

Elchin KARIMZADA

DOKTORA TEZİ

2024-ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ DİŞLERİN
ORTODONTİK TEDAVİ ÖNCESİ VE SONRASINDAKİ
DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Elchin KARIMZADA

DOKTORA TEZİ

2024-ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ DİŞLERİN
ORTODONTİK TEDAVİ ÖNCESİ VE SONRASINDAKİ
DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Elchin KARIMZADA

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Elçin ESENLİK

“Kaynakça gösterilerek tezimden yararlanılabilir”

2024-ANTALYA

Sağlık Bilimleri Enstitüsü M¼d¼rl¼ę¼ne;

Bu alışma j¼rimiz tarafından Ortodonti Anabilim Dalı Ortodonti Programında doktora tezi olarak kabul edilmiştir. .../...../.....

İmza

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Elçin ESENLİK

.....

Akdeniz niversitesi

ye : Prof. Dr. H¼seyin KARAYILMAZ

.....

Akdeniz niversitesi

ye : Doç. Dr. Esra BOLAT GüMüş

.....

Akdeniz niversitesi

ye : Prof. Dr. Ayşe Diljin KEÇECİ

.....

İzmir Tınaztepe niversitesi

ye : Dr. Öğr. Üyesi Kamile KESKİN ORUÇ

.....

Dicle Üniversitesi

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki j¼ri yeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Enstitü M¼d¼r

ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Elchin KARIMZADA

İmza

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Elçin ESENLİK

İmza

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve tez çalışmam sırasında akademik ve mesleki bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Elçin Esenlik'e,

Asistanlığım süresince üzerimde büyük emeği olan, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Esra Bolat Gümüş'e,

Tez çalışmamda değerli katkılarının yanısıra bilgi ve tecrübelerini her zaman içtenlikle paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kürşat Er'e,

Bu tez çalışmasının istatistiksel değerlendirmesini yapan Öğr. Gör. Dr. Deniz Özel'e,

Doktora eğitimim sayesinde tanıdığım, bu süreçte birçok şey paylaştığım, zor zamanları birlikte göğüslediğimiz, her konuda desteğini daima hissettiğim sevgili arkadaşım Uzm. Dt. Cansu Tüfekçi'ye,

Doktora sürecimde yanımda olan, yardıma ihtiyacım olduğu zor anlarımda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, ne kadar teşekkür etsem azdır dediğim Dr. Dt. Göksu Emek Kayafoğlu'na,

Doktora eğitimim süresince bana hep kol kanat geren, yardımlarını benden esirgemeyen Uzm. Dt. Fatih Bayır'a ve Dr. Dt. Mustafa Yıldırım'a,

Beraber çalışmaktan mutluluk duyduğum asistan arkadaşlarıma, klinik çalışanlarına ve teknisyenlerine,

Benden uzakta olsalar da sevgilerini daima kalbimde hissettiğim, maddi ve manevi her türlü yanımda olan, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili annem, babam ve abime,

Tüm içtenliğimle sevgi, saygı ve minnetimlerimi sunuyorum.

ÖZET

Amaç: Bu retrospektif çalışmanın amacı, ortodontik tedaviyi takiben endodontik tedavili dişlerde ve karşıt vital dişlerde eksternal apikal kök rezorpsiyonunun (EAKR) varlığını ve miktarını değerlendirmek, EAKR ile ortodontik tedavi tipi, tedavi süresi, cinsiyet ve hastaların yaşı gibi olası risk faktörleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.

Yöntem: Bu retrospektif çalışmaya 620 endodontik tedavili dişi ve 580 karşıt vital dişi bulunan 503 hasta dahil edilmiştir. Dişlerin kron ve kök uzunluğu, her hasta için ortodontik tedavinin başında ve sonunda alınan dijital panoramik radyografiler üzerinde ölçülmüştür. Ortodontik tedavi öncesi ve sonrası kron/kök oranları karşılaştırılarak endodontik tedavili dişlerdeki ve karşıt vital dişlerdeki EAKR yüzdesi hesaplanmıştır. Çekim kararına göre tek ve iki aşamalı tedavi gruplarının karşılaştırılması yapılmış ve daha sonra çekimli ve çekimsiz tedavi grupları tedavi aşamalarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca, endodontik tedavili ve karşıt vital dişler, tedavi aşamasına ve dişlerin çekilip çekilmediğine göre EAKR yüzdesi açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Örneklemen normallliği için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Karşılaştırmalar ve korelasyonları test etmek için Mann-Whitney U Testi, Bağımsız İki Örneklem t Testi, Wilcoxon-Signed Rank Testi, Paired t Testi, Mc Nemar Testi ve Spearman Korelasyon Testi uygulanmıştır.

Bulgular: Endodontik tedavili dişler ve vital dişler EAKR açısından karşılaştırıldığında tüm ortodontik tedavi gruplarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmiştir ($p<0.05$). EAKR ortodontik tedavi süresi ve tipi ile pozitif korelasyon göstermiş ($p<0.05$), ancak hastanın yaşı ve cinsiyetinden etkilenmemiştir. İki aşamalı çekimli ortodontik tedavi grubunda hem endodontik tedavili dişlerde hem de vital dişlerde istatistiksel olarak anlamlı EAKR gözlenmiştir ($p<0.05$). Vital dişlerde, tek aşamalı çekimli tedavi grubunda çekimsiz tedavi grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı EAKR bulunurken, endodontik tedavili dişlerde anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sonuç: Endodontik tedavili dişler vital dişlere göre anlamlı derecede daha az EAKR göstermiştir. Endodontik tedavili dişlerdeki EAKR, ortodontik tedavi planlanırken dikkate alınması gereken önemli bir faktör olmayabilir.

Anahtar Kelimeler: Eksternal kök rezorpsiyonu, ortodontik tedavi, endodonti, kök kanal tedavisi.

ABSTRACT

Objective: This retrospective study aimed to assess the presence and amount of external apical root resorption (EARR) of endodontically treated teeth and contralateral vital teeth following the orthodontic treatment, to research the relationship between resorption and possible risk factors such as orthodontic treatment type, treatment duration, gender and age of the patients.

Method: This retrospective study included 503 patients with 620 endodontically treated teeth and 580 contralateral vital teeth. The crown and root length of the teeth were measured on digital panoramic radiographs taken in the beginning and at the end of orthodontic treatment for each patient. By comparing the crown/root ratios pre- and post-orthodontic treatment, the percentage of EARR in the endodontically treated teeth and contralateral vital teeth was calculated. The comparison of one- and two-phase treatment groups according to the extraction decision was performed and the extraction and non-extraction treatment groups were then compared based on the treatment phases. Moreover, endodontically treated teeth and contralateral vital teeth were compared with each other in terms of the percentage of EARR according to the treatment phase and extraction decision. Shapiro-Wilk test was used for the normality of the sample. Mann-Whitney U Test, Independent Samples t Test, Wilcoxon-Signed Rank Test, Paired t Test, Mc Nemar Test and Spearman Correlation Test were applied for comparisons and to test the correlations.

Results: A statistically significant difference was observed in all orthodontic treatment groups when endodontically treated teeth and vital teeth were compared in terms of EARR ($p < 0.05$). EARR were positively correlated with orthodontic treatment duration and type ($p < 0.05$), but was not influenced by patient's age and gender. Statistically significant EARR was observed in the two-phase extraction orthodontic treatment group in both endodontically treated teeth and vital teeth ($p < 0.05$). In vital teeth, a statistically significant EARR was found in one phase extraction treatment group compared to non-extraction treatment group, while no significant difference was found in endodontically treated teeth.

Conclusion: Endodontically treated teeth showed significantly less EARR than vital teeth. The EARR in endodontically treated teeth might not be a significant factor to take into account when planning orthodontic treatment.

Key words: External root resorption, orthodontic treatment, endodontics, root canal treatment.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLolar DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Ortodontik Diş Hareketi	3
2.1.1. Mikrohasar Teorisi	4
2.1.2. Biyoelektrik Teorisi.....	4
2.1.3. Moleküler Teori.....	5
2.1.4. Mekanotransdüksiyon Teorisi	6
2.1.5. Basınç-Gerilim Teorisi	6
2.1.6. Kemik Eğilme Teorisi	8
2.2. Kök Rezorpsiyonu	8
2.2.1. Kök Rezorpsiyonu Tanımı	8
2.2.2. Kök Rezorpsiyonu Sınıflandırılması	9
2.2.3. Kök Rezorpsiyonu İnsidansı	10
2.2.4. Kök Rezorpsiyonu Oluşum Mekanizması.....	11
2.2.5. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Faktörler	12
2.2.6. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Biyolojik Faktörler.....	12
-Yaş	12
-Cinsiyet	13
-Sistemik Faktörler	13
-Genetik	14
-Kök Morfolojisi.....	15
-Travma	15

-Oklüzal Travma ve Oklüzal Kuvvetler	16
2.2.7. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Mekanik Faktörler.....	16
-Ortodontik Tedavide Çekim Kararı	16
-Ortodontik Tedavinin Tipi	17
-Ortodontik Hareketin Türü.....	18
-Ortodontik Kuvvetin Tipi ve Şiddeti	19
-Ortodontik Tedavinin Süresi	20
2.3. EAKR Teşhis Yöntemleri	20
2.3.1. Panoramik Radyografi Kullanımı	21
2.3.2. Periapikal Radyografi Kullanımı.....	22
2.3.3. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) Kullanımı.....	23
2.4. Endodonti-Ortodonti İlişkisi	24
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	26
3.1. Bireylerin Seçimi ve Grupların Oluşturulması.....	26
3.2. Kayıtların Toplanması.....	27
3.3. Yöntem	30
3.4. Panoramik Radyografilerin Değerlendirilmesi	30
3.5. İstatistiksel Değerlendirme.....	35
3.6. Metot Hatası	35
4. BULGULAR.....	36
4.1. Grupların Tanımlayıcı İstatistikleri	36
4.2. Endodontik Tedavili ve Vital Diş Gruplarının Tedavi Aşaması ve Çekim Karına Göre Grup İçi Karşılaştırılması	38
4.3. Endodontik Tedavili ve Vital Diş Gruplarının Tedavi Aşaması ve Çekim Karına Göre Gruplar Arası Karşılaştırılması	42
4.4. Tedavi ile Oluşan Değişimin Cinsiyete Göre Karşılaştırılması	43
4.5. Tedavi Başlangıç Yaşı ve Tedavi Süresinin Endodontik Tedavili Diş ve Vital Diş Gruplarına Göre Değerlendirilmesi.....	44
4.6. Tedavi Gruplarını Oluşturan Dişlere Göre EAKR Yüzdesinin Dağılımının Değerlendirilmesi	44

4.7. Periapikal Lezyon Varlığının Endodontik Tedavili Diş Gruplarında EAKR Üzerine Etkisi ve Lezyon Değişikliğinin Değerlendirilmesi	46
5. TARTIŞMA	49
5.1. Kök Rezorpsiyonunun Dişler Arasındaki Dağılımı	55
5.2. Cinsiyetin Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi	56
5.3. Hasta Yaşının Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi	58
5.4. Tedavi Süresinin Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi.....	60
5.5. Tek Aşamalı ve İki Aşamalı Ortodontik Tedavilerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması.....	63
5.6. Çekimli ve Çekimsiz Ortodontik Tedavilerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması.....	65
5.7. Vital ve Endodontik Tedavili Dişlerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması.....	68
5.8. Periapikal Lezyon Varlığının Endodontik Tedavili Diş Gruplarında Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisi ve Lezyon Değişikliğinin Değerlendirilmesi	75
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	80

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Metot hatası	36
Tablo 4.2. Çalışmada değerlendirilen parametreler için tanımlayıcı istatistik sonuçları	37
Tablo 4.3. Çekim yapıp yapılmamasına göre tek ve iki aşamalı tedavi gruplarının ayrı ayrı karşılaştırılması	39
Tablo 4.4. Çekimli ve çekimsiz tedavi gruplarının tedavi aşamasına göre ayrı ayrı karşılaştırılması	41
Tablo 4.5. Endodontik tedavili ve vital dişlerin tek ve iki aşamalı ortodontik tedavi gruplarına göre karşılaştırılması	42
Tablo 4.6. Endodontik tedavili ve vital dişlerin çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi gruplarına göre karşılaştırılması	43
Tablo 4.7. Endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesinin cinsiyete göre farkı	43
Tablo 4.8. Tedavi başlangıç yaşı ve tedavi süresinin endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesi ile korelasyonu	44
Tablo 4.9. Tedavi gruplarını oluşturan dişlere göre EAKR yüzdesinin dağılımı	45
Tablo 4.10. Endodontik tedavili dişlerdeki EAKR yüzdesine periapikal lezyon varlığının etkisi	47
Tablo 4.11. Periapikal lezyon değişikliğinin değerlendirilmesi	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Planmeca Promax radyografi cihazı	28
Şekil 3.2. Tedavi gruplarının oluşturulmasında kullanılan iş akış diyagramı	29
Şekil 3.3. Değerlendirilen endodontik tedavili dişlerin diş numarasına göre dağılımı	30
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan tek köklü dişlerin kron ve kök uzunluklarının panoramik radyografiler üzerinde ölçülmesi.	31
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan çok köklü dişlerin kron ve kök uzunluklarının panoramik radyografiler üzerinde ölçülmesi.	32
Şekil 3.6. Periapikal İndeks Skorlama Sistemi.	34
Şekil 3.7. Ørstavik tarafından geliştirilen PAI Skorlamasının Şematik Görüntüsü.	34

SİMGELER ve KISALTMALAR

%	:Yüzde
<	:Küçüktür
=	:Eşittir
ark.	:Arkadaşları
C1	:Tedavi öncesi kron boyu
C2	:Tedavi sonrası kron boyu
DF	:Düzeltilme Faktörü
EAKR	:Eksternal Apikal Kök Rezorpsiyonu
IL-1	:İnterlökin-1
İAKR	:İnternal Apikal Kök Rezorpsiyonu
KIBT	:Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
M-CSF	:Makrofaj Koloni Uyarıcı Faktör
mm	:Milimetre
OOİİKR	:Ortodontik Olarak İndüklenmiş İnflamatuar Kök Rezorpsiyonu
OPG	:Osteoprotegrin
Ort.	:Ortalama
p	:İstatistiksel anlamlılık
PAI	:Periapikal İndeks

r	:Tekrarlama katsayısı
R1	:Tedavi öncesi kök uzunluğu
R2	:Tedavi sonrası kök uzunluğu
RANK	:Receptor Activator of Nuclear Factor-Kappa B
RANKL	:Receptor Activator of Nuclear Factor-Kappa B Ligand
SLOB	:Lingual ile Aynı, Bukkal ile Zıt
SPSS	:Statistical package for the social sciences
Ss	:Standart sapma
T0	:Tedavi öncesi
T1	:Tedavi sonrası
TNF	:Tümör Nekroz Faktörü
TNFRSF11A	:Tumor Necrosis Factor Receptor Superfamily, Member 11a
TNSALP	:Non-Spesifik Alkalen Fosfataz

1. GİRİŞ

Eksternal apikal kök rezorpsiyonu (EAKR), ortodontik tedavinin yan etkilerinden biridir ve kök apeksinin kısalması veya küntleşmesi ile sonuçlanan yüzey rezorpsiyonu olarak tanımlanmıştır (Kocadereli ve ark., 2011). Hastanın yaşı, cinsiyeti, genetiği, sistemik faktörler, ortodontik tedavinin tipi, ortodontik tedavinin süresi gibi çeşitli faktörler EAKR miktarını etkileyebilir. Ortodontik tedavinin kök rezorpsiyonuna etkisini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak endodontik tedavili dişlerin ortodontik tedaviye verdikleri yanıtı inceleyen çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Alqerban ve ark., 2019; Chen ve ark., 2024).

Endodontik tedavili dişlerle karşılaşma olasılığı, toplumdaki çürük insidansının artması ve yetişkin hastalar arasında ortodontik tedaviye olan talebin artmasıyla birlikte artmıştır. Ortodontik tedavi sonrasında endodontik tedavili dişlerin prognozunun tahmin edilebilmesi ve kök rezorpsiyonuna karşı dirençleri, ortodontik tedavi planlamasında kritik öneme sahiptir.

Literatürde endodontik tedavi görmüş dişlerin ortodontik tedavi sonrasında vital dişlere kıyasla EAKR açısından farklılık gösterip göstermediği ile ilgili çalışmaların sonuçları tartışmalıdır. Bazı çalışmalar endodontik tedavili dişlerin EAKR için bir risk faktörü olduğunu bildirirken (Steadman, 1942; Wickwire ve ark., 1974; Mah ve ark., 1996), bazı çalışmalar ise vital ve endodontik tedavi görmüş dişler arasında EAKR açısından bir fark olmadığı sonucuna varmıştır (Esteves ve ark., 2007; Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Esteves ve ark., 2013; Castro ve ark., 2014; Şeker ve ark., 2023). Buna karşın, endodontik tedavili dişlerde vital dişlere göre daha az EAKR bildiren birçok çalışma da mevcuttur (Kaku ve ark., 2014; Lee ve Lee, 2016; Khan ve ark., 2018; Kolcuoğlu ve Öz 2020; Kurnaz ve Büyükçavuş 2021; Grissom ve ark., 2022; Kurnaz ve Büyükçavuş, 2024). Bu çalışmaların bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Örneğin, bazı çalışmalarda yalnızca belirli bir diş tipi değerlendirilmiş; bazı çalışmalarda hasta ve diş örnekleme küçük tutulmuş; diğer bazı çalışmalarda ise hasta yaşı, tedavi süresi ve cinsiyet gibi faktörler dikkate alınmamıştır.

Konuyla ilgili mevcut çalışmaların sonuçları arasında da bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bunun haricinde ortodontik tedavi tiplerinin etkileri de detaylı olarak incelenmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada endodontik tedavi dişlerin ortodontik tedavi tiplerine verdikleri yanıtın geniş bir örneklemde incelenmesi planlanmıştır.

Çalışmamızda Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı kliniğinde 2012-2023 yılları arasında ortodontik tedavi görmüş hastaların tedavi öncesi ve tedavi sonrasında rutin olarak alınan panoramik radyografileri üzerinde endodontik tedavi görmüş dişlerin simetrik vital dişlerle karşılaştırılarak ortodontik tedaviye verdikleri yanıtın incelenmesi amaçlanmıştır. EAKR'nin ortodontik tedavi tipi, tedavi süresi, hasta yaşı, cinsiyet faktörlerinden etkilenip etkilenmediği de araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ortodontik Diş Hareketi

Ortodontik diş hareketi, ortodontik kuvvetin etkisiyle kemik ve yumuşak dokuların bileşimi ve şeklinde dinamik değişikliklerin meydana gelmesi sonucunda gerçekleşir (Huang ve ark., 2005). Diş hareketinin kuvvet tarafından tetiklenmesi, tarihsel olarak 2000 yıl öncesine kadar uzanan bir bilgidir. Bu süreç, alveolar kemik ve periodontal ligamentin yeniden şekillenmesiyle gerçekleşir ve ortodontik tedavinin temelini oluşturur (Heasman ve ark., 1996).

Ortodontik kuvvet uygulanması sonucu ortaya çıkan diş hareketi; periodontal ligament, alveolar kemik, gingiva ve pulpayı da içeren dental ve paradental dokuların remodelingi ile karakterizedir. Mekanik yüklemelerin süresine, sıklığına ve büyüklüğüne bağlı olarak, hem mikroskobik hem de makroskobik değişiklikler meydana gelir. Diş hareketi sırasında bu remodeling olayları, periodontal ligamentin sıkışma ve gerilme bölgelerinde oluşur (Krishnan ve Davidovitch, 2006).

Ortodontik ve fizyolojik diş hareketleri arasında doku reaksiyonu bakımından fark bulunmamaktadır. Fakat dişler ortodontik tedavi ile daha hızlı hareket ederler bu sebeple ortodontik kuvvetlerle elde edilen reaksiyonlar daha belirgin ve şiddetli olmaktadır (Polat ve Karaman, 2004). Fizyolojik diş hareketi ise genellikle yavaş bir süreç olarak kabul edilir. Öte yandan, ortodontik diş hareketi, periodontal ligamentin biyolojik tepkisi ve uygulanan kuvvetin büyüklüğü gibi fiziksel özelliklere bağlı olarak hem yavaş hem de hızlı bir şekilde gerçekleşebilir (Krishnan ve Davidovitch, 2006).

Kemikteki yeniden şekillenmeyi ve diş hareketini açıklamaya çalışan bazı teoriler vardır. Bunlar:

-Mikrohasar

-Biyoelektrik

-Moleküler

-Mekanotransdüksiyon

-Kemik Eğilme

-Basınç-Gerilim teorileridir.

2.1.1. Mikrohasar Teorisi

İlk olarak Frost tarafından tanımlanan mikrohasar teorisi, mekanik kuvvetlerin etkisiyle osteositlerde mikrohasarlar oluşması sonucu gerçekleşen hücre ölümü ve kemik remodelingi oluşması şeklinde tanımlanır (Frost, 1960). Martin mikrohasarı, osteonal sement çizgilerini takip eden ve çoğunlukla kortikal kemikte gözlenen mikrokırıklar olarak tanımlamıştır (Martin, 2003). Mikrohasarların kemikte gerilim ve sıkışma bölgelerinde görüldüğü bildirilmiştir (Boyce ve ark., 1998).

Mori ve Burr; kemikte gözlenen remodelingin, mikrohasar birikimi sonucu mu yoksa mikrohasarların daha önce remodeling olan bölgelerde mi biriktiği konusunda yaptıkları çalışmada, 13 köpeğin radius kemiklerini incelemişler ve mikrohasarların yeni remodeling olaylarını başlattığını tespit etmişlerdir (Mori ve Burr, 1993).

Domuzlar üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise ortodontik kuvvetlerle oluşturulan mikro kırıkların alveolar kemik remodelingindeki rolü araştırılmış ve mikro kırıkların, ortodontik kuvvetler tarafından oluşturulan ilk hasarı temsil edebileceği sonucuna varılmıştır (Verna ve ark., 2004). Bu araştırmalar, mikrohasarın ortodontik diş hareketinin tamamından sorumlu olmadığını fakat kemik remodelinginde önemli bir rol oynadığını öne sürmektedir. Günümüzde, ortodontik diş hareketinin mekanizması ve oluşumuyla ilgili tartışmalar devam etmekte olup, bu konudaki teorilerin hiçbiri kesin sonuca ulaşmamıştır. Bu alanda gerçekleştirilen histokimyasal ve immünokimyasal araştırmalar, diş hareketinde çok sayıda fizyolojik ve biyolojik olayın etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Davidovitch, 1991).

2.1.2. Biyoelektrik Teorisi

Bassett ve Becker tarafından 1962’de önerilen bu teori, alveolar kemiğin esnemesi ve bükülmesi ile ortaya çıkan elektrik sinyallerinin dişlerin hareketinden sorumlu olduğunu

savunmaktadır. Piezoelektrik sinyaller olarak düşünölen bu sinyaller hızlı bir zayıflama oranına sahiptir yani kuvvet uygulandığında ortaya çıkarlar, kuvvet devam etse bile hızla azalarak kaybolurlar ve kuvvet kaldırıldığında karşıt tarafta eşit sinyal oluştururlar (Proffit ve ark., 1999). Kemik bükölmesi sonucu oluşan bir elektrik alanında, iyonlar etkileşime girerek elektrik sinyalleri ile sıcaklık değışiklikleri oluşturur ve "akış potansiyeli" olarak adlandırılan küçük bir voltaj gözlemlenir. Bu sinyaller piezoelektrik sinyallerden farklıdır ve hatta hücreselel aktiviteyi değıştirebilen harici bir elektrik alan tarafından da oluşturulabilirler. Ayrıca, kemikte stres altında olmayan ve "biyoelektrik potansiyel" olarak bilinen başka bir sinyal türü de bulunur. Metabolik olarak aktif kemikte ise aktivitesi ile orantılı olarak elektronegatif değışimler gözlemlenir (Sabane ve ark., 2016).

Ortodontik kuvvetler sonucunda alveolar kemiğin bükölmesinin ardından oluşan değışiklikler, periodontal ligamentte ortaya çıkar (Grimm, 1972). Ortodontik kuvvet ile dento-alveolar kompleks arasındaki elektrokimyasal ilişki incelendiğinde, elektronegatif yüklü bir alanın yüksek seviyelerde osteoklastik aktivite ile karakterize olduğu, elektropozitif yüklü bir alanın ise yüksek seviyelerde osteoblastik aktivite ile tanımlandığı sonucuna ulaşılmıştır (Zengo ve ark., 1973).

Davidovitch ve ark., ekzojen elektrik akımı ile ortodontik diş hareketinin hızlanacağını tespit etmişlerdir. Bu durum, kemik bükölmesine bağılı piezoelektrik tepkinin bir tür "hücreselel ilk haberci" olabileceğı fikrini ortaya koymaktadır (Davidovitch ve ark., 1980a; 1980b). Ancak, literatürdeki yorum ve sonuçlardan anlaşılacağı üzere, bu hipotezler diş hareketinin biyolojik mekanizması hakkında kesin ve net bir bilgi sağlamamaktadır.

2.1.3. Moleküler Teori

Basınç kuvveti uygulanmadığında, periodontal ligament hücreleri osteoklast farklılaşmasını engelleyen osteoprotegrin (OPG) adlı bir madde salgılar (Wada ve ark., 2001). Osteositler ile osteoblastlar tarafından üretilen OPG'ler periodontal ligamentte bulunurlar (Boyce ve Xing, 2008; Yamaguchi, 2009). Ortodontik kuvvet sonucu moleküler yapıda değışiklik meydana gelebilir. Bu değışikliklerin bir sonucu olarak, basınç tarafında OPG miktarı azalırken, RANKL (Receptor Activator of Nuclear Factor κ B Ligand) miktarı artar (Yamaguchi, 2009). RANKL, Tümör Nekroz Faktörü (TNF)

ligand ailesinin bir üyesidir ve ilk olarak osteoblastlar ve diğer hücre tiplerinin hücre zarına bağlı bir protein olarak tanımlanmıştır (Anderson ve ark., 1997; Yasuda ve ark., 1998). Yüzeylerinde RANKL içeren hücreler ve RANK reseptörü taşıyan preosteoklastlar arasındaki sinyaller, osteoklast üretimini ve aktivasyonunu başlatır (Yasuda ve ark., 1999). OPG, RANKL'a bağlanır ve RANK-RANKL bağlantısı ile osteoklast farklılaşmasını engelleyen bir reseptördür (Yamaguchi, 2009). Bu nedenle, osteosit apoptozu ve kemik nekrozu olan bir bölgede, OPG'nin genel olarak azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, osteoklastları uyarabilen RANKL içeren osteosit hücre zarı parçalarının, OPG inhibisyonuna maruz kalmadan ortamda bulunabileceği bildirilmiştir. Osteositlerin apoptotik artıklarının osteoklast üretimini teşvik ettiği gözlenmiştir (Kogianni ve ark., 2008). Osteositlerin ölümü sonucu OPG gibi kemik rezorpsiyonunu engelleyen sinyallerin kaybı, sinyal aracılı remodeling sürecinin bir mekanizması olarak kabul edilebilir (Martin, 2000; Bonewald, 2004).

2.1.4. Mekanotransdüksiyon Teorisi

Ortodontik kuvvet gibi mekanik enerjiler, kemikteki osteositler tarafından elektrik enerjisine veya biyokimyasal sinyallere dönüştürülür. Bu süreç sırasında osteositler, uzun ve ince sitoplazmik yapılar aracılığıyla komşu osteositlerle iletişim halinde kalırlar (Doty, 1981). Bu iletişim, kanalikuli olarak adlandırılan küçük kanallarda gerçekleşir ve kemik boyunca bir osteosit ağı oluşturur (Burger ve Klein-Nulend, 1999; Klein-Nulend ve ark., 2003). Mekanik kuvvetlere verilen tepki sırasında, kemik remodelingi için gerekli sinyaller bu ağ aracılığıyla osteoblastlara ve osteoklastlara iletilir ve kemik içindeki hücresel ağ oluşturulur (Moss, 1997). Kemik içindeki bu hücresel ağ içinde birçok sinyal tanımlanmış olsa da başlangıç alıcısı ve sonraki iletim olayları henüz tam olarak açıklanamamıştır (Gross ve Williams, 1982; Melsen, 2001; Liedert ve ark., 2006; Cowin, 2007).

2.1.5. Basınç-Gerilim Teorisi

Diş pozisyonundaki değişiklikler sonucu periodontal ligamentte gerilim ve sıkışma olduğu düşüncesine dayanan bu teoride; periodontal ligamentte gözlenen değişimlerin, basınç tarafında kan akışının azalmasına ve gerilim tarafında artmasına neden olduğu

iddia edilmiştir. Kan akışındaki bu değişimler, kimyasal mesajcılarının salınımına ve oksijen seviyelerindeki değişikliklere neden olur. Bu durum, hücresel aktivite ve hücresel değişimi teşvik edebilir (Proffit ve ark., 2007). Periodontal ligamentteki kan akışı, alveolar kemiğin yeniden şekillenmesinde kritik bir rol oynar; ortodontik kuvvetlerin uygulanmasıyla oluşan basınç, ligamentte lokal iskemiye yol açar. Bu durum, hücresiz bölgelerin oluşmasına neden olur ve buna "hyalinizasyon" denir. Osteoklastlar ve makrofajlar, hasarsız bölgelerden nekrotik bölgelere göç ederler. Nekrotik ligament bölgesine komşu kemik, doğrudan ve dolaylı kemik rezorpsiyonu ile rezorbe olur (Sandstedt, 1905; Cooper ve Sims, 1989; Proffit ve ark., 2007).

Ortodontik tedavi sonrasında periodontal ligamentteki histolojik değişikliklerin değerlendirildiği, köpekler üzerinde yapılan çalışmada bir tarafa 25 cN diğer tarafa 300 cN sürekli kuvvet uygulanmıştır. Köpekler 1, 4, 20, 40 ve 80 gün sonra değerlendirilmişler ve tüm gruplarda hyalinizasyon görülmüş ve diş hareketi açısından fark bulunamamıştır. Bu sonuç, diş hareketi sırasında nekrotik dokunun oluşumu ve ortadan kaldırılmasının devamlı bir süreç olduğunu, tek bir olaydan ibaret olmadığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, ligamentteki nekrozun ortodontik kuvvetlerin uygulanmasının başlangıç aşamasında meydana geldiğini ve diş hareketi boyunca devam ettiğini belirtmişlerdir (von Böhl ve Kuijpers-Jagtman, 2009).

Hamaya ve ark., ortodontik tedavi sonucu oluşan nekrotik periodontal ligament dokusunun, komşu alveol kemikte remodeling ve kemik osteositleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, hyalinizasyonun periodontal ligamentten komşu alveol kemikteki osteositlere kan akışını engellediğini ve bunun sonucunda geri dönüşümsüz iskemi veya hipoksiye ve nihayetinde hücre ölümüne yol açabileceğini rapor etmişlerdir (Hamaya ve ark., 2002). Melsen ise yaptığı çalışmada, basınç tarafındaki indirekt rezorpsiyonun kuvvete bir yanıt değil, nekrotik periodontal ligament dokusuna komşu olan iskemik kemik dokusunu ortadan kaldırma amacı taşıyan bir süreç olduğu hipotezini desteklemektedir (Melsen 1999).

İskemik durumlarda osteosit ölümleri zamanlaması üzerine yapılan bir çalışmada, 55 saatlik iskemi sonrasında, osteositlerin çoğunun geri dönüşümsüz hasar gördüğü tespit

edilmiştir (James ve Steijn-Myagkaya, 1986). Bu nedenle, 2 saat içinde görülen değişiklikler, iskeminin geri dönüşüm aşaması içinde meydana geldiğinden, periodontal ligamentteki iskemi, ortodontik kuvvet uygulanmasının 2-4 saatleri arasında osteositlere geri dönüşümsüz olarak etki eder (Lemasters ve ark., 1982; Myagkaya ve ark., 1984).

2.1.6. Kemik Eğilme Teorisi

Dişe uygulanan kuvvet dokuya yayılarak kemikte, dişte ve periodontal ligamentin katı yapılarında bükülmeye neden olur (Kashyap, 2016). Bu bükülme, kemik dokusunun daha esnek olması nedeniyle daha fazla deformasyonuna yol açar. Deformasyonun etkisiyle kemikte "turn over" süreci başlar ve hem hücresel hem de inorganik yapılar yenilenir. Bu yenilenme süreci, kemik korpusundaki tüm trabeküllerde gözlemlenir ve hücrelerin değişen aktivitesi nedeniyle kemik yapısında değişiklikler meydana gelir. Bu teori, daha az kalsifiye ve daha esnek kemik yapısına sahip çocuklarda diş hareketinin daha hızlı gerçekleşme nedenini açıklamak için kullanılabilir (Baumrind, 1969; Grimm, 1972).

