



T.C.

**ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN MİNİVİDA
DESTEKLİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLERLE
SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

DT. SÜMEYYE GÜLER

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ALİ YAVAN

ADYAMAN, 2023



T.C.

**ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI**

**MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN MİNİVİDA
DESTEKLİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLERLE
SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

DT. SÜMEYYE GÜLER

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ALİ YAVAN

YARDIMCI TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. NİHAL HAMAMCI

ADYAMAN, 2023

Bu tez çalışması Adiyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından DHFDUP/2022-0001 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Adıyaman Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalında Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali YAVAN danışmanlığında Dt. Sümeyye GÜLER tarafından hazırlanan “**Maksiller Gömülü Kanin Dişlerin Minivida Destekli ve Konvansiyonel Yöntemlerle Sürdürülmesinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi**” adlı tez çalışması **16/01/2023** tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonrası tarafımızca yapılan değerlendirme sonucu jürimiz tarafından Ortodonti Anabilim Dalında Uzmanlık Tezi olarak başarılı bulunmuş ve kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali YAVAN
Tez Danışmanı

Jüri Üyesinin Ünvanı/Adı/Soyadı:

İmza:

Başkan : Prof. Dr. Mehmet İrfan KARADEDE

Üye : Prof. Dr. Yasin ÇİÇEK

Üye : Prof. Dr. Nihal HAMAMCI

Üye : Doç. Dr. Bilal EGE

Üye (Tez Danışmanı) : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali YAVAN

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım

Prof. Dr. Cüneyt YILMAZER
Diş Hekimliği Fakültesi
Dekan V.

ÖZET

MAKSİLLER GÖMÜLÜ KANİN DİŞLERİN MİNİVİDA DESTEKLİ VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLERLE SÜRDÜRÜLMESİNİN SONLU ELEMENLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Sümeyye GÜLER

Ortodonti Anabilim Dalı

Adıyaman Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, 01/2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali YAVAN

Yardımcı Danışman: Prof. Dr. Nihal HAMAMCI

Bu çalışmanın amacı gömülü kanin dişin iki farklı ankraj mekaniği (iskeletsel ve dişsel) yardımıyla sürdürülmesi sırasında oluşan kuvvet ve stres dağılımının sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesidir.

Çalışmamızda sonlu elemanlar analizi kullanılarak iki farklı modelleme yapılmıştır. İki modelde de gömülü kanin diş, maksiller palatinal bölgede sol tarafta orta hat ile 45° açı yapacak şekilde modellenmiştir. Birinci modelde sol tarafta maksiller palatinal bölgeye 1,5x8 mm titanyum mini vida; ikinci modelde birinci molar dişler arasına çengel eklenerek modifiye edilmiş transpalatal ark yerleştirilmiştir. Birinci modelde mini vidadan, ikinci modelde TPA üzerindeki çengelden gömülü kanin dişe Ni-Ti sarmal yaylar kullanılarak 100 g kuvvet uygulanmıştır.

Birinci modelde kuvvet doğrudan uygulanmadığı için dişlerde oluşan gerilmelerin çok düşük değerlerde olduğu, ikinci modelde ise sol birinci molar ve premolar dişlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Mini vidada gözlenen en yüksek Von Mises stresi, mini vidanın boyun bölümünde oluşmuştur. İkinci modelde en fazla yer değiştirme maksiller sol kadranda dişlerinde gözlenirken, birinci modelde maksiller dişlerde yer değiştirme miktarı neredeyse sıfırdır. İkinci modelde sol birinci molarlarda meziopalatinal rotasyon, sol kadranda mezial hareket ve her iki modelde de gömülü kanin dişte distal hareket gözlenmiştir.

Birinci modelde mini vida herhangi bir dişsel etki oluşturmada mutlak ankraj sağlarken, ikinci modelde TPA maksiller arkı üç boyutlu olarak kontrol etmede yeterli olamayabilir.

Anahtar Kelimeler: Gömülü kanin; Mini vida; Sonlu elemanlar analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MAXILLARY IMPACTED CANINE ERUPTION WITH THE AID OF TWO MINISCREW-SUPPORTED AND CONVENTIONAL METHODS WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS

Sümeyye GÜLER

Department of Orthodontics

Adıyaman University, The Faculty of Dentistry, 01/2023

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali YAVAN

The aim of this study was to examine the force and stress distributions caused by eruption of the impacted canine via two different anchor mechanics (skeletal and dental) with finite element analysis.

Two different models were created using finite element analysis. In both models, the impacted canine is modeled in the maxillary palatal region on the left side. The angle of canine was 45° with the midline. In the first model, 1,5x8 mm titanium miniscrew was placed to the maxillary palatal region on the left side. In the second model, a modified transpalatal arch (TPA) between the first molar teeth by adding a hook was modelled. 100 g of force was applied from the mini-screw in the first model and from the hook on the TPA in the second model to the impacted canine by Ni-Ti spiral springs.

In the first model, the compressive and tensile stresses were almost zero since the force was not applied directly and in the second model, the stress concentrated in the first molars and the premolars on the left side. In the first model, the maximum Von Mises stress was observed in the cervix of the miniscrews due to the direct application of the force to the miniscrews. The greatest displacement was observed in the maxillary left quadrant teeth in the second model and while the displacements in the maxillary teeth in the first model was almost zero. Mesio palatal rotation in the left first molar, mesial movement in the left quadrant were observed in the second model and distal movement in the impacted canine was found in both models.

In the first model, the mini screw provided an absolute anchorage without any adverse dental effect, while TPA may not be sufficient to control the maxillary arch in the three dimension.

Keywords: Impacted canine; Mini screw; Finite element analysis

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Adıyaman Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Sümeyye GÜLER

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Gömülü Maksiller Kanin Dişler	3
2.1.1. Gömülü maksiller kanin dişlerin prevalansı.....	4
2.1.2. Gömülü maksiller kanin dişlerin etiyolojisi	4
2.1.2.1. Lokalize nedenler	4
2.1.2.2. Sistemik nedenler	5
2.1.2.3. Genetik nedenler	5
2.1.3. Maksiller kanin dişlerin gömülü kalması ile ilgili teoriler.....	5
2.1.3.1. Uzun erüpsiyon yolu.....	5
2.1.3.2. Çapraşıklık	5
2.1.3.3. Süt kanin dişin kökünün rezorbe olmaması.....	5
2.1.3.4. Travma	6
2.1.3.5. Rehberlik teorisi.....	6
2.1.3.6. Heredite	6

2.1.4. Maksiller kanin dişlerin gömülü kalması ile oluşabilecek komplikasyonlar	7
2.1.4.1. Kist oluşumu.....	7
2.1.4.2. Kron rezorpsiyonu	7
2.1.4.3. Ark boyunun azalması	8
2.1.4.4. Keser dişlerde kök rezorpsiyonu	8
2.1.5. Gömülü maksiller kanin dişlerin teşhisi.....	9
2.1.5.1. Klinik muayene	9
2.1.5.2. Radyografik muayene	10
2.1.6. Gömülü maksiller kanin dişlerin tedavisi	14
2.1.6.1. Gömülü kanin dişin ortodontik olarak sürdürülmesi	16
2.1.6.2. Uygun aksiyal eğime sahip olmayan gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi	17
2.1.6.3. Gömülü kanin dişin sürdürülmesinde kullanılan cerrahi teknikler	18
2.1.6.4. Gömülü kanin dişlerin sürdürülmesinde kullanılan mekanikler	19
2.1.7. Gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında oluşabilecek komplikasyonlar	22
2.1.8. Gömülü maksiller kanin dişlerin tedavi sonrası periodontal durumu	23
2.2. Gömülü Kanin Dişlerin Sürdürülmesi Sırasında Ankraj	24
2.2.1. Ankrajın güçlendirilmesi	24
2.2.2. İskeletsel ankraj	25
2.2.2.1. Mini vida ile iskeletsel ankraj	25
2.3. Kuvvet Analiz Yöntemleri	28
2.3.1. Sonlu elemanlar analizi.....	29
2.3.1.1. Sonlu elemanlar analizi ile ilgili kavramlar	29

2.3.1.2. Sonlu elemanlar analizinin aşamaları	32
2.3.1.3. Sonlu elemanlar analizi yönteminin avantajları ve dezavantajları	34
2.3.1.4. Sonlu elemanlar analizinin ortodontide kullanımı.....	35
2.3.1.5. Konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalar	35
3. MATERYAL VE METOT.....	37
3.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması	37
3.1.1. Maksillanın modellenmesi	37
3.1.2. Mini vidanın modellenmesi.....	39
3.1.3. Transpalatal arkın modellenmesi	40
3.1.4. Dişlerin ve periodontal ligamentin modellenmesi	40
3.1.5. Braketler ve tüplerin modellenmesi	42
3.1.6. Ark teli, yay ve butonun modellenmesi	42
3.2. Matematiksel Modelin Oluşturulması.....	43
3.2.1. Materyal özelliklerinin tanımlanması	43
3.2.2. Sınır koşulları.....	44
3.3. Modellerin Oluşturulması.....	44
3.3.1. Birinci modelin oluşturulması	45
3.3.2. İkinci modelin oluşturulması	46
4. BULGULAR.....	48
4.1. Birinci Modele Ait Bulgular.....	48
4.1.1. Mini vidada meydana gelen gerilmeler	49
4.1.2. Dişlerde meydana gelen gerilmeler	49
4.1.3. Kortikal kemikte meydana gelen gerilmeler	54
4.1.4. Spongios kemikte meydana gelen gerilmeler	56
4.1.5. Yer değiştirme (deplasman) bulguları.....	59
4.2. İkinci Modele Ait Bulgular	61

4.2.1. Dişlerde meydana gelen gerilmeler	61
4.2.2. Kortikal kemikte meydana gelen gerilmeler	66
4.2.3. Spongioz kemikte meydana gelen gerilmeler	68
4.2.4. Yer değiştirme bulguları.....	71
5. TARTIŞMA	76
5.1. Amacın Tartışılması	76
5.2. Materyal ve Metodun Tartışılması	77
5.3. Modellerin Yapısının Tartışılması.....	83
5.3.1. Birinci model yapısının tartışılması.....	83
5.3.2. İkinci modelin yapısının tartışılması	86
5.4. Bulguların Tartışılması	87
5.4.1. Birinci modelin bulgularının tartışılması.....	87
5.4.1.1. Mini vidada meydana gelen değişikliklerin tartışılması	87
5.4.1.2. Dişlerde oluşan değişikliklerin tartışılması	88
5.4.1.3. Kemikte oluşan gerilmelerin tartışılması	89
5.4.2. İkinci modelin bulgularının tartışılması.....	90
5.4.2.1. Dişlerde oluşan değişikliklerin tartışılması	90
5.4.2.2. Kemikte oluşan gerilmelerin tartışılması	92
5.5. Modellerin Bulgularının Karşılaştırılarak Tartışılması	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
6.1. Sonuçlar.....	96
6.2. Öneriler.....	97
KAYNAKÇA.....	98
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Modellerde kullanılan eleman ve düğüm sayıları. 43

Tablo 3.2. Anatomik yapılar ve materyallerin mekanik özellikleri. 43



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Panoramik radyografide gömülü kanin dişin tüberkül tepesinin lokalizasyonu için kullanılan sektör sınıflamasının şematik gösterimi [4].	12
Şekil 2.2. Panoramik radyografide gömülü kanin diş ile orta hat arasında oluşan açığı (α) ve gömülü kanin dişin tüberkül tepesinden oklüzal düzleme kadar olan mesafenin (d) şematik gösterimi [4].	12
Şekil 3.1. Yetişkin bir hastaya ait KIBT görüntüsü.....	38
Şekil 3.2. Maksillanın geometrik model görüntüsü.....	39
Şekil 3.3. Mini vidanın geometrik model görüntüsü.	39
Şekil 3.4. Transpalatal arkın geometrik model görüntüsü.	40
Şekil 3.5. Dişlerin geometrik model görüntüsü.....	40
Şekil 3.6. Periodontal ligamentin geometrik model görüntüsü.....	41
Şekil 3.7. Diş soketlerinin geometrik model görüntüsü.....	41
Şekil 3.8. Braketler ve tüplerin geometrik model görüntüsü.	42
Şekil 3.9. Kapayıcı yayın geometrik model görüntüsü.....	42
Şekil 3.10. Maksillanın sınır koşulları.	44
Şekil 3.11. Birinci modelin önden (a) ve oklüzalden (b) görüntüsü.	46
Şekil 3.12. İkinci modelin önden (a) ve oklüzalden (b) görüntüsü.	47
Şekil 4.1. Birinci modelde mini vidada meydana gelen Von Mises gerilmeleri.....	49
Şekil 4.2. Birinci modelde dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmeler.....	50
Şekil 4.3. Birinci modelde dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmeler.....	50
Şekil 4.4. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin labialden görünümü.....	51
Şekil 4.5. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.	51
Şekil 4.6. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin labialden görünümü.....	52
Şekil 4.7. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.	52
Şekil 4.8. Birinci modelde kanin dişte meydana gelen maksimum asal gerilmeler. ..	53
Şekil 4.9. Birinci modelde kanin dişte meydana gelen minimum asal gerilmeler.	53

