

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**ORTODONTİK KÖK REZORPSİYONUNDA SÜREKLİ VE  
KESİK KONTROLLÜ ORTODONTİK KUVVETLERİN  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

Nurhat ÖZKALAYCI

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Selma Türkan ELEKDAĞ-TÜRK

Samsun  
Ekim-2010

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma jürimiz tarafından **Ortodonti** Programında **doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Prof. Dr. Nazan KÜÇÜKKELEŞ

Marmara Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Gökhan AÇIKGÖZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Selim ARICI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Tamer TÜRK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Tezin Adı : Ortodontik Kök Rezorpsiyonunda Sürekli Ve Kesik Kontrollü Ortodontik Kuvvetlerin Etkilerinin İncelenmesi.  
Tezi Teslim Eden : Nurhat ÖZKALAYCI  
Tez Savunma Sınav Tarihi : 23.11.2010  
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurul'unca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof.Dr.Süleyman KAPLAN  
Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimde ve tezimin hazırlanmasında katkılarını benden esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Selma Türkan ELEKDAĞ TÜRK'e,

Doktora eğitimimde ve tez çalışmamda değerli katkılarını, bilgi ve tecrübelerini, sabır ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Tamer TÜRK'e,

Bilgi birikimi, tecrübesi ve geniş bakış açısı ile tüm doktora eğitimim boyunca değerli katkılarını ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Selim ARICI'ya,

Yüzünden eksik etmediği gülümsemesi ile tüm doktora eğitimim boyunca bilgi birikimini, tecrübesini ve değerli katkılarını benden esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Mete ÖZER'e,

Ortodonti eğitimim boyunca sağladıkları değerli katkıları için Yrd. Doç. Dr. Kemal Devrim İŞÇİ, Yrd. Doç. Dr. Nursel ARICI ve arkadaşım Dr. Sabahat YAZICIOĞLU'na,

Sydney Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı ile birlikte yürütülen projeye sağladığı destek için Avustralya Ortodonti Derneği Araştırma ve Eğitim Fonu'na,

Bizlere Sydney Üniversitesi'nin olanaklarını sunan ve katkılarını asla esirgemeyen Sayın Prof. Dr. M. Ali DARENDELİLER'e,

Gösterdiği özenle ve çabayla çalışmamıza bizler kadar sahip çıkan değerli meslektaşım Dt. Ersan İlsay KARADENİZ'e,

Tez süreci boyunca içtenlikle sağladığı değerli katkılardan dolayı hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan AÇIKGÖZ'e,

Beraber çalışmış olmaktan mutluluk ve gurur duyduğum değerli araştırma görevlisi ve doktora öğrencisi arkadaşlarıma,

Ortodonti kliniğinde ki ve laboratuvarında ki çalışma arkadaşlarıma,

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına,

Çalışmamıza katkıları yadsınamaz olan sevgili hastalarımıza,

Sıkıntılı zamanlarımda hep yanımda olan değerli varlıklarım, kardeşlerim Dilek ve Ferhat ÖZKALAYCI'ya,

Her şeyden önemlisi tüm yaşamım boyunca her türlü desteklerini hiç şikâyet etmeksizin çocuklarımdan esirgemeyen, benim için kıymetleri ölçülemez iki fedakâr insan Şadiye ve Nuretdin ÖZKALAYCI'ya

Tüm içtenliğimle Teşekkür Ederim.

**ÖZET****ORTODONTİK KÖK REZORPSİYONUNDA SÜREKLİ VE KESİK KONTROLLÜ  
ORTODONTİK KUVVETLERİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ****Nurhat ÖZKALAYCI, Doktora Tezi****Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Ekim 2010**

Bu çalışmanın amacı sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine etkilerinin incelenmesidir.

Çalışmaya çapraşıklık nedeniyle üst 1. premolar dişlere çekim endikasyonu konulan 25 hasta dâhil edildi. Vakalara ait 50 adet 1. premolar diş incelendi. Tüm bireylerde bir taraftaki premolar dişlere 15 hafta süresince 150 gram bukkal yönlü sürekli kuvvet uygulandı. Diğer taraftaki premolar dişlere aynı büyüklükte kesikli kuvvet (28 gün aktif/7gün pasif) uygulandı. Onbeş haftalık çalışma süresi sonunda premolar dişler kök yüzeyine zarar verilmemeye özen gösterilerek çekildi. Kök yüzeyleri mikro-tomografi cihazında (Sky Scan 1172, Belgium) tarandıktan sonra kök yüzeylerinin üç boyutlu halde incelenebilmesi için NRecon ve VG Studio Max yazılımlarından yararlandı. Rezorpsiyon kraterlerinin hacimsel ölçümü için CHull2D yazılımı kullanıldı. Kuvvet uygulama süreci öncesi ve sonrası elde edilen modeller üzerinde bukkal diş hareketi ve rotasyon derecesi ölçüldü. Kök yüzeyinde ölçülen rezorpsiyon, diş hareketi ve rotasyon miktarlarının gruplar arasında karşılaştırılmasında Wilcoxon testi kullanıldı. Kök rezorpsiyonunun grup içi değerlendirilmesinde Friedman testi ( $P<0,05$ ) ve post hoc karşılaştırma testi olarak Wilcoxon testi kullanıldı.

Sürekli kuvvet uygulaması ile meydana gelen toplam rezorpsiyon miktarı kesikli kuvvet uygulaması ile meydana gelenden anlamlı derecede fazlaydı ( $P<0,05$ ). Dişlerin bukkal ve lingual yüzeylerinde görülen rezorpsiyon miktarı kesikli kuvvet grubu ile kıyaslandığında sürekli kuvvet grubunda anlamlı derecede fazlaydı ( $P<0,05$ ). Diş köklerinin orta üçlüsünde sürekli kuvvet uygulaması anlamlı derecede fazla rezorpsiyona sebep oldu. ( $P<0,01$ ). Sürekli kuvvet uygulaması anlamlı derecede fazla bukkal tüberkül ve lingual tüberkül hareketine sebep oldu ve daha fazla rotasyona neden oldu.

Daha az miktarda kök rezorpsiyonuna sebep olan kesikli kuvvetlerin sürekli kuvvetlere oranla daha güvenli olduğu sonucu çıkarılabilir. Ancak, kesik kuvvetler diş hareketi açısından daha az etkindirler.

**SUMMARY**  
**EVALUATION OF THE EFFECTS OF CONTINUOUS AND INTERMITTENT**  
**ORTHODONTIC FORCES ON ORTHODONTIC ROOT RESORPTION**

**Nurhat ÖZKALAYCI, PhD Thesis**

**University of Ondokuz Mayıs, Samsun, October, 2010**

The aim of this study was to evaluate the effects of continuous and intermittent orthodontic forces on root resorption and tooth movement.

Twenty-five patients requiring the extraction of upper first premolars, due to crowding, were included in this study. A buccally directed continuous force of 150 grams was applied to the premolars on one side in all patients for 15 weeks. On the other side an intermittent force (28 day active/ 7 day passive) of the same magnitude was applied to the premolars. At the end of 15 weeks, the premolars were extracted without damaging the root surface. After the scanning of the root surface with the micro-tomography device (Sky Scan 1172, Belgium), NRecon and VG Studio Max software programs were used for the 3-dimensional analysis of the root surfaces. The CHull2D software program was applied for the volumetric determination of the resorption craters. Buccal tooth movement and the degree of rotation were measured on the casts obtained at the beginning and at the end of the force application. Wilcoxon test was used to determine whether there were any significant differences in the resorption volumes, buccal tooth movement and rotation values between the groups ( $P<0.05$ ). Intragroup comparison of root resorption volumes was performed with the Friedman test ( $P<0.05$ ) and Wilcoxon test was applied as the post hoc comparison test.

Total resorption volume with continuous force application was significantly higher than that of the intermittent force application ( $P<0.05$ ). Resorption volumes of the buccal and lingual surfaces were significantly higher in the continuous force group when compared with the intermittent force group ( $P<0.05$ ). Continuous force application caused significantly more resorption at the middle third of the root ( $P<0.01$ ). Continuous force application caused more buccal and lingual cusp movement and rotation.

It can be concluded that intermittent force, causing less root resorption, is safer than continuous force. Nevertheless, intermittent forces are less effective for tooth movement.

**KISALTMALAR**

PDL: Periodontal ligament.

OOİKR: Ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonu.

XTM: X-ışınli mikro-tomografi.

Mikro-BT: Mikro-bilgisayarlı tomografi.

mμ : Milimikron.

Ca: Kalsiyum.

F: Flor.

P: Potasyum.

PGE2: Prostaglandin E2.

cAMP: Siklik adenzin monofosfat.

TRAP: Tartrate-resistant acid phosphatase.

PGE1: Prostaglandin E1.

mg: Miligram.

kg: Kilogram.

gr: Gram.

SEM: Scanning elektron mikroskobu.

kV: Kilovolt.

μA: Mikroamper.

μm: Mikrometre.

BMP: Bitmap.

mm<sup>3</sup>: Milimetre küp.

TIFF: Tagged Image File Format.

CHull2D: Convex Hull 2D.

## İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK.....	i
KABUL VE ONAY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
KISALTMALAR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Dişler.....	3
2.1.1. Kök.....	3
i) Periodonsiyum.....	3
ii) Sement.....	3
2.2. Ortodontik Diş Hareketi.....	6
2.2.1. Ortodontik Kuvvet.....	9
2.3. Kök Rezorpsiyonu.....	11
2.3.1. Kök Rezorpsiyonunun Tarihçesi ve Tanımı.....	11
2.3.2. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonu.....	12
2.3.3. Ortodontik olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonunun Hücresel Süreci.....	13
2.3.4. Diş Hareketi ve Kök Rezorpsiyonu.....	14
2.3.5. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Faktörler .....	16
i) Biyolojik Faktörler.....	16
ii) Sistemik Faktörler.....	17
iii) Lokal faktörler.....	20
iv) Mekanik Faktörler.....	22
2.4. Kök Rezorpsiyonunun Tanısında ve Ölçümünde Kullanılan Yöntemler.....	30
2.4.1. Radyografiler.....	30
2.4.2. Histolojik İnceleme Yöntemi.....	31
2.4.3. İmmünojenik biyokimyasal ölçüm yöntemi.....	32
2.4.4. Elektron Mikroskobu.....	32
2.4.5. X-Işınli Mikro-Tomograf (XTM).....	33
2.5. X-Işınli Mikrotomografi ve Ortodonti.....	34
<b>3. BİREY VE YÖNTEM.....</b>	<b>37</b>
3.1. Bireylerin Tedaviye Kabul Edilmesi .....	37
3.2. Araştırma Gruplarının Oluşturulması.....	38
3.3. Üç Boyutlu Kök Yüzey İncelemesi.....	40
3.3.1. Kök Yüzey İnceleme Hazırlıkları.....	40
3.3.2. Görüntülerin Oluşturulması.....	41
3.4. Modeller Üzerinde Diş Hareket Miktarlarının Ölçülmesi.....	43
3.5. İstatistiksel Değerlendirme.....	45
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>46</b>
4.1. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulaması İle Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması.....	46
4.2. Sürekli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerin Köklerinin Farklı Yüzey ve Seviyelerinde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması.....	47
4.3. Kesikli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerin Köklerinin Farklı Yüzey ve Seviyelerinde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması.....	49
4.4. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulaması İle Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket ve Rotasyonun Karşılaştırılması.....	50

<b>5. TARTIŞMA.....</b>	<b>62</b>
<b>5.1. Birey ve Gruplar.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2. Sürekli ve Kesikli Kuvvet İle Oluşan Rezorpsiyon Miktarının Gruplar Arasında Karşılaştırılması.....</b>	<b>63</b>
<b>5.3. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Grup İçi Karşılaştırılması.....</b>	<b>68</b>
<b>5.4. Üst Birinci Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket Miktarının Karşılaştırılması.....</b>	<b>71</b>
<b>5.5. Kuvvet Tipi, Kök Rezorpsiyonu Miktarı ve Diş Hareket Miktarı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi.....</b>	<b>73</b>
<b>6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>77</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>91</b>



## 1. GİRİŞ

Ortodontik diş hareketi periodontal ligamentin ve alveol kemiğinin yeniden şekillenmesiyle meydana gelmektedir. Bu yeniden şekillenme süreci ortodontik tedavinin ana dayanağını oluşturmaktadır (Heasman ve ark., 1996).

Ortodontik diş hareketinin bir çok yönüyle tam olarak aydınlatılamamış bir süreç olduğu belirtilmektedir (Thilander ve ark., 2005). Bir başka ifadeyle diş hareketi sırasında oluşan biyolojik sürecin ancak bir bölümü anlaşılabilmiştir. Diş hareketi sırasında meydana gelen kök rezorpsiyonunun oluşum koşulları, oluşum mekanizması ve oluşum nedenleri anlaşılmayı bekleyen konular arasındadır (Davidovitch, 1991).

Diş hareketinin etkilediği temel yapılar; alveolar kemik ve sementtir. Alveolar kemikte meydana gelen değişiklikler diş hareketinin oluşumunda rol oynarken sementte izlenen değişiklikler kök rezorpsiyonunun incelenmesinde önem arz etmektedir (Rygh, 1977).

Kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde geçmişten günümüze değişik yöntemler kullanılmıştır: Radyografik incelenme (Parker ve Harris, 1998; Leach ve ark., 2001; Sameshima ve Asgarifar, 2001; Kuperstein, 2005), histolojik inceleme (Marshall, 1931; Dellinger, 1967; Engström ve ark., 1988; Owman-Moll ve Kurol, 1998), elektron mikroskopu ile yapılan inceleme (Barber ve Sims, 1981; Lu ve ark., 1999; Chan ve Darendeliler, 2005; Sreeja ve ark., 2009), immünolojik biyokimyasal ölçüm yöntemi ile inceleme (Mah ve Prasad, 2004) ve x-ışınlı mikro-tomografilerin (XTM) incelenmesi (Konoo ve ark., 2001; Harris ve ark., 2006; Giannopoulou ve ark., 2008; Wierzbicki ve ark., 2009; Ballard ve ark., 2009) şeklinde sıralanabilir. Bu yöntemler içerisinde en yeni ve gelişmiş olanı x-ışınlı mikro-tomografiler ile yapılan incelenmelerdir.

Ortodontik diş hareketi elde etmek amacıyla uygulanan ortodontik kuvvetler sürekli (continuous), aralıklı (interrupted) ve kesikli (intermittent) olarak üç çeşide ayrılmaktadır (Proffit ve ark., 2007).

Ortodontik kuvvetlere bağlı olarak oluşan diş hareketi ve kök rezorpsiyonu miktarı ortodontik kuvvetin süresine göre farklılıklar göstermektedir. Kuvvet

uygulanmasına devam edildiği sürece rezorpsiyon süreci devam etmekte, kuvvet uygulaması kesilirse sement yüzeyindeki rezorpsiyon alanlarında tamir gerçekleşebilmektedir (Rygh, 1977). Bir başka ifadeyle sürekli olmayan kuvvet uygulanmasının kök rezorpsiyonu miktarında azalmaya neden olabileceği belirtilmektedir (Reitan 1964; Rygh 1977; Levander ve ark.,1994; Acar ve ark., 1999). Değişik zamanlarda yapılan çeşitli çalışmalarda kesikli kuvvet uygulamasının sürekli kuvvet uygulamasına oranla daha az miktarda kök rezorpsiyonuna neden olduğu bildirilmiştir (Owman-Moll ve ark., 1995b; Maltha ve Dijkman, 1996; Konoo ve ark., 2001; Aras, 2008; Ballard ve ark., 2009; Kumasako-Haga ve ark., 2009).

Sürekli kuvvet uygulaması ile kesikli kuvvet uygulamasının oluşturdukları diş hareket miktarının incelendiği çalışmalarda kesikli kuvvetlerin sürekli kuvvetlere oranla daha fazla diş hareketine sebep olduğu belirtilmiştir (Owman-Moll ve ark., 1995b; Gu ve ark., 1999; Kameyama ve ark., 2003; Aras, 2008).

Ortodontik tedavinin istenilen sonucu olan diş hareketi ve patolojik sonucu olan kök rezorpsiyonu ile ortodontik kuvvet çeşidi arasındaki ilişki halen birçok yönüyle anlaşılammıştır. Bu tez çalışmasında sabit ortodontik tedavi pratiğinde kullanılan sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir. Çalışma sonucunda minimum biyolojik hasar yani kök rezorpsiyonu ve maksimum diş hareketinin nasıl sağlanabileceği konusunda bir ilerleme kaydedilmesi amaçlanmaktadır.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Dişler**

Ağız yüzey alanının ortalama %20'lik bir bölümünü oluşturan dişler, temelde çiğneme ve konuşma fonksiyonlarında görev almaktadırlar. Günümüzde bu temel fonksiyonlarına ilaveten, estetik bir önem de arz etmektedirler. Fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için çene kemiklerine güçlü bir şekilde bağlanmaları gerekmektedir (Nanci, 2003). Dişler yapısal olarak mine, dentin, sement ve pulpadan oluşmaktadır. Sert, stabil ve hücresiz bir yapı olan mine, epitel hücreleri tarafından oluşturulmaktadır. Dentin, mineye oranla daha az mineralize, canlı ve sert bir bağ dokusu olarak tanımlanırken; pulpanın, yumuşak bağ dokusu yapısında olduğu belirtilmektedir. Anatomik olarak diş; kron ve kök olmak üzere iki bölümde incelenmektedir (Nanci, 2003).

#### **2.1.1. Kök**

Diş kökünün temel fonksiyonu, dişin alveol kemiğine tutunmasını sağlamaktır. Kök çene kemiğine özelleşmiş bir yapı tarafından bağlanmaktadır. Bu destek yapısı alveol kemiği, periodontal ligament (PDL) ve sementten oluşmakta, dişeti tarafından örtülmekte ve korunmaktadır (Nanci, 2003).

#### **i) Periodonsiyum**

Periodonsiyum (pert: çevre, odontos: diş), diş çevreleyen ve destekleyen dişeti, PDL, sement ve alveol kemiğinden oluşmaktadır. Dişeti ve ataçman "apparatus" olmak üzere iki ana bölümde incelenmektedir. Sement, alveol kemiği ile birlikte PDL'in liflerini desteklediği için periodonsiyumun bir parçası olarak kabul edilmektedir (Newman ve ark., 2002).

#### **ii) Sement**

Sement, ortalama %70'i mineralize olan ve diş gelişimi sırasında dental foliküldeki embriyojenik mezodermden kaynaklanan, damarsız bir bağ dokusudur (Heasman ve ark., 1996). Diş kökünü, çok nadir olarak da diş kronunun küçük bir

kısmını kaplamaktadır (Lindhe ve ark., 2003).

Dişin çene kemiğine tutunmasını sağlayan 3 yapıdan biri olan ve kökün dentin tabakasının üzerini örten sement dokusunun ana görevi, PDL fibrillerinin diş köküne tutunmasını sağlamaktır (Heasman ve ark., 1996). Kısmen mineralize kollajen fibriller diğer adlarıyla Sharpey fibrilleri, sementin dış katmanına bağlanırlar ve bu lifler mikroskop altında düşük büyütme ile bile kolayca izlenebilmektedirler (Heasman ve ark., 1996).

Biyokimyasal çalışmalar sement kompozisyonunun, değişik sement tiplerinde farklı olduğunu göstermektedir. Görev ve oluşum yeri açısından farklılık gösteren değişik sement tiplerinin var olduğu düşünüldüğünden, hücreli (sekonder) ve hücretsiz (primer) olarak temelde iki çeşide ayrılan sementin daha ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılması gerekmektedir (Newman ve ark., 2002; Lindhe ve ark., 2003; Nanci, 2003) (Şekil 1).

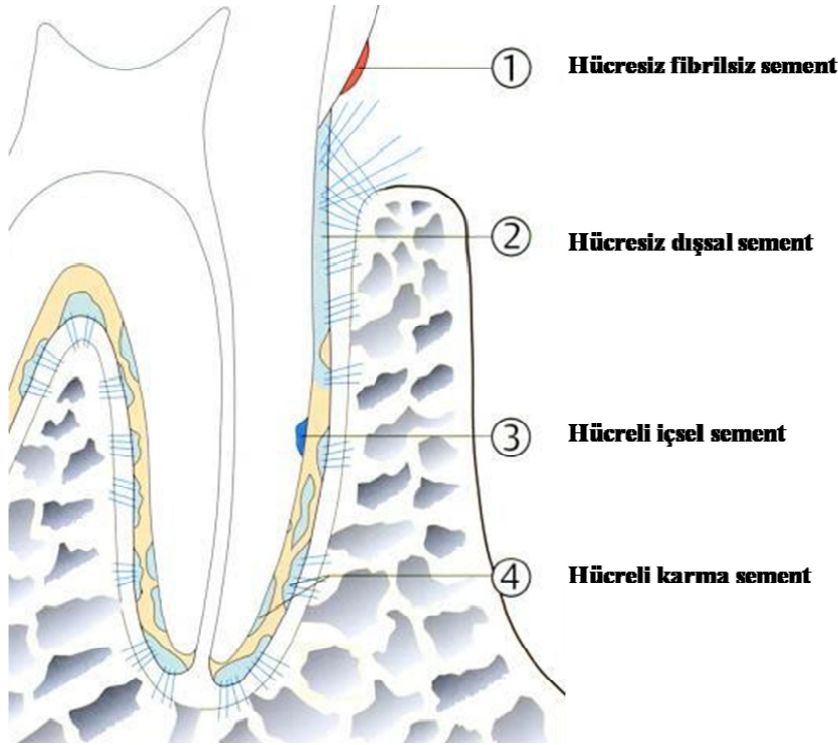
*Hücretsiz fibrilsiz sement;* hücre ve kollajen fibril içermeyen, sementoblastlar tarafından üretilen, 1 ile 15 milimikron (m $\mu$ ) kalınlığında ve diş kökünün koronalinde bulunan, sement tipidir (Schroeder, 1986; Newman ve ark., 2002).

*Hücretsiz dışsal fibrilli sement;* sementoblastlar ve fibroblastlar tarafından üretilen, kökün servikal bölümünde bulunan, bazı durumlarda apikale doğru ilerleyebilen, 30 ile 230 m $\mu$  kalınlığındaki sement tipidir. Hücre içermeyen bu sement tipi Sharpey fibril demetlerini içermektedir (Schroeder, 1986; Newman ve ark., 2002).

*Hücreli içsel fibrilli sement;* sementoblastlar tarafından üretilen, hücre ve içsel Sharpey fibrilleri içeren ancak dışsal (extrinsic) Sharpey fibrilleri içermeyen sement tipidir. Rezorpsiyon kraterlerini doldurarak tamir olayını gerçekleştirmektedir (Schroeder, 1986; Newman ve ark., 2002).

*Hücreli karma tabakalı sement;* sementoblastlar ve fibroblastlar tarafından üretilen, kökün apikal ve furkasyon bölümlerinde bulunan, 100 ile 1000 m $\mu$  kalınlığındaki sement tipidir. Dışsal ve içsel (intrinsic) Sharpey fibrilleri ile hücre içermektedir (Schroeder, 1986; Newman ve ark., 2002).

*Intermediate sement*; kalsifiye temel maddenin (ground substance) içinde yer alan, Hertwig epitelyal kınının hücresel artıklarını içeren, sement ve dentin birleşimine yakın bölgede tabaka halinde bulunan sement tipidir (Schroeder, 1986; Newman ve ark., 2002).



**Şekil 1.** Konumuna göre sement tipleri (Wolf ve ark., 2004).

Sement dokusu; organik bir matriks içerisinde kollajen lifler içermesi, sementoblastlarca üretilmesi, kalsifiye olması ve rezorbe edilmesi gibi özellikleriyle kemik gibi mineralize dokulara benzemesine rağmen; kan ve lenf damarları içermemesi, inervasyonunun olmaması, yeniden şekillenmeye uğramaması ve sürekli kalınlaşması gibi özellikleriyle mineralize dokulardan ayrılmaktadır (Heasman ve ark., 1996; Lindhe ve ark., 2003; Papaconstantinou, 2004).

Alt ve üst birinci premolar dişlerin mineral içeriğinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada 18 adet diş değerlendirilmiştir. Çalışmada incelenen dişler yaş ortalaması 13,9 olan 16 bireyden sağlanmıştır. Araştırmada kalsiyum (Ca), flor (F) ve potasyum (P) konsantrasyonlarının kökün farklı yüzeylerinde, aynı bireylerde dahi farklılıklar gösterdiği bulunmuştur. Çalışmada elde edilen verilere göre, sementin mineral içeriği servikal bölgeden apikal bölgeye doğru artış göstermektedir. Sementin

yüzeyinde F miktarının derin bölgelere oranla yüksek olduğu saptanırken, Ca ve P konsantrasyonunun da ise tersine bir durum mevcuttur. Genel olarak bukkal ve lingual bölgelerde mineral konsantrasyonu açısından fark bulunamazken, sadece bukkal bölgenin servikalinde F konsantrasyonunda az miktarda bir artış saptanmıştır (Rex ve ark., 2005).

Mineral konsantrasyonu ile rezorpsiyon miktarı arasındaki ilişkiye yönelik bulguların değerlendirildiği rat çalışmasında Lu ve arkadaşları (1999) alt molar dişlere intrüzyon kuvveti uygulanması sonucunda, apikal bölgelerde interradiküler bölgeye oranla daha fazla kök rezorpsiyonu bulmuşlardır. Yazarlar, kökün apeksindeki rezorpsiyonun interradiküler bölgede görülen rezorpsiyona oranla daha fazla olmasını apikal bölgede hücreli sementin yoğun olarak yer almasına bağlamaktadırlar. Hücreli sementin yüksek organik ve düşük mineralize yapısına bağlı olarak kolay rezorbe olduğu belirtilmiştir (Lu ve ark., 1999).

## **2.2. Ortodontik Diş Hareketi**

Kuvvet uygulaması sonucu diş hareketi meydana gelmesi 2000 yıldır bilinen bir durumdur. Bu süreç, alveolar kemik ve PDL'in yeniden şekillenmesiyle meydana gelmekte ve ortodontik tedavinin temelini oluşturmaktadır (Heasman ve ark. 1996).

Literatürde ortodontik diş hareketinin biyolojik kontrolü ile ilgili iki büyük teori tanımlanmıştır. Bunlar basınç-gerilim ve piezoelektrik teorileridir (Proffit ve ark., 2007).

Basınç-gerilim teorisinde kuvvet uygulanmasını takiben oluşan bazı kimyasal habercilerin (chemical messengers) hücresel farklılaşmayı sağlayarak, diş hareketinin meydana gelmesine neden oldukları savunulmaktadır. Bu teoride, ortodontik kuvvet uygulanmasına bağlı olarak oluşan sıkışma ve gerilme bölgelerinde kan akımının değiştiği bildirilmiştir. Gerilme bölgelerinde kan akımı artarken, sıkışma bölgelerinde kan akımı azalmakta veya tamamen kesilmektedir. Eğer gerilme bölgelerinde fibrillerde aşırı bir uzama olursa, kan akımı bu bölgelerde de azalabilmektedir. Kan akımında meydana gelen bu değişiklikler bu dokulardaki madde içeriğinde hızlı bir değişimin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Kanla taşınan ana maddelerden olan oksijen gibi

metabolitlerin seviyesinde, kan akımındaki değişikliklere bağlı olarak farklılıklar meydana gelmektedir. Bu kimyasal değişikler biyolojik açıdan aktif bazı maddelerin salınmasına sebep olmakta ve bu da hücrenel farklılaşmayı uyarmakta ve hücrenel aktiviteyi etkilemektedir (Proffit ve ark., 2007).