Köpek mandibulası üzerinde yapılan çalışmalarda, kanin dişin tippingi sırasında alveol kemiğin bükülerek içbükey ve dışbükey yüzeylerin oluştuğu tespit edilmiştir. Dışbükey yüzeylerde rezorpsiyon meydana gelirken, içbükey yüzeylerde depozisyon gözlemlenmiştir. (Zengo ve ark., 1974; Pollack ve ark., 1984).

2.2. Kök Rezorpsiyonu

2.2.1. Kök Rezorpsiyonu Tanımı

Diş kökünde meydana gelen doku kaybı kök rezorpsiyonu olarak tanımlanmaktadır. Kök rezorpsiyonu, internal kök rezorpsiyonu ve eksternal kök rezorpsiyonu olarak iki farklı şekilde oluşabilmektedir. İnternal kök rezorpsiyonu, pulpa dokusuna komşu kök yüzeyinde meydana gelirken; eksternal kök rezorpsiyonu periodontal ligamente komşu kök yüzeyinde meydana gelmektedir (Darcey ve Qualtrough, 2016).

Eksternal kök rezorpsiyonu ortodontik tedavi sırasında oluşursa, tedavinin patolojik bir sonucu olduğu varsayılmaktadır (Brezniak ve Wasserstein, 2002; Darcey ve Qualtrough, 2016). Ortodontik tedavi sonucunda meydana gelen eksternal apikal kök rezorpsiyonu

(EAKR) için, ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu (OOİKR) terimi literatüre girmiştir (Brezniak ve Wasserstein, 2002).

2.2.2. Kök Rezorpsiyonu Sınıflandırılması

Kök rezorpsiyonlarını tanımlamak için birçok farklı terim ve kategori önerilmiştir (Aidos ve ark., 2018).

Kök rezorpsiyonunun temel tanımlaması, meydana geldiği anatomik bölgelere dayanmaktadır ve lokalizasyonlarına göre iki ana grupta incelenmektedir: eksternal ve internal rezorpsiyon (Çalışkan, 2006). Rezorpsiyon kök kanalı içerisinde veya pulpa odasında meydana gelirse buna internal kök rezorpsiyonu denilir (Andreasen, 1985). İnternal kök rezorpsiyonu genellikle asemptomatik seyreder ve radyografilerde pulpa kanalının düzenli ve radyolusent bir şekilde genişlediği şekilde görülür. Bu tür rezorpsiyonlar genellikle servikal bölgede meydana gelir, ancak pulpal sistemin diğer bölgelerinde de görülebilir (Ne ve ark., 1999). İnternal rezorpsiyon lezyonunun radyografik olarak teşhisi, hızlı ve kesin bir şekilde endodontik tedavi yapılmasını gerektirir. Erken teşhis edildiğinde ve klastik hücrelerin daha fazla hasara yol açmasına izin verilmeden tedavi edildiğinde, prognozun son derece olumlu olduğu belirtilmektedir (Wesselink, 2004).

Rezorpsiyon kökün dış tarafında meydana gelirse bu duruma eksternal kök rezorpsiyonu denilmektedir (Andreasen, 1985). Rezorpsiyonlar, periodonsiyumdan başlayarak sementi ve dentini rezorbe eden süreçler olarak tanımlanmaktadır (Andreasen, 1985; Tronstad, 1988). Brudvik ve Rygh, eksternal kök rezorpsiyonunu, mineralize sementin ve ince bir tabaka şeklindeki non-mineralize sementin aktif olarak uzaklaştırılması olarak açıklamışlardır (Brudvik ve Rygh, 1994). Bu sürecin, periodontal ligamentin yeniden şekillenmesi sırasında meydana gelen hyalinize nekrotik dokunun uzaklaştırılmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Brudvik ve Rygh, 1994).

Andreasen, eksternal kök rezorpsiyonunu, yüzey rezorpsiyonu, inflamatuvar kök rezorpsiyonu ve replasman rezorpsiyonu (ankiloz) olmak üzere üç gruba ayırmıştır (Andreasen, 1988). Yüzey rezorpsiyonu, sement ve muhtemelen dentini içeren küçük bir

yüzey alanında meydana gelen ve hemen ardından bu alana periodontal ligamentin sağlam alanlarından göç eden hücreler tarafından oluşturulan sementle kendiliğinden tamir edilen bir rezorpsiyon tipi olarak tanımlanır. Bu tür rezorpsiyon genellikle radyografik olarak tespit edilemez (Andreasen, 1988; Ghafari, 1994). Replasman rezorpsiyonu, rezorbe olan kök dokusunun yerini kemiğin alması ve ankiloz ile sonuçlanmasıyla karakterizedir (Andreasen, 1988; Tronstad, 1988). Bu tip rezorpsiyon radyografik olarak belirlenebilir (Ghafari, 1994). İnflamatuvar rezorpsiyon ise, yüzey rezorpsiyonunun ilerleyerek enfekte nekrotik pulpa dokusu veya pulpadaki enfekte lökosit hattına ulaşması sonucunda meydana gelir (Andreasen, 1988).

Fuss ve ark. ise kök rezorpsiyonunu beş farklı etiyolojik faktöre bağlamışlardır. Bu sınıflandırmaya göre kök rezorpsiyonu; pulpa enfeksiyonu, periodontal enfeksiyon, ortodontik basınç, gömülü diş veya tümör basıncı ve ankilozik kök rezorpsiyonu gibi beş farklı nedene dayalı olarak meydana gelebilir (Fuss ve ark., 2003).

2.2.3. Kök Rezorpsiyonu İnsidansı

Histolojik çalışmalar, ortodontik tedavi gören dişlerin %90'dan fazlasında OOİKR meydana geldiğini göstermektedir. Ancak, tanısal radyografik tekniklerle yapılan ölçümlerde daha düşük yüzdeler bildirilmiştir (Stenvik ve Mjör, 1970; Harry ve Sims, 1982). Literatürde EAKR görülme sıklığı %22 ile %100 arasında değişiklik göstermekte olup, bu farklılık kök rezorpsiyonunu tanımlamak için kullanılan çeşitli tekniklere bağlanmaktadır (Lupi ve ark., 1996; Killiany, 1999).

Seksen sekiz hastada yapılan bir çalışmada, EAKR insidansı tedavi öncesinde %15, tedavi sonrasında %73 olarak bildirilmiştir (Lupi ve ark., 1996). Yapılan bir diğer çalışmada ise, tedavi gören hastaların %30'unda en az bir dişte 3 mm'den fazla apikal kök rezorpsiyonu olduğu, ancak hastaların sadece %5'inin 5 mm'den fazla apikal kök rezorpsiyonu olan en az bir dişe sahip olduğu rapor edilmiştir (Killiany, 1999). Ortodontik tedavi sonrası kök rezorpsiyonuna en yatkın dişlerin genellikle maksiller kesici dişler olduğu, onları maksiller molar dişler ve kanin dişlerin izlediği bildirilmiştir. Mandibulada da en fazla etkilenen dişler yine kesici dişlerdir. Sonuç olarak ortodontik tedaviye bağlı kök rezorpsiyonunun klinik etkisi sınırlıdır ve şiddetli kök rezorpsiyonuna uğrayan vakalarda

bile uzun vadede ilgili dişlerin fonksiyonel kapasitesinin ya da uzun ömürlülüğünün etkilenmediği görülmüştür (Remington ve ark., 1989; Levander ve Malmgren, 2000; Jönsson ve ark., 2007). Buna rağmen, ortodontik tedaviye bağlı kök rezorpsiyonundan olumsuz şekilde etkilenen hastaların olduğu da tespit edilmiştir (Mirabella ve Artun, 1995b; Baumrind ve ark., 1996).

2.2.4. Kök Rezorpsiyonu Oluşum Mekanizması

Rezorpsiyon süreci, osteoklast hücreleri ile ilişkilendirilen bir biyolojik süreçtir (Boyle ve ark., 2003). Ortodontik kuvvetin uygulanması sonucunda periodontal ligamentin baskı altında kalan kısmında hasar ve nekroz oluşur. Hyalinize dokunun ortadan kaldırılması sırasında, baskı uygulanan tarafta küçük kök rezorpsiyon bölgelerinin varlığı histolojik çalışmalarda rapor edilmiştir. Kök rezorpsiyonunu tetikleyen hücreler olan odontoklastlar, osteoklastlara benzer özelliklere sahiptirler (Ten, 1998; Bosshardt, 2005).

Hyalinizasyon bölgesi, üç aşamadan oluşur: 1) dejenerasyon, 2) eliminasyon ve 3) yeniden oluşum. İnsanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, periodontal hyalinizasyonun her zaman kök rezorpsiyonundan önce meydana geldiğini göstermektedir (von Böhl ve ark., 2004). Uzun süreli ortodontik kuvvet uygulaması, sıkışan periodontal ligamentte dejenerasyona, makrofaj ve lökosit göçüne neden olur. Bu, mineralize dokuyu hızla rezorbe edebilen, çok çekirdekli hücrelere dönüşen osteoklast progenitörlerini içerir. Kök rezorpsiyonu sürecinde, sementoblastların koruyucu tabakası apoptoza uğrar. Bu nedenle oluşan odontoklastlar, sement ve dentinde rezorpsiyon oluşturabilirler. Koruyucu sementoid tabaka kaybolduktan sonra odontoklastlar sement yüzeyine saldırır (Brudvik ve Rygh, 1993a; Feller ve ark., 2016).

Kuvvet belirli bir seviyenin altına düştüğünde, aktif rezorpsiyon işlemi sona erer ve sementoid doku, rezorbe olmuş lakunaları doldurmaya başlar (Schwarz, 1932). Kuvvetin uygulanmasından sonra 35-70 gün gibi bir süre içinde sementoblastlar rezorbe olmuş yüzeye göç eder, bu da onarım sürecini başlatır (Lindskog ve ark., 1987; Sismanidou ve ark., 1996; Owman-Moll ve Kurol, 1998). Bu nedenle, sement yüzeyinin yeniden düzenlenmesi ve şekillenmesi gibi onarım süreçleri, genellikle aktif ortodontik tedavi sona erdikten sonra gerçekleşir (Copeland ve Green, 1986).

2.2.5. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Faktörler

Daimi dişlerde rezorpsiyona yol açan çeşitli faktörler vardır. Bunlar arasında fizyolojik diş hareketi, komşu gömülü dişin baskısı, periapikal ya da periodontal inflamasyon, uzun süreli oklüzal travma, tümörler veya kistler, ortodontik tedavi ve idiyopatik etkenler bulunmaktadır. (Brezniak ve Wasserstein, 1993a). Kök rezorpsiyonu istenmeyen bir durum olmasına rağmen, fizyolojik süreçler de dahil olmak üzere her zaman ortaya çıkabilir. Bu sebeple, ortodontik tedavi sırasında kök rezorpsiyonunun miktarını ve dişler üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek amaçlanır.

Patolojik olarak EAKR 3 neden ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenler; travma, diş hareketi ve enfeksiyondur. Diş hareketine bağlı gözlenen kök rezorpsiyonunun oluşması ortodontik ve fizyolojik diş hareketi ile ilişkilidir (Reitan, 1985; Ghafari, 1994). OOİKR'nin etiolojisi mekanik faktörler ve biyolojik faktörler olarak tespit edilmiştir (Brezniak ve Wasserstein, 1993b).

2.2.6. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Biyolojik Faktörler

-Yaş

Yaşın artmasıyla birlikte periodontal membran vaskülaritesindeki azalma ve kemik yoğunluğunda artma gözlenir bu durum da kök rezorpsiyonu riskini arttırmaktadır (Brezniak ve Wasserstein, 1993b). Yetişkinler, çocuklara göre kök rezorpsiyonuna daha hassaslardır (Sameshima ve Sinclair, 2001a). Öte yandan, literatürde kronolojik yaş ile kök rezorpsiyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığını savunan çalışmalar da mevcuttur. Cheng ve ark., 4 ve 8 haftalık süreçlerde gerçekleştirdikleri çalışmada yaş ile kök rezorpsiyonu arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığını bildirmişlerdir (Cheng ve ark., 2010). Baumrind ve ark., ise yetişkin hastalarla yaptıkları araştırmada yaşın kök rezorpsiyonu üzerinde etkisinin olmadığını bulmuşlardır (Baumrind ve ark., 1996).

Ortodontik tedavi görmeyen bireylerde de yaşla birlikte kök rezorpsiyonunun insidansının arttığı gözlemlenmiştir (Massler ve Malone, 1954). Linge ve Linge, 11 yaşından sonra bireylerde rezorpsiyon riskinin artış göstermeye başladığını rapor etmiştir (Linge ve Linge, 1983). Preoteasa ve ark., 12 yaşından büyük bireylerde farklı şiddette kök

rezorpsiyonları gözlemlendiğini ancak 12 yaşından küçük hastalarda kök rezorpsiyonuna rastlanmadığını tespit etmişlerdir (Preoteasa ve ark., 2009). Rudolph, 7–21 yaş aralığında ortodontik tedavisine başlanan 439 hastanın radyografilerini incelediği çalışmada, erken yaşlarda uygulanan ortodontik tedavinin kök yapısında daha az hasara yol açtığını rapor etmiştir (Rudolph, 1940). Harris ve Baker, adolesan ve genç erişkinler arasında gerçekleştirdikleri çalışmalarında, tedavi başlangıcında genç erişkinlerin kök boyutlarının adolesanlara göre daha kısa olduğunu tespit etmişlerdir. Özellikle üst santral kesici ve alt birinci azılarda bu fark daha belirgin bulunmuştur. Ancak, tedavi süresince kök uzunluğundaki azalmanın her iki yaş grubu için de benzer olduğunu tespit etmişlerdir (Harris ve Baker, 1990).

-Cinsiyet

Literatürde kök rezorpsiyonu ile cinsiyet arasında bir ilişki olmadığını gösteren birçok çalışma mevcuttur (Massler ve Malone, 1954; McFadden ve ark., 1989; Beck ve Haris, 1994; Haris ve ark., 1997; Parker ve Haris, 1998; Sameshima ve Sinclair, 2001b). Newman, idiyopatik kök rezorpsiyon oranının kadınlarda erkeklere göre 3.7 kat daha yüksek olduğunu raporlamıştır (Newman, 1975). Preoteasa ve ark., erkeklerin kök rezorpsiyonuna daha hassas olduğunu bulmuşlardır (Preoteasa ve ark., 2009). Baumrind ve ark., 20 yaşından büyük hastaları inceledikleri bir çalışmada, erkeklerin EAKR'den daha fazla etkilendiğini göstermişlerdir (Baumrind ve ark., 1996). Linge ve Linge, erkeklerin kadınlara kıyasla ortodontik tedavi sırasında gelişen kök rezorpsiyonuna daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir (Linge ve Linge, 1983). Dougherty, bu farklılığı ortodontik diş hareketi sırasında kök gelişimini cinsiyetler arasındaki farklılıklara bağlamıştır (Dougherty, 1968).

-Sistemik Faktörler

İnflamatuvar hastalıklar, astım, alerji, ilaç kullanımı, alkol kullanımı, stres ve endokrin ve hormonal düzensizlikler sistemik faktörlerden sayılmaktadır.

Kronik astımı olan hastalarda, özellikle maksiller molar dişlerinin kök ucu bölgesinde artan sıklıkta kök ucunda küntleşme gözlemlenmiş ve bu durum, inflame maksiller sinüs ile yakınlık veya iltihabi medyatörlerin varlığıyla ilişkilendirilmiştir (McNab ve ark.,

1999). Astım, alerji ve kök morfolojisi anomalilerinin ortodontik diş hareketine bağlı oluşan kök rezorpsiyonu için yüksek risk faktörü olabileceği tespit edilmiştir (Nishioka ve ark., 2006).

Tiroid hormonunun kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalarda, L-tiroksin hormonunun dişlerdeki sement ve dentin gibi yapıların osteoklastik aktiviteye karşı direncini artırdığı ve doz artışının rezorpsiyonu azaltırken aynı zamanda ortodontik diş hareketini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttırdığı belirtilmiştir (Poumpros ve ark., 1994; Shirazi ve ark., 1999).

Alerji, dermatit, astım ve egzama tedavisinde sıkça kullanılan kortikosteroidlerin kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin incelendiği bir tavşan çalışmasında, osteoporotik dozda olan 15 mg/kg kortizon asetat enjeksiyonunun diş hareketini hızlandırdığı, ancak aynı zamanda sıkışma bölgelerindeki kök rezorpsiyon eğilimini önemli ölçüde artırdığı bulunmuştur (Ashcraft ve ark., 1992). Bir diğer çalışma ise ratlar üzerinde yapılmıştır ve 1 mg/kg gibi düşük dozda oral prednisolon uygulamasının diş hareketini etkilemeden kök rezorpsiyonunu azalttığını bildirmiştir (Ong ve ark., 2000).

Kanser ve osteoporoz tedavilerinde kullanılan bifosfonatların, kemik rezorpsiyonunu uzun süreli olarak engellediği ve ratlarda kök rezorpsiyon miktarında doza bağlı azalmaya neden olduğu gösterilmiştir (Adachi ve ark., 1994). Ancak, bifosfonatların hücresiz sement oluşumunu engellediği ve bu sebeple diş kökünün rezorpsiyona daha yatkın hale geldiği de rapor edilmiştir (Alatli ve ark., 1996; Alatli ve Hammarstrom, 1996).

-Genetik

Araştırmalar, kök rezorpsiyonunun ailesel ve genetik bir temeli olabileceğini göstermektedir. Beyaz ırk ve Hispanik hastaların, Asyalı hastalara kıyasla kök rezorpsiyonuna daha duyarlı olabileceği belirtilmiştir (Sameshima ve Asgarifar, 2001).

Ayrıca, kök rezorpsiyonuna katkıda bulunan bazı genlerin, Interlökin-1 (IL-1) gen ailesinde yer aldığı doğrulanmıştır. Bu gen ailesi içinde, IL-1A ve IL-1B genleri, iki önemli pro-inflamatuar sitokin olan IL-1 (alfa) ve IL-1 (beta) için kodlama yapmaktadır (Al-Qawasmi ve ark., 2003). Ortodontik tedavide EAKR ile ilişkilendirilen başka bir

potansiyel gen ise mineralizasyon ve sement oluşumunda önemli bir rol oynayan doku non-spesifik alkalen fosfataz (TNSALP) genidir. Fonksiyonel bir TNSALP genine sahip olmayan farelerin, molar diş köklerinde aselüler sement oluşumunun kusurlu olduğu bulunmuştur (Beertsen ve ark., 1999).

Kök rezorpsiyonunda etkili olduğuna inanılan bir diğer gen, TNFRSF11A (tumor necrosis factor receptor superfamily, member 11a) olarak adlandırılır. Bu gen, RANK (receptor activator of nuclear factor-kappa B) proteinini kodlayarak osteoklastik ön hücrelerin yüzeyinde bulunan RANKL adlı liganda bağlanarak, osteoklastik hücrelerin farklılaşmasını, birleşmesini, aktivasyonunu ve varlığını düzenler. Al-Qawasmi ve ark. yaptıkları çalışmada, bu genin (veya bu genin microsattelite marker'ı olan D18S64'ün) kök rezorpsiyonu ile ilişkili olduğunu kanıtlamışlardır (Al-Qawasmi ve ark., 2003b).

-Kök Morfolojisi

Literatürde, diş kök şekillerine göre EAKR miktarlarında farklılık olabileceği gösterilmiştir (Linge ve Linge, 1983; Levander ve ark., 1994; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Asgarifar, 2001). Levander ve ark., küntleşmiş ve pipet şeklindeki köklerin, normal şekilli köklere oranla kök rezorpsiyonundan daha sık etkilendiğini, dilasasyonlu köklerin de kök rezorpsiyonuna daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir (Levander ve ark., 1994). Sameshima ve Sinclair ise; künt veya pipet şekilli, sivri uçlu ya da dilasasyonlu gibi anormal kök şekillerine sahip dişlerin EAKR'ye daha hassas olduğunu tespit etmişlerdir (Sameshima ve Sinclair, 2001a). Hastanın tedavi öncesinde kısa diş köklerine sahip olması veya kök rezorpsiyonu geçirmiş olması da risk faktörlerindendir (Linge ve Linge, 1983). İnvajinasyon ve taurodontizm gibi malformasyonların EAKR için risk faktörleri olduğu tespit edilmiştir. Ancak normal, küçük ya da kama şeklindeki lateral dişlerin kök rezorpsiyonu açısından normalden daha yüksek bir risk taşımadığı tespit edilmiştir (Sameshima ve Asgarifar, 2001).

-Travma

Travma sonrasında ortodontik tedavinin kök rezorpsiyonunu artırabileceği düşüncesi birçok çalışma tarafından desteklenmektedir (Hines, 1979; Malmgren ve ark., 1982; Linge ve Linge, 1983; Andreasen, 1985; Linge ve Linge, 1991; Brin ve ark., 1991). Bazı

araştırmacılar, kök rezorpsiyonunun travma sonrasında meydana gelebileceğini ve inflamasyonun bir yanıtı olarak gelişebileceğini belirtmiştir (Andreasen, 1985; Tronstad, 1988). Travma geçirmiş dişlerin ortodontik tedavi sonrası ortalama kök rezorpsiyonunun 1,07 mm olduğu, travma geçirmemiş dişlerin ise ortalama kök rezorpsiyonunun 0,64 mm olduğu bulunmuştur (Linge ve Linge, 1983). Ayrıca, ortodontik tedavi başladıktan sonraki ilk 6 ay içinde periapikal radyograflerde kök rezorpsiyonunun tespit edilmesi durumunda, tedavi sürecinin ilerleyen dönemlerinde daha fazla kök rezorpsiyonunun yaşanma olasılığının yüksek olduğu gösterilmiştir (Årtun ve ark., 2005). Travmatize olmuş dişlerde ise ortodontik tedavi uygulanmasa bile kök rezorpsiyonu gözlenebilmektedir (Brin ve ark., 1991).

-Oklüzal Travma ve Oklüzal Kuvvetler

Ağır çiğneme kuvvetleri, oklüzal travma ve kronik bruksizm gibi faktörler, kök rezorpsiyon riskini artıran etkenler olarak kabul edilmektedir (Harris, 2000). Yanlış oklüzyon, diş restorasyonları ve protezlerin uygun olmaması, oklüzal travma ve "jiggling" kuvvetleri gibi nedenlerle kök rezorpsiyonunun oluşma olasılığı artabilmektedir (Ramfjord, 1959; Glickman ve Smulow, 1965). Brown ise fonksiyonel travmanın dişlerde kök rezorpsiyonuna neden olabileceğini belirtmiş, ancak bu rezorpsiyon bölgelerinin %85'inin sekonder sement ile başarıyla onarıldığını açıklamıştır (Brown, 1982).

2.2.7. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Mekanik Faktörler

-Ortodontik Tedavide Çekim Kararı

Ortodontik tedavinin çekimli ya da çekimsiz yapılmasının kök rezorpsiyonu açısından farklı sonuçları olduğunu gösteren birçok çalışmaya rastlanmıştır (McFadden ve ark., 1989; Jiang ve ark., 2010; Deng ve ark., 2018). McFadden ve ark., 38 hastada yaptıkları çalışmada, çekimli ve çekimsiz tedavi arasında kök rezorpsiyonu açısından fark bulunmadığını rapor etmişlerdir (McFadden ve ark., 1989). Farklı olarak Jiang ve ark., çekimli tedavi edilen hastalarda çekimsiz tedavi edilenlere kıyasla daha fazla kök rezorpsiyonu gözlemlendiğini bildirmişlerdir (Jiang ve ark., 2010). Deng ve ark. da benzer şekilde çekimli ortodontik tedavilerde daha fazla kök rezorpsiyonu görüldüğünü rapor etmişlerdir (Deng ve ark., 2018).

-Ortodontik Tedavinin Tipi

Literatürde, kök rezorpsiyonu ile kullanılan aparey türleri arasındaki farklılıkları inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bazı çalışmalar, hareketli apareylerin sabit apareylere kıyasla daha az kök rezorpsiyonuna yol açtığını göstermektedir (Linge ve Linge, 1983; Apajalahti ve Peltola, 2007).

Farklı braket sistemlerinin kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda self-ligating braketler ile geleneksel braketler arasında kök rezorpsiyonu açısından fark bulunmadığı tespit edilmiştir (Pandis ve ark., 2008; Leite ve ark., 2012; Jacobs ve ark., 2014). Yi ve ark. maksiller santral kesici dişler haricinde, self-ligating braketler ile geleneksel braketler arasında kök rezorpsiyonu açısından herhangi bir fark olmadığını bildirmişlerdir (Yi ve ark., 2016). Wong ise self-ligating braketlerle tedavi edilen hastaların maksiller keser dişlerinde, geleneksel sabit braketlerle tedavi edilen hastalara göre daha az kök rezorpsiyonu gözlemlendiğini belirtmiştir (Wong, 2009).

Şeffaf plaklar ve sabit apareylerin kök rezorpsiyonu üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Üç yüz yetmiş iki hastada yapılan bir çalışmada, sabit ortodontik tedavi ve şeffaf plak kullanan hastalar karşılaştırılmış ve bu tedaviler arasında belirgin bir kök rezorpsiyonu farkı gözlenmemiştir (Iglesias-Linares ve ark., 2017). 80 hasta üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise, şeffaf plaklarla tedavi edilen hastalarda çekimsiz tedavi sırasında daha az kök rezorpsiyonu olduğu rapor edilmiştir (Yi ve ark., 2018).

Hareketli ortodontik apareyler ile sabit mekaniklerin etkilerinin radyografik olarak karşılaştırıldığı bir çalışmada; sadece aktivatör veya zemberekli hareketli apareylerle tedavi gören hastalarda ortalama rezorpsiyon miktarı 0,14 mm olarak tespit edilirken, sabit mekaniklerle tedavi görenlerde bu değer 0,82 mm olarak belirlenmiştir. Hareketli aygıtlarla tedavi görenlerde en fazla 0,39 mm rezorpsiyon gözlenirken, sabit mekaniklerle tedavi görenlerde bu değer 1,46 mm'ye kadar çıkmıştır (Linge ve Linge, 1983). Aktivatörlerle edgewise mekaniklerini karşılaştırdıkları başka bir çalışmada, aktivatör grubunda EAKR'ye rastlamamışlarken, sabit ortodontik mekaniklerde köşeli ark telleri ve Sınıf II elastiklerin uygulandığı grupta belirgin miktarda EAKR tespit etmişlerdir (Linge ve Linge, 1991).

Hızlı üst çene genişletme apareylerinin premolar ve molar dişler üzerinde istatistiksel olarak belirgin rezorpsiyona neden olduğu bildirilmiş, bu durumun en önemli sebebinin ise ağır bukkal yönlü kuvvetlerin bu dişlerin köklerini kortikal kemiğe doğru sıkıştırması olduğu belirtilmiştir (Thilander ve ark., 2000). Ancak, hızlı ve yavaş üst çene genişletmesi ile genişletme uygulanmayan kontrol gruplarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada ise anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001b). Üst çene genişletme tedavilerinde dikkate alınması gereken konu rezorpsiyon kraterlerinin yerleşimidir. Bu tür tedavilerde, rezorpsiyonların genellikle mezio-bukkal yüzeylerin servikal kısımlarında lokalize olduğu, diğer bölgelerde ise sınırlı miktarda gözlemlendiği rapor edilmiştir (Vardimon ve ark., 1991).

-Ortodontik Hareketin Türü

Han ve ark., araştırmalarında ekstrüzyon kuvvetlerinin neden olduğu kök rezorpsiyonunun kontrol grubuyla kıyaslandığında önemli bir fark oluşturmadığını tespit etmiştir. Aynı çalışma, intrüzyon kuvvetlerinin ise kök yüzey alanında önemli ölçüde rezorpsiyona yol açtığını göstermektedir. İntrüzyon hareketinin, ekstrüzyon hareketine kıyasla dört kat daha fazla rezorpsiyona yol açtığı bildirilmiştir (Han ve ark., 2005). Parker ve Harris ise en fazla kök rezorpsiyonuna neden olabilecek ortodontik hareketin, lingual kök hareketinin intrüzyonla birleşimi olduğunu bildirmişlerdir (Parker ve Harris, 1998). Sınıf II lastiklerin kullanım süresinin artmasıyla birlikte özellikle maksiller anterior dişlerin kök rezorpsiyon miktarında artış gözlenmektedir (Mirabella ve Artun, 1995b). Bartley ve ark., ortodontik hareket paterninin oluştuğu süreçte, periodontal ligamentte sıkışma meydana geldiğinde komşu kök yüzeyinde daha fazla rezorpsiyon oluştuğunu bildirmişlerdir (Bartley ve ark., 2011). Eross ve ark., çalışmalarında hafif ve ağır kuvvetlerle yapılan bukkopalatal git gel ve sürekli bukkal devrilme hareketlerini karşılaştırmışlardır. Her iki kuvvet büyüklüğü için bukkopalatal git gel ve bukkal devrilme kuvvetleri arasında kök rezorpsiyonu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını rapor etmişlerdir (Eross ve ark., 2015).

-Ortodontik Kuvvetin Tipi ve Şiddeti

Literatürde ortodontik tedavi sürecinde kuvvet seviyelerinin artmasının kök rezorpsiyonunun şiddetini artırıp artırmadığı konusunda çeşitli görüşler bulunmaktadır (Owman-Moll ve ark., 1995a, 1996a, 1996b). Yüksek kuvvetlerin daha fazla rezorpsiyona yol açtığı düşünülse de, bu etkinin büyük ölçüde bireysel farklılıklar gösterdiği göz önünde bulundurulmalıdır (Chan ve Darendeliler, 2005; Barbagallo ve ark., 2008).

Harry ve Sims; 50, 100 ve 200 gr'lık intrüzyon kuvvetlerinin etkilerini incelemek için SEM incelemesi yapmış ve ağır kuvvetlerin ve uzun süreli kuvvet uygulamanın rezorpsiyon kraterlerini artırdığını gözlemlemişlerdir (Harry ve Sims, 1982). Acar ve ark., elastiklerle dişlere kesintili (günde 12 saat) veya sürekli (günde 24 saat) kuvvet uyguladıkları çalışma sonucunda; sürekli kuvvet uygulanan dişlerde, kesintili olarak kuvvet uygulanan dişlere göre daha fazla rezorpsiyon meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Acar ve ark., 1999). Faltin ve ark., 50 ve 100cN'lik intrüzyon kuvvetlerinin etkilerini transmisyon elektron mikroskopunda incelemiş ve 100cN'lik kuvvetin daha fazla rezorpsiyon oluşturduğunu bildirmişlerdir (Faltin ve ark., 2001). Darendeliler ve ark., hafif ve ağır ortodontik kuvvetlerin sementin sertliği ve elastik modülünde meydana getirdikleri değişiklikler açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığını bildirirken, hafif kuvvetlerin etkisiyle oluşan rezorpsiyon kraterlerinin kontrol grubunun 3,49 katı olduğunu, ağır kuvvetlerin etkisiyle oluşan kraterlerin ise 11,59 katı olduğunu bildirmişlerdir (Darendeliler ve ark., 2004). Chan ve ark. ağır kuvvetlerin, hafif kuvvetlere göre üç kat fazla rezorpsiyona yol açtığını bulmuşlardır (Chan ve ark., 2004). Chutimanutskul ve ark., 8 hastada 4 hafta boyunca bir taraf maksiller premolar dişe 25 gr, diğer taraftaki dişe ise 225 gr bukkal yönlü ortodontik kuvvet uygulamışlardır. Tellerin yeniden aktivasyonu yapılmamış ve 4 hafta sonunda dişler çekilmiştir. Sementin sertliği ve elastik modülünün ağır kuvvetlerin etkisi altında belirgin bir şekilde azaldığını bildirmişlerdir (Chutimanutskul ve ark., 2006). 30 hastada maksiller sağ ve sol birinci premolar dişlere 12 hafta boyunca hafif (25 g) ve ağır (225 g) bukkopalatal jigging kuvvetleri uygulanmış ve mikro BT ile incelenmiştir. Sonuç olarak ağır git gel kuvvetlerinin hafif git gel kuvvetlerine kıyasla daha fazla rezorpsiyona yol açtığı tespit edilmiştir (Eross ve ark., 2015). Ozkalayci ve ark. 15 hafta boyunca bir taraftaki maksiller

premolar dişlere bukkal yönde 150 gr devamlı kuvvet, karşıt dişlere aynı büyüklükte ve aynı yönde 28 gün aktif 7 gün pasif olacak şekilde aralıklı kuvvet uygulamışlar. Devamlı kuvvet uygulamasının, aralıklı kuvvet uygulamasına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek kök rezorpsiyonu oluşturduğunu tespit etmişlerdir (Ozkalayci ve ark., 2018).