Şekil 4.10. Birinci modelde kortikal kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.....	55
Şekil 4.11. Birinci modelde kortikal kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.....	56
Şekil 4.12. Birinci modelde spongios kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.....	57
Şekil 4.13. Birinci modelde spongios kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.....	58
Şekil 4.14. Birinci modelde transversal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.	59
Şekil 4.15. Birinci modelde sagittal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.	60
Şekil 4.16. Birinci modelde vertikal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.	60
Şekil 4.17. İkinci modelde dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmeler.	62
Şekil 4.18. İkinci modelde dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmeler.	62
Şekil 4.19. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin labialden görünümü.....	63
Şekil 4.20. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.	63
Şekil 4.21. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin labialden görünümü.....	64
Şekil 4.22. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.	64
Şekil 4.23. İkinci modelde kanin dişte meydana gelen maksimum asal gerilmeler. ..	65
Şekil 4.24. İkinci modelde kanin dişte meydana gelen minimum asal gerilmeler.	65
Şekil 4.25. İkinci modelde kortikal kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.....	67
Şekil 4.26. İkinci modelde kortikal kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.....	68
Şekil 4.27. İkinci modelde spongios kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.....	69
Şekil 4.28. İkinci modelde spongios kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.....	70
Şekil 4.29. İkinci modelde transversal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.	72
Şekil 4.30. İkinci modelde sagittal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.....	73

Şekil 4.31. İkinci modelde vertikal yönde meydana gelen yer değiştirmeler. 75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°: Derece

%: Yüzde

2B: İki boyutlu

3B: Üç boyutlu

BT: Bilgisayarlı Tomografi

g: Gram

KIBT: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

M/F: Moment/kuvvet

mm: Milimetre

mm²: Milimetrekare

MPa: Mega Paskal

MRG: Manyetik Rezonans Görüntüleme

N: Newton

N/ mm²: Newton/ milimetrekare

Ni-Ti: Nikel-Titanyum

PDL: Periodontal Ligament

TMA: Titanium Molybdenum Alloy

TPA: Transpalatal ark

1. GİRİŞ

Kanin koruyuculu oklüzyonun ve estetik bir gülümseme algısının oluşturulmasında anahtar role sahip olan maksiller kanin dişler, sürme yolunun uzun olması ve arkta en son yerini alan dişler olması sebebiyle üçüncü molarlardan sonra en sık gömülü kalan dişlerdir [1-3]. Bu dişler labialden çok palatinal bölgede gömülü kalma eğiliminde olup, çift taraflı gömülü kalma insidansı tek tarafta göre oldukça düşüktür [2, 4, 5]. Özellikle palatinal bölgede gömülü kalan dişlerde, kalın kortikal kemik ve sıkı mukoza nedeniyle cerrahi girişim ile birlikte ortodontik olarak sürdürmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Gömülü kanin dişler, kistik değişim ve enfeksiyon, ark boyunda azalma ve komşu kesici diş köklerinde rezorpsiyon gibi birçok komplikasyona neden olabilmektedir. [2, 6-8]. Bu dişler ile birlikte en sık görülen komplikasyonlardan biri gömülü dişe komşu lateral ve birinci premolar dişlerdeki kök rezorpsiyonudur [9-12]. Maksiller kanin dişin dental folikülünün tek başına komşu keser dişlerde rezorpsiyon oluşturmayacağı, rezorpsiyon riskini arttıran etkenlerin, kanin dişin mezial eğimi ve orta hatta olan mesafesi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir [13, 14]. Bu komplikasyonlar gömülü kanin dişlerin erken evrede teşhis ve tedavisinin önemini vurgulamaktadır.

Maksiller kanin dişler, dental arkta estetik ve fonksiyonel açıdan çok önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple gömülü kanin dişlerin tedavisinde en çok tercih edilen seçenek kanin dişin ortodontik tedavi ile oklüzyona getirilmesidir [15]. Gömülü diş sürdürülürken komşu dişler üzerinde oluşan yan etkileri en aza indirmek ve kanin kronunu kesici dişlerin köklerinden uzağa yönlendirmek için bukkal kuvvetlerden önce distal ve/veya vertikal kuvvetin uygulanması önerilmiştir [16, 17].

Ortodontik tedavide ankraj mekaniklerinin belirlenmesi ve kontrolünün yapılması tedavinin başarıya ulaşması açısından büyük önem taşımaktadır. Dişler, ortodontide ankraj amaçlı en sık tercih edilen yapılardır. Ankraj amaçlı dişlerin kullanılması dişlerde istenmeyen yan etkilerin oluşmasına, bu durum çoğu zaman tedavinin daha kompleks bir hale gelmesine ve tedavi hedeflerine ulaşmada güçlüğü neden olabilmektedir [18, 19].

Ortodontik tedavide ankrajın arttırılması amacıyla çeşitli apareyler kullanılmaktadır. Ekstraoral apareylerin kullanımı, ankrajın güçlendirilmesinde tercih edilen bir yöntem olmak ile birlikte, molar dişlerde ekstrüzyon veya devrilme gibi yan etkilere sebep olması

ve hasta kooperasyonuna ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajlarından [19, 20]. Hasta kooperasyonundan bağımsız intraoral ankraj arttırma yöntemlerine diş sayısının arttırılması, TPA, elastikler, Nance apareyi ve ikinci düzen bükümler örnek verilebilir [19, 21-23].

İskeletsel ankraj üniteleri olarak kullanılan mini vidalar; molar distalizasyonu veya intrüzyonu, kanin distalizasyonu, devrilmiş molar dişlerin dikleştirilmesi, anterior dişlerin intrüzyonu, keser retraksiyonu ve gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi gibi pek çok tedavi yönteminde kullanılmaktadır [24-26].

Ortodontik mini vidalar dental implantlar ile kıyaslandığında; daha küçük boyutta olmaları, daha geniş bir alana ve kolay uygulanabilmeleri, bekleme zamanına ihtiyaç duyulmaması ve daha ucuz olmaları gibi avantajlara sahiptir [24, 25, 27].

Sabit mekaniklerle oluşturulan kuvvet sistemleri bazı durumlarda beklenilmeyen sonuçlar oluşturmakta ve istenmeyen diş hareketleri meydana gelmektedir. Hedeflenen tedavi sonuçlarına en kısa zamanda ulaşabilmek ve istenmeyen diş hareketlerini önlemek için uygulanacak kuvvet sistemlerinin meydana getireceği etkilerin öngörülmesi ortodontistler için faydalı olacaktır.

Sonlu elemanlar analizi, farklı karakteristik özelliğe ve düzensiz şekle sahip yapılara uygulanan, bu yapılarda meydana gelen yer değiştirme ve gerilmeleri ölçebilen bir gerilme analiz yöntemidir. Mühendislik alanında kullanılan kompleks problemlerin çözülebilmesi amacıyla geliştirilen bu simülasyon metodu, ortodontide diş hareketlerinin incelenmesi ve ortodontik apareylerin biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılan etkili bir yöntemdir [28-30]. Ortodontik mekaniklerin test edilmesi ve kuvvetin etkilerinin öngörülmesinde ortodontistlere nicel veriler sağlamaktadır [31]. Bu tarz sayısal analizler, bireysel doku etkileşimlerinin ve reaksiyonlarının daha net bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olmaktadır [32].

Bu çalışmada, gömülü kanin dişin pozisyonunun düzeltilmesi ve sürdürülmesi sırasında kullanılan; biri iskeletsel, diğeri diş destekli iki farklı ankraj mekaniğinin oluşturdukları kuvvet ve stres dağılımının sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Gömülü Maksiller Kanin Dişler

Dişin dentoalveolar yapı içerisinde gelişim gösterdiği bölgeden fonksiyon görebileceği pozisyona gelene kadarki dönemde ortaya çıkan hareketlerin tümü, diş sürmesi olarak tanımlanmaktadır [33]. Sürme zamanı geldiği halde çeşitli sebeplerden ötürü bu eylemi gerçekleştiremeyen dişler gömülü dişler olarak adlandırılmaktadır [34]. Dişlerin gömülü kalmalarına sebep olan lokal nedenlere komşu dişlerin yapmış olduğu basınç, kemik yapının ve/veya yumuşak dokunun yoğunluğu, çevre mukozanın uzun süreli kronik iltihabı, arktaki yer darlığı, persiste süt dişlerinin varlığı, süt dişlerinin erken kaybı, kemikteki enflamatuvar değişiklikler gibi sebepler örnek olarak sayılabilirken sistemik nedenlere heredite, raşitizm, anemi, konjenital sifiliz, tüberküloz, endokrin bozukluklar olarak sayılabilir [35].

Diş erüpsiyonundaki bozukluklar sonucu karşılaşılabilen diş gömülülüğü veya ektopik erüpsiyon, sürekli dişlerin hepsinde ortaya çıkabilir [36]. Bununla birlikte maksiller kanin dişler hem estetik hem de fonksiyonel açıdan büyük öneme sahiptir ve üçüncü molarlardan sonra gömülü kalma oranı en yüksek olan dişlerdir [37].

Maksiller kanin diş, kanin koruyuculu veya grup fonksiyonlu oklüzyonun oluşturulması açısından önemli bir yere sahiptir. Kök yüzeyinin geniş olması, fonksiyon sırasında meydana gelen kuvvetlerin karşılanmasında avantaj sağlar. Estetik bir gülüşün oluşturulmasında kanin dişin kron şekli ve kök hacmi önemli bir rol oynar. [1, 2].

Maksiller kanin dişler, göz-burun açısında foramen infraorbitale'nin mezialinde fossa canina' da bulunmaktadır. Palatinalde konumlanmış olan üst sürekli lateral dişin distal kısmının vestibül tarafıyla ve birinci premolar dişin mine-sement sınırına komşu olan bu dişler mezial yönde bir eğim gösterir. Santral ve lateral dişlerin sürmesi ile birlikte, maksiller kanin dişler, lateral dişin mezial tarafa eğimli kökünü distal tarafa doğru yaklaştırarak vertikal konuma getirir ve oklüzal düzleme doğru sürmeye başlar. Maksiller kanin diş, üst birinci premolar diş sürünce onun yerine doğru distale ve aşağı yönde hareket eder. Böylelikle kökünü daha dik pozisyona getiren kanin diş, süt kanin dişin kökünü rezorbe eder. Rezorbe olan süt dişinin düşmesiyle sürekli kanin diş 11-13 yaş civarında normal erüpsiyonunu tamamlar. Sürmek için çok uzun bir yol alması ve mezial

yöndeki eğimini düzeltmesi gereken kanin diş, bazı aksaklıklar olursa süremeyerek gömülü kalabilir [38].

2.1.1. Gömülü maksiller kanin dişlerin prevalansı

Üçüncü molar dişlerden sonra en yüksek gömülü kalma oranına sahip dişler, maksiller kaninlerdir [2, 39, 40]. Maksillada görülen gömülü kanin insidansı, mandibulanın iki katından fazladır [41]. Ericson ve Kurol [37] gömülü kanin insidansını %1,7 olarak bildirmişlerdir. Thilander ve Myrberg [42] karışık dişlenme dönemindeki çocuklarda bu oranın %2,2 olduğunu belirtirken; Dachi ve Howell [36] bu insidansın %0,92 olduğunu belirtmişlerdir. Türk popülasyonunda gömülü maksiller kanin insidansını Yazıcı ve ark. [43] %5,6, Aktan ve ark. [44] %1,7, Çelikoğlu ve ark. [45] ise %5,1 olarak bulmuşlardır. Genel olarak, maksiller kanin gömülülüğüne, kızlarda erkeklerden 2-3 kat daha fazla rastlanılmaktadır [36, 46-48]. Gömülü maksiller kanin diş sahibi hastaların çift taraflı gömülüliğe sahip olma oranları %8' dir [2]. Gömülü maksiller kanin dişlerin yaklaşık üçte biri labial veya alveol içinde konumlanırken üçte ikisi palatinal konumda bulunmaktadır [4, 5].

2.1.2. Gömülü maksiller kanin dişlerin etiyolojisi

Maksiller kanin dişlerin gömülü kalma nedenleri günümüzde hala tam olarak anlaşılamamıştır. Maksiller kaninler lokalize, sistemik ve genetik birçok etkene bağlı olarak gömülü kalabilir [2, 4, 40, 48-50].

2.1.2.1. Lokalize nedenler

- Yer darlığı,
- Süt kanin dişin kökünün rezorbe olmaması,
- Süt kanin dişinin uzun süreli retansiyonu veya erken kaybı,
- Maksiller lateral dişlerin eksik olması,
- Lateral dişlerin kron boyutlarındaki varyasyonlar,
- Lateral dişlerin kök oluşum zamanlamasındaki varyasyonlar,
- Kök dilasasyonları,
- Mekanik engeller (kist, tümör, doku hiperplazileri, lokal enfeksiyonlar),
- Travma,
- Ankiloz.

2.1.2.2. Sistemik nedenler

- Endokrin yetersizlikler,
- Radyasyona maruz kalma,
- Ateşli hastalıklar.

2.1.2.3. Genetik nedenler

- Heredite,
- Diş germi malpozisyonu,
- Alveolar yarıklar.

2.1.3. Maksiller kanin dişlerin gömülü kalması ile ilgili teoriler

2.1.3.1. Uzun erüpsiyon yolu

Göz-burun açısında foramen infraorbitale'nin mezialinde bulunan maksiller kanin diş germinin, sahip olduğu bu uzun sürme yolunda yolunu kaybedebileceği teorisi en önemli gömülü kalma nedeni olarak görülmüştür [51]. Coulter ve Richardson [52] 1997 yılında yaptıkları çalışmada, kanin dişin ilk pozisyonu ile son pozisyonu arasında her üç düzlemde yaklaşık olarak 22 mm yol aldığını tespit etmişlerdir.

2.1.3.2. Çapraşıklık

Maksiller kanin dişlerin gelişimi ve arktaki pozisyonları, dentisyondaki çapraşıklıklar nedeniyle değişiklik gösterebilir [51]. Ark boyu uyumsuzlukları dişin ektopik pozisyonunda sürmesine neden olabilir. Böyle bir uyumsuzluk söz konusu olduğunda en son süren diş olmaları sebebiyle bu durumdan en çok maksiller kanin dişler etkilenir [53].