Piezoelektrik teoride diş hareketine sebep olan elektrik sinyallerinin piezoelektrik olduğu düşünölmektedir. Piezoelektrik; kristal yapıdaki maddelerin uğradıkları deformasyona bağlı olarak, kristal yapının bir bölümünden diğer bölümüne elektron geçişi sonucunda oluşan elektrik akımı neticesinde meydana gelmektedir. Kollajenin ve kemik minerallerinin piezoelektrik potansiyelleri mevcuttur (Proffit ve ark., 2007). Ortodontik kuvvet uygulandığında, etkilenen bölgelerde bulunan kristal yapıdaki dokularda ya da piezoelektrik potansiyeli bulunan oluşumlarda elektron hareketine bağlı bir elektrik akımı oluşmaktadır. Kuvvet uygulanmaya devam etse dahi bu elektrik akımı sadece başlangığta oluşmakta, kuvvet kesilene kadar tekrar bir elektrik akımı oluşmamaktadır. Kuvvet kesildiği anda yine aynı yapılarda bu sefer ters yönde bir elektron akımı oluşmakta ve buna paralel ters bir elektrik akımı meydana gelmektedir. Bu oluşan elektrik sinyalleri, kemiğin iğerdiği sıvılar üzerine etkimektedir (Proffit ve ark., 2007).

Ortodontik tedavide dişi destekleyen yapılarda meydana gelen değişikliklerle ilgili bilinenler sınırlı düzeydedir. Bu sürecin tam anlamıyla aydınlatılamaması doku sıvılarında, kanda ve çevre yapılarda meydana gelen değişikliklerin anlaşılması amacıyla yapılan histolojik çalışmalarda kullanılan günümüz teknolojilerinin yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır (Thilander ve ark., 2005).

Modern ortodontide, dişi hareketinin bahsi geçen iki teori kullanılarak açıklanabileceği sonucuna varılmıştır. Piezoelektrik teorisinin dişi hareketinin başlangıcına ışık tuttuğu düşünölmürken, basınç-gerilim teorisinin dişi hareketini açıklayan klasik teori olduğu belirtilmektedir (Proffit ve ark., 2007).

Histolojik çalışmalar, dokuların ancak hücrenel aktivitelele yeniden şekillenebileceğini göstermektedir. PDL'te hücreler arası yapıyı yıkan ve yapan birincil hücreler fibroblastlardır. Alveol kemiğinde yeniden şekillenmeden sorumlu hücreler osteoblastlar, osteoklastlar ve osteositlerdir. PDL ve alveol kemiğinde stres oluşturacak

ortodontik kuvvet uygulandığında, hücrelerde ve matrikste bir deformasyon oluşmakta ve ekstrasellüler sıvılarda bir hareket gözlenmektedir. Kemik matriksindeki bu deformasyona bağlı, proteoglikanların reoryantasyonu sonucunda gerilim belleği (strain memory) olarak isimlendirilen fenomene bağlı olarak deformasyona uğrayan moleküller yavaşça orijinal şekillerine dönerler. Gerilime (strain) bağlı deformasyon piezoelektrik ile ilişkilidir. Bu biyoelektrik; hücrelerin plazma zarının polaritesinde değişikliğe, zar enzimlerinin aktivasyonuna ve hücre ile matriks arası ilişkinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Kuvvete bağlı oluşan basınç sonucunda, hücrelerin şeklinde değişiklikler meydana gelmektedir. Meydana gelen bu değişiklik, sitoskeletal filamentlerde kristalizasyona ve basınca duyarlı membran iyon kanallarının açılıp kapanmasına neden olmaktadır. Fibroblastlar ve diğer kemik hücreleri bu durumdan etkilenmektedirler. Kemik hücreleri özellikle kısa süreli kuvvet uygulamalarına duyarlıdır. Bu bilgi uzun süreli ortodontik tedavilerin yerine, iyi planlanmış bir kuvvet rejiminin kemik yapımı için yeterli olabileceğini akla getirmektedir. Ancak kemik rezorpsiyonu için durum böyle değildir. Bir başka ifadeyle, kısa süreli ortodontik kuvvetler osteoblastik aktiviteyi stimüle ederken rezorpsiyon fonksiyonunu aktive edememektedirler. Rezorpsiyon sürecinin oluşması için daha uzun süreli kuvvetlere ve periodontal travmaya ihtiyaç vardır. Ortodontik kuvvetin klinik olarak etkin olabilmesi için biyolojik bütünlüğü bozan (biodisruptive) tipte olmalı; PDL’te ve alveol kemikte inflamatuvar ve yapıcı (inflammatory/reparative) reaksiyona sebep olmalıdır. Bu tür etkileri olan kuvvetler osteoklastik aktivite gibi çok çekirdekli hücre aktivitelerini artırmakta ve bu hücreler de hareket yönündeki alveol kemiğini ortadan kaldırmaktadır (Davidovitch, 1991).

Ortodontik kuvvetlerin oluşturduğu mekanik stres, PDL içindeki sıvıların aşamalı olarak yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu sıvı hareketi, sinir liflerinde bir deformasyon oluşturmakta ve bu deformasyona bağlı olarak sinir uçlarından nöropeptidler salınmaktadır. Bu nöropeptidlerden bazıları vasoaktif özelliktedirler. Bu nöropeptidler kan damarlarının taşıma kapasitesini ve geçirgenliğini etkilemekte ve PDL’e doğru lökosit göçüne sebep olmaktadır. PDL’te kümelenen lökositler çeşitli sitokinler salgılamakta ve sentezlemektedirler. Oluşturulan bu sitokinler; fibroblastları, endotelial hücreleri ve alveol kemik hücrelerini stimüle etmektedirler. Büyüme faktörleri, sitokinler ve nöropeptidler PDL’te bulunan fibroblastları etkilemektedirler.



Aktive edilmiş fibroblastlar gerilme bölgelerinde yeni matriks sentezi yaparken, sıkışma bölgelerinde nekrotik PDL'i yıkarlar. Sıkışma ve gerilme bölgelerinde bulunan fibroblastlar, aynı zamanda değişik kimyasallar sentezleyerek komşu kemik hücrelerini aktive ederler. Osteoklastların çalışması komşu osteoblastlar tarafından sentezlenen kimyasallar ve prostaglandin E2 (PGE2) tarafından düzenlenmektedir. Kimyasal olarak ya da mekanik olarak stimule edilmiş yahut edilmemiş fibroblastların ürettiği kimyasallar, kemik rezorpsiyonu oranını arttırmaktadır. Kuvvet uygulamasından etkilenen diğer bir hücre grubu ise osteositlerdir. Osteositler çevrelendikleri matrikste meydana gelen moleküler reorganizasyonu tanımlar ve cevap verirler. Tespit ettikleri değişiklikleri, osteogenik bir stimulus oluşturarak kemiğin yüzeyinde yer alan hücrelere özellikle osteoblastlara iletirler (Davidovitch, 1991).

Diş hareketi sırasında meydana gelen olayların ancak bir bölümü anlaşılabilmiştir. Konuyla ilgili yanıtlanması gereken sorular mevcuttur. Bu soruların başlarında gelen ise diş hareketi sırasında meydana gelen kök rezorpsiyonunun oluşum koşulları, oluşum mekanizması ve oluşum nedenleridir (Davidovitch, 1991).

### **2.2.1. Ortodontik Kuvvet**

Ortodontik problemler, bir başka ifadeyle maloklüzyonlar dişlere ve dişleri destekleyen yapılara kuvvet uygulayarak düzeltilmektedirler (Heasman ve ark., 1996).

Ortodontik tedavide dişleri hareket ettirmek amacıyla uygulanan ortodontik kuvvetler, zamanla miktarında meydana gelen azalmaya göre sürekli (continuous), aralıklı (interrupted) ve kesikli (intermittent) olarak üç çeşide ayrılmaktadır (Proffit ve ark., 2007).

*Sürekli kuvvetler;* aktivasyon zamanları arasında geçen sürede kuvvet miktarında azalmanın beklenmediği veya kuvvet miktarında azalma meydana gelse bile, kuvvet miktarının sıfırlanmadığı kuvvet çeşididir. Sürekli kuvvetler aktivasyon zamanları arasındaki süreçte başlangıç miktarına yakın bir değerde seyrederekler.

*Aralıklı kuvvetler;* aktivasyon zamanları arasındaki sürede kuvvet miktarının sıfırlandığı kuvvet çeşididir.

*Kesikli kuvvetler*; hekim tarafından yapılan aktivasyon seansları arasındaki geçen süreçte, apareyin çıkarılması veya sabit ortodontik mekaniklere ait elemanların geçici süreliğine deaktive edilmesiyle sıfıra düşen ancak apareyin tekrar takılmasıyla veya sabit ortodontik mekaniklere ait elemanların tekrar aktive edilmesiyle kuvvet miktarının orijinale döndüğü kuvvet çeşididir.

Ortodontik kuvvetler hafif ve ağır kuvvetler olarak da sınıflandırılmakta ve bu iki kuvvet tipinin diş çevreleyen dokular üzerindeki etkileri birbirinden farklılıklar içermektedir. Dokular üzerinde meydana gelen değişiklikler aşağıda açıklandığı gibidir (Proffit ve ark., 2007).

Hafif kuvvetlerin uygulanmasını takiben 0-1 saniyelik bir sürede alveolar kemikte bükülme meydana gelir ve piezoelektrik sinyaller oluşturulur. 1-2 saniyelik bir sürede diş periodontal aralıkta hareket eder. 3-5 saniyelik bir sürede periodontal aralıktaki kan damarları sıkışma bölgesinde daralırken gerilme bölgesinde kısmen genişler. Hafif kuvvetlerin uygulanmasından dakikalar sonra kan akımı değişir, oksijen miktarı değişmeye başlar ve prostaglandinler ile sitokinler salınır. Saatler sonra ise metabolik değişimler meydana gelir, kimyasal haberciler hücresel aktivitenin ve enzim seviyelerinin değişimine neden olur. 4 saate kadar siklik adenosin monofosfat (cAMP) miktarı değişir ve PDL’te hücresel farklılaşmalar başlar. 2 güne kadar ise diş hareketi başlarken osteoblastlar ve osteoklastlar kemiği şekillendirmeye başlar (Proffit ve ark., 2007).

Ağır kuvvetlerin uygulanmasını takiben 3. saniyeye kadar hafif kuvvetlerin uygulanmasında meydana gelen olaylar aynen gerçekleşir. 3-5 saniyelik bir sürede sıkışma bölgesindeki kan damarları tıkanır. Dakikalar sonra sıkışma bölgelerinde kan akımı baskılanır. Saatler sonra ise sıkışma bölgelerinde hücre ölümleri gerçekleşir. Ağır kuvvetlerin uygulanmasını takiben 3-5 gün sonra komşu bölgelerdeki kemik iliğinde yer alan hücrelerde farklılaşmalar oluşur ve indirekt kemik rezorpsiyonu başlar. 7-14 gün sonra ise indirekt kemik rezorpsiyonuna bağlı olarak sıkışma bölgelerinde lamina dura rezorbe edilir, diş hareketi meydana gelir (Proffit ve ark., 2007).

## **2.3. Kök Rezorpsiyonu**

### **2.3.1. Kök Rezorpsiyonunun Tarihçesi ve Tanımı**

Daimi dişlerde görülen kök rezorpsiyonu ilk defa Bates isimli araştırmacı tarafından 1856 yılında tartışmaya açılmıştır (Bates, 1856).

Apikal kök rezorpsiyonunun ortodontik tedavi ile doğrudan ilişkisini gösteren ilk yayın, Ottolengui tarafından 1914 yılında yapılmıştır (Ottolengui, 1914). Araştırmacılar bu ilişkiyi 1927 yılında yayınlanan Ketcham adlı araştırmacının çalışmasından sonra önemser hale gelmişlerdir (Phillips, 1955). Ketcham (1927), çalışmasında ortodontik tedavi uyguladığı 385 kişilik hasta grubu üzerinde radyografik incelemeler yapmıştır. Bu analizler sonucunda her çeşit ortodontik tedavinin apikal kök rezorpsiyonu riskini artırdığını bildirmiştir. Bu çalışmanın ortodonti dünyasında oluşturduğu etkinin diğer bir sebebi de Ottolengui'nin çalışmasından Ketcham'ın çalışmasına kadar geçen 12 yıllık süreçte dişsel radyografik görüntülemenin gelişmesi ve kullanımının yaygınlaşmasıdır. Ortodonti dünyasında ilgi uyandıran Ketcham'ın bu çalışması, sadece kök rezorpsiyonunun değişik açılardan incelenmesine neden olmakla kalmayıp, aynı zamanda diş hareketinin histolojisinin de araştırılmasına sebep olmuştur (Phillips, 1955). Ketcham bu çalışması ile ortodonti pratiğinin gözden geçirilmesinde, bir katalizator rolü üstlenmiştir (Papaconstantinou, 2004).

Phillips (1955) 1929 ile 1942 yılları arasındaki süreçte hem deneysel hayvan çalışmaları, hem de insan çalışmalarının devam ettiğini bildirmiştir. Marshall (1931) maymunlar üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda apikal kök rezorpsiyonunun beslenmeyle ilgili olduğu sonucuna varmıştır. Oppenheim (1936) kök şeklinin, hareket yönünün ve süresinin kök rezorpsiyonu ile bağlantılı olduğunu belirtmiştir.

Becks, 1936 yılında yaptığı çalışma sonucunda yüksek miktarlarda ortodontik kuvvetlerin bazı bireylerde kök rezorpsiyonuna neden olmazken, bazı bireylerde orta şiddetteki kuvvetlerin bile rezorpsiyona sebep olduğunu gözlemlemiştir.

Stuteville (1938) dişlerin optimal konumlarına getirilmeleri amacıyla uygulanan ortodontik kuvvetlerin miktarının, tipinin ve uygulanma süresinin kök rezorpsiyonu üzerinde etkisinin olduğunu bildirmiştir.

Kök rezorpsiyonunun tarihçesine paralel olarak, tanımlanması da değişiklikler göstermektedir. 1941 yılına kadar rezorpsiyon (resorption) kelimesi az kullanılmakta, onun yerine kayıp (loss) kelimesi kullanılmaktadır. İlk defa Bates tarafından 1856 yılında kullanılmaya başlanılan absorpsiyon (absorption) kelimesi ile rezorpsiyon kelimesi, 1930'lu yıllara kadar birbirinin yerine kullanılmışlardır (Phillips, 1955).

1932 yılında Becks ve Marshall yaptıkları literatür taraması sonucu; oluşmuş dokuların yıkılması ve yıkım sonucu oluşan artıkların kan ve lenfatik dolaşım tarafından uzaklaştırılması sürecinin, tıbbi ve dental literatürde rezorpsiyon terimi ile ifade edilmesi sonucuna varmışlardır (Becks ve Marshall, 1932).

1951 senesine gelindiğinde ise sement rezorpsiyonundan bahsedilmektedir. Sement dokusundaki rezorpsiyonun kökün tüm yüzeyinde oluşabileceği ve bazı durumlarda tamir olayının görülebileceği belirtilmiştir (Phillips, 1955).

Kök rezorpsiyonu kökü oluşturan sement ve dentin dokusunun bir kısmının kaybı ile karakterize, birçok açıdan geçmişten günümüze halen tam olarak anlaşılammış biyolojik bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Phillips, 1955; Pizzo ve ark., 2007; Weltman ve ark., 2010).

### **2.3.2. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonu (OOİKR)**

Ortodontik tedavilerde uygulanan kuvvete bağlı olarak oluşan kök rezorpsiyonlarına ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonu (orthodontically induced inflammatory root resorption, OIIRR) denilmektedir. Bir başka ifadeyle OOİKR ortodontik diş hareketinin patolojik bir sonucu olarak tanımlanmaktadır (Brezniak ve Wasserstein, 2002a). OOİKR şiddetine göre üç grupta incelenmektedir (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

1. Sement veya yüzey rezorpsiyonu ile birlikte yeniden şekillenmenin görüldüğü süreçte sadece sementin dış tabakasında rezorpsiyon izlenmektedir. İlerleyen zamanda oluşan hasar tamamen tamir edilmektedir.

2. Dentin rezorpsiyonu ile birlikte tamirin de izlendiği süreçte sement ve dentin

tabakasının dış katmanlarında da rezorpsiyon görülmektedir. Genellikle ilerleyen zamanlarda sement dokusu ile tamir gerçekleşmektedir. Tamir sonucunda oluşan kök şekli orijinal haline benzeyebilmekte ya da orijinalden farklılık göstermektedir.

3. Sirkumferansiyel apikal kök rezorpsiyonunun görüldüğü süreçte kök apeksindeki sert dokuların tamamının rezorpsiyonu izlenmektedir. Kök kısalması meydana gelmektedir.

### **2.3.3. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonunun Hücresel Süreci**

Bu süreçte izlenen ilk hücreler, muhtemelen ortodontik kuvvet sonucu oluşan steril nekrotik dokudan (hyalinize doku) gelen sinyaller ile aktive olmaktadır ve makrofajlara benzemektedirler. Tek çekirdekli olan bu hücreler TRAP (tartrate-resistant acid phosphatase) negatiftirler ve tırtıklı kenar içermemektedirler (Brezniak ve Wasserstein, 2002a). Makrofajlar nekrotize dokunun uzaklaştırılmasını sağlayan hücreler olarak bilinmektedirler (Brezniak ve Wasserstein, 2002a). Sürecin ilk aşamasında PDL'in beslenmesinin iyi olduğu hyalinize dokunun periferindeki bölgelerde uzaklaştırma işlemi başlamaktadır (Brudvik and Rygh, 1993; Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

Hyalinize dokunun uzaklaştırılması sürecinde, hyalinize dokuya yakın bölgelerde sementoid (nonmineralize presegment) yapıyı kaplayan sementoblast tabakasının bulunduğu kök yüzeyinde hasar oluşabilmekte ve böylece yoğun mineralize sement açığa çıkabilmektedir. Ortodontik kuvvetlerin kendi başlarına kök yüzeyinin dış tabakalarında hasar meydana getirip; oluşan hasarlı dokuların ortadan kaldırılmasına sebep olmaları da mümkündür (Brezniak ve Wasserstein, 2002a). Birkaç günlük bir süreç sonunda rezorpsiyon süreci periferden esas hyalinize alana kayarken, perifer bölgelerde tamir olayı başlamaktadır. Hyalinize dokunun altındaki kök yüzeyinde rezorpsiyon görülmektedir. Rezorpsiyon süreci, hyalinize doku tamamen ortadan kaldırılana kadar ve/veya ortodontik kuvvetin miktarı azalana kadar devam etmektedir (Brezniak ve Wasserstein, 2002b). Rezorpsiyon lakünaları kök yüzeyine yayılmaktadır ve dolaylı olarak kuvvet miktarı azalmaktadır. Bu sürecin sonucunda, sementte tamir mekanizmaları çalışmaya başlamaktadır (Brudvik and Rygh, 1995; Brezniak ve

Wasserstein, 2002a).

Hyalinize dokunun uzaklaştırılması sürecinde tek çekirdekli makrofajlara benzeyen hücreler dışında, çok çekirdekli dev hücreler de izlenebilmektedir. Bu dev hücreler TRAP pozitifler ama tırtıklı kenar içermemektedirler (Brudvik and Rygh, 1993; Brezniak ve Wasserstein, 2002a). Bu hücrelerin mekanik bir stimulusu takiben osteoklastlara veya odontoklastlara dönüşmek üzere bekleyen öncü hücreler olabileceği bildirilmiştir (Sismanidou ve ark., 1996; Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

Kuvvetin kesilmesini takiben tamir süreci sement yığılımı ile başlamaktadır (Rygh, 1977). Tamir dokusu, hücresel semente benzer özelliklere sahiptir ve inkremental çizgilere benzer çizgiler içerebilmektedir. Eğer tamir çok hızlı meydana gelmişse, tamir dokusunun mineralizasyonu daha düşük ve düzensiz olabilmektedir (Thilander ve ark., 2005).

#### **2.3.4. Diş Hareketi ve Kök Rezorpsiyonu**

Diş hareketinin etkilediği temel yapı periodonsiyumdur. Periodonsiyumun diş hareketi ve kök rezorpsiyonu açısından değerlendirilmesinde etkilenen iki ana yapı olan alveolar kemik ve sement önem arz etmektedir. Bu önemin sebebi; alveolar kemikte meydana gelen değişiklikler diş hareketinin incelenmesinin temelini oluştururken, sementte meydana gelen değişiklikler kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Alveol kemiğinde rezorpsiyon ve apozisyon gibi değişiklikler diş hareketinin temel mekanizması iken, özellik olarak kemiğe çok benzeyen sementte bu değişiklikler çok daha nadir gözlenmektedir (Rygh, 1977). Sement rezorpsiyona karşı daha dirençlidir. Eğer tersi olsaydı diş hareketi sonunda ortada bir diş kökü kalmayabilirdi. Bu direncin sebebi bu yapıdaki bazı özelliklere bağlıdır. Sementin kimyasal içeriği kemiğe benzemekle beraber, özellikle dış katmanlarında farklılıklar belirlenmiştir (Rygh, 1977). Sementin dış katmanları yüksek oranda F içermektedir (Rygh, 1977; Ishiguro ve ark., 1994). Sement ile kemik arasında anatomik farklılıklar da bulunmaktadır. Kemiğin kanlanması içerdiği damarlar sağlamakta iken sement kan damarları içermemektedir (Rygh, 1977). Sementin beslenmesi anastomozlar ve kanalikuli vasıtasıyla olmaktadır. Damarlanmasının olmamasına bağlı olarak sement yapısındaki Ca gibi mineralleri kemiğin tersine ortama salmamaktadır (Rygh, 1977).

Yıkım mekanizmasının temelini oluşturan osteoklastlar kemikte sürekli bulunurken, sement üzerinde odontoklastların nadir görülmesi ve nonmineralize presegment tabakasının odontoklastlar tarafından rezorpsiyonunun güç olması sementin rezorpsiyona karşı direncini artıran diğer etkenlerdir (Stenvik ve Mjör, 1970; Rygh, 1977). Vücut için bir mineral rezervuarı olan kemik, sürekli devam eden yapım ve yıkım olayları sonucunda fizyolojik ve histolojik hareket içerisinde. Tersine, sementte sürekli bir yığılma yani yeni sement yapımı görülmektedir. PDL'in kemik tarafında sürekli devam eden bir aktiviteler zinciri vardır. Dişlere ortodontik kuvvetlerin uygulanmasıyla oluşan basınç sonucunda, ilk hücresel değişimler PDL'in kemik tarafında olmaktadır. PDL'in kemik tarafındaki yapıları sürekli bir değişime maruz kalmalarına bağlı olarak tam olgunlaşmamışken, sement tarafındaki yapıları ise sürekli değişime maruz kalmamalarına bağlı olarak olgunlaşmışlardır. Sement daha yaşlı ve olgun bir kollajen tarafından çevrelenmektedir. Sementin çevresindeki bu yapı kimyasal süreçlere daha dirençlidir (Rygh, 1977). Sementin rezorpsiyona karşı direncinin kemiğe oranla fazla olması diş hareketi açısından çok önemli bir özelliktir.

Diş hareketi sırasında uygulanan kuvvet miktarının biyolojik sınırı aşmadığı durumlarda hücrelerin mekanik deformasyonuna bağlı olarak osteoklastik aktivite ortaya çıkmakta ve "frontal rezorpsiyon" olarak adlandırılan direkt kemik rezorpsiyonu gerçekleşmektedir (Proffit ve ark., 2007). Ortodontik kuvvetin biyolojik sınırın üzerinde olduğu yani hyalinize alanların meydana geldiği durumlarda indirekt kemik rezorpsiyonu gerçekleşmektedir. "Undermining resorption" olarak da adlandırılan bu süreçte, nekrotik alanlara komşu bölgelerde osteoklastların fonksiyonları izlenmektedir (Proffit ve ark., 2007).

Alveol kemiğinde izlenen rezorpsiyon süreci kök yüzeyini kaplayan sement dokusunda da gözlenmektedir (Pizzo ve ark., 2007). Diş hareketi elde etmek amacıyla ortodontik kuvvet uygulamasının oluşturduğu kök rezorpsiyonunun süre ve kuvvet miktarı yönünden değerlendirildiği bir çalışmada ortalama 2 ila 5 hafta sonra rezorpsiyon kraterleri izlenmiştir ve kuvvet uygulanma süresi arttıkça rezorpsiyon miktarı da artmıştır (Harry ve Sims, 1982).

Yapılan bir rat çalışmasında dişlere tipping hareketi yaptırmak amacıyla kuvvet uygulanmış ve kuvvet uygulanmasını takiben hyalinize dokunun uzaklaştırılmasının

tamamlandığı ortalama 3 haftalık bir sürecin sonrasında ise kök rezorpsiyonunun devam ettiği gözlemlenmiştir. Gerilme bölgesinde çok nadir gözlenen rezorpsiyon kraterleri genellikle sıkışma bölgesinde ortaya çıkmaktadır (Williams, 1984). Ortodontik kuvvet uzun süre uygulanırsa, çok çekirdekli odontoklastlara benzer hücreler sementin tamamını ortadan kaldırarak, mineralize dentini açığa çıkarmaktadırlar. Dentinin açığa çıktığı bu aşamada, basınç ortadan kalkar ise oluşan rezorpsiyon sahalarının tamiri mümkündür, ancak inflamasyon devam eder ise açığa çıkmış dentin tabakası da rezorbe edilmektedir. İlerleyen süreçte rezorpsiyon alanları tamiri mümkün olmayan, üç boyutlu ve radyografilerde izlenir bir hal almaktadır (Brudvik ve Rygh, 1994; Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

Diş hareketinin sebep olduğu kök rezorpsiyonunda tamir mekanizmaları da çalışmaktadır. 32 bireye ait 64 premolar diş üzerinde yapılan çalışmada diş köklerinde meydana gelen tamir değerlendirilmiştir. Çalışmaya dâhil edilen tüm dişlerde rezorpsiyon bölgeleri izlenmiştir. Tamir miktarının diş hareketinin sonlanmasından sonraki süreçte zamanla arttığı belirlenmiştir. Bir haftalık bir süre sonunda rezorpsiyon lakünalarının %28'inde değişik derecelerde tamir saptanırken, sekiz haftalık sürede lakünaların %75'inde tamir gözlenmiştir (Owman-Moll ve ark., 1995a).