Literatürde, dişlerin hareket ettirilmesi için en uygun kuvvet türü ve şiddeti üzerine birçok çalışma yer almaktadır. "Optimal kuvvet" kavramı, belirli bir büyüklükte ve sürede uygulanan bir kuvvetin, dokuya zarar vermeden ve en yüksek hasta konforuyla en hızlı diş hareketini sağlayabilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, optimal kuvvet, her diş ve her hasta için farklılık gösterebilir (Ren ve ark., 2004).

-Ortodontik Tedavinin Süresi

Literatürde, kök rezorpsiyonunun sıklığı ve şiddetinin tedavi süresi ile doğrudan ilişkili olduğunu rapor edilmiştir (Kaley ve Phillips, 1991; Linge ve Linge, 1991; Baumrind ve ark., 1996; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Apajalahti ve Peltola, 2007). Tedavi süresinin özellikle maksiller kesici dişlerde gözlenen kök rezorpsiyonu ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Taithongchai ve ark., 1996). Levander ve Malmgren yürüttükleri bir çalışmada, incelenen dişlerin %34'ünün 6 ile 9 aylık tedavi sonrasında hafif kök rezorpsiyonu gösterdiğini, ancak 19 aylık tedavi sonunda bu oranın %56'ya yükseldiğini bildirmişlerdir (Levander ve Malmgren, 1988). Paetyangkul ve ark., 25 gr'lık hafif kuvvetler kullanılsa bile, uzun süreli kuvvet uygulamasının daha fazla kök rezorpsiyonuna yol açtığını bildirmişlerdir (Paetyangkul ve ark., 2011).

2.3. EAKR Teşhis Yöntemleri

EAKR'nin yeri ve boyutunun doğru bir şekilde teşhisi, tedavi planının oluşturulması ve tedavinin sonucunun tahmin edilmesi açısından son derece kritiktir (Dalili ve ark., 2012). Lezyonun büyüklüğü, konumu, yerel anatomisi ve ilgili bölgedeki kemik yoğunluğu gibi faktörler, lezyonun doğru teşhisini etkileyebilir (Bender, 1997; Goldberg ve ark., 1998). Kök rezorpsiyonunu teşhis etmek için periapikal radyografi, dijital panoramik radyografi veya Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) gibi yöntemler kullanılabilir (Dudic ve ark., 2009; Lima ve ark., 2016; Saccomanno ve ark., 2018).

CCD sensörler veya fosfor plaklar gibi dijital teknikler, geleneksel radyografiye kıyasla EAKR'nin daha güvenilir bir şekilde tespit edilmesini sağlar (Borg ve ark., 1998; Westphalen ve ark., 2004). İntraoral dijital tekniklerin kullanımı pratik olsa da, bukkal ve lingual yüzeylerde bulunan küçük rezorptif lezyonların gözden kaçma riski daha yüksektir (Andreasen ve ark., 1987; Chapnick, 1989; Goldberg ve ark., 1998; Nance ve ark., 2000). İntraoral radyografinin tanısal yeteneği, anatomik üst üste binme, ışın açısı ve görüntü geliştirme yöntemlerinden de etkilenebilir (Björndal ve ark., 1999; Kamburoğlu ve ark., 2008a; Patel ve ark., 2009). Bu nedenlerle, kök rezorpsiyonunu değerlendirmek için 3B tomografinin kullanımı önerilmektedir (Friedland ve ark., 2001; Kleoniki ve ark., 2002).

2.3.1. Panoramik Radyografi Kullanımı

Panoramik radyografiler, maksiller ve mandibular arklar ile destekleyici yapıların tamamının tek bir görüntüde görüntülediği diş hekimliği pratiğinde sıklıkla kullanılan radyografi tekniklerindendir. Panoramik radyografilerin, eski dönemlerde kullanılan tam ağız periapikal filmlere göre avantajları arasında daha düşük radyasyona maruz bırakma, hastaların koltuk süresini azaltma, radyografilerin hızlı çekim süresi ve hasta kooperasyonunun daha iyi olması gibi özellikler bulunmaktadır. Panoramik radyografilerin sınırlılıkları arasında ise görüntü kalitesinin doğru hasta pozisyonuna bağlı olması ve istenen anatomik yapının ayarlanan fokal noktasına ne kadar yakın olup olmadığına bağlı olması bulunmaktadır. Panoramik radyografiler çekilirken Frankfurt Horizontal düzlemi ile zeminin paralel olması hastanın doğru pozisyon alabilmesi için önemlidir (Haring ve Jansen, 2000).

Panoramik radyografiler, küçük lezyonların teşhisinde yeterli ayrıntı sağlayamamaktadır (Laux ve ark., 2000). Kök rezorpsiyonunu değerlendirmek için kullanılan klasik bir yöntem olan panoramik radyografinin, anterior bölgedeki değerlendirme eksikliklerini azaltmak amacıyla intraoral radyografi ile kombine kullanılması önerilmektedir (Laux ve ark., 2000; Dudic ve ark., 2009). Ayrıca, panoramik radyografilerde periapikal radyografilere kıyasla kök rezorpsiyonunun %20 daha fazla ölçüldüğü bildirilmiştir (Sameshima ve Asgarifar, 2001; Dudic ve ark., 2008).

Hafif ve orta şiddetteki Sınıf II vakaların ortodontik tedavisi sırasında mandibular kesici dişlerde artmış proklinasyon gözlenmekte ve radyografilerde köklerin kısa gözükmeye sebep olabilmektedir (Leach ve ark., 2001). Bu durum, panoramik radyografilerde periapikal radyografilere kıyasla daha fazla kök rezorpsiyonu saptanmasına ve özellikle mandibular keser dişler bölgesinde yüksek distorsiyon nedeniyle kök rezorpsiyonunun olduğundan fazla görünmesine neden olabilmektedir (Sameshima ve Asgarifar, 2001).

Panoramik radyografilerde gözlenen distorsiyon miktarını minimize etmek amacıyla Linge ve Linge tarafından düzeltme yöntemi tanımlanmıştır (Linge ve Linge, 1983). Sehr ve ark., bu yöntemi kullanarak kök rezorpsiyon ölçümleri gerçekleştirmiş ve yöntemi geliştirmiştir (Sehr ve ark., 2011). Bu yöntemde, hastadan alınan tedavi öncesi radyografideki kron boyu (C1) ile tedavi sonrası radyografideki kron boyu (C2) oranlanarak Düzeltme Faktörü (DF) elde edilir. Tedavi öncesi kök boyu (R1) ve tedavi sonrası kök boyu (R2) belirli bir formül kullanılarak EAKR miktarı belirlenir. Bu formüle göre:

$$\text{Düzeltilme Faktörü} = C1 / C2$$

$$\text{EAKR} = R1 - (R2 \times \text{DF}) \text{ (Sehr ve ark., 2011).}$$

2.3.2. Periapikal Radyografi Kullanımı

Geleneksel intraoral radyografilerin, erken safha EAKR'yi tespit etmek için güvenilir bir teknik olmadığı birçok çalışma tarafından gösterilmiştir (Andreasen ve ark., 1987; Chapnick, 1989; Goldberg ve ark., 1998). Öte yandan, paralaks radyografi tekniği, lezyonun konumu ve tipi hakkında daha fazla bilgi sağladığı için tercih edilebilir. "Lingual ile aynı, bukkal ile zıt" (SLOB) kuralı kullanılarak eksternal lezyonların yer değiştirmesi tespit edilebilmektedir (Gartner ve ark., 1976). Yatay açıda 20°'lik bir değişiklik ile çekilen ortoradial, mezioradial ve distoradial görüntülerin, internal apikal kök rezorpsiyonu (İAKR) ve EAKR'nin doğru teşhisi için yardımcı olduğu birçok çalışma tarafından rapor edilmiştir (Gartner ve ark., 1976; Kamburoğlu ve ark., 2008a; Kamburoğlu ve ark., 2008b). Periapikal radyografilerle kök rezorpsiyonunu değerlendirirken dikkate alınması gereken en kritik faktör, film ile diş arasındaki pozisyonun tekrarlanabilirliğidir. X-

ışınının pozisyonu tekrarlanamazsa, güvenilir ve kesin bir kantitatif analiz yapmak mümkün olmaz (Leach ve ark., 2001). Konvansiyonel radyografilerle, incelenen vakaların %51,9'unda yanlış negatif sonuçlar ve %15,3'ünde yanlış pozitif sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir (Nance ve ark., 2000). Ayrıca, 0,6 mm çapında ve 0,3 mm derinliğindeki lezyonların konvansiyonel periapikal radyografi ile tespit edilemediği belirtilmiştir (Andreasen ve ark., 1987; Goldberg ve ark., 1998).

2.3.3. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) Kullanımı

KIBT, kemik seviyesinde ve kök yüzeyinde araştırma yeteneğini artıran, kabul edilebilir bir radyasyon dozu ile her yönde ince tomografik kesitleri görüntülemeyi sağlayan, bu nedenle diş hekimliğinde kullanılan güncel bir görüntüleme yöntemidir (Scarfe ve ark., 2006).

KIBT, mevcut dokuları üç boyutlu olarak görüntüleyerek mevcut olan kök rezorpsiyonunun yüksek hassasiyetle tespit edilebilmesini sağlamaktadır (Da Silveira ve ark., 2007). Yapılan çalışmalar, KIBT taramalarının, iki boyutlu görüntülemeye göre kök rezorpsiyonunu daha doğru teşhis ettiğini göstermektedir (Dudic ve ark., 2009; Estrela ve ark., 2009). KIBT görüntüleme yöntemi, boyutsal rezorpsiyon ölçümlerinden ziyade hacimsel rezorpsiyonun tespitine olanak sağlamaktadır. Ancak kökteki materyal kaybını hesaplayan hacimsel hesaplamalarla ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Dindaroğlu ve Doğan, 2016). Sistematik bir derlemede, EAKR'nin teşhis edilmesi için KIBT ve periapikal radyografi yöntemlerinin tanısal doğrulukları karşılaştırılmış ve sonuçlar, KIBT'ın yapay olarak oluşturulmuş EAKR varlığını tespit etmek için klinik uygulamada güvenilir olabileceğini ve periapikal radyografilerden daha yüksek bir teşhis etkinliğine sahip olduğunu göstermiştir (Yi ve ark., 2017). KIBT'ın hem EAKR hem de İAKR teşhisi ve takibi için intraoral radyografiye göre üstün olduğu bulunmuştur (Patel, 2009; Patel ve ark., 2010). Liedke ve ark., 0,3 mm voksel çözünürlüğünün kullanılmasının, düşük X ışını maruziyeti ile KIBT kullanarak kök rezorpsiyonu teşhisinde en iyi yaklaşım olabileceğini bildirmişlerdir (Liedke ve ark., 2009).

2.4. Endodonti-Ortodonti İlişkisi

Son yıllarda estetik bilincinin artmasıyla birlikte, ortodontik tedavi yetişkinler ve hatta ileri yaştaki bireyler arasında daha yaygın hale gelmiştir (Sengupta ve ark., 2020). Bu nedenle de erişkin hastalarda daha fazla kanal tedavili dişle karşılaşilmektedir (Ahmed ve ark., 2009). Dolayısıyla endodontik tedavi görmüş dişlerin ortodontik olarak hareketi sıklıkla gerekmektedir. Bu nedenle ortodontik tedavi kararı verilirken endodonti ve ortodonti uzmanı arasında yapılması gereken konsültasyon tedavinin seyri açısından önemlidir.

Kök rezorpsiyonu ve ortodontik tedavi arasındaki ilişkiyi inceleyen çok sayıda çalışmanın yanı sıra, pulpa durumunun rezorpsiyon üzerindeki etkisi de dikkat çekmiştir. Mevcut literatürde, endodontik tedavi görmüş dişlerde ortodontik kuvvetlere bağlı apikal kök rezorpsiyonu ile ilgili çelişkili sonuçlar vardır. Bazı araştırmacılar endodontik tedavili dişlerde vital dişlere kıyasla kök rezorpsiyonu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varmış (Esteves ve ark., 2007; Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Esteves ve ark., 2013; Castro ve ark., 2014; Şeker ve ark., 2023), diğerleri endodontik tedavi görmüş dişlerin EAKR için predispozan faktör olduğunu bildirmiş (Steadman, 1942; Wickwire ve ark., 1974; Mah ve ark., 1996) ve diğer bazı araştırmacılar da vital dişlerin endodontik tedavi görmüş dişlere göre daha yüksek EAKR insidansına sahip olduğu sonucuna varmıştır (Kaku ve ark., 2014; Lee ve Lee, 2016; Khan ve ark., 2018; Kolcuoğlu ve Öz, 2020; Kurnaz ve Büyükçavuş, 2021; Grissom ve ark., 2022; Kurnaz ve Büyükçavuş, 2024).

Ortodontik tedavi, endodontik tedavi görmüş dişlerde kök rezorpsiyonuna ilaveten önceden var olan periapikal lezyonlarda da değişikliklere neden olabilir. Kronik periapikal lezyonların iyileşmesinde ortodontik diş hareketinin etkisi köpek dişlerinde histomorfolojik olarak değerlendirilmiş, hareket uygulanmayan deney grubunda lezyonların iyileşme sürecinin daha hızlı olduğu, ortodontik hareketin periapikal iyileşme sürecini geciktirdiği ancak engellemediği bildirilmiştir (De Souza ve ark., 2006). Lee ve Lee, periapikal lezyonun endodontik tedavili dişlerin kök rezorpsiyonuna etkisi olmadığını rapor etmişlerdir (Lee ve Lee, 2016). Ortodontik tedavinin endodontik tedavi

görmüş dişlerdeki periapikal görüntü üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalarda, bazı dişlerdeki periapikal lezyonun büyüdüğü, bazılarının ise küçüldüğü, ancak bu değişikliğin anlamlı olmadığı tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2023; Chen ve ark., 2024).

Endodonti-ortodonti arasındaki ilişkide, mevcut bilimsel çalışmaların yetersizliğinden ve metod farklılıklarının olmasından, çalışmalara dahil edilen hasta ve diş örnekleminin küçük olmasından, diş tiplerindeki ve uygulanan ortodontik tedavi türlerindeki farklılıklardan dolayı tam bir görüş birliği bulunmamaktadır ve daha fazla araştırma gerektirmektedir.



3. GEREÇ ve YÖNTEM

Endodontik tedavi görmüş dişlerin ortodontik tedavi öncesi ve sonrasındaki durumlarının değerlendirilmesi amacıyla planlanan bu retrospektif çalışmanın materyali sabit mekanikler ve/veya hareketli ortodontik apareyler ile tedavisi tamamlanan hastaların tedavi öncesi ve tedavi bitiminde alınan panoramik radyografilerden oluşmaktadır. Retrospektif çalışmamızın uygulanabilirliği için Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'ndan gerekli izinler alındı (04.04.2022 tarih ve 164 sayı, Ek 1).

3.1. Bireylerin Seçimi ve Grupların Oluşturulması

Çalışmamıza Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na başvurmuş ve ortodontik tedavisini tamamlamış toplam 503 hasta dahil edildi.

Çalışmaya dahil edilen bireylerin arşivden seçilmesinde esas alınan kriterler şunlardır:

- Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na 2012-2023 yılları arasında başvurmuş ve ortodontik tedavilerini tamamlamış olması,
- Bireylerin tedavi takip dosyalarının yapılan işlemleri ve hastanın sistemik durumunu ve hasta anamnezini gösterecek şekilde tam ve eksiksiz olması,
- Tedavi öncesi ve tedavi sonrası standart panoramik radyografilerin aynı röntgen cihazı kullanılarak elde edilmiş olması,
- Tedavi öncesi ve tedavi sonrası panoramik radyografilerinin net ve eksiksiz olması,
- Ortodontik tedavi uygulanmadan önce, endodontik tedavi görmüş en az bir dişle sahip olunması,
- Dişlerde belirgin insizal veya oklüzal kenar kırıkları olmaması,
- Bireylerin herhangi bir kraniofasial anomaliye sahip olmaması,
- Kemik formasyonu, kemik dansitesi ve kemik metabolizmasını etkileyebilecek ya da kök rezorpsiyonuna sebep olabilecek herhangi bir sistemik hastalığa sahip olmamaları.

Belirtilen kriterlere uygun olan hastaların seçimi için 4673 hasta verisi incelendi. Ortodontik tedavi uygulanmadan önce, endodontik tedavi görmüş en az bir diş sahibi 576 hasta tespit edildi. 73 hasta çekimli tedavi planlaması nedeniyle endodontik tedavili diş çekildiğinden çalışmadan çıkarılmıştır. Tedavi başlangıcında ve sonunda endodontik tedavili diş mevcut toplam 503 hasta değerlendirilmiştir. Değerlendirilen hastalarda 620 endodontik tedavili diş tespit edilmiştir (Şekil 3.2). Bu dişlerden 40'nın karşıt vital diş bulunmadığından 580 endodontik tedavi görmüş ve karşıt vital diş, tedavi tipine göre EAKR yüzdesi açısından karşılaştırılmıştır. 620 endodontik tedavili diş ve 580 karşıt vital diş ise, EAKR yüzdesi ile cinsiyet, yaş, tedavi süresi ve tedavi tipi arasındaki ilişkiyi analiz etmek için değerlendirilmiştir. Değerlendirilen endodontik tedavili dişlerin diş numarasına göre dağılımı şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Hastaların ortodontik tedavi tipinin EAKR seviyesi üzerindeki değerlendirmesi, ortopedik ve sabit ortodontik tedavinin art arda uygulanması (iki aşamalı) veya sadece sabit ortodontik tedavi (tek aşamalı) uygulanmasına göre yapılmıştır. İkinci olarak, çekimli veya çekimsiz sabit ortodontik tedavi tipine göre değerlendirilme yapılmıştır. Çekim kararına göre tek ve iki aşamalı tedavi gruplarının karşılaştırılması yapılmış ve daha sonra çekimli ve çekimsiz tedavi grupları tedavi aşamalarına göre karşılaştırılmıştır (Şekil 3.2). Tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi ve cinsiyetle endodontik tedavi görmüş ve vital dişlerdeki EAKR miktarı ilişkisi de değerlendirilmiştir. Ayrıca, endodontik tedavili ve karşıt vital dişler, tedavi aşamasına ve dişlerin çekilip çekilmediğine göre EAKR yüzdesi açısından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm sabit ortodontik tedavilerde konvansiyonel Roth aparatları kullanılmıştır.

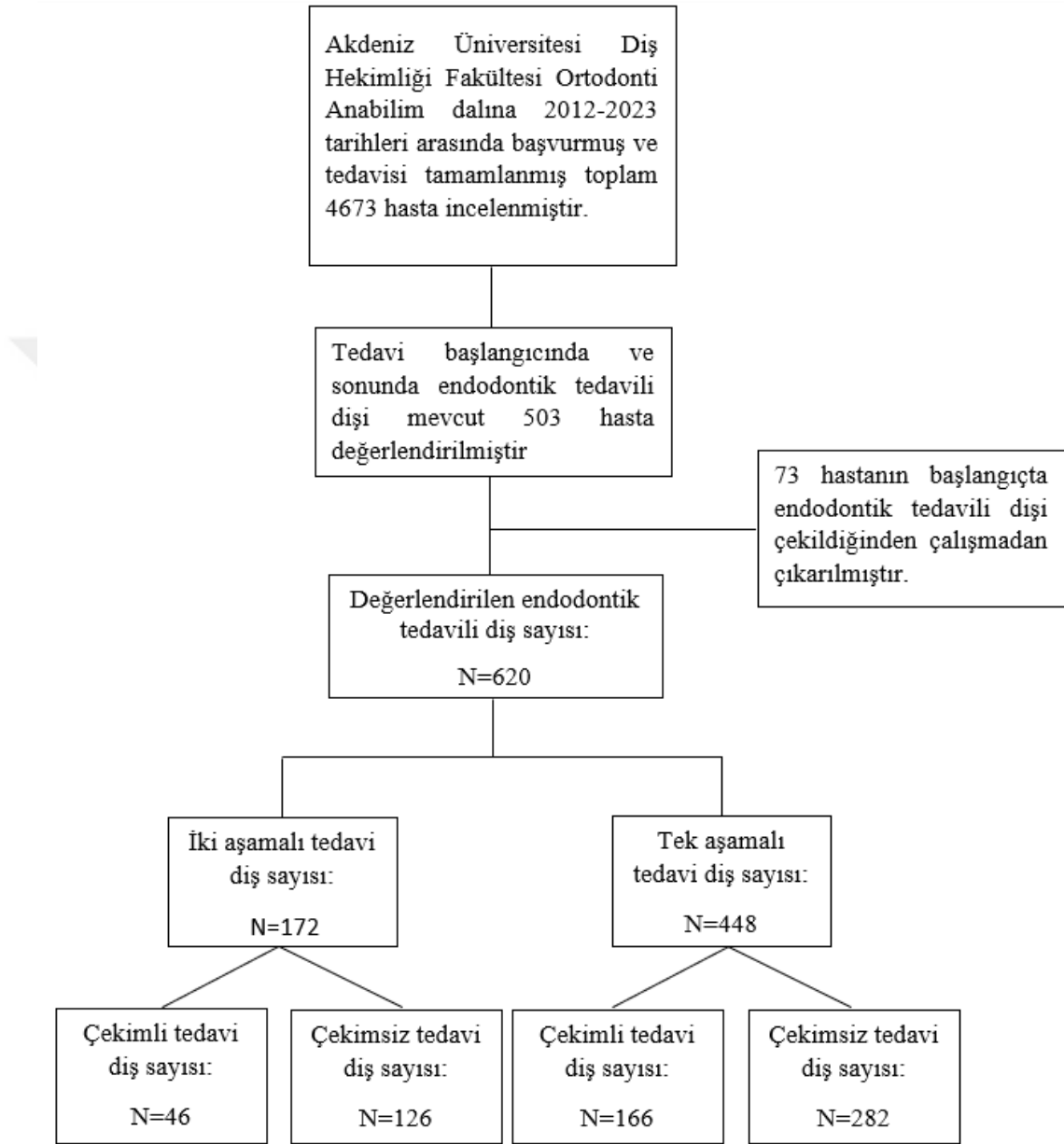
3.2. Kayıtların Toplanması

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı kliniğinde 2012-2023 yılları arasında ortodontik tedavi görmüş hastalardan, tedavi öncesi ve sonrasında rutin olarak alınan panoramik radyografiler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tedavi öncesi T0, tedavi sonrası T1 olarak adlandırılmıştır. Çalışmaya dahil edilen hastalara ait panoramik radyografiler Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı'nda bulunan Planmeca ProMax (Planmeca Oy,

00880 Helsinki, Finlandiya) markalı radyografi cihazıyla üretici firmanın talimatlarına uygun olarak (66kVp, 7mA ve 16s) standart şekilde elde edilmiştir (Şekil 3.1). Radyografiler çekilirken ısırma çubuğu ve çene desteği kullanılarak hastanın anteroposterior yöndeki konumu ayarlanmış, hastadan alt ve üst keser dişlerle ısırma çubuğu üzerindeki çentiği ısırması, dilini ağız tavanına değdirecek şekilde tutması ve dudaklarını kapatması istenmiştir. Tüm radyografiler hastanın sagital düzlemi yere dik, Frankfurt horizontal düzlemi yere paralel olacak şekilde alınmıştır.



Şekil 3.1. Planmeca Promax radyografi cihazı (Planmeca Oy, 00880 Helsinki, Finlandiya)



Şekil 3.2. Tedavi gruplarının oluşturulmasında kullanılan iş akış diyagramı

		SAĞ ÜST							SOL ÜST						
Diş numarası	N	5	72	14	7	1	13	31	27	17	1	12	13	93	5
		7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
		7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7
	N	16	126	8	2	0	2	2	0	0	0	2	11	129	11
		SAĞ ALT							SOL ALT						

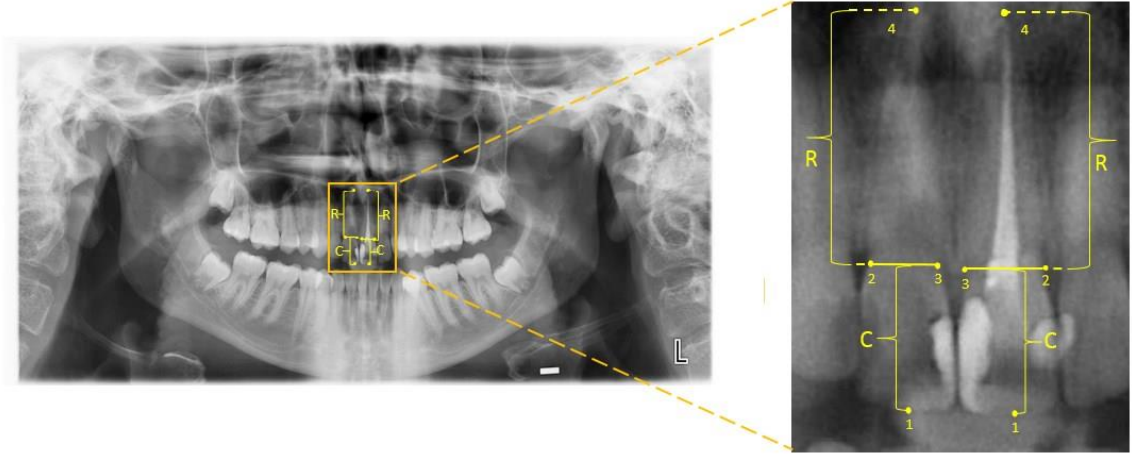
Şekil 3.3. Değerlendirilen endodontik tedavili dişlerin diş numarasına göre dağılımı (N: Endodontik tedavili diş sayısı)

3.3. Yöntem

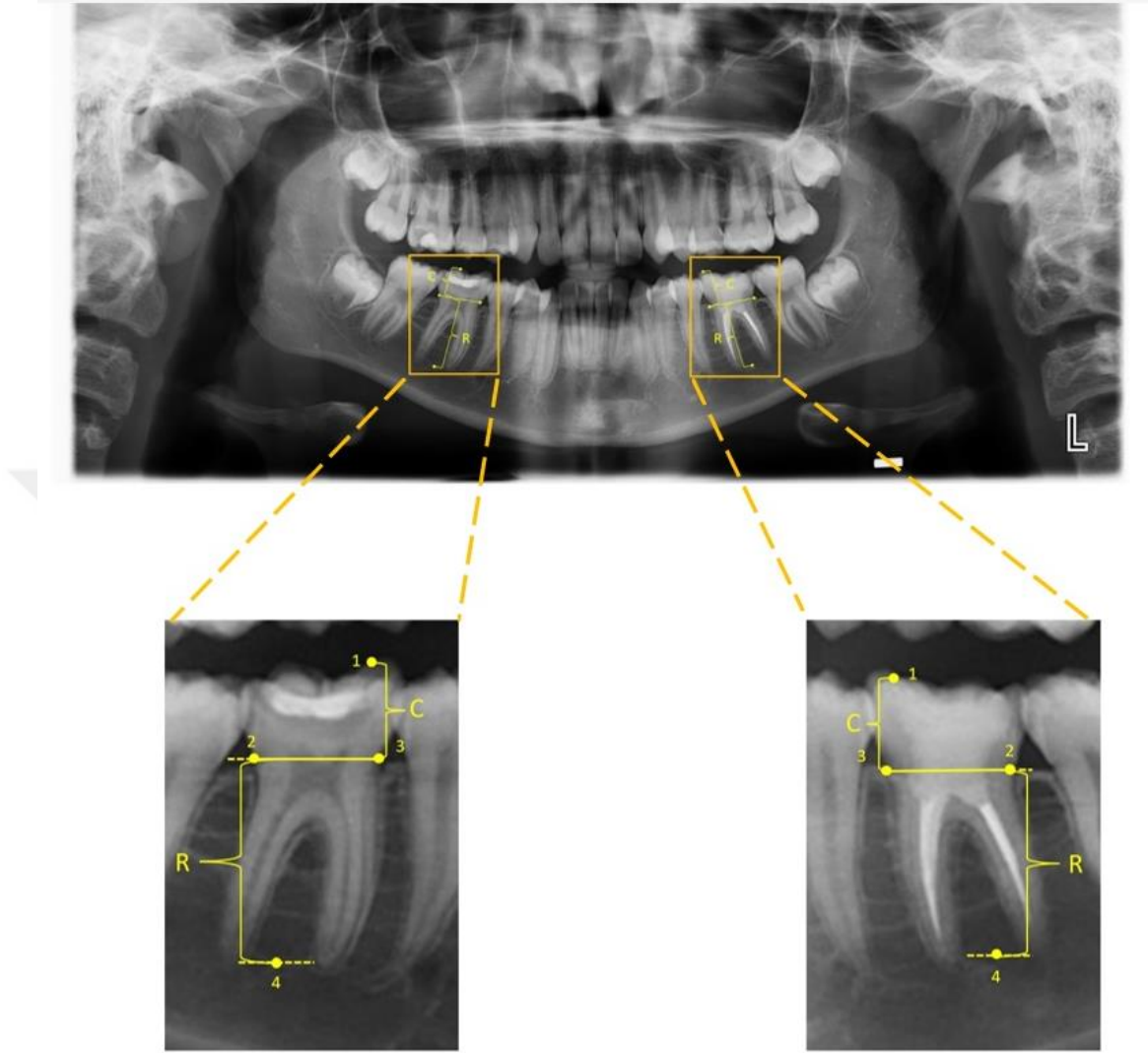
Her bir hastaya ait tedavi öncesi (T0) ve tedavi sonrası (T1) anındaki panoramik radyografilerde kron ve kök uzunlukları tek bir araştırmacı (E.K.) tarafından Planmeca ProMax (Planmeca Oy, 00880 Helsinki, Finlandiya) cihazı için aynı firma tarafından geliştirilen Planmeca Romexis Viewer (v.2.7.0.R; Planmeca, Finlandiya) yazılım programından faydalanılarak ölçülmüştür. Standart ölçüm için Linge ve Linge tarafından belirtilen yöntemden yararlanılmıştır (Linge ve Linge, 1991).

3.4. Panoramik Radyografilerin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda T0 ve T1 zamanındaki radyografiler üzerinde ölçümler yapılırken ilk olarak mine-sement birleşimi mezial ve distal mine sement birleşimleri arasında düz bir çizgi olarak belirlenmiştir. Daha sonra, radyografilerdeki kron uzunlukları, endodontik tedavili dişlerde ve karşıt vital dişlerde insizal veya oklüzal kenardan mine-sement birleşimine kadar olan en büyük mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Kök uzunlukları da endodontik tedavili dişlerde ve karşıt vital dişlerde mine-sement birleşiminden kök apekslerine kadar olan mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Birden fazla kökü olan dişlerin kök uzunlukları, mine-sement birleşiminden kök apekslerini birleştiren çizgi üzerindeki orta noktaya olan mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Maksiller molar ve premolar dişler için ise bukkal kök uzunlukları ölçülmüştür. Ortodontik tedavi öncesi ve sonrası ölçümler için referans noktaları ve çizgiler Şekil 3.4 ve 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan tek köklü dişlerin kron ve kök uzunluklarının panoramik radyografiler üzerinde ölçülmesi. 1. Kök apeksi; 2. Distal mine sement birleşimi; 3. Mezial mine sement birleşimi; 4. İnsizal kenar. Mine sement birleşimi mezial ve distal mine sement birleşimleri olmak üzere 2 nokta arasındaki düz çizgi olarak belirlenmiştir. Kron uzunluğu (C) ve kök uzunluğu (R), insizal kenardan ve kök apeksinden mine sement birleşimine dik olan en uzun mesafe olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan çok köklü dişlerin kron ve kök uzunluklarının panoramik radyografiler üzerinde ölçülmesi. 1.Kök apeksleri arasındaki çizgi üzerindeki orta nokta; 2. Distal mine sement birleşimi; 3. Mezial mine sement birleşimi; 4. Oklüzal kenar. Mine sement birleşimi mezial ve distal mine sement birleşimleri olmak üzere 2 nokta arasındaki düz çizgi olarak belirlenmiştir. Kron uzunluğu (C) ve kök uzunluğu (R) oklüzal kenardan ve kök apekslerini birleştiren çizgi üzerindeki orta noktadan mine sement birleşimine dik olan en uzun mesafe olarak ölçülmüştür.