Jacoby [50] 1983 yılında yaptığı çalışmada, arkta yer darlığı durumu ve farklı konumdaki kaninlerin gömülülüğü arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, yer darlığı varlığında kanin dişin palatinalde kıyasla labialde gömülü kalma ihtimalinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

2.1.3.3. Süt kanin dişin kökünün rezorbe olmaması

Sürekli kanin dişin sürmesinin engellenip palatinalde gömülü kalmasına sebep olan etkenlerden biri de süt kanin diş kökünün rezorbe olmamasıdır [54]. Ericson ve Kuroi [4] yaptıkları çalışmada, gömülü kanin dişe sahip vakalarda süt kanin dişin çekimini takiben sürekli kanin dişlerin %78' inde spontan erüpsiyon izlendiğini göstermişlerdir.

2.1.3.4. Travma

Lateral kesicinin kök gelişimini etkileyen her türlü travma, sürekli kaninin palatinal gömülülüğü ile ilişkili olabilir. Bu durum travmaya uğrayan lateral veya kanin dişin mevcut konumlarının değişmesi ya da lateral diş kökünün kısa kalması ve kısa kalan bu kökün, kanin dişin sürmesi sırasında sürmeye rehber olamaması ile açıklanmaktadır [55].

Süt kanin dişin apeksinde oluşan kronik irritasyon ve rezidüel enfeksiyonun da sürme sırasında dişin sürme yönünün sapmasına neden olabileceği bildirilmiştir [51].

2.1.3.5. Rehberlik teorisi

Bu teori, lateral dişin kama şekilli veya konjenital eksik olmasının gömülü maksiller kanin diş varlığı ile korelasyon gösterdiğini bildirmektedir [46, 48]. Kanin diş, erüpsiyon sırasında lateral dişin distal kök yüzeyinden aldığı rehberliği kaybeder ve bu durum palatinal gömülü kalma ile sonuçlanabilir. Ayrıca meziodistal olarak daha dar ve kama şekilli lateral dişler kök gelişimlerini yaklaşık 3 yıl daha geç tamamladıkları için kanin dişin sürmesine rehberlik yapamazlar ve bunun sonucunda kanin dişin sürmesinin palatinala yönlendirilerek gömülü kaldığı bildirilmektedir [46, 50].

Stellzig ve ark. [56] 1994 yılında yaptığı çalışmada vakaların %35' inde palatinal gömülü kaninler ile kama şekilli lateraller ile arasında korelasyon olduğunu gösterirken Mossey [57] aynı yıl yaptığı çalışmada kama şekilli veya eksik lateral dişler ile palatinal konumda gömülü maksiller kanin dişler arasında zayıf ilişki olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalarda normal popülasyonla kıyaslandığında palatinalde konumlanmış gömülü kanin varlığında kama şekilli lateral diş görülme ihtimalinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir [58, 59].

2.1.3.6. Heredite

Kama şekilli veya konjenital eksik lateral diş varlığı ve dişlenmenin gecikmesi gibi genetikle ilişkilendirilebilen faktörlerin prevelansının gömülü maksiller kanine sahip vakalarda daha yüksek olduğu bildirilmiştir [60-62]. Normal popülasyonla kıyaslandığında, konjenital diş eksikliklerinin gömülü kaninlerle birlikte görülme prevelansının yaklaşık 4 kat daha fazla olması da teoriyi desteklemektedir [48]. Maksiller kaninlerin gömülü kalmasının etiyolojisinde heredite önemli bir etken olmasına rağmen bu durumun multifaktoriyel olduğu belirtilmektedir [63].

Pirinen ve ark. [64] palatinal gömülü kanine sahip 106 hastanın birinci ve ikinci derece akrabalarında bazı dental anomalilerin olduğunu saptamışlardır. Normal popülasyona kıyasla bu kişilerde hipodontinin 2,5 kat daha fazla görüldüğünü bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda gömülü kanin diş sahibi bireylerde üçüncü molar eksikliği oranının normal popülasyona göre daha fazla olduğu bildirilmiştir [59, 65, 66]. Bu sebeple molar agenezisiyle ilişkilendirilen MSX1 ve PAX9 gibi transkripsiyon faktörlerinin kaninin palatinalde gömülü kalma sürecine de dâhil olabileceğini belirtmişlerdir [67, 68].

Genetik teoriye göre; maksiller lateral dişin eksikliği veya gelişim bozukluğu gibi genetik olarak belirlenmiş anomaliler ile palatinalde gömülü kalmış sürekli kanin dişler birlikte görülmektedir [69]. Leifert ve ark [70] üst lateral dişleri konjenital eksik ya da kama şekilli olan ve derin kapanışı olan hastalarda, palatinalde gömülü maksiller kanin diş daha fazla rastlandığını bildirmişlerdir.

Maksiller kanin dişin palatinalde tek taraflı gömülü olmasının üst sürekli lateral eksikliği ile, çift taraflı gömülü olmasının ise üçüncü molar eksikliği ile anlamlı olarak korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Bu bulgu da kaninin palatinalde gömülü kalmasında genetik faktörünün önemini desteklemektedir [71].

2.1.4. Maksiller kanin dişlerin gömülü kalması ile oluşabilecek komplikasyonlar

Rutin radyografik değerlendirme sırasında diş hekimleri tarafından fark edilen gömülü maksiller kanin dişler, genellikle asemptomatiktir ve hastaların çoğu bu durumun farkında değildir. Gömülü kanin dişler, kistik değişim ve enfeksiyon, ark boyunda azalma ve komşu kesici diş köklerinde rezorpsiyon gibi birçok komplikasyona neden olabilmektedir [2, 6-8]. Bu sebeple kanin dişlerin komplikasyon riskine karşı klinik ve radyografik olarak düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir [51, 72].

2.1.4.1. Kist oluşumu

Süt kanin dişin devitalizasyonu sonucu oluşan periapikal patoloji, gömülü kanin dişin folikülünde genişlemeye yol açarak dentigeröz kist oluşmasına sebep olabilir [7].

2.1.4.2. Kron rezorpsiyonu

Kron formasyonunu tamamlamış gömülü dişlerin çevresinde bulunan mine epiteli yaştan artması sonucu dejenerasyona uğrar. Minenin rezorpsiyonu ile sonuçlanan bu durum,

kemik ve bağ dokusunun gömülü kanin dişin kronu ile etkileşime girmesi ile oluşan osteoklastik aktivasyon sonucu meydana gelmektedir. Bu şekilde mine ile kemiğin yer değiştirmesi sonucu ‘yer değiştirme rezorpsiyonu’ ortaya çıkmaktadır. Radyografik incelemelerde minenin radyoopasitesi, densitenin azalması sebebiyle azalmaktadır. Uzun süre tedavisi yapılmayan gömülü kanin dişlerde bu rezorpsiyona daha sık rastlanılmaktadır [6].

2.1.4.3. Ark boyunun azalması

Süt kanin dişin erken kaybı, arktaki diğer dişlerin kanin diş boşluğuna doğru hareket etmesine ve arkta yer darlığı oluşmasına sebebiyet vermektedir. Eğer süt kanin diş rezorbe olup düşmese bile bu dişin meziodistal boyutunun sürekli kanin dişten daha az olması arkta yer darlığı görülmesine neden olabilmektedir [51].

2.1.4.4. Keser dişlerde kök rezorpsiyonu

Rezorpsiyon, sert dokuların yıkımı ve yıkım sonucu oluşan maddelerin hücresel yapılar tarafından yok edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Eksternal kök rezorpsiyonunda, kök yüzeyinde dentin ve sement kaybı görülmektedir. Odontoklastlar, diş köklerinde rezorpsiyon yapan ve osteoklastlara benzeyen hücrelerdir. Süt dişi kökünün rezorpsiyonu fizyolojiktir ancak sürekli diş kökü rezorpsiyonunun sebebi tam olarak bilinmemektedir. Sürekli diş kökü rezorpsiyonu heredite, yaş, sistemik hastalıklar, cinsiyet gibi faktörlerden etkilenebilmektedir [8].

Komşu keser ve birinci premolar dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonu, gömülü kanin diş varlığında en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biridir [9-12]. Lateral diş, anatomik yapısı ve gömülü dişe yakın pozisyonda olması sebebiyle en çok rezorpsiyon görülen diştir [73]. Kanin dişin gömülü kalması sonucu oluşan keser rezorpsiyonu oranı %50’dir ve cinsiyetler arası farklılık göstermektedir [10, 74].

Ericson ve ark. [13] 2002 yılında yaptıkları çalışmada, maksiller kanin dişin dental folikülünün tek başına komşu keser dişlerde rezorpsiyon oluşturmayacağını bildirmişlerdir. Mezial eğim açısı artmış ve orta hatta yakın konumda bulunan gömülü kanin dişlerde rezorpsiyon oluşma riskinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir [14]. Orta hatta olan mesafenin azalmasıyla gömülü kanin dişlerin lateral dişlerde rezorpsiyon oluşturma riski üç kat artmaktadır. Gömülü kanin diş ve komşu lateral dişin birbirlerine yakın mesafede

bulunmaları fizyolojik basınç oluşumuna sebebiyet vererek rezorpsiyon oluşturmaktadır [10].

Rezorpsiyonunun erken evrelerde tespit edilmesi yapılacak tedavi açısından oldukça önemlidir [4]. Kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesi için periapikal radyografilerden yararlanılabilir ancak bu görüntüleme yönteminin iki boyutlu olması rezorpsiyonun tespiti açısından yeterli olmamasına neden olabilir [39, 74, 75]. Radyografik görüntülemelerde meydana gelen süperpozisyon rezorpsiyonun tespitini zorlaştırmaktadır. Özellikle palatinalde konumlanmış gömülü kanin dişlerin sebep olduğu kök rezorpsiyonu genellikle keser dişlerin palatinal kök yüzeyinde olduğu için oluşan kök rezorpsiyonu konvansiyonel radyografiler ile izlenememektedir [76]. Bu sebeple kök rezorpsiyonunun teşhisi için 3 boyutlu görüntüleme yöntemlerinin kullanılması önerilmektedir [10, 77].

2.1.5. Gömülü maksiller kanin dişlerin teşhisi

2.1.5.1. Klinik muayene

Sürekli maksiller kanin dişler genellikle 12 yaş civarında sürmektedirler. Klinik muayene sırasında, 9-10 yaşlarındaki bir hastanın kanin dişleri değerlendirilirken, anamnez bilgileri, inspeksiyon ve palpasyonla yapılan muayene bulguları gözden geçirilmelidir [37, 40]. Hastalarda derin kapanış olması, süt kanin dişin retansiyonu, sürekli lateral dişin kama şekilli olması veya eksikliği detaylı muayene yapılmasını gerektirir [50]. Sürme zamanları değerlendirildiğinde kanin dişin sürdüğü ancak simetriğinde bulunan dişin sürmediği olgularda gömülü kalma ihtimali değerlendirilmelidir [78].

Çirkin ördek görüntüsü, lateral dişler ile kanin dişlerin sürmesi arasındaki dönemde karşılaşılan klinik bir durumdur. Bu klinik durumda sürmekte olan kanin dişlerin lateral dişlerin köküne baskı yapması sonucu bu dişlerde distale eğim ve median diastema görülmektedir. Kanin dişlerin sürme zamanı geldiği halde bu klinik durum hala mevcutsa radyografik değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır [51].

Gömülü kanin dişlerin erken tespiti, lateral dişlerin dikkatli klinik muayenesi ile mümkün olabilmektedir. Lateral dişlerin anormal konumu veya açısı, gömülü kalma potansiyeline sahip, yönü değişmiş kanin dişi gösterebilmektedir. Lateral diş kronlarının aşırı distale eğimi, lateral kökünün distal yüzeyine basınç yapan meziale yer değiştirmiş kanin diş kronunun belirtisi olabilir. Labiale eğimli bir lateral diş ise lateral kökünün labial yüzeyine uzanan labiale yer değiştirmiş bir kanin dişi gösterebilmektedir [79]. Kanin diş

eğer lateral dişin palatinalinde ise, lateral dişin kökünün labiale kronunun palatinaline eğilmesi sonucu bu dişte çapraz kapanış görülebilmektedir [51].

Sürme vakitlerine 2-3 yıl kalan kanin dişler, palpasyon sırasında vestibülden hissedilebilir. Kanin dişin gömülü kalması durumunda vestibüldeki alveol kemik konkav bir şekil alır. Gömülü kanin diş palatinal mukozadan da palpe edilebilir. Klinik muayene sırasında mobilite de değerlendirilmesi gereken etkenlerden biridir. Lateral dişte mobilite varlığı, gömülü kanin dişin rezorpsiyon oluşturduğu ihtimalini öne çıkarmaktadır [40].

2.1.5.2. Radyografik muayene

Periapikal Radyografi

İki boyutlu görüntü oluşturan periapikal radyografilerde, bukkolingual pozisyonun belirlenmesi amacıyla ikinci bir radyografiye ihtiyaç duyulmaktadır. Clark tekniği veya bukkal obje kuralına göre alınan ikinci radyografilerle görüntünün uzaması ve kısalması prensibine dayanarak dişin konumunun belirlenmesi amaçlanmaktadır [2].

Oklüzal Radyografi

Gömülü dişin bukkolingual pozisyonunu değerlendirebilmek amacıyla kullanılan oklüzal radyografiler iki şekilde elde edilmektedir. Bunlardan ilki olan anterior oklüzal radyografilerde, tüpün nazal kemik seviyesinde konumlandırılması gerekmektedir. Bu teknikte süperpozisyonun az olması ile birlikte net bir görüntü oluşurken kökler olduğundan kısa görülmektedir. Verteks oklüzal radyografilerde ise görüntü, tüpün başın üst kısmında verteks seviyesinde konumlandırılması ile elde edilmektedir. Elde edilen bu radyografide anterior dişler daire biçiminde izlenmektedir [51].