### **2.3.5. Kök Rezorpsiyonunu Etkileyen Faktörler**

#### **i) Biyolojik Faktörler**

##### *Genetik Özellikler ve Bireysel yatkınlık*

Kök rezorpsiyonu ile genetik özellikler arasındaki ilişkiyi araştıran kapsamlı çalışma sayısı az olmakla birlikte, yapılan çalışmalar güçlü bir bağlantının mevcudiyeti noktasında birleşmektedirler (Abass ve Hartsfield, 2007). Irklar arası genetik farklılıkların kök rezorpsiyonu riskinde bir etken olduğunun belirtildiği çalışmada, Asyalıların beyaz veya Hispaniklere göre daha az kök rezorpsiyonu riski altında oldukları bildirilmiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001a). Farklı genetik özelliklere sahip bireylerde kök rezorpsiyonu görülme riski farklılıklar göstermektedir (Segal ve ark., 2004). Kök rezorpsiyonu ile kalıtım ilişkisinin araştırıldığı çalışmada kesin bir genetik sonuç elde edilememiş olmasına ve kalıtsal modellemesi yapılamamasına rağmen,



ailesel yatkınlığın kök rezorpsiyonunda etkili olabileceği bildirilmiştir (Newman, 1975). Otozomal dominant, otozomal resesif ve polijenik geçişlerin mümkün olabileceği belirtilmiştir (Newman, 1975). Harris ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan ve genetik kök rezorpsiyonu-ortodonti ilişkisini irdeleyen araştırmada genetiğin önemli olduğu saptanmıştır. Günümüzde genetik yatkınlığın kök rezorpsiyonu oluşumunda etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir (Weltman ve ark., 2010).

## **ii) Sistemik Faktörler**

### *Hormonal Hastalıklar*

Hipoparatiroidizmi, hipofosfatemiyi, tiroid fonksiyon bozukluklarını, şeker hastalığını (Diabetes mellitus) ve Paget hastalığını kök rezorpsiyonu ile ilişkilendirilen yayınlar bulunmasına rağmen, bu faktörlerin doğrudan kök rezorpsiyonuna neden olmadıkları ancak rezorpsiyon sürecine yok sayılamaz bir etkilerinin de bulunduğu kabul edilmektedir (Smith, 1978; Tangney, 1979; Goultschin ve ark., 1982; Linge ve Linge, 1983; Poumpros ve ark., 1994; Davidovitch ve Krishnan, 2009).

### *Alerjik Reaksiyonlar*

Alerjik reaksiyonlar ile kök rezorpsiyonu arasında bağlantı olduğunu bildiren yayınlar mevcuttur (McNab ve ark., 1999; Nishioka ve ark., 2006). Sistemik hastalıklara sahip bireylerin ortodontik tedavi sonrası görülen kök rezorpsiyonu açısından değerlendirildiği çalışmada, alerjik problemleri bulunan hastalarda ciddi seviyede kök rezorpsiyonu izlenmiştir (Davidovitch ve Krishnan, 2009).

### *İlaçlar*

Prostaglandinler: Prostaglandin E1 (PGE1) (Sekhavat ve ark., 2002), Ca ve Prostaglandin E2 (PGE2) (Seifi ve ark., 2003) çalışmalarda kullanılmıştır. PGE2 ve Ca'un beraber verildiği ratlar üzerinde yapılan çalışmada kök rezorpsiyonunun azaldığı bulgusuna ulaşılmıştır. Ancak doz ve süre etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Seifi ve ark., 2003). Yapılan bir diğer rat çalışmasında uygulanan PGE1'in düşük ve yüksek dozlarının kök rezorpsiyonunda belirgin artışa sebep olmamasının yanında, ortodontik diş hareketini arttırdığı

gözlemlenmiştir. Optimum dozun 25 miligram(mg)/kilogram(kg) olduğu belirtilmiştir (Sekhavat ve ark., 2002).

**Kortikosteroidler:** Bağışıklık sistemini etkileyen hastalıkların tedavisinde kullanılan kortikosteroid ilaçların diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerini araştıran çalışmalar mevcuttur (Ashcraft ve ark., 1992; Ong ve ark., 2000). Kortikosteroidin kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir tavşan çalışmasında deneklere 15mg/kg dozunda kortizon asetat verilmiştir. Çalışmada ilaç verilen deneklerde 3-4 kat daha hızlı diş hareketi gözlenmiştir (Ashcraft ve ark., 1992).

Ong ve arkadaşları tarafından ratlar üzerinde yapılan araştırmada 1 mg/kg gibi düşük dozda oral prednisolon 23 gün boyunca erişkin deneklerde kullanılmış ve 30 gram(gr) ortodontik kuvvet uygulanmıştır. Çalışmada sıkışma bölgelerinde kök rezorpsiyonunun azaldığı belirlenirken, diş hareketinin etkilenmediği bildirilmiştir (Ong ve ark., 2000).

**Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar:** İntrüzyon hareketi yaptırmak amacıyla üst 1. premolar dişlere ortodontik kuvvetlerin uygulandığı çalışmada oluşturulan gruplardan birine plasebo verilirken diğer gruba nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar verilmiştir. Çalışma sonucunda prostaglandin sentezini bloke etmeleri sebebiyle kök ve kemik rezorpsiyonunu azalttıkları düşünülen nonsteroid antiinflamatuvar ilaçların ortodontik diş hareketini engellemediği ancak bir miktar azalttığı saptanmıştır (Villa ve ark., 2005). Nonsteroid antiinflamatuvar bir ilaç olan Aspirin uygulamasının kök rezorpsiyonu üzerindeki etkisinin incelendiği rat çalışmasında; Aspirinin odontoklast sayısını ve kök rezorpsiyonunu azalttığı bulgusuna ulaşılmıştır (Kameyama ve ark., 1994).

**Bisfosfonatlar:** Kemik rezorpsiyonunu bloke eden bisfosfonat grubu ilaçların topikal uygulanmasının diş hareketi üzerine etkilerinin incelendiği rat çalışmasında, ratların 1. molar dişlerine kuvvetler uygulanmış ve diş hareket miktarı değerlendirilmiştir. Çalışmadan sağlanan bulgular ışığında, bisfosfonat grubu ilaçlardan Risedronate'ın diş hareket miktarında uygulanma dozuna bağlı olarak anlamlı düzeyde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Araştırmada bisfosfonat grubu ilaçların yine doza bağlı olarak relaps miktarında bir azalmaya sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Adachi

ve ark., 1994). Diğ er bir rat ç alışmasında, bisfosfonat grubu bir ilaç olan Clodronate'ın ortodontik diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin saptanması hedeflenmiş ve ilaç uygulamasının doza bağı lı olarak diş hareket miktarını azalttı ğı bulgusuna ulaşılmış tır. Ç alışmada Clodronate enjeksiyonunun osteoklast sayısını azalttı ğı saptanmış ve kök rezorpsiyonu miktarında bir azalma gözlemlenmiştir (Liu ve ark., 2004).

### *Cinsiyet*

Ortodontik tedaviye bağı lı kök rezorpsiyonu ve cinsiyet arasındaki ilişkiyi inceleyen ç alışmalarda, kök rezorpsiyonu ile cinsiyet arasında belirgin bir ilişki bulunmadı ğı yönünde bulgular bildirilmiştir. Cinsiyetler arası kök rezorpsiyonu görölme oranında bir farklılık saptanamamıştır (Linge ve Linge, 1983; Harris ve ark., 1997; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Fritz ve ark., 2003). Bu bulguların tersine, bu ilişkiyi inceleyen bir grup araştırmacı kadınların erkeklere oranla ortodontik tedaviye bağı lı kök rezorpsiyonuna daha yatkın olduklarını belirtmektedirler (Kjaer, 1995; Horiuchi ve ark., 1998). Birbirine zıt bu iki saptamadan farklı olarak erkeklerde kök rezorpsiyonu görölme olasılığ ının kadınlardan fazla oldu ğ unu savunan ç alışmalar da mevcuttur (Newman, 1975; Spurrier ve ark., 1990; Baumrind ve ark., 1996).

### *Yaş*

Kronolojik yaşı ilerlemiş hastalarda, ortodontik tedaviye bağı lı kök rezorpsiyonu riskinin genç hastalara oranla daha yüksek oldu ğ u bildirilmektedir (Thilander ve ark., 2005). Erişkin bireylerde kök rezorpsiyonu riskinin artmasına, dişleri çevreleyen destek dokulardaki hücre sayısının de ğ işmesi ve buna bağı lı olarak fibröz dokuların reaksiyonunun yavaşlaması sebep olarak gösterilmektedir (Thilander ve ark., 2005). Yetişkin bireylerde kollajen moleküllerinin turnover oranı büyü mekte olan bireylere göre genel olarak daha yavaş gerç ekleşmektedir. Bu farklılık yetişkinlerde ortodontik tedavi sürecinde gözlenen doku cevabının gecikmesine sebep olmaktadır (Thilander ve ark., 2005). Belirtilen görüşün tersine, kronolojik yaş ile OOİKR oluşumu arasında herhangi bir bağı lantının mevcut olmadı ğ ını belirten veya tamir mekanizmasının bireysel farklılıklar gösterdi ğ ini savunan ç alışmalar da mevcuttur (Harris ve Baker, 1990; Hendrix ve ark., 1994; Owman-Moll ve ark., 1995a; Baumrind

ve ark., 1996; Owman-Moll ve Kuroi, 1998).

### *Beslenme*

Kök rezorpsiyonu ile beslenme arasındaki ilişkinin varlığı merak uyandıran bir konudur. Yapılan rat çalışmalarında bu konu irdelenmiş ve özellikle Ca ve D vitamini alımlarının kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine etkilerinin olabileceği sonucuna varılmıştır (Goldie ve King, 1984; Engström ve ark., 1988).

### **iii) Lokal faktörler**

#### *Alışkanlıklar*

Tırnak yeme ve dil itimi gibi alışkanlıkların, maloklüzyonların ve kötü restorasyonlar gibi normal dışı okluzal kuvvetlere sebep olan faktörlerin kök rezorpsiyonu riskini arttıran etkenler oldukları belirtilmekle (Massler ve Malone, 1954; Harris ve Butler, 1992; Harris, 2000) birlikte; alışkanlıkların böyle bir etkisinin olmadığını savunan çalışma da mevcuttur (Linge ve Linge, 1983).

#### *Endodontik Tedavi*

Ortodontik tedavi öncesinde endodontik tedavi görmüş dişlerin OOİKR açısından yüksek risk taşıdıkları bildirilmiştir (Wickwire ve ark., 1974). Ancak bu görüşün tersinin savunulduğu çalışmada, endodontik tedavinin dentin yoğunluğunu ve sertliğini artırması sonucunda, diş köklerinin rezorpsiyona karşı daha dirençli hale geldiği duyurulmuştur (Hamilton ve Gutmann, 1999). Günümüzde sanatın kuralına uygun (lege artis) bir şekilde endodontik tedavisi yapılan dişlerin yüksek kök rezorpsiyonu riski taşımaksızın hareket ettirilebilecekleri belirtilmektedir (Pizzo ve ark., 2007).

#### *Travma*

Ortodontik tedavi öncesi travmaya bağlı kök rezorpsiyonu gözlenen dişlerde, ortodontik tedavinin mevcut rezorpsiyonun artmasına sebep olabileceği belirtilmiştir (Kjaer, 1995; Drysdale ve ark., 1996; Hamilton ve Gutmann, 1999; Brin ve ark., 1991).

Kronolojik yaş ortalaması 13,7 olan 139 bireyin dâhil edildiği çalışmada, travma ve hareketli ortodontik tedavi parametrelerine göre oluşturulan dört grupta ortodontik tedavi ile kök rezorpsiyonu bağlantısı değerlendirilmiş ve rezorpsiyon açısından en riskli grubun travmaya maruz kalmış ve ortodontik tedavi görmüş bireyler olduğu belirlenmiştir (Brin ve ark., 1991).

#### *Maloklüzyonun Tipi*

Maloklüzyonun tipi ile OOİKR arasındaki ilişkinin temelde maloklüzyonun şiddetiyle ilgili olduğu bildirilmektedir (Linge ve Linge, 1991; Harris ve Butler, 1992; Hendrix ve ark., 1994; Brin ve ark., 2003). Ön açık kapanışa sahip bireyler ile normal kapanışa sahip bireyler arasında kök rezorpsiyonu miktarı arasındaki farklılıkların değerlendirildiği çalışmada, ön açık kapanışa sahip bireylerin daha fazla kök rezorpsiyonu riski altında olduğu belirlenmiştir (Kuperstein, 2005). Oklüzyon dışı kalmış dişlerde görülen hipofonksiyonel periodonsiyumun kök rezorpsiyonu riskinin artmasına sebep olabileceği bildirilmiştir (Sringkarnboriboon ve ark., 2003).

#### *Dental Anomali*

Diş kökleri ortodontik tedavilerde uygulanan kuvvetlerden birinci derecede etkilenen yapılardır. Dolayısıyla morfolojik olarak farklılık gösteren diş köklerinin rezorpsiyona maruz kalma ihtimalleri artmaktadır. Birçok çalışmada anormal kök morfolojisinin kök rezorpsiyonu riskini artırdığı bulgusu öne çıkmıştır. Özellikle rezorpsiyonun en çok görüldüğü diş grubu olan keserlerin köklerindeki morfolojik anomaliler rezorpsiyonda önemli bir faktördür (Levander ve Malmgren, 1988; Levander ve ark., 1994; Kjaer, 1995; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Oyama ve ark., 2007).

İnce, uca doğru sivrilen, dilasere ve pipet şeklindeki diş kökleri ile normalden daha uzun veya daha kısa diş köklerinin rezorpsiyona daha yatkın oldukları belirtilmiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001a; Smale ve ark., 2005; Oyama ve ark., 2007; Marques ve ark., 2010).

Dişlerdeki dental anomali varlığının kök rezorpsiyonuna olan yatkınlığı arttırmadığını savunan çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Lee ve ark., 1999; Kook ve ark., 2003).

### *Anatomik oluşumlar*

Özellikle simfizis bölgesindeki ve palatal bölgedeki kortikal kemiklerin retraksiyon, tork ve intrüzyon gibi diş hareketlerinde kök rezorpsiyonu riskini artırdıkları belirtilmiştir (Ten Hove ve Mulie 1976; Mulie ve Hove, 1976). Benzer şekilde nazal tabanın intrüzyon hareketi sırasında kök rezorpsiyonuna neden olabileceği bildirilmiştir (Dermaut ve De Munck, 1986).

### *Diş tipi*

Üst kesici dişlerde görülen rezorpsiyon miktarının sıklık ve şiddet yönünden değerlendirildiği çalışmaların sonuçlarına göre, üst kesici dişlerin dentisyondaki diğer dişlere oranla daha yüksek kök rezorpsiyonu riski barındırdıkları bildirilmiştir (Remington ve ark., 1989; Sameshima ve Sinclair, 2001a).

### **iv) Mekanik Faktörler**

#### *Ortodontik Kuvvetin Tipi*

Ortodontik kuvvetlere bağlı olarak rezorpsiyon lakünaları oluşuktan sonra kuvvet uygulanmaya devam edilirse rezorpsiyon süreci devam etmekte, kuvvet uygulaması kesilirse tamir gerçekleşmektedir (Rygh, 1977). Dolayısıyla sürekli olmayan kuvvetlerin uygulandığı veya tedaviye ara verildiği durumlarda, bahsedilen sement tamiri sonucunda daha az miktarda kök rezorpsiyonunun görüleceği değişik çalışmalarda belirtilmektedir ( Reitan 1964; Rygh 1977; Levander ve ark.,1994; Acar ve ark., 1999).

Sürekli ve aralıklı kuvvetlerin kök rezorpsiyonu miktarına etkilerinin histolojik olarak incelenmesinin planlandığı çalışmada (Owman-Moll ve ark., 1995b), 16 kişilik hasta grubuna ait 32 adet birinci premolar dişe aynı miktarda (50 gr) ancak değişik periyotlarda ortodontik kuvvetler uygulanmıştır. Hastalar iki gruba ayrılmıştır. Birinci grupta bir taraftaki birinci premolar dişlere 4 hafta boyunca her hafta aktive edilen kuvvet rejimi uygulanırken, diğer taraftaki birinci premolar dişlere 4 haftalık kuvvet rejimi 3 hafta boyunca hiç aktivasyon yapılmaksızın ve son hafta ise pasif bırakılmak kaydıyla uygulanmıştır. İkinci grupta ise bir taraftaki birinci premolar dişlere 7 hafta

boyunca her hafta aktive edilen kuvvet rejimi uygulanırken diğerk taraftaki birinci premolar dişlere kuvvet rejimi 3 hafta aktivasyonsuz, bir hafta pasif, sonra aktivasyon, son üç hafta ise aktivasyon yapılmaksızın uygulanmıştır. Böylece değişik kuvvet rejimlerinin uygulandığı dört adet diş grubu elde edilmiştir. Tüm gruplardaki dişlerin değerlendirilmesi sonucunda, oluşan rezorpsiyon miktarları arasında herhangi bir farklılık belirlenmemiştir (Owman-Moll ve ark., 1995b).

Carano ve Siciliani (1996) tarafından yapılan çalışmada, kuvvet uygulama rejiminin insan fibroblastları üzerine etkilerini değerlendirilmiştir. Çalışmada, sürekli kuvvetlerin fibroblastların şeklinde bir değişikliğe neden olarak, biyolojik aktivitelerini kaybetmelerine sebep oldukları bildirilmiştir. Sürekli olmayan kuvvetlerin etkisiyle oluşan deformasyonlar sonucunda ise fibroblastların sürekli yenileyen tarzda biyolojik aktivitelerini geri kazandıkları ve bunun sonucunda kollajen sentezinin önemli miktarda arttığını gözlemlenmiştir (Carano ve Siciliani, 1996).

Bir rat çalışmasında sürekli ve sürekli olmayan kuvvet uygulama süreçlerinin kök rezorpsiyonu üzerine etkileri karşılaştırılmış ve sürekli kuvvet uygulama süreçlerinin daha fazla kök rezorpsiyonu oluşturdukları sonucuna varılmıştır (Maltha ve Dijkman, 1996).

Kuvvet kaynağı olarak elastiklerin kullanıldığı, sürekli kuvvetler ile kesikli kuvvetler uygulanarak premolar dişlerin bukkale devrildiği çalışmada kök rezorpsiyonu miktarları değerlendirilmiştir (Acar ve ark., 1999). Araştırmada kuvvet miktarları 100 gr iken kesikli kuvvet uygulanan grupta kuvvet günlük 12 saat boyunca kesilmiştir. Rezorpsiyon miktarını ölçmek amacıyla scanning elektron mikroskobundan elde edilen görüntüler üzerinde yapılan görsel skorlama tekniği kullanılmıştır. Sonuçta, kesikli kuvvetlerin daha az kök rezorpsiyonuna sebep olduğu belirlenmiştir (Acar ve ark., 1999).

Yapılan rat çalışmasında 144 adet denek 72'şer adet olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Gu ve ark., 1999). Araştırmada iki aktivasyon seansı arasında geçen sürenin diş hareketi, kök rezorpsiyonu ve hücrel aktiviteye olan etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. İlk seansta hareket istenilen tüm dişlere 40 gr'lık kuvvet uygulanmış ve 16 gün sonra iki grup oluşturulmuştur. İlk gruba uygulanan kuvvet miktarı aynı

periyotla reaktive edilirken, ikinci grupta reaktivasyon yapılmamıştır. Ratlar 1., 3., 5., 7., ve 14. günlerde uyutulmuş ve kuvvet uygulanan molar dişler histolojik incelemeye tabi tutulmuştur. Kök rezorpsiyonu miktarında, iki grup arasında herhangi bir farklılık saptanmamıştır. Diş hareket miktarının kuvvetin sabit tutulmaya çalışıldığı ilk grupta daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışmada yapılan histolojik incelemede hücresel süreçler açısından yeniden aktivasyonun önemli olduğu vurgulanmıştır (Gu ve ark., 1999).

Kameyama ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan rat çalışmasında günlük inaktivasyon sürelerindeki farklılıklara göre gruplar oluşturulmuştur. Oluşturulan 4 grupta meydana gelen kök rezorpsiyonu miktarları karşılaştırılmıştır. Tüm gruplara aynı miktarda kuvvetler uygulanmıştır. Birinci gruba günlük 24 saat, ikinci gruba günlük 23 saat, üçüncü gruba günlük 20 saat, dördüncü gruba ise günlük 15 saat süresince kuvvet uygulanmıştır. Çalışmada gruplarda oluşan kök rezorpsiyonu miktarlarına bakıldığında, birinci ve ikinci gruplarda eşit miktarda ve yine üçüncü ve dördüncü gruplarda eşit miktarda kök rezorpsiyonu belirlenirken, ilk iki grupta son iki gruba oranla anlamlı düzeyde fazla kök rezorpsiyonu gözlemlenmiştir. Gruplarda oluşan diş hareket miktarı da ölçülmüş ve günlük inaktivasyon süresi arttıkça diş hareket miktarının azaldığı saptanmıştır (Kameyama ve ark., 2003).

Değişik kuvvet uygulamalarının oluşturduğu kök rezorpsiyonu miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla, 27 hastaya ait 84 adet premolar dişe süper elastik NiTi ve paslanmaz çelik ark telleri kullanılarak ortodontik kuvvetler değişik aktivasyon süreçleriyle uygulanmıştır (Weiland, 2003). Çalışma sürecinde çekilen dişler mikroskopik yöntemlerle incelenmiş ve sürekli kuvvetlerin daha geniş rezorpsiyon kraterleri oluşturmasının yanında, daha fazla miktarda diş hareketi sağladığı bildirilmiştir (Weiland, 2003).

Sürekli kuvvetlerin uygulandığı grup, kesikli kuvvetlerin uygulandığı grup ve kontrol grubu olmak üzere üç grubun dâhil edildiği rat çalışmasında, tüm gruplara eşit miktarda kuvvet uygulanmış ve oluşan kök rezorpsiyonu miktarları ile diş hareket miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu araştırmanın sonucunda kesikli kuvvet uygulanan grup ile kontrol grubunda oluşan kök rezorpsiyonu miktarının birbirinden farklı olmadığı sonucuna varılırken, sürekli kuvvetlerin uygulandığı grupta diğerlerine



oranla yüksek miktarlarda rezorpsiyon gözlemlenmiştir (Kumasako-Hago ve ark., 2009).

### *Uygulanan Ortodontik Kuvvetin Büyüklüğü*

Ortodontik kuvvetin büyüklüğü ile kök rezorpsiyonu arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, kuvvet miktarının artmasının; oluşan kök rezorpsiyonu miktarını arttırdığı belirtilmiştir (Harry ve Sims, 1982; Casa ve ark., 2001).

Macaca speciosa türündeki maymunlar üzerinde yapılan araştırmada, üst birinci premolar dişlere intrüzyon hareketi yaptırılmıştır. Çalışmada değişik miktarlarda ortodontik kuvvetler kullanılmış ve 60 gün boyunca kuvvet uygulamasına devam edilmiştir. Çalışma sonucunda 10 gr'lık ve 50 gr'lık kuvvetlerin hafif ve orta düzeyde rezorpsiyona sebep oldukları saptanırken 100 gr'lık kuvvet uygulamasında rezorpsiyon miktarının arttığı; 300 gr'lık kuvvet uygulamasında kabul edilemez miktarda rezorpsiyonun görüldüğü sonucuna varılmıştır (Dellinger, 1967).

Delinger (1967) tarafından kullanılan deneklerle aynı türdeki denekler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada, kök rezorpsiyonu ile kuvvet miktarı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda uygulanan kuvvet miktarının oluşan kök rezorpsiyonu miktarını etkilediği sonucuna varılmıştır (Vardimon ve ark., 1991).

Kontrol grubu, 50 gr'lık intrüzyon kuvveti uygulanan grup ve 100 gr'lık intrüzyon kuvveti uygulanan grubun kök rezorpsiyonu açısından değerlendirildiği klinik bir çalışmada, kuvvet miktarı arttıkça rezorpsiyon miktarının da arttığı belirtilmiştir (Faltin ve ark., 1998).

Ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubu, 4 hafta boyunca 50 gr kuvvet uygulanan bir grup ve yine 4 hafta boyunca 100 gr kuvvet uygulanan diğer bir grubun değerlendirildiği araştırmada periodontal yapılarda meydana gelen değişiklikler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda periodontal yapılarda meydana gelen değişikliklerin kuvvet miktarıyla doğru orantılı olarak arttığı sonucuna varılmıştır (Faltin ve ark., 2001).

Darendeliler ve arkadaşları (2004) uygulanan kuvvet miktarı ile sementte

meydana gelen değişiklikleri değerlendirdikleri çalışmalarında sementin fiziksel özelliklerini, sementin mineral içeriğini ve sementte meydana gelen rezorpsiyon kraterlerinin yerleşimi ve tipini incelemişlerdir. Kontrol grubu, ağır kuvvetlerin uygulandığı grup ve hafif kuvvetlerin uygulandığı grup olmak üzere 3 grup oluşturulmuştur. Dişlere hafif ve ağır kuvvetler uygulanmış ve dişler çekilerek değerlendirilmişlerdir. Çalışma sonucunda kuvvet miktarı arttıkça rezorpsiyon miktarının arttığı belirtilmiştir. Hacimsel olarak en fazla rezorpsiyonun ağır kuvvet uygulanan grupta görüldüğü bildirilmiştir (Darendeliler ve ark., 2004). Yapılan çok sayıdaki araştırmanın sonuçları değerlendirildiğinde, kuvvet miktarının artırılmasının kök rezorpsiyonu miktarını arttırdığı kabul edilebilecek bir gerçektir. Ancak kök rezorpsiyonunun artmasına sebep olan kuvvet miktarı konusunda bireysel farklılıkların göz ardı edilmemesi gerekmektedir (Owman-Moll ve ark., 1996; Faltin ve ark., 2001; Chan ve Darendeliler, 2004; Chan ve Darendeliler, 2005).

#### *Ortodontik Tedavinin Süresi*

Ortodontik tedavinin süresi uzadıkça veya diş hareket miktarı arttıkça meydana gelen kök rezorpsiyonu miktarı da artmaktadır (Dougherty, 1968; Reitan, 1974; Harry ve Sims, 1982; Brezniak ve Wasserstein, 1993; Sameshima ve Sinclair, 2001b; Thilander ve ark., 2005; Proffit ve ark., 2007).

Yaş ortalaması 13,8 olan bireylere ait 56 adet premolar dişe 50 gr'lık kuvvet uygulanmıştır. Bir taraftaki premolar dişlere kuvvet uygulanırken diğer taraftaki premolar dişler kontrol amaçlı kullanılmıştır. Dişlere 1 ila 7 haftalık sürelerle kuvvetler uygulanmıştır. Dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonu miktarının kuvvet uygulanma süresiyle doğru orantılı olarak arttığı bulunmuştur (Kurol ve ark., 1996).

Yapılan bir diğer araştırmada, yan kesici dişlerin köklerinin kısalmasının kontraksiyon periyodunun (kesici dişlerin distalizasyon süresi) uzunluğu ile doğru orantı gösterdiği belirtilmiştir (Mavragani ve ark., 2000). Çalışmada sınıf II divizyon 1 maloklüzyona sahip 80 birey kullanılmış ve tedavi gereksinimi olarak en az st çift taraflı birinci premolar dişin çekimi tedaviye kabul kriteri olarak alınmıştır.