Linge ve Linge, kök rezorpsiyon miktarını hesaplamak için $EAKR = R_1 - R_2 \times (C_1/C_2)$ (R_1 : tedavi öncesi kök uzunluğu, R_2 : tedavi sonrası kök uzunluğu, C_1 : tedavi öncesi kron boyu, C_2 : tedavi sonrası kron boyu) formülünün kullanılmasını önermişlerdir. Kron boyu değişmediği için tedavi öncesi radyografisinde ölçülen kron boyu (C_1) ve tedavi sonrası radyografisinde ölçülen kron boyu (C_2) oranlanarak kök uzunluğunun belirlenmesinde düzeltme faktörü olarak kullanılmaktadır (Linge ve Linge, 1991). İlk olarak, EAKR miktarı milimetre cinsinden bu yöntemle hesaplanmıştır. Daha sonra T0 ve T1 zamanları

arasında oluşan %'lik kök rezorpsiyonu miktarı, formüle göre hesaplanan EAKR miktarının R1 değerine oranlanmasıyla aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

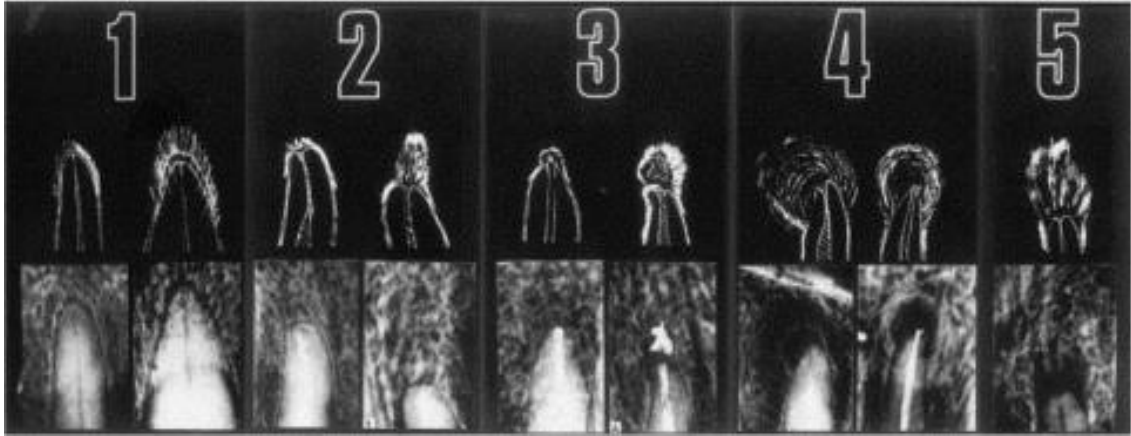
$$\text{Kök Rezorpsiyon Yüzdesi (\%)} = (\text{EAKR} \times 100) / R1$$

Diş köklerinin uzunluklarındaki bireysel farklılıklar, kök rezorpsiyon değerlerinin milimetre bazlı karşılaştırmalarının önemini azaltabileceğinden, yüzde değerlerinin kullanılması karşılaştırmalar yapmak için daha etkili bir yaklaşım olarak düşünülmüştür.

Ayrıca çalışmamızda yüzdelik kök rezorpsiyonu miktarının değerlendirilmesinin yanı sıra endodontik tedavi görmüş dişlerdeki periapikal bölgede lezyon varlığı veya yokluğuna da bakılmıştır. Endodontik tedavi görmüş dişlerin periapikal durumu Ørstavik ve ark. (1986) tarafından önerilen periapikal indeks (PAI) skorum sistemi kullanılarak tek bir araştırmacı (E.K.) tarafından değerlendirilmiştir. PAI radyografiler üzerinde periapikal lezyonları, artan radyografik görüntü derecesine göre 1'den 5'e kadar skorlayan bir skorum sistemidir ve Şekil 3.6'daki gibi 5 skordan oluşur. 1 ve 2 skorları periapikal olarak sağlıklı dişleri gösterirken, skor 3, 4 ve 5 periapikal lezyon varlığını göstermektedir (Şekil 3.7). Çalışmamızda PAI 1 ve PAI 2 skoru alan endodontik tedavili dişler periapikal lezyon yok, PAI 3, PAI 4 ve PAI 5 skoru alan endodontik tedavili dişler ise periapikal lezyon var olarak değerlendirilmiştir. Çok köklü dişlerin PAI skorunu belirlemek için kökler arasındaki en yüksek skor esas alınmıştır.

PAI skoru	Radyografik bulgu
1	Normal periapikal kemik yapısıyla karakterli normal apikal periodonsiyum mevcuttur.
2	Kemik yapısında küçük değişiklikler vardır, ancak apikal periodontitis teşhisi için yeterli radyografik bulgu yoktur.
3	Mineral kaybı ile birlikte kemik yapısında değişiklikler gözlenmektedir.
4	Belirgin ve sınırları kesin bir radyolüsensi vardır.
5	Kemikte belirgin bir yıkım ile karakterize radyolüsensi vardır.

Şekil 3.6. Periapikal İndeks Skorlama Sistemi (Ørstavik ve ark., 1986).



Şekil 3.7. Ørstavik tarafından geliştirilen PAI Skorlamasının Şematik Görüntüsü (Kirkevang ve ark., 2004).

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Tanımlayıcı istatistikler frekans, yüzde, ortalama, standart sapma, medyan, minimum, maksimum, %25-%75 percentile (Q1-Q3) değerleri ile sunulmuştur. Normallik varsayımı Shapiro Wilk Testi ile histogram, q-q plot, çarpıklık ve basıklık değerleri incelenerek kontrol edilmiştir. İki grubun sayısal verileri arasındaki farkın analizinde veriler normal dağılıma uyduğu durumda Independent Samples t Test (Bağımsız İki Örneklem t Testi), uymadığı durumda Mann-Whitney U Testi kullanılmıştır. İki bağımlı ölçüm kıyaslamasında grupların dağılımı normal dağılıma uymadığı durumda Wilcoxon Signed Rank Testi, uyduğu durumda Paired t Testi kullanılmıştır. Oran değişikliği için Mc Nemar Testi kullanılmıştır. Sayısal veriler arasındaki korelasyon, Spearman Korelasyon Testi ile analiz edilmiştir. Çalışmada p değerinin 0,05'ten küçük olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Analizler SPSS 23.0 paket programı ile yapılmıştır.

3.6. Metot Hatası

Araştırma verilerinin oluşturulduğu 1240 adet panoramik radyografi arasından, bireysel çizim ve ölçüm hata düzeyini kontrol etmek amacıyla rastgele olarak 124 adet panoramik radyografi seçildi. Bu seçilen radyografilerde ölçümler için kullanılan referans noktaları yeniden belirlendi. İlk değerlendirmeden bağımsız olarak, ölçümler 20 gün sonra aynı araştırmacı tarafından tekrarlandı. Sonuç olarak, ölçüm tekrarlaması katsayılarının (r) 1.00 tam değerine yakın olduğu belirlendi (Tablo 4.1).

4. BULGULAR

Panoramik filmler üzerinde yapılan ölçümler için metot hatası Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Çalışmamıza katılan bireylerin tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, cinsiyeti ve gruplara göre dağılımı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ortodontik tedavi görmüş hastaların endodontik tedavili dişleri tedavi sırasında çekim yapıp yapılmamasına ve aparey kullanma durumlarına göre birbirleri arasında ve simetrik vital dişler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1. Metot hatası

Parametreler	ICC
Endodontik tedavili diş T0 (mm)	0,978
Endodontik tedavili diş T1(mm)	0,979
Endodontik tedavili dişlerde T0-T1 (%)	0,974
Vital diş T0 (mm)	0,988
Vital diş T1 (mm)	0,989
Vital dişlerde T0-T1 (%)	0,986

4.1. Grupların Tanımlayıcı İstatistikleri

Ortodontik tedavi görmüş çalışma grubumuzu oluşturan bireylerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Çalışmada değerlendirilen parametreler için tanımlayıcı istatistik sonuçları

	Grup	n (Diş)	% $\bar{X}$	Ss	Medyan	Min	Maks	Q1	Q3
Çekim Kararı	Çekimli	212	34%						
	Çekimsiz	408	66%						
Tedavi Aşaması	Tek Aşamalı	448	72%						
	İki Aşamalı	172	28%						
Cinsiyet	Kadın	395	64%						
	Erkek	225	36%						
Endodontik Tedavili Diş T0 Lezyon	yok	523	84%						
	var	97	16%						
Endodontik Tedavili Diş T1 Lezyon	yok	504	81%						
	var	116	19%						
Tedavi Başlangıç Yaşı (yıl)		620	16,29	3,98	15,75	8,89	43,18	14,09	17,3
Tedavi Süresi (ay)		620	26,18	11,35	25,37	4,53	60,03	17,87	33,75
Endodontik Tedavili Diş T0 (mm)		620	20,39	3,84	20,55	9,4	30,9	17,7	23,15
Endodontik Tedavili Diş T1 (mm)		620	19,34	3,75	19,46	8,66	30,27	16,78	21,92
Vital Diş T0 (mm)		580	20,51	3,96	20,7	10	31,3	17,85	23,5
Vital Diş T1 (mm)		580	19,13	3,73	19,31	8,72	28,5	16,6	21,83
Endodontik Tedavili Diş T0-T1 (%)		620	5,13	4,54	4,26	0,05	41,47	1,85	7,17
Vital Diş T0-T1 (%)		580	6,62	4,74	5,72	0,11	27,49	2,85	8,99

4.2. Endodontik Tedavili ve Vital Diş Gruplarının Tedavi Aşaması ve Çekim Karına Göre Grup İçi Karşılaştırılması

Tedavi gruplarını oluşturan endodontik tedavili ve vital dişlerin tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, endodontik tedavili diş T0 (mm), T1 (mm), T0-T1 arası EAKR yüzdesi, vital diş T0 (mm), T1 (mm) ve T0-T1 arası EAKR yüzdesinin çekim kararına göre tek ve iki aşamalı tedavi gruplarının karşılaştırılması Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Çekimli tedavide tek aşamalı ve iki aşamalı gruplar arasında tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesi farklı bulunmuştur. Tek aşamalı çekimli tedavi grubunda, tedavi başlangıç yaşı daha yüksek; tedavi süresi, endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi ve vital diş EAKR yüzdesi istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Çekimsiz tedavide tek aşamalı ve iki aşamalı gruplar arasında tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, endodontik tedavili diş T0 (mm), endodontik tedavili diş T1 (mm), endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi, vital diş EAKR yüzdesi, vital diş T1 (mm) farklı bulunmuştur. Çekimsiz tedavide tek aşamalı grupta iki aşamalı gruba kıyasla tedavi başlangıç yaşı, endodontik tedavili diş T0 (mm), endodontik tedavili diş T1 (mm), vital diş T1 (mm) daha yüksek, tedavi süresi, endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi, vital diş EAKR yüzdesi istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.3. Çekim yapıp yapılmamasına göre tek ve iki aşamalı tedavi gruplarının ayrı ayrı karşılaştırılması

	Tedavi Aşamaları	Çekimli Ortodontik Tedavi				Çekimsiz Ortodontik Tedavi			
		n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p	n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p
Tedavi başlangıç yaşı (yıl) ^a	Tek aşamalı	166	17,65±5,04	16,49 (14,89-18,08)	<0,001	282	16,33±3,6	16,03 (14,48-17,41)	<0,001
	İki aşamalı	46	15,11±3,88	14,5 (13,24-15,41)		126	14,83±2,33	14,26 (13,59-15,73)	
Tedavi süresi (ay) ^a	Tek aşamalı	166	28,39±9,85	27,8 (22,07-34,53)	0,01	282	20,99±10,06	20,03 (12,93-27,07)	<0,001
	İki aşamalı	46	34,98±10,21	33,95 (24,93-41,83)		126	31,69±10,86	30,55 (22,2-40,33)	
Endodontik tedavili diş: T0 (mm) ^b	Tek aşamalı	166	20,84±3,87	21,35 (18,7-23,4)	0,52	282	20,47±3,85	20,6 (17,6-23,3)	0,034
	İki aşamalı	46	20,43±3,53	19,95 (18,1-22,6)		126	19,59±3,82	19,5 (16,9-22,5)	
Endodontik tedavili diş: T1 (mm) ^b	Tek aşamalı	166	19,81±3,76	20,16 (17,59-22,3)	0,143	282	19,48±3,75	19,64 (16,87-21,99)	0,02
	İki aşamalı	46	18,92±3,26	18,61 (16,99-21,42)		126	18,54±3,84	18,7 (15,81-21,71)	
Vital diş: T0 (mm) ^b	Tek aşamalı	159	21±4	21,3 (19-23,7)	0,537	264	20,54±3,95	20,65 (17,75-23,6)	0,066
	İki aşamalı	42	20,58±3,53	20,05 (18,3-23,3)		115	19,72±4,02	19,3 (17,3-23)	
Vital diş: T1 (mm) ^b	Tek aşamalı	159	19,5±3,75	19,8 (17,2-21,8)	0,179	264	19,31±3,7	19,38 (16,67-22,09)	0,03
	İki aşamalı	42	18,64±3,39	18,65 (16,26-21,3)		115	18,4±3,84	18,29 (15,71-21,45)	
Endodontik tedavili diş: T0-T1 (%) ^a	Tek aşamalı	166	4,92±3,99	4,48 (1,77-7,06)	0,002	282	4,75±4,27	3,75 (1,78-6,76)	0,547
	İki aşamalı	46	7,26±4,99	6,39 (4,27-9,81)		126	5,45±5,39	3,88 (1,88-7,08)	
Vital diş: T0-T1 (%) ^a	Tek aşamalı	159	7,06±4,6	6,78 (3,26-10,16)	0,006	264	5,87±4,34	5,27 (2,45-7,84)	0,196
	İki aşamalı	42	9,49±5,27	9,11 (5,96-12,43)		115	6,68±5,18	5,53 (2,87-8,59)	

a. Mann-Whitney U Test, b. Bağımsız İki Örneklem t Testi. p: Grup içi karşılaştırma (Çekimli tedavide Tek ve İki aşamalı grupların karşılaştırılması; Çekimsiz tedavide Tek ve İki aşamalı grupların karşılaştırılması). İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar **koyu** yazılmıştır (p<0,05)

Tedavi gruplarını oluşturan dişlerin tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, endodontik tedavili diş T0 (mm), T1 (mm), T0-T1 arası EAKR yüzdesi, vital diş T0 (mm), T1 (mm) ve T0-T1 arası EAKR yüzdesinin çekimli ve çekimsiz tedavi gruplarının tedavi aşamasına göre ayrı ayrı karşılaştırılması Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tek aşamalı tedavide çekim yapılan ve yapılmayan gruplar arasında tedavi başlangıç yaşı, tedavi süresi, vital diş EAKR yüzdesi farklı bulunmuştur. Bu değerlerin çekimli grupta çekimsiz gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). İki aşamalı tedavide çekimli ve çekimsiz gruplar arasında endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi, vital diş EAKR yüzdesi farklı bulunmuştur. Bu değerler çekimli grupta çekimsiz gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Tablo 4.4. Çekimli ve çekimsiz tedavi gruplarının tedavi aşamasına göre ayrı ayrı karşılaştırılması

	Çekim	Tek Aşamalı Ortodontik Tedavi				İki Aşamalı Ortodontik Tedavi			
		n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	P	n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	P
Tedavi başlangıç yaşı (yıl) ^a	Çekimli	166	17,65±5,04	16,49 (14,89-18,08)	0,002	46	15,11±3,88	14,5 (13,24-15,41)	0,767
	Çekimsiz	282	16,33±3,6	16,03 (14,48-17,41)		126	14,83±2,33	14,26 (13,59-15,73)	
Tedavi süresi (ay) ^a	Çekimli	166	28,39±9,85	27,8 (22,07-34,53)	<0,001	46	34,98±10,21	33,95 (24,93-41,83)	0,08
	Çekimsiz	282	20,99±10,06	20,03 (12,93-27,07)		126	31,69±10,86	30,55 (22,2-40,33)	
Endodontik tedavili diş: T0 (mm) ^b	Çekimli	166	20,84±3,87	21,35 (18,7-23,4)	0,327	46	20,43±3,53	19,95 (18,1-22,6)	0,195
	Çekimsiz	282	20,47±3,85	20,6 (17,6-23,3)		126	19,59±3,82	19,5 (16,9-22,5)	
Endodontik tedavili diş: T1 (mm) ^b	Çekimli	166	19,81±3,76	20,16 (17,59-22,3)	0,372	46	18,92±3,26	18,61 (16,99-21,42)	0,553
	Çekimsiz	282	19,48±3,75	19,64 (16,87-21,99)		126	18,54±3,84	18,7 (15,81-21,71)	
Vital Diş: T0 (mm) ^b	Çekimli	159	21±4	21,3 (19-23,7)	0,251	42	20,58±3,53	20,05 (18,3-23,3)	0,223
	Çekimsiz	264	20,54±3,95	20,65 (17,75-23,6)		115	19,72±4,02	19,3 (17,3-23)	
Vital Diş: T1 (mm) ^b	Çekimli	159	19,5±3,75	19,8 (17,2-21,8)	0,611	42	18,64±3,39	18,65 (16,26-21,3)	0,722
	Çekimsiz	264	19,31±3,7	19,38 (16,67-22,09)		115	18,4±3,84	18,29 (15,71-21,45)	
Endodontik tedavili diş: T0-T1 (%) ^a	Çekimli	166	4,92±3,99	4,48 (1,77-7,06)	0,55	46	7,26±4,99	6,39 (4,27-9,81)	0,003
	Çekimsiz	282	4,75±4,27	3,75 (1,78-6,76)		126	5,45±5,39	3,88 (1,88-7,08)	
Vital Diş: T0-T1 (%) ^a	Çekimli	159	7,06±4,6	6,78 (3,26-10,16)	0,005	42	9,49±5,27	9,11(5,96-12,43)	<0,001
	Çekimsiz	264	5,87±4,34	5,27 (2,45-7,84)		115	6,68±5,18	5,53 (2,87-8,59)	

a. Mann-Whitney U Test, b. Bağımsız İki Örneklem t Testi. p: Grup içi karşılaştırma (Tek aşamalı tedavide Çekimli ve Çekimsiz grupların karşılaştırılması; İki aşamalı tedavide Çekimli ve Çekimsiz grupların karşılaştırılması). İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar **koyu** yazılmıştır (p<0,05)

4.3. Endodontik Tedavili ve Vital Diş Gruplarının Tedavi Aşaması ve Çekim Kararına Göre Gruplar Arası Karşılaştırılması

Tek aşamalı ve iki aşamalı ortodontik tedavi gruplarında ayrı ayrı T0 ve T1 aşamasındaki diş kök boyutu ve endodontik tedavili dişler ile vital dişler arasındaki EAKR yüzdesi karşılaştırılmıştır (Tablo 4.5). Her iki grupta da endodontik tedavili diş ve vital diş kök boyu ölçümlerinde T1’de T0’a göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalma görülmüştür ($p<0,05$). Vital diş EAKR yüzdesi hem tek aşamalı hem de iki aşamalı tedavi gruplarında endodontik tedavili diş EAKR yüzdesine göre istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur.

Tablo 4.5. Endodontik tedavili ve vital dişlerin tek ve iki aşamalı ortodontik tedavi gruplarına göre karşılaştırılması

	Tek Aşamalı Ortodontik Tedavi				İki Aşamalı Ortodontik Tedavi			
	n (Diş)	$\bar{X}\pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p	n (Diş)	$\bar{X}\pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p
Endodontik tedavili diş: T0 (mm)	448	20,61 $\pm$ 3,86	20,85 (18,05-23,4)	<0,001 ^a	172	19,82 $\pm$ 3,75	19,7 (17,4-22,5)	<0,001 ^a
Endodontik tedavili diş: T1 (mm)	448	19,61 $\pm$ 3,75	19,87 (17,04-22,09)		172	18,64 $\pm$ 3,69	18,69 (16,11-21,48)	
Vital Diş: T0 (mm)	423	20,72 $\pm$ 3,97	21 (17,9-23,6)	<0,001 ^a	157	19,95 $\pm$ 3,9	19,4 (17,5-23,1)	<0,001 ^a
Vital Diş: T1 (mm)	423	19,38 $\pm$ 3,72	19,58 (16,84-22)		157	18,46 $\pm$ 3,72	18,4 (16-21,3)	
Endodontik tedavili diş: T0-T1 (%)	423	4,92 $\pm$ 4,24	4,31 (1,77-7,09)	<0,001 ^b	157	6,25 $\pm$ 5,44	4,76 (2,26-7,99)	0,001 ^b
Vital Diş: T0-T1 (%)	423	6,32 $\pm$ 4,47	5,61 (2,73-8,71)		157	7,43 $\pm$ 5,33	6,54 (3,61-9,58)	

a. Eşli t Testi, b. Wilcoxon Eş Testi. p: Gruplar arası karşılaştırma (Tek aşamalı tedavide Endodontik tedavili ve Vital dişlerin EAKR düzeyinin karşılaştırılması; İki aşamalı tedavide Endodontik tedavili ve Vital dişlerin EAKR düzeyinin karşılaştırılması). İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar **koyu** yazılmıştır ($p<0,05$).

Çekimli ve çekimsiz tedavi gruplarında ayrı ayrı T0 ve T1 aşamasındaki diş kök boyutu ve endodontik tedavili dişler ile vital dişler arasındaki EAKR yüzdesi karşılaştırılmıştır (Tablo 4.6). Her iki grupta da endodontik tedavili diş ve vital diş kök boyu ölçümlerinde T1’de T0’a göre istatistiksel olarak önemli ölçüde azalma görülmüştür ($p<0,05$). Aşama karşılaştırmasındaki bulgulara benzer şekilde, hem çekimli hem de çekimsiz tedavi gruplarında vital diş EAKR yüzdesi, endodontik tedavili diş EAKR yüzdesinden yüksek bulunmuştur.

Tablo 4.6. Endodontik tedavili ve vital dişlerin çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi gruplarına göre karşılaştırılması

	Çekimli Ortodontik Tedavi				Çekimsiz Ortodontik Tedavi			
	n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p	n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p
Endodontik tedavili diş: T0 (mm)	212	20,75±3,79	20,9 (18,45-23,3)	<0,001 ^a	408	20,2±3,86	20,3 (17,4-22,95)	<0,001 ^a
Endodontik tedavili diş: T1 (mm)	212	19,62±3,66	19,8 (17,45-22,06)		408	19,19±3,8	19,23 (16,5-21,89)	
Vital Diş: T0 (mm)	201	20,91±3,9	21,2 (18,7-23,5)	<0,001 ^a	379	20,3±3,99	20,3 (17,5-23,4)	<0,001 ^a
Vital Diş: T1 (mm)	201	19,32±3,69	19,66 (17,04-21,66)		379	19,03±3,76	19,15 (16,45-22,03)	
Endodontik tedavili diş: T0-T1 (%)	201	5,56±4,38	5,1 (2,05-7,69)	<0,001 ^b	379	5,13±4,76	4,07 (1,84-7,09)	<0,001 ^b
Vital Diş: T0-T1 (%)	201	7,57±4,84	6,93 (3,7-10,56)		379	6,12±4,62	5,34 (2,72-8,09)	

a. Eşli t Testi, b. Wilcoxon Eş Testi. p: Gruplar arası karşılaştırma (Çekimli tedavide Endodontik tedavili ve Vital dişlerin EAKR düzeyinin karşılaştırılması; Çekimsiz tedavide Endodontik tedavili ve Vital dişlerin EAKR düzeyinin karşılaştırılması). İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar **koyu** yazılmıştır (p<0,05).

4.4. Tedavi ile Oluşan Değişimin Cinsiyete Göre Karşılaştırılması

Endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesinin tedavi ile oluşan değişiminin cinsiyete göre karşılaştırması Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Kadın ve erkek hastaların, endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi ve vital diş EAKR yüzdesi arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 4.7. Endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesinin cinsiyete göre farkı

	Cinsiyet	n (Diş)	$\bar{X} \pm Ss$	Medyan (Q1-Q3)	p
Endodontik tedavili diş T0-T1 (%)	Kadın	395	5,12±4,72	4,14 (1,78-7,23)	0,631
	Erkek	225	5,14±4,22	4,34 (2,07-6,89)	
Vital diş T0-T1 (%)	Kadın	372	6,5±4,82	5,62 (2,77-8,77)	0,262
	Erkek	208	6,83±4,61	5,99 (3,52-9,44)	

Mann-Whitney U Test

4.5. Tedavi Başlangıç Yaşı ve Tedavi Süresinin Endodontik Tedavili Diş ve Vital Diş Gruplarına Göre Değerlendirilmesi

Endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi ve vital diş EAKR yüzdesi ile tedavi süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı, pozitif yönlü bir korelasyon tespit edilmiştir ($p<0,001$; $r=0,19$ ve $r=0,226$). Yaş ile bu değerler arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Tedavi başlangıç yaşı ve tedavi süresinin endodontik tedavili diş ve vital diş EAKR yüzdesi ile korelasyonu

	Korelasyon	Vital diş T0-T1 (%)	Tedavi başlangıç yaşı (yıl)	Tedavi süresi (ay)
Endodontik tedavili diş T0-T1 (%) n=620	r	0,245	-0,011	0,190
	p	<0,001	0,784	<0,001
Vital diş T0-T1 (%) n=580	r		-0,047	0,226
	p		0,258	<0,001

Spearman Korelasyon Testi

4.6. Tedavi Gruplarını Oluşturan Dişlere Göre EAKR Yüzdesinin Dağılımının Değerlendirilmesi

Çalışmamızda 620 endodontik tedavili dişte ve 580 vital dişte gözlenen EAKR yüzdesi hesaplanmıştır. Endodontik tedavili dişlerde en fazla EAKR yüzdesi 42 numaralı dişte görülürken, en az 13 numaralı dişte görülmüştür. Vital dişlerde en fazla EAKR yüzdesi 13 numaralı dişte gözlenirken, en az 23 numaralı dişte bulunmuştur (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Endodontik tedavili dişler için EAKR yüzdesinin dağılımı

	Diş Numarası	n	$\bar{X}$	Ss	Medyan	Q1	Q3
Endodontik tedavili diş T0-T1 (%)	11	31	6,57	4,67	5,34	2,75	10,41
	12	13	4,51	4,12	5,25	0,91	6,15
	13	1	1,32	.	1,32	1,32	1,32
	14	7	2,86	2,82	1,38	0,43	6,4
	15	14	4,61	3,99	4,56	0,75	7,64
	16	72	4,52	3,77	3,84	1,78	6,35
	17	5	4,47	2,63	4,67	3,23	5,7
	21	27	6,22	4,21	4,88	3,38	7,8
	22	17	6,66	5,92	6,23	1,44	8,11
	23	1	9,18	.	9,18	9,18	9,18
	24	12	4,24	3,23	4,99	0,48	7,11
	25	13	5,11	3,66	4,32	2,43	5,87
	26	93	6,09	5,33	4,85	2,3	7,99
	27	5	3,83	2,57	4,09	1,41	5,76
	34	2	2,94	1,01	2,94	2,23	3,66
	35	11	3,74	3,84	2,62	0,56	5,34
	36	129	5,14	4,38	4,32	1,92	7,36
	37	11	4,21	2,07	4,22	2,51	6,04
	41	2	8,37	5,72	8,37	4,33	12,42
	42	2	15,22	1,93	15,22	13,85	16,59
	44	2	3,56	4,71	3,56	0,22	6,89
	45	8	3,23	3,09	2,53	1,03	3,88
	46	126	4,52	4,87	3,53	1,51	6,32
	47	16	5,17	4,17	3,86	1,46	8,98

En yüksek oran **koyu** yazılmıştır.

Tablo 4.9. Vital dişler için EAKR yüzdesinin dağılımı (Devam)

	Diş Numarası	n	$\bar{X}$	Ss	Medyan	Q1	Q3
Vital Diş T0-T1 (%)	11	24	7,85	4,69	8,55	3,24	10,17
	12	17	7,8	4,72	6,6	3,82	10,67
	13	1	18	.	18	18	18
	14	12	7,93	5,83	6,97	2,98	11,69
	15	13	8,89	6,05	8,03	3,65	12,87
	16	93	6,12	4,12	5,45	2,29	9,03
	17	5	6,05	3,74	6,58	4,42	8,2
	21	29	7,48	4,42	7,23	4,88	9,73
	22	13	7,2	4,74	7,18	4,65	8,82
	23	1	0,3	.	0,3	0,3	0,3
	24	7	7,29	5,07	5,76	3,63	9,95
	25	14	6,73	6,12	4,85	2,21	9,84
	26	72	6,25	5,61	5,01	2,66	7,27
	27	5	4,67	4,04	2,88	1,57	7,13
	31	2	3,94	4,61	3,94	0,67	7,2
	32	2	8,93	0,48	8,93	8,59	9,27
	34	2	5,72	1,5	5,72	4,66	6,78
	35	8	10,08	7,48	8,01	5,33	14,36
	36	107	6,77	4,62	6	3,24	8,33
	37	15	6,12	3,66	5,61	3,29	9,64
	44	2	3	3,75	3	0,35	5,65
	45	11	6,43	4,44	5,6	3,94	6,89
	46	114	6,16	4,42	5,33	2,37	8,77
	47	11	4,4	2,35	4,47	2,54	6,72

En yüksek oran **koyu** yazılmıştır.

4.7. Periapikal Lezyon Varlığının Endodontik Tedavili Diş Gruplarında EAKR Üzerine Etkisi ve Lezyon Değişikliğinin Değerlendirilmesi

T0 aşamasında periapikal lezyon olup olmasının endodontik tedavili dişlerdeki EAKR yüzdesi üzerine etkisi Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Lezyon bulunan ve bulunmayan dişlerle EAKR yüzdesi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Endodontik tedavili dişlerin T0 aşamasındaki ve T1 aşamasındaki periapikal lezyon oranı

karşılaştırması Tablo 4.11’de gösterilmiştir. T0 aşamasında 523 endodontik tedavi dişte periapikal lezyon bulunmazken, 97 dişte periapikal lezyon tespit edilmiştir. Endodontik tedavi görmüş dişlerin T0 aşamasındaki ve T1 aşamasındaki periapikal lezyon oranlarının karşılaştırması Tablo 4.11’de gösterilmiştir. T0 aşamasında 523 endodontik tedavi görmüş dişte periapikal lezyon bulunmazken, 97 dişte periapikal lezyon tespit edilmiştir. T1 aşamasında ise 504 endodontik tedavi görmüş dişte periapikal lezyon saptanmazken, 116 dişte periapikal lezyon olduğu belirlenmiştir. T1 aşamasında lezyon bulunan 116 dişin 84’ünde T0 aşamasında da lezyon varken, 32’sinde lezyon olmadığı tespit edilmiştir. T1 aşamasında lezyon bulunmayan 504 dişin 491’inde T0 aşamasında da lezyon yokken, 13’ünde lezyon olduğu görülmüştür. T0 periapikal lezyon oranı (%16) ile T1 periapikal lezyon oranı (%19) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p=0,007$).

Tablo 4.10. Endodontik tedavi dişlerdeki EAKR yüzdesine periapikal lezyon varlığının etkisi.

Endodontik tedavi diş: T0-T1 (%)								
		n	$\bar{X}$	Ss	Medyan	Q1	Q3	p
Endodontik tedavi diş T0 lezyon	Yok	523	5,16	4,36	4,32	1,9	7,41	0,214
	Var	97	4,95	5,45	3,9	1,71	6,65	

Mann Whitney U Test

Tablo 4.11. Periapikal lezyon değişikliğinin değerlendirilmesi

			Endodontik tedavili diş T1 lezyon			
			Yok	Var	Toplam	p
Endodontik tedavili diş T0 lezyon	Yok	n	491	32	523	0,007
		Satır yüzdesi	94%	6%	100%	
		Sütun yüzdesi	97%	28%	84%	
	Var	n	13	84	97	
		Satır yüzdesi	13%	87%	100%	
		Sütun yüzdesi	3%	72%	16%	
	Toplam	n	504	116	620	
		Satır yüzdesi	81%	19%	100%	
		Sütun yüzdesi	100%	100%	100%	

Mc Nemar Test. İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar **koyu** yazılmıştır ($p<0,05$).