Panoramik Radyografi

Maksilla ve mandibulanın tamamının, dişlerin, temporomandibuler eklemlerin ve maksiller sinüslerin tek bir radyografi üzerinde görüntülenmesini sağlar [80, 81]. Kolay ulaşılabilmesi ve dişlerinin tümünün görüntülenebilmesi sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Panoramik radyografilerde periapikal radyografilerle elde edilebilen ince anatomik detaylara ulaşılammamaktadır. Gömülü dişin vertikal pozisyonunun ve horizontal angulasyonunun değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Panoramik radyografilerde objenin ışın kaynağına uzaklığı, görüntüde oluşan objenin büyüklüğünü etkilemektedir. Bu radyografide ışın kaynağının başın arka kısmında olması sebebiyle palatinalde gömülü

kalan kanin dişlerin bukkaldekilere kıyasla daha büyük görüntü oluşturacağı belirtilmiştir [82].

Panoramik radyografiler üzerinde gömülü kanin dişin lokalizasyonunu belirlemek için birçok yöntem kullanılmaktadır [82-86]. Kanin diş kronunun santral diş köküne çakışması yönteminde, gömülü kanin diş kronunun santral kesici dişin köküne veya kole bölgesine çakıştığı izlenirse bu dişin palatinal konumlu olduğu kabul edilmiştir [87]. Warford ve arkadaşları [86] 2003 yılında yaptığı çalışmada, panoramik radyografi üzerinde gömülü kanin dişin mezial inklinasyonunu değerlendirmeyi amaçlamış ve bunun için kondillerden geçen bir referans hattı oluşturmuşlardır. Bu hat ile kanin diş arasında kalan mezial açının artması kanin dişin gömülü kalma ihtimalinin de arttığını göstermektedir. Yapılan çalışmalar, bu açının kanin dişin gömülü kalması durumunda $63,2^\circ$, gömülü olmaması durumunda ise $75,2^\circ$ olduğunu göstermiştir.

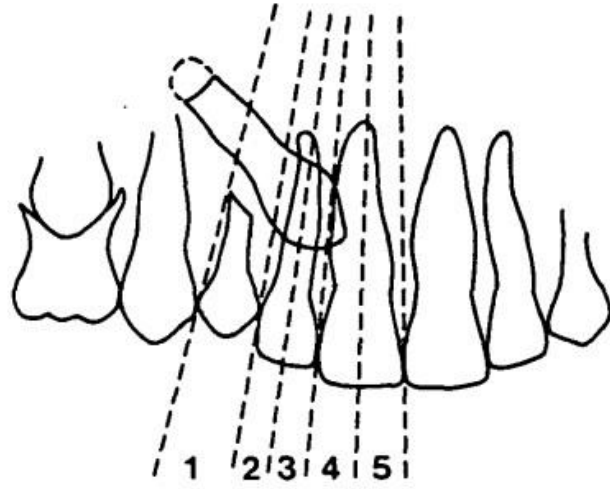
Ericson ve Kuroi [75] bu radyografileri gömülü kanin dişleri teşhis etmek ve tedavi prognozunu öngerebilmek için farklı ölçümler yaparak kullanmıştır.

Panoramik radyografilerde bu yazarlar tarafından oluşturulan ölçümler şunlardır:

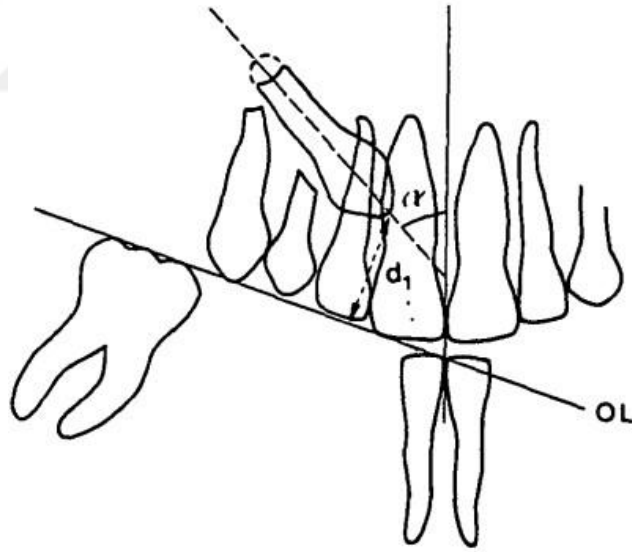
- Alfa açısı (α): Gömülü kanin dişin uzun eksenini ile santral kesici dişler arasındaki medyan çizginin oluşturduğu açı.
- Sektör: Santral ve lateral dişlere göre kanin kronunun mezial konumu.
- Mesafe (d): Gömülü kanin dişin tüberkül tepesinden oklüzal düzleme kadar olan mesafe.

Şahinoğlu ve ark. [88] α açısının 5° , d mesafesinin ise 1 mm artmasının tedavi süresini 1 hafta uzatacağını bildirmişlerdir.

Stewart ve ark. [89] gömülü dişin oklüzal düzlemde uzaklığının 14 mm'den fazla olması durumunda her 1 mm'lik artış için, 2 haftalık ek tedavi süresine ihtiyaç duyulacağını bildirmişlerdir.



Şekil 2.1. Panoramik radyografide gömülü kanin dişin tüberkül tepesinin lokalizasyonu için kullanılan sektör sınıflamasının şematik gösterimi [4].



Şekil 2.2. Panoramik radyografide gömülü kanin diş ile orta hat arasında oluşan açı (α) ve gömülü kanin dişin tüberkül tepesinden oklüzal düzleme kadar olan mesafenin (d) şematik gösterimi [4].

Kanin kronunun vertikal pozisyonu yöntemi yalnızca çift taraflı gömülü kanin dişler için kullanılmıştır. Bu yöntemde oklüzyon düzlemine paralel olacak şekilde aynı seviyede bulunan gömülü kanin dişlerden palatinalde konumlanmış olanın kronunun, bukkalde

konumlanan gömülü kanin diş kronuna nazaran daha apikalde ve geniş görüneceği bildirilmiştir [82]. Oklüzyon düzlemi-kanin arası angulasyon yönteminde ise gömülü kanin dişin uzun aksının oklüzyon düzlemi ile yaptığı açı ölçülmüş, açı 65°' den büyük ise gömülü kanin dişin bukkal konumlu, 65°' den küçük ise palatinal konumlu olduğu bildirilmiştir [90].

Sefalometrik radyografi

Sefalometrik analizin yapılabilmesi amacıyla alınan bu radyografiler ortodonti pratiğinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte gömülü kanin dişin lokalizasyonunu ve uzun aksını belirlemede de kullanılmaktadır. Anatomik süperpozisyonlar meydana gelse de maksillanın anterioru detaylı bir şekilde görüntülenebilmektedir [91].

Anteroposterior radyografi

8-9 yaşlarında alınan radyografilerde nazal kavitenin lateral duvarı referans alındığında, kanin dişin kronu bu duvara göre meziale, kökü ise laterale eğimli olacak şekilde konumlanmalıdır. Mediale eğimin artması kanin dişin gömülü kalması ile sonuçlanabilir [51].

Bilgisayarlı tomografi (BT)

Geleneksel radyografiler, uzun yıllar boyunca gömülü kanin dişlerin teşhisi ve lokalizasyonun tespiti için kullanılan bir yöntem olmuştur [40]. Geleneksel radyografi ile klinisyenler üç boyutlu (3B) bir nesnenin görüntüsünü iki boyutlu (2B) olacak şekilde elde ederler. Ancak distorsiyon, magnifikasyon ve süperpozisyon gibi problemler nedeniyle 2B radyografilerin diagnostik geçerliliği zamanla azalmaktadır [39, 92-94]. Bu nedenle 3B görüntüleme yöntemlerinin kullanım oranı, son zamanlarda artmaktadır. 3B görüntü ile gömülü dişlerin lokalizasyonu, gömülü diş ve komşu dişlerin köklerinin birbirleri ile olan ilişkisi, komşu dişlerdeki rezorpsiyonun derecesi, gömülü diş ve komşu bölgelerdeki patolojilerin birbirleriyle ilişkisi, gömülü dişin kron ve kök formu gibi bilgiler elde edilebilir.

Uzun süredir medikal görüntülemenin bir parçası olan BT, dental kullanım amacıyla üretilmemiştir. BT taramaları, makinenin geniş alan gereksinimi, yüksek maliyeti ve yüksek radyasyon dozu sebebiyle diş hekimliğinde sınırlı kullanım alanı bulmuştur [95].

BT'ler, fan beam ve cone beam BT olmak üzere ikiye ayrılır. Dental kullanım için daha çok konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) tercih edilmektedir [96].

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi

Konvansiyonel medikal BT'lerin dental kullanıma uygun olmaması sebebiyle 1998 yılında KIBT cihazı geliştirilmiştir [97]. Bu cihazda konvansiyonel BT'de kullanılan aksine yelpaze şekilli X ışını değil konik şekilli X ışınları kullanılmaktadır. KIBT' de görüntünün oluşabilmesi için konvansiyonel BT'nin aksine X ışını tüpünün tek bir rotasyon yapması yeterli olmaktadır. Bu da X ışınlarının daha verimli kullanılmasına ve daha az elektrik enerjisine ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir [91, 96].

Anjiografi amacıyla geliştirilen KIBT, daha sonra mamografi ve radyoterapi alanında kullanılmaya başlanmıştır [98-100]. Dental kullanıma geçtikten sonra diş hekimliğinin birçok alanında kabul görmüş ve yaygınlaşmıştır. İmplantların pre-operatif değerlendirilmesi, periapikal patolojilerin tanısı, kök kırıklarının, kök kanallarının, internal ve eksternal kök rezorpsiyonlarının tespiti, periodontal defektlerin ölçümü, maksillofasiyal fraktürlerin değerlendirilmesi, paranazal bölgelerdeki enflamatuvar patolojilerin, fungal sinüzitlerin değerlendirilmesi ve maksiller sinüslerle diş ilişkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [101-105].

Ortodontide ise kök morfolojisi ve rezorpsiyonunun değerlendirilmesi, gömülü dişlerin ve dental anomalilerin belirlenmesi, kraniyofasiyal morfoloji ve temporomandibuler eklem morfolojisinin izlenmesi, havayolunun değerlendirilmesi, büyüme ve gelişimin değerlendirilmesi, ortognatik cerrahi planlaması, asimetrisinin ve yumuşak doku profilinin değerlendirilmesi, alveoler kemik hacminin ve yüksekliğinin hesaplanması, dudak-damak yarığı gibi kraniyofasiyal anomalilerin değerlendirilmesi, geçici ortodontik ankraj apareylerinin planlanması amacıyla kullanılmaktadır [106-108]. Özellikle gömülü kanin dişlerin lokalizasyonunun ve komşu dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonunun teşhis edilebilmesi için 3B yöntemlerin konvansiyonel radyograflardan daha güvenilir olduğu bildirilmiştir [74, 76, 94, 106, 109-112].

2.1.6. Gömülü maksiller kanin dişlerin tedavisi

Gömülü kanin dişlerin ortodontik tedavisi, kompleks bir tedavi olarak tanımlanabilir [113, 114]. Teşhisin erken yapılması, uygun cerrahi ve ortodontik müdahalelerle tatmin edici estetik ve fonksiyonel sonuçların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Kanin dişin

arkta olması gereken konuma getirilmesi için cerrahi-ortodonti iş birliği sağlanmalıdır. Bu multidisipliner tedavi, estetik bir gülümsemenin sağlanmasında ve kanin koruyuculu oklüzyonun oluşturulmasında büyük önem taşımaktadır [115].

Aseptomatik olmaları sebebiyle rutin klinik ve radyografik muayene esnasında tespit edilen gömülü kanin dişlerde, düzenli takiplerinin yapılmaması veya müdahale edilmemesi sonucu istenmeyen bazı durumlar oluşabilmektedir. Radyografik görüntülemelerde bu dişlerin folikül genişliğinin 2-3 mm'den fazla olması, kistik değişikliklere işaret edebilir [7]. Kanin dişin gömülü kalması durumunda ark boyunda azalma meydana gelecek, özellikle süt kanin dişin kaybı, arktaki diğer dişlerin kanin diş boşluğuna doğru hareket etmesine ve arkta yer darlığı oluşmasına sebebiyet verecektir. Gömülü kanin dişlerin oluşturduğu basınç nedeniyle keser dişlerde ve birinci premolar dişlerin köklerinde rezorpsiyon görülebilmektedir [12, 74].

Erken dönemde yapılan rutin klinik ve radyografik muayene sırasında kanin dişin gömülü kalma ihtimalinden şüpheleniliyorsa koruyucu ortodonti kapsamında iki tedavi alternatifi bulunmaktadır [116-118]. Süt kanin dişin çekimi 11 yaşından önce yapılırsa radyografik muayene ile kanin dişin, lateral dişin köküyle ilişkisi değerlendirilmelidir. Lateral dişin kökünün distal yüzeyinde izlenen kanin dişlerde sürme oranı %91, mezialinde izlenenlerde ise %64 olduğu rapor edilmiştir. Süt kanin dişin çekimini takiben headgear ile distalizasyon yapılması durumunda başarı yüzdesi %80-87,5 'e çıkarken maksillanın genişletilmesi ile başarı yüzdesinin %67,5 olduğu bildirilmektedir [4, 119-121].