138 bireyin incelendiği ve dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonu miktarının

değerlendirildiği çalışmada (Brin ve ark., 2003), kök rezorpsiyonu miktarının sabit ortodontik tedavinin süresiyle paralel bir şekilde arttığı saptanmıştır. Aynı çalışmada tek aşamalı ve iki aşamalı ortodontik tedavilerin kök rezorpsiyonu üzerine etkileri de değerlendirilmiştir. Sonuçta erken dönemde büyüme modifikasyonu yapılan bireylerde kök rezorpsiyonu riskinin azaldığının söylenebileceği bildirilmiştir (Brin ve ark., 2003).

### *Ortodontik Tedavi Şekli ve Yöntemi*

Ortodontik tedavilerde hareketli ve sabit ortodontik mekanikler kullanılmaktadır (Proffit ve ark., 2007). Hareketli apareylerle tedavisi yapılan bireylerde, sabit mekaniklerle tedavisi yapılan bireylere oranla daha az miktarda kök rezorpsiyonu oluşabilir. Ancak hareketli apareylerle yapılan tedavilerde de diş köklerinde kısılmalar görülebilmektedir. Uygulanan kuvvetin miktarı, apareyin kullanım süresi ve tedaviye başlama yaşı gibi faktörler hareketli apareylerin kullanıldığı tedavilerde meydana gelen kök rezorpsiyonunun miktarını etkilemektedirler (Linge ve Linge, 1983).

Standart edgewise tekniği ile tedavi edilen hastalarda oluşan kök rezorpsiyonu miktarı ile straightwire edgewise tekniği ile tedavi edilen hastalarda oluşan kök rezorpsiyonu miktarı karşılaştırılmış; santral keser dişlerde standart edgewise tekniğinde daha fazla miktarda kök rezorpsiyonu gözlenirken, lateral keser dişlerde böyle bir bulguya rastlanmamıştır (Mavragani ve ark., 2000). Straightwire edgewise tekniğinde standart edgewise tekniğine oranla daha etkin düzeyde kuvvet kontrolü yapabilmesine bağlı olarak daha az miktarda rezorpsiyon oluştuğu bildirilmiştir (Mavragani ve ark., 2000).

Edgewise mekanikleri ile çekimsiz tedavinin, çekimli tedaviye ya da Begg mekaniklerine oranla daha az miktarda kök rezorpsiyonuna sebep olduğu belirtilmiştir (McNab ve ark., 2000).

Standart edgewise, straightwire edgewise ve “bioefficient” terapi tekniklerinin kullanılması sırasında oluşan kök rezorpsiyonu miktarları karşılaştırıldığında “bioefficient” terapide diğerlerine oranla daha az miktarda kök rezorpsiyonunun saptandığı bildirilmiştir (Janson ve ark., 2000). Kök rezorpsiyon miktarındaki azlığın,

kullanılan ısı ile aktive olan süper elastik teller ile braket tasarımına bağlı olabileceği belirtilmiştir (Janson ve ark., 2000).

Sahip olduğu yaylı klips mekanizması nedeniyle sürekli rotasyon ve tork etkisi oluşturan Speed braketleri ile aralıklı kuvvet etkisinin varlığından bahsedilen edgewise straight wire braketleri arasında kök rezorpsiyonu miktarı açısından herhangi bir farklılık olmadığı belirtilmiştir (Blake ve ark., 1995).

Değişik kalınlıktaki ark tellerinin oluşturdukları rezorpsiyon miktarı açısından herhangi bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir (Linge ve Linge, 1983; Mirabella ve Artun, 1995) literatürde yer almaktadır.

Slot genişliğinin ve intermaksiller elastik kullanımının kök rezorpsiyonu üzerinde etkili olmadığı ifade edilmiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001b).

Linge ve Linge (1983) yayınladıkları çalışmalarında intermaksiller elastik kullanımının jiggling kuvvetlerine neden olması sebebiyle rezorpsiyon miktarının artmasında bir etken olabileceğini bildirmişlerdir.

Hızlı üst çene genişletmesi uygulaması dişlerin bukkal kök yüzeyinde şiddetli rezorpsiyona sebep olabilmektedir. Bunun sebebi olarak çenenin hızlı genişletilmesinde kullanılan apareylerin premolar ve molar dişlerin köklerini bukkalde yer alan kortikal kemiğe doğru itmesi ve temas alanlarında sıkışmaya neden olması gösterilmektedir (Thilander ve ark., 2005). Ancak belirtilenin tersine başka bir yayında da; hızlı palatal genişletme uygulamasının yapıldığı, yavaş genişletme uygulamasının yapıldığı ve genişletme uygulamasının yapılmadığı durumlarda kök rezorpsiyonu açısından anlamlı bir fark olmadığı belirtilmiştir (Barber ve Sims, 1981).

Erverdi ve arkadaşları (1994) tarafından yapılan çalışmada "Haas" ve "Cast Cap splint" apareyleri ile yapılan hızlı üst çene genişletme uygulamaları kök rezorpsiyonu oluşumu açısından karşılaştırılmıştır. Araştırmada 19 hastadan sağlanan 38 adet üst premolar diş ile 12 alt premolar diş incelenmiştir. Dişlerin bukkal yüzeylerindeki rezorpsiyon ve tamir alanları histolojik olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda kök rezorpsiyonu oluşumu açısından iki uygulama arasında anlamlı bir farklılık olmadığı belirtilmiştir.

Küçükkeleş ve Okar (1994) yaptıkları çalışmada intrüzyon kuvveti uyguladıkları premolar dişlerde ve kontrol grubuna ait premolar dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonunu SEM kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda intrüzyon yapılan dişlerin kök yüzeylerinde değişik çaplarda ve değişik derinliklerde rezorpsiyon kraterleri tespit etmişlerdir.

Açık kapanışlı bireylerin tedavisinde kullanılan ve iskeletsel ankraj sağlayan zigomatik plakların birinci molarlarda meydana getirdiği intrüzyon etkisine bağlı olarak oluşan kök rezorpsiyonları radyografik olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada 16 bireyden oluşan 2 grup incelenmiştir. İlk gruptaki 16 birey bahsi geçen yöntemle tedavi görmüş açık kapanış hastaları arasından seçilmiştir. İkinci gruptaki 16 birey sabit ortodontik tedavi gören ancak intrüzyon mekanikleri hiç uygulanmamış bireyler arasından seçilmiştir. Çalışma sonucunda zigomatik ankraj ile yapılan üst birinci molar intrüzyonunun klinik olarak anlamlı düzeyde bir kök rezorpsiyonuna neden olmadığı sonucuna varılmıştır (Ari-Demirkaya ve ark., 2005).

Sabit ortodontik tedaviye alternatif bir yöntem olarak gün geçtikçe popüler hale gelen şeffaf termoplastik apareylerle tedavi yöntemi ile kök rezorpsiyonu miktarının ilişkisinin incelendiği çalışmada 27 birey üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki bireylerin bir taraftaki üst premolar dişler termoplastik apareyler kullanılarak hareket ettirilirken diğer taraftaki dişler hareket ettirilmemiş ve kontrol grubu olarak kullanılmıştır. İkinci gruptaki bireylerin yine bir taraftaki üst premolar dişler termoplastik apareyler kullanılarak hareket ettirilirken diğer taraftaki dişler kantilever zemberekler kullanılarak oluşturulan 225 gr kuvvet kullanılarak hareket ettirilmiş ve ağır kuvvet grubu olarak tanımlanmıştır. Üçüncü gruptaki bireylerin bir taraftaki üst birinci premolar dişler diğer gruplarda olduğu gibi termoplastik apareyler kullanılarak hareket ettirilirken diğer taraftaki dişler yine kantilever zemberekler kullanılarak oluşturulan 25 gr ortodontik kuvvetler kullanılarak hareket ettirilmiş ve hafif kuvvet grubu olarak tanımlanmıştır. 8 haftalık kuvvet uygulama periyodu sonunda tüm dişler çekilmiş ve mikro-tomografileri alınarak oluşan kök rezorpsiyonları ölçülmüştür. Sonuçta; en fazla rezorpsiyon ağır kuvvetlerin uygulandığı premolar dişlerin köklerinde görülürken, hafif kuvvetlerin uygulandığı dişler ile termoplastik apareylerin kullanıldığı dişlerde birbirine yakın düzeyde; kontrol grubunda ise minimum düzeyde rezorpsiyon

belirlenmiştir (Barbagallo ve ark., 2008).

### *Diş Çekiminin Etkisi*

Ortodontik tedavide diş çekiminin gerekliliği değişik faktörlere bağlıdır (Proffit ve ark., 2007). Diş çekimi gereksimini oluşturan şartlar, benzer biçimde tedavi sırasında kullanılacak mekaniklere ait elemanların farklılığı, diş hareket miktarının farklılığı, elastik kullanımı ve ankraj dişlere gelen kuvvet miktarı farklılığı gibi tedaviye ait değişkenleri de etkilemektedir. Çekimli tedavilerde; maksiller kesici apekslerinin retraksiyon derecesi, overjet eliminasyonu için dişlerin kat edeceği mesafenin miktarı ve tedavi süresinin uzaması gibi değişkenlere bağlı olarak oluşacak kök rezorpsiyonu miktarının değişebileceği bildirilmiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001b).

### *Pekiştirme*

Ortodontik nüks ile kök rezorpsiyonu arasında bir ilişkinin varlığı ifade edilmiştir. Ortodontik tedavi sırasında kök rezorpsiyonunun olduğu dişlerde nüks görülme riski artabilmektedir. Ortodontik tedavi sonrası nüksün görüldüğü dişlerde ortodontik tedavi sırasında oluşmuş kök rezorpsiyonu miktarı nüksün görüldüğü süreçte daha da artabilmektedir (Sharpe ve ark., 1987).

Pekiştirme döneminde gözlenen rezorpsiyon aktif ortodontik tedaviye bağlı değil de pekiştirme döneminde kullanılan pekiştirme aygıtlarının oluşturduğu kuvvetlerle veya travmatik oklüzyona bağlı oluşan kuvvetlerle ilişkili olabilmektedir (Copeland ve Green, 1986).

## **2.4. Kök Rezorpsiyonunun Tanısında ve Ölçümünde Kullanılan Yöntemler**

### **2.4.1. Radyografler**

Panoramik radyografler dental arkların ve destek yapıların tek bir görüntü içinde izlenebildiği radyograflerdir (White ve Pharoah, 2000). Panoramik radyograflerin avantajları; tüm ağız yapılarını görüntüleyebilmeleri, düşük radyasyon dozu gerektirmeleri, hastaların genel olarak değerlendirebilmesine olanak tanınmaları, ağzını açamayan hastalarda dahi kullanılabilmeleri ve fazla zaman gerektirmeden elde edilebilmeleri şeklinde sıralanabilir. Panoramik radyograflerin temel dezavantajı

anatomik detayların görüntülenmesinde yaşanan güçlüklerdir. Bu güçlüklerle ek olarak magnifikasyon problemleri ve geometrik bozulmalar da meydana gelebilmektedir (White ve Pharoah, 2000).

Panoramik radyografilerde kök rezorpsiyonun incelenmesi sırasında oluşabilecek magnifikasyon farkının dikkate alınması gerektiği vurgulanmakta (McNab ve ark., 1999) ve esasen periapikal radyografilerin tercih edilmesi önerilmektedir (Sameshima ve Asgarifar, 2001).

Periapikal radyografilerin elde edilmesinde açığortay tekniği ve paralel teknik olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır. Paralel tekniğin aksine açığortay tekniğiyle alınan periapikal radyografilerin standart olmamaları nedeniyle rezorpsiyon miktarını belirlemede kullanılmasının güvenilir olmadığı bildirilmiştir (Leach ve ark., 2001).

Üst keserlerde oluşabilecek kök rezorpsiyonu miktarının saptanmasında sefalometrik yan kafa radyografiler kullanılabilir (Parker ve Harris, 1998; Leach ve ark., 2001; Kuperstein, 2005). Oluşabilen magnifikasyon farkları ve süperimpozisyonlar sebebiyle, görüntü kalitesindeki bozulmalar değerlendirmede sorunlara sebep olabilmektedir (Leach ve ark., 2001).

Dijital radyografiler film tabanlı radyografilerle benzer hassasiyet derecesine sahiptirler. Dijital radyografiler görüntü boyutunun ve kontrastın değiştirilebilmesi gibi avantajlarının yanında, renklendirmenin de yapılabilmesi gibi özellikleriyle kök rezorpsiyonun saptanmasında kullanılabilirler (Leach ve ark., 2001).

#### **2.4.2. Histolojik İnceleme Yöntemi**

Histolojik inceleme kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde geçmişten günümüze çalışmalarda kullanılan bir yöntemdir (Marshall, 1931; Dellinger, 1967; Engström ve ark., 1988; Owman-Moll ve Kurol, 1998). Radyografik değerlendirmelerde görülemeyecek kadar küçük rezorpsiyon lakünalarının histolojik incelemelerde tespit edilmesi mümkündür. Yine radyografik değerlendirmelerde gözlenmesinin mümkün olmadığı bukkal ve lingual yüzeydeki rezorpsiyon alanları histolojik incelemelerde değerlendirilebilir (Laux ve ark., 2000). Histolojik incelemeler kök rezorpsiyonu sürecinde meydana gelen hücresel olayları incelemeyi ya da bu

konuyu sistematik bir şekilde açıklamayı hedefleyen çalışmalarda kullanılmaktadır (Reitan, 1964; Davidovitch, 1991).

Ortodontik kuvvetler sonucunda moleküler, hücresel ve dokusal düzeyde meydana gelen değişikliklerin geçmiş çalışmaların ışığında sistematik bir şekilde anlaşılabilmesinin hedeflendiği çalışmada Krishnan ve Davidovitch (2006) geniş bir literatür taraması yapmışlardır. Çalışmada ortodontik kuvvet uygulaması sonucunda kemikte, periodontal ligamentte ve dişetinde meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Bu çalışma, diş hareketinin dolayısıyla kök rezorpsiyonunun birçok yönüyle anlaşılabilmesinde histolojik incelemelere olan gereksinimi göstermektedir.

### **2.4.3. İmmünolojik Biyokimyasal Ölçüm Yöntemi**

Mah ve Prasad (2004) tarafından yapılan çalışmada, kök rezorpsiyonu sürecinin ilk aşamasında organik matriks proteinlerinin salındığı ve sonrasında kök rezorpsiyonu miktarına bağlı olarak bu proteinlerin dişeti sıvısı içerisindeki miktarının değişiklik gösterdiği hipotezine dayanılarak biyokimyasal ölçüm yönteminin kök rezorpsiyonu miktarının ölçümünde kullanılabileceği belirtilmiştir. Ortodontik tedavi gören bireylerin oluşturduğu bir grup (n=20), süt dişlerinde kök rezorpsiyonu mevcut bir grup (n=20) ve kontrol grubunun (n=20) dâhil edildiği çalışmada, dişeti sıvısı içerisindeki dentin fosfoproteinlerinin (dentin phosphoproteins) miktarı gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Protein miktarlarının süt dişi rezorpsiyonu görülen grupta diğer gruplara oranla daha yüksek seviyelerde olduğu saptanmıştır. Ortodontik tedavi gören grupta ise kontrol grubuna oranla daha yüksek miktarda kök rezorpsiyonu belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular ışığında, biyokimyasal ölçüm yönteminin ve dentin fosfoproteinlerinin kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Mah ve Prasad, 2004).

### **2.4.4. Elektron Mikroskobu**

Bilindiği gibi periapikal ve ortopanamik radyografik metodlar, yalnız mezial ve distalde oluşan rezorpsiyonları görüntülerken; bukkal ve linguale lokalize rezorpsiyonlar izlenemezler. Ayrıca var olan rezorpsiyonu gösterebilirler bile, kraterin gerçek boyutunu ve üç boyutlu şeklini görüntüleyemezler. Diğer taraftan scanning



elektron mikroskopisi (SEM) tüm kök yüzeyinin morfolojik özelliklerinin üç boyutlu olarak izlenmesine izin vermesi ve belirli alanlara odaklanarak krater boyutlarının hesaplanmasını sağlaması gibi avantajlara sahiptir (Sreeja ve ark. 2009).

Barber ve Sims (1981) diş köklerinde oluşan rezorpsiyon alanlarının değerlendirilmesinde elektron mikroskobu ile inceleme yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada kök yüzeyinde oluşan rezorpsiyonun elektron mikroskobu kullanılarak değerlendirilmesinin radyografiler kullanılarak değerlendirilmesine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği savunulmaktadır. Araştırmada, hızlı üst çene genişletmesi sonrası premolar dişlerden alınan radyografiler kök rezorpsiyonu göstermezken, yapılan elektron mikroskobu incelemesinde bukkal yüzeylerde yüksek miktarlarda kök rezorpsiyonu belirlenmiştir.

Lu ve arkadaşları (1999) tarafından rat dişleri üzerinde yapılan çalışmada kök yüzeyindeki bazı alanlar 120 kez büyütülerek grid kâğıdı ile kaplanmıştır. Elektron mikroskobunda yapılan değerlendirmeler sonucunda rezorpsiyon bölgelerinin tüm kök yüzeyine oranı belirlenmiştir.

El-Bialy ve arkadaşları (2004) elektron mikroskobu yardımıyla tüm kök yüzeyini değerlendirmiş, oluşan rezorpsiyon alanlarının sayısı ve yüz ölçümünü hesaplamışlardır.

Çekilmiş dişlerin kökleri üzerinde SEM kullanılarak inceleme yapılmış ve oluşturulan üç boyutlu modeller üzerinden kök rezorpsiyonu miktarı incelenmiştir (Chan ve Darendereliler, 2005).

#### **2.4.5. X-Işınlı Mikro-tomografi (XTM)**

XTM bilgisayarlı aksiyel tomografinin minyatürize edilmiş versiyonudur. Bilgisayarlı tomografiler yardımı ile anatomik yapıların milimetrik kesitler şeklinde görüntüsü elde edilirken daha küçük düzeydeki oluşumların görüntülenmesi için XTM cihazı geliştirilmiştir (Davis ve Wong, 1996). En büyük dezavantajı gerektirdiği yüksek radyasyon dozudur. Bu cihazlar yardımıyla 3 boyutlu görüntüler elde etmek mümkündür. Değişik tipte-mikro-tomografi cihazları mevcuttur (Davis ve Wong, 1996).

XTM ile anatomik bir yapıda hacimsel inceleme ve hesaplamalar yapılabilmektedir. Teknolojinin hızla ilerlemesiyle beraber XTM, hayvanlar üzerinde kullanılabilir düzeyde kadar geliştirilmiştir ve yakın gelecekte rutin klinik kullanıma geçmesi beklenmektedir (Woo ve ark., 2006; Brouwers ve ark., 2007).

Dijital görüntüleme araçları kullanılarak elde edilen veri iki boyutlu ise verinin ölçülmesinde görüntünün en küçük renksel değerinin iki boyutlu parçası şeklinde tanımlanan piksel kullanılmaktadır. Görüntünün çözünürlüğünü piksel boyutları belirler. Piksel boyutları küçüldükçe çözünürlük artmaktadır. Bilgisayarlı tomografilerden elde edilen görüntüler pikselin x ve y düzlemleri üzerindeki koordinatlarındaki boyutlarına göre değerlendirilir. Dijital görüntüleme cihazlarından elde edilen veri 3 boyutlu ise voksel olarak adlandırılan birimle ölçülmektedir. Voksel ile bir alanın ölçüsü belirlenirken x, y ve z düzlemleri üzerindeki koordinatlar kullanılmaktadır (Stock, 1999).

## **2.5. X-Işınlı Mikro-Tomografi ve Ortodonti**

Mikro-tomografi ile inceleme işlemi; görüntüsü alınacak örneğin hareketsizliğinin sağlanması, ekspozisyon süresinin uzunluğu ve üç boyutlu yapılandırma için süreye ihtiyaç duyulması gibi nedenlere *in vitro* çalışmalarda kullanılmıştır. Hızlı teknolojik gelişmeler sayesinde çok yakın geçmişte ratların canlı denek olarak kullanıldığı çalışmada (Brouwers ve ark., 2007) mikro-tomografi bulguları yer almaktadır.

İntrüzyon hareketinin kök rezorpsiyonu ile ilişkisinin incelendiği çalışmada, kök rezorpsiyonunun kuvvet miktarı ile bağlantısının değerlendirilmesi amacıyla örneklerin üç boyutlu görüntüleri üzerinde ölçümler yapılmıştır. 27 bireye ait 54 adet premolar diş örnek olarak kullanılmış ve dişlere değişik miktarlarda intrüzyon kuvveti uygulanmıştır. Kuvvet uygulanmayan grup, hafif kuvvetlerin uygulandığı ve ağır kuvvetlerin uygulandığı grup olmak üzere 3 grup oluşturulmuştur. 28 gün sonunda dişler çekilmiş ve SkyScan-1072 mikro-tomografi cihazı kullanılarak görüntüleri elde edilmiştir. Oluşan kök rezorpsiyonu miktarının hacimsel ölçümünü sağlayan bilgisayar programları kullanılarak miktarlar hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Değerlendirilmeler sonucunda, intrüzyon hareketine bağlı oluşan kök rezorpsiyonunun kuvvet miktarı ile

doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Üç grup arasında kök rezorpsiyonu oluşumu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. Kök rezorpsiyonu oluşma miktarı azdan çoğa doğru kontrol grubu, hafif kuvvet grubu ve ağır kuvvet grubu olarak sıralanmıştır (Harris ve ark., 2006).

Kuvvet çeşitleri ile oluşan kök rezorpsiyonu arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir çalışmada incelenmesi hedeflenen dişlere 8 haftalık bir süreçte yaklaşık 230 gr kuvvet bukkal yönde uygulanmıştır. Bir grup dişe sürekli ortodontik kuvvet uygulanırken; diğer grup dişe ilk iki hafta sürekli, devamında ise 3 gün pasif, 4 gün aktif şeklinde kuvvet rejimine uyularak kesikli kuvvet uygulanmıştır. Sonraki süreçte örnekler mikro-tomografi ile incelenmiş ve sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere oranla anlamlı düzeyde daha fazla kök rezorpsiyonuna neden oldukları belirtilmiştir. Aynı çalışmadan elde edilen bulgular arasında rezorpsiyon kraterlerinin bukkal servikal bölgede kümelenildiği gözlenmiştir (Ballard ve ark., 2009).

Periodontal parametreler ile ortodontik kuvvetlere maruz kalan dişlerde oluşan servikal kök rezorpsiyonu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinin amaçlandığı Giannopoulou ve arkadaşları (2008) tarafından yapılan çalışmada, örnekler mikro-tomografik görüntüler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bir grup premolar dişe bukkale tipping yapacak şekilde ortodontik kuvvetler uygulanmış, diğer bir grup diş kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Araştırmada değişik zamanlarda plak indeksi, dişeti indeksi, cep derinliği ve kanama gibi klinik periodontal parametreler kaydedilmiştir. Dişler çekilerek kök yüzeyleri mikro-tomografik görüntüleme kullanılarak incelenmiş ve rezorpsiyon miktarları değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda kuvvet uygulanan tüm dişlerde orta seviyede ya da şiddetli düzeyde servikal kök rezorpsiyonu tespit edilirken, periodontal parametreler ile kök rezorpsiyonu arasında herhangi bir ilişki bulunamadığı belirtilmiştir. Tomografi görüntülerinin oluşturulmasında Skyscan 1076 cihazı kullanılmıştır. Üç boyutlu görüntüler bilgisayar programları yardımı ile oluşturulmuştur.

OOİKR'nun yüksek çözünürlükteki mikro-tomografi görüntüleri kullanılarak değerlendirilmesinde bir protokol oluşturmak amacıyla yapılan çalışmada, 10 adet üst birinci premolar diş kullanılmıştır. Araştırmaya ortalama 14-15 yaşa sahip bireyler dâhil edilmiştir. Çalışmada 5 adet diş ortodontik tedavi öncesinde çekilirken diğer 5 diş 1 yıllık ortodontik tedavi sonrasında çekilmiştir. Örneklerin görüntüleri Skyscan 1076

mikro-tomografi cihazı kullanılarak oluşturulmuş ve incelenmiştir. Oluşan rezorpsiyon alanlarının miktarı, derinliği, hacimleri, lokalizasyonları tespit edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tüm ölçümler sonucunda ortodontik tedavi gören bireylere ait dişlerde daha fazla kök rezorpsiyonunun meydana geldiği bildirilmiştir. Çalışma sonucunda dişlerde görülen kök rezorpsiyonu miktarının toplam kök hacminin %0,9'u kadar olduğu saptanmıştır (Wierzbicki ve ark., 2009).

İki farklı periyotta uygulanan kesik kontrollü kuvvetlerle sürekli kuvvetlerin kök rezorpsiyonu ve diş hareketi açısından karşılaştırıldığı çalışmaya 32 birey dâhil edilmiştir. Çalışmada 150 gr'lık kuvvetler kullanılmıştır. Çalışmada 2 grup oluşturulmuş gruplara ait bireylerin bir taraftaki üst birinci premolar dişlerine sürekli kuvvetler uygulanmıştır. Diğer taraftaki üst birinci premolar dişlere kesikli kuvvetler uygulanmıştır. Deneysel diş hareketi sonunda çalışmaya dâhil edilen 64 adet premolar diş çekilmiş ve XTM cihazı kullanılarak kök yüzeyinde oluşan rezorpsiyon kraterlerinin hacimleri değerlendirilmiştir. Çalışmada kesikli kuvvetlerin kök rezorpsiyonu açısından daha güvenli olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere oranla daha fazla diş hareketi sağladığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda değişik kesikli kuvvet sürelerinin kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine etkisini inceleyebilmek ve bireysel farklılıkları ortadan kaldırmak için farklı sürelerin aynı bireylerde karşılaştırılmasının sağlıklı sonuçlar ortaya koyacağı belirtilmiştir (Aras, 2008).

### 3. BİREY VE YÖNTEM

#### 3.1. Bireylerin Tedaviye Kabul Edilmesi

Bu tez çalışması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na tedavi olmak amacıyla başvuran, çekimli sabit ortodontik tedavi gereksinimi olan, üst ve/veya alt birinci premolar dişlerin çekim endikasyonu konulan bireyler üzerinde yapıldı.

Çalışma grubuna dâhil edilmeleri düşünülen bireylerin seçiminde kullanılan ön eleme kriterleri; ağız hijyeninin sabit ortodontik tedavi yapılabilmesine olanak tanınması, bireylerin 12–18 yıl arası kronolojik yaşa sahip olması, daimi dişlenmenin tamamlanmış olması, premolar dişlerin kök apekslerinin kapanması ve radyografi alınmasını kontrendike kılacak herhangi bir durumun olmaması olarak belirlendi.

Ön eleme kriterlerini karşılayan bireylerin anamnezleri alındı ve ortodontik muayeneleri yapıldı. Panoramik ve lateral sefalometrik radyografileri, üst premolar dişlere ait periapikal radyografileri, ağız içi ve dışı fotoğrafları ve ortodontik modelleri elde edildi. Bireylerin çalışmaya dahil edilme kriterleri şunlardı (Srivicharnkul ve ark., 2005):

- Daha öncesinde ortopedik ya da ortodontik tedavi görmemiş olması.
- Herhangi bir kraniyofasiyal anomalisinin olmaması.
- Üst premolar dişlerine herhangi bir diş tedavisi yaptırmamış olması veya halen bir tedavi ihtiyacının bulunmaması.
- Anamnezinde ve muayenesinde parafonksiyonel alışkanlıklar, diş sıkma, travma hikayesinin olmaması.
- Diş hareketi ve periodontal dokulardaki yapım-yıkımı etkileyecek herhangi bir tıbbi hikâyesinin olmaması.