5. TARTIŞMA

Ortodontik diş hareketi ortodontik kuvvetlerin etkileriyle oluşan, kemik ve yumuşak dokuların bileşiminde ve şeklinde dinamik değişikliklerin meydana gelmesi sonucunda gerçekleşen olaylardır (Huang ve ark., 2005). Ortodontik kuvvet uygulanması sonucu ortaya çıkan diş hareketi; periodontal ligament, alveoler kemik, gingiva ve pulpa gibi dental ve paradental dokuların yeniden şekillenmesiyle karakterize edilir. Mekanik yüklemelerin süresine, sıklığına ve büyüklüğüne bağlı olarak, hem histolojik hem de radyolojik değişiklikler meydana gelir. Diş hareketi sırasında bu remodeling olayları, periodontal ligamentin sıkışma ve gerilme bölgelerinde oluşur (Krishnan ve Davidovitch, 2006). Fonksiyonel ya da sabit apareylerin dişler üstüne uyguladığı kuvvetler hücrel aktiviteyi başlatır. Bu hücrel faaliyetlerin ne zaman ve nasıl oluştuğu bilinmekle beraber gerçekleşecek sonuçlar net olarak bilinmemektedir (Brezniak ve Wasserstein, 2002).

Dişin dentin ve sement dokusunun odontoklastlar tarafından ortadan kaldırılmasına kök rezorpsiyonu denilmektedir. Dişin periodontal ligamente komşu kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon ise eksternal kök rezorpsiyonu olarak adlandırılır (Darcey ve Qualtrough, 2016). Eksternal kök rezorpsiyonu, mineralize sementin yanı sıra ince bir non-mineralize sement tabakasının aktif olarak uzaklaştırılması şeklinde tanımlanmıştır (Brudvik ve Rygh, 1994). Bu sürecin, periodontal ligamentin yeniden şekillenmesi sırasında meydana gelen hyalinize nekrotik dokunun uzaklaştırılmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Brudvik ve Rygh, 1994). Ortodontik tedavi sırasında oluşan eksternal kök rezorpsiyonunun, tedavinin patolojik bir sonucu olduğu varsayılmaktadır (Brezniak ve Wasserstein, 2002; Darcey ve Qualtrough, 2016).

Histolojik çalışmalar, ortodontik tedavi gören dişlerin %90'ından fazlasında EAKR meydana geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte yapılan farklı çalışmalarda, ortodonti hastalarında en az bir dişte EAKR görülme insidansının %20 ile %100 arasında değiştiği bildirilmiştir (Aman ve ark., 2018; Inchingolo ve ark., 2024)

Kök rezorpsiyonunun tespitinde kullanılan yöntem ya da yöntemler tedavinin seyri ve olası riskler açısından önemlidir. Rezorpsiyon miktarının belirlenmesinde hangi

radıografının kullanılması gerektiği literatürdeki tartışmalı konulardandır (Ericson ve Kurol, 1987; Heimisdottir ve ark., 2005; Tieu ve ark., 2015). Ortodontik olarak indüklenen apikal kök rezorpsiyonunu değerlendiren çalışmalarda, kök rezorpsiyonunun derecesini ölçmek için dijital panoramik radyografi, intraoral periapikal radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) tercih edilmiştir (Esteves ve ark., 2013; Şeker ve ark., 2023; Grissom ve ark., 2022). Üç boyutlu görüntülemenin, iki boyutlu görüntülerden daha yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Chan ve Darendeliler, 2004; Dudic ve ark., 2009; Patel ve ark., 2009; Lund, 2011). Fakat KIBT, yüksek radyasyon dozundan dolayı rutin ortodontik kayıtlar için kullanılmamaktadır (Walker ve ark., 2013). Kumar ve ark. yaptıkları çalışmada KIBT'nin artmış radyasyon dozu, maliyetinin fazla olması ve çoğu klinik ortamda sınırlı kullanılabilirliğinden dolayı periapikal radyografilerin kök rezorpsiyonunu belirlemede daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (Kumar ve ark., 2011). Şeker ve ark. ortodontik tedavi takiplerinde en sık kullanılan yöntem olması ve "ALARA" prensibine dayanarak radyasyon maruziyetinden korunma konusunda KIBT'e göre daha kabul edilebilir bir radyasyon dozuna sahip olması nedeniyle dijital panoramik radyografileri çalışmalarında tercih etmişlerdir (Şeker ve ark., 2023).

Periapikal radyografiler, daha az görüntü distorsiyonu ve daha yüksek ayrıntı çözünürlüğü nedeniyle panoramik görüntülerden daha üstün olarak görölmektedir (Pepelassi ve Diamanti-Kipioti, 1997). Sameshima ve Asgarifar tarafından yapılan çalışmada, periapikal radyografilere göre panoramik radyografilerde ölçülen rezorpsiyon miktarının %20'ye yakın oranda daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Sameshima ve Asgarifar, 2001). Kotana tarafından yapılan çalışmada ise periapikal radyografiler üzerinden eksternal kök rezorpsiyonunu değerlendirme doğruluğunun diş şeklindeki farklılıklardan kaynaklanan hatalar nedeniyle etkilenebileceği bildirilmiştir (Kotana, 2006). Apajalahti ve Peltola yaptıkları çalışmada kök uzunluğu değişikliklerini panoramik radyografiler üzerinden değerlendirmişlerdir. Bunun nedeni olarak periapikal radyografilerin ortodontik tedavi sırasında rutin olarak alınmaması ve panoramik radyografilerin yüksek görüntü kalitesinden dolayı olduğunu bildirmişlerdir (Apajalahti ve Peltola, 2007). Choi panoramik radyografinin radyasyon dozunun geleneksel tam ağız periapikal

radıyografıden daha dűşűk olduęunu bıldırmıřtır (Choi, 2011). Marınescu ve ark. dűşűk radyasyon dozu, tűm dental arkın gűrűntűlenebilmesi ve dűşűk maliyet gibi avantajlarından dolayı kűk rezorpsiyonu teřhisinde genellikle panoramik radyografilerin kullanıldıęını bıldırmıřtır (Marınescu ve ark., 2019). Kűk rezorpsiyonunun incelendięi çoęu çalıřmada, rezorpsiyon tespiti açısından panoramik radyografiler gűvenli bulunarak tercih edilmiřtir. (Kaley ve Phillips, 1991; Sameshima ve Asgarifar, 2001; Brin ve ark., 2003; Armstrong ve ark., 2006; Pandis ve ark., 2008; Dudic ve ark., 2009; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Lee ve Lee, 2016; Khan ve ark., 2018; Kurnaz ve Bűyűkavuř, 2021; řeker ve ark., 2023; Kurnaz ve Bűyűkavuř, 2024). Çalıřmamızda da elde edilmesi kolay olan, EAKR'nin deęerlendirilmesinde yeterli bilgiyi veren, klinięimizde her hastadan ortodontik tedavi űncesi ve sonrası rutin olarak alınan ve kolay ulařılabilen panoramik radyografiler kullanılmıřtır.

Panoramik radyografideki yaygın hatalar genellikle başın konumlandırılmasından kaynaklanmaktadır. Stramotas ve ark. farklı zamanlarda çekilen panoramik radyografilerdeki doğrusal űlűmlerin, oklűzal dűzlemin benzer şekilde konumlandırılması ve eęim derecesinin 10 dereceyi aşmaması halinde doğru olduğunu bıldırmışlardır (Stramotas ve ark., 2002). Çalışmamızda kullanılan radyografiler bař konumlandırma hatalarını azaltmak için aynı panoramik radyografi makinesi kullanılarak elde edilmiştir ve başın pozisyonunu standardize etmek için makineye entegre edilmiş pozisyonlama ışığı kullanılmıştır. Ayrıca, kűk rezorpsiyon miktarını doğrusal olarak belirlemek yerine, tedavi űncesi ve sonrası radyografilerdeki EAKR'nin yűzde olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bilgisayar ortamına aktarılan dięital radyografik gűrűntűler űzerinde gerçekleřtirilen çalıřmalarda bilgisayar programları kullanılarak űlűmler yapılmaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan radyografilerin çeřitli bilgisayar programları ile kullanılabilmesi sayesinde űlűmlerin daha doęru ve hassas yapılabileceęi bıldırılmektedir (Semenoff ve ark, 2011).

Dięital gűrűntűler űzerinden dűzlemsel űlűm yapabilen birçok program olmasına raęmen, hassas űlűm iřlemleri yapılabilen Planmeca Romexis (v.2.7.0.R; Planmeca, Finlandiya)

yazılım programı ile iki nokta arasında belirlenen bir düzleme üçüncü herhangi bir noktanın dik izdüşümü oluşturulabilmekte ve düzleme olan dikey mesafesi ölçülebilmektedir. Görselleri oluşturan en küçük birimler pikseller ile objelerin dijital görüntüleri üzerinde hassas ölçümlerin yapılabilmesi ve ölçüm güvenilirliği nedenleriyle çalışmamızda hastaların panoramik radyografilerinin elde edildiği Planmeca ProMax (Planmeca Oy, 00880 Helsinki, Finlandiya) cihazı için aynı firma tarafından geliştirilen Planmeca Romexis (v.2.7.0.R; Planmeca, Finlandiya) yazılım programı tercih edilmiştir.

Radyografiler üzerinden EAKR'nin değerlendirilmesi için genel olarak ordinal skala yöntemi ve oransal skala yöntemi olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. (Harris, 2000). Bazı araştırmacılar EAKR'ni radyografiler üzerinden ordinal skala yöntemi kullanarak niteliksel olarak incelemektedirler. Bu yöntemle rezorpsiyonunun şiddetinin belirlenmesi tamamen bireysel bakış açısı ile oluşturulmuş skorlama sistemleriyle olmaktadır (Malmgren ve ark., 1982; Beck ve Harris, 1984; Sharpe ve ark., 1987; Levander ve Malmgren, 1988; Levander ve ark., 1998; Janson ve ark., 2000; Harris ve ark., 2001; Apajalahti ve Peltola, 2007; Bayır, 2019). Ordinal skala yöntemi tamamen görsel bir değerlendirme yöntemine dayandığından dolayı çalışmalar en az iki gözlemci ile yapılmaktadır (Levander ve Malmgren, 1988; Marques ve ark., 2010; Bille ve ark., 2010).

Oransal skala yöntemi ise radyografiler üzerinden elde edilen milimetrik ölçümlerin farklı formüller kullanılarak değerlendirilmesiyle yapılmaktadır. Milimetrik ölçümlere dayanan oransal skala yönteminin, tamamen görsel olarak yapılan ordinal skala yöntemine göre güvenilirlik açısından daha üstün olduğu düşünülmektedir (Copeland ve Green, 1986; Taner ve ark., 1999). Panoramik ve periapikal radyografiler üzerinden apikal rezorpsiyonu değerlendiren çalışmalarda görüntülerde oluşan magnifikasyonu minimuma düşürmek için farklı formüller geliştirilmiştir (Linge ve Linge, 1983; Dermaut ve Munck, 1986; McFadden ve ark., 1989; Linge ve Linge, 1991; Blake ve Pharoah, 1995; Baumrind ve ark., 1996; Mavragani ve ark., 2000). Oransal skala yönteminde iki radyografi arasındaki distorsiyon farkının ortadan kaldırılması amacıyla ilk olarak Linge ve Linge (1983) tarafından kron uzunlukları dikkate alınarak bir formül geliştirilmiş, daha sonra bu formül

farklı araştırmacılar (McFadden ve ark., 1989; Linge ve Linge, 1991; Blake ve Pharoah, 1995; Baumrind ve ark., 1996; Mavragani ve ark., 2000; Sehr ve ark., 2011) tarafından modifiye edilerek kullanılmaya devam edilmiştir. Brezniak ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada Linge ve Linge' nin (1991) formülünün, McFadden ve ark.'nın (1989) formülünden daha basit ve daha güvenilir olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızda apikal rezorpsiyon miktarının oransal olarak hesaplanmasında Linge ve Linge (1991) tarafından oluşturulan formül kullanılmıştır.

Kök rezorpsiyon miktarını panoramik veya periapikal radyografiler üzerinden değerlendiren çalışmalarda güvenilirliği açısından tedavi öncesi ve tedavi sonrası boyu değişmeyen kron boyları referans alınmaktadır (Linge ve Linge, 1983; Blake ve Pharoah, 1995; Mavragani ve ark., 2000; Kotana, 2006; Mohandesan ve ark., 2007; Pandis ve ark., 2008; Llamas-Carreras ve ark., 2010). Böylece kök rezorpsiyonu "standardize kök rezorpsiyonu" olarak hesaplanmakta ve kullanılan alternatif yöntemlere kıyasla daha kesin ve doğru bir ölçüm elde edilmektedir (Armstrong ve ark., 2006; Pandis ve ark., 2008). Standardize kök rezorpsiyon miktarının hesaplanmasında, tedavi öncesi ve sonrası ölçümlerin karşılaştırılması için radyografiler alınmakta ve kron uzunluğunun tedaviden etkilenmediği kabul edilerek kök uzunluklarının değerlendirilmesinde kullanılacak olan düzeltme faktörü (CF) belirlenmektedir (Linge ve Linge, 1983; McFadden ve ark., 1989; Linge ve Linge, 1991; Blake ve Pharoah, 1995; Mavragani ve ark., 2000).

Çalışmamızda da standardize kök rezorpsiyonunu belirlemek için kron boylarını referans olarak hesaplamaların yapıldığı yöntem kullanılmıştır. Ayrıca hesaplanan düzeltme faktörü de kullanılarak tedavi öncesi ve sonrası radyografiler arasındaki magnifikasyon farkı ortadan kaldırılmış ve milimetrik olarak ölçülen rezorpsiyon miktarının yüzdesi alınarak rezorpsiyon miktarı her bir diş için oransal olarak elde edilmiş ve daha güvenilir hale getirilmiştir. Bu görüş başka çalışmalarla da desteklenmektedir (Blake ve Pharoah, 1995; Mavragani ve ark., 2000). Mavragani ve ark. tarafından yapılan çalışmada dişlerdeki rezorpsiyon yüzdesel olarak değerlendirilmiştir. Dişlerin kök uzunluklarının farklılık göstermesi nedeniyle, milimetrik olarak kök rezorpsiyonu karşılaştırmasının daha az anlamlı olduğunu, yüzdelik değerler daha iyi bir karşılaştırma değeri olduğunu

bildirmişlerdir (Mavragani ve ark., 2000). Örneğin, 15 mm ve 12 mm kök uzunluğu olan dişlerdeki 1 mm'lik rezorpsiyon birbirinden yüzde hesabıyla ayrılarak daha güvenilir olarak değerlendirilebilmektedir.

Yapılan literatür taramasında kron-kök boyunun belirlenmesine yönelik araştırmalarda genellikle mine-sement birleşiminin referans alındığı görülmüştür. Mine-sement birleşimi mezial ve distal mine sement birleşimleri arasında düz bir çizgi olarak belirlenmiş, daha sonra kron uzunlukları insizal veya oklüzal kenardan mine-sement birleşimine kadar olan en büyük mesafe olarak ölçülmüştür. Kök uzunlukları belirlenirken ise tek köklü dişlerde mine-sement birleşiminden kök apekslerine kadar olan mesafe, birden fazla kökü olan dişlerde ise, köklerin apekslerini birleştiren çizgi üzerindeki orta noktaya kadar olan mesafe ölçülerek hesaplanmıştır (Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Lee ve Lee, 2016; Khan ve ark., 2018; Kurnaz ve Büyükçavuş, 2021; Kurnaz ve Büyükçavuş, 2024).

Çalışmamızda da radyografiler üzerinde ölçümler yapılırken ilk olarak mine-sement birleşimi mezial ve distal mine sement birleşimleri arasında düz bir çizgi olarak belirlenmiştir. Daha sonra, tedavi öncesi ve sonrası radyografilerdeki kron uzunlukları, endodontik tedavili dişlerde ve karşıt vital dişlerde insizal veya oklüzal kenardan mine-sement birleşimine kadar olan en büyük mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Kök uzunlukları da endodontik tedavili dişlerde ve karşıt vital dişlerde mine-sement birleşiminden kök apekslerine kadar olan mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Birden fazla kökü olan dişlerin kök uzunlukları, mine-sement birleşiminden kök apeksleri arasındaki çizgi üzerindeki orta noktaya olan mesafe ölçülerek hesaplanmıştır. Thanyakarn ve ark., panoramik radyografilerdeki kök rezorpsiyonu gibi tekrarlanabilirliğin önemli olduğu ölçümler için, üst birinci büyük azı dişinin palatal kökünün güvenilir olarak kabul edilmesi gerektiğini, buna karşın üst birinci büyük azı dişinin bukkal köklerinin tekrarlanabilir olduğunu bildirmiştir (Thanyakarn ve ark., 1992). Şeker ve ark., tarafından yapılan endodontik tedavili ve karşıt vital dişlerin kök rezorpsiyonu açısından karşılaştırıldığı çalışmada maksiller molar ve premolar dişlerin bukkal kökleri değerlendirilmiştir (Şeker

ve ark., 2023). Çalışmamızda da önceki çalışmada olduğu gibi maksiller molarların ve premolarların sadece bukkal kökleri değerlendirmeye alınmıştır.

5.1. Kök Rezorpsiyonunun Dişler Arasındaki Dağılımı

Literatür incelendiğinde, farklı dişlerin kök rezorpsiyonuna karşı farklı eğilimleri olduğu tespit edilmiştir. Ortodontik tedaviden sonra incelenen nerdeyse tüm dişlerde az veya çok oranda kök rezorpsiyonunun olduğuna dair kanıtlar sunulmuştur (Brezniak ve Wesserstein, 1993). Birçok çalışma maksiller dişlerin mandibular dişlere göre daha hassas olduğunu tespit etmiştir (Ketcham, 1927; Ketcham, 1929; Massler ve Perreault, 1954; Massler ve Malone, 1956). Ortodontik tedavi sonrası kök rezorpsiyonuna en yatkın dişler genellikle maksiller kesici dişlerdir (Kaley ve Phillips, 1991; Linge ve Linge, 1991; Brezniak ve Wesserstein, 1993; Harris ve ark., 1997; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Apajalahti ve Peltola, 2007; Freitas ve ark., 2013; Elhaddaoui ve ark., 2016). Bu dişlerin overjet eliminasyonu için gereken hareket miktarının fazla olması, daha fazla tork gereksinimi, diş kökleri ile soketin kortikal kemiği, insisiv kanal ve bukkal yüzeydeki alveolar kemik arasındaki yakınlık, daha fazla kök rezorpsiyonu görülme nedenlerindendir (Motokawa ve ark., 2012; Nanekrungsan ve ark., 2012; Maues ve ark., 2015). Kök yapıları, kemik ve periodontal membranla olan ilişkileri, kuvvetleri esas olarak apekse aktarma eğilimindedir (Oppenheim, 1936). Ketcham, maksiller dişlerin mandibular dişlere oranla 2 kat daha fazla kök rezorpsiyonundan etkilendiğini tespit etmiştir (Ketcham, 1969).

Mandibular kesici dişlerin maksiller kesici dişlere göre kök rezorpsiyonundan daha fazla etkilendiğini savunan çalışmalar da mevcuttur (McFadden ve ark., 1989). Şiddetine göre apikal kök rezorpsiyonundan en çok etkilenen dişler sırasıyla maksiller lateral diş, maksiller santral diş, mandibular kesici dişler, mandibular birinci molar dişlerin distal kökü, mandibular ikinci premolar dişler ve maksiller ikinci premolar dişler olarak bildirilmiştir (Brezniak ve Wesserstein, 1993; Roberts-Harry ve Sandy, 2004; Smale ve ark., 2005).

Sameshima ve Asgarifar, sabit ortodontik tedavi sonrası en fazla kök rezorpsiyonunun üst kesici dişlerde gözleendiğini ve bunu sırasıyla kanin dişler, alt kesici dişler, premolar ve

molar dişlerin izlediğini belirtmişlerdir. Ayrıca maksiller kesici dişler arasında lateral dişlerin rezorpsiyona en yatkın diş olduğunu ve maksiller santral dişlerin de ikinci en yaygın rezorbe olan diş olduğunu tespit etmişlerdir (Sameshima ve Asgarifar, 2001). Elhaddaoui ve ark. sabit ortodontik tedavi gören yaşları 12 ile 27 arasında değişen 82 hastanın panoramik filmlerini kullanarak maksiller keser dişlerde kök rezorpsiyonu oluşup oluşmadığını incelemişlerdir. Kök rezorpsiyonu riskinin en fazla maksiller lateral kesici dişlerde gözlemlendiğini rapor etmişlerdir (Elhaddaoui ve ark., 2016). Freitas ve ark. yaptıkları uzun dönem çalışmasında, sabit ortodontik tedavisi tamamlanmış 58 hastanın periapikal ve KIBT filmlerini kök rezorpsiyonu açısından değerlendirmişler ve en fazla rezorpsiyon gözlenen dişlerin maksiller lateral dişler olduğunu ve bu sıralamayı maksiller santral dişlerin takip ettiğini belirtmişlerdir (Freitas ve ark., 2013). Apajalahti ve Peltola hareketli ve sabit ortodontik apareylerle tedavi uygulanmış hastaların tedavi sonrasında tüm diş grupları arasından en çok maksiller kesici dişlerin etkilendiğini bildirmişlerdir. Maksiller kesici dişlerin yüksek rezorpsiyon potansiyeli, sabit aparey aktivasyonuna maruz kalındığında yanıt veren ilk dişler olması şeklinde açıklanabilmektedir (Apajalahti ve Peltola, 2007). Şeker ve ark., yüz maskesi ve sabit tedavi uygulanmış grup ile tek aşamalı sabit tedavi uygulanmış tedavi gruplarını karşılaştırmışlardır. Sabit tedavi grubunda tedavi sonucunda sadece üst keser dişlerde kök rezorpsiyonu gözlenirken; iki aşamalı tedavi uyguladıkları grupta alt ve üst keser dişlerde, birinci molar dişlerde ve üst sol ikinci premolar dişlerde kök rezorpsiyonu gözlemlemişlerdir ve bu değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu tespit etmişlerdir (Şeker ve ark., 2021).

Çalışmamızda EAKR yüzdesine göre dişler kendi aralarında karşılaştırıldığında en fazla kök rezorpsiyon miktarı endodontik tedavi görmüş diş grubunda mandibular lateral kesici dişte (%15,22), vital diş grubunda ise maksiller kanin dişte (%18) görülmüştür. Bu durum tedavi gruplarını oluşturan dişlerin sayılarının eşit olarak dağılmamasına bağlanabilir.

5.2. Cinsiyetin Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda ortodontik tedavi öncesinde ve ortodontik tedavi sonrasında, vital ve endodontik tedavili diş gruplarında gözlenen rezorpsiyon miktarı cinsiyete göre

karşılaştırılmıştır. Endodontik tedavi görmüş diş grubunda ve vital diş grubunda gözlenen rezorpsiyon miktarı cinsiyete göre istatistiksel olarak benzer bulunmuştur.

Literatür incelendiğinde endodontik tedavili dişlerle vital dişlerin kök rezorpsiyonu açısından cinsiyete göre karşılaştırıldığı çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür. Spurrier ve ark.'nın, yaptığı çalışmada kadın hastalarda vital dişlerde erkek hastalara göre daha az rezorpsiyon izlendiğini, endodontik tedavi uygulanmış dişlerde cinsiyetler arasında fark olmadığı rapor edilmiştir (Spurrier ve ark., 1990). Lee ve Lee sabit ortodontik tedavi sonrasında endodontik tedavi uygulanmış dişlerin EAKR derecesini simetrik vital dişlerle karşılaştırdığı çalışmada, cinsiyetle kök rezorpsiyonu arasında ilişki olmadığı bildirilmiştir (Lee ve Lee, 2016). Şeker ve ark. tarafından yapılan çalışmada cinsiyetin hem endodontik olarak tedavi edilmiş dişlerde hem de simetriğindeki vital dişlerde rezorpsiyon üzerinde bir etkisi olmadığı bulunmuştur (Şeker ve ark., 2023). Llamas-Carreras ve ark.'nın, endodontik tedavili dişler ile simetrik vital dişlerin rezorpsiyon açısından kıyaslandığı ilk çalışmalarında kadınlarda daha fazla rezorpsiyon gözlendiği, ikinci çalışmasında cinsiyetin rezorpsiyonla ilişkili olmadığını rapor etmişlerdir (Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012). Jiang ve ark., kadın ve erkek hastalar arasında tedavi süresi ve kök rezorpsiyon miktarı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulamamışlardır (Jiang ve ark. 2010). Khan ve ark., 30 hastada endodontik tedavi görmüş dişleri, simetriğindeki vital dişlerle karşılaştırılmışlardır. Endodontik tedavili dişlerle vital dişler arasında cinsiyete göre kök rezorpsiyonu farkı kontrol edildiğinde, erkeklerde endodontik tedavili dişlerin vital dişlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha az kök rezorpsiyonu gösterdiği, kadınlarda ise bu farkın anlamlı olmadığını bildirmişlerdir (Khan ve ark., 2018).

Kadınların, erkeklere göre kök rezorpsiyonuna daha duyarlı olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur (Marshall, 1929; Dougherty, 1968a; Dougherty, 1968b; Kinsella, 1971; Newman, 1975; Massler ve Perreault, 1993; Kjaer, 1995). Dougherty çalışmalarında bu durumu; erkeklerin kronolojik olarak kadınlara göre daha az olgun olması ve erkeklerin diş köklerinin ortodontik stresin travmatik etkilerine daha az duyarlı olması ile ilişkilendirmiştir (Dougherty, 1968a; Dougherty, 1968b). Farklı olarak Elhaddaoui ve

ark., çalışmalarında erkek bireylerde (%75,2) kadın bireylere (%67,4) göre daha fazla kök rezorpsiyonu tespit etmişlerdir fakat bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir (Elhaddaoui ve ark., 2016). Sonuç olarak önceki çalışmalarla benzer şekilde cinsiyetin apikal kök rezorpsiyonu üzerinde herhangi bir risk faktörü oluşturmadığı sonucuna varmışlardır (Linge ve Linge 1991; Levander ve ark., 1998; Mavragani ve ark., 2000; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Jiang ve ark. 2010; Nanekrungsan ve ark., 2012; Motokawa ve ark., 2013; Tieu ve ark., 2014; Elhaddaoui ve ark., 2016). King ve ark., hafif ve ağır devrilme kuvvetlerinin oluşturduğu kök rezorpsiyonuna cinsiyetin etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir (King ve ark., 2011).

5.3. Hasta Yaşının Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda ortodontik tedavinin kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin, hasta yaşı bakımından etkilenip etkilenmediği de araştırılmıştır. Çalışma grubunu tek aşamalı (sabit ortodontik tedavi) ve iki aşamalı (ortopedik tedavi sonrasında sabit ortodontik tedavi) ortodontik tedavi uygulanmasına göre karşılaştırdığımızda (Tablo 4.3) çekimli ve çekimsiz tedavide iki aşamalı grupta tedavi başlangıç yaşı tek aşamalı gruba göre istatistiksel olarak daha az bulunmuştur. Ortopedik tedavi uygulanmasına daha erken yaşlarda başlandığı için bu sonuç beklenmektedir. Çalışma grubunu çekim yapıp yapılmamasına göre karşılaştırdığımızda ise (Tablo 4.4) sadece tek aşamalı tedavide çekimli grubun tedavi başlangıç yaşı çekimsiz gruba göre istatistiksel olarak daha fazla tespit edilmiştir. Tedavi başlangıç yaşının vital ve endodontik tedavili dişlerde EAKR yüzdesi ile korelasyonuna bakıldığında ise (Tablo 4.8) yaş ile bu değerler arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Kök rezorpsiyonunun, ortodontik tedavi ve hasta yaşı arasındaki ilişkisi birçok çalışma tarafından araştırılmıştır (Massler ve Malone, 1954; Rietan, 1974; Linge ve Linge, 1983; McFadden ve ark., 1989; Brezniak ve Wesserstein, 1993; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Jiang ve ark., 2010; Cakmak ve ark., 2014; Lee ve Lee, 2016; Khan ve ark., 2018). Bu parametreler arasında pozitif bir ilişkinin sıklıkla bildirilmesi, kök rezorpsiyonunun yetişkinlerde daha yaygın olduğunu göstermektedir (Brezniak ve Wesserstein, 1993). Periodontal ligamentin özellikleri ve oklüzal değişikliklere kas adaptasyonu gibi faktörler genç hastalarda daha

olumlu olabilmektedir (Linge ve Linge, 1983). Jiang ve ark., 15 yaşın altında ve üstündeki iki grubun ortodontik tedavi ile kök rezorpsiyonunu karşılaştırdıkları çalışmalarında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamışlardır. Korelasyon analizi yaptıklarında ise tedavi sonrasında hasta yaşı ve kök rezorpsiyonu arasında ve tedavi başlangıcında ise hasta yaşı ve üst keser dişlerin kök rezorpsiyonu arasında anlamlı korelasyon tespit etmişlerdir. Bu durumu hastanın yaşı arttıkça kök rezorpsiyonunun daha şiddetli olduğu ve üst keser dişlerde tedavi öncesinde kök rezorpsiyonu gözlenebileceği şeklinde açıklamışlardır (Jiang ve ark., 2010). Bu durum Sameshima ve Sinclair'in yaş ile maksiller keser dişlerin rezorpsiyonu arasında bir ilişki bulamadığını ancak yetişkinlerin mandibular keser dişlerin rezorpsiyonunun anlamlı derecede daha fazla olduğunu belirten bulgularıyla çelişmektedir (Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Sinclair, 2001b). Linge ve Linge 11 yaşından sonra tedaviye başlayan hastaların, daha önce başlayanlara göre önemli ölçüde daha fazla kök rezorpsiyonuna maruz kaldıklarını bulmuşlardır. Yaşca büyük olan hastalarda kök rezorpsiyonunu onarma yeteneğinin azalması nedeniyle, yaşın kök rezorpsiyonuyla ilgili önemli bir faktör olduğuna inanılmaktadır (Linge ve Linge, 1983). Rietan genç hastalarda anatomik ortamın önemli bir faktör olduğunu, kök yüzeyindeki mevcut sementoidin kök rezorpsiyonunun başlangıcını geciktirebileceğini ve eğer kalın bir preentin tabakası varsa herhangi bir apikal veya apikal yan rezorpsiyonun zorlukla gerçekleşebileceğini bulmuştur. Bu nedenle genç apekslerde bulunan prementum ve preentinin koruyucu mekanizmasının da etkili bir faktör olduğu düşünölmektedir (Rietan, 1974).

Sadece birkaç çalışma apikal kök rezorpsiyonu ile ortodontik tedavi gören hastanın yaşı arasında bir ilişki olmadığını göstermiştir (Massler ve Malone, 1954; McFadden ve ark., 1989). Bazı araştırmacılar ortodontik tedavi uygulanmasa bile kök rezorpsiyonunun yaşla birlikte arttığını ileri sürmüşlerdir (Massler ve Malone, 1954; Harris ve ark., 1993). Mavragani ve ark., kök rezorpsiyonun ciddiyeti ile ilişkili faktörün kronolojik yaş değil, apeksin olgunluk derecesi olduğunu savunmuşlardır. Bu durum farklı yaş gruplarındaki fakat aynı derecede apeks olgunluğuna sahip bireylerin aynı düzeyde kök rezorpsiyonu gösterebildiğini açıklamaktadır (Mavragani ve ark., 2002). akmak ve ark., yaptıkları

çalışmada okluzal travma sonucu oluşan kök rezorpsiyonu ile hasta yaşı arasında korelasyon olmadığını bildirmişlerdir (Çakmak ve ark., 2014).

Hastaların yaşı arttıkça periodontal ligamentte daha dar alanlar, kemik iliğinde osteoklastların farklılaşabileceği daha küçük alanlar ve daha yoğun alveol kemiği bulunduğu ve sonuç olarak kök rezorpsiyonu daha sık olabileceği düşünülmektedir (Otelakoski ve ark., 2022). Mirabella ve Artun, yetişkin ve adölesan hastalardan oluşan çalışmalarında eksternal kök rezorpsiyonunun prevelansı ve ciddiyetini değerlendirmişlerdir. Erişkin ortodonti hastalarının EAKR açısından adölesanlara göre daha fazla risk altında olmadığını, ancak rezorpsiyonun daha fazla olduğu ve hastaların bir kısmının ciddi şekilde etkilenebileceği sonucuna varmışlardır (Mirabella ve Artun, 1995).

Lee ve Lee tarafından yapılan çalışmada endodontik tedavili ve simetrik vital dişler karşılaştırılmış, hasta yaşının kök rezorpsiyonuna etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, endodontik tedavili dişlerde yaş ile kök rezorpsiyonu arasında pozitif korelasyon bulunurken, simetrik vital dişlerde ise kök rezorpsiyonu ile hasta yaşı ilişkili bulunmamıştır (Lee ve Lee, 2016). Khan ve ark., tarafından yapılan benzer çalışmada ise hasta yaşıyla kök rezorpsiyonu arasında korelasyon bulunmadığı bildirilmiştir (Khan ve ark., 2018).

5.4. Tedavi Süresinin Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi

Literatürde, ortodontik tedavi süresinin uzamasıyla EAKR'nin artış gösterdiği birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir (Rudolph, 1940; Dougherty, 1968; Stenvik ve Mjor, 1970; Reitan, 1974; Linge ve Linge, 1983; Reitan, 1985; Sharpe ve ark., 1987; Levander ve Malmgren, 1988; Linge ve Linge, 1991; Brezniak ve Wasserstein, 1993a; 1993b; Beck ve Harris, 1994; Vlaskalic ve ark., 1998; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Artun ve ark., 2005; Paetyangkul ve ark., 2011). Bununla birlikte bu görüşe katılmayan çalışmalar da mevcuttur (Philips, 1955; Vonder Ahe, 1973; Dermaut ve De Munck, 1986; Beck ve Harris, 1994; Lund ve ark., 2012; Makedonas ve ark., 2013).

Çalışmamızda endodontik tedavili diş EAKR yüzdesi ve vital diş EAKR yüzdesi değerleri ile tedavi süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı, pozitif yönlü zayıf bir korelasyon bulunmuştur ($p<0,001$, $r=0,19$ ve $r=0,226$). Çalışma grubunu tedavi aşamasına göre karşılaştırdığımızda (Tablo 4.3) çekimli ve çekimsiz tedavide iki aşamalı grupta tedavi süresinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Vital ve endodontik tedavi görmüş dişlerde tedaviyle gözlenen EAKR yüzdesi sadece çekimli tedavide tek ve iki aşamalı gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. İki aşamalı grupta vital ve endodontik tedavili dişlerde istatistiksel olarak daha fazla rezorpsiyon gözlenmiştir. Çekimsiz tedavide tek ve iki aşamalı gruplarda bu parametrelerin istatistiksel olarak benzer bulunması, EAKR yüzdesindeki farkın sadece tedavi süresi ile değil tedavide çekim yapılıp yapılmamasına göre değiştiğini de bize düşündürür.

Çalışma grubunu çekim yapılıp yapılmamasına göre karşılaştırdığımızda ise (Tablo 4.4) sadece tek aşamalı tedavide çekimli grubun tedavi süresi çekimsiz gruba göre istatistiksel olarak daha fazla tespit edilmiştir. İki aşamalı tedavide çekimli ve çekimsiz gruplar arasında bu farkın istatistiksel olarak benzer olması, çalışmaya dahil edilen hastaların kullandıkları apareylerin ve aparey kullanım sürelerinin farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. İki aşamalı tedavide çekimli grupta vital ve devital dişlerde EAKR yüzdesinin istatistiksel olarak daha fazla gözlenmesi, rezorpsiyon miktarının sadece tedavi süresi ile ilişkili olmadığını düşündürür.

Rudolph, farklı yaş gruplarında aktif ortodontik tedavinin süresine bağlı EAKR incelediği çalışmasında 7. yılda hastalarının tümünde rezorpsiyon tespit etmişlerdir (Rudolph, 1940). Stenvik ve Mjor, ortodontik tedavi süresinin uzaması ile kök rezorpsiyonunun şiddetlendiğini belirtmişlerdir (Stenvik ve Mjor, 1970). Linge ve Linge ise dokuz ayı aşan sabit ortodontik tedavilerde apikal kök rezorpsiyonunda artış olduğunu bildirmişlerdir (Linge ve Linge, 1983).

Uzun yıllar önce ortodontik aygıtların ve mekaniklerin günümüzdeki kadar gelişmediği gözönüne alındığında ortodontik tedavi sürelerinin de oldukça uzun olduğu anlaşılmaktadır. Ancak yakın zamanda yapılan bazı çalışmalarda da tedavi süresi arttıkça rezorpsiyonun arttığına dair raporlar mevcuttur. Elhaddaoui ve ark., 82 hastada 318 diş

kök rezorpsiyonu açısında değerlendirdikleri çalışmalarında bireylerin %59,5'inde orta ve şiddetli EAKR tespit etmişlerdir. Bu orta ve şiddetli rezorpsiyonların %10'unun 18.ayda, %31'inin 24.ayda, %70'inin 36.aydan itibaren meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Elhaddaoui ve ark., 2016). Literatürde bu görüşü destekleyen diğer çalışmalar (Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Apajalahti ve Peltola, 2007) rezorpsiyon şiddetinin 18.aydan itibaren arttığını bildirmişlerdir ve orta ve şiddetli rezorpsiyonun tedavinin 33.haftasından itibaren 38.haftasına kadar oluştuğunu tespit etmişlerdir (Elhaddaoui ve ark., 2016).

Kvam ve ark., premolar dişlerde gerçekleştirdikleri SEM incelemesinde 5–76 gün arasında değişen sürelerde 50cN bukkal kuvvet uygulamışlardır ve 6 µm'lik yuvarlak rezorpsiyon kavitelerini 10. günde izlediklerini, 20. günden itibaren ise çok sayıda ince duvarlı ve genişleyerek birleşen küçük kraterlerin gözlemlendiğini bildirmişlerdir (Kvam ve ark., 1972).

Paetyangkul ve ark., 36 hastada 4, 8 ve 12 hafta süresince bir taraf maksiller premolar dişe 25 gr'lık bukkal yönlü hafif ortodontik kuvvet uygularken, karşıt taraftaki dişe ise 225 gr'lık ağır ortodontik kuvvet uygulamışlardır. Hafif ve ağır kuvvetlerin uygulanmasından sonra kök rezorpsiyon miktarları mikro BT ile incelenmiş, hafif kuvvetlerin ağır kuvvetlere kıyasla önemli derecede daha az kök rezorpsiyonu oluşturduğunu ve uzun süreli kuvvet uygulamasının 25 gr'lık hafif kuvvetler kullanıldığında bile daha fazla kök rezorpsiyonuna neden olduğunu rapor etmişlerdir (Paetyangkul ve ark., 2011).

Literatürdeki çalışmalarda tedavi süresi ile EAKR arasındaki pozitif korelasyonun, tedavi ne kadar uzun sürerse, ortodontik kuvvetin kökü o kadar uzun süre etkilemesi, böylece pulpa veya periodontal bağ hücrelerinin kuvveti travma olarak algılaması ve EAKR'ye neden olan nöropeptidin salgılanmasını artırması nedeniyle olabileceği bildirilmiştir (DeShields, 1969; Hollander ve ark., 1980; Linge ve Linge, 1991; Taithongchai ve ark., 1996; Lee ve Lee, 2016).

5.5. Tek Aşamalı ve İki Aşamalı Ortodontik Tedavilerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması

Ortopedik ve sabit ortodontik tedavinin art arda uygulanması ortodontik tedavi süresini uzattığı ve dişlere iletilen kuvvet miktarını değiştirdiği için ortodontik tedavi sırasında gözlenen kök rezorpsiyonu miktarını teşhis etmek önemlidir.

Çalışmamızda tek aşamalı (sabit ortodontik tedavi) ve iki aşamalı (ortopedik tedavi sonrasında sabit ortodontik tedavi) ortodontik tedavi uygulanmıştır. Çalışma grubunu tedavi aşamasına göre karşılaştırdığımızda (Tablo 4.3) vital ve endodontik tedavili dişlerde EAKR yüzdesi çekimli tedavide iki aşamalı grupta tek aşamalı gruba göre istatistiksel olarak daha fazla bulunmuştur. Tedavi süresinin de iki aşamalı grupta istatistiksel olarak daha fazla olması gözlenen rezorpsiyonun; artmış tedavi süresi, çekimli tedavilerde dişlerin daha fazla hareket etmesi gerektiği ve aparey tedavisinde uygulanan ortodontik kuvvetlerin seviyesindeki farklılık ile ilişkilendirilebilir.

Şeker ve ark., RME ile yüz maskesi tedavisini takiben sabit tedavi uygulanmış grup ile tek aşamalı sabit tedavi uygulanmış tedavi gruplarını karşılaştırmışlardır. Sabit tedavi grubunda tedavi sonucunda sadece üst keser dişlerde kök rezorpsiyonu gözlenirken; iki aşamalı tedavi uyguladıkları grupta alt ve üst keser dişlerde, birinci molar dişlerde ve üst sol ikinci premolar dişlerde kök rezorpsiyonu gözlemlemişlerdir ve bu değişimleri istatistiksel olarak anlamlı tespit etmişlerdir (Şeker ve ark., 2021). De Rossi ve ark., akrilik ekspansiyon apareyinin oklüzal kalınlığının hem dinlenme pozisyonunda hem de çiğneme fonksiyonu sırasında çiğneme kaslarının aktivitesinde bir artışa yol açtığını bildirmişlerdir (De Rossi ve ark., 2009). Şeker ve ark. RME ile yüz maskesi tedavisi uygulanan iki aşamalı tedavi gruplarında alt keser dişlerde gözlenen artmış rezorpsiyonu çiğneme kas aktivitesindeki artışa bağlı olarak bu dişlere iletilen kuvvetler ve yüz maskesinin çene pedi tarafından alt kesici diş kökleri seviyesine lingual yönde uygulanan kuvvetler ile ilişkilendirmişlerdir (Şeker ve ark., 2021).

RME ile yüz maskesi tedavisi doğrudan veya süt dişleri yoluyla daimi dişlere ağır kuvvetler iletmekte ve periodontal dokularda yüksek düzeyde stresler oluşturmakta, bu da diş kökü gelişim sürecini olumsuz etkileyebilmektedir (Şeker ve ark., 2019). Erken

dönemde uygulanan böyle bir ortopedik kuvvetin uzun vadeli etkileri arasında kök dilaserasyonları gibi kök gelişimi bozuklukları ve kök rezorpsiyonu riskinin artması sayılabilir (Luder, 2015; Şeker ve ark., 2019). Bu nedenle iki aşamalı tedavi gören hastalarda gözlenen kök rezorpsiyonundaki anlamlı artış, ağır ortopedik kuvvetlerin uzun vadeli potansiyel etkileriyle açıklanabilir (Şeker ve ark., 2021).

Faxén Sepanian ve Sonnesen, Sınıf II bölüm 2 malokluzyona sahip hastalarda tek aşamalı ve hareketli aparey uyguladıkları iki aşamalı ortodontik tedavinin alt ve üst keser dişlerin köklerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, alt santral kesici dişlerde tek aşamalı tedavi gruplarında daha fazla kök rezorpsiyonu tespit etmişlerdir (Faxén Sepanian ve Sonnesen, 2018). Bu bulgunun olası nedeni olarak, hareketli aparey uygulanan iki aşamalı tedavi grubunda; tek aşamalı tedavi grubundaki sabit mekanikler ile oluşan daha aktif kuvvetlerin aksine (Nanda ve Tosun, 2010), dişlerde gözlenen sagittal ve vertikal düzelmenin muhtemelen alveoler büyüme ile dişlerin sürmesi yardımıyla gerçekleşmesi olduğunu iddia etmişlerdir (Bjork, 1951; Teuscher, 1978; Schmuth, 1983; Faxén Sepanian ve Sonnesen, 2018). Tek aşamalı tedavi grubunda sabit aparey tedavi süresi ve Sınıf II elastik kullanımı, iki aşamalı tedavi grubuna göre anlamlı derecede daha uzun bulunmuştur (Faxén Sepanian ve Sonnesen, 2018). Üst keser dişlerde ise kök rezorpsiyonunda gruplar arasında farklılık bulunmamıştır. Bunun nedenini her iki tedavi grubunda da sabit apareylerin kullanıldığı aşamada üst kesici dişlere aynı kuvvet ve kök hareketlerinin uygulanması olarak açıklamışlardır (Faxén Sepanian ve Sonnesen, 2018).

Brin ve ark.'nın, yaptıkları çalışmada Sınıf II malokluzyona sahip artmış overjeti olan 138 hastanın tedavisinde uygulanan tek aşamalı ve iki aşamalı ortodontik tedavi protokollerinin kök rezorpsiyonuna etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak iki aşamalı tedavi uygulanan hastalarda sadece sabit ortodontik mekaniklerle tedavi görenlerden daha az kök rezorpsiyonu meydana geldiği rapor edilmiştir. Kök rezorpsiyonu ile overjet eliminasyonu miktarı ve sabit ortodontik mekaniklerle tedavi süresi arasında anlamlı ilişkiler olduğu, Sınıf II malokluzyona sahip hastalarda overjet miktarını azaltacak erken dönemde yapılan büyüme modifikasyonunun, kök rezorpsiyonu olasılığını azaltmada önemli role sahip olabileceği bildirilmiştir (Brin ve ark., 2003).

Bayır yaptığı tez çalışmasında 1245 hastada tedavi tipinin EAKR'ye etkisini değerlendirmiştir. Hastalar, tedavisine hareketli apareylerle başlanıp sabit mekaniklerle devam eden ve tedavisine doğrudan sabit mekaniklerle başlanan olmak üzere iki grup olarak incelenmiştir. Sabit tedavi öncesi hareketli apareylerle tedavi gören hastalar ile doğrudan sabit tedaviye başlayan hastalar arasındaki rezorpsiyon oranları karşılaştırıldığında, iki grup arasında rezorpsiyon oranları açısından anlamlı bir fark bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Bayır, 2019). Çalışmada kök rezorpsiyonu değerlendirme yönteminin ve çalışmaya dahil edilen hasta sayısının çalışmamızdan farklı olmasından dolayı bu sonuca ulaşılmış olabilir.

5.6. Çekimli ve Çekimsiz Ortodontik Tedavilerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması

Çekimli ortodontik tedaviler, kanin ve premolar dişlere uygulanan kuvvet miktarının artmış olması, uzamış tedavi süresi, overjet eliminasyonu için kesici dişlerin hareket etmesi gereken mesafe ve kesici dişlerin retraksiyon miktarı gibi nedenlerden dolayı artmış kök rezorpsiyonu ile sonuçlanabilmektedir. Çalışma grubunu çekimli tedavi uygulanıp uygulanmamasına göre karşılaştırdığımızda (Tablo 4.4) vital dişlerde EAKR yüzdesi hem tek aşamalı hem de iki aşamalı çekimli tedavi gruplarında istatistiksel olarak daha fazla bulunmuştur. Endodontik tedavi görmüş dişlerde ise bu miktar sadece iki aşamalı çekimli tedavi grubunda istatistiksel olarak daha fazla bulunmuştur. Çekimli tedavi ile daha fazla kök rezorpsiyonu gözlenmesi dişlere uygulanan kuvvet miktarının artmış olması, ankraj alınan dişlerin harekete zorlanması, dişlerin hareket etmesi gereken mesafe ve overjet eliminasyonu için kesici dişlerin retraksiyon miktarı gibi nedenlerle ilişkilendirilebilir. Literatürde çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi tipinin, kök rezorpsiyonuna etkilerini araştıran çalışmalara rastlanmıştır (Sharpe ve ark., 1987; McFadden ve ark., 1989; Beck ve Harris, 1994; Janson ve ark., 2000; McNab ve ark., 2000; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Apajalahti ve Peltola, 2007; de Freitas ve ark., 2007; Mohandesan ve ark., 2007; Jiang ve ark., 2010; Deng ve ark., 2018).

Sameshima ve Sinclair, çekimli tedavi protokolünün çekimsiz tedavi protokolüne kıyasla daha fazla rezorpsiyona neden olmasını, uzamış tedavi süresi ile ilişkilendirmişlerdir.

Bununla birlikte Sınıf II tedavisinde sıklıkla kullanılan Sınıf II elastiklerin, rezorpsiyonla bağlantısı olduğunu tespit edememiş, bu faktörü değerlendirmenin güç olduğunu ve Sınıf II elastik kullanımında kooperasyon sağlayan ortodonti hastalarının sayısının az olduğunu belirtmişlerdir. (Sameshima ve Sinclair; 2001b). Gottlieb, ankraj diş olarak sıklıkla kullanılan birinci molar dişlerinin köklerinde ankiloza rastlanmasının sebebini, bu dişlerin sık sık harekete zorlanmasına bağlamıştır. Köklerde, karşıladıkları bu kuvvetler nedeniyle rezorpsiyon geliştiğini ve ankraj dişin tekrarlayan hareketleri nedeniyle kökün kendini onarmasına imkân vermediğini, bu durumun rezorbe bölgelerin kemikle doğrudan temasına ve zamanla ankiloz gelişimine yol açtığını belirtmiştir. (Gottlieb, 1942).

Apajalahti ve Peltola, 625 hastayı dahil ettikleri çalışmalarında hastalara sabit ve hareketli apareyler uygulamışlardır. Hastaların yüzde 8,5'inde premolar dişlerinde kök rezorpsiyonu tespit etmişlerdir. Çalışma grubunda premolar veya molar dişlerin çekilerek tedavi edildiği toplam 309 hasta vardır ve bu hastalardan çekilen dişler analize dahil edilmemiştir. Premolar dişleri etkilenen hastaların neredeyse yarısında, en az bir premolar dişinde rezorpsiyon derecesi 2. derece olarak değerlendirilmiştir (Apajalahti ve Peltola, 2007). Premolar çekimi gerektiren hastaların, belirgin diş hareketi nedeniyle daha yüksek rezorpsiyon potansiyeli gösterdiği iddia edilmiştir (Beck ve Harris, 1994; Janson ve ark., 2000; Apajalahti ve Peltola, 2007). Apajalahti ve Peltola, tedavi başlangıcında hastalarının ortalama yaşının 11 olduğunu, bu sebeple tedavi öncesi değerlendirme sırasında bazı premolar dişlerinin hala büyüme potansiyeli olduğunu düşünmüşlerdir (Apajalahti ve Peltola, 2007). Kök oluşumu tamamlanmamış dişlerin rezorpsiyonuna karşı direncinin kök oluşumunu tamamlamış dişlere göre daha yüksek olduğu ileri sürülmüştür (Mavragani ve ark., 2002).

Mohandesan ve ark., çekimli ve çekimsiz sabit ortodontik tedavi uyguladıkları hastalarda üst santral ve lateral dişlerin 6. ve 12. aylardaki kök rezorpsiyonlarını karşılaştırmışlardır. 12.ay kontrolünde çekim yapılan grupta santral ve lateral dişlerde çekimsiz gruba göre istatistiksel olarak daha fazla kök rezorpsiyonu teşhis etmişlerdir (Mohandesan ve ark., 2007). Çekim yapılan tedavilerde maloklüzyonların düzeltilmesi için daha fazla diş hareketi ve apikal yer değiştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Sharpe ve ark., 1987 ; Beck ve

Harris, 1994). Bu durum, apikal bölgede daha fazla rezorpsiyona neden olur ve bu da daha fazla miktarda eksternal kök rezorpsiyonu ve klinik olarak anlamlı rezorpsiyona sahip daha yüksek diş sayısına neden olabilir (Mohandesan ve ark., 2007).

Elhaddaoui ve ark., 82 hasta üzerinde yaptıkları çalışmalarında tedavi tipinin ve maloklüzyonun kök rezorpsiyonuna olan etkisini incelemişlerdir. Çekimli tedavi grubunda, çekimsiz tedavi grubuna göre daha fazla kök rezorpsiyonu tespit etmişlerdir (Elhaddaoui ve ark., 2016). Bu durumu çekimli tedavilerin uzayan tedavi süreleri ve dişlerin ark içerisinde daha fazla hareket etmeleri ile ilişkilendirmişlerdir (Liou ve Chang, 2010; Tieu ve ark., 2014; Elhaddaoui ve ark., 2016).

Lee ve Lee vital dişlerde; çekimli ortodontik tedavi uygulanan grupta, çekimsiz ortodontik tedavi uygulanan gruba göre daha yüksek EAKR gözlemlemiştir ve bu bulguyu literatürdeki birçok çalışma ile benzer bulmuşlardır (McFadden ve ark., 1989; Baumrind ve ark., 1996; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Lee ve Lee, 2016). Endodontik tedavi görmüş dişlerde böyle bir ilişki tespit etmemişlerdir. Çekimli ortodontik tedavi, pulpada daha fazla irritasyona neden olur, dolayısıyla vital dişlerde kök rezorpsiyonuna neden olan faktörler çekimli ortodontik tedavilerde çekimsiz ortodontik tedavilere göre daha fazla salgılanabilir, ancak bu durum endodontik tedavili dişler için geçerli değildir. Çünkü bu faktörler pulpası olmayan devital dişlerde salgılanmamaktadır (Lee ve Lee, 2016).

Khan ve ark., endodontik tedavi görmüş ve karşıt vital dişleri çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi protokollerine göre kök rezorpsiyonu açısından karşılaştırmıştır. 30 hastanın panoramik radyografilerinin değerlendirildiği çalışmada hem vital hem de endodontik tedavi görmüş dişler çekimsiz vakalarda çekimli vakalara kıyasla daha fazla rezorpsiyon göstermiştir, ancak sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Khan ve ark., 2018).

Kurnaz ve Büyükçavuş tarafından yapılan çalışmada çekimli ve çekimsiz tedavi protokollerinin kök rezorpsiyon miktarına etkisi karşılaştırılmıştır. 69 hastanın mandibular molar dişlerinin değerlendirildiği çalışmada, çekimli ve çekimsiz tedavi

protokollerinde rezorpsiyon açısından kanal tedavili dişlerde anlamlı fark bulunmadığı, vital dişlerde çekimli tedavi protokollerinde daha fazla rezorpsiyon gözleendiği bildirilmiştir (Kurnaz ve Büyükçavuş, 2021).

Şeker ve ark. yaptıkları çalışmada kanal tedavili ve karşıt vital dişlerde, çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavi uygulamalarının apikal kök rezorpsiyonuna etkilerini karşılaştırmışlardır. Panoramik radyografiler üzerinden yapılan çalışmanın sonucunda çekimli ortodontik tedavinin endodontik tedavili dişler üzerinde önemli etkiye sahip olmadığı, vital dişlerde ise istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha fazla rezorpsiyon gözleendiği bildirilmiştir. (Şeker ve ark., 2023).

5.7. Vital ve Endodontik Tedavili Dişlerin Kök Rezorpsiyonu Açısından Karşılaştırılması

Çalışmamızda endodontik tedavi görmüş dişler ile simetriğindeki vital dişlerin EAKR yüzdesi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma hem tedavi aşamasına göre hem de çekimli tedavi uygulanıp uygulanmadığına göre yapılmıştır. Tedavi aşamasına göre yapılan karşılaştırmada (Tablo 4.5) iki aşamalı tedavi grubunda vital dişlerde gözlenen rezorpsiyon miktarı 6,32, endodontik tedavili dişlerde ise 4,92 olarak bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Tek aşamalı tedavi grubunda vital dişlerde gözlenen rezorpsiyon miktarı 7,43, endodontik tedavili dişlerde ise 6,25 olarak bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Sabit ortodontik tedavisinde çekim yapılmasına göre yapılan karşılaştırmada (Tablo 4.6) çekimli tedavi grubunda vital dişlerde gözlenen rezorpsiyon miktarı 7,57, endodontik tedavi görmüş dişlerde ise 5,56 olarak bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Çekimsiz tedavi yapılan grupta vital dişlerde gözlenen rezorpsiyon miktarı 6,12, endodontik tedavili dişlerde ise 5,13 olarak bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.

Endodontik olarak tedavi görmüş dişlerin ortodontik tedaviden nasıl etkileneceği literatürde birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Spurrier ve ark., 1990; Mirabella ve Artun, 1995a; Mirabella ve Artun, 1995b; Esteves ve ark., 2007; De Souza ve ark., 2009; Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Esteves ve ark., 2013; Gulabivala ve Naini, 2014; Kaku ve ark., 2014; Castro ve ark., 2015; Lee ve Lee,

2016; Alhadainy ve ark., 2019; Şeker ve ark., 2023; Zhao ve ark., 2023). Endodontik tedavinin dişleri ortodontik tedavi sırasında oluşabilecek kök rezorpsiyonundan koruduğunu iddia eden çalışmalar olduğu gibi (Spurrier ve ark., 1990; Mirabella ve Artun, 1995a; Mirabella ve Artun, 1995b; Lee ve Lee, 2016; Alhadainy ve ark., 2019), vital ve devital dişler arasında ortodontik tedavi sonrası kök rezorpsiyonu açısından fark tespit etmeyen çalışmalar da mevcuttur (Esteves ve ark., 2007; Llamas-Carreras ve ark., 2010; Llamas-Carreras ve ark., 2012; Castro ve ark., 2015).

Şeker ve ark., en az bir endodontik tedavili dişi olan 173 hastanın tedavi öncesinde ve sonrasında alınan panoramik radyografilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma split-mouth tasarlanmış olup çalışmamızda olduğu gibi karşıt vital dişler kontrol grubunu oluşturmuştur. Çalışmamızdaki bulgunun aksine endodontik olarak tedavi edilen dişlerle karşıt vital dişler arasında apikal kök rezorpsiyonu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Şeker ve ark., 2023).

Esteves ve ark., tarafından yapılan çalışmada vital ve endodontik olarak tedavi edilmiş dişlerin ortodontik tedaviye yanıt olarak benzer şiddette apikal kök rezorpsiyonu gösterip göstermediği radyografik olarak değerlendirilmiştir. Maksiller santral kesici dişlerinden biri vital diğeri endodontik tedavi görmüş olan 28 hastanın, ortodontik tedavi öncesi ve sonrasında alınmış periapikal radyografileri üzerinde ölçümler yapılmıştır. Çalışmamızdaki bulgunun aksine endodontik tedavili ve simetrik vital dişler arasında apikal kök rezorpsiyonu düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Esteves ve ark., 2013).

Llamas-Carreras ve ark., ortodontik tedavi sonrası vital ve endodontik tedavi görmüş dişlerdeki EAKR oranını dişlere göre incelediğinde, çalışmamızın aksine endodontik tedavili keser dişlerde vital dişlere göre daha fazla EAKR gözlendiği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmaya dahil edilen endodontik tedavili kesici dişlerin daha önceden travmaya maruz kalmış olması bu sonucu açıklayabilir (Llamas-Carreras ve ark., 2010). Travmalı dişler herhangi bir ortodontik hareket olmaksızın kök rezorpsiyonu gösterebilmektedir (Andreasen ve Andreasen, 1992), ayrıca daha önce kök rezorpsiyonu göstermiş olan travmatize dişlerde ortodontik tedavinin kök rezorpsiyonunu artıracığı

iddia edilmiştir (Goldson ve Henrikson, 1975; Malmgren ve ark., 1982; Hamilton ve Gutmann, 1999). Bu durumda endodontik tedavi gören bazı dişlerin travma almış dişler olabileceği de gözönünde bulundurulmalıdır.

Walker ve ark. yaptıkları sistematik derlemeye dahil ettikleri iki çalışmada, ortodontik tedaviyi takiben endodontik tedavili dişlerde ve vital dişlerde istatistiksel olarak anlamlı kök rezorpsiyonu bulmuşlardır (Spurrier ve ark., 1990; Esteves ve ark., 2007; Walker ve ark., 2013). Bu bulguları rezorpsiyonun değerlendirilmesi için seçilen dişlerden (keser dişler) kaynaklı olduğu iddia etmişlerdir (Walker ve ark., 2013). Çalışmanın sonucunda, çalışmamızdaki bulgunun aksine endodontik tedavi görmüş dişlerle vital dişler arasında kök rezorpsiyonu insidansında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığını rapor etmişlerdir (Walker ve ark., 2013).

Vital dişlerde, genç hastalarda daha az apikal kök rezorpsiyonu gözlenir çünkü kök oluşumu tamamlanmamış dişler, kökleri tamamlanmış dişlere göre kök rezorpsiyonuna karşı daha fazla koruma veya dirence sahiptir (Rosenberg, 1972; Reitan, 1974; Linge ve Linge, 1991; Taithongchai ve ark., 1996; Mavragani ve ark., 2002).

Mattison ve ark., yaptıkları histolojik çalışmalarında endodontik tedavi görmüş ve vital dişlere ortodontik tedavi uygulamışlar ve eksternal kök rezorpsiyonu açısından çalışmamızdaki bulgunun aksine istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamışlardır. Ortodontistlerin tedavi planlamalarında vital ve endodontik tedavili dişlere aynı şekilde güvenmeleri gerektiğini söylemişlerdir (Mattison ve ark., 1984).

Mah ve ark., yaptıkları hayvan çalışmalarında endodontik tedavili dişlerin ortodontik kuvvetlere maruz kaldığında vital dişler kadar kolay hareket ettiğini tespit etmişlerdir. Çalışmamızdaki bulgunun aksine endodontik tedavi görmüş dişlerde, ortodontik diş hareketinden sonra vital dişlere göre daha fazla apikal kök rezorpsiyon gözlemlemişlerdir ancak bu farkın küçük olduğunu ve muhtemelen periapikal inflamasyonun varlığıyla ilişkilendirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir (Mah ve ark., 1996).

Steadman, devitalize edilmiş dişlerdeki rezorpsiyon alanlarının histolojik kesitlerinde vücudun yabancı cisimlere verdiği reaksiyonlarda görülenlere benzer doku özellikleri

gözlemlemiştir. Bu bulgu, endodontik olarak tedavi edilen dişlerin, kronik irritasyona neden olan yabancı cisimler gibi davranabileceğini ve bunun da onları apikal kök rezorpsiyonuna daha duyarlı hale getirebileceğini göstermektedir. Bu reaksiyon genellikle kökün doğru şekilde doldurulduğu dişlerde görülmez ancak kanal dolgusun uzun bırakıldığı dişlerde veya dolgunun sınırının apikal foramende olduğu hastalarda ortaya çıkabileceği iddia edilmiştir (Steadman, 1942).

Özalp ortodontik tedavi için 4 tane 1.premolar dişin çekimi gereken 10 hasta üzerinde çalışma yapmıştır. Diş çekimi yapılacak hastaların sağ taraflarındaki üst ve alt 1.premolar dişlerine endodontik tedavi uygulanmış ve karşıt premolar dişler kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Endodontik tedavi görmüş ve vital dişleri 4 ay süreyle tork verdikten sonra kök rezorpsiyonu açısından histopatolojik olarak karşılaştırdığı çalışmasında, çalışmamızın bulgularına benzer şekilde endodontik tedavi görmüş dişlerde daha az kök rezorpsiyonu oluştuğunu rapor etmiştir. Bunu endodontik tedavili dişlerde pulpal kan akımının olmaması sebebiyle kök rezorpsiyonu gibi yüksek enerji ve kanlanma ihtiyacı olan bir işlemi azalttığı şeklinde açıklamıştır (Özalp, 1985).

Gulabivala ve Naini, ortodontik tedavi sırasında vital dişlerin hareketinin, pulpada enflamatuvar ve dejeneratif değişikliklerle birlikte nörovasküler rahatsızlıklara neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bu süreç, vasküler, nöral, metabolik, hücrel ve doku değişiklikleri olarak ortaya çıkan, kontrol edici moleküler sinyal sistemlerinin ekspresyonundaki değişimler aracılığıyla gerçekleşir. Pulpa dokuları üzerindeki ortodontik kuvvetin şiddeti, büyüklüğü, yönü ve süresi ile travma, çürük, restorasyonlar veya periodontal hastalık gibi önceki pulpal stimülasyonlardan etkilenir (Gulabivala ve Naini, 2014). Pulpa dokusundaki bu değişiklikler vital dişlerdeki artmış kök rezorpsiyonunu ve ortodontik olarak hareket ettirilen dişler için endodontik tedavinin koruyucu rolünü açıklayabilir (Alhadainy ve ark., 2019).

Lee ve Lee, 35 hastanın endodontik tedavi görmüş dişleri ile simetriğindeki vital dişlerdeki apikal kök rezorpsiyonunu ortodontik tedavi öncesi ve sonrasında incelemişlerdir. Vital dişlerde diş çekimli tedavi yapıp yapılmadığı, apikal kök rezorpsiyonu ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ilişkili bulunmuşken, endodontik

tedavili dişlerde aynı sonuca varılamamıştır. Vital dişlerde; çekimli ortodontik tedavi uygulanan grupta, çekimsiz ortodontik tedaviye göre daha yüksek apikal kök rezorpsiyonu gözlenmiştir. Endodontik tedavili dişlerde böyle bir ilişki tespit etmemişlerdir. Çekimli ortodontik tedavinin pulpayı etkilediğini, dolayısıyla vital dişlerde apikal kök rezorpsiyonuna neden olan medyatörlerin salgılandığını, ancak bu durumun endodontik tedavi görmüş dişlerde mümkün olmadığını bildirmişlerdir (Lee ve Lee, 2016).

Kaku ve ark., yaptıkları çalışmada gerilmiş ve yaralanmış pulpa hücrelerinin makrofaj koloni uyarıcı faktör (M-CSF) ve RANKL salgıladığını sonuç olarak, üretilen odontoklastlar nedeniyle inflamatuvar apikal kök rezorpsiyonunun meydana geldiğini bildirmiştir. Sağ üst birinci molar dişine endodontik tedavi uygulanmış ve kontrol grubunu karşıt molar dişlerin oluşturduğu 7 tane rata mezial yönde 6 aylık ortodontik kuvvet uygulanmıştır. Sonrasında, ratlar sakrifiye edilerek örnekler ışık mikroskopu altında değerlendirilmiş ve endodontik tedavi uygulanan molar dişlerde çalışmamızın bulgularına benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha az kök rezorpsiyonu gözlemlenmiştir (Kaku ve ark., 2014).

Grissom ve ark., endodontik olarak tedavi edilen 38 dişin ortodontik diş hareketi sonrasında yüzey alanı ve hacmindeki değişiminin, simetriğindeki vital dişlerle karşılaştırıldığı retrospektif çalışma yapmışlardır. Dişler ortodontik tedaviden önce ve sonra konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleme kullanılarak incelenmiştir. Çalışmamızın bulgularına benzer şekilde endodontik tedavili dişlerin, vital dişlere kıyasla önemli ölçüde daha az kök rezorpsiyonu gösterdiği bulunmuştur (Grissom ve ark., 2022). Alqerban ve ark., vital ve endodontik tedavili dişlerde gözlenen kök rezorpsiyonu farklılıklarının endodontik tedavinin başarısına bağlı olabileceğini iddia etmişlerdir (Alqerban ve ark., 2019). De Souza ve ark. köpekler üzerinde yaptıkları çalışmalarında, endodontik tedavide kullanılan Ca(OH)_2 materyalinin eksternal kök rezorpsiyonunda periapikal dokunun iyileşmesine yardımcı olduğunu bu sebeple endodontik tedavili dişlerde daha az rezorpsiyon gözlendiğini iddia etmişlerdir (De Souza ve ark., 2009; Zhao ve ark., 2023).

Zhao ve ark. yaptıkları sistematik derlemede vital ve endodontik tedavi görmüş dişler arasındaki apikal kök rezorpsiyonu farkının anterior bölgede ve posterior bölgede farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Anterior bölgedeki dişlerde vital ve endodontik tedavili dişler arasındaki apikal kök rezorpsiyonu farkını istatistiksel olarak benzer bulmuşlarken, posterior bölgedeki dişlerde ise endodontik tedavi görmüş dişlerde gözlenen apikal kök rezorpsiyonu vital dişlere göre anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur (Zhao ve ark., 2023).

Pulpal nöropeptitlerin apikal kök rezorpsiyonunda rol oynadığı hipotezine göre, endodontik tedavi görmüş dişlerdeki vaskülerite ve kanla taşınan hücrelerdeki azalmanın, vital dişlere göre daha az EAKR ile sonuçlanabileceğini iddia edilmektedir (Bender ve ark., 1997).

Khan ve ark., 30 hastayla yaptıkları çalışmada endodontik tedavili dişler, simetrik vital dişlerle karşılaştırılmışlardır. Ortodontik tedavi öncesinde ve sonrasında alınan panoramik radyografiler değerlendirilmiş; çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde endodontik tedavi görmüş dişlerdeki kök rezorpsiyonu vital dişlere kıyasla daha az bulunmuştur. Çekimli ortodontik tedavi uygulanan hastalarda vital dişler, endodontik tedavi görmüş dişlere göre daha fazla rezorpsiyon göstermiştir. Çekimsiz ortodontik tedavi uygulanan hastalarda hem vital hem de endodontik tedavi görmüş dişler arasında rezorpsiyon açısından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (Khan ve ark., 2018).

Kolcuoğlu ve Öz, endodontik tedavi görmüş dişlerle vital dişlerin kök rezorpsiyonu açısından farkını incelemek için ortodontik tedavi nedeniyle her iki tarafta premolar diş çekimi gereken ve bir tarafında önceden endodontik tedavi uygulanmış premolar diş bulunan 16 bireyle çalışma yapmıştır. Endodontik tedavi görmüş premolar dişler çalışma grubunu oluşturmuş, simetrik vital premolar dişler ise kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Sekiz hafta süresince bukkal yönde tipping hareketi uygulanan dişlerin kök rezorpsiyon miktarı mikro BT kullanılarak değerlendirilmiştir. Endodontik tedavi görmüş dişlerde ortodontik kuvvet nedeniyle oluşan rezorpsiyon miktarı vital dişlerden anlamlı şekilde daha düşük bulunmuştur. Bu sonuca dayanarak, ortodontik tedavi sürecinde endodontik

tedavi görmüş dişlerin kök rezorpsiyonuna karşı daha dayanıklı olduğu ve güvenle hareket ettirilebileceği bildirilmiştir (Kolcuoğlu ve Öz, 2020).

Kurnaz ve Büyükçavuş, çekimli ve çekimsiz ortodontik tedavilerden sonra endodontik tedavili ve vital dişlerde eksternal kök rezorpsiyonu miktarını karşılaştırmıştır. Çalışmaya dahil edilen 69 hastanın mandibular molar dişleri ortodontik tedavi öncesi ve sonrasında alınan panoramik radyografi üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çalışmamızın bulgularına benzer şekilde endodontik tedavili dişlerde vital dişlere göre daha az rezorpsiyon gözlemlendiği bildirilmiştir (Kurnaz ve Büyükçavuş, 2021).

Otelakoski ve ark. yaptıkları sistematik derlemede ortodontik tedavi sonrası endodontik tedavi görmüş dişlerde vital dişlere göre daha az EAKR gözlemlendiği sonucuna varmışlardır, fakat bu sonucu (1 mm'ye kadar) klinik olarak anlamlı bulmamışlardır. Yaş ve tedavi süresi gibi faktörlerin de bu sonucu etkilemediğini belirtmişlerdir (Otelakoski ve ark., 2022).

Kurnaz ve Büyükçavuş, yaptıkları araştırmada şeffaf plak tedavisi ile sabit ortodontik tedavinin, endodontik tedavi görmüş dişler ile karşıt vital dişlerde meydana getirdiği kök rezorpsiyonu miktarını karşılaştırmışlardır. 66 hastanın mandibular molar dişlerini değerlendirdikleri çalışmanın sonucunda, tüm dişlerde değişen derecelerde EAKR görüldüğünü hem şeffaf plak tedavisinin hem de sabit ortodontik tedavinin endodontik tedavi görmüş dişlerde daha az kök rezorpsiyonu oluşturduğunu belirlemişlerdir (Kurnaz ve Büyükçavuş, 2024).

Çalışmamızın sonuçları literatürle uyumluluk göstermiştir ve vital dişlerde gözlenen eksternal apikal kök rezorpsiyon miktarı, endodontik tedavili dişlere göre istatistiksel olarak daha fazla bulunmuştur. Vital dişlerde rezorpsiyon miktarının daha fazla gözlenmesinin sebebi olarak ortodontik diş hareketinin pulpal irritasyona neden olabileceğinden kaynaklı olduğu düşünülebilir.

5.8. Periapikal Lezyon Varlığının Endodontik Tedavili Diş Gruplarında Kök Rezorpsiyonu Üzerine Etkisi ve Lezyon Değişikliğinin Değerlendirilmesi

Çalışmamızda ortodontik tedavi öncesinde mevcut olan periapikal lezyonun endodontik tedavi görmüş dişlerdeki kök rezorpsiyonu üzerine etkisinin olup olmadığını değerlendirdiğimizde (Tablo 4.10), istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır. Çalışmamızda periapikal lezyon varlığındaki veya yokluğundaki değişikliğe baktığımızda (Tablo 4.11), ortodontik tedavi öncesinde, endodontik tedavili 523 dişte lezyon bulunmazken, 97 dişte lezyon tespit edilmiştir. Tedavi sonunda, 504 dişte lezyon saptanmazken, 116 dişte ise lezyon bulunduğu belirlenmiştir ve bu sonuç istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Lee ve Lee tarafından yapılan araştırmada ortodontik tedavi öncesinde periapikal lezyonu olan ve olmayan 35 endodontik tedavili diş EAKR açısından değerlendirilmiş, çalışmamızın bulgularına benzer şekilde anlamlı bir fark olmadığını tespit etmişlerdir (Lee ve Lee, 2016).

De Souza ve ark., kronik periapikal lezyonların iyileşmesinde ortodontik diş hareketinin etkisini köpek dişlerinde histomorfolojik olarak değerlendirmişler (De Souza ve ark., 2006). Deney grubuna dahil edilmiş dişlerin endodontik tedavisi için kalsium hidroksit bazlı materyaller kullanılmış, dişlerden bazıları ortodontik harekete tabi tutulurken, diğerlerine ortodontik hareket uygulanmamıştır. Sonuç olarak ortodontik hareket uygulanmayan deney grubunda kronik periapikal lezyonların iyileşme sürecinin daha hızlı olduğunu, ortodontik hareketin periapikal iyileşme sürecini geciktirdiğini, ancak engellemediğini bildirmişlerdir (De Souza ve ark., 2006).

Alqerban ve ark., yaptıkları çalışmada endodontik tedavi görmüş 128 dişin periapikal durumuna ortodontik tedavinin etkisini periapikal indeksle değerlendirmişler. Çalışmanın sonucunda periapikal indeks skorunda anlamlı değişiklik olmadığını bildirmişlerdir (Alqerban ve ark., 2019).

Kim ve ark., konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) kullanarak ortodontik tedavi öncesi ve sonrası endodontik tedavili dişlerin periapikal radyolusensini incelemişler.

Çalışmaya 115 diş dahil edilmiş, ortodontik tedavi sonrasında 56 dişte periapikal radyolusensi boyutunun arttığı ve 59 dişte azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak periapikal radyolusensi boyutundaki bu değişiklik çalışmamızdaki bulgunun aksine anlamlı bulunmamıştır (Kim ve ark., 2023).

Chen ve ark., KIBT görüntüme yöntemiyle ortodontik tedavi başlangıcında periapikal bölgede hem lezyonu olan hem de olmayan endodontik tedavi görmüş 169 diş üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada ortodontik tedavi öncesinde 97 dişte lezyon yokken, tedavi bitiminde 34 dişte çapı 0,5 mm'den büyük lezyon oluşmuş. Tedavi başlangıcında 72 dişte lezyon mevcutken, 28 dişte lezyon çapı artmış. Ortodontik tedavi öncesi ve sonrasında lezyon çapında oluşan bu değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Chen ve ark., 2024).

Çalışmamızdaki ortodontik tedavi başlangıcında endodontik tedavili dişlerdeki periapikal lezyon varlığının EAKR üzerine etkisiyle ilgili bulgular daha önceki çalışmaların bulgularıyla uyumluluk göstermiştir. Ancak tedavi öncesi ve sonrasındaki periapikal lezyon varlığı ve yokluğundaki değişikliğin sonuçlarıyla daha önce yapılan çalışmalardaki bulguların farklı olmasının nedeni örneklem sayısı, değerlendirme yönteminin ve uygulanan tedavi çeşitlerinin farklı olmasından kaynaklı olabilir.

Ortodontik tedaviye bağlı kök rezorpsiyonunun klinik etkisi birçok çalışmada sınırlı bulunmuş ve şiddetli kök rezorpsiyonuna uğrayan vakalarda bile uzun vadede ilgili dişlerin fonksiyonel kapasitesinin veya uzun ömürlülüğünün etkilenmediği görülmüştür (Remington ve ark., 1989; Levander ve Malmgren, 2000; Jönsson ve ark., 2007). Buna rağmen, ortodontik tedaviye bağlı kök rezorpsiyonundan olumsuz şekilde etkilenen hastaların olduğu da tespit edilmiştir (Mirabella ve Artun, 1995b; Baumrind ve ark., 1996).

Çalışmamız, mevcut literatürde bulunan çalışmalardan ayrılan bazı önemli güçlü yönlere sahiptir: İlk olarak, bu retrospektif çalışmada geniş bir örneklem büyüklüğü kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Ortodonti hastalarında endodontik tedavili dişleri içeren geniş bir örneklem bulmanın zorluğuna dikkat çekmek önemlidir. İkinci olarak, EAKR miktarı

farklı ortodontik tedavi modalitelerinde tedavi süresi ile birlikte değerlendirilmiştir. (çekimli ve çekimsiz; tek aşamalı ve iki aşamalı). Ayrıca, bildiğimiz kadarıyla, hem endodontik tedavili hem de vital dişlerde tek aşamalı ve iki aşamalı tedavilerin kök rezorpsiyonunu değerlendiren bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda ortodontik tedavi görmüş endodontik tedavili dişleri olan hastalarda, endodontik tedavi görmüş dişlerle simetrik vital dişlerde ortodontik tedaviye cevaben EAKR varlığını değerlendirdiğimiz ve karşılaştırdığımız, EAKR'nun hasta yaşı, hasta cinsiyeti, tedavi süreleri ve tedavi tipleri (tek aşamalı veya iki aşamalı tedavi; dişlerin çekilip çekilmediği) ile ilişkisini değerlendirdiğimiz retrospektif çalışmamızda şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Kadın ve erkek hastaların, endodontik tedavili dişlerdeki ve vital dişlerdeki EAKR yüzdesi arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.
2. Endodontik tedavili ve vital dişlerdeki EAKR yüzdesi ile tedavi süresi arasında istatistiksel olarak anlamlı, pozitif yönlü bir korelasyon izlenmiştir. Yani tedavi süresi arttıkça EAKR yüzdesi artmıştır.
3. Hasta yaşı ile hem endodontik tedavi görmüş hem de vital dişlerdeki EAKR yüzdesi arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilmemiştir. Yani hasta yaşı EAKR yüzdesinde etkili bulunmamıştır.
4. Bütün tedavi tiplerine göre (tek aşamalı; iki aşamalı; çekimsiz; çekimli) EAKR yüzdesi endodontik tedavi görmüş dişlerde vital dişlere göre önemli ölçüde daha az görülmüştür.
5. Ortopedik ve sabit ortodontik tedavinin art arda uygulanması (iki aşamalı) hem tedavi süresini, hem de EAKR oranını etkilemiştir. Hem endodontik tedavili hem de vital dişlerde EAKR oranı artmıştır.
6. Diş çekimli ortodontik tedavi uygulanması hem endodontik tedavili hem vital dişlerde EAKR oranını arttırmıştır.
7. Endodontik tedavi görmüş periapikal lezyona sahip dişlerde EAKR oranı lezyon varlığından etkilenmemiştir.

Bu sonuçlara göre endodontik tedavili dişlerin ortodontik diş hareketi güvenli bir klinik prosedür olarak görülebilir ve bu dişleri hareket ettirmek için ortodontik tedavi planlamasında herhangi bir değişiklik gerekmez. Bununla birlikte, ortodontik tedavi gören

hastalarda EAKR gelişmesinde tedavi süresinin önemli bir faktör olduğu unutulmamalı, tedavi süresini uzatan faktörler dikkatle değerlendirilmeli ve ortodontik tedavi süresince 6-9 aylık periyotlarla kontrol radyografileri alınarak takip edilmelidir. Özellikle tedavi süresini uzatan faktörlerden biri olan hastanın kooperasyon göstermemesi gibi durumlarda olası EAKR riski açısından hasta bilgilendirilmelidir. Benzer şekilde çekimli ortodontik tedavilerde uzun tedavi süresi ve daha fazla EAKR görülmesi sebebiyle, sınır vakalarda diş çekimi kararı verilirken hastanın EAKR risk faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın ana limitasyonu, üç boyutlu görüntüleme tekniklerine kıyasla daha düşük hassasiyete sahip olan iki boyutlu dijital panoramik radyografilerin kullanılmasıdır, dolayısıyla gelecekteki araştırmaların üç boyutlu görüntüleme ile yapılması avantajlı olacaktır. Dahası, EAKR ile ortodontik tedavi ilişkisinin ideal bir şekilde değerlendirilebilmesi için tedavi öncesinde ve tedavi sonrasında ilgili diş veya dişlerden periapikal radyografi veya CBCT alınarak prospektif bir çalışma planlanabilir. Çalışmamızda EAKR'nin tedavi tipleri ile ilişkisi değerlendirilmiş, farklı maloklüzyonların tedavisinde meydana gelen EAKR'ye bakılmamıştır, dolayısıyla farklı maloklüzyon tiplerinin tedavisinde oluşan EAKR miktarının değerlendirildiği başka bir çalışma yapılabilir. Olası oblik rezorpsiyonların tespiti panoramik radyografilerden mümkün olmayacağı için, bu çalışmada sadece vertikal rezorpsiyonlar değerlendirilebilmiştir. Ayrıca, çalışmamızda bazı dişler endodontik tedavi görmedikleri için değerlendirilememiş ve ortodontik kuvvetlere verdikleri yanıt gösterilememiştir. Bütün dişlerin değerlendirilebildiği farklı bir çalışma dizayn edilebilir.

KAYNAKLAR

Acar A, Canyürek Ü, Kocaaga M, Erverdi N. Continuous vs. discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthod.* 1999;69: 159-163.

Adachi H, Igarashi K, Mitani H, Shinoda H. Effects of topical administration of a bisphosphonate (risedronate) on orthodontic tooth movements in rats. *J Dent Res.* 1994;73: 1478-1486.

Ahmed H, Sadaf D, Rahman M. Frequency and distribution of endodontically treated teeth. *J Coll Physicians Surg Pak.* 2009;19: 605-608.

Aidos H, Diogo P, Santos JM. Root resorption classifications: a narrative review and a clinical aid proposal for routine assessment. *Eur Endod J.* 2018;3: 134-145.

Alatli I, Hammarström L. Root surface defects in rat molar induced by 1-hydroxyethylidene-1, 1-bisphosphonate. *Acta Odontol Scand.* 1996;54: 59-65. Alınmıştır:
Abass SK, Hartsfield JK. Orthodontics and external apical root resorption. *Semin Orthod.* 2007;13: 246-256.

Alhadainy HA, Flores-Mir C, Abdel-Karim AH, Crossman J, El-Bialy T. Orthodontic-induced external root resorption of endodontically treated teeth: a meta-analysis. *J Endod.* 2019;45: 483-489.

Al-Qawasmi RA, Hartsfield Jr J, Everett E, Flury L, Liu L, Foroud T, Macri JV, Roberts WE. Genetic predisposition to external apical root resorption in orthodontic patients: linkage of chromosome-18 marker. *J Dent Res.* 2003;82: 356-360.

Al-Qawasmi RA, Hartsfield Jr JK, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM, Macri JV, Roberts WE. Genetic predisposition to external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123: 242-252.

Alqerban A, Almanea A, Alkanhal A, Aljarbou F, Almassen M, Fieuws S, et al. Impact of orthodontic treatment on the integrity of endodontically treated teeth. *Eur J Orthod*. 2019;41: 238-243.

Aman C, Azevedo B, Bednar E, Chandiramami S, German D, Nicholson E, Nicholson K, Scarfe WC. Apical Root Resorption during Orthodontic Treatment with Clear Aligners: A Retrospective Study Using Cone-Beam Computed Tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;153: 842-851.

Anderson DM, Maraskovsky E, Billingsley WL, Dougall WC, Tometsko ME, Roux ER, Teepe MC, DuBose RF, Cosman D, Galibert L. A homologue of the TNF receptor and its ligand enhance T-cell growth and dendritic-cell function. *Nature*. 1997;390: 175-179.

Andreasen FM, Sewerin I, Mandel U, Andreasen JO. Radiographic assessment of simulated root resorption cavities. *Endod Dent Traumatol*. 1987;3: 21-27.

Andreasen JO. External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *Int Endod J*. 1985;18: 109-118.

Andreasen JO. Review of root resorption systems and models. Etiology of root resorption and hemostatic mechanisms of the periodontal ligament. In: Davidovitch Z, ed. *The Biological Mechanisms of Tooth Eruption and Root Resorption*, 1st ed. Birmingham: EBSCO Media; 1988, p: 9-22.

Andreasen JO. Summary of root resorption. In: Davidovitch Z, ed. *The Biological Mechanisms of Tooth Eruption and Root Resorption*, 1st ed. Birmingham: EBSCO Media; 1988, p: 399-401.

Apajalahti S, Peltola JS. Apical root resorption after orthodontic treatment-a retrospective study. *Eur J Orthod*. 2007;29: 408-412.

Armstrong D, Kharbanda OP, Petocz P, Darendeliler MA. Root resorption after orthodontic treatment. *Aust Orthod J*. 2006;22: 153-160.

Årtun J, Smale I, Behbehani F, Doppel D, Van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM. Apical root resorption six and 12 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *Angle Orthod.* 2005;75: 919-926.

Ashcraft MB, Southard KA, Tolley EA. The effect of corticosteroid-induced osteoporosis on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102: 310-319.

Barbagallo LJ, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133: 218-227.

Bartley N, Türk T, Colak C, Elekdağ-Türk S, Jones A, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 17. Root resorption after the application of 2.5 and 15 of buccal root torque for 4 weeks: A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139: e353-e360.

Bassett CAL, Becker RO. Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. *Science.* 1962;137: 1063-1064.

Baumrind S, Korn EL, Boyd RL. Apical root resorption in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110: 311-320.

Baumrind S. A reconsideration of the propriety of the “pressure-tension” hypothesis. *Am J Orthod.* 1969;55: 12-22

Bayır F. Ortodontik tedavi-apikal kök rezorpsiyonu ilişkisinin değerlendirilmesi. A.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi, Uzmanlık tezi, 2019, Antalya (Danışman: Dr.Öğr. Üyesi E Bolat).

Beck BW, Harris E. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105: 350-361.

Beck BW, Harris EF. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105: 350-361.

Beertsen W, VandenBos T, Everts V. Root development in mice lacking functional tissue non-specific alkaline phosphatase gene: inhibition of acellular cementum formation. *J Dent Res.* 1999;78: 1221-1229.

Bender IB, Byers MR, Mori K. Periapical replacement resorption of permanent, vital, endodontically treated incisors after orthodontic movement: report of two cases. *J Endod.* 1997;23: 768-773.

Bille M, Kvetny M, Kjaer I. A possible association between early apical resorption of primary teeth and ectodermal characteristics of the permanent dentition. *Eur J Orthod.* 2008;30: 346-351.

Björk A. The principle of the Andresen method of orthodontic treatment, a discussion based on cephalometric x-ray analysis of treated cases. *Am J Orthod.* 1951;37: 437-458.

Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J.* 1999;32: 3-9.

Blake M, Woodside D, Pharoah M. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and Speed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;108: 76-84.

Bonewald L. Osteocyte biology: its implications for osteoporosis. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2004;4: 101-104.

Borg E, Källqvist A, Gröndahl K, Gröndahl HG. Film and digital radiography for detection of simulated root resorption cavities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;86: 110-114.

Bosshardt D. Are cementoblasts a subpopulation of osteoblasts or a unique phenotype? J Dent Res. 2005;84: 390-406.

Boyce BF, Xing L. Functions of RANKL/RANK/OPG in bone modeling and remodeling. Arch Biochem Biophys. 2008;473: 139-146.

Boyce TM, Fyhrie DP, Glotkowski MC, Radin EL, Schaffler MB. Damage type and strain mode associations in human compact bone bending fatigue. J Orthop Res. 1998;16: 322-329.

Boyle WJ, Simonet WS, Lacey DL. Osteoclast differentiation and activation. Nature. 2003;423: 337-342.

Brezniak N, Goren S, Zoizner R, Dinbar A, Arad A, Wasserstein A, et al. A comparison of three methods to accurately measure root length. Angle Orthod. 2004;74: 786-791.

Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: the basic science aspects. Angle Orthod. 2002;72: 175-179.

Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103: 62-66.

Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103: 138-146.

Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, Engelberg A. The influence of orthodontic treatment on previously traumatized permanent incisors. Eur J Orthod. 1991;13: 372-377.

Brin I, Tulloch JC, Koroluk L, Philips C. External apical root resorption in Class II malocclusion: a retrospective review of 1-versus 2-phase treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124: 151-156.

Brown W. Resorption of permanent teeth. Br J Orthod. 1982;9: 212-220. Alınmıştır: Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. Eur J Orthod. 1988;10: 30-38.

Brudvik P, Rygh P. Root resorption beneath the main hyalinized zone. *Eur J Orthod.* 1994;16: 249-263.

Brudvik P, Rygh P. The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament. *Eur J Orthod.* 1993;15: 249-263.

Burger EH, Klein-Nulend J. Mechanotransduction in bone—role of the lacunocanalicular network. *FASEB J.* 1999;13: S101-S112.

Cakmak F, Turk T, Karadeniz EI, Elekdag-Turk S, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 24. Root resorption of the first premolars after 4 weeks of occlusal trauma. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145: 617-625.

Çalışkan K. Endodontide Tanı ve Tedaviler. 2. Baskı. İstanbul: Nobel Tıp Kitapevi; 2006, p:179-203.

Castro I, Valladares-Neto J, Estrela C. Contribution of cone beam computed tomography to the detection of apical root resorption after orthodontic treatment in root-filled and vital teeth. *Angle Orthod.* 2015;85: 771-776.

Chan EKM, Darendeliler MA, Petocz P, Jones AS. A new method for volumetric measurement of orthodontically induced root resorption craters. *Eur J Oral Sci.* 2004;112: 134-139.

Chan EKM, Darendeliler MA. Exploring the third dimension in root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7: 64-70.

Chan EKM, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 5. Volumetric analysis of root resorption craters after application of light and heavy orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127: 186-195.

Chapnick L, Endo D. External root resorption: an experimental radiographic evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989;67: 578-582.

Chen X, Liu SQ, Wang XX, Liu W, Zhou X., & Wang, X. Effect of orthodontic treatment on the outcomes of endodontically treated teeth: a cone-beam computed tomography analysis. *J Endod.* 2024;50: 1091-1099.

Cheng LL, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Yu Y, Darendeliler MA. Repair of root resorption 4 and 8 weeks after application of continuous light and heavy forces on premolars for 4 weeks: a histology study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;138: 727-734.

Choi JW. Assessment of panoramic radiography as a national oral examination tool: review of the literature. *Imaging Sci Dent.* 2011;41: 1-6.

Chutimanutskul W, Darendeliler MA, Shen G, Petocz P, Swain M. Changes in the physical properties of human premolar cementum after application of 4 weeks of controlled orthodontic forces. *Eur J Orthod.* 2006;28: 313-318.

Cooper SM, Sims MR. Evidence of acute inflammation in the periodontal ligament subsequent to orthodontic tooth movement in rats. *Aust Orthod J.* 1989;11: 107-109.

Copeland S, Green LJ. Root resorption in maxillary central incisors following active orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1986;89: 51-55.

Cowin SC. The significance of bone microstructure in mechanotransduction. *J Biomech.* 2007;40: S105-S109.

Da Silveira H, Silveira H, Liedke G, Lermen C, Dos Santos R, De Figueiredo J. Diagnostic ability of computed tomography to evaluate external root resorption in vitro. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007;36: 393-396.

Dalili Z, Taramsari M, Mehr SZM, Salamat F. Diagnostic value of two modes of cone-beam computed tomography in evaluation of simulated external root resorption: an in vitro study. *Imaging Sci Dent.* 2012;42: 19-24.

Darcey J, Qualtrough A. Root resorption: simplifying diagnosis and improving outcomes. *Prim Dent J*. 2016;5: 36-45.

Darendeliler MA, Kharbanda O, Chan EKM, Srivicharnkul P, Rex T, Swain M, Jones AS, Petocz P. Root resorption and its association with alterations in physical properties, mineral contents and resorption craters in human premolars following application of light and heavy controlled orthodontic forces. *Orthod Craniofac Res*. 2004;7: 79-97

Davidovitch Z, Finkelson MD, Steigman S, Shanfeld JL, Montgomery PC, Korostoff E. Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement: I. The effect of electric currents on periodontal cyclic nucleotides. *Am J Orthod*. 1980;77: 14-32.

Davidovitch Z, Finkelson MD, Steigman S, Shanfeld JL, Montgomery PC, Korostoff E. Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement: II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotide levels by combined force and electric current. *Am J Orthod*. 1980;77: 33-47.

Davidovitch Z. Tooth movement. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1991;2: 411-450.

De Rossi M, De Rossi A, Hallak JEC, Vitti M, Regalo SCH. Electromyographic evaluation in children having rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136: 355-360.

De Souza RS, De Souza V, Holland R, Gomes-Filho JE, Murata SS, Sonoda CK. Effect of calcium hydroxide-based materials on periapical tissue healing and orthodontic root resorption of endodontically treated teeth in dogs. *Dent Traumatol*. 2009;25: 213-218.

De Souza RS, Gandini LG Jr, De Souza V, Holland R, Dezan E Jr. Influence of orthodontic dental movement on the healing process of teeth with periapical lesions. *J Endod*. 2006;32: 115-119.

Deng Y, Sun Y, Xu T. Evaluation of root resorption after comprehensive orthodontic treatment using cone beam computed tomography (CBCT): a meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2018;18: 1-14.

Dermaut L, De Munck A. Apical root resorption of upper incisors caused by intrusive tooth movement: a radiographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1986;90: 321-326.

DeShields RW. A study of root resorption in treated Class II, Division I malocclusions. *Angle Orthod*. 1969;39: 231-245.

Dindaroğlu F, Doğan S. Evaluation and comparison of root resorption between tooth-borne and tooth-tissue borne rapid maxillary expansion appliances: A CBCT study. *Angle Orthod*. 2016;86: 46-52.

Doty SB. Morphological evidence of gap junctions between bone cells. *Calcif Tissue Int*. 1981;33: 509-512.

Dougherty HL. The effect of mechanical forces upon the mandibular buccal segments during orthodontic treatment. Part I. *Am J Orthod*. 1968;54: 29-49.

Dougherty HL. The effect of mechanical forces upon the mandibular buccal segments during orthodontic treatment. Part II. *Am J Orthod*. 1968;54: 83-103.

Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135: 434-437.

Dudic A, Giannopoulou C, Martinez M, Montet X, Kiliaridis S. Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against micro-computed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Oral Sci*. 2008;116: 467-472.

Elhaddaoui R, Benyahia H, Azeroual M-F, Zaoui F, Razine R, Bahije L. Resorption of maxillary incisors after orthodontic treatment—clinical study of risk factors. *International Orthodontics*. 2016;14: 48-64.

Ericson S, Kurol J. Incisor resorption caused by maxillary cuspids: a radiographic study. *Angle Orthod.* 1987;57: 332-346.

Eross E, Turk T, Elekdag-Turk S, Cakmak F, Jones AS, Vegh A, Papadopoulou AK, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 25. Extent of root resorption after the application of light and heavy buccopalatal jiggling forces for 12 weeks: a microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147: 738-746.

Esteves T, Ramos AL, Hidalgo MM. Apical root resorption of vital and endodontically treated teeth after orthodontic treatment: A radiographic evaluation. *Dental Press Endod.* 2013;3: 69-73.

Esteves T, Ramos AL, Pereira CM, Hidalgo MM. Orthodontic root resorption of endodontically treated teeth. *J Endod.* 2007;33: 119-122.

Estrela C, Bueno MR, De Alencar AHG, Mattar R, Neto JV, Azevedo BC, et al. Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography. *J Endod.* 2009;35: 1491-1497.

Faltin RM, Faltin K, Sander FG, Arana-Chavez VE. Ultrastructure of cementum and periodontal ligament after continuous intrusion in humans: a transmission electron microscopy study. *Eur J Orthod.* 2001; 23: 35-49.

Faxén Sepanian V, Sonnesen L. Incisor root resorption in Class II division 2 patients in relation to orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2018;40: 337-342.

Feller L, Khammissa RA, Thomadakis G, Fourie J, Lemmer J. Apical external root resorption and repair in orthodontic tooth movement: Biological events. *Biomed Res Int.* 2016;2016: 1-7.

Freitas JC, Lyra OCP, Alencar AHG, Estrela C. Longterm evaluation of apical root resorption after orthodontic treatment using periapical radiography and cone beam computed tomography. *Dental Press J Orthod.* 2013;18: 104-112.

Friedland B, Faiella RA, Bianchi J. Use of rotational tomography for assessing internal resorption. *J Endod.* 2001;27: 797-799.

Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption–diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol.* 2003;19: 175-182.

Gartner AH, Mack T, Somerlott RG, Walsh LC. Differential diagnosis of internal and external root resorption. *J Endod.* 1976;2: 329-334.

Ghafari JG. Root resorption associated with orthognathic surgery: Modified definitions of the resorptive process. In: Davidovitch Z, ed. *Biological mechanisms of tooth eruption, resorption, and replacement by implants.* Boston: Harvard Society for the Advancement of Orthodontics; 1995, p: 545-556.

Glickman I, Smulow JB. Effect of excessive occlusal forces upon the pathway of gingival inflammation in humans. *J Periodontol.* 1965;36: 141-147. Alınmıştır: Harris EF. Root resorption during orthodontic therapy. *Semin Orthod.* 2000;6: 183-194.

Goldberg F, De Silvio A, Dreyer C. Radiographic assessment of simulated external root resorption cavities in maxillary incisors. *Endod Dent Traumatol.* 1998;14: 133-136.

Goldson L, Henrikson CO. Root resorption during Begg treatment: a longitudinal roentgenologic study. *Am J Orthod.* 1975;68: 55-66.

Grimm FM. Bone bending, a feature of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod.* 1972;62: 384-393.

Grissom AC, Cozad BE, Makins SR, Silva RM, English JD, Kirkpatrick TC. Root Surface Changes in Endodontically Treated Teeth following Orthodontic Movement. *J Endod.* 2022;48: 1361-1366.

Gross D, Williams WS. Streaming potential and the electromechanical response of physiologically-moist bone. *J Biomech.* 1982;15: 277-295.

Gulabivala K, Naini FB. The ortho–endo interface. In: Gulabivala K, Ng YL, eds. *Endodontics*. 4th ed. London: Elsevier; 2014, p: 329-333.

Hamaya M, Mizoguchi I, Sakakura Y, Yajima T, Abiko Y. Cell death of osteocytes occurs in rat alveolar bone during experimental tooth movement. *Calcif Tissue Int*. 2002;70: 117-126.

Han G, Huang S, Von den Hoff JW, Zeng X, Kuijpers-Jagtman AM. Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion: an intraindividual study. *Angle Orthod*. 2005;75: 912-918.

Haring JI, Jansen L. *Dental Radiology: Principles and Techniques*. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 2000, p: 342-362.

Harris EF, Baker WC. Loss of root length and creastal bone height before and during treatment in adolescent and adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990;98: 463-469.

Harris EF, Boggan B, Wheeler D. Apical root resorption in patients treated with comprehensive orthodontics. *J Tenn Dent Assoc*. 2001;81: 30-33.

Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;111: 301-309.

Harris EF, Robinson QC, Woods MA. An analysis of causes of apical root resorption in patients not treated orthodontically. *Quintessence Int*. 1993;24: 417-428.

Harris EF. Root resorption during orthodontic therapy. *Semin Orthod*. 2000;6: 183-194.

Harry M, Sims M. Root resorption in bicuspid intrusion: a scanning electron microscope study. *Angle Orthod*. 1982;52: 235-258.

Heasman PA, Millett DT, Chapple IL. *The Periodontium and Orthodontics in Health and Disease*. 1st ed. New York: Oxford University Press; 1996, p: 245-251.

Heimisdottir K, Bosshardt D, Ruf S. Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs? A case report with histology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128: 106-109.

Hines FB. A radiographic evaluation of the response of previously avulsed teeth and partially avulsed teeth to orthodontic movement. *Am J Orthod.* 1979;75: 1-19.

Hollender L, Ronnerman A, Thilander B. Root resorption, marginal bone support and clinical crown length in orthodontically treated patients. *Eur J Orthod* 1980;2: 197-205.

Huang JG, King G, Kapila S. Biologic mechanisms in orthodontic tooth movement. In: Rudolph P, Pendill J, eds. *Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics*. 1st ed. St. Louis: Elsevier Saunders; 2005, p:17-38.

Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B, Yañez-Vico RM, Solano E, Lindauer SJ, Flores-Mir C. Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. *Angle Orthod.* 2017;87: 3-10.

Inchingolo F, Inchingolo AM, Palmieri G, Pede CD, Garofoli G, Ruvo E, Inchingolo AD, Palermo A, Mancini A, Venere DD, Malcangi G, Dipalma G. Root Resorption during Orthodontic Treatment with Clear Aligners vs. Fixed Appliances-A Systematic Review. *Appl Sci.* 2024;14: 690.

Jacobs C, Gebhardt PF, Jacobs V, Hechtner M, Meila D, Wehrbein H. Root resorption, treatment time and extraction rate during orthodontic treatment with self-ligating and conventional brackets. *Head Face Med.* 2014;10: 1-7.

James J, Steijn-Myagkaya G. Death of osteocytes. Electron microscopy after in vitro ischaemia. *J Bone Joint Surg Br.* 1986;68: 620-624.

Janson GR, de Luca Canto G, Martins DR, Henriques JFC, de Freitas MR. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;118: 262-273.

Jiang R, McDonald JP, Fu M. Root resorption before and after orthodontic treatment: a clinical study of contributory factors. *Eur J Orthod.* 2010;32: 693-697.

Jönsson A, Malmgren O, Levander E. Long-term follow-up of tooth mobility in maxillary incisors with orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Orthod.* 2007;29: 482-487.

Kaku M, Sumi H, Shikata H, Kojima S, Motokawa M, Fujita T, Tanimoto K, Tanne K. Effects of pulpectomy on the amount of root resorption during orthodontic tooth movement. *J Endod.* 2014;40: 372-378.

Kaley J, Phillips C. Factors related to root resorption in edgewise practice. *Angle Orthod.* 1991;61: 125-132.

Kamburoğlu K, Barenboim SF, Arıtürk T, Kaffe I. Quantitative measurements obtained by micro-computed tomography and confocal laser scanning microscopy. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37: 385-91.

Kamburoğlu K, Barenboim SF, Kaffe I. Comparison of conventional film with different digital and digitally filtered images in the detection of simulated internal resorption cavities—an ex vivo study in human cadaver jaws. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105: 790-797.

Kashyap S. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement: a brief overview. *NJDSR.* 2016;1: 28-31.

Katona TR. Flaws in root resorption assessment algorithms: role of tooth shape. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130: 698.e19-698.e27.

Ketcham AH. A preliminary report of an investigation of apical root resorption of vital permanent teeth. *Int J Orthod.* 1927;13: 97-127. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103: 138-146.

Ketcham AH. A progress report of an investigation of apical root resorption of vital permanent teeth. *Int J Orthod*. 1929;15: 310-328. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993;103: 138-146.

Khan AR, Fida M, Shaikh A. Evaluation of apical root resorption In endodontically treated and vital teeth in adult orthodontic subjects. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2018;30: 506-510.

Killiany DM. Root resorption caused by orthodontic treatment: An evidence-based review of literature. *Semin Orthod*. 1999;5: 128-133.

Kim S, Hwang SJ, Seo MS. Effect of orthodontic treatment on the periapical radiolucency of endodontically treated teeth: a CBCT analysis. *BMC Oral Health*. 2023;23: 289.

King AD, Turk T, Colak C, Elekdag-Turk S, Jones AS, Petocz PC, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 21. Extent of root resorption after the application of 2.5° and 15° tips for 4 weeks: a microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140: e299-e305.

Kinsella P. Some aspects of root resorption in orthodontics. *NZ Orthod J*. 1971; 21-25.

Kirkevang LL, Væth M, Wenzel A. Tooth-specific risk indicators for apical periodontitis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004;97: 739-744.

Klein-Nulend J, Nijweide PJ, Burger EH. Osteocyte and bone structure. *Curr Osteoporos Rep*. 2003;1: 5-10.

Kocadereli I, Yesil TN, Veske PS, Uysal S. Apical root resorption: a prospective radiographic study of maxillary incisors. *Eur J Dent*. 2011;5: 318-323.

Kogianni G, Mann V, Noble BS. Apoptotic bodies convey activity capable of initiating osteoclastogenesis and localized bone destruction. *J Bone Miner Res*. 2008;23: 915-927.

Kolcuoğlu K, Oz AZ. Comparison of orthodontic root resorption of root-filled and vital teeth using micro-computed tomography. *Angle Orthod.* 2020;90: 56-62.

Kotana TR. Flaws in root resorption assesment algorithms: Role of tooth shape. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130: 698.e19-698.e27

Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129: 469.e1-469.e32.

Krishnan V. Critical issues concerning root resorption: a contemporary review. *World J Orthod.* 2005; 6: 30-40.

Kumar V, Gossett L, Blattner A, Iwasaki LR, Williams K, Nickel JC. Comparison between cone-beam computed tomography and intraoral digital radiography for assessment of tooth root lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139: e533-e541.

Kurnaz S, Buyukcavus MH. External root resorption in root-filled and vital teeth after extraction and non-extraction orthodontic treatments: a split-mouth retrospective study. *Acta Odontol Scand.* 2021;79: 282-288.

Kurnaz S, Buyukcavus MH. Panoramic evaluation of external root resorption in mandibular molars during orthodontic treatment: a comparison between root-filled and vital teeth treated with fixed appliances or clear aligners. *BMC Oral Health.* 2024;24: 1-11.

Laux M, Abbott P, Pajarola G, Nair P. Apical inflammatory root resorption: a correlative radiographic and histological assessment. *Int Endod J.* 2000;33: 483-493.

Leach H, Ireland A, Whaites E. Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *Br Dent J.* 2001;190: 16-22.

Lee YJ, Lee TY. External root resorption during orthodontic treatment in root-filled teeth and contralateral teeth with vital pulp: A clinical study of contributing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149: 84-91.

Leite V, Conti AC, Navarro R, Almeida M, Oltramari-Navarro P, Almeida R. Comparison of root resorption between self-ligating and conventional preadjusted brackets using cone beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012;82: 1078-1082.

Lemasters JJ, Stemkowski, CJ, Ji S, Thurman, RG. Liver structure and function in hypoxia. In: Wauquier A, Borgers M, Amery WK, eds. *Protection of Tissues against Hypoxia*. Amsterdam: Elsevier; 1982, p:15-30.

Levander E, Bajka R, Malmgren O. Early radiographic diagnosis of apical root resorption during orthodontic treatment: a study of maxillary incisors. *Eur J Orthod.* 1998;20: 57-63.

Levander E, Malmgren O, Eliasson S. Evaluation of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimes. A clinical experimental study. *Eur J Orthod.* 1994;16: 223-228.

Levander E, Malmgren O, Stenback K. Apical root resorption during orthodontic treatment of patients with multiple aplasia: a study of maxillary incisors. *Eur J Orthod.* 1998;20: 427-434.

Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. *Eur J Orthod.* 1988;10: 30-38.

Levander E, Malmgren O. Long-term follow-up of maxillary incisors with severe apical root resorption. *Eur J Orthod.* 2000;22: 85-92.

Liedert A, Kaspar D, Blakytyn R, Claes L, Ignatius A. Signal transduction pathways involved in mechanotransduction in bone cells. *Biochem Biophys Res Commun.* 2006;349: 1-5.

Liedke GS, da Silveira HED, da Silveira HLD, Dutra V, de Figueiredo JAP. Influence of Voxel Size in the Diagnostic Ability of Cone Beam Tomography to Evaluate Simulated External Root Resorption. *J Endod.* 2009;35: 233-235.

Lima TF, Gamba TO, Zaia AA, Soares AJ. Evaluation of cone beam computed tomography and periapical radiography in the diagnosis of root resorption. *Aust Dent J*. 2016;61: 425-431.

Lindskog S, Blomlöf L, Hammarström L. Cellular colonization of denuded root surfaces in vivo: cell morphology in dentin resorption and cementum repair. *J Clin Periodontol*. 1987;14: 390-395.

Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthod* 1983;5: 173-183.

Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1991;99: 35-43.

Liou EJ, Chang PM. Apical root resorption in orthodontic patients with en-masse maxillary anterior retraction and intrusion with miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137: 207-212.

Llamas-Carreras JM, Amarilla A, Espinar-Escalona E, Castellanos-Cosano L, Martín-González J, Sánchez-Domínguez B, López-Frías FJ. External apical root resorption in maxillary root-filled incisors after orthodontic treatment: a split-mouth design study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;17: e523-527.

Llamas-Carreras JM, Amarilla A, Solano E, Velasco-Ortega E, Rodríguez-Varo L, Segura-Egea JJ. Study of external root resorption during orthodontic treatment in root filled teeth compared with their contralateral teeth with vital pulps. *Int Endod J*. 2010;43: 654-662.

Luder HU. Malformations of the tooth root in humans. *Front Physiol*. 2015;6: 307.

Lund H, Gröndahl K, Hansen K, Gröndahl HG. Apical root resorption during orthodontic treatment. A prospective study using cone beam CT. *Angle Orthod*. 2012;82: 480-487.

Lund H. Cone beam computed tomography in evaluations of some side effects of orthodontic treatment. *Swed Dent J Suppl.* 2011;219: 4-78.

Lupi JE, Handelman CS, Sadowsky C. Prevalence and severity of apical root resorption and alveolar bone loss in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;109: 28-37.

Lyroudia KM, Dourou VI, Pantelidou OC, Labrianidis T, Pitas IK. Internal root resorption studied by radiography, stereomicroscope, scanning electron microscope, and computerized 3D reconstructive method. *Dent Traumatol.* 2002;18: 148-152.

Mah R, Holland G, Pehowich E. Periapical changes after orthodontic movement of root-filled ferret canines. *J Endod.* 1996;22: 298-303.

Makedonas D, Lund H, Hansen K. Root resorption diagnosed with cone beam computed tomography after 6 months and at the end of orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod.* 2013;83: 389-393.

Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Petrini L, Lundberg M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod.* 1982;82: 487-491.

Marinescu IR, Bănică AC, Mercuț V, Gheorghe AG, Drăghici EC, Cojocaru MO, Scricciu M, Popescu SM. Root Resorption Diagnostic: Role of Digital Panoramic Radiography. *Curr Health Sci J.* 2019; 45: 156-166

Marques LS, Ramos-Jorge ML, Rey AC, Armond MC, de Oliveira Ruellas AC. Severe root resorption in orthodontic patients treated with the edgewise method: prevalence and predictive factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137: 384-388.

Marshall JA. A comparison of resorption of the roots of deciduous teeth with the absorption of roots of the permanent teeth occurring as a result of infection. *Int J Orthod.* 1929;15: 417-421. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103: 138-146.

Martin RB. Fatigue microdamage as an essential element of bone mechanics and biology. *Calcif Tissue Int.* 2003;73: 101-107.

Martin RB. Toward a unifying theory of bone remodeling. *Bone.* 2000;26: 1-6.

Massler M, Malone AJ. Root resorption in human permanent teeth: a roentgenographic study. *Am J Orthod.* 1954;40: 619-633. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103: 138-146.

Massler M. Root resorption in the permanent teeth of young adults. *J Dent Child.* 1954;21: 158-164. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103: 138-146.

Mattison GD, Delivanis HP, Delivanis PD, Johns PI. Orthodontic root resorption of vital and endodontically treated teeth. *J Endod.* 1984;10: 354-358.

Maues CPR, Nascimento RRD, Vilella ODV. Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: Prevalence and risk factors. *Dental Press J Orthod.* 2015;20: 52-58.

Mavragani M, Bøe OE, Wisth PJ, Selvig KA. Changes in root length during orthodontic treatment: advantages for immature teeth. *Eur J Orthod.* 2002;24: 91-97.

Mavragani M, Vergari A, Selliseth NJ, Bøe OE, Wisth PJ. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with a standard edgewise and a straight-wire edgewise technique. *Eur J Orthod.* 2000;22: 665-674.

McFadden WM, Engstrom C, Engstrom H, Anholm JM. A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96: 390-396.

McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999;116: 545-551.

Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod*. 1999;69: 151-158.

Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement—a new paradigm. *Eur J Orthod*. 2001;23: 671-681.

mineral contents and resorption craters in human premolars following application of light and heavy controlled orthodontic forces. *Orthod Craniofac Res*. 2004;7: 79-97.

Mirabella AD, Årtun J. Prevalence and severity of apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Eur J Orthod*. 1995;17: 93-99.

Mirabella AD, Årtun J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;108: 48-55.

Mohandesan H, Ravanmehr H, Valaei N. A radiographic analysis of external apical root resorption of maxillary incisors during active orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2007;29: 134-139.

Molander B, Grondahl H, Ekestubbe A. Quality of film-based and digital panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2004;33: 32-36.

Mori S, Burr D. Increased intracortical remodeling following fatigue damage. *Bone*. 1993;14: 103-109.

Moss ML. The functional matrix hypothesis revisited. 1. The role of mechanotransduction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;112: 8-11.

Moss ML. The functional matrix hypothesis revisited. 2. The role of an osseous connected cellular network. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;112: 221-226.

Motokawa M, Sasamoto T, Kaku M, Kawata T, Matsuda Y, Terao A, Tanne K. Association between root resorption incident to orthodontic treatment and treatment factors. *Eur J Orthod.* 2012;34: 350-356.

Motokawa M, Terao A, Kaku M, Kawata T, Gonzales C, Darendeliler MA, Tanne K. Open bite as a risk factor for orthodontic root resorption. *Eur J Orthod.* 2013;35: 790-795.

Myagkaya G, van Veen H, James J. Ultrastructural changes in rat liver sinusoids during prolonged normothermic and hypothermic ischemia in vitro. *Virchows Archiv B.* 1984;47: 361-373.

Nance R, Tyndall D, Levin L, Trope M. Diagnosis of external root resorption using TACT (tuned-aperture computed tomography). *Endod Dent Traumatol.* 2000; 16: 24-28.

Nanda RS, Tosun YS. *Biomechanics in Orthodontics. Principles and Practice.* Hanover Park: Quintessence Publishing Co; 2010, p: 99-117.

Nanekrungsan K, Patanaporn V, Janhom A, Korwanich N. External apical root resorption in maxillary incisors in orthodontic patients: associated factors and radiographic evaluation. *Imaging Sci Dent.* 2012;42: 147-154.

Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. Tooth resorption. *Quintessence Int.* 1999;30: 9-26.

Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod.* 1975;67: 522-539.

Nishioka M, Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts A. Root resorption and immune system factors in the Japanese. *Angle Orthod.* 2006;76: 103-108.

Ong CK, Walsh LJ, Harbrow D, Taverne AA, Symons AL. Orthodontic tooth movement in the prednisolone-treated rat. *Angle Orthod.* 2000;70: 118-125.

Oppenheim A. Biologic orthodontic therapy and reality: part III. Angle Orthod 1936;6: 69-116. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103: 138-146.

Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. Endod Dent Traumatol. 1986;2: 20-34.

Otelakoski BA, Gonçalves FM, de Araujo BMM, Zeigelboim BS, Taveira KVM, Santos RS, Guariza-Filho O, Stechman-Neto J, de Araujo CM. Comparison of orthodontic root resorption of root-filled and vital teeth: a meta-analysis. J Am Dent Assoc. 2022; 153: 532-541.

Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. Angle Orthod. 1995;65: 395-401.

Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Effects of a doubled orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An inter-individual study in adolescents. Eur J Orthod. 1996;18: 141-150.

Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. The effects of a four-fold increased orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An intra-individual study in adolescents. Eur J Orthod. 1996;18: 287-294.

Owman-Moll P, Kurol J. The early reparative process of orthodontically induced root resorption in adolescents-location and type of tissue. Eur J Orthod. 1998;20: 727-732.

Özalp K. Kanal tedavili ve vital dişlerde tork hareketinin oluşturabileceği kök rezorpsiyon farkının histopatolojik olarak incelenmesi. H.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 1985, Ankara (Danışman: Doç. Dr. F Yukay).

Ozkalayci N, Karadeniz EI, Elekdag-Turk S, Turk T, Cheng LL, Darendeliler MA. Effect of continuous versus intermittent orthodontic forces on root resorption: a microcomputed tomography study. Angle Orthod. 2018;88: 733-739.

Paetyangkul A, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Petocz P, Cheng LL, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 16. Comparisons of root resorption and resorption craters after the application of light and heavy continuous and controlled orthodontic forces for 4, 8, and 12 weeks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139: e279-e284.

Pandis N, Nasika M, Polychronopoulou A, Eliades T. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;134: 646-651.

Parker RJ, Harris EF. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1998;114: 677-683.

Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J*. 2009;42: 447-462.

Patel S, Dawood A, Wilson R, Horner K, Mannocci F. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography—an in vivo investigation. *Int Endod J*. 2009;42: 831-838.

Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endod*. 2010;36: 1107-1121.

Pepelassi EA, Diamanti-Kipioti A. Selection of the most accurate method of conventional radiography for the assessment of periodontal osseous destruction. *J Clin Periodontol*. 1997;24: 557-567.

Phillips JR. Apical root resorption under orthodontic therapy. *Angle Orthod*. 1955;25: 1-22. Alınmıştır: Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993;103: 138-146.

Polat Ö, Karaman Aİ. Ortodontik diş hareketleri ve biyokimyasal ajanlar. *Türk Ortodonti Dergisi*. 2004;17: 140-147.

Pollack S, Salzstein R, Pienkowski D. The electric double layer in bone and its influence on stress-generated potentials. *Calcif Tissue Int.* 1984;36: S77-S81.

Poumpros E, Loberg E, Engström C. Thyroid function and root resorption. *Angle Orthod.* 1994;64: 389-393.

Preoteasa CT, Ionescu E, Preoteasa E, Comes CA, Buzea MC, Grănescu A. Orthodontically induced root resorption correlated with morphological characteristics. *Rom J Morphol Embryol.* 2009;50: 257-262.

Proffit WR. The biologic basis of orthodontic therapy. In: Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, eds. *Contemporary Orthodontics*. 4th ed. St Louis: Mosby Elsevier; 2007, p: 331-358.

Ramfjord SP, Kohler CA. Periodontal reaction to functional occlusal stress. *J Periodontol* 1959;30: 95-112. Alınmıştır: Harris EF. Root resorption during orthodontic therapy. *Semin Orthod.* 2000;6: 183-194.

Reitan K. Biomechanical principles and reaction. In: Graber TM, Swain BF, eds. *Orthodontics, current principles and techniques*. St. Louis: The CV Mosby Company; 1985, p: 101-192.

Reitan K. Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod.* 1974;44: 68-82.

Remington DN, Joondeph DR, Årtun J, Riedel RA, Chapko MK. Long-term evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96: 43-46.

Ren Y, Maltha JC, Van't Hof MA, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a mathematic model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125: 71-77.

Roberts-Harry D, Sandy J. Orthodontics. Part 11: Orthodontic tooth movement. Br Dent J. 2004;196: 391-394.

Rosenberg MN. An evaluation of the incidence and amount of apical root resorption and dilaceration occurring in orthodontically treated teeth having incompletely formed roots at the beginning of Begg treatment. Am J Orthod. 1972;61: 524-525.

Rudolph CE. An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. J Dent Res. 1940;19: 367-371.

Sabane A, Patil A, Swami V, Nagarajan P. Biology of Tooth Movement. Br J Med Med Res. 2016;16: 1-10.

Saccomanno S, Passarelli PC, Oliva B, Grippaudo C. Comparison between two radiological methods for assessment of tooth root resorption: An in vitro study. Biomed Res Int. 2018;2018: 1-7

Sameshima GT, Asgarifar KO. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. Angle Orthod. 2001;71: 185-189.

Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2001;119: 505-510.

Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2001;119: 511-515.

Sandstedt C. Several Contributions to the Theory of Regulation of Teeth. 1905. Alınmıştır: Bister D, Meikle MC. Re-examination of 'Einige Beiträge zur Theorie der Zahnregulierung'(Some contributions to the theory of the regulation of teeth) published in 1904-1905 by Carl Sandstedt. Eur J Orthod. 2013;35: 160-168.

Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. J Can Dent Assoc. 2006;72: 75-80.

Schmuth GP. Milestones in the development and practical application of functional appliances. *Am J Orthod.* 1983;84: 48-53.

Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod Oral Surg Rad.* 1932;18: 331-352.

Sehr K, Bock NC, Serbesis C, Hönemann M, Ruf S. Severe external apical root resorption-local cause or genetic predisposition? *J Orofac Orthop.* 2011;72: 321-331.

Seker ED, Dincer AN, Kaya N. Apical Root Resorption of Endodontically Treated Teeth after Orthodontic Treatment: A Split-mouth Study. *Turk J Orthod.* 2023;36: 15-21.

Seker ED, Yagci A, Demirsoy KK. Dental root development associated with treatments by rapid maxillary expansion/reverse headgear and slow maxillary expansion. *Eur J Orthod.* 2019;41: 544-550.

Seker ED, Yilmaz BS, Yagci A. Evaluation of apical root resorption in Class III patients who received one-or two-phase orthodontic treatment. *APOS Trends Orthod.* 2021;11: 123-131.

Semenoff L, Semenoff TAD, Pedro FLM, Volpato ER, Machado MAAM, Borges AH, Semenoff-Segundo A. Are panoramic radiographs reliable to diagnose mild alveolar bone resorption? *Int Sch Res Notices.* 2011;2011: 1-4.

Sengupta R, Sisodia M, Verma G, Mishra P. Adverse effects of orthodontic tooth movement on endodontically treated teeth-An overview. *IP Indian J Conserv Endod.* 2020;5: 172-175.

Sharpe W, Reed B, Subtelny JD, Polson A. Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91: 252-258.

Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R, Buschang PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137: S100-S108.

Shirazi M, Dehpour A, Jafari F. The effect of thyroid hormone on orthodontic tooth movement in rats. *J Clin Pediatr Dent.* 1999;23: 259-264.

Sismanidou C, Hilliges M, Lindskog S. Healing of the root surface-associated periodontium: an immunohistochemical study of orthodontic root resorption in man. *Eur J Orthod.* 1996;18: 435-444.

Smale I, Artun J, Behbehani F, Doppel D, van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM. Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod.* 2005;128: 57-67.

Spurrier SW, Hall SH, Joondeph DR, Shapiro PA, Riedel RA. A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;97: 130-134.

Steadman SR. Resume of the literature on root resorption. *Angle Orthod* 1942;12: 28-38.
Alınmıştır: Lee YJ, Lee TY. External root resorption during orthodontic treatment in root-filled teeth and contralateral teeth with vital pulp: a clinical study of contributing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149: 84-91.

Stenvik A, Mjör IA. Pulp and dentine reactions to experimental tooth intrusion. A histologic study of the initial changes. *Am J Orthod.* 1970;57: 370-385.

Stramotas S, Geenty JP, Petocz P, Darendeliler MA. Accuracy of linear and angular measurements on panoramic radiographs taken at various positions in vitro. *Eur J Orthod.* 2002;24: 43-52.

Taithongchai R, Sookkorn K, Killiany DM. Facial and dentoalveolar structure and the prediction of apical root shortening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110: 296-302.

Taner T, Ciger S, Sençift Y. Evaluation of apical root resorption following extraction therapy in subjects with Class I and Class II malocclusions. *Eur J Orthod.* 1999;21: 491-496.

Ten Cate AR. Oral Histology. Development, structure and function. St. Louis: C.V. Mosby; 1998, p: 386-407.

Teuscher U. A growth-related concept for skeletal Class II treatment. Am J Orthod. 1978;74: 258-275.

Thanyakarn C, Hansen K, Rohlin M, Akesson L. Measurements of tooth length in panoramic radiographs. 1. The use of indicators. Dentomaxillofac Radiol. 1992;21: 26-30.

Thilander B, Rygh P, Reitan K. Tissue reactions in orthodontics. In: Graber T, Vanarsdall RL, eds. Orthodontics: Current Principles and Techniques. 3rd ed. St. Louis: Mosby Elsevier; 2000, p: 117-193.

Tieu LD, Normando D, Toogood R, Flores-Mir C. Impact on perceived root resorption based on the amount of incisal inclination as determined from conventional panoramic radiography. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2015;148: 685-691.

Tieu LD, Saltaji H, Normando D, Flores-Mir C. Radiologically determined orthodontically induced external apical root resorption in incisors after non-surgical orthodontic treatment of class II division 1 malocclusion: a systematic review. Prog Orthod. 2014;15: 1-13.

Tronstad L. Root resorption-etiology, terminology and clinical manifestations. Dent Traumatol. 1988;4: 241-252.

Tronstad L. Root resorption-a multidisciplinary problem in dentistry. In: Davidovitch Z, ed. The Biological Mechanisms of Tooth Eruption and Root Resorption, 1st ed. Birmingham: EBSCO Media; 1988, p: 293-303.

Vardimon AD, Graber TM, Voss LR, Lenke J. Determinants controlling iatrogenic external root resorption and repair during and after palatal expansion. Angle Orthod. 1991;61: 113-122.

Verna C, Dalstra M, Lee TC, Cattaneo PM, Melsen B. Microcracks in the alveolar bone following orthodontic tooth movement: a morphological and morphometric study. *Eur J Orthod.* 2004;26: 459-467.

von Böhl M, Kuijpers-Jagtman AM. Hyalinization during orthodontic tooth movement: a systematic review on tissue reactions. *Eur J Orthod.* 2009;31: 30-36.

von Böhl M, Maltha JC, von Den Hoff JW, Kuijpers-Jagtman AM. Focal hyalinization during experimental tooth movement in beagle dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125: 615-623.

Wada N, Maeda H, Tanabe K, Tsuda E, Yano K, Nakamuta H, Akamine A. Periodontal ligament cells secrete the factor that inhibits osteoclastic differentiation and function: the factor is osteoprotegerin/osteoclastogenesis inhibitory factor. *J Periodontal Res.* 2001;36: 56-63.

Walker SL, Tieu LD, Flores-Mir C. Radiographic comparison of the extent of orthodontically induced external apical root resorption in vital and root-filled teeth: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2013;35: 796-802.

Weiss SD. Root resorption during orthodontic therapy in endodontically treated vital teeth. University of Tennessee. Master's Thesis. Memphis; 1969. Alınmıştır: Mattison GD, Delivanis HP, Delivanis PD, Johns PI. Orthodontic root resorption of vital and endodontically treated teeth. *J Endod.* 1984;10: 354-358.

Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137: 462-476.

Wesselink PR. Tooth resorption. In: Stock C, Gulabivala K, Walker RT, eds. *Endodontics*. 3rd ed. Edinburgh: Elsevier Mosby; 2004, p: 261-268.

Westphalen V, Gomes de Moraes I, Westphalen F, Martins W, Souza PC. Conventional and digital radiographic methods in the detection of simulated external root resorptions: a comparative study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004;33: 233-235.

Wickwire NA, McNeil MH, Norton LA, Duell RC. The effects of tooth movement upon endodontically treated teeth. *Angle Orthod.* 1974;44: 235-242.

Wong D. Comparison of self-ligating brackets to conventionally-ligated twin edgewise brackets for root resorption. University of Southern California School of Dentistry, Master of Science Thesis, Los Angeles; 2009.

Yamaguchi M. RANK/RANKL/OPG during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res.* 2009;12: 113-119.

Yasuda H, Shima N, Nakagawa N, Mochizuki S-I, Yano K, Fujise N, Sato Y, Goto M, Yamaguchi K, Kuriyama M, Kanno T, Murakami A, Tsuda E, Morinaga T, Higashio K. Identity of osteoclastogenesis inhibitory factor (OCIF) and osteoprotegerin (OPG): a mechanism by which OPG/OCIF inhibits osteoclastogenesis in vitro. *Endocrinology.* 1998;139: 1329-1337.

Yasuda H, Shima N, Nakagawa N, Yamaguchi K, Kinoshita M, Goto M, Mochizuki S, Tsuda E, Morinaga T, Udagawa N, Takahashi N, Suda T, Higashio K. A novel molecular mechanism modulating osteoclast differentiation and function. *Bone.* 1999;25: 109-113.

Yi J, Li M, Li Y, Li X, Zhao Z. Root resorption during orthodontic treatment with self-ligating or conventional brackets: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2016;16: 1-8.

Yi J, Sun Y, Li Y, Li C, Li X, Zhao Z. Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod.* 2017;87: 328-337.

Yi J, Xiao J, Li Y, Li X, Zhao Z. External apical root resorption in non-extraction cases after clear aligner therapy or fixed orthodontic treatment. *J Dent Sci.* 2018;13: 48-53.

Zengo A, Bassett C, Pawluk R, Prountzos G. In vivo bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. *Am J Orthod.* 1974;66: 130-139.

Zengo A, Pawluk R, Bassett C. Stress-induced bioelectric potentials in the dentoalveolar complex. *Am J Orthod.* 1973;64: 17-27.

Zhao D, Xue K, Meng J, Hu M, Bi F, Tan X. Orthodontically induced external apical root resorption considerations of root-filled teeth vs vital pulp teeth: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2023;23: 1-10.