Gömülü kanin dişin tedavisi için alternatifler şunlardır [2]:

1. Gömülü kanin dişin çekilmesi ve boşluğa protetik restorasyon veya implant uygulanması,
2. Gömülü kanin dişin çekilmesi ve boşluğun ortodontik olarak kapatılması,
3. Gömülü kanin dişin ototransplantasyonu,
4. Herhangi bir tedavi alternatifini kabul etmeyen hastalarda gömülü kanin dişin periyodik kontrolü [1],
5. Gömülü kanin dişin cerrahi-ortodonti iş birliği ile sürdürülmesi.

Gömülü kanin dişe çekim endikasyonu konulan durumlar şunlardır [2]:

1. Ankiloz oluşmuş ve transplantasyon yapılamıyorsa,
2. Kök rezorpsiyonu oluşmuşsa,
3. Dilasere kök varlığında,
4. Gömülü kalma şiddetli ise (santral ve lateral köklerinin arasındaysa ve uygulanan kuvvet bu dişlere zarar verecek ise),
5. Fonksiyonel bir oklüzyon varsa (birinci premolar diş kanin dişin yerinde konumlanmışsa).

2.1.6.1. Gömülü kanin dişin ortodontik olarak sürdürülmesi

Ortodontist gömülü dişlerin tedavi planını oluşturabilmek amacıyla detaylı klinik ve radyografik muayene yapmaktadır. Gömülü kanin dişlerin arkta olması gereken konuma getirilmesi, tedavi alternatifleri arasında en ideal olanıdır [122].

Gömülü kanin dişlerin ortodontik tedavisinde ilk olarak ark seviyelenir ve gömülü diş için uygun boşluk hazırlanır. Ankrağı arttırmaya yönelik işlemler yapıldıktan sonra gömülü kanin dişin üzeri cerrahi operasyonla açılır ve ataşman yapıştırılır. Kuvvet uygulamasını takiben diş ideal konumuna getirilir ve final detaylandırılmaları yapılarak tedavi sonlandırılır [51].

Labialde gömülü kalmış kanin dişlerde, hasta genç ise dişin üzeri cerrahi işlemle açılarak spontan erüpsiyon sağlanabilir. Bu durum erişkin hastalar için geçerli olmayıp bu hastalarda kuvvet uygulaması gerekmektedir [123].

Kanin dişin palatinalde gömülü kalması durumunda uygulanabilecek iki tedavi seçeneği bulunmaktadır. İlk seçenek dişin üzerinin cerrahi operasyonla açılarak kendiliğinden sürmesinin beklenmesi, ikinci ise cerrahi işlem sonrası ataşman yapıştırılarak kuvvet uygulanmasıdır [1]. İlk seçenek kanin dişin uygun aksiyal eğime sahip olduğu vakalarda uygulanabilir. İkinci seçenekte dişin kemik içerisindeki pozisyonuna bağlı olarak uygulanabilecek çeşitli cerrahi seçenekleri mevcuttur. Kapalı sürdürme tekniği gömülü dişin daha derin konumda bulunduğu vakalarda, açık sürdürme tekniği ise daha yüzeysel konumdaki kanin dişlerin tedavisinde tercih edilmektedir [40, 124-127].

2.1.6.2. Uygun aksiyal eğime sahip olmayan gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi

Maksiller kanin dişler, dental arkta estetik ve fonksiyonel açıdan çok önemli bir yere sahiptir. Gömülü kanin diş varlığında, komşu keser ve birinci premolar dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonu, en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biridir [9-12]. Maksiller kanin dişin dental folikülünün tek başına komşu keser dişlerde rezorpsiyon oluşturmayacağı, rezorpsiyon riskini arttıran etkenlerin, kanin dişin mezial eğimi ve orta hatta olan mesafesi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir [13, 14].

Orta hatta olan mesafenin azalmasıyla gömülü kanin dişlerin lateral dişlerde rezorpsiyon oluşturma riski üç kat artmaktadır. Gömülü kanin diş ve komşu lateral dişin birbirlerine yakın mesafede bulunmaları fizyolojik basınç oluşumuna sebebiyet vererek rezorpsiyon oluşturabilmektedir [10].

Ortodontistin gömülü kaninlerin tedavisinin ne kadar karmaşık olabileceğini öngörmesine izin veren birkaç sınıflandırma yapılmıştır [75, 128-130]. Tedavideki karmaşıklık gömülü dişin konumuna, sektör sınıflamasına ve gömülü kalma açısına bağlı olarak değişmektedir. Orta hatta daha yakın olan gömülü kaninler tedavi sırasında daha büyük komplikasyonlara neden olabilmektedir [131].

Ericson ve Kurol [75] tarafından önerilen sınıflandırmaya göre sektör 4 ve 5'te bulunan gömülü dişler, tedavisi en karmaşık olanlardır. Çünkü ortodontik sürdürme için özel biyomekanik gerektirirler. Horizontal konumda olan gömülü kaninlerin tedavisi vertikal konumdakilere kıyasla daha zordur ve gömülü dişin orta hat ile yaptığı açının artması, tedavinin prognozunu riske atmaktadır.

Arriola-Guillén ve ark. [132] 2019 yılında yaptığı çalışmada, ortodontik sürdürme kuvvetinin yan keser dişlerde oluşturduğu kök rezorpsiyonunu incelemişlerdir. Bu çalışmada tedavi kompleksliği, sektör sınıflaması, gömülü kalma açısı ve kanin pozisyonuna göre tanımlanmıştır. Yüksek komplekslik grubu, Ericson ve Kurol sınıflandırmasına göre sektör 3 (alfa açısı $>40^\circ$), 4 veya 5 ve bikortikal etkilenmiş maksiller kaninleri içermektedir. Bu grupta %60 başlangıç kök rezorpsiyonu olmasına rağmen (düşük komplekslik grubunda %15'e kıyasla), ortodontik sürdürme kuvvetinden sonra kök rezorpsiyonu her iki grupta da benzer bulunmuştur.

Stewart ve ark. [89] gömülü maksiller kanin dişleri olan hastalar için tedavi süresinin, hastanın tedavinin başlangıcındaki yaşından, gömülü dişin oklüzal düzlemde uzaklığından, gömülü dişin orta hatla yaptığı açıdan ve orta hatta olan yatay mesafeden etkilendiğini bildirmiştir.

Başlangıç kanin pozisyonu ile tedavi sonucu arasındaki ilişki literatürde değerlendirildiğinde, mezial pozisyon, yüksek α açısı (gömülü kaninin uzun eksen ile kesici dişler arasındaki medyan çizgisi arasında oluşan açı -normal değer = 20–53°) ve yüksek vertikal lokalizasyon, tedavinin negatif belirleyicileri olarak tanımlanmıştır [133].

2.1.6.3. Gömülü kanin dişin sürdürülmesinde kullanılan cerrahi teknikler

Açık sürdürme tekniği

Gömülü dişin üzerindeki mukozanın eksizyonu veya repozisyonu sonrası dişin üzerinin açık bırakılması şeklinde tanımlanmaktadır [46, 134]. Bu tekniğin avantajı diş sürmesinin hızlı olması ve ortodontistin dişi sürerken gözlemleyebilmesidir [135]. Labialde bulunan gömülü kanin dişlerin tedavisinde en fazla apikale pozisyone flep ve gingivektomi kullanılırken, kapalı sürdürme tekniği çok az tercih edilir [127].

Bu tekniğin avantajları arasında cerrahi işlem sırasında ortodontiste ihtiyaç duyulmaması, ataşman kopması durumunda ikinci bir cerrahi işleme gerek olmaması ve diş sürme hızının daha yüksek olması sayılabilir. Hasta konforunun düşük olması, enfeksiyon oluşma ihtimalinin yüksek olması, kemik kaybı meydana gelmesi, periodontal dokularda iyileşmenin gecikmesi, keratinize dokuda azalma, dişeti çekilmesi, ağızda kötü koku ve tat oluşması yöntemin dezavantajları arasındadır [135-137].

Kapalı sürdürme tekniği

Kapalı sürdürme tekniğinde, cerrahi operasyonla flep kaldırılarak gömülü dişin sürdürülmesinde kullanılan ataşmanlar dişe yapıştırılır ve flep eski konumuna getirilerek kapatılır. Tel veya zincir flebin altından geçerek midkrestal insizyondan dışarı çıkar. Kuvvet uygulamasına genelde bir hafta içerisinde başlanır [127].

Bu teknik, gömülü kanin diş mukogingival sınıra yakınsa, alveolün derininde konumlanmışsa, apikale pozisyone flebin uygulanması mümkün değilse tercih edilmektedir [138].

Kapalı sürdürme tekniğinin açık sürdürme tekniğine kıyasla, hasta konforunun daha iyi olması, kemiğe minival invaziv bir şekilde yaklaşılması, operasyon sonrası kanlanmanın iyi olması ve daha estetik bir görünümün elde edilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte ataşmanın düşmesi halinde ikinci bir cerrahi operasyon gerektirmesi ve cerrahi işlem sırasında ortodontiste ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajları arasında sayılabilir [127, 136].

2.1.6.4. Gömülü kanin dişlerin sürdürülmesinde kullanılan mekanikler

Gömülü dişlerin sürdürülmesi için, dişin üzerine bağlantı sağlayan bir ataşmanın yapılandırılması gereklidir.

Dişin servikalinden kemik kaldırılarak yerleştirilen lasso teli, komşu dişlerde hasara sebep olabilir. Shapira ve Kuftinec [139], bu ataşmanın kullanımı ile ankiloz, kemik ve keratinize dişeti kaybı, mine sement bölgesinde eksternal kök rezorpsiyonu olduğunu bildirmiştir.

Pinler, geçmişte gömülü dişlerin sürdürülmesi amacıyla da kullanılmıştır [140]. Fakat büyük pulpa odasına sahip dişlerde vitalite kaybı oluşma ihtimali nedeniyle günümüzde geçerliliğini yitirmiş bir uygulamadır [136].

Eyeletler; örgü tabanlı, yüzeye hassas bir şekilde uyum sağlayan, bağlantı özellikleri iyi, yumuşak ve küçük bağlantı ataşmanlarıdır [136]. Butonlar ise eyeletlerin aksine yumuşak tabanlı değildirler ve belirli formda prefabrik olarak temin edilmektedirler. Diğer ataşmanlara nazaran daha çok tercih edilen botun ve eyelet, boyutlarının küçük olması sebebiyle derinde bulunan gömülü dişlerin sürdürülmesinde avantaj sağlar ve çevre dokularda daha az irritasyon oluşturmaktadır [51].

Ligatür teli gömülü dişlerin sürdürülmesi sırasında sıklıkla kullanılmaktadır. Cerrahi işlem sırasında ve aktivasyon safhasında ligatür telinde kopmalar meydana gelebilmektedir [141]. Pearson ve ark. gömülü dişlerin sürdürülmesinde ligatür telinin güvenilir bir yöntem olmadığını bildirmişlerdir [142].

Elastik iplik, gömülü kanin dişlerin sürdürülmesinde sıklıkla tercih edilen, etkisi 4 haftaya kadar devam edebilen sentetik elastomerik materyallerdir. Açık sürdürme tekniğinin uygulandığı vakalarda tercih edilir [143].

Ortodontide sıklıkla kullanılan elastomerik zincirler, poliüretandan yapılan amorf polimerlerdir. Polimerlerin zaman ve sıcaklık gibi faktörlerle mekanik özellikleri değiştiği için ideal elastik materyaller değildirler. Ağız ortamında kullanılan elastomerik zincirler, su ve tükürük absorbe ettikleri için materyalin iç bağlarında bozulmalar meydana gelir ve elastomerik zincirin uyguladığı kuvvet zamanla azalır [144]. Yapılan çalışmalara göre elastomerik zincirler, yük uygulamasını takiben birinci günde başlangıç kuvvetinin %50-70' ini kaybeder. Sonraki üç hafta içerisinde ise %10' unu daha kaybederek dört haftanın sonunda uygulanan başlangıç kuvvetinin %30-40' ına sahip olmaktadır [145-148].

Loring Ross [149] 1999 yılında gömülü kanin dişlerinin sürdürülmesinde kullanılmak üzere uç halkaları olmayan nikel titanyum kapayıcı yayları tanıtmıştır. Bu yöntemle traksiyon kuvveti doğrudan ana ark telinden gömülü dişe bağlı bir botun veya zincire uygulanabilir. 0,009×0,041 inçlik bir yay, uzunluğunun iki katına kadar gerildiğinde 80 gram kuvvet oluşturmaktadır. Elastik ipliğin aksine, nikel titanyum yay, daha uzun bir süre boyunca hafif ve sürekli bir kuvvet sağlar. Gömülü bir kanin dişi, altı hafta içerisinde bir atışman yapıştırılabilecek kadar ekstrüze edilebilir.

Altın zincir, biyouyumlu olması ve dişe yeterli bağlantı sağlayabilmesi sebebiyle dünya genelinde çok rağbet görür ancak oldukça pahalı ve geniş kullanım olanağı olmayan bir üründür [136].

Güncel literatür taramasında gömülü dişlerin sürdürülmesi amacıyla birçok farklı yöntemin uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemlerden bazıları ankrajın artırılması amacıyla kullanılırken bir kısmı da kuvvet yönünün değiştirilmesini sağlamaktadır.

Ballista spring

Balista spring, uygulayacağı kuvvetin enerjisini kendi uzun ekseninde bükülerek oluşturan 0,014, 0,016 veya 0,018 inç yuvarlak bir teldir. Yatay parça, dikey parça ve dikey parçanın uç kısmındaki looptan oluşur. Telde üretilen enerji, 1. premolar dişlere bağlanan horizontal parça vasıtasıyla oluşur. Ligatür telinin bağlanabilmesi amacıyla vertikal parçanın uç kısmı loop şeklinde bükülür. Bu sistemde ankrajı arttırmak için TPA kullanılabilir [150].

Kilroy spring

Bowman ve Carano [151] tarafından 2003 yılında tanıtılan Kilroy spring gömülü dişin konumuna göre kullanılmak üzere 2 farklı çeşitte üretilmiştir. Kilroy Spring, gömülü diş bölgesinde dikdörtgen bir ark teli üzerinde kaydırılan sabit bir kuvvet modülüdür. Pasif durumda, Kilroy Spring'in vertikal loop kısmı oklüzal düzlemden dik olarak uzanır. Kilroy Spring aktivasyonu için, vertikal loop üzerindeki heliks paslanmaz çelik bir ligatür teli ile bağlanır ve loop, gömülü dişe doğru yönlendirilir. Ligatür teli daha sonra cerrahi olarak açığa çıkarılan diş üzerindeki ataşmana bağlanır. Kilroy II' nin Kilroy I' den temel farkı vertikal yönlü kuvvet uygulaması ve bu sayede bukkalde gömülü kalmış kanin dişlerin tedavisinde kullanılmasıdır [152].

K-9 spring

0.017 × 0.025 inç TMA telden bükülen K- 9 spring, gömülü kanin dişin ekstrüzyonu ve distalizasyonu amacıyla kullanılır. İki parçadan oluşan bu springin horizontal kısmı molar tüpünden ve premolar braketlerinden geçerken horizontal parçanın 90° bükülmesiyle vertikal parça elde edilir [153].

Aktif palatal ark

Gömülü kanin dişlere bukkal yönlü kuvvet uygulanmasının komşu dişlerde meydana getirebileceği rezorpsiyonu önlemesi amacıyla Becker tarafından geliştirilmiştir. 0.020 inç telden bükülür ve her iki tarafında da omega loop barındırır. Tel ligatür ile bağlanan looplar vasıtasıyla palatal ark vertikal yönde aktiflenir ve gömülü dişlere bu yönde bir kuvvet uygular [154].

Hareketli aparey ile diş sürdürme

Bazı araştırmacılar, gömülü bir dişin ankiloze olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla başlangıç aşamasında hareketli apareylerin kullanımını tavsiye etmişlerdir. Bu şekilde, ankraj amacıyla kullanılan yapılarda yan etkinin oluşmayacağını bildirmişlerdir [155]. Hareketli apareylerin en önemli dezavantajları hasta uyumu gerektirmeleridir. Bununla birlikte üst apareyler özellikle dik yönde kuvvet uygulamada yetersizdirler [156].

Mini implantlar

Park ve ark. [157] yaptıkları çalışmada gömülü dişlerin sürdürülmesi sırasında ankraj amacıyla mini implant kullanmışlardır. Bu yöntemde, gömülü dişin sürdürülmesi sırasında

sabit mekaniklere ihtiyaç duyulmaması avantaj sağlamaktadır. Mini implantların uygulanan kuvvet karşısında yeterli direnci sağladıkları bildirilmiştir. Bu teknikle kök hareketi oluşturulmadığı için horizontal konumda bulunan gömülü dişler için kontrendikedir.

2.1.7. Gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında oluşabilecek komplikasyonlar

Cerrahi operasyon sonrası gömülü kanin dişin traksiyonuna erken aşamada başlanması gerekmektedir. Ortodontik kuvvet uygulaması, cerrahi işlem sonrası 2-3 haftayı geçmemelidir [18].

Sürdürme prosedüründe gömülü dişin mobilitesi değerlendirilmelidir. Bazı durumlarda dişin immobil olduğu ve uygulanan kuvvetlere karşı koyduğu görülmektedir. Bu durum daha çok palatinalde gömülü kanin dişlerin varlığında meydana gelir. Genellikle geçicidir ve uygun yönde uygulanan devamlı kuvvetler ile dişin hareketi sağlanır [158].

Gömülü dişlerin harekete karşı direnç gösterdiği birkaç durum mevcuttur. Bunlardan ilki cerrahi operasyon sırasında kron etrafında kemik bırakılmasıdır. Dişin kemik içerisinde sıkışmaması amacıyla cerrahi işlem sırasında kronun çevresindeki kemiğin kaldırılması önemlidir. İkinci neden dişin sürdürülmesi sırasında uygun ortodontik mekaniklerin kullanılmamasıdır. Gömülü kanin diş, alveol içerisindeki uygun olmayan aksiyal eğimi sebebiyle hareketlere direnç gösterebilir. Gömülü diş sürdürülürken komşu dişler üzerinde oluşan yan etkileri en aza indirmek ve kanin kronunu kesici dişlerin köklerinden uzağa yönlendirmek için bukkal kuvvetlerden önce distal ve/veya vertikal kuvvetin uygulanması önerilmiştir [16, 17]. Üçüncü sebep ise gömülü dişin ankilozudur. Cerrahi işlem sırasında dişin mobilitesi değerlendirilmelidir. Mobilite gözlenmiyorsa ankiloz ihtimali göz önünde bulundurulmalı ve diş lükse edilmeli veya bulunduğu alveol gevşetilmelidir. Buna rağmen yine de ankiloze diş sürmeyebilir ve çekimi gerekebilmektedir [158].

Yaşın artması gömülü kanin dişler için negatif bir faktördür ve 30 yaşın üzerinde uygulanan ortodontik tedavi mekanikleri yetersiz kalabilir. Bu sebeple yetişkinlerde gömülü kanin diş sürdürülmesi sırasında geçici ankraj aygıtları kullanılabilir. Palatinal bölgeye uygulanacak bir mini vida yardımıyla gömülü kanin diş traksiyon kuvveti uygulanabilir [159].

Gömülü kanin dişlerin sebep olduğu rezorpsiyonlar, radyografik olarak belirlenen orandan (%12) çok daha fazla olduğu bildirilmektedir [160]. Gömülü maksiller kanin diş komşu keser dişlerdeki kök rezorpsiyon oranının KIBT ile incelendiği bir çalışmada, bu oran %33,8 olarak bulunmuştur [161]. Lund ve ark. [162] yaptıkları çalışmada, ortodontik tedavi gören hastaların %60'ında keser diş rezorpsiyonu görüldüğünü ve bu rezorpsiyonun 1 mm'den daha az olduğunu bildirmişlerdir. Bazı hastalarda 4 mm ve üzeri olacak şekilde ciddi rezorpsiyonlar görülebilmektedir. Bu durum kök morfolojisi, ağır ortodontik kuvvet uygulanması ve ortodontik tedavi süresinin uzun olması ile ilişkili olabilmektedir [163].

Gömülü kanin dişlerin ortodontik tedavisinde, unilateral veya bilateral gömülülük karşılaştırıldığında keser rezorpsiyonu açısından bir fark bulunamamıştır [164]. KIBT ile yapılan bir çalışmaya göre; tedavi kompleksitesinin değişmesinin, ortodontik tedavi sonrası keser dişlerdeki rezorpsiyon miktarını etkilemediği gösterilmiştir [165]. Arriola-Guillén ve ark. [166] orta hatta yakın konumlanmış 29 gömülü maksiller kanin diş üzerinde KIBT ile yaptıkları çalışmada, ortodontik tedavi sonrası keser dişlerdeki kök değişimlerinin 2 mm'yi geçmediğini bildirmişlerdir.

2.1.8. Gömülü maksiller kanin dişlerin tedavi sonrası periodontal durumu

Ortodontik tedavi sırasında kullanılan apareylerin retansiyon alanı oluşturmaları, iyi bir ağız hijyeninin sağlanmasında zorluk oluşturmaktadır [167]. Bununla birlikte gömülü kanin diş yapıştırılan ataşmanın oluşturduğu irritasyon, cerrahi operasyon ve farklı yönlerde uygulanan ortodontik kuvvetler farklı seviyelerde periodontal hasara neden olabilmektedir [137, 168-170]. Cep derinliğinin artması, marjinal kemik yüksekliğinin azalması ve PDL kaybı da görülebilmektedir [171].

Cerrahi işlem sırasında uygulanan açık teknikte, kapalı tekniğe kıyasla tedavi süresinin daha kısa olduğu ve ankiloz oluşma ihtimalinin daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte kanin dişin estetiği ve periodontal sağlığı açısından iki yöntem arasında fark bulunamamıştır. Ayrıca gömülü dişin başlangıç pozisyonu ve gömülülük oranı gibi faktörler tedavi sonucundaki estetik görünümü etkilese de periodontal sağlık sürdürme yöntemine bağlı değildir [172].

Gömülü maksiller kanin dişlerin alveol içerisindeki açısının ve vertikal konumunun periodontal sonucu etkilemediği ancak; orta hatta yakınlığı artan dişlerde periodontal prognozun kötüleştiği bildirilmiştir [133].

Gömülü kanin diş ile birlikte komşu lateral ve premolar dişlerde de kemik kaybı görülebilmektedir [169, 171]. Oklüzyona gelene kadar kat ettiği mesafe fazla olan ve orta hatta yakınlığı artmış gömülü kanin dişlere ekstrüziv ve distal yönlü kuvvet uygulanmaktadır. Uygulanan bu kuvvetin komşu dişlerde oluşturduğu stres, bu dişlerin cep derinliğinde artışa neden olabilmektedir [173].

2.2. Gömülü Kanin Dişlerin Sürdürülmesi Sırasında Ankraj

İstenmeyen diş hareketine karşı oluşan direnci ifade eden bir terimdir. Ankraj bölgesi, ortodontik kuvvetlerin destek olarak kullandığı ve harekete karşı yüksek dirence sahip bölge olarak tanımlanmaktadır [18]. Ankraj amacıyla kullanılan yapılara tek diş, diş grubu, maksiller veya mandibular diş kavsi, ense, kafatası ve kas-iskelet sistemi örnek verilebilmektedir [18, 19, 174].

2.2.1. Ankrajın güçlendirilmesi

Ankraj kaybı riski olan vakalarda, arka grup dişlerin ankrajının arttırılması ve bu dişlere etkiyen mezial yönlü kuvvetlerin en aza indirilmesi gerekmektedir.

Posterior ankrajın güçlendirilmesinde kullanılabilecek en basit yöntem diş sayısının arttırılmasıdır. Bu yöntemle birim yüzeyi etkileyen kuvvet miktarı azalmış olacaktır [175]. Diş sayısının arttırılması amacıyla 2. molar dişler de arka dahil edilmektedir [176].

Ortodontik tedavide ankrajın arttırılması amacıyla çeşitli apareyler kullanılmaktadır. Ekstraoral apareylerin kullanımı, ankrajın güçlendirilmesinde tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte, molar dişlerde ekstrüzyon veya devrilme gibi yan etkilere sebep olması ve hasta kooperasyonuna ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajlarından [19, 20]. Hasta kooperasyonundan bağımsız intraoral ankraj arttırma yöntemlerine diş sayısının arttırılması, TPA, elastikler, Nance apareyi ve ikinci düzen bükümler örnek verilebilir [19, 21-23].

Aktif ve pasif şekilde görev yapan transpalatal arklar, ortodontik tedavi sırasında rutin olarak kullanılmaktadır. TPA' nın ankrajı arttırmak, diş hareketi oluşturmak ve mevcut durumu stabilize etmek gibi avantajları bulunmaktadır [177]. Molar dişleri birbirine bağlanması sayesinde kök yüzey alanını arttıran TPA, istenmeyen mezial harekete, devrilmeye ve rotasyona karşı direncin arttırılmasını sağlamaktadır [177].

Farklı tiplerde bulunmalarına rağmen en çok tercih edilen transpalatal ark çeşidi, Goshgarian tip transpalatal arklardır. U looplu veya loopsuz şekilde hazırlanan TPA'ların yapımında 0.9 mm'lik paslanmaz çelik tel kullanılmaktadır [178].

Zeno ve ark. [16] yaptıkları çalışmada, gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında transpalatal ark kullanmış ve bu aktif apareylerin molar dişlere yerleştirilmesinin komşu dişlerde daha az stres oluşumuna neden olduğunu bildirmişlerdir.

Nakandakari ve ark. [114] hazırladıkları vaka raporunda, gömülü kanin dişi modifiye TPA ile segmental ark tekniği kullanarak sürdürmüş ve tedavi sonucunda bu tekniğin kullanımının diş sürdürülmesi açısından yan etkilerinin minimum olduğunu ve tedavi öngörülebilirliğinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi için iki farklı ankraj sistemi olan TPA ve mini vidanın etkinliğinin değerlendirildiği çalışmada, gömülü dişte hareket ve tedavi süresi açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bununla birlikte traksiyon kuvveti mini vida stabilitesini etkilemezken, TPA grubunda, azı dişlerinde klinik olarak anlamlı derecede bir devrilme hareketi meydana geldiği bildirilmiştir [179].

Gelişen tedavi yaklaşımları ile birlikte geçici ankraj aygıtları olarak tanımlanan ve kemikten destek alan aygıtlardan yararlanılarak ankrajın arttırılması amaçlanmaktadır.

2.2.2. İskeletsel ankraj

Dişler, ortodontide ankraj amaçlı en sık tercih edilen yapılardır. Ankraj amaçlı dişlerin kullanılması dişlerde istenmeyen yan etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum çoğu zaman tedavinin daha kompleks bir hale gelmesine ve tedavi hedeflerine ulaşmada güçlüğüne neden olabilmektedir [18, 19]. Bu gibi nedenlerden ötürü ortodontistler ankrajın güçlendirilmesi amacıyla yeni arayışlara girmişlerdir.

Geçici ankraj aygıtlarının yaygınlaşması ile birlikte ortodontide yeni bir dönem başlamıştır. Mutlak ankraj sağlayan bu iskeletsel ankraj ünitelerine; mini vidalar, mini plaklar ve dental implantlar örnek verilebilir [180-183].

2.2.2.1. Mini vida ile iskeletsel ankraj

Mini vidalar, çeşitli boy ve çapta bulunabilen, ortodontik tedavide ankraj amaçlı kullanılan aygıtlardır [184]. Ortodontik mini vidalar dental implantlar ile kıyaslandığında;

daha küçük boyutta olmaları, daha geniş bir alana ve kolay uygulanabilmeleri, bekleme zamanına ihtiyaç duyulmaması ve daha ucuz olmaları gibi avantajlara sahiptir [24, 25, 27].

Gövde, yiv ve baş kısmı olmak üzere üç bölümden oluşan mini vidalarda, baş kısım uygulanan kuvvetin gövdeye iletilmesini sağlar ve üretici firmaya göre farklılık göstermektedir [185].

Mini vidanın yivler ile sarılı gövde bölümü, destek kısmını oluşturan bölümdür. Gövde bölümünün kesit alanı torsiyonel dayanıklılığının belirlenmesinde önemlidir. Mini vidanın çapının arttırılması, yerleştirme sırasında meydana gelebilecek kırılma ihtimalini en aza indirir. Çap ve yiv sayısı mini vida seçiminde dikkat edilmesi gereken temel özelliklerdir [185].

Mini vidalarda kemik iyileşmesi ve osseointegrasyon için beklemeye gerek duyulmamaktadır. Bunun sebebi uygulanan kuvvetleri karşılamada mini vidanın primer stabilitesinin yeterli olmasıdır [24, 186].

Mini vidalar; molar distalizasyonu veya intrüzyonu, kanin distalizasyonu, devrilmiş molar dişlerin dikleştirilmesi, anterior dişlerin intrüzyonu, keser retraksiyonu ve gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi gibi pek çok tedavi yönteminde kullanılmaktadır [24-26].

Mini vidaların üretiminde genellikle titanyum alaşımları kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik mini vidaların, kırılmaya karşı daha dirençli olmasına rağmen, titanyum alaşımlarının tercih edilme nedeni bu alaşımın daha elastik ve biyouyumlu olmasıdır [26, 187].

Mini vidaların stabilitesi ve başarısını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; çap, yiv mesafesi, uzunluk, koniklik ve uç kısmının yapısıdır. Çapın ve uzunluğun artmasıyla mini vidanın stabilitesi artsa da stabilite için en önemli faktörün kortikal kemik olduğu rapor edilmiştir [188].

Mini vidalar konik veya silindirik şekillerde üretilmektedir [26]. Kortikal kemik teması ve primer stabilite açısından değerlendirildiğinde konik mini vidaların daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır [188].

Carano ve ark. [187] yaptıkları çalışmada üç farklı mini vida sisteminin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda silindirik şekilli mini vidanın konik olandan daha üstün olduğu ancak kökler arası mesafenin 2,5-3,5 mm ile sınırlı olduğu durumlarda konik vidaların tercih edilebileceğini bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda tercih edilen mini vida çapı genellikle 1,0 ve 2,3 mm arasındadır [189].

Lim ve ark. [190] mini vidanın uzunluğu ve çapı ile kortikal kemik genişliği üzerindeki stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, mini vidaya uygulanan kuvvet sonucu meydana gelen stresin büyük kısmını kortikal kemiğin absorbe ettiğini ve mini vida stabilitesinin vidanın uzunluğundan ziyade çapına bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Miyawaki ve ark. [191] 1,0 mm çapındaki vidaların 1,5 ve 2,3 mm çaplı mini vidalara kıyasla daha başarısız olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda kullanılan mini vida uzunluğu 4-21 mm arasında değişmektedir [189]. Kemik kalitesi, komşu anatomik yapılar ve mukoza kalınlığı kullanılacak mini vidanın uzunluğunun seçiminde önemlidir [187, 188].

Literatür incelendiğinde mini vidaya uygulanan kuvvet miktarının 50-400 g arasında değiştiği ve 200 g'dan daha az kuvvet uygulamanın mini vidada minimum mobilite oluşturacağı bildirilmiştir [190, 192].

Mini vida yerleşimi için maksilladaki kemik miktarını panoramik radyografileri inceleyerek değerlendiren Schnelle ve ark [193], en uygun kemik miktarının birinci molar dişlerin mezialinde bulunduğunu bildirmişlerdir.

KIBT görüntüleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, maksillada kemiğin en fazla bukkolingual olarak birinci ve ikinci molar dişler arasında, meziodistal olarak palatinalde ikinci premolar ve birinci molar diş arasında olduğu tespit edilmiştir. Maksillada alveol kret tepesinden 5-8 mm uzaklıkta, ikinci premolar ile birinci molar diş arasında kalan bölge mini vida yerleşimi için uygun bulunmuştur [194].

Mini vidaların yerleştirme açısına karar verirken kortikal kemik desteğinin fazla olmasına ve komşu anatomik yapıların zarar görmemesine dikkat edilmesi gerekir. Park ve ark [192] yaptıkları çalışmada mini vidanın kemiğe geniş açı ile yerleştirilmesinin kortikal kemik desteğini arttırdığı ve köklerde hasar oluşma riskini azalttığını bildirmişlerdir.

Lee ve ark. [195] gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında köklerde oluşabilecek çatışmaların önlenmesi amacıyla palatinal bölgeye mini vida yerleştirerek distal yönlü kuvvet uygulamışlardır. Bu şekilde kuvvetin doğru yönlendirilmesiyle komşu dişler

üzerinde oluşan yan etkileri en aza indirerek estetik ve fonksiyonel sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

Kocsis ve Seres [196] yaptıkları çalışmada gömülü kanin dişte ankiloz tanısı ekarte etmek ve gömülü dişin başlangıç angulasyonunu düzeltmek için alveolar kemiğe mini vidalar yerleştirmişler ve gömülü dişin sürdürülmesi için ankraj olarak kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda alveolar kemiğe yerleştirilen mini vidaların, gömülü kaninlerin sürdürülmesinde güvenilir ve kullanışlı iskelet ankraj üniteleri olduğunu bildirmişlerdir.

Park ve ark. [157] gömülü kanin dişin sürdürülmesi sırasında mini vida ankrajından yararlanmışlardır. Kanin dişin sürdürülmesi için ihtiyaç duyulan kuvvet aralığında mini vidanın stabil olduğunu ve arkta herhangi bir deformasyon olmadan bu yöntem ile kanin dişin arka alınabileceğini bildirmişlerdir.

Gömülü bir dişi sürdürmek için uygulanan kuvvet, genellikle komşu dişlerin intrüzyonu veya oklüzal düzlemin eğilmesi gibi yan etkilere neden olabilir. Bu gibi etkileri en aza indirmek için stabil ankraj gereklidir. Son yıllarda, çok yönlülüğü, minimal invazivliği ve düşük maliyeti nedeniyle mini vidalarla iskelet ankraj giderek daha popüler hale gelmektedir [24, 197-199].

2.3. Kuvvet Analiz Yöntemleri

Kuvvet analiz yöntemleri, bir cisme uygulanan kuvvetlerin yoğunlaştığı bölgelerin tespit edilmesini ve cismin bu kuvvetlere karşı tepkisinin belirlenmesini sağlayan yöntemlerdir. Diş hekimliğinde, dentofasiyal yapılar üzerinde meydana gelen gerilme ve gerinim değerlerinin, bu değerlerin hangi bölgelerde yoğunlaştığının ve oluşabilecek deformasyonların belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [200, 201].

Diş hekimliği alanında kullanılan bazı kuvvet analiz yöntemleri şunlardır [202]:

1. Gerinim ölçer (strain gauge) analizi,
2. Holografik interferometre analizi (Lazer ışıklı kuvvet analizi),
3. Fotoelastik gerilme analizi,
4. Kırılkan vernikle kaplama yöntemi,
5. Sonlu elemanlar stres analizi.

2.3.1. Sonlu elemanlar analizi

Sonlu elemanlar analizi, çeşitli karakteristik özelliklere ve düzensiz şekle sahip yapılara uygulanan, bu yapılarda meydana gelen yer değiştirme ve gerilmeleri ölçebilen bir gerilme analiz yöntemidir. Mühendislik alanında kullanılan kompleks problemlerin çözülebilmesi amacıyla geliştirilen simülasyon metodudur [29, 30].

Gerinim ölçer analizi, holografik interferometre analizi, fotoelastik gerilme analizi, kırılğan vernikle kaplama yöntemi benzeri kuvvet analiz yöntemlerinin, canlı ve karmaşık bir doku olan kemiğin iç yapısındaki stres dağılımını ve yer değiştirmeleri belirlemede yeterli olmadığı görülmüştür [203].

Sonlu elemanlar analizi diş hekimliğinde uygulanan kuvvetlerin dentofasiyal yapılar üzerinde oluşturduğu etkilerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemi, çeşitli ortodontik aparey ve mekaniklerin etkilerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasında da sıklıkla tercih edilmektedir [204, 205].

Diş hekimliği alanında bu analiz ile yapılan öncü çalışmada, bir diş üzerine farklı yönlerden kuvvet uygulanmış ve dişi çevreleyen kemik doku üzerinde oluşan gerilmeler incelenmiştir [206]. 1971 yılında Davidian'ın [207] yaptığı çalışma ile ortodonti alanında sonlu elemanlar analizinin kullanımına başlanmıştır. Bu çalışmada, santral kesici dişin geometrik modeli oluşturulmuş ve kuvvet uygulaması sonucu periodonsiyumda meydana gelen etki ile rotasyon ve direnç merkezinin yer değişimi izlenmiştir. Günümüzde sonlu elemanlar analizinin diş hekimliğinde kullanım alanı artarak protez, ortodonti, implantoloji ve restoratif diş hekimliğinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [203].

2.3.1.1. Sonlu elemanlar analizi ile ilgili kavramlar

Kuvvet

Kuvvet cisimlerde deformasyona, geçici şekil ya da yer değişikliğine neden olan etki olarak tanımlanır. Doğrultu, yön, süre ve şiddet gibi özelliklere sahip olan kuvvet, vektörel bir büyüklüktür. Kuvvet birimi Uluslararası Birim Sistemi'ne göre "Newton"(N)' dur. Ortodonti literatürü incelendiğinde kuvvet birimi çoğunlukla "gram-kuvvet" (gf) olarak verilmekte fakat "gram" (g) olarak kullanılmaktadır (116). 1 newton, 101,7 gram-kuvvet'e tekabül etmektedir [208].

Gerilme (Stress)

Cisme uygulanan kuvvet sonucu, cismin birim alanında oluşan tepki olarak tanımlanmaktadır. Newton'un etki-tepki yasasına göre oluşan tepki kuvveti, dış kuvvetle eşit fakat zıt yöndedir. Buna göre katı bir cismin iç yapısında meydana gelen gerilme, birim yüzeye gelen kuvvet olarak ifade edilmektedir [209].

Gerilme birimi Paskal (P) ya da N/m² olarak kullanılsa da dış hekimliği alanında yüzey alanlarının küçük, stres değerlerinin büyük olması sebebiyle Mega Paskal (MPa) veya N/mm² kullanılmaktadır.

Kuvvetler çoğunlukla karmaşık gerilmeler oluştursa da, temel olarak 3 gerilme tipi mevcuttur [209].

- Çekme gerilimi (tensile stress), cismin moleküllerini birbirinden ayırmaya zorlayan, aynı doğrultuda, fakat ters yönde iki kuvvetin cismi etkilemesi ile oluşur.
- Basma gerilimi (compressive stress), cismin moleküllerini birbirine yaklaştırmaya zorlayan, aynı doğrultuda ve ters yönde iki kuvvetin cismi etkilemesi ile oluşur.
- Makaslama ya da kayma gerilimi (shear stress), cismin moleküllerini birbirini üzerinde kaymaya zorlayan farklı seviyelerde yüzeye paralel ve ters yönde olan iki kuvvetin cismi aynı anda etkilemesi ile oluşur.

Asal gerilmeler (Principal stress)

Bütün düzlemlerde makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve tüm gerilmelerin alana dik yönde normal gerilmelerden oluştuğu gerilme tipi asal gerilmeler olarak adlandırılmaktadır [210]. Asal gerilme üç şekilde incelenmekte olup bunlar; maksimum, orta ve minimum asal gerilmelerdir. Uygulanan kuvvet sonucu bu üç tip gerilmeden sadece bir tanesinin saf bir şekilde meydana gelmesi zor olduğu için oluşan gerilme tipi, genellikle bu üçünün bir arada bulunduğu bileşik bir gerilme tipidir [211].

En yüksek çekme gerilmelerini belirten maksimum asal gerilmeler pozitif bir değerde iken en yüksek basma (sıkışma) gerilmelerini belirten minimum asal gerilmeler negatif bir değerdedir. Düğüm noktasındaki etkin gerilme tipi, mutlak değeri büyük olan gerilmedir [211].

Von mises gerilmesi

Von Mises gerilmesi, kuvvet uygulanan cisimlerde meydana gelen gerilme dağılımlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şekil değiştirmenin farklı bir deyişle plastik deformasyonun başlangıç değeri olarak tanımlanmakta ve çekilebilir (ductile) özelliği olan materyallerde kullanılmaktadır. Ayrıca gerilmelerin dağılımı ve yoğunlaşma bölgeleri ile ilgili genel bir kanı edinmek amacıyla kullanılmaktadır [209, 212].

Gerinim (Strain)

Gerinim, cisme etki eden kuvvet sonucu cismin birim boyunda meydana gelen şekil değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Herhangi bir ölçü birimi ve yönü bulunmamaktadır. Gerinim aynı zamanda boyuttaki değişimin orijinal boyuta oranı olarak da ifade edilmektedir [209].

İki tür gerinim çeşidi bulunmaktadır. Elastik gerinimde cismin başlangıç durumuna dönebilmesi için kuvvetin ortadan kalkması gerekirken plastik gerinimde kuvvet kaldırılırsa bile cisim başlangıç haline geri dönemez ve şekil değişikliğine uğramış olur [213].

Elastiklik modülü (Young modülü)

Gerilimin gerinime oranı olarak tanımlanan bu modül, cismin dayanıklılığını ifade eden bir katsayıdır [214]. Aynı zamanda cismin katılığını belirleyen bir ölçüt olduğun için bu modülün artması cismin katılığının da arttığını bildirmektedir. Bir cismin yüksek elastiklik modülüne sahip olması, düşük elastiklik modülüne sahip olmasına kıyasla daha az deformasyona uğradığını göstermektedir [209].

Poisson oranı

Cisimlerin çekme veya basma yükleri altında, elastik limit içerisinde, eninde meydana gelen boyutsal değişimin boyunda meydana gelen boyutsal değişime oranıdır. Poisson oranı, cisme ait karakteristik bir özelliktir ve tüm materyaller için 0 ile 0,5 arasında bulunmaktadır.

Çekme kuvveti uygulandığında kuvvetin uygulandığı doğrultuda cismin boyunda uzama meydana gelirken kuvvet doğrultusuna dik olan düzlemde bir daralma

oluşmaktadır. Basma yükleri uygulandığında ise cisimde kuvvet doğrultusunda daralma olurken, kuvvete dik doğrultuda genişleme meydana gelmektedir [215].

İzotropi ve anizotropi

İzotropi ve anizotropi cisme farklı yönde uygulanan kuvvetler sonucu cismin farklı elastisite modülü sergileyip sergilemediğinin değerlendirildiği bir kavramdır. İzotrop cisimler farklı doğrultuda kuvvet uygulansa bile; makaslama, çekme, basma gerilmelerinde aynı elastiklik modülüne sahiptirler. Anizotrop cisimlerde ise uygulanan kuvvetin doğrultusu değiştikçe elastiklik modülü de değişmektedir [216, 217].

Homojen cisim

Bir cisim içerisindeki elastikiyet özelliklerinin her noktada aynı olmasıdır [200].

Eleman (Element)

Sonlu elemanlar analizinin yapılabilmesi için ilk olarak geometrik modeller oluşturulur. Daha sonra oluşturulan bu modeller "eleman" (element) adı verilen basit şekillere ayrılır. Elemanlar; üçgen, dörtgen ve paralel kenar olmak üzere geometrik şekillerine göre sınıflandırılabilir [200, 218].

Düğüm (Node)

Elemanların birbirleri ile bağlanma noktalarına düğüm adı verilmektedir. Sonlu elemanlar analizi yapılırken bu düğüm noktalarının belirli kısımlardan sabitlenmesi gerekmektedir [219].

Sınır koşulları (Boundary conditions)

Cismin sabitlendiği yeri ve kuvvet uygulama noktasını gösteren sınır şartları, gerilme ve deplasmanın sınırlarını ifade etmektedir [219].

2.3.1.2. Sonlu elemanlar analizinin aşamaları

Sonlu elemanlar analizinin ilk aşaması, incelenecek cismin geometrik modelinin oluşturulmasıdır. Bu modelin gerçeğe yakınlığı, analiz sonuçlarının güvenilirliğinde en önemli etkenlerden biridir [200, 218].

Biyomekanik uygulamalarda kullanılan üç boyutlu model;

- Üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinin kullanılması ile,

- Modeli oluşturulacak cismin yüzey tarayıcıları kullanılarak taranması ile,
- 3B modelleme programları vasıtasıyla, cismin araştırmacı tarafından manuel olarak çizilmesi ile oluşturulabilir [220, 221].

Modelleme aşamasında çoğunlukla BT ve MRG (Manyetik Rezonans Görüntüleme) gibi üç boyutlu görüntüleme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak geometrik model oluşturulmaktadır.

TPA, spring ve implant gibi cisimlerin modellemesi, teknik çizimlerinden yararlanılarak veya yüzey tarayıcıları vasıtası ile oluşturulabilmektedir [220, 221].

Daha sonra geometrik modelin bilgisayar ortamına aktararak ağ yapıya dönüştürülmesi sonucu matematiksel model elde edilmiş olur. Sonlu sayıda elemandan oluşan matematiksel model, belirli sayıda düğüm noktası içerir ve basit bir geometrik şekle sahiptir. Elde edilen analiz sonucunun gerçeğe yakın olabilmesi için ağ yapıyı oluşturan elemanların uygun geometriye ve büyüklüğe sahip olmaları ve düzgün sıralanmaları gerekmektedir [200, 218].

Analizde kullanılan eleman sayısının fazla olması, analiz sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır. Modelin fazla sayıda elemana bölünmesi ile detay o ölçüde artmakta ve bu durum oluşturulan modelin gerçeğe benzeme oranını yükseltmektedir [200, 219].

Matematiksel modelin oluşturulmasının ardından biyolojik yapının karakteristik özellikleri olan elastiklik modülü ve poisson oranının analiz programına aktarılması gerekmektedir [200].

Bütün düğüm noktalarının koordinatları, bir başlangıç noktası referans alınarak x, y, z eksenleri üzerinde belirlenir ve bilgisayar ortamına aktarılır. Modelin sabitleme ve kuvvet uygulama noktaları gibi sınır bölgelerindeki belirleyici koşulları tanımlanır ve matematiksel model hazır hale getirilir [200].

Analiz aşamasında, matematiksel modelde istenilen düğüm noktalarına kuvvetin uygulanır. Kuvvetin uygulanmasıyla ağ yapıyı meydana getiren diğer düğüm noktalarındaki değişiklikler hesaplanmaktadır. Bu şekilde her bir elemanda ve bütün elemanların oluşturduğu cisimdeki gerilim ve deplasman bulguları belirlenmektedir [200, 218].

Hesaplanan veriler; animasyonlar, deplasman görüntüleri, sayısal veriler içeren tablolar ve gerilme değerlerinin gösterildiği renkli görüntüler olarak elde edilmektedir [200].

Önemli noktalarda bulunan düğümlere ait yer değiştirme ve uygulanan kuvvetlerin meydana getirdiği gerilme değerleri, tablolar ve grafikler aracılığıyla sayısal değerler olarak belirtilmektedir.

Animasyonlarda ve büyütülmüş görüntülerde, normalde çok küçük değerlerde olan yer değiştirmeler, orantısal olarak büyütülüp yorumlaması daha kolay hale getirilmektedir [222].

2.3.1.3. Sonlu elemanlar analizi yönteminin avantajları ve dezavantajları

Avantajları [200, 218]:

- Farklı problemlerin çözülebilmesi için dış hekimliği de dahil olmak üzere birçok alanda kullanılabilir.
- Farklı malzeme özelliklerine sahip ve düzgün bir geometrik yapısı olmayan cisimlere uygulanıp gerçek yapıyı temsil eden bir model hazırlanabilir.
- Kompleks yapılarda, deneysel metotlardan daha hassas ve detaylı sonuçlar vermektedir.
- Farklı özelliklere sahip yüzeyler arasında oluşan sürtünme, yapışma ve temas gibi özellikler gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebilir.
- Deplasman, gerilme ve gerinim değerleri detaylı bir şekilde ölçülebilmektedir.
- Analiz, modelde değişiklikler yapılarak istenildiği kadar tekrarlanabilir.
- Tehlikeli olduğu öngörülen ve denenmesi mümkün olmayan çalışmaların simülasyonunu oluşturulup bazı araştırmaların etik ve metodolojik sınırlamalarının üstesinden gelinmesi sağlanmaktadır.

Dezavantajları [202, 219]:

- Modelleri oluşturulan materyallerin özellikleri varsayıma dayandırıldığı için gerçek yapıyla bire bir uyuşmamaktadır.
- Modellenen yapılar, ağız içerisinde daha çok dinamik kuvvetler altındadır. Dinamik olarak bu analizin gerçekleştirilmesi mümkün olmakla birlikte daha zordur.
- Analiz sonucunun doğruyu yansıtabilmesi için yapıların fiziksel özelliklerinin bilgisayara aktarılma işlemi son derece hassas yapılmalıdır.
- Analizin yapılabilmesi için bilgi birikimine, yüksek teknolojiye, donanım ve yeterli zamana ihtiyaç duyulur.

Birçok avantajı bulunmasına rağmen sonlu elemanlar analizinin bir bilgisayarlı simülasyon yöntemi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Sonlu elemanlar analizinde oluşturulan modellerin matematiksel problemin çözümüne imkân sağlayacak şekilde sade olması ve gereksiz ayrıntıları içermemesi, buna karşılık gerçek yapıyı da mümkün olan en iyi şekilde tanımlayabilmesi gerekmektedir [223].

2.3.1.4. Sonlu elemanlar analizinin ortodontide kullanımı

Ortodonti alanında sonlu elemanlar analizi yöntemi;

- Ortodontik kuvvetlerin diş, PDL ve alveol kemiğinde oluşturdukları gerilmelerin incelenmesinde,
- Ortodontik apareylerin biyomekanik etkilerinin incelenmesinde,
- Ortopedik apareylerin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde,
- Hızlı maksiller genişletme amacıyla uygulanan apareylerin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde,
- Geçici ankraj aygıtlarının çevresinde oluşan gerilmelerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır [28].

2.3.1.5. Konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalar

Zeno ve ark. [16] yaptıkları çalışmada, vertikal ve bukkal yönlerde uygulanan kuvvetlerin farklı yükleme koşulları altında gömülü kanin dişlerinin seviyelenmesi sırasında maksiller dişler üzerinde oluşturdukları stresi değerlendirmişlerdir. Çalışma

sonucunda gömülü dişe komşu dişler üzerinde oluşan stresi en aza indirmek için; distal, vertikal veya her iki kuvvet yönünün bir kombinasyonunu, kanin kronunu kesici dişlerin köklerinden uzağa yönlendirmek veya gömülü dişi arka almak için bukkal kuvvetlere tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Zeno ve ark. [17] sonlu elemanlar analizini kullanarak yaptıkları çalışmada bukkal, vertikal ve distal yönlerde kuvvet uygulanan gömülü kanin diş üzerindeki stres seviyelerini değerlendirmiş ve bu dişlerin eğim şiddeti ile ilişkili olarak oluşan stresleri karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda daha şiddetli eğime sahip kanin dişleri ile servikal seviyede bukkalden uygulanan kuvvetlerin daha yüksek stres oluşturduğunu ve harekete daha fazla direnç gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sebeple tedavinin ilk aşamalarında distal ve/veya vertikal kuvvetin uygulanmasını önermişlerdir.

Nagendraprasad ve ark. [224] yaptıkları çalışmada, gömülü dişlerin eğimindeki değişikliklerle birlikte farklı büyüklüklerde ortodontik ekstrüzyon kuvvetleri uygulandığında, gömülü kaninlerin, lateral dişlerin ve gömülü dişlere bitişik birinci premolar dişlerin periodontal ligamentindeki yer değiştirme ve stres paternini analiz etmişlerdir. Çalışma, farklı açılarda yerleştirildiğinde, gömülü kaninlerin yer değiştirme ve stres dağılımında değişiklik olduğunu göstermiştir. Gömülü dişlerin yer değiştirme oranı, gömülü kaninlerin kronu daha mezial eğimli olduğunda azalmıştır. Minimum kuvvetlerin kullanılmasının, gömülü kanin dişleri ekstrüze etmek için ideal olduğu bildirilmiştir.

Kojima ve Fukui [225] sonlu elemanlar analizi ile TPA' nın molar dişler üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, bu arkların molar dişlerin mezial yöndeki hareketini önleyemediği fakat transversal yönde oluşan hareketleri engellediğini belirtmişlerdir.

Bobak [226] TPA yerleştirilen ve yerleştirilmeyen molar dişlerdeki periodontal stresi sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmiş ve TPA' nın molar dişlerin devrilmesini engelleyemediğini, bu dişlerin rotasyonunu azalttığını ve PDL' de meydana gelen stresi %1'den daha az etkilediğini belirtmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın amacı, gömülü kanin dişin pozisyonunun düzeltilmesi ve sürdürülmesi sırasında kullanılan; biri iskeletsel, diğeri diş destekli iki farklı ankraj mekaniğinin meydana getirdiği kuvvet ve stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesidir.

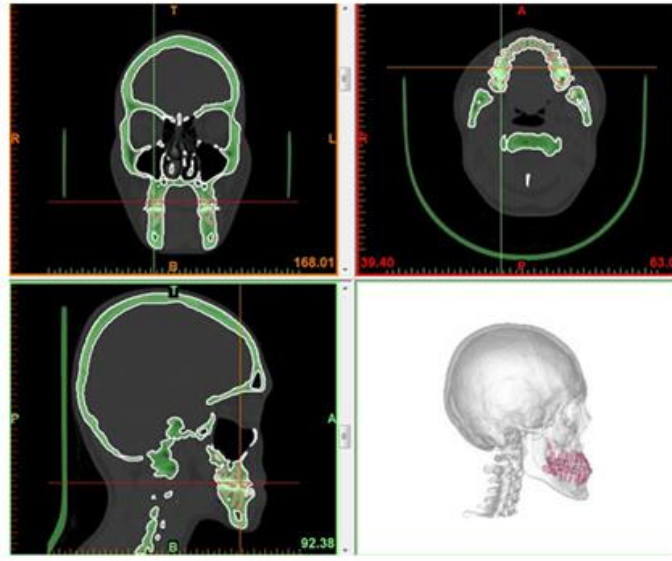
Çalışmamız Adıyaman Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 07/04/2021 tarihli, 2021/04-17 protokol numarası ile onaylandı ve Adıyaman Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı ile Parsim Mühendislik Limited Şirketi tarafından, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'nin DHFDUP/2022-0001 nolu proje desteği ile gerçekleştirildi