Çalışmaya alınmama veya çalışmadan çıkarılma kriterleri ise şunlardı:

- Hasta uyumunda problemlerin oluşması.
- Ağız hijyeninde yetersizlik oluşması.
- Çalışma sürecinde ortodontik tedaviyi kontrendike kılan herhangi bir medikal problemin gelişmesi.
- Çalışmaya dâhil edilme sürecini takiben radyografi alınmasını kontrendike kılacak herhangi bir durumun oluşması.
- Kullanılan malzemelere karşı alerjik reaksiyon gelişmesi.

Çalışmaya dâhil edilme kriterlerini sağlayan bireyler ve velileri tez çalışmasının yapılma sebebi, çalışma sürecinde yapılacak işlemler, sürecin alacağı zaman ve sabit ortodontik tedavi konularında sözlü olarak bilgilendirildi. Çalışmaya dâhil olmayı kabul eden bireylerin kendilerinden ve velilerinden aydınlatılmış onam alındı. Bu işlemler yapılmadan önce Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi Etik Kurulu'ndan onay alındı (Ek 1).

### **3.2. Araştırma Gruplarının Oluşturulması**

Toplam 25 bireyden (yaş ortalaması; 14,77 yıl) oluşan çalışma grubunun 14'ü kız, 11'i erkekti.

Tüm bireylerde bir taraftaki premolar dişlere 150 gr bukkal yönlü sürekli kuvvet uygulandı. Bu dişler pozitif kontrol olarak değerlendirildi. Aynı kuvvet diğer taraftaki premolar dişlere kesikli olarak uygulandı. Kesik kuvvet uygulaması 15 hafta boyunca 28 gün aktif, 7 gün pasif olacak şekilde yapıldı.

Her iki grupta sağ ve sol taraflar arasında eşit dağılım sağlayabilmek için kesikli kuvvet uygulama yeri rastgele olacak şekilde belirlendi.

Birinci molar dişlerin ve 15 hafta sonrasında çekimi yapılacak olan birinci premolar dişlerin bukkal yüzeylerine 0,022-inç slotlu kendinden bağlanan (self-ligating) Speed (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada) -10° tork değerine sahip tüp ve -7° tork değerine sahip braketler yapıştırıldı.

Kuvvet kaynağı olarak 0,017×0,025-inç TMA ( $\beta$ -III Titanium, 3M Unitek, Monrovia, USA) kantilever zemberekler kullanıldı. TMA telde yapılan heliks bükümünün bukkal tüpün meziyaline gelmesine dikkat edildi (Şekil 2).

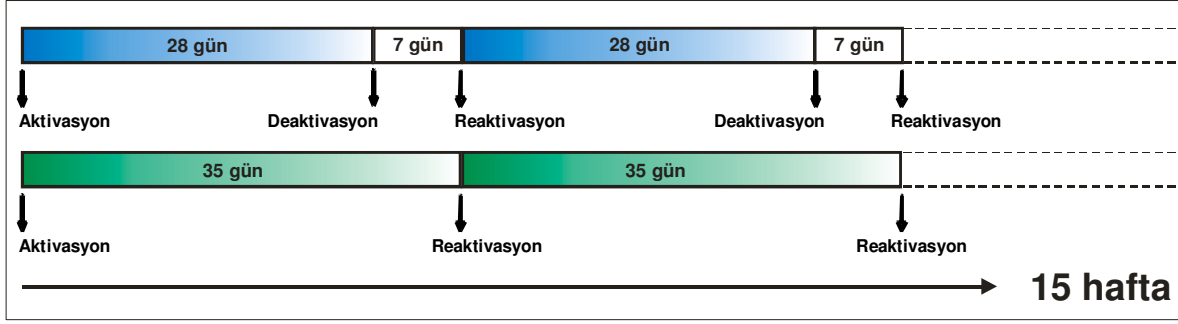


**Şekil 2.** TMA zembereklerin ağız içi görüntüsü.

Zembereğin aktivasyonu, transversal düzlemde bukkal yönlü heliks üzerinden bükülerek gerçekleştirildi. Kuvvet miktarı kuvvetölçer saat (Strain Gauge, Dentaaurum, Germany) yardımıyla ayarlandı. Tork kuvvetlerinin oluşumundan sakınmak amacıyla zembereğin ucunun premolar braketinin slotuna serbest olarak yerleşmesine ve kendinden bağlanan braketlerin kapağı açıldığında zembereğin ucunun slot dışına kendiliğinden çıkmasına dikkat edildi ve bu işlem tüm reaktivasyon seanslarında tekrarlandı. Bukkal hareket sırasında dişlerin olası çatışmalarını önlemek amacıyla oklüzyonun yükseltilmesinde mandibuler molarların oklüzal yüzeyleri ışıkla polimerize cam iyonomer siman (Transbond<sup>TM</sup> Plus, Light Cure Band Adhesive, 3M Unitek, Monrovia, USA) konuldu.

Hastalara tedavi boyunca uymaları gereken kurallar, beslenme konusunda dikkat etmeleri ve sakınmaları gereken noktalar konusunda bilgilendirme işlemi, braketlerin yapıştırıldığı seansta yapıldı. Bireylere ortodontik diş ve diş arası fırçalarını nasıl kullanacakları klinikte pratik olarak gösterildi.

Zembereklerin uygulamasını takiben 28. günde kesik kuvvet tarafındaki zemberek çıkarıldı. Yedi gün sonrasında yeniden yerleştirilmesi sırasında ise her iki taraftaki zembereklerin 150 gr kuvvet uygulayacak şekilde reaktive edildi (Şekil 3).



**Şekil 3.** Sürekli ve kesikli kuvvet gruplarına ait kuvvet uygulama periyodları.

Tüm bireylerden bukkal diş hareketini ve rotasyon miktarının değerlendirme için uygulama öncesi ve sonrası üst çeneden ölçümler alındı.

Her iki grupta da 15 haftalık kuvvet uygulamasını takiben molar ve premolar dişler üzerindeki braketler söküldü. Takiben bireylerden ağız içi fotoğraflar çekildi. Premolar dişlerin çekimi lokal anestezi altında gerçekleştirildi. Çekim işlemi aynı cerrah tarafından yapıldı. Kök yüzeyine zarar vermemek için çekim sırasında elevatör kullanılmamasına ve davyenin kök yüzeyi ile temas etmemesine dikkat edildi. Çekim sonrası dişler üzerlerindeki kan artıklarını uzaklaştırmak amacıyla kök yüzeylerine dokunulmaksızın izotonik solüsyonla yapılan basınçsız yıkama işlemini takiben %10'luk formalin solüsyonu içeren 5 ml'lik steril tüplere (Sarstedt AG & Co., Nümbrecht, Germany) yerleştirildi. İki hafta sonra formalin solüsyonu değiştirildi ve kök incelemesine kadar herhangi bir işlem yapılmadı.

### 3.3. Üç Boyutlu Kök Yüzey İncelemesi

#### 3.3.1. Kök Yüzey İnceleme Hazırlıkları

Mikro-tomografi ile yüzey taraması işleminde daha iyi bir görüntü kalitesi elde edebilmek amacıyla tarama öncesinde diş köklerine iki aşamalı bir yüzey hazırlık işlemi uygulandı (Harris ve ark., 2006).

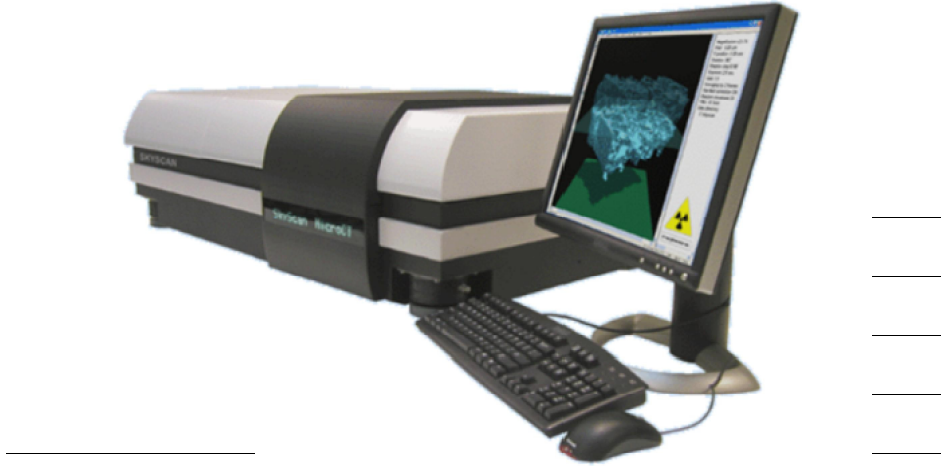
Kök yüzeyindeki PDL artıklarının uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla dişler, içinde deiyonize steril su (Mili-Q; Milipore, Bedford, Mass) bulunan steril tüplere aktarıldı. Tüpler ultrasonik vibrasyon banyosu (Transsonic Digital, Elma-Hans Schmidbauer GmbH & Co. KG, D-78224 Singen, Germany)'nda 22°C'de, %100'lük



vibrasyon düzeyinde 20 dakika tutuldu.

Bu işlem sonrasında kök yüzeyinde kalan doku artıkları deiyonize steril su ile nemlendirilmiş gazlı bezler kullanılarak uzaklaştırıldı. Bu işlem sırasında kök yüzeyinde hasar oluşturulmamasına dikkat edildi.

Diş kök yüzeylerinin temizlenmesini takiben Mikro-BT cihazının döner platformu ortasında örneklerin yerleştirildiği yuva içine oturtulacak standart boyda plastik çubuklara vinil polisiloksan ölçü maddesi yardımıyla dişler sabitlendi. Tarama sırasında x-ışın tüpü-diş mesafesinin değişmesine ve dişin tarama alanından çıkmasına neden olabilecek aksiyal konumlardaki sapmaları önlemek için sabitleme işlemi sırasında kökün vertikal olarak merkezi yerleştirilmesine dikkat edildi. Hazırlanan örnek, tomografi cihazının döner platformu ortasında bulunan yuvaya yerleştirilerek tarama işlemine geçildi.



**Şekil 4.** SkyScan 1172 x-ışınlı mikro-tomografi cihazı.

### 3.3.2. Görüntülerin Oluşturulması

Görüntülerin oluşturulmasında daha önce tanımlanmış olan yöntem izlendi

(Harris ve ark., 2006). SkyScan1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı (Şekil 4) ve yazılımı (SkyScan-1172, SkyScan, Aartselaar, Belgium) kullanılarak ile üç boyutlu görüntü elde edildi.

Tarama işleminde diş köklerine zarar verilmeksizin iki boyutlu kesitsel projeksiyonlar oluşturuldu. X-ışını tüpü, 103 kilovolt (kV) ve 98 mikroamper ( $\mu\text{A}$ ) alüminyum filtreye ayarlandı. Tüm dişler 14,85–17,27 mikrometre ( $\mu\text{m}$ ) arası piksel boyutlarında çözünürlükte tarandı. Dişlerin taranmasında  $180^\circ$  rotasyon kullanıldı ve rotasyon adımı olarak  $0,20^\circ$  seçildi. Her bir diş için toplamda 900 x-ışını absorpsiyon radyografisi oluşturuldu ve 16 bit (bilimde kullanılan en küçük bilgi birimi) TIFF (Tagged Image File Format) formatında görüntü dosyası olarak kaydedildi.

Kesitsel görüntülerin birleştirilmesinde özel bir yazılım olan NRecon (version 1.42, Aartselaar, Belgium) kullanılarak 8 bit'lik gri skala dinamik aralığında  $1024 \times 1024$  piksel'lik bitmap (BMP) formatına çevrildi.

Verilerden üç boyutlu görüntü elde edilmesi işleminde VG Studio Max (Volume Graphics, version 1.2, GmbH, Heidelberg, Germany) yazılımından yararlanıldı.

Tüm kraterler tek tek aksiyal kesitler boyunca belirlenerek izole edildi ve koordinatları krater hacim ölçümü için özel olarak geliştirilmiş Convex Hull 2D (CHull2D, University of Sydney, Australia) yazılımına aktararak hesaplandı.

Bu yazılım programı ile izole edilen krater içine yerleşebilecek maksimum birim "küp" bir başka ifade ile "voksel" sayısı hesaplandı. SkyScan mikro-tomografi cihazında  $17,27 \mu\text{m}$  piksel boyutunda çözünürlükte tarandığında mm cinsinden birim voksel  $0.01727 \text{ mm}^3$  e eşittir. Bu birim voksel değeri, CHull 2D programı ile taranan kraterin içerdiği voksel sayısı ile çarpılarak kraterin  $\text{mm}^3$  cinsinden hacmi hesaplandı.

Kök yüzeyindeki rezorpsiyon kraterlerin hacimsel analiz sonuçları değerlendirilirken, tüm kök yüzeyindeki krater hacimleri toplanarak "total krater hacmi" olarak kaydedildi. Tüm kök yüzeyinin yanı sıra kökün farklı yüzey ve seviyelerindeki rezorpsiyon kraterlerinin total hacimleri de hesaplandı. Buna göre bukkal, lingual, mesiyal ve distal olmak üzere dört yüzey, servikal üçlü, orta üçlü ve apikal üçlü olmak

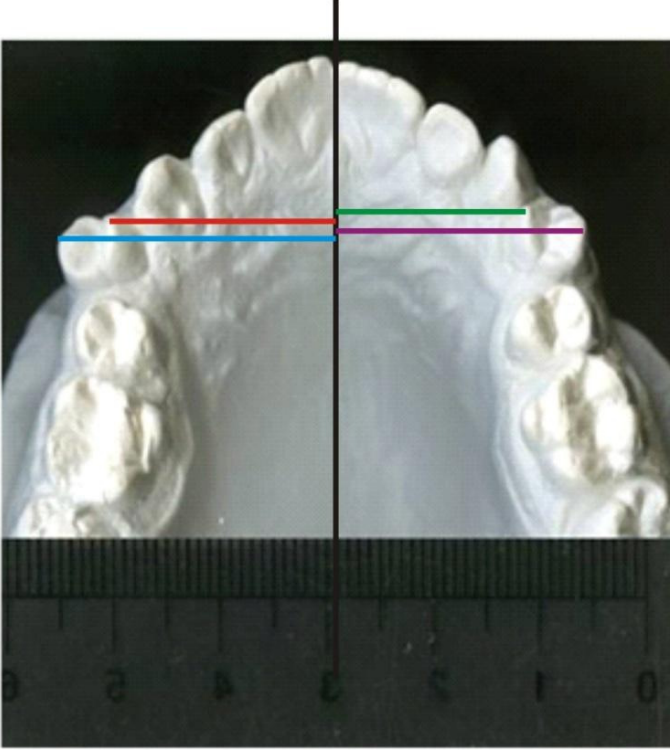
üzere üç seviye krater hacimlerinin lokalizasyona göre hesaplanmasında ayırıcı bölgeler olarak kullanıldı. Dört yüzey ve üç seviyenin kombinasyonları (bukkal servikal, bukkal orta, bukkal apikal, lingual servikal, lingual orta, lingual apikal, mezial servikal, mezial orta, mezial apikal, distal servikal, distal orta, distal apikal) şeklinde ayrıntılı lokalizasyon hesaplamaları da yapıldı.

### **3.4. Modeller Üzerinde Diş Hareket Miktarlarının Ölçülmesi**

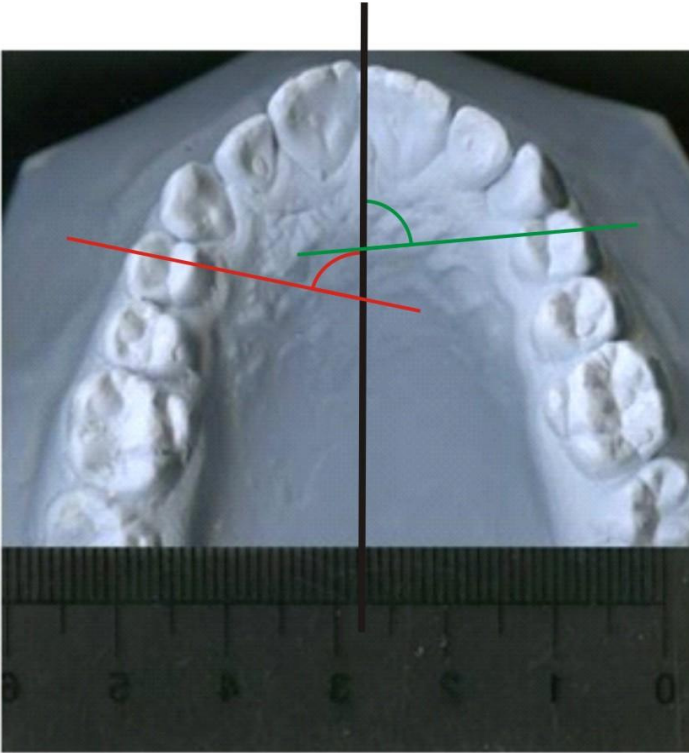
Devamlı ve kesik kuvvet uygulanan birinci premolar dişlerin bukkal hareketlerinin ölçümünde çalışma başlangıcında (0. hafta) ve sonunda (15. hafta) polivinil siloksan ölçü maddesi ile alınan ölçülerden elde edilen sert alçı (Vel-mix, Kerr, Orange, Calif) modeller kullanıldı. Alçı modeller üzerinde orta hattı belirlemek için sutura palatina mediana üzerinde en derin nokta ve bu noktanın 10 mm önünde ve arkasında üç adet nokta işaretlendi. Alçı modeller Epson Expresson 1600 renkli tarayıcı (Epson, Australia) ile 600 dpi'da 24 bit gri-skala da tarandı. Elde edilen görüntüler kâğıda basıldı.

Basılan görüntüler üzerinde daha önce işaretlenmiş olan noktalardan geçen referans düzlemleri oluşturuldu. Üst birinci premolar dişlerin bukkal tüberkül tepeleri ve lingual tüberkül tepelerinin rehber düzleme dik uzaklıkları ölçüldü (Şekil 5). Uygulama öncesi ve sonrası ölçümler arasındaki farklar bukkal diş hareketi olarak kaydedildi.

Bukkal diş hareketi sırasında meydana gelen rotasyonun ölçülmesinde premolar dişlerin bukkal ve lingual tüberküllerinden geçen düzlem ile referans düzlemi arasındaki açı ölçüldü (Şekil 6). Uygulama öncesi ve sonrası ölçümler arasındaki farklar rotasyon miktarı olarak kaydedildi.



Şekil 5. Diş hareketi miktarının ölçülmesi.



Şekil 6. Dişlerde meydana gelen rotasyon miktarının ölçülmesi.

### 3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Premolar dişlerin kök yüzeyinin tamamında ölçülen toplam rezorpsiyon hacmi ile kökün farklı yüzey (bukkal, lingual, mezial ve distal) ve farklı seviyelerinde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon hacimlerinin sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında karşılaştırılmasında Wilcoxon testi kullanıldı ( $P<0,05$ ). Daha detaylı değerlendirme için kökün farklı seviye ve yüzeylerinde (bukkal servikal, bukkal orta, bukkal apikal, lingual servikal, lingual orta, lingual apikal, mezial servikal, mezial orta, mezial apikal, distal servikal, distal orta, distal apikal) ölçülen rezorpsiyon hacimlerinin gruplar arasında karşılaştırılmasında da Wilcoxon testi kullanıldı ( $P<0,05$ ).

Kökün farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon hacimlerinin her iki grupta da grup içi karşılaştırılmasında Friedman testi ( $P<0,05$ ) ve post hoc karşılaştırma testi olarak, yanılma düzeyi aşağı çekilerek, Wilcoxon testi kullanıldı.

Sürekli ve kesikli kuvvet gruplarında kökün farklı yüzeylerinde farklı seviyelerde ölçülen rezorpsiyon hacimlerinin her iki grupta da grup içi karşılaştırılmasında Friedman testi kullanıldı ( $P<0,05$ ). Friedman testinin önemlilik gösterdiği durumlarda post hoc karşılaştırma testi olarak, yanılma düzeyi aşağı çekilerek, Wilcoxon testi uygulandı.

Bukkal diş hareketi ve rotasyon miktarlarının gruplar arasında karşılaştırılmasında Wilcoxon testi uygulandı ( $P<0,05$ ).

## 4. BULGULAR

### 4.1. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulaması İle Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması

Sürekli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde tüm kök yüzeyi, farklı yüzey (bukkal, lingual, mezial ve distal) ve farklı seviyelerde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 1’de gösterilmektedir.

Kesikli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde tüm kök yüzeyi, farklı yüzey (bukkal, lingual, mezial ve distal) ve farklı seviyelerde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 2’de sunulmaktadır.

Sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında tüm kök yüzeyi, farklı yüzey (bukkal, lingual, mezial ve distal) ve farklı seviyelerde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 3’de gösterilmektedir.

Kök yüzeyinde ölçülen toplam kök rezorpsiyonu miktarı sürekli kuvvet uygulanan grupta ortalama 0,787561 milimetreküp ( $\text{mm}^3$ ) kesikli kuvvet uygulanan grupta ise ortalama 0,639228  $\text{mm}^3$  bulunmuştur. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulundu ( $P<0,05$ ).

Sürekli kuvvet uygulanan grupta bukkal (0,220631  $\text{mm}^3$ ) ve lingual (0,035728  $\text{mm}^3$ ) yüzeylerde ölçülen rezorpsiyonun kesikli kuvvet grubunda bukkal (0,125077  $\text{mm}^3$ ) ve lingual (0,012509  $\text{mm}^3$ ) yüzeylerde ölçülen rezorpsiyondan daha fazla olduğu ve bu farkın istatistiksel olarak önemli olduğu izlendi ( $P<0,05$ ).

Köklerin orta üçlüsünde sürekli kuvvet uygulaması ile meydana gelen ortalama 0,340583  $\text{mm}^3$  rezorpsiyonun kesikli kuvvet uygulamasında meydana gelen ortalama 0,226890  $\text{mm}^3$  rezorpsiyondan istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla olduğu saptandı ( $P<0,01$ ).

Sürekli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 4’de gösterilmektedir.

Kesikli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 5’de sunulmaktadır.

Sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6’da gösterilmektedir.

Bukkal yüzey servikal, orta ve apikal üçlü olarak ayrılıp değerlendirildiğinde; bukkal servikal bölgede sürekli kuvvet uygulaması ile görülen ortalama rezorpsiyon miktarının ( $0,127862 \text{ mm}^3$ ) kesikli kuvvet ile görülen rezorpsiyon miktarından ( $0,082218 \text{ mm}^3$ ) daha fazla olduğu görüldü. Gruplar arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulundu ( $P<0,05$ ). Bukkal yüzeyin orta bölgesinde sürekli kuvvet ile görülen kök rezorpsiyonu miktarının ( $0,080426 \text{ mm}^3$ ) kesikli kuvvet grubunda izlenen rezorpsiyon miktarından ( $0,035119 \text{ mm}^3$ ) istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla olduğu izlendi ( $P<0,05$ ).

Lingual yüzeyin orta bölgesinde sürekli grupta görülen  $0,016640 \text{ mm}^3$  kök rezorpsiyonu kesikli kuvvet grubunda görülen  $0,001071 \text{ mm}^3$  rezorpsiyondan istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla bulundu ( $P<0,01$ ).

#### **4.2. Sürekli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerin Köklerinin Farklı Yüzey ve Seviyelerinde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması**

Tablo 7’de sürekli kuvvet uygulanan taraftaki dişlerin köklerinin farklı yüzeylerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Friedman testi yüzeyler arasında farklılık olduğunu gösterdi ( $P<0,01$ ).

Kökün bukkal, lingual, mezial ve distal yüzeyleri değerlendirildiğinde; en fazla kök rezorpsiyonu hacminin mezial bölgede ( $0,388049 \text{ mm}^3$ ) olduğu görüldü. Mezial yüzeyde izlenen rezorpsiyon hacminin bukkal ( $0,220631 \text{ mm}^3$ ), distal

(0,143152 mm<sup>3</sup>) ve lingual (0,035728 mm<sup>3</sup>) yüzeylerden istatistiksel olarak farklı olduğu bulundu. En az kök rezorpsiyon hacminin ölçüldüğü lingual yüzey ile bukkal ve distal yüzeyler arasındaki farkın önemli olduğu görüldü.

Tablo 8’de sürekli kuvvet uygulanan taraftaki dişlerin köklerinin farklı seviyelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Friedman testi seviyeler arasında farklılık olduğunu gösterdi (P<0,01).

Apikal üçlü bölgesinde gözlenen 0,113202 mm<sup>3</sup>’lük kök rezorpsiyonu miktarının hem servikal (0,333775 mm<sup>3</sup>) hem de orta üçlüde (0,340583 mm<sup>3</sup>) görülen rezorpsiyon miktarlarından anlamlı derecede az olduğu bulundu.

Sürekli kuvvet uygulaması ile her bir kök yüzeyinde (bukkal, mezial, lingual ve distal) meydana gelen rezorpsiyonun farklı seviyeler (servikal, orta ve apikal) arasında karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 9, 10, 11 ve 12 de sunulmaktadır.

Kökün bukkal yüzeyi servikal, orta ve apikal olarak ayrıldığında rezorpsiyon miktarının servikalden apikale doğru tedrici olarak azaldığı izlendi. Friedman testi bukkal yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğunu gösterdi (P<0,01). Bukkal yüzeyin üç seviyesi arasında istatistiksel olarak önemli farklar izlendi (Tablo 9).

Mezial yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğu izlendi (P<0,01). Bu farkın apikalde meydana gelen rezorpsiyon ile servikal ve orta bölgelerdeki rezorpsiyonlar arasında olduğu görüldü (Tablo 10).

Lingual yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğu izlendi (P<0,01). Lingual yüzeyin servikalinde meydana gelen rezorpsiyon ile orta ve apikal bölgelerdeki rezorpsiyon arasında istatistiksel olarak anlamlı fark izlendi (Tablo 11).

Distal yüzeyde servikal, orta ve apikal üçlüler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (Tablo 12).



### 4.3. Kesikli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerin Köklerinin Farklı Yüzey ve Seviyelerinde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Karşılaştırılması

Tablo 13’de kesikli kuvvet uygulanan taraftaki dişlerin köklerinin farklı yüzeylerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Friedman testi yüzeyler arasında farklılık olduğunu gösterdi ( $P<0,01$ ).

Kökün bukkal, lingual, mezial ve distal yüzeyleri değerlendirildiğinde; en fazla kök rezorpsiyonu hacminin mezial bölgede ( $0,372783 \text{ mm}^3$ ) olduğu görüldü. Mezial yüzeyde izlenen rezorpsiyon hacminin bukkal ( $0,125077 \text{ mm}^3$ ), distal ( $0,127777 \text{ mm}^3$ ) ve lingual ( $0,012509 \text{ mm}^3$ ) yüzeylerden istatistiksel olarak farklı olduğu bulundu. En az kök rezorpsiyon hacminin ölçüldüğü lingual yüzey ile bukkal ve distal yüzeyler arasındaki farkın önemli olduğu görüldü.

Tablo 14’de kesikli kuvvet uygulanan taraftaki dişlerin köklerinin farklı seviyelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarlarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Friedman testi seviyeler arasında farklılık olduğunu gösterdi ( $P<0,01$ ).

Apikal üçlü bölgesinde gözlenen  $0,150196 \text{ mm}^3$ ’lük kök rezorpsiyonu miktarının hem servikal ( $0,262142 \text{ mm}^3$ ) hem de orta üçlüde ( $0,226890 \text{ mm}^3$ ) görülen rezorpsiyon miktarlarından anlamlı derecede az olduğu bulundu.

Kesikli kuvvet uygulaması ile her bir kök yüzeyinde (bukkal, mezial, lingual ve distal) meydana gelen rezorpsiyonun farklı seviyeler (servikal, orta ve apikal) arasında karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 15, 16, 17 ve 18 de sunulmaktadır.

Kökün bukkal yüzeyi servikal, orta ve apikal olarak ayrıldığında rezorpsiyon miktarının servikalden apikale doğru tedrici olarak azaldığı izlendi. Friedman testi bukkal yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğunu gösterdi ( $P<0,01$ ). Bukkal yüzeyin üç seviyesi arasında istatistiksel olarak önemli farklar izlendi (Tablo 15).

Mezial yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğu izlendi ( $P<0,01$ ). Mezial yüzeyin apikalinde meydana gelen rezorpsiyonun ile servikal ve orta bölgelerdeki rezorpsiyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu (Tablo 16).

Lingual yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğu izlendi ( $P<0,01$ ). Lingual yüzeyin apikalinde meydana gelen rezorpsiyon ile servikal ve orta bölgelerdeki rezorpsiyon arasında istatistiksel olarak anlamlı fark izlendi (Tablo 17).

Distal yüzeyin farklı seviyeleri arasında fark olduğu izlendi ( $P<0,01$ ). Distal yüzeyde servikal ve orta üçlüler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulundu (Tablo 18).

#### **4.4. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulaması İle Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket Ve Rotasyonun Karşılaştırılması**

Sürekli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen bukkal diş hareketi ve rotasyona ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 19’da sunulmaktadır.

Kesikli kuvvet grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen bukkal diş hareketi ve rotasyona ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 20’de gösterilmektedir.

Sürekli ve kesikli kuvvet uygulanması ile oluşan bukkal hareket ve rotasyonun karşılaştırılması Tablo 21’de verilmektedir.

Bukkal hareketi ölçmek için bukkal tüberkül tepesinden yapılan ölçümde sürekli kuvvet uygulaması ile meydana gelen ortalama 3,91 mm hareket ile kesikli kuvvet uygulamasıyla ölçülen ortalama 2,44 mm hareket arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ( $P<0,01$ ).

Sürekli kuvvet uygulanan grupta gözlenen 5,47 mm lingual tüberkül hareketi ile kesikli kuvvet uygulanan grupta gözlenen 3,19 mm lingual tüberkül hareketi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ( $P<0,01$ ).

Premolar dişlerde görülen rotasyon hareketi açısından sürekli kuvvet uygulanan grupta görülen 25,76°’lik rotasyon, kesikli grupta gözlenen 14,64°’lik rotasyon hareketine göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla bulunmuştur ( $P<0,01$ ).

**Tablo 1.** Sürekli kuvvet grubunda kökün tüm yüzeyinde, farklı yüzeylerinde ve farklı seviyelerinde ölçülen toplam rezorpsiyon kraterlerinin hacimlerine (mm<sup>3</sup>) ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (n=25).

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Toplam krater	0,787561	0,122320	2,116380	0,087987	0,439935
Toplam bukkal	0,220631	0,013530	0,679410	0,034243	0,171215
Toplam lingual	0,035728	0,000000	0,173270	0,009559	0,047798
Toplam mezial	0,388049	0,029930	1,240990	0,060678	0,303393
Toplam distal	0,143152	0,020690	0,385950	0,021976	0,109884
Toplam servikal	0,333775	0,040350	1,145150	0,052307	0,261535
Toplam orta	0,340583	0,032180	0,770130	0,038667	0,193336
Toplam apikal	0,113202	0,005740	0,410630	0,020378	0,101890

**Tablo 2.** Kesikli kuvvet grubunda kökün tüm yüzeyinde, farklı yüzeyinde ve farklı seviyelerinde ölçülen toplam rezorpsiyon kraterlerinin hacimlerine (mm<sup>3</sup>) ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (n=25).

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Toplam krater	0,639228	0,084610	2,902370	0,114356	0,571780
Toplam bukkal	0,125077	0,002090	0,353770	0,017448	0,087242
Toplam lingual	0,012509	0,000000	0,073270	0,003728	0,018642
Toplam mezial	0,372783	0,049000	2,648770	0,100224	0,501122
Toplam distal	0,127777	0,000000	0,946320	0,038418	0,192091
Toplam servikal	0,262142	0,030660	0,693990	0,032843	0,164219
Toplam orta	0,226890	0,008350	0,695020	0,034166	0,170834
Toplam apikal	0,150196	0,000000	1,843360	0,072431	0,362159

**Tablo 3.** Sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında kökün tüm yüzeyinde, farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen toplam rezorpsiyon krater hacimlerinin ( $\text{mm}^3$ ) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.

	Sürekli kuvvet		Kesikli kuvvet		P
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	
Toplam krater	0,787561	0,439935	0,639228	0,571780	<b>0,025*</b>
Toplam bukkal	0,220631	0,171215	0,125077	0,087242	<b>0,019*</b>
Toplam lingual	0,035728	0,047798	0,012509	0,018642	<b>0,030*</b>
Toplam mezial	0,388049	0,303393	0,372783	0,501122	0,150
Toplam distal	0,143152	0,109884	0,127777	0,192091	0,231
Toplam servikal	0,333775	0,261535	0,262142	0,164219	0,264
Toplam orta	0,340583	0,193336	0,226890	0,170834	<b>0,005**</b>
Toplam apikal	0,113202	0,101890	0,150196	0,362159	0,443

\*  $P \leq 0,05$  \*\* $P \leq 0,01$

**Tablo 4.** Sürekli kuvvet grubunda kökün farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine (mm<sup>3</sup>) ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bulgular (n=25).

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Bukkal servikal	0,127862	0,004970	0,370950	0,019739	0,098698
Bukkal orta	0,080426	0,000000	0,308460	0,017740	0,088701
Bukkal apikal	0,012341	0,000000	0,123760	0,005587	0,027936
Lingual servikal	0,002345	0,000000	0,026770	0,001372	0,006861
Lingual orta	0,016640	0,000000	0,095540	0,005193	0,025969
Lingual apikal	0,016400	0,000000	0,099880	0,005566	0,027834
Meziyal servikal	0,165891	0,000000	0,747760	0,040598	0,202990
Meziyal orta	0,169229	0,000880	0,506690	0,028416	0,142082
Meziyal apikal	0,044938	0,000000	0,245330	0,013423	0,067118
Distal servikal	0,037686	0,000000	0,329010	0,014876	0,074383
Distal orta	0,066286	0,000000	0,250460	0,014773	0,073869
Distal apikal	0,039179	0,000000	0,154470	0,007535	0,037679

**Tablo 5.** Kesikli kuvvet grubunda kökün farklı yüzey ve farklı seviyelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine (mm<sup>3</sup>) ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bulgular (n=25).

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Bukkal servikal	0,082218	0,002090	0,312840	0,015385	0,076926
Bukkal orta	0,035119	0,000000	0,152090	0,008123	0,040616
Bukkal apikal	0,007738	0,000000	0,064330	0,003527	0,017638
Lingual servikal	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Lingual orta	0,001071	0,000000	0,011620	0,000605	0,003026
Lingual apikal	0,011437	0,000000	0,073270	0,003736	0,018680
Meziyal servikal	0,154866	0,000000	0,390250	0,021540	0,107702
Meziyal orta	0,123532	0,000000	0,695020	0,028412	0,142061
Meziyal apikal	0,094384	0,000000	1,770090	0,070447	0,352236
Distal servikal	0,024676	0,000000	0,300890	0,012837	0,064186
Distal orta	0,066591	0,000000	0,419300	0,019583	0,097919
Distal apikal	0,036509	0,000000	0,226140	0,010924	0,054622

**Tablo 6.** Sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında kökün farklı yüzey ve farklı bölgelerinde ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerinin ( $\text{mm}^3$ ) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.

	Sürekli kuvvet		Kesikli kuvvet		P
	Ortalama	Standart sapma	Ortalama	Standart sapma	
Bukkal servikal	0,127862	0,098698	0,082218	0,076926	<b>0,032*</b>
Bukkal orta	0,080426	0,088701	0,035119	0,040616	<b>0,044*</b>
Bukkal apikal	0,012341	0,027936	0,007738	0,017638	0,700
Lingual servikal	0,002345	0,006861	0,000000	0,000000	0,067
Lingual orta	0,016640	0,025969	0,001071	0,003026	<b>0,003**</b>
Lingual apikal	0,016400	0,027834	0,011437	0,018680	0,663
Meziyal servikal	0,165891	0,202990	0,154866	0,107702	0,777
Meziyal orta	0,169229	0,142082	0,123532	0,142061	0,165
Meziyal apikal	0,044938	0,067118	0,094384	0,352236	0,278
Distal servikal	0,037686	0,074383	0,024676	0,064186	0,212
Distal orta	0,066286	0,073869	0,066591	0,097919	0,676
Distal apikal	0,039179	0,037679	0,036509	0,054622	0,509

\*  $P \leq 0,05$  \*\*  $P \leq 0,01$



**Tablo 7.** Sürekli kuvvet uygulanan gruptaki premolar dişlerin köklerinin farklı yüzeylerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Bukkal Yüzey	Lingual Yüzey	Meziyal Yüzey
Lingual Yüzey	<b>0,000012***</b>		
Meziyal Yüzey	<b>0,005354*</b>	<b>0,000022***</b>	
Distal Yüzey	0,054374	<b>0,000239**</b>	<b>0,000733**</b>

**\*P<0,0083 \*\*P<0,0017 \*\*\*P<0,00017**

**Tablo 8.** Sürekli kuvvet uygulanan gruptaki premolar dişlerin köklerinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Servikal üçlü	Orta üçlü
Orta üçlü	0,427000	
Apikal üçlü	<b>0,000090***</b>	<b>0,000013***</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 9.** Sürekli kuvvet ile diş köklerinin bukkal yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Bukkal Servikal	Bukkal Orta
Bukkal Orta	<b>0,002064**</b>	
Bukkal Apikal	<b>0,000032***</b>	<b>0,001078**</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 10.** Sürekli kuvvet ile diş köklerinin mezial yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Mezial Servikal	Mezial Orta
Mezial Orta	0,637732	
Mezial Apikal	<b>0,000445**</b>	<b>0,000174***</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 11.** Sürekli kuvvet ile diş köklerinin lingual yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Lingual Servikal	Lingual Orta
Lingual Orta	<b>0,009725*</b>	
Lingual Apikal	<b>0,011322*</b>	0,868406

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 12.** Sürekli kuvvet ile diş köklerinin distal yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Distal Servikal	Distal Orta
Distal Orta	0,017719	
Distal Apikal	0,219232	0,231167

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 13.** Kesikli kuvvet uygulanan gruptaki premolar dişlerin köklerinin farklı yüzeylerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Bukkal Yüzey	Lingual Yüzey	Meziyal Yüzey
Lingual Yüzey	<b>0,000017***</b>		
Meziyal Yüzey	<b>0,000602**</b>	<b>0,000012***</b>	
Distal Yüzey	0,459336	<b>0,000174***</b>	<b>0,000808**</b>

**\*P<0,0083 \*\*P<0,0017 \*\*\*P<0,00017**

**Tablo 14.** Kesikli kuvvet uygulanan gruptaki premolar dişlerin köklerinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Servikal üçlü	Orta üçlü
Orta üçlü	0,253000	
Apikal üçlü	<b>0,000602*</b>	<b>0,001302*</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 15.** Kesikli kuvvet ile diş köklerinin bukkal yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Bukkal Servikal	Bukkal Orta
Bukkal Orta	<b>0,012814*</b>	
Bukkal Apikal	<b>0,000017***</b>	<b>0,001560**</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 16.** Kesikli kuvvet ile diş köklerinin mezial yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Mezial Servikal	Mezial Orta
Mezial Orta	0,067889	
Mezial Apikal	<b>0,000654**</b>	<b>0,005233*</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 17.** Kesikli kuvvet ile diş köklerinin lingual yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Lingual Servikal	Lingual Orta
Lingual Orta	0,157769	
Lingual Apikal	<b>0,001302**</b>	<b>0,008146*</b>

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 18.** Kesikli kuvvet ile diş köklerinin distal yüzeyinin servikal, orta ve apikal üçlü bölgelerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarının birbirine göre karşılaştırılması (Wilcoxon testi).

	Distal Servikal	Distal Orta
Distal Orta	<b>0,001471*</b>	
Distal Apikal	0,192434	0,071570

**\*P<0,017 \*\*P<0,0033 \*\*\*P<0,00033**

**Tablo 19.** Sürekli kuvvet uygulaması sonrası üst birinci premolar dişlerin bukkal hareketi (mm) ve rotasyonuna ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bulgular.

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Bukkal tüberkül	3,91	1,06	6,75	0,31	1,58
Lingual tüberkül	5,47	2,44	8,80	0,34	1,74
Rotasyon derecesi	25,76	5,00	49,00	2,18	10,94

**Tablo 20.** Kesikli kuvvet uygulaması sonrası üst birinci premolar dişlerin bukkal hareketi (mm) ve rotasyonuna ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bulgular.

	<b>Ortalama</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Standart hata</b>	<b>Standart sapma</b>
Bukkal tüberkül	2,44	0,66	4,90	0,20	1,04
Lingual tüberkül	3,19	1,28	6,23	0,25	1,28
Rotasyon derecesi	14,64	3,00	26,00	1,31	6,55

**Tablo 21.** Kuvvet uygulaması sonrası üst birinci premolar dişlerin bukkal hareketlerinin (mm) ve rotasyon miktarlarının gruplar arasında karşılaştırılması.

	<b>Sürekli kuvvet</b>		<b>Kesikli kuvvet</b>		<b>P</b>
	<b>Ortalama</b>	<b>Standart sapma</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Standart sapma</b>	
Bukkal tüb.	3,91	1,58	2,44	1,04	<b>0,0000182***</b>
Lingual tüb.	5,47	1,74	3,19	1,28	<b>0,0000002***</b>
Rotasyon	25,76	10,94	14,64	6,55	<b>0,0000055***</b>

\*\*\*  $P \leq 0,001$

## 5. TARTIŞMA

### 5.1. Birey ve Gruplar

Diş köklerini çevreleyen alveol kemik miktarının ve kortikal kemik kalınlığının oluşan kök rezorpsiyonu miktarı ile ilişkili olmadığı bildirilmesine (Otis ve ark., 2004) rağmen, kemik yoğunluklarındaki farklılığa bağlı olarak üst ve alt çenede diş hareket hızlarının birbirinden farklı olabileceği belirtilmiştir (Roberts, 2005). Çalışmamızda incelenmesi planlanan deneysel diş hareketinin ve elde edilen diş hareketi sonucunda oluşan kök rezorpsiyonunun sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için karşılaştırılan örneklerin aynı çenede olması istendi. Bu nedenle çift taraflı üst birinci premolar dişler çalışmaya dâhil edildi.

Birçok çalışmada anormal kök morfolojisinin kök rezorpsiyonu riskini arttırdığı izlenmiştir. (Levander ve Malmgren, 1988; Kjaer, 1995; Levander ve ark., 1998; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Oyama ve ark., 2007). Ortodontik kuvvetlerin uygulandığı dişlerin köklerinin normalden daha uzun yada kısa olmasının, dilasere olmasının veya pipet şeklinde olmasının kök rezorpsiyonu oluşma riskini artıran etkenler olduğu bildirilmiştir (Sameshima ve Sinclair, 2001a; Smale ve ark., 2005; Oyama ve ark., 2007; Marques ve ark., 2010). Çalışma öncesi alınan periapikal radyografilerde bahsi geçen durumlara ait bulgular tespit edilen bireyler çalışmaya dâhil edilmedi.

Üst kesici dişlerin dentisyondaki diğer dişlere oranla daha yüksek kök rezorpsiyonu riski barındırdıkları bildirilmiştir (Remington ve ark., 1989; Sameshima ve Sinclair, 2001a). Bu çalışmalar ışığında diş tipinin rezorpsiyon oluşumunda etken olabileceği düşünülebilir. Çalışmamızda, sadece birinci premolar dişleri değerlendirerek bu etkenin ortadan kaldırılmasına gayret edildi.

OOİKR ile cinsiyet arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalarda, kök rezorpsiyonu ile cinsiyet arasında belirgin bir ilişki bulunmadığını (Linge ve Linge, 1983; Harris ve ark., 1997; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Fritz ve ark., 2003), kadınların erkeklere oranla daha yüksek OOİKR riski taşıdıklarını (Kjaer, 1995; Horiuchi ve ark., 1998) veya erkeklerde OOİKR riskinin kadınlardan fazla olduğunu

(Newman, 1975; Spurrier ve ark., 1990; Baumrind ve ark., 1996) bildiren yayınlar mevcuttur. 2008 yılında Aras tarafından yapılan tez çalışmasında bireyleri gruplara yerleştirirken rastgele davranıldığı ancak cinsiyet dağılımında bir denge olmasına özen gösterildiği belirtilmiştir. Çalışmamıza bu dengenin korunmasına dikkat edilerek 11'i erkek 14'ü kız toplam 25 birey dâhil edildi.

Kök rezorpsiyonu oluşumunda tedavi sürecinde uygulanan işlemler dışında, etkin ve belirleyici olan faktörlerin de var olabileceği belirtilmektedir (Pizzo ve ark., 2007). Segal ve arkadaşları (2004) tarafında yapılan çalışmada kök rezorpsiyonuna maruz kalma riskinin farklı genetik yapıya sahip bireylerde farklılıklar gösterdiği bildirilmiştir. Yine aynı yönde bir görüş Abass ve Hartsfield, tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada dillendirilmiş ve çalışma sonucunda genetik özellikler ile kök rezorpsiyonu arasında güçlü bir bağlantının olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Weltman ve arkadaşları (2010) genetik özelliklerin kök rezorpsiyonu riskinde önemli ve belirleyici bir faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmamızda her bireyin sürekli kuvvet uygulanan premolar dişi pozitif kontrol olarak kabul edilerek bireysel farklılık oluşumunun engellemesi amaçlandı.

## **5.2. Sürekli ve Kesikli Kuvvet İle Oluşan Rezorpsiyon Miktarının Gruplar Arasında Karşılaştırılması**

Çalışmamızda sürekli kuvvet uygulanan grupta ölçülen toplam kök rezorpsiyonu miktarı kesikli kuvvet uygulanan grupta ölçülen toplam kök rezorpsiyonu miktarına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla bulundu.

Rygh 1977 yılında yayınlanan araştırmasında kuvvet uygulanmaya devam edildiği sürece rezorpsiyon sürecinin de devam ettiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada kuvvet uygulamasının durdurulmasının tamir olayının gerçekleşmesine olanak tanıdığı da bildirilmektedir.

Kuvvet uygulamasının kesildiği veya tedaviye ara verildiği durumlarda, sementte meydana gelen tamir olayına bağlı olarak daha az miktarda kök rezorpsiyonunun görüleceği değişik çalışmalarda belirtilmekte ve bu sebepten sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere nispetle daha fazla miktarda kök rezorpsiyonuna sebep

oldukları bildirilmektedir (Reitan 1964; Rygh 1977; Levander ve ark., 1994; Acar ve ark., 1999).

Owman-Moll ve arkadaşları (1995b) çalışmalarında değerlendirmeye tabi tuttıkları dişlerin köklerinde meydana gelen rezorpsiyonu histolojik inceleme yöntemini kullanarak değerlendirmişler ve sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede olmasa da daha fazla miktarda kök rezorpsiyonuna sebep olduğunu saptamışlardır. Çalışmada bireysel farklılıklar ile kök rezorpsiyonu miktarı arasında bir ilişki olabileceği ve bunun da sonuçları gölgeleyebileceği belirtilmiştir. Kullanılan 7 haftalık kuvvet uygulama süresinin kuvvet tipine bağlı olarak oluşabilecek kök rezorpsiyonu farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olabilmesi için yeterli olmayabileceği ifade edilmiştir. Daha uzun kuvvet uygulama süreçlerinin kuvvet tipinin kök rezorpsiyonu oluşumu üzerindeki etkisini açığa çıkarmada faydalı olabileceği bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda bireysel farklılıklar en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Carano ve Siciliani 1996 yılında yayınlanan çalışmalarında farklı kuvvet tiplerinin insan fibroblastları üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda yazarlar, sürekli tipte kuvvetlerin fibroblastların biyolojik aktivitelerini kaybetmelerine neden olduklarını, süreksiz tipte kuvvetlerin ise fibroblastların yenileyen tarzda biyolojik aktivitelerini geri kazanmalarına sebep olduklarını saptamışlardır. Çalışma sonucunda kesikli kuvvetlerin sürekli kuvvetlere oranla insan fibroblastlarının daha fazla kollajen sentezi yapmalarını sağladıkları sonucuna varılmıştır. Bizim çalışmamızda da kesikli kuvvet grubunda fibroblastların daha fazla kollajen sentezlediği düşünülebilir.

Acar ve arkadaşları (1999) 100 gr kuvvet kullandıkları, ilk grup dişe 9 hafta boyunca sürekli kuvvet ikinci gruba kesikli kuvvetleri yine aynı süre boyunca uyguladıkları çalışmalarında süreksiz kuvvetlerin daha az miktarda kök rezorpsiyonuna sebep olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada rezorpsiyonun lingual yüzeyin apikal seviyesinde ve bukkal yüzeyde yoğunlaştığı saptanmış ve bu bölgelerin basıncın fazla olduğu bölgeler olmasına dikkat çekilmiştir. Kuvvet uygulama süresinin kısaltılmasına paralel olarak kök rezorpsiyonu miktarının da azaldığı belirtilmiştir. Rezorpsiyon



kavitelerinde tamirin görülebilmesi için kuvvetin günlük 12 saat kesilmesinin yeterli olmadığı ifade edilmiş ve daha uzun sürelerin kullanıldığı yeni çalışmalara gereksinim olduğu bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda kuvvet daha uzun süreler kesilmiştir.

Sürekli ve kesikli kuvvet uygulama süreçlerinin kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda sürekli kuvvet uygulama süreçlerinin daha fazla kök rezorpsiyonu oluşturdukları sonucuna varılmıştır (Maltha ve Dijkman, 1996; Konoo ve ark., 2001).

Casa ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada ortodontik kuvvetlere bağlı basıncın görüldüğü bölgelerde klastik hücreler ve rezorpsiyon lakünaları görülmüştür. Çalışmada ayrıca kuvvet uygulama süresindeki artışa paralel olarak klastik hücre sayısının ve rezorpsiyonun lakünalarının boyutlarının da arttığı belirtilmiştir.

Kumasako-Haga ve arkadaşları (2009) çalışmalarında örnekleri 3 gruba ayırmış ve ilk gruba sürekli kuvvetler uygularken, ikinci gruba kesikli kuvvetler uygulamış ve üçüncü grubu ise kontrol amacıyla kullanmışlardır. Araştırmada kesikli kuvvet grubu ile kontrol grubunda oluşan kök rezorpsiyonu miktarının birbirinden farklı olmadığı saptanırken, sürekli kuvvet grubunda diğer gruplara oranla daha yüksek miktarlarda kök rezorpsiyonu tespit edilmiştir. Çalışmada kuvvet yönündeki bölgelerde bir başka ifadeyle periodontal ligamentin sıkıştığı alanlarda osteoklast sayısında artış izlenmiştir. Bizim çalışmamızda da kuvvet yönünde benzer bir artış oluşmuş olabilir.

Aras'ın 2008 yılında yaptığı tez çalışması, örnek olarak seçilen dişler, dişlere kuvvet uygulama mekaniği ve oluşan kök rezorpsiyonu miktarının tespitinde kullanılan yöntem bakımından çalışmamıza paralel olarak planlanmıştır. Çalışmada toplam rezorpsiyon miktarı parametresine göre sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlerden daha fazla kök rezorpsiyonuna sebep olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kökün bazı bölgelerinde rezorpsiyonun fazlaca görülmesinin diş hareket tipine bağlı olabileceği vurgulanmıştır. Kuvvetin uygulanma yönüne bağlı olarak, kökün bazı bölgelerinde yoğunlaşmasının rezorpsiyonun artmasında bir etken olabileceği belirtilmiştir.

Ballard ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yayınlanan çalışmada 225 gr kuvvet uygulanmış ve farklı aktivasyon süreleri kullanılmıştır. Örneklerin

değerlendirilmesinde çalışmamızla aynı yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere oranla istatistiksel olarak anlamlı miktarda fazla kök rezorpsiyonu oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada rezorpsiyonun fazlaca görüldüğü bölgelerin çoğunlukla basıncın yoğunlaştığı bölgeler olduğu belirtilmiş ve basınç rezorpsiyon ilişkisine dikkat çekilmiştir.

Çalışmamızda sürekli kuvvet uygulanan gruba ait dişlerin bukkal kök yüzeyinde saptanan rezorpsiyon miktarı kesikli kuvvet grubuna ait dişlerin bukkal kök yüzeyinde tespit edilen rezorpsiyon miktarından istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla bulundu. Kuvvet uygulama yönünde yer alan yüzey çalışmamızda bukkal yüzeydir. Bu sebepten kaynaklı basınca en fazla maruz kalan yüzeyinde bukkal yüzey olduğu düşünüldüğünde, sürekli kuvvet grubuna ait dişlerin bukkal yüzeyinde kesikli kuvvet uygulanan dişlerin bukkal yüzeyine oranla istatistiksel olarak anlamlı seviyede fazla rezorpsiyon görülmesi beklenen bir sonuçtur.

Çalışmamızda dişlerin lingual kök yüzeyinde ölçülen rezorpsiyon miktarı sürekli kuvvet grubunda kesikli kuvvet grubuna oranla istatistiksel olarak anlamlı derece fazla bulundu. Çalışmamızda uygulanan kuvvetin yönü ve hareketin tipi düşünüldüğünde bukkal yüzeyden sonra basınca en fazla maruz kalan yüzey lingual yüzeydir. Dolayısıyla sürekli kuvvet uygulaması ile kesikli kuvvet uygulaması arasındaki farklılığın bu yüzeyde de görülmesi beklenilmelidir.

Çalışmamızda köklerin mezial ve distal yüzeylerinde oluşan rezorpsiyon miktarları karşılaştırıldığında iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmedi. Gerek uygulanan kuvvet miktarı ve süresi gerekse de aktivasyon periyotları arasındaki farklılıklar bu yüzeylerde oluşan rezorpsiyon miktarındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmasını sağlayacak düzeyde olmayabilir. Bahsi geçen yüzeylerin her ikisinde de sürekli kuvvetlere bağlı olarak kesikli kuvvetlere oranla fazla miktarda rezorpsiyon olduğu saptandı. Bu sonucun oluşan diş hareket miktarındaki farklılık ile açıklanması mümkündür. Sürekli kuvvetlere maruz kalan dişler daha fazla hareket etmiş ve bunun sonucunda da böyle bir sonuçla karşılaşmış olabilir.

Çalışmamızda sürekli ve kesikli kuvvet grupları arasında servikal ve apikal üçlülerde meydana gelen rezorpsiyon miktarları karşılaştırıldığında iki grup arasında

istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmedi. Bu iki seviyede gruplar arasında istatistiksel farklılığın oluşmaması kullanılan kuvvet rejimlerinin bu seviyelerdeki etkisinin önemli düzeyde farklılıklar içermediği şeklinde yorumlanabilir. Değişik kuvvet uygulama rejimlerinin kullanıldığı çalışmaların yapılması durumunda bu seviyelerde de istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir farklılığının görülmesi muhtemeldir. Apikal üçlüde kesikli kuvvet grubunda fazla rezorpsiyon izlenmesi örneklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemle ilgili olarak kök kısılmalarının tespitinin mümkün olmaması ile açıklanabilir. Kullandığımız yöntem apikalde ki total madde kaybını ölçmemektedir. Muhtemelen kesikli kuvvet grubunda meydana gelen daha az kök kısılması ile bu bölgede daha fazla rezorpsiyon lakünası izlenebilir iken sürekli kuvvet grubunda daha fazla kök kısılması ve dolayısıyla daha fazla madde kaybı daha az rezorpsiyon lakünası izlenmesi ile sonuçlanmış olabilir.

Çalışmamızda köklerin orta üçlüsü değerlendirildiğinde sürekli kuvvet uygulamasının, kesikli kuvvet uygulamasına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla kök rezorpsiyonuna sebep olduğu belirlendi. Bukkal yüzeyin servikal ve orta üçlü bölgelerinde sürekli kuvvet grubunda kesikli kuvvet grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla miktarda kök rezorpsiyonu saptandı. Lingual yüzeyin orta üçlü bölgesinde sürekli kuvvet grubunda kesikli kuvvet grubuna oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla kök rezorpsiyonu bulundu.

Çalışmamızda sürekli kuvvet grubunda rezorpsiyonun servikal üçlüden orta üçlüye doğru kaydığı görüldü. Jimenez-Pellegrin ve Arana-Chavez (2004) çalışmalarında diş hareketi sırasında rezorpsiyon görülen kök bölgesi ile kök morfolojisi ilişkisine dikkat çekmişlerdir. Çalışmada köklerin orta seviyelerinin kök morfolojisi ve periodontal aralığın genişliğine bağlı olarak basınca maruz kalma ihtimalinin arttığı belirtilmiştir. Ortaya çıkan sonuçların bu durumla ilişkisi muhtemeldir. Kesikli kuvvet grubunda ise rezorpsiyonun servikal seviyede yoğunlaştığı görülmektedir. Bu veriler ışığında ortaya çıkan sonuçların uyumlu olduğu söylenebilir.

### 5.3. Sürekli ve Kesikli Kuvvet Uygulanan Premolar Dişlerde Meydana Gelen Rezorpsiyon Miktarının Grup İçi Karşılaştırılması

Çalışmamızda hem sürekli hem de kesikli kuvvet grubuna ait dişlerin apikal üçlü seviyesinde gözlenen kök rezorpsiyonu miktarı hem servikal hem de orta üçlü seviyesinde görülen rezorpsiyon miktarlarından anlamlı derecede az bulundu. Her iki grupta da dişlerin servikal üçlü seviyesinde görülen kök rezorpsiyonu miktarı, orta üçlü seviyesine göre az olmasına rağmen aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Çalışmamızda kuvvet uygulama prosedürü sonrasında kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde kullanılan yöntemin mevcut kraterlerin hacmini ölçtüğü düşünüldüğünde apikal bölgede meydana gelecek total bir madde kaybının ölçülmesi bu yöntemde mümkün değildir. Mevcut bilimsel gelişmişlik dişlerin çekilmeksizin mikrotomografilerinin alınmasını, dolayısıyla kuvvet uygulanmadan önce kök yüzeyinin incelenmesini mümkün kılmamaktadır. Bu sebepten dolayı apikal bölgedeki total madde kaybı değerlendirme dışı kalmakta, sadece mevcut rezorpsiyon kraterlerinin hacimsel ölçümü yapılabilmektedir. Bir başka ifadeyle kök boyundaki kısılma tespit edilememektedir. Ortaya çıkan sonuçların bahsi geçen konuyla ilişkisi muhtemeldir.

Çalışmamızda sürekli kuvvet uygulanmasında rezorpsiyon miktarı servikal ve orta seviyelerde birbirine yakın değerlerde görüldü. Sürekli kuvvet grubunda kuvvet uygulama periyodunun uzunluğu ve kuvvetin sürekli 150 gr dolaylarında tutulması sıkışmanın öncelikle bukkal servikal bölge ile lingual apikal bölgede yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu bölgelerde meydana gelen diş hareketi ve rezorpsiyonu takiben basıncın bukkal orta ve lingual orta bölgeye kayması olasıdır. Sementin fiziksel özelliklerinde ve mineral içeriğinde meydana gelen değişimlere bağlı olarak rezorpsiyonun genişleyeceği şeklinde hipotezlerin (Srivicharnkul ve ark., 2005) mevcudiyeti düşünüldüğünde, tespit edilen sonuçlarla bu hipotezin ilişkisi olasıdır. Ağır kuvvetlerin etkisi ile sıkışma bölgelerinde mineral kompozisyonunda artış gözlenmektedir (Rex ve ark., 2005). Mineralize dokuların rezorpsiyon hücrelerin akınına uğradığı belirtilmiştir ( Brudvik ve Rygh, 1993). Sürekli kuvvet grubunda sıkışma bölgelerinde kuvvet yığılımı (stres) yüksek seyretmektedir ve dolayısıyla hem servikal hem de orta seviyelerde rezorpsiyon hücrelerinin kümелendiği düşünülebilir.

Çalışmamızda kesikli kuvvet uygulamasında servikal seviyede görülen rezorpsiyon miktarının orta seviyeye oranla istatistiksel olarak farklı olmasa bile sürekli kuvvet uygulamasında görülenin aksine fazla olduğu tespit edildi. Oluşan bu farklılık kesikli kuvvet uygulamasında kuvvet etki süresinin sürekli kuvvetlere oranla daha az olmasıyla bağlantılı olabilir. Etkin kuvvetin az olmasına bağlı olarak sürekli kuvvet uygulamasının aksine rezorpsiyon süreci servikal seviyede yoğunlaşmakta, orta seviyeye yayılması daha az olmaktadır. Sürekli kuvvet uygulamasının daha fazla miktarda diş hareketine sebep olduğu değişik yayınlarda birçok kez belirtilmiştir (Gu ve ark., 1999; Kameyama ve ark., 2003; Weiland, 2003; Thilander ve ark., 2005; Aras, 2008). Orta bölgelerde rezorpsiyonun servikal bölgeye yakın bir değerde olmasının sebebi kök morfolojisi ve buna bağlı olarak periodontal aralığın genişliğinin orta seviyede servikal seviyeye oranla dar olması olarak belirtilebilir. Periodontal aralığın bu kum saati şeklindeki formunun (Nanci ve Bosshardt, 2006) orta seviyede basıncın artmasına neden olduğu (Jimenez-Pellegrin ve Arana-Chavez, 2004) ve bunun da orta seviyede kök rezorpsiyonunun artmasına sebep olduğu düşünülebilir. Elde edilen bulgular Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasıyla uyum göstermektedir.

Çalışmamızda hem sürekli hem de kesikli kuvvet grubunda kökün bukkal, lingual, mezial ve distal yüzeyleri değerlendirildiğinde; en fazla kök rezorpsiyonuna mezial yüzeyde rastlandı ve kökün diğer üç yüzeyiyle arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Her iki grupta da en az kök rezorpsiyonu ise lingual yüzeyde gözlemlendi ve diğer yüzeylerle arasındaki farklılıklar anlamlı bulundu. Her iki grupta da kuvvetlerin oluşturduğu kök rezorpsiyonunun mezial yüzeyde diğer yüzeylere oranla fazla olması temelde bu yüzeyin diğer yüzeylere oranla fazla hareket etmesiyle açıklanabilir. Ortodontik tedavinin süresi uzadıkça ve diş hareket miktarı arttıkça rezorpsiyon miktarının da arttığı (Dougherty 1968; Reitan 1974; Harry ve Sims, 1982; Brezniak ve Wasserstein, 1993; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Proffit ve ark., 2007) belirtilmiştir. Çalışmamızda uyguladığımız mekaniğe bağlı olarak dişlerin palatinalden vestibule ve anteriordan posteriora doğru hareket ettiği görüldü. Bu rotasyon hareketi, kök morfolojisi ve periodontal aralığın genişliği hesaba katıldığında (Jimenez-Pellegrin ve Arana-Chavez, 2004) ortaya çıkan sonuçlar mantıklı olabilir. Bu veriler ışığında çalışmada değerlendirilen premolar dişlerin en fazla mezial yüzeylerinde kuvvet yığılımı olduğu ve buna bağlı olarak da mezial yüzeyde diğer

yüzeyle oranla daha fazla rezorpsiyonun olduğu söylenebilir. İki grupta da lingual yüzeyde diğer yüzeylere oranla daha az rezorpsiyon görülmesi bu yüzeyin sıkışmadan daha çok gerilime maruz kalmasıyla açıklanabilir. Elde edilen bulgular Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasıyla uyum göstermektedir.

Çalışmamızda iki grupta da kökün bukkal yüzeyi bukkal servikal, bukkal orta ve bukkal apikal olarak 3 bölgeye ayrıldığında; rezorpsiyon miktarı çoktan aza doğru sırasıyla bukkal yüzeyin servikal, orta ve apikal bölgelerinde gözlemlendi, bu üç bölge aralarındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Bu sıralamaya kullanılan kuvvet uygulama mekaniğinin neden olduğu düşünülebilir. Çalışmamızdaki mekanik, temelde bukkale kontrolsüz tipping hareketine sebep olmaktadır. Kontrolsüz tipping hareketinde basınç kuvvet yönünde dişin direnç merkezinin koronalinde yoğunlaşmaktadır (Lindauer ve Britto, 2000; Chan ve Darendeliler, 2006; Proffit ve ark., 2007). Bu bilgiler ve veriler ışığında bukkal bölgede rezorpsiyonun apikalden servikale doğru artması basınç-rezorpsiyon ilişkisiyle açıklanabilir. Elde edilen bulgular Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Çalışmamızda her iki grupta da lingual yüzey servikal, orta ve apikal olarak ayrıldığında ise; orta ve apikal bölgelerdeki rezorpsiyon miktarları arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamsız iken; servikal bölgede gözlenen kök rezorpsiyonu miktarı apikal ve orta üçlülere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede az bulundu. Lingual yüzeyin değişik seviyelerindeki bölgeler değerlendirildiğinde, gruplarda en az rezorpsiyonun lingual servikal bölgesinde görülmesi bu bölgede gerilme oluşurken diğer bölgelerde sıkışma meydana gelmesiyle açıklanabilir. Gruplar da lingual apikal bölge ile lingual orta bölgede oluşan rezorpsiyonun birbirine yakın değerlerde saptanmasında kontrolsüz tipping hareketinin ve periodontal aralığın orta bölgede daha dar olmasının etken olduğu düşünülebilir. Elde edilen bulgular Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Çalışmamızda hem sürekli kuvvet hem de kesikli kuvvet gruplarında mezial yüzey servikal, orta ve apikal üçlü olarak ayrıldığında; mezial servikal ve mezial orta bölgelerdeki kök rezorpsiyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaz iken; mezial apikal bölgedeki kök rezorpsiyonu miktarı diğer iki bölgeye göre

istatistiksel olarak anlamlı derecede az bulundu. Rezorsiyon miktarlarının apikale doğru azalması bu bölgede hareket tipinin meydana getirdiği daha az kuvvet yığılımı ile açıklanabilir. Kök morfolojisi ve periodontal aralığın genişliğinin de bu bölgede daha az rezorpsiyon oluşmasında bir etken olduğu düşünülebilir. Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasında sürekli kuvvet uygulanan dişlerde mezial yüzeyin değişik seviyelerindeki bölgelerini değerlendirmiş ve en az rezorpsiyonun mezial apikal bölgede görüldüğü belirtilmiştir.

Çalışmamızda sürekli kuvvet grubunda distal yüzey distal servikal, distal orta ve distal apikal olarak ayrıldığında, kök rezorpsiyonu miktarı en fazla distal orta bölgede, en az ise distal servikal bölgede bulundu ancak farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Distal yüzeyin değişik seviyelerindeki bölgelerde oluşan rezorpsiyon miktarlarının birbirinden istatistiksel olarak farklı olmaması distal yüzeyin değişik seviyelerinde oluşan hareket miktarları ve maruz kalınan basınç miktarları arasındaki farkın aşırı miktarda olmaması sonucu oluştuğu düşünülebilir.

Çalışmamızda kesikli kuvvet grubunda distal yüzey servikal, orta ve apikal üçlü seviyelerine ayrılarak değerlendirildiğinde; en fazla kök rezorpsiyonu orta bölgede saptanırken, en az kök rezorpsiyonu, ise servikal üçlü bölgesinde tespit edildi. Rezorpsiyon miktarları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Distal yüzeyin değişik seviyelerindeki bölgelerde oluşan rezorpsiyon miktarlarının birbirinden istatistiksel olarak farklılık göstermesi çok düşük miktarlardaki rezorpsiyonunun karşılaştırılması sonucunda ulaşılmış bir saptamadır. Distal servikal bölgede hiç rezorpsiyon gözlenmezken distal orta bölgede en fazla kök rezorpsiyonun izlenmesi tipping ve rotasyon hareketine bağlı olarak basıncın bu bölgede yoğunlaşması ile açıklanabilir. Elde edilen bulgular Aras tarafından 2008 yılında yapılan tez çalışmasında elde edilen bulgular ile paralellik göstermektedir.

#### **5.4. Üst Birinci Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket Miktarının Karşılaştırılması**

Çalışmamızda bukkal tüberkül hareketi, lingual tüberkül hareketi ve rotasyon miktarı parametreleri değerlendirildiğinde sürekli kuvvet uygulamasının kesikli kuvvet

uygulamasına oranla istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla diş hareketine neden olduğu görüldü.

Owman-Moll ve arkadaşları (1995b) yaptıkları çalışmada üst premolar dişlerinin bukkale tipping hareket miktarları ile kuvvet tipi arasındaki ilişkiyi incelemişler ve çalışma sonucunda sürekli kuvvetlerin diş hareketi oluşturmada daha etkin olduğu sonucuna varmışlardır.

Gu ve arkadaşları (1999) diş hareketi, kök rezorpsiyonu, osteoklast sayısı ve kuvvet aktivasyon periyodu arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri çalışmalarında, belirli aktivasyon periyodunda kuvvet seviyesini başlangıç değerlerinde tutmanın diş hareket miktarının artmasına sebep olduğunu saptamışlardır. Bu araştırmadan yola çıkarak çalışmamızdaki sürekli kuvvet grubunda kuvvet seviyesini belirli bir düzeye yakın tutmanın diş hareket miktarının artmasına sebep olduğu sonucuna varılabilir.

Kameyama ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan çalışmada değerlendirdikleri örnekleri 4 gruba ayırmışlar uyguladıkları kuvvetleri günlük 0, 1, 4 ve 9 saat boyunca kestiklerini belirtmişlerdir. Araştırmada sürekli kuvvet uygulanan ve kuvvetin günlük 1 saat boyunca kesildiği gruplarda saptanan diş hareket miktarının kuvvetin günlük 9 saat boyunca kesildiği gruba oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde fazla olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda diş hareket miktarının günlük kuvvet kesilme süresi arttıkça azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında çalışmamızdaki sonuçlar değerlendirildiğinde bizim çalışmamızda da kuvvetin kesilmesinin diş hareket miktarında azalmaya neden olması mantıklı olabilir.

Weiland tarafından 2003 yılında yapılan çalışma da 27 bireye (10 erkek, 17 kız) ait 84 adet premolar diş değerlendirilmiştir. Çalışmada 8 adet premolar diş kontrol grubu olarak ayrılmış ve prosedür öncesi çekilmiştir. Çalışmada bir taraftaki dişlere kuvvet seviyesinin sürekli 0.8–1 Newton (1 Newton; 101,97 grama eşdeğerdir) değerleri arasında tutulmasına olanak tanıyan mekaniklerle kuvvet uygulanırken diğer taraftaki dişlere her 4 haftada bir aktivasyon gerektiren ve aktivasyon sonrası 1 Newton'luk kuvvetin hızla azaldığı mekaniklerle kuvvet uygulanmıştır. Çalışma sonucunda kuvvetin sürekli belirli bir değerde tutulduğu tarafta ki dişlerde diğer taraftaki dişlere oranla daha fazla diş hareketi elde edilmiştir. Bu çalışma ışığında



kuvvetin aktivasyon sürelerinin yanında aktivasyon periyotları arasındaki değerinin de dış hareket miktarını etkileyen önemli bir faktör olduğu sonucu çıkarılabilir. Bizim çalışmamızda aktivasyon seansları arasında kesikli kuvvet grubunda kuvvetin 1 hafta süresince sıfırlandığı düşünüldüğünde elde edilen sonuçların mantıklı olduğu söylenilebilir.

Çalışmamızda elde edilen dış hareket miktarı ile kuvvet tipi arasındaki ilişkiye dair sonuçlar Aras tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Aras çalışmasında bireysel farklılıklardan bahsetmiş ve bunun dış hareket miktarının oluşumunda önemli bir etken olabileceğini belirtmiştir. Çalışmamızda bir tarafta sürekli kuvvet uygulanan dişler pozitif kontrol olarak kabul edilerek bireysel farklılık oluşumu engellenmeye çalışılmıştır.

### **5.5. Kuvvet Tipi, Kök Rezorpsiyonu Miktarı ve Dış Hareket Miktarı Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi**

Çalışmamızda değerlendirmeye tabi tutulan sürekli kuvvet ve kesikli kuvvet uygulamaları kök rezorpsiyonu riski bakımından birbirinden farklılık arz etmekte ve sürekli kuvvet uygulamaları bu riski artırmaktadır. Bir başka ifadeyle sabit ortodontik tedavi pratiğinde kesikli kuvvet uygulamasının biyolojik hasar oluşturma bakımından daha güvenli olduğu (Kumasako-Haga ve ark., 2009) söylenebilir. Bu sonucun ortaya çıkmasında kesikli kuvvetlerin sement tamirine izin vermesinin (Rygh 1977) bir etken olduğu düşünülebileceği gibi prosedür süresince kesikli kuvvet grubunun da etkin kuvvet miktarının düşük seyretmesinin rezorpsiyonun yayılmasını azalttığı (Weiland, 2003) şeklinde bir görüşte kabul edilebilir.

Dış hareket miktarıyla kuvvet tipi arasındaki bağlantı incelendiğinde kesikli kuvvet uygulamasında daha az miktarda dış hareketi (Weiland, 2003; Kameyama ve ark., 2003) saptanmıştır. Bir başka ifadeyle sürekli kuvvetler kesikli kuvvetlere oranla klinik olarak daha etkindirler.

Burada değerlendirilmesi gereken diğer bir ilişki ise kök rezorpsiyonu ile dış hareket miktarı arasındaki ilişkidir. Sabit ortodonti pratiğinin düzenlenmesinde ulaşılması planlanan hedef; sıfır ya da en azından minimum düzeyde kök rezorpsiyonu

oluştururken maksimum diş hareketinin minimum sürede elde edilmesidir. Çalışmamızda diş hareket miktarı arttıkça kök rezorpsiyonu miktarının arttığı ve kök rezorpsiyonunun yayıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka ifadeyle kök rezorpsiyonu riskinin azaltılması konusu ile diş hareketi miktarının artırılması konularında ayrı ayrı ilerleme kaydedilmesine rağmen bu iki istenilen durumun kombinasyonu konusunda yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Çalışmamızda kullanılan aktivasyon süreci, kuvvet miktarı, hareket tipi ile bahsi geçen konunun ilişkisi (Acar ve ark., 1999) muhtemeldir. Bu parametrelerde ki farklılıkların yeni çalışmalarda incelenmesinin ulaşılması planlanan hedeflere yaklaşmada önem arz ettiği (Ballard ve ark., 2009) ifade edilebilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sabit ortodontik tedavi pratiğinde kullanılan sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin araştırılması hedeflenen çalışmamızda şu sonuçlar elde edildi.

1. Sürekli kuvvet uygulamasında ölçülen toplam rezorpsiyon miktarı kesikli kuvvet uygulamasında ölçülen toplam rezorpsiyon miktarına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede fazla bulundu.
2. Kökün değişik yüzeyleri ve değişik seviyeleri değerlendirildiğinde bukkal ve lingual yüzeyler ile orta üçlüde sürekli kuvvet uygulamasının kesikli kuvvet uygulamasına oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha fazla rezorpsiyona sebep olduğu bulunurken apikal üçlüde tersi bir durum saptandı.
3. Köklerin değişik yüzeylerinin değişik seviyelerinin değerlendirilmesi sonucunda sürekli kuvvet uygulamasına bağlı olarak kesikli kuvvet uygulamasına oranla rezorpsiyonun daha fazla yayılma eğiliminde olduğu bulundu.
4. Çalışmamızdaki kuvvet uygulama prosedürü sınırları içerisinde sürekli kuvvetlerin kesikli kuvvetlere oranla daha fazla kök rezorpsiyonu riski yarattıkları görüldü.
5. Dişlerde meydana gelen diş hareketi değerlendirildiğinde sürekli kuvvet uygulamasının kesikli kuvvet uygulamasına oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha fazla diş hareketine sebep olduğu bulundu. Bir başka ifadeyle kesikli kuvvetler diş hareketi açısından daha az etkindi.
6. Kuvvet tipi, kök rezorpsiyonu ve diş hareket miktarı arasındaki ilişkinin tam olarak anlaşılabilmesi ve en az kök rezorpsiyonu ile en fazla diş hareketinin elde edilebileceği optimum kuvvet süresi için değişik kuvvet uygulama sürelerinin kullanıldığı yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

7. Çalışmamızda rezorpsiyon kraterlerinin hacmi ölçülerek değerlendirme yapılmıştır. Rezorpsiyonun tipini ve şiddetini belirleyen diğer bir etkeninde krater derinliği olduğu düşünüldüğü yeni çalışmalarda bu parametrenin değerlendirilmesi konuya yeni bir bakış açısı getirecektir.
8. Kök rezorpsiyonun ölçüm ve değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin gelişmesi özellikle mikro-tomografilerin insan üzerinde zarar oluşturmaksızın kullanılabilmesi bu konunun tam olarak aydınlanmasında kilit rol oynayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abass, S.K., Hartsfield, J.K. (2007). Orthodontics and external apical root resorption. *Seminars in Orthodontics*, **13** (4), 246-256.
- Acar, A., Canyürek, U., Kocaaga, M., Erverdi, N. (1999). Continuous vs. discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthodontist*, **69** (2), 159-163.
- Adachi, H., Igarashi, K., Mitani, H., Shinoda, H. (1994). Effects of topical administration of a bisphosphonate (risedronate) on orthodontic tooth movements in rats. *Journal of Dental Research*, **73** (8), 1478-1486.
- Aras, B. (2008). Sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin karşılaştırılması. *Doktora Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Ari-Demirkaya, A., Masry, M.A., Erverdi, N. (2005). Apical root resorption of maxillary first molars after intrusion with zygomatic skeletal anchorage. *Angle Orthodontist*, **75** (5), 761-767.
- Ashcraft, M.B., Southard, K.A., Tolley, E.A. (1992). The effect of corticosteroid-induced osteoporosis on orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **102** (4), 310-319.
- Ballard, D.J., Jones, A.S., Petocz, P., Darendeliler, M.A. (2009). Physical properties of root cementum: part 11. Continuous vs intermittent controlled orthodontic forces on root resorption. A microcomputed-tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **136** (1), 8.e1-8.
- Barbagallo, L.J., Jones, A.S., Petocz, P., Darendeliler, M.A. (2008). 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **133** (2), 218-227.
- Barber, A.F., Sims, M.R. (1981). Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *American Journal of Orthodontics*, **79** (6), 630-652.
- Bates, S. (1856). Absorption. *British Journal of Dental Science*, **1**, 256-259.
- Baumrind, S., Korn, E.L., Boyd, R.L. (1996). Apical root resorption in orthodontically treated adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **110** (3), 311-320.
- Becks, H. (1936). Root resorptions and their relation to pathological bone formation. *International Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, **22** (5), 445-482.

- Becks, H., Marshall, J.A. (1932). Resorption or absorption? *Journal of American Dental Association*, **18**, 1528-1537.
- Blake, M., Woodside, D.G., Pharoah, M.J. (1995). A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and Speed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **108** (1), 76-84.
- Brezniak, N., Wasserstein, A. (1993). Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **103** (2), 138-146.
- Brezniak, N., Wasserstein, A. (2002a). Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. *Angle Orthodontist*, **72** (2), 175-179.
- Brezniak, N., Wasserstein, A. (2002b). Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *Angle Orthodontist*, **72** (2), 180-184.
- Brin, I., Ben-Bassat, Y., Heling, I., Engelberg, A. (1991). The influence of orthodontic treatment on previously traumatized permanent incisors. *European Journal of Orthodontics*, **13** (5), 372-377.
- Brin, I., Tulloch, J.F., Koroluk, L., Philips, C. (2003). External apical root resorption in class II malocclusion: a retrospective review of 1- versus 2-phase treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **124** (2), 151-156.
- Brouwers, J.E., van Rietbergen, B., Huiskes, R. (2007). No effects of in vivo micro-CT radiation on structural parameters and bone marrow cells in proximal tibia of wistar rats detected after eight weekly scans. *Journal of Orthopaedic Research*, **25** (10), 1325-1332.
- Brudvik, P., Rygh, P. (1993). The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament. *European Journal of Orthodontics*, **15** (4), 249-263.
- Brudvik P., Rygh, P. (1994). Multi-nucleated cells remove the main hyalinized tissue and start resorption of adjacent root surfaces. *European Journal of Orthodontics*, **16** (4), 265-273.
- Brudvik, P., Rygh, P. (1995). The repair of orthodontic root resorption: an ultrastructural study. *European Journal of Orthodontics*, **17** (3), 189-198.
- Carano, A., Siciliani, G. (1996). Effects of continuous and intermittent forces on human fibroblasts in vitro. *European Journal of Orthodontics*, **18** (1), 19-26.
- Casa, M.A., Faltin, R.M., Faltin, K., Arana-Chavez, V.E. (2006). Root resorption on torqued human premolars shown by tartrate-resistant acid phosphatase histochemistry and transmission electron microscopy. *Angle Orthodontist*, **76** (6), 1015-1021.

- Casa, M.A., Faltin, R.M., Faltin, K., Sander, F.G., Arana-Chavez, V.E. (2001). Root resorptions in upper first premolars after application of continuous torque moment. Intra-individual study. *Journal of Orofacial Orthopedics*, **62** (4), 285-295.
- Chan, E.K., Darendeliler, M.A. (2004). Exploring the third dimension in root resorption. *Orthodontics & Craniofacial Research*, **7** (2), 64-70.
- Chan, E., Darendeliler, M.A. (2005). Physical properties of root cementum: Part 5. Volumetric analysis of root resorption craters after application of light and heavy orthodontic forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **127** (2), 186-195.
- Chan, E., Darendeliler, M.A. (2006). Physical properties of root cementum: part 7. Extent of root resorption under areas of compression and tension. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. **129** (4), 504-510.
- Copeland, S., Green, L.J. (1986). Root resorption in maxillary central incisors following active orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*, **89** (1), 51-55.
- Darendeliler, M.A., Kharbanda, O.P., Chan, E.K., Srivicharnkul, P., Rex, T., Swain, M.V. ve diğeri. (2004). 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. *Orthodontics & Craniofacial Research*, **7** (2), 79-97.
- Davidovitch, Z. (1991). Tooth Movement. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*, **2** (4), 411-450.
- Davidovitch, Z., Krishnan, V. (2009). Role of basic biological sciences in clinical orthodontics: a case series. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **35** (2), 222-231.
- Davis, G.R., Wong, F.S.L. (1996). X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiological Measurement*, **17** (3), 121-146.
- Dellinger, E.L. (1967). A histologic and cephalometric investigation of premolar intrusion in the *Macaca speciosa* monkey. *American Journal of Orthodontics*, **53** (5), 325-355.
- Dermaut, L.R., De Munck, A. (1986). Apical root resorption of upper incisors caused by intrusive tooth movement: a radiographic study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **90** (4), 321-326.
- Dougherty, H.L. (1968). The effect of mechanical forces upon the mandibular buccal segments during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics*, **54** (2), 83-103.

- Drysdale, C., Gibbs, S.L., Ford, T.R. (1996). Orthodontic management of root-filled teeth. *British Journal of Orthodontics*, **23** (3), 255-260.
- El-Bialy, T., El-Shamy, I., Graber, T.M. (2004). Repair of orthodontically induced root resorption by ultrasound in humans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **126** (2), 186-193.
- Erverdi, N., Okar, I., Küçükkeles, N., Arbak, S. (1994). A comparison of two different rapid palatal expansion techniques from the point of root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **106** (1), 47-51.
- Engström, C., Granström, G., Thilander, B. (1988). Effect of orthodontic force on periodontal tissue metabolism. A histologic and biochemical study in normal and hypocalcemic young rats. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **93** (6), 486-495.
- Faltin, R.M., Arana-Chavez, V.E., Faltin, K., Sander, F.G., Wichelhaus, A. (1998). Root resorptions in upper first premolars after application of continuous intrusive forces. Intra-individual study. *Journal of Orofacial Orthopedics*, **59** (4), 208-219.
- Faltin, R.M., Faltin, K., Sander, F.G., Arana-Chavez, V.E. (2001). Ultrastructure of cementum and periodontal ligament after continuous intrusion in humans: a transmission electron microscopy study. *European Journal of Orthodontics*, **23** (1), 35-49.
- Fritz, U., Diedrich, P., Wiechmann, D. (2003). Apical root resorption after lingual orthodontic therapy. *Journal of Orofacial Orthopedics*, **64** (6), 434-442.
- Giannopoulou, C., Dudic, A., Montet, X., Kiliaridis, S., Mombelli, A. (2008). Periodontal parameters and cervical root resorption during orthodontic tooth movement. *Journal of Clinical Periodontology*, **35** (6), 501-506.
- Goldie, R.S., King, G.J. (1984). Root resorption and tooth movement in orthodontically treated, calcium-deficient, and lactating rats. *American Journal of Orthodontics*, **85** (5), 424-430.
- Goultschin, J., Nitzan, D., Azaz, B. (1982). Root resorption. Review and discussion. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology*, **54** (5), 586-590.
- Gu, G., Lemery, S.A., King, G.J. (1999). Effect of appliance reactivation after decay of initial activation on osteoclasts, tooth movement, and root resorption. *Angle Orthodontist*, **69** (6), 515-522.
- Hamilton, R.S., Gutmann, J.L. (1999). Endodontic-orthodontic relationships: a review of integrated treatment planning challenges. *International Endodontic Journal*, **32** (5), 343-360.



- Harris, E.F., Kineret, S.E., Tolley, E.A. (1997). A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **111** (3), 301-309.
- Harris, D.A., Jones, A.S., Darendeliler, M.A. (2006). Physical properties of root cementum: part 8. Volumetric analysis of root resorption craters after application of controlled intrusive light and heavy orthodontic forces: a microcomputed tomography scan study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **130** (5), 639-647.
- Harris, E.F. (2000). Root resorption during orthodontic therapy. *Seminars in Orthodontics*, **6** (3), 183-194.
- Harris, E.F., Baker, W.C. (1990). Loss of root length and crestal bone height before and during treatment in adolescent and adult orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **98** (5), 463-469.
- Harris, E.F., Butler, M.L. (1992). Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior open bites. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **101** (2), 112-119.
- Harry, M.R., Sims, M.R. (1982). Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. *Angle Orthodontist*, **52** (3), 235-258.
- Heasman, P.A., Millett D.T., Chapple, I.L., (1996). *The Periodontium and Orthodontics in Health and Disease*, **First Ed.**, Oxford Medical Publications New York, USA.
- Hendrix, I., Carels, C., Kuijpers-Jagtman, A.M., Van 'T Hof M. (1994). A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **105** (4), 345-349.
- Horiuchi, A., Hotokezaka, H., Kobayashi, K. (1998). Correlation between cortical plate proximity and apical root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **114** (3), 311-318.
- Ishiguro, K., Nakagaki, H., Takeuchi, K., Mukai, M., Yoshioka, I., Miyauchi, K. ve diğ erleri. (1994). Distribution of fluoride in the dental tissues and their supporting mandibular bone from the same individual. *Archives of Oral Biology*, **39** (6), 535-537.
- Janson, G.R., De Luca Canto, G., Martins, D.R., Henriques, J.F., De Freitas, M.R. (2000). A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **118** (3), 262-273.
- Jimenez-Pellegrin, C., Arana-Chavez, V.E. (2004). Root resorption in human mandibular first premolars after rotation as detected by scanning electron microscopy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **126** (2), 178-184.

- Kameyama, T., Matsumoto, Y., Warita, H., Soma, K. (2003). Inactivated periods of constant orthodontic forces related to desirable tooth movement in rats. *Journal of Orthodontics*, **30** (1), 31-37.
- Kameyama, Y., Nakane, S., Maeda, H., Fujita, K., Takesue, M., Sato, E. (1994). Inhibitory effect of aspirin on root resorption induced by mechanical injury of the soft periodontal tissues in rats. *Journal of Periodontal Research*, **29** (2), 113-117.
- Ketcham, A.H. (1927). A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *The International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography*, **13** (2), 97-127.
- Kjaer, I. (1995). Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. *European Journal of Orthodontics*, **17** (1), 25-34.
- Kook, Y.A., Park, S., Sameshima, G.T. (2003). Peg-shaped and small lateral incisors not at higher risk for root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **123** (3), 253-258.
- Konoo, T., Kim, Y.J., Gu, G.M., King, G.J. (2001). Intermittent force in orthodontic tooth movement. *Journal of Dental Research*, **80** (2), 457-460.
- Krishnan, V., Davidovitch, Z. (2006). Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **129** (4), 469.e1-32.
- Kumasako-Haga, T., Konoo, T., Yamaguchi, K., Hayashi, H. (2009). Effect of 8-hour intermittent orthodontic force on osteoclasts and root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **135** (3), 278.e1-278.e8.
- Kuperstein, R. (2005). External apical root resorption of the maxillary central incisor in anterior open bite malocclusion. In: Jacobson, A. (2005). Book reviews and article abstracts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **127** (3), 393-394.
- Kurol, J., Owman-Moll, P., Lundgren, D. (1996). Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **110** (3), 303-310.
- Küçükkeleş, N., Okar, I. (1994). Root resorption and pulpal changes due to intrusive force. *Journal of Marmara University Dental Faculty*, **2** (1), 404-408.
- Laux, M., Abbott, P.V., Pajarola, G., Nair, P.N. (2000). Apical inflammatory root resorption: a correlative radiographic and histological assessment. *International Endodontic Journal*, **33** (6), 483-493.

- Leach, H.A., Ireland, A.J., Whaites, E.J. (2001). Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *British Dental Journal*, **190** (1), 16-22.
- Lee, R.Y., Artun, J., Alonzo, T.A. (1999). Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **116** (2), 187-195.
- Levander, E., Malmgren, O. (1988). Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. *European Journal of Orthodontics*, **10** (1), 30-38.
- Levander, E., Malmgren, O., Eliasson, S. (1994). Evaluation of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimes. A clinical experimental study. *European Journal of Orthodontics*, **16** (3), 223-228.
- Levander, E., Malmgren, O., Stenback, K. (1998). Apical root resorption during orthodontic treatment of patients with multiple aplasia: a study of maxillary incisors. *European Journal of Orthodontics*. **20** (4), 427-434.
- Lindauer, S.J., Britto A.D. (2000). Biological response to biomechanical signals: orthodontic mechanics to control tooth movement. *Seminars in Orthodontics*. **6** (3), 145-154.
- Lindhe, J., Karring, T., Lang N.P. (2003). *Clinical Periodontology and Implant Dentistry*, **Fourth Ed.**, Blackwell Germany.
- Linge, B.O., Linge, L. (1983). Apical root resorption in upper anterior teeth. *European Journal of Orthodontics*, **5** (3), 173-183.
- Linge, L., Linge, B.O. (1991). Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **99** (1), 35-43.
- Liu, L., Igarashi, K., Haruyama, N., Saeki, S., Shinoda, H., Mitani, H. (2004). Effects of local administration of clodronate on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *European Journal of Orthodontics*, **26** (5), 469-473.
- Lu, L.H., Lee, K., Imoto, S., Kyomen, S., Tanne, K. (1999). Histological and histochemical quantification of root resorption incident to the application of intrusive force to rat molars. *European Journal of Orthodontics*, **21** (1), 57-63.
- Mah, J., Prasad, N. (2004). Dentine phosphoproteins in gingival crevicular fluid during root resorption. *European Journal of Orthodontics*, **26** (1), 25-30.
- Maltha J.C., Dijkman, G.E.H.M. (1996). Discontinuous forces cause less extensive root resorption than continuous forces. *European Journal of Orthodontics. Abstract of lectures*, **18** (4), 420.

- Marques, L.S., Ramos-Jorge, M.L., Rey, A.C., Armond, M.C., de Oliveira Ruellas, A.C. (2010). Severe root resorption in orthodontic patients treated with the edgewise method: prevalence and predictive factors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **137** (3), 384-388.
- Marshall, J.A. (1931). The relation of malnutrition to dental pathology. *The International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography*, **17** (6), 527-551.
- Massler M., Malone A.J. (1954). Root resorption in human permanent teeth: A roentgenographic study. *American Journal of Orthodontics*. **40** (8), 619-633.
- Mavragani, M., Vergari, A., Selliseth, N.J., Bøe, O.E., Wisth, P.L. (2000). A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with a standard edgewise and a straight-wire edgewise technique. *European Journal of Orthodontics*, **22** (6), 665-674.
- McNab, S., Battistutta, D., Taverne, A., Symons, A.L. (1999). External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **116** (5), 545-551.
- McNab, S., Battistutta, D., Taverne, A., Symons, A.L. (2000). External apical root resorption following orthodontic treatment. *Angle Orthodontist*, **70** (3), 227-232.
- Mirabella, A.D., Artun, J. (1995). Prevalence and severity of apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *European Journal of Orthodontics*, **17** (2), 93-99.
- Mulie, R.M., Hoeve, A.T. (1976). The limitations of tooth movement within the symphysis, studied with laminagraphy and standardized occlusal films. *Journal of Clinical Orthodontics*, **10** (12), 882-893.
- Nanci, A. (2003). *Ten Cate's Oral Histology : Development, Structure, and Function*, **Seventh Ed.**, Mosby St. Louis, Missouri, USA.
- Nanci, A., Bosshardt, D.D. (2006). Structure of periodontal tissues in health and disease. *Periodontology 2000*. **40** (1), 11-28.
- Newman, W.G. (1975). Possible etiologic factors in external root resorption. *American Journal of Orthodontics*, **67** (5), 522-539.
- Newman, M.G., Takei, H., Klokkevold, P.R., Caranza, F.A. (2002). *Carranza's Clinical Periodontology*, **Ninth Ed.**, Saunders New York, USA.
- Nishioka, M., Ioi, H., Nakata, S., Nakasima, A., Counts, A. (2006). Root resorption and immune system factors in the Japanese. *Angle Orthodontist*, **76** (1), 103-108.
- Ong, C.K., Walsh, L.J., Harbrow, D., Taverne, A.A., Symons, A.L. (2000). Orthodontic tooth movement in the prednisolone-treated rat. *Angle Orthodontist*, **70** (2), 118-125.

- Oppenheim, A. (1936). Biologic orthodontic therapy and reality. *Angle Orthodontist*, **6** (3), 153-183.
- Otis, L.L., Hong, J.S., Tuncay, O.C. (2004). Bone structure effect on root resorption. *Orthodontics & Craniofacial Research*. **7** (3), 165-177.
- Ottolengui, R. (1914). The physiological and pathological resorption of tooth roots. *Dental Items of Interest*, **36**, 332-362.
- Owman-Moll, P., Kurol, J., Lundgren, D. (1995a). Repair of orthodontically induced root resorption in adolescents. *Angle Orthodontist*, **65** (6), 403-408.
- Owman-Moll, P., Kurol, J., Lundgren, D. (1995b). Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. *Angle Orthodontist*, **65** (6), 395-401.
- Owman-Moll, P., Kurol, J. (1998). The early reparative process of orthodontically induced root resorption in adolescents--location and type of tissue. *European Journal of Orthodontics*, **20** (6), 727-732.
- Owman-Moll, P., Kurol, J., Lundgren, D. (1996). Effects of a doubled orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An inter-individual study in adolescents. *European Journal of Orthodontics*, **18** (2), 141-150.
- Oyama, K., Motoyoshi, M., Hirabayashi, M., Hosoi, K., Shimizu, N. (2007). Effects of root morphology on stress distribution at the root apex. *European Journal of Orthodontics*, **29** (2), 113-117.
- Papaconstantinou, S. (2004). Metabolic Profile of Orthodontic Patients Exhibiting Root Resorption: An Assessment of the Biologic Predisposition Hypothesis. In: *Risk Management in Orthodontics: Experts' Guide to Malpractice*, First Edition, Ed(s), Graber, T.M., Eliades, T. and Athanasiou, A.E. Quintessence Publishing Co., China, 47-59.
- Parker, R.J., Harris, E.F. (1998). Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **114** (6), 677-683.
- Phillips, J.R. (1955). Apical Root Resorption Under Orthodontic Therapy. *Angle Orthodontist*, **25** (1), 1-22.
- Pizzo, G., Licata, M.E., Guiglia, R., Giuliana, G. (2007). Root resorption and orthodontic treatment. Review of the literature. *Minerva Stomatologica*, **56** (1-2), 31-44.
- Poumpros, E., Loberg, E., Engström, C. (1994). Thyroid function and root resorption. *Angle Orthodontist*, **64** (5), 389-393.

- Proffit, W.R., Fields, H.W., Sarver, D.M. (2007). *Contemporary Orthodontics*, **Fourth Ed.** Mosby Elsevier St. Louis, Missouri, USA.
- Reitan, K. (1964). Effects of force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types. *Angle Orthodontist*, **34 (4)**, 244-255.
- Reitan, K. (1974). Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthodontist*, **44 (1)**, 68-82.
- Remington, D.N., Joondeph, D.R., Artun, J., Riedel, R.A., Chapko, M.K. (1989). Long-term evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **96 (1)**, 43-46.
- Rex, T., Kharbanda, O.P., Petocz, P., Darendeliler, M.A. (2005). Physical properties of root cementum: Part 4. Quantitative analysis of the mineral composition of human premolar cementum. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **127 (2)**, 177-185.
- Roberts, W.E. (2005). Bone Physiology, Metabolism, and Biomechanics in Orthodontic Practice. In: *Orthodontics: Current Principles and Techniques*, Fourth Edition, Ed(s), Graber T.M., Vanarsdall R.L., Vig, K.W.L. Mosby Elsevier, St. Louis, Missouri, USA, 221-292.
- Rygh, P. (1977). Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthodontist*, **47 (1)**, 1-16.
- Sameshima, G.T., Asgarifar, K.O. (2001). Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthodontist*, **71 (3)**, 185-189.
- Sameshima, G.T., Sinclair, P.M. (2001a). Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **119 (5)**, 505-510.
- Sameshima, G.T., Sinclair, P.M. (2001b). Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **119 (5)**, 511-515.
- Schroeder, H.E. (1986). *The Periodontium*, **First Ed.** Springer-Verlag Berlin, Germany.
- Segal, G.R., Schiffman, P.H., Tuncay, O.C. (2004). Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthodontics & Craniofacial Research*, **7 (2)**, 71-78.
- Seifi, M., Eslami, B., Saffar, A.S. (2003). The effect of prostaglandin E2 and calcium gluconate on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *European Journal of Orthodontics*, **25 (2)**, 199-204.

- Sekhavat, A.R., Mousavizadeh, K., Pakshir, H.R., Aslani, F.S. (2002). Effect of misoprostol, a prostaglandin E1 analog, on orthodontic tooth movement in rats. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **122** (5), 542-547.
- Sharpe, W., Reed, B., Subtelny, J.D., Polson, A. (1987). Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **91** (3), 252-258.
- Sismanidou, C., Hilliges, M., Lindskog, S. (1996). Healing of the root surface-associated periodontium: an immunohistochemical study of orthodontic root resorption in man. *European Journal of Orthodontics*, **18** (5), 435-444.
- Smale, I., Artun, J., Behbehani, F., Doppel, D., van't Hof, M., Kuijpers-Jagtman, A.M. (2005). Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **128** (1), 57-67.
- Smith, N.H. (1978). Monostotic Paget's disease of the mandible presenting with progressive resorption of the teeth. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology*, **46** (2), 246-253.
- Spurrier, S.W., Hall, S.H., Joondeph, D.R., Shapiro, P.A., Riedel, R.A. (1990). A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **97** (2), 130-134.
- Sreeja, R., Minal, C., Madhuri, T., Swati, P., Vijay W. (2009). A scanning electron microscopic study of the patterns of external root resorption under different conditions. *Journal of Applied Oral Science*, **17** (5), 481-486.
- Sringkarnboriboon, S., Matsumoto Y., Soma, K. (2003). Root resorption related to hypofunctional periodontium in experimental tooth movement. *Journal of Dental Research*, **82** (6), 486-490.
- Srivicharnkul, P., Kharbanda, O.P., Swain, M.V., Petocz, P., Darendeliler, M.A. (2005). Physical properties of root cementum: Part:3. Hardness and elastic modulus after application of light and heavy forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **127** (3), 168-176.
- Stenvik, A., Mjör, I.A. (1970). Pulp and dentine reactions to experimental tooth intrusion. A histologic study of the initial changes. *American Journal of Orthodontics*, **57** (4), 370-385.
- Stock, S.R. (1999). X-ray microtomography of materials. *International Materials Reviews*, **44** (4), 141-166.
- Stuteville, O.H. (1938). Injuries caused by orthodontic forces and the ultimate results of these injuries. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, **24** (2), 103-116.

- Tangney, N.J. (1979). Hypophosphatasia: a case report and literature review. *Irish Medical Journal*, **72** (12), 530-531.
- Ten Hoeve, A., Mulie, R.M. (1976). The effect of antero-postero incisor repositioning on the palatal cortex as studied with laminagraphy. *Journal of Clinical Orthodontics*, **10** (11), 804-822.
- Thilander, B., Rygh P., Reitan, K. (2005). Tissue Reactions in Orthodontics. In: *Orthodontics: Current Principles and Techniques*, Fourth Edition, Ed(s), Graber T.M., Vanarsdall R.L., Vig, K.W.L. Mosby Elsevier, St. Louis, Missouri, USA, 145-219.
- Weiland, F. (2003). Constant versus dissipating forces in orthodontics: the effect on initial tooth movement and root resorption. *European Journal of Orthodontics*, **25** (4), 335-342.
- Weltman, B., Vig, K.W., Fields, H.W., Shanker, S., Kaizar, E.E. (2010). Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, **137** (4), 462-476.
- White, S.C., Pharoah, M.J. (2000). *Oral Radiology: Principals and Interpretation*, **Fourth Ed.** Mosby St Louis, Missouri, USA.
- Wickwire, N.A., Mc Neil, M.H., Norton, L.A., Duell, R.C. (1974). The effects of tooth movement upon endodontically treated teeth. *Angle Orthodontist*, **44** (3), 235-242.
- Wierzbicki, T., El-Bialy, T., Aldaghreer, S., Li, G., Doschak, M. (2009). Analysis of orthodontically induced root resorption using computed tomography (Micro-CT). *Angle Orthodontist*, **79** (1), 91-96.
- Williams, S. (1984). A histomorphometric study of orthodontically induced root resorption. *European Journal of Orthodontics*, **6** (1), 35-47.
- Wolf H.F., Rateitschak, E. M., Rateitschak K. H., Hassell, T.M., (2004). *Color Atlas of Dental Medicine*, **Third Ed.** Thieme, New York, USA.
- Woo, D.G., Ko, C.Y., Lee, T.W., Kim, H.S., Lee, B.Y. (2006). Long-term study for the effect of ovariectomy on rat bone-use of in-vivo micro-CT *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*. **11** (2), 239-242.
- Vardimon, A.D., Graber, T.M., Voss, L.R., Lenke, J. (1991). Determinants controlling iatrogenic external root resorption and repair during and after palatal expansion. *Angle Orthodontist*, **61** (2), 113-122.
- Villa, P.A., Oberti, G., Moncada, C.A., Vasseur, O., Jaramillo, A., Tobón, D. ve diğerleri. (2005). Pulp-dentine complex changes and root resorption during intrusive orthodontic tooth movement in patients prescribed nabumetone. *Journal of Endodontics*, **31** (1), 61-66.



EK-1

ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ  
ETİK KURUL BAŞKANLIĞI

Sayı: EK:276

16.10.2007

Sayın Banu ARAS

Etik kurulumuza sunmuş olduğunuz "Sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine etkilerinin karşılaştırılması" başlıklı OMÜ Etik 2007/ 146 Karar nolu ilaç dışı araştırma projeniz ile ilgili değerlendirme çalışmaları sonuçlandırılmıştır.

Projeniz amaç, gerekeç, yaklaşım ve yöntemle ilgili açıklamalarınızı dikkate alarak değerlendirilmiş olup, OMÜ Tıp Fakültesi Etik Kurul yönergesinin 5. maddesi gereği sorumluluk araştırmacılara ait olmak üzere ve 6 ayda bir etik kurula bilgi verilerek etik yönden uygulanabilir olduğuna araştırma tamamlandıktan sonra sonucunun etik kurulumuza bildirilmesi gereğine 08.10.2007 tarihli etik kurulumuzda oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinize rica ederim.



Prof. Dr. Yüksel KESİM  
Etik Kurul Başkanı

**Eki1.** Altı aylık bildirim formu  
**2.** Sonuç Raporu

## **HASTA OLUR (MUVAFAKAT) FORMU ÖRNEĞİ**

Kliniğimizde, üst diş arklarında küçük azı diş çekimi gerektirecek şiddette dişsel çapraşıklık ya da aykırılığa sahip hastaların, hafif ve nispeten ağır kuvvetlerin uygulanacağı boşluk kapama mekanikleri yardımıyla gerçekleştirilecek sabit ortodontik yöntemlerle tedavisini amaçlayan bir çalışma başlatmış bulunuyoruz. Bu çalışma, uygulamaların gelişimine ışık tutacaktır.

Çalışmaya katılmayı kabul eden hastalarımızdan, tedavi için bize başvurdukları seansta, teşhise yönelik ortodontik modeller, fotoğraflar ve radyografiler alınacaktır. Bu kayıtlar incelenip değerlendirildikten sonra çalışma için uygun hastalara ve ebeveynlere çalışmada yapılacak tedavi ve diğer alternatif tedavi yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılacak ve uygulamayı kabul eden hastalar araştırmaya dâhil edilecektir. Uygulanacak bu yöntemin süresi yaklaşık 6 aydır. Bu süreden sonra araştırma sonlandırılacak ve hastaların rutin ortodontik tedavilerine devam edilecektir.

Gönüllünün uygulama sırasında karşılaşılabileceği rahatsızlıklar ve riskler minimaldir. Bu minimal riskler sabit ortodontik tedaviler sırasında her olguda görülebilen kök rezorpsiyonları ve interseptal kemik kayıplarıdır. Muhtemel zarar durumunda gönüllünün veya yakınının bilgi için iletişim kuracağı kişi; Dt. Nurhat ÖZKALAYCI'dır.

Araştırmaya katılmak tamamen hastamızın kendi rızasıyla olacak ve hastaya bir yükümlülük getirmeyecektir. Hastalar araştırma başladıktan sonra devam etmek istememe hakkına sahiptir.

60 gönüllü bireyin kullanılacağı çalışmada, çalışmayı bitirme ve aktif tedavide kooperasyon problemi olan hastayı çalışma dışı bırakma yetkisi araştırmacıya ait olacaktır

Yukarıda gönüllüye araştırmadan önce verilmesi gereken bilgileri gösteren metni okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklama yapıldı. Bu koşullarla söz konusu olan klinik araştırmayı kendi rızamla, hiçbir baskı altında kalmadan ve zorlama olmaksızın kabul ediyorum.

### **Gönüllünün**

Adı-Soyadı:

İmzası :

Adresi :

Tel :

### **Velayet ve vesayet altında bulunanlar için veli veya vasisinin**

Adı-Soyadı:

İmzası :

Adresi :

Tel :

### **Açıklamaları yapan araştırmacının**

Adı-Soyadı:

İmzası :

## ÖZGEÇMİŞ

1981 Sinop doğumluyum. İlköğrenimimi Samsun Karaman Köyü İlkokulu, Kars Akoluk Köyü İlkokulu ve Sinop Kapandüzü Köyü İlkokulu'nda, Ortaokulu Kastamonu İnebolu İlköğretim Okulu ve Sinop Atatürk İlköğretim Okulu'nda tamamladım. Liseyi Sinop Atatürk Lisesi'nde (İngilizce Ağırlıklı Süper Lise) tamamladım. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi'nde başladığım yüksek öğrenimimi 2005 yılında tamamladım. Eylül 2005'de Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda doktora yapmaya hak kazandım. Şubat 2008'de doktora yeterlilik sınavımı geçtim. Halen Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda tez çalışmalarına devam etmekteyim.

Yabancı dilim İngilizcedir.

Dt. Nurhat ÖZKALAYCI.