hidroksit içeren servikal bölge grupları için ortalama pH'ın 11,25, apikal bölge grupları için ortalama pH'ın 10,88 olduğunu bildirmişlerdir. Heward ve Sedgley (2011), aynı amaçla yürüttükleri çalışmalarında MTA ve kalsiyum hidroksit patı için sırasıyla ortalama 8,66 ve 8,46 pH değerleri bildirmişlerdir.

Klinik şartlarda hidroksil iyonlarının etki göstermesini amaçladığımız alan oldukça küçüktür. Bizim yürüttüğümüz çalışmamızda da kullandığımız gibi, 10 ml'lik distile suda çözünecek hidroksil iyonlarının yaratacağı pH değişimi, materyallerin hidroksil iyonlarının difüzyon kapasitelerini tam anlamıyla yansıtmayabilir. Çalışmamızın sonuçları, tüm gruplarda hidroksil iyonlarının dentin bariyerini aşip rezorpsiyon sahasına ulaşabildiğine işaret etmektedir. Fakat materyallerin bu potansiyellerini tam anlamıyla

karşılaştırabilmek için daha ileri in-vitro ve in-vivo çalışmaların yürütülmesi gerektiğini düşünmekteyiz.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının sınırları dahilinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

1. Kök kanalı içerisine yerleştirilen pat formundaki kalsiyum hidroksitten ayrılan kalsiyum ve hidroksil iyonları yaklaşık 0,85 mm kalınlığındaki dentin bariyerini aşmış sementten yoksun kök yüzeylerine ulaşabilmektedir. Kalsiyum iyonları için ilk günden itibaren gerçekleşen bu olgu, hidroksil iyonları için ancak 14. günden itibaren gerçekleşerek devamlılık arz etmektedir.
2. Kök kanalı içerisine yerleştirilen MTA ve BioAggregate materyallerinden ayrılan kalsiyum ve hidroksil iyonları, aynı dentin bariyerini aşmış sementten yoksun kök yüzeylerine ulaşabilmektedir. Ancak bu etkinlikleri kalsiyum iyonu için özellikle 14. günden sonra gerçekleşirken, hidroksil iyonları için düzensiz ve sürekli değildir.
3. MTA ve BioAggregate materyalleri araştırılan konu itibarıyla benzer özellikler göstermişler ve tüm çalışma periyodu boyunca birbirlerine göre üstünlük sergilememişlerdir.
4. Hemen hemen tüm çalışma periyodu boyunca kalsiyum ve hidroksil iyon difüzyonları açısından kalsiyum hidroksit, MTA ve BioAggregate'e göre üstün özellikler sergilemiştir.
5. Hem kalsiyum hem de hidroksil iyonlarının dentin tübüllerinden difüzyonu, kökün farklı seviyelerinde farklılıklar göstermiştir. En yüksek değerler servikal kök bölgesinden elde edilirken servikal bölgeyi sırasıyla orta ve apikal kök bölgeleri izlemiştir.

Çalışmamızda kullandığımız MTA ve BioAggregate materyalleri pat formundaki kalsiyum hidroksitten 28 günlük çalışma periyodunda daha yavaş ve düşük miktarlarda kalsiyum ve hidroksil iyon difüzyonları göstermiş olsalar da, sonraki periyodlarda bu durum materyaller için avantaj yaratabilir.

Kullanıldıkları kök bölgesinde daimi olarak kalacak olan bu materyallerin uzun dönemde yavaş ve düzenli etki gösterebileceği düşüncesi

ve kalsiyum hidroksitin sahip olduğu dezavantajları göz önüne alarak, özellikle fraktür riski yüksek eksternal kök rezopsiyonu görülen vakalarda ortograd dolgu maddesi olarak kullanımı bir seçenek olabilir. Fakat araştırdığımız konuda daha uzun dönemleri kapsayacak çalışmalar hedeflenmeli ve yapılacak olan in-vitro çalışmaların mutlaka klinik çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir. Son yıllarda kök kanal dolgu patı formunda ortaya çıkan MTA içerikli MTA-Fillapex, Endo-CPM Sealer gibi materyallerin de bu konudaki etkinliklerinin araştırılması sonraki çalışma hedeflerimizden birini oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aeinehchi, M., Eslami, B., Ghanbariha, M. ve Saffar, A.S. (2003). Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. *International Endodontic Journal*, 36(3), 225-231.
- Aggarwal, V. ve Singla, M. (2010). Management of inflammatory root resorption using MTA obturation - a four year follow up. *British Dental Journal*, 208(7), 287-289.
- Akamine, A., Anan, H., Hamachi, T ve Maeda, K. (1994a). A histochemical study of the behavior of macrophages during experimental apical periodontitis in rats. *Journal of Endodontics*, 20(10), 474-478.
- Akamine, A., Hashiguchi, I., Toriya, Y ve Maeda, K. (1994b). Immunohistochemical examination on the localization of macrophages and plasma cells in induced rat periapical lesions. *Endodontics and Dental Traumatology*, 10(3), 121-128.
- Al-Nazhan, S. ve Al-Judai, A. (2003). Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 29(12), 826-827.
- Alqerban, A., Jacobs, R., Souza, P.C. ve Willems, G. (2009). In-vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(6), 764.e1-764.e11.
- American Academy of Pediatric Dentistry Reference Manual. (2011). Guideline on management of acute dental trauma. *Paediatric Dentistry*, 33(6), 220-228.

American Association of Endodontists. (2003). *Glossary of Endodontic Terms 7th ed.*

American Association of Endodontists. (2004). *Recommended guidelines of the American Association of Endodontists for the Treatment of Traumatic Dental Injuries.*

Andreasen, J.O. (1970). Luxation of permanent teeth due to trauma. A clinical and radiographic follow-up study of 189 injured teeth. *Scandinavian Journal of Dental Research*, 78(3), 273-286.

Andreasen, J.O. (1981). Relationship between surface and inflammatory resorption and changes in the pulp after replantation of permanent incisors in monkeys. *Journal of Endodontics*, 7(7), 294-301.

Andreasen, J.O. (1989). Review of root resorption systems and models: Etiology of root resorption and the homeostatic mechanisms of the periodontal ligament. In: Davidovitch ed. *The Biologic Mechanisms of Tooth Eruption and Resorption*. Birmingham, Alabama: EB-SCOP Media. Aktaran: Trope, M. (2002). Root resorption due to dental trauma. *Endodontic Topics*, 1(1), 79-100.

Andreasen, J.O., Farik, B. ve Munksgaard, E.C. (2002). Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology* 18(3), 134–137.

Ardeshtna, S.M., Qualtrough, A.J. ve Worthington, H.V. (2002). An in vitro comparison of pH changes in root dentine following canal dressing with calcium hydroxide points and a conventional calcium hydroxide paste. *International Endodontic Journal*, 35(3), 239-244.

- Armas, J.M., Savarrio, L. ve Brocklebank, L.M. (2008). External apical root resorption: two case reports. *International Endodontic Journal*, 41(11), 997-1004.
- Asgary, S., Parirokh, M., Eghbal, M.J. ve Brink, F. (2005). Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 31, 101–103.
- Asrari, M. ve Lobner, D. (2003). In vitro neurotoxic evaluation of root-end-filling materials. *Journal of Endodontics*, 29(11), 743-746.
- Baek, S.H., Plenck, H. Jr ve Kim, S. (2005). Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *Journal of Endodontics*, 31(6), 444-449.
- Bakland, L.K. (1992). Root resorption. *Dental Clinics of North America*, 36(2), 491-507.
- Bargholz, C. (2005). Perforation repair with mineral trioxide aggregate: a modified matrix concept. *International Endodontic Journal*, 38(1), 59-69.
- Bartkiewicz, M., Hernando, N., Reddy, S.V., Roodman, D.G. ve Baron, R. (1995). Characterization of the osteoclast vacuolar H⁺ –ATPase B-subunit. *Gene*, 160(2), 157-64.
- Bartold, P.M., Walsh, L.J. ve Narayanan, A.S. (2000). Molecular and cell biology of the gingiva. *Periodontology 2000*, 24,28-55.

- Bate, S. (1856). Absorption. *British Journal of Dental Science*, 1, 256.
- Aktaran: Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- Becks, H. ve Marshall, J.A. (1932). Resorption or absorption? *Journal of American Dental Association*, 1528–1537. Aktaran: Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- Bogen, G. ve Kuttler, S. (2009). Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *Journal of Endodontics*, 35(6), 777-790.
- Bonson, S., Jeansonne, B.G. ve Lallier, T.E. (2004). Root-end filling materials alter fibroblast differentiation. *Journal of Dental Research*, 83(5), 408-413.
- Bortoluzzi, A.E., Broon, J.N., Duarte, A.H.M., de Oliveira Demarchi, A.C. ve Bramante, M.C. (2006). The use of a setting accelerator and its effect on pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and white Portland cement. *Journal of Endodontics*, 32(12), 1194-1197.
- Bowden, G.H. ve Hamilton, I.R. (1998). Survival of oral bacteria. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*, 9(1), 54-85.
- Bozeman, T.B., Lemon, R.R. ve Eleazer, P.D. (2006). Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *Journal of Endodontics*, 32(5), 425-428.
- Broekaert, J.A.C. (2005). *Analytical Atomic Spectrometry with Flames and Plasmas*. Almanya: Wiley-Vch.

- Byström, A. ve Sundqvist, G. (1981). Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scandinavian Dental Research*, 89(4), 321-328.
- Bystrom, A., Claesson, R. ve Sundqvist, G. (1985). The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endodontics and Dental Traumatology*, 1(5), 170-175.
- Caicedo, R., Abbott, P.V., Alongi, D.J. ve Alarcon, M.Y. (2006). Clinical, radiographic and histological analysis of the effects of mineral trioxide aggregate used in direct pulp capping and pulpotomies of primary teeth. *Australian Dental Journal*, 51(4), 297-305.
- Camargo, C.H., Bernardineli, N., Valera, M.C., de Carvalho, C.A., de Oliveira, L.D., Menezes, M.M. ve diğerleri. (2006). Vehicle influence on calcium hydroxide pastes diffusion in human and bovine teeth. *Dental Traumatology*, 22(6), 302-306.
- Camilleri, J., Montesin, F.E., Brady, K., Sweeney, R., Curtis, R.V. ve Ford, T.R. (2005). The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dental Materials*, 21(4), 297-303.
- Camilleri, J. (2008). Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 41(5), 408-417.
- Canoglu, E., Turgut, M.D. ve Tekcicek, M. (2010). Healing of External Inflammatory Root Resorptions and Periapical Lesions without Surgical Treatment in an Operated Oblique Facial Cleft Case. *European Dental Journal*, 4(2), 208-214.

- Carrigan, P.J., Morse, D.R., Furst, M.L. ve Sinai, I.H. (1984). A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *Journal of Endodontics*, 10(8),359-363.
- Chai, W.L., Hamimah, H., Cheng, S.C., Sallam, A.A. ve Abdullah, M. (2007). Susceptibility of *Enterococcus faecalis* biofilm to antibiotics and calcium hydroxide. *Journal of Oral Science*, 49(2), 161-166.
- Chamberlain, T.M., Kirkpatrick, T.C. ve Rutledge, R.E. (2009). pH changes in external root surface cavities after calcium hydroxide is placed at 1, 3 and 5 mm short of the radiographic apex. *Dental Traumatology*, 25(5), 470-474.
- Cholia, S.S., Wilson, P.H. ve Makdissi, J. (2005). Multiple idiopathic external apical root resorption: report of four cases. *Dentomaxillofacial Radiology*, 34(4), 240-246.
- Chong, B.S., Pitt Ford, T.R. ve Hudson, M.B. (2003). A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *International Endodontic Journal*, 36(8), 520-526.
- Cook, J., Nandakumar, R. ve Fouad, A.F. (2007). Molecular- and culture-based comparison of the effects of antimicrobial agents on bacterial survival in infected dentinal tubules. *Journal of Endodontics*, 33(6), 690-692.
- Cvek, M., Cleaton-Jones, P., Austin, J., Lownie, J., Kling, M. ve Fatti, P. (1990). Effect of topical application of doxycycline on pulp revascularization and periodontal healing in reimplanted monkey incisors. *Endodontics and Dental Traumatology*, 6(4), 170-176.

- Çalışkan, M.K. ve Türkün, M. (1997). Prognosis of permanent teeth with internal resorption: a clinical review. *Endodontics and Dental Traumatology*, 13(2), 75-81.
- Çalışkan, K. (2006). *Endodontide Tanı ve Tedaviler*. İstanbul:Nobel Tıp Kitabevi
- Çalt, S., Serper, A., Özçelik, B. ve Dalat, M.D. (1999). pH changes and calcium ion diffusion from calcium hydroxide dressing materials through root dentin. *Journal of Endodontics*, 25(5), 329-331.
- Dammaschke, T., Gerth, H.U., Züchner, H. ve Schäfer, E. (2005). Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dental Materials*, 21(8), 731-738.
- Danesh, G., Dammaschke, T., Gerth, H.U., Zandbiglari, T. ve Schäfer, E. (2006). A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *International Endodontic Journal*, 39(3), 213-219.
- Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- de Souza Costa, C.A., Duarte, P.T., de Souza, P.P., Giro, E.M. ve Hebling, J. (2008). Cytotoxic effects and pulpal response caused by a mineral trioxide aggregate formulation and calcium hydroxide. *American Journal of Dentistry*, 21(4), 255-261.

- de Vasconcelos, B.C., Bernardes, R.A., Cruz, S.M., Duarte, M.A., Padilha Pde, M., Bernardineli, N. ve diğerleri. (2009). Evaluation of pH and calcium ion release of new root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 108(1), 135-139.
- De-Deus, G., Canabarro, A., Alves, G., Linhares, A., Senne, M.I. ve Granjeiro, J.M. (2009). Optimal cytocompatibility of a bioceramic nanoparticulate cement in primary human mesenchymal cells. *Journal of Endodontics*, 35(10), 1387-1390.
- Distel, J.W., Hatton, J.F. ve Gillespie, M.J. (2002). Biofilm formation in medicated root canals. *Journal of Endodontics*, 28(10), 689-693.
- Dohaithem, A, Al-Nasser A, Al-Badah A, Al-Nazhan S, Al-Maflehi N. (2011). An in vitro evaluation of antifungal activity of bioaggregate. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 112(4), e27-30.
- Domon, T., Osanai, M., Yasuda, M., Seki, E., Takahashi, S., Yamamoto, T. ve diğerleri. (1997). Mononuclear odontoclast participation in tooth resorption: the distribution of nuclei in human odontoclasts. *The Anatomical Record*, 249(4), 449-457.
- Duarte, M.A., Demarchi, A.C., Giaxa, M.H., Kuga, M.C., Fraga, S.C. ve de Souza, L.C. (2000). Evaluation of pH and calcium ion release of three root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 26(7), 389-390.
- Duarte, M.A., Demarchi, A.C., Yamashita, J.C., Kuga, M.C. ve Fraga, S.C. (2003). pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 95(3), 345-347.

- Duarte, M.A., Balan, N.V., Zeferino, M.A., Vivan, R.R., Morais, C.A., Tanomaru-Filho, M. ve diğeri. (2012). Effect of Ultrasonic Activation on pH and Calcium Released by Calcium Hydroxide Pastes in Simulated External Root Resorption, *Journal of Endodontics*, baskıda.
- Ebdon, L., Evans, E.H., Fisher, A. ve Hill, S.J. (1998). *An Introduction to Atomic Absorption Spectroscopy, A Self Teaching Approach*, London: John Wiley & Sons.
- Economides, N., Pantelidou, O., Kokkas, A. ve Tziafas, D. (2003). Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *International Endodontic Journal*, 36(1), 44-48.
- Eldeniz, A.U., Erdemir, A., Kurtoglu, F. ve Esener, T. (2007). Evaluation of pH and calcium ion release of Acroseal sealer in comparison with Apexit and Sealapex sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 103(3), e86-91.
- Er, K. ve Akpınar, K.E. (2003). Apeksifikasyon (Bir olgu bildirimi). *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 6(1), 54-59.
- Esberard, R.M., Carnes, D.L. ve Jr del Rio, C.E. (1996). Changes in pH at the dentin surface in roots obturated with calcium hydroxide pastes. *Journal of Endodontics*, 22(8), 402-405.
- Estrela, C., Sydney, G.B., Bammann, L.L. ve Felipe Júnior, O. (1995). Mechanism of action of calcium and hydroxyl ions of calcium hydroxide on tissue and bacteria. *Brazilian Dental Journal*, 6(2), 85-90.
- Eymirli, A. ve Serper, A. (2010). Endodontide kalsiyum hidroksit kullanımı. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi*, 1(3), 16-23.

- Fava, L.R. (1991). Pastas de hidróxido de cálcio. Considerações sobre seu emprego clínico em Endodontia. *Revista Paulista de Odontologia* 13, 36-43.
- Aktaran: Fava, L.R. ve Saunders, W.P. (1999). Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *International Endodontic Journal*, 32(4), 257-282.
- Fava, L.R. ve Saunders, W.P. (1999). Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *International Endodontic Journal*, 32(4), 257-282.
- Fernández-Yáñez Sánchez, A., Leco-Berrocal, M.I. ve Martínez-González, J.M. (2008). Metaanalysis of filler materials in periapical surgery. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, 13(3), 180-185.
- Fischer, E.J., Arens, D.E. ve Miller, C.H. (1998). Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as a root-end filling material. *Journal of Endodontics*, 24(3), 176-179.
- Fogel, H.M. ve Peikoff, M.D. (2001). Microleakage of root-end filling materials. *Journal of Endodontics*, 27(7), 456-458.
- Ford, T.R., Torabinejad, M., McKendry, D.J., Hong, C.U. ve Kariyawasam, S.P. (1995). Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 79(6), 756-763.
- Ford, T.R., Torabinejad, M., Abedi, H.R., Bakland, L.K. ve Kariyawasam, S.P. (1996). Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *Journal of American Dental Association*, 127(10), 1491-1494.

- Foreman, P.C. ve Barnes, I.E. (1990). Review of calcium hydroxide. *International Endodontic Journal*, 23(6), 283-297.
- Foster, K.H., Kulild, J.C. ve Weller, R.N. (1993). Effect of smear layer removal on the diffusion of calcium hydroxide through radicular dentin. *Journal of Endodontics*, 19(3), 136-140.
- Fridland, M. ve Rosado, R. (2003). Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *Journal of Endodontics*, 29(12), 814-817.
- Fridland, M. ve Rosado, R. (2005). MTA solubility: a long term study. *Journal of Endodontics*, 31(5), 376-379.
- Fuss, Z., Tsesis, I. ve Lin, S. (2003). Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dental Traumatology*, 19(4), 175-182.
- Garant, P.R. (2003). *Oral Cells and Tissues*. Michigan:Quintessence Publishing.
- George, G.K., Rajkumar, K., Sanjeev, K. ve Mahalaxmi, S. (2009). Calcium ion diffusion levels from MTA and ApexCal in simulated external root resorption at middle third of the root. *Dental Traumatology*, 25(5), 480-483.
- Ghaziani, P., Aghasizadeh, N. ve Sheikh-Nezami, M. (2007). Endodontic treatment with MTA apical plugs: a case report. *Journal of Oral Science*, 49(4), 325-329.

- Ghazvini, S.A., Tabrizi, M.A., Kobarfard, F., Baghban, A.A. ve Asgary, S. (2009). Ion release and pH of a new endodontic cement, MTA and Portland cement. *Iranian Endodontic Journal*, 4(2), 74-78.
- Ghoddusi, J., Sanaan, A. ve Shahrami, F. (2007). Clinical and radiographic evaluation of root perforation repair using MTA. *New York State Dental Journal*, 73(3), 46-49.
- Giachelli, C.M. ve Steitz, S. (2000). Osteopontin: a versatile regulator of inflammation and biomineralization. *Matrix Biology* 19(7), 615-622.
- Goldman, M., Goldman, L.B., Cavaleri, R., Bogis, J. ve Lin, P.S. (1982). The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: Part 2. *Journal of Endodontics* 8(11), 487-492.
- Gronthos, S., Brahim, J., Li, W., Fisher, L.W., Cherman, N., Boyde, A. ve diğerleri. (2002) Stem cell properties of human dental pulp stem cells. *Journal of Dental Research*, 81(8), 531-535.
- Gu, G., Mulari, M., Peng, Z., Hentunen, T.A. ve Väänänen, H.K. (2005). Death of osteocytes turns off the inhibition of osteoclasts and triggers local bone resorption. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 335(4), 1095-1101.
- Güzeler, I., Uysal, S. ve Cehreli, Z.C. (2010). Management of trauma-induced inflammatory root resorption using mineral trioxide aggregate obturation: two-year follow up. *Dental Traumatology*, 26(6), 501-504.
- Haapasalo, M. ve Orstavik, D. (1987). In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *Journal of Dental Research*, 66(8), 1375-1379.

- Haapasalo, H.K., Sirén, E.K., Waltimo, T.M., Ørstavik, D. ve Haapasalo, M.P. (2000). Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *International Endodontic Journal*, 33(2), 126-131.
- Haapasalo, M., Qian, W., Portenier, I. ve Waltimo T. (2007). Effects of dentin on the antimicrobial properties of endodontic medicaments. *Journal of Endodontics*, 33(8), 917-925.
- Halliwell, B. (1987). Oxidants and human disease: some new concepts. *The FASEB Journal*, 1(5), 358-864.
- Hall-Stoodley, L., Costerton, J.W. ve Stoodley, P. (2004). Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews. Microbiology*, 2(2), 95-108.
- Hammarstrom, L. ve Lindskog, S. (1985). General morphological aspects of resorption of teeth and alveolar bone. *International Endodontic Journal*, 18(2), 93-108.
- Hammarstrom, L.E., Blomlof, L.B., Feiglin, B. ve Lindskog, S.F. (1986). Effect of calcium hydroxide treatment on periodontal repair and root resorption. *Endodontics and Dental Traumatology*, 2(5), 184-189.
- Hansen, S.W., Marshall, J.G. ve Sedgley, C.M. (2011). Comparison of intracanal EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA to induce pH changes in simulated root resorption defects over 4 weeks in matched pairs of human teeth. *Journal of Endodontics*, 37(4), 502-506.
- Hasselgren, G., Olsson, B. ve Cvek, M. (1988). Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *Journal of Endodontics*, 14(3), 125-127.

- Heino, T.J., Hentunen, T.A. ve Väänänen, H.K. (2002). Osteocytes inhibit osteoclastic bone resorption through transforming growth factor-beta: enhancement by estrogen. *Journal of Cellular Biochemistry*, 85(1), 185-197.
- Heithersay, G.S. (2007). Management of tooth resorption. *Australian Dental Journal*. 52(1 Suppl), 105-121.
- Heward, S. ve Sedgley, C.M. (2011). Effects of intracanal mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide during four weeks on pH changes in simulated root surface resorption defects: an in vitro study using matched pairs of human teeth. *Journal of Endodontics*, 37(1), 40-44.
- Hill, P.A. (1998). Bone remodelling. *British Journal of Orthodontics*, 25(2), 101-107.
- Holden, D.T., Schwartz, S.A., Kirkpatrick, T.C. Schindler WG. (2008). Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. *Journal of Endodontics*, 34(7), 812-817.
- Hsien, H.C., Cheng, Y.A., Lee, Y.L., Lan, W.H. ve Lin, C.P. (2003). Repair of perforating internal resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *Journal of Endodontics*, 29(8), 538-539.
- Imlay, J.A. ve Linn, S. (1988). DNA damage and oxygen radical toxicity. *Science*, 3,240(4857), 1302-1309.
- Islam, I., Chng, H.K. ve Yap, A.U. (2006). Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *Journal of Endodontics*, 32(3), 193-197.

- Iwamoto, C.E., Adachi, E., Pameijer, C.H., Barnes, D., Romberg, E.E. ve Jefferies, S. (2006). Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. *American Journal of Dentistry*, 19(2), 85-90.
- Kanas, R.J. ve Kanas, S.J. (2011). Dental Root Resorption: A Review of the Literature and a Proposed New Classification. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 32(3).
- Ketcham, A.H. (1927). A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *International Journal of Orthodontics*, 13, 97–127. Aktaran: Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- Ketcham, A.H. (1929). A progress report of an investigation of apical root resorption of vital permanent teeth. *International Journal of Orthodontics*, 15, 310–328. Aktaran: Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- Kettering, J.D. ve Torabinejad, M. (1995). Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of Endodontics*, 21(11), 537-542.
- Khedmat, S. ve Shokouhinejad, N. (2008). Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal. *Journal of Endodontics*, 34(5), 599-602.
- Koch, K. (2009). Bioceramic technology—a game changer in endodontic obturation. *Endodontic Practice US*, 4, 13-17.

- Koh, E.T., McDonald, F., Pitt Ford, T.R. ve Torabinejad, M. (1998). Cellular response to Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 24(8), 543-547.
- Koh, E.T., Torabinejad, M., Pitt Ford, T.R., Brady, K. ve McDonald, F. (1997). Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 5;37(3), 432-439.
- Kolliker, A. (1873). Die Normale resorption des Knochengewebes und Ihre Bedeutung fur die Entstehung der typischen Knochenformen. F. C. W. Vogel, Leipzig. Aktaran: Zaidi, M., Pazianas, M., Shankar, V.S., Bax, B.E., Bax, C.M.R., Bevis, P.J.R. ve diğerleri. (1993). Osteoclast function and its control. *Experimental Physiology*, 78(4), 721-739.
- Kong, Y.Y., Yoshida, H., Sarosi, I., Tan, H.L., Timms, E., Capparelli, C. ve diğerleri. (1999). OPGL is a key regulator of osteoclastogenesis, lymphocyte development and lymph-node organogenesis. *Nature*, 397(6717), 315-323.
- Kontakiotis, E., Nakou, M. ve Georgopoulou, M. (1995). In vitro study of the indirect action of calcium hydroxide on the anaerobic flora of the root canal. *International Endodontic Journal*, 28(6), 285-289.
- Kuga, M.C., de Campos, E.A., Viscardi, P.H., Carrilho, P.Z., Xavier, P.C. ve Silvestre, N.P. (2011). Hydrogen ion and calcium releasing of MTA fillapex and MTA-based formulations. *RSBO-Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 8(3), 271-276.

- Kuga, M.C., de Campos, E.A., Faria-Junior, N.B., Só, M.V. ve Shinohara AL. (2012). Efficacy of NiTi rotary instruments in removing calcium hydroxide dressing residues from root canal walls. *Brazilian Oral Research*, 26(1), 19-23.
- Kusgoz, A., Yildirim, T., Tanriver, M. ve Yesilyurt, C. (2009). Treatment of horizontal root fractures using MTA as apical plug: report of 3 cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 107(5), e68-72.
- Laux, M., Abbott, P.V., Pajarola, G. ve Nair, P.N. (2000). Apical inflammatory root resorption: a correlative radiographic and histological assessment. *International Endodontic Journal*, 33(6), 483-93.
- Lawley, G.R., Schindler, W.G., Walker, W.A. ve Kolodrubetz D. (2004). Evaluation of ultrasonically placed MTA and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *Journal of Endodontics*, 30(3), 167-172.
- Leal, F., De-Deus, G., Brandão, C., Luna, A.S., Fidel, S.R. ve Souza, E.M. (2011). Comparison of the root-end seal provided by bioceramic repair cements and White MTA. *International Endodontic Journal*, 44(7), 662-668.
- Lee, S.J., Monsef, M. ve Torabinejad, M. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *Journal of Endodontics*, 19(11), 541-544.

- Leonardo, M.R., Leal, J.M. ve Simoes Filho, A.P. (1982). Endodontia Tratamento dos Canais Radiculares. Sao o Paulo: Panamericana.
- Aktaran: Fava, L.R. ve Saunders, W.P. (1999). Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *International Endodontic Journal*, 32(4), 257-282.
- Leonardo, M.R., Silva, R.A., Assed, S. ve Nelson-Filho, P. (2004). Importance of bacterial endotoxin (LPS) in endodontics. *Journal of Applied Oral Science*, 12(2), 93-98.
- Levin, L. ve Trope, M. (2002). Root Resorption. Hargreaves, K.M. ve Goodis, H.E. (Ed.). *Seltzer and Bender's Dental Pulp* (s. 425-447). Çin: Quintessence Publishing.
- Lindskog, A., Pierce, A.M., Blomlof, L. ve Hammarstrom, L. (1985). The role of the necrotic periodontal membrane in cementum resorption and ankylosis. *Endodontics and Dental Traumatology*, 1(3), 96-101.
- Lohbauer, U., Gambarini, G., Ebert, J., Dasch, W. ve Petschelt, A. (2005). Calcium release and pH-characteristics of calcium hydroxide plus points. *International Endodontic Journal*, 38(10), 683-689.
- Lucas, V.S. (1993). Association of psychotropic drugs, prevalence of denture-related stomatitis and oral candidosis. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 21(5), 313-316.
- Main, C., Mirzayan, N., Shabahang, S. ve Torabinejad, M. (2004). Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *Journal of Endodontics*, 30(2), 80-83.

- Malmgren, O. ve Levander, E. (2003). Minimizing orthodontically induced root resorption: Guidelines based on a review of clinical studies. *World Journal of Orthodontics*, 4(1), 19-30.
- Mancini, M., Armellin, E., Casaglia, A., Cerroni, L. ve Cianconi, L. (2009). A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *Journal of Endodontics*, 35(6), 900-903.
- Mannocci, F., Pilecki, P., Bertelli, E., Watson, T.F. (2004). Density of dentinal tubules affects the tensile strength of root dentin. *Dental Materials*, 20(3), 293-296.
- Marshall, G.W., (1993). Dentin: microstructure and characterization. *Quintessence International*, 24(9), 606-617.
- Marshall, G.W., Marshall, S.J., Kinney, J.H. ve Balooch, M. (1997). The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *Journal of Dentistry*, 25(6), 441-458.
- Martin, R.L., Monticelli, F., Brackett, W.W., Loushine, R.J., Rockman, R.A., Ferrari, M. ve diğerleri. (2007). Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *Journal of Endodontics*, 33(3), 272-275.
- Massi, S., Tanomaru-Filho, M., Silva, G.F., Duarte, M.A., Grizzo, L.T., Buzalaf, M.A. ve diğerleri. (2011). pH, calcium ion release, and setting time of an experimental mineral trioxide aggregate-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 37(6), 844-846.

- Matt, G.D., Thorpe, J.R., Strother, J.M. ve McClanahan, S.B. (2004). Comparative study of white and gray mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a one- or two-step apical barrier technique. *Journal of Endodontics*, 30(12), 876-879.
- Meire, M. ve De Moor, R. (2008). Mineral trioxide aggregate repair of a perforating internal resorption in a mandibular molar. *Journal of Endodontics*, 34(2), 220-223.
- Miñana, M., Carnes, D.L. ve Jr Walker, W.A. (2001). PH changes at the surface of root dentin after intracanal dressing with calcium oxide and calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 27(1), 43-45.
- Mjör, I.A., ve Nordahl, I. (1996). The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Archives of Oral Biology*, 41(5), 401-412.
- Mohammadi, Z., Modaresi, J. ve Yazdizadeh, M. (2006). Evaluation of the antifungal effects of mineral trioxide aggregate materials. *Australian Endodontic Journal*, 32(3), 120-122.
- Mohammadi, Z. ve Dummer, P.M. (2011). Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *International Endodontic Journal*, 44(8), 697-730.
- Mori, G.G., Ferreira, F.C., Batista, F.R., Godoy, A.M. ve Nunes, D.C. (2009). Evaluation of the diffusion capacity of calcium hydroxide pastes through the dentinal tubules. *Brazilian Oral Research*, 23(2), 113-118.
- Mukhtar-Fayyad, D. (2011). Cytocompatibility of new bioceramic-based materials on human fibroblast cells (MRC-5). *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 112(6), e137-142.

- Nair, P.N., Pajarola, G. ve Schroeder, H.E. (1996). Types and incidence of human periapical lesions obtained with extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 81(1), 93-102.
- Nair, P.N. (1997). Apical periodontitis: a dynamic encounter between root canal infection and host response. *Periodontology 2000*, 13(1), 121-148.
- Nair, P.N., Henry, S., Cano, V. ve 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 & Endodontics*, 99(2), 231-252.
- Nakamura, I., Takahashi, N., Sasaki, T., Jimi, E., Kurokawa, T. ve Suda T. (1996). Chemical and physical properties of the extracellular matrix are required for the actin ring formation in osteoclasts. *Journal of Bone & Mineral Research*, 11(12), 1873-1879.
- Nakata, T.T., Bae, K.S. ve Baumgartner, J.C. (1998). Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *Journal of Endodontics*, 24(3), 184-186.
- Ne, R.F., Witherspoon, D.E. ve Gutmann, J.L. (1999). Tooth Resorption. *Quintessence International*, 30(1), 9-25.
- Nelson-Filho, P., Leonardo, M.R. ve Silva, L.A. ve Assed, S. (2002). Radiographic evaluation of the effect of endotoxin (LPS) plus calcium hydroxide on apical and periapical tissues of dogs. *Journal of Endodontics*, 28(10), 694-696.

- Nerwich, A., Figdor, D. ve Messer, H.H. (1993). pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 19(6), 302-306.
- Orban, B. (1952). The epithelial network in the periodontal membrane. *Journal of the American Dental Association*, 44(6), 632-635.
- Orchardson, R. ve Cadden, S.W. (2001). An update on the physiology of the dentine-pulp complex. *Dental Update*, 28(4), 200-206.
- Orhan, K., Aksoy, U. ve Kalender, A. (2010). Cone-beam computed tomographic evaluation of spontaneously healed root fracture. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1584-1587.
- Ottolengui, R. (1914). The physiological and pathological resorption of tooth roots. *Item of Interest*, 36, 332-362. Aktaran: Darendeliler, M.A. ve Cheng, L.L. (2009). Root Resorption in Orthodontics. Eliades, T., Pandis, N. (Ed.) *Self-Ligation in Orthodontics* (s. 85-109). Singapur: Wiley-Blackwell.
- Ozdemir, H.O., Ozçelik, B., Karabucak, B. ve Cehreli, Z.C. (2008). Calcium ion diffusion from mineral trioxide aggregate through simulated root resorption defects. *Dental Traumatology*, 24(1), 70-73.
- Pace, R., Giuliani, V. ve Pagavino, G. (2008). Mineral trioxide aggregate in the treatment of external invasive resorption: a case report. *International Endodontic Journal*, 41(3), 258-266.
- Pandis, N., Nasika, M., Polychronopoulou, A. ve Eliades, T. (2008). External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(5), 646-651.

- Parirokh, M. ve Torabinejad, M. (2010a). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16-27.
- Parirokh, M. ve Torabinejad, M. (2010b). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of Endodontics*, 36(3), 400-413.
- Park, J.W., Hong, S.H., Kim, J.H., Lee, S.J. ve Shin, S.J. (2010). X-Ray diffraction analysis of white ProRoot MTA and Diadent BioAggregate. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 109(1), 155-158.
- Pashley, D.H. (1988). Consideration of dentine permeability in cytotoxicity testing. *International Endodontic Journal*, 21(2), 143-154.
- Pashley, D. (2002). Pulpodentin Complex. Hargreaves, K.M. ve Goodis, H.E. (Ed.). *Seltzer and Bender's Dental Pulp* (s. 63-93). Çin: Quintessence Publishing.
- Pashley, D.H., Liewehr, F.R. (2006). Structure and Functions of the Dentin and Pulp Complex. S. Cohen, K.M. Hargreaves (Ed.). *Pathways of the Pulp*, (s.460-513). St.Louis: Mosby Elsevier.
- Patel, S., Ricucci, D., Durak, C. ve Tay, F. (2010). Internal root resorption: a review. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1107-1121.
- Pérez, F., Franchi, M. ve Péli, J.F. (2001). Effect of calcium hydroxide form and placement on root dentine pH. *International Endodontic Journal*, 34(6), 417-423.

- Pierce, A.M., Lindskog, S. ve Hammarström, L. (1991). Osteoclasts: structure and function. *Electron Microscopy Reviews*, 4(1), 1-45.
- Polson, A.M. ve Caton, J.M. (1982). Factors influencing periodontal repair and regeneration. *Journal of Periodontology* 53(10), 617-625.
- Portenier, I., Haapasalo, H., Rye, A., Waltimo, T., Ørstavik, D. ve Haapasalo, M. (2001). Inactivation of root canal medicaments by dentine, hydroxylapatite and bovine serum albumin. *International Endodontic Journal*, 34(3), 184-188.
- Ramchandani, P.L. ve Mellor, T.K. (2007). Herpes zoster associated with tooth resorption and periapical lesions. *British Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 45(1), 71-73.
- Rani, C.S. ve MacDougall, M. (2000). Dental cells express factors that regulate bone resorption. *Molecular Cell Biology Research Communications*, 3(3), 145-152.
- Rao, A., Rao, A. ve Shenoy, R. (2009). Mineral trioxide aggregate--a review. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 34(1), 1-7.
- Rehman, K., Saunders, W.P., Foye, R.H. ve Sharkey, S.W. (1996). Calcium ion diffusion from calcium hydroxide-containing materials in endodontically-treated teeth: an in vitro study. *International Endodontic Journal*, 29(4), 271-279.
- Ribeiro, R.G., Marchesan, M.A., Silva, R.G., Sousa-Neto, M.D. ve Pécora, J.D. (2010). Dentin permeability of the apical third in different groups of teeth. *Brazilian Dental Journal*, 21(3), 216-219.

- Ricucci, D. ve Langeland, K. (1997). Incomplete calcium hydroxide removal from the root canal: a case report. *International Endodontic Journal*, 30(6), 418-421.
- Rosenberg, B., Murray, P.E. ve Namerow, K. (2007). The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatology*, 23(1), 26-29.
- Safavi, K.E. ve Nichols, F.C. (1993). Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *Journal of Endodontics*, 19(2), 76-78.
- Sahebi, S., Moazami, F. ve Abbott, P. (2010). The effects of short-term calcium hydroxide application on the strength of dentine. *Dental Traumatology*, 26(1), 43-46.
- Sakata, M., Shiba, H., Komatsuzawa, H., Fujita, T., Ohta, K., Sugai, M. Ve diğ erleri. (1999). Expression of osteoprotegerin (osteoclastogenesis inhibitory factor) in cultures of human dental mesenchymal cells and epithelial cells. *Journal of Bone & Mineral Research*. 14(9), 1486-1492.
- Sarkar, N.K., Caicedo, R., Ritwik, P., Moiseyeva, R. ve Kawashima, I. (2005). Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 31(2), 97-100.
- Sasaki, T., (2003). Differentiation and functions of osteoclasts and odontoclasts in mineralized tissue resorption. *Microscopy Research and Technique*, 61(6), 483-495.
- Saunders, W.P. (2008). A prospective clinical study of periradicular surgery using mineral trioxide aggregate as a root-end filling. *Journal of Endodontics*, 34(6), 660-665.

- Saygin, N.E., Giannobile, W.V. ve Somerman, M.J. (2000). Molecular and cell biology of cementum. *Periodontology 2000*, 24,73-98.
- Sayin, T.C., Serper, A., Cehreli, Z.C. ve Kalayci, S. (2007). Calcium loss from root canal dentin following EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl treatment with or without subsequent NaOCl irrigation. *Journal of Endodontics*, 33(5), 581-584.
- Schwartz, R.S., Mauger, M., Clement, D.J. ve Walker, W.A.3rd. (1999). Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *Journal of American Dental Association*, 130(7), 967-975.
- Sevimay, S., Kalayci, A. ve Yilmaz, S. (2003). In vitro diffusion of hydroxyl ions through root dentine from various calcium hydroxide medicaments. *Journal of Oral Rehabilitation*, 30(10), 1047-1051.
- Shabahang, S., Torabinejad, M., Boyne, P.P., Abedi, H. ve McMillan, P. (1999). A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *Journal of Endodontics*, 25(1), 1-5.
- Sharan, K., Siddiqui, J.A., Swarnkar, G. ve Chattopadhyay, N. (2008). Role of calcium-sensing receptor in bone biology. *The Indian Journal of Medical Research*, 127(3), 274-286.
- Shipper, G., Grossman, E.S., Botha, A.J. ve Cleaton-Jones, P.E. (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(5), 325-336.

- Shuping, G.B., Orstavik, D., Sigurdsson, A. ve Trope, M. (2000). Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *Journal of Endodontics*, 26(12), 751-755.
- Simonet, W.S., Lacey, D.L., Dunstan, C.R., Kelley, M., Chang, M.S., Luthy, R. ve diğerleri. (1997). Osteoprotegerin: a novel secreted protein involved in the regulation of bone density. *Cell*, 89(2), 309-319.
- Siqueira, J.F. ve de Uzeda, M. (1996). Disinfection by calcium hydroxide pastes of dentinal tubules infected with two obligate and one facultative anaerobic bacteria. *Journal of Endodontics*, 22(12), 674-676.
- Siqueira, J.F. ve Lopes, H.P. (1999). Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International Endodontic Journal*, 32(5), 361-369.
- Siqueira, J.F. (2001a). Strategies to treat infected root canals. *Journal of the California Dental Association*, 29(12), 825-837.
- Siqueira, J.F., Rôças, I.N., Magalhães, F.A. ve de Uzeda, M. (2001b). Antifungal effects of endodontic medicaments. *Australian Endodontic Journal*, 27(3), 112-114.
- Siqueira, J.F. ve Sen, B.H. (2004). Fungi in endodontic infections. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 97(5), 632-641.
- Sjögren, U., Figdor, D., Spångberg, L. ve Sundqvist, G. (1991). The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International Endodontic Journal*, 24(3), 119-125.

- Sluyk, S.R., Moon, P.C. ve Hartwell, G.R. (1998). Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *Journal of Endodontics*, 24(11), 768-771.
- Solomon, C.S., Coffiner, M.O. ve Chalfin, H.E. (1986). Herpes zoster revisited: implicated in root resorption. *Journal of Endodontics*, 12(5), 210-213.
- Srinivasan, V., Patchett, C.L. ve Waterhouse, P.J. (2006). Is there life after Buckley's Formocresol? Part I -- a narrative review of alternative interventions and materials. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 16(2), 117-127.
- Steinig, T.H., Regan, J.D. ve Gutmann, J.L. (2003). The use and predictable placement of Mineral Trioxide Aggregate in one-visit apexification cases. *Australian Endodontic Journal*, 29(1), 34-42.
- Stowe, T.J., Sedgley, C.M., Stowe, B. ve Fenno, J.C. (2004). The effects of chlorhexidine gluconate (0.12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics* 30(6), 429-431.
- Svensater, G. ve Bergenholtz, G. (2004). Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics*, 9(1), 27-36.
- Takahashi, N., Ejiri, S., Yanagisawa, S. ve Ozawa, H. (2007). Regulation of osteoclast polarization. *Odontology*, 95(1), 1-9.
- Torabinejad, M., Watson, T.F. ve Pitt Ford, T.R. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *Journal of Endodontics*, 19(12), 591-595.

- Torabinejad, M., Hong, C.U., McDonald, F. ve Pitt Ford, T.R. (1995a). Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*, 21(7), 349-353.
- Torabinejad, M., Hong, C.U., Pitt Ford, T.R. ve Kettering, J.D. (1995b). Antibacterial effects of some root end filling materials. *Journal of Endodontics*, 21(8), 403-406.
- Torabinejad, M., Hong, C.U., Pitt Ford, T.R. ve Kettering, J.D. (1995c). Cytotoxicity of four root end filling materials. *Journal of Endodontics*, 21(10), 489-492.
- Torabinejad, M., Rastegar, A.F., Kettering, J.D. ve Pitt Ford, T.R. (1995d). Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *Journal of Endodontics*, 21(3),109-112.
- Torabinejad, M., Pitt Ford, T.R., McKendry, D.J., Abedi, H.R., Miller, D.A. ve Kariyawasam, S.P. (1997). Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *Journal of Endodontics*, 23(4), 225-228.
- Torabinejad, M. ve Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 25(3), 197-205.
- Torabinejad, M. ve Parirokh, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *Journal of Endodontics*, 36(2), 190-202.
- Tronstad, L., Andreasen, J.O., Hasselgren, G., Kristerson, L. ve Riis, I. (1981). pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 7(1), 17-21.

- Tronstad, L. (1988). Root resorption--etiology, terminology and clinical manifestations. *Endodontics and Dental Traumatology*, 4(6), 241-252.
- Trope, M. ve Chivian, N. (1994). Root Resorption. Cohen, S. ve Burns, R.C. (Ed.). *Pathways of the Pulp*, (s. 486-513). San Francisco: Mosby-Year Book.
- Trope, M., Moshonov, J., Nissan, R., Buxt, P. ve Yesilsoy, C. (1995). Short vs. long-term calcium hydroxide treatment of established inflammatory root resorption in replanted dog teeth. *Endodontics and Dental Traumatology*, 11(3), 124-128.
- Trope, M. (2002). Root resorption due to dental trauma. *Endodontic Topics*, 1(1), 79-100.
- Trowbridge, H.O. ve Kim, S. (1994). Pulp Development, Structure and Function. Cohen, S. ve Burns, R.C. (Ed.). *Pathways of the Pulp*, (s. 296-335). San Francisco: Mosby-Year Book.
- Tuna, E.B., Dinçol, M.E., Gençay, K. ve Aktören, O. (2011).Fracture resistance of immature teeth filled with BioAggregate, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide. *Dental Traumatology*, 27(3), 174-178.
- Tunç, E.Ş. ve Çetiner, S. (2006). Mineral trioxide aggregate: literatür derlemesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 16(1), 46-53.
- Väänänen, H.K., Zhao, H., Mulari, M. ve Halleen, J.M. (2000). The cell biology of osteoclast function. *Journal of Cell Science*, 113(3), 377-381.

- Verio Dental Co Ltd., (2011). BioAggregate. Erişim: (1 Mart 2012), http://www.veriodent.com/pb/wp_d66c3664/images/img3209748f8c0a4378f2.jpg
- Vivan, R.R., Zapata, R.O., Zeferino, M.A., Bramante, C.M., Bernardineli, N., Garcia, R.B. ve diğerleri. (2010). Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 110(2), 250-256.
- Violich, D.R. ve Chandler, N.P. (2010). The smear layer in endodontics - a review. *International Endodontic Journal*. 43(1), 2-15.
- Wada, N., Maeda, H., Tanabe, K., Tsuda, E., Yano, K., Nakamuta, H. ve diğerleri. (2001). Periodontal ligament cells secrete the factor that inhibits osteoclastic differentiation and function: the factor is osteoprotegerin/osteoclastogenesis inhibitory factor. *Journal of Periodontal Research*. 36(1), 56-63.
- Waltimo, T.M., Sirén, E.K., Orstavik, D. ve Haapasalo, M.P. (1999). Susceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide in vitro. *International Endodontic Journal*, 32(2), 94-98.
- Wedenberg, C. ve Lindskog, S. (1985). Experimental internal resorption in monkey teeth *Endodontics and Dental Traumatology*, 1(6), 221-227.
- Wedenberg, C. ve Zetterqvist, L. (1987). Internal resorption in human teeth-- a histological, scanning electron microscopic, and enzyme histochemical study. *Journal of Endodontics*, 13(6), 255-259.

- White, J.D., Lacefield, W.R., Chavers, L.S. ve Eleazer, P.D. (2002). The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *Journal of Endodontics*, 28(12), 828–830.
- Wu, L., Mu, Y., Deng, X., Zhang, S. ve Zhou, D. (2012). Comparison of the effect of four decalcifying agents combined with 60°C 3% sodium hypochlorite on smear layer removal. *Journal of Endodontics*, 38(3), 381-384.
- Yamada, R.S., Armas, A., Goldman, M. ve Lin, P.S. (1983). A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics*, 9(4),137-142.
- Yilmaz, H.G., Kalender, A. ve Cengiz, E. (2010). Use of mineral trioxide aggregate in the treatment of invasive cervical resorption: a case report. *Journal of Endodontics*, 36(1), 160-163.
- Yuan, Z., Peng, B., Jiang, H., Bian, Z., Yan, P. (2010). Effect of bioaggregate on mineral-associated gene expression in osteoblast cells. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1145-1148.
- Zaidi, M., Pazianas, M., Shankar, V.S., Bax, B.E., Bax, C.M.R., Bevis, P.J.R. ve diğerleri. (1993). Osteoclast function and its control. *Experimental Physiology*, 78(4), 721-739.
- Zhang, H., Pappen, F.G. ve Haapasalo, M. (2009). Dentin enhances the antibacterial effect of mineral trioxide aggregate and bioaggregate. *Journal of Endodontics*, 35(2), 221-224.

YAYINLAR

1.Uluslararası hakemli dergilerdeki (SCI ve SCI-expanded) yayınlar

Kalender, A., Orhan, K. ve Aksoy, U. (2012). Evaluation of the mental foramen and accessory mental foramen in Turkish patients using cone-beam computed tomography images reconstructed from a volumetric rendering program. *Clinical Anatomy*, 25(5), 584-592.

Orhan, K., Aksoy, U., Can-Karabulut, D.C. ve Kalender, A. (2011). Low-level laser therapy of dentin hypersensitivity: a short-term clinical trial. *Lasers in Medical Science*, 26(5), 591-598.

Orhan, K., Aksoy, U. ve Kalender, A. (2010). Cone-beam computed tomographic evaluation of spontaneously healed root fracture. *Journal of Endodontics*, 36(9),1584-1587.

2.Uluslararası hakemli dergilerdeki yayınlar

Kalender, A., Aksoy, U., Basmacı, F., Orhan, K. ve Orhan, A.I. (2012). Cone Beam CT analysis of the vestibular surgical pathway to the palatine root of maxillary first molars. *European Journal of Dentistry*, (Article in press).

3.Ulusal hakemli dergilerdeki makaleler

Can-Karabulut, D.C., Er, F., Orhan, K., Solak, H., Karabulut, B, Aksoy, S., Cengiz, E., Basmacı, F. ve Aksoy, U. (2011). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetindeki Yetişkin Popülasyonda Diş Gelişim Bozukluklarının Yaygınlığı, *Gülhane Tıp Dergisi*, 53(3), 154-161.

Can-Karabulut, D.C., Er, F., Orhan, K., Solak, H., Karabulut, B, Aksoy, S., Cengiz, E., Basmacı, F. ve Aksoy, U. (2011). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ndeki Yetişkin Popülasyonda Diş Gelişim ve Sürme Bozukluklarının Kentsel Kesimdeki Yaygınlığı. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 4(1), 459-464.

Can-Karabulut, D.C., Er, F., Orhan, K., Solak, H., Karabulut, B, Aksoy, S., Cengiz, E., Basmacı, F. ve Aksoy, U. (2011). Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetindeki yetişkin popülasyonda dişlerde görülen gelişimsel şekil ve boyut anomalilerinin yaygınlığı. *Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 20(1), 40-50.

4.Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

Kalender, A., Aksoy, U., Orhan, K., Basmacı, F. ve Şaklar, F. (2011). Comparision of Three Digital Imaging Receptors and CBCT for Detection of Simulated External Root Resorptions: An Ex-Vivo Study. [Poster]. *15th Biennial Congress of the European Society of Endodontology*, Rome, Italy.

Orhan, K., Kalender, A., Aksoy, U. ve Basmacı, F. (2011). Detection Of Fractured Endodontic Files And Simulated External Root Resorptions With Three Types Of Lcd Monitors Using Three Different Imaging Receptors And Cbct: An Ex-Vivo Study. [Poster]. *15th Biennial Congress of the European Society of Endodontology*, Rome, Italy.

Can-Karabulut, D.C., Solak, H., Orhan, K., Aksoy, S., Basmacı, F., Cengiz, E., Aksoy, U., Er, F., Karabulut, B. (2010). Prevalence of dental development anomalies in a Cypriote adult population in Northern Cyprus. [Poster]. *FDI Annual World Dental Congress*, Salvador Da Bahia. Brazil.

Aksoy, U., Orhan, K. ve Kalender, A. (2010). CBCT Evaluation of Accessory and Mental Foramen using 3D-rendering Program. [Poster]. *IADR 88th General Session*, Barcelona, Spain.

Orhan, K., Kalender, A., Aksoy, U. ve Aksoy, S. (2010). Evaluation of Accessory and Mental Foramen in Growing-children with CBCT. [Poster]. *IADR 88th General Session*, Barcelona, Spain.

- Kalender, A., Aksoy, U., Basmacı, F., Öztan, M.D. ve Şaklar, F. (2010). Indirect composite restoration of the endodontically treated tooth with periapical lesion: A case report. [Poster]. *10th International Congress of the Turkish Endodontic Society*, İstanbul.
- Kalender, A., Aksoy, U., Basmacı, F., Orhan, K. ve Şaklar, F. (2010). CBCT Analysis of the vestibular surgical pathway to the palatal root of the maxillary first molars. [Poster]. *10th International Congress of the Turkish Endodontic Society*, İstanbul.
- Kalender, A., Aksoy, U., Basmacı, F., Orhan, K. ve Şaklar, F. (2010). Prevalence of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an adult Turkish Cypriot population. [Poster]. *10th International Congress of the Turkish Endodontic Society*, İstanbul.
- Aksoy U, Kalender, A. ve Orhan, K. (2009). CBCT evaluation of spontaneously healed root fracture: report of a case. [Poster]. *14th Biennial Congress of the European Society of Endodontology*, Edinburgh, Scotland.
- Aksoy, U. ve Orhan, K., (2008). Dentine hypersensitivity: a randomized clinical comparison of low-level laser therapy and desensitizing agent in a short-term treatment period. [Poster]. *Mediterranean Oral Laser Congress*, İstanbul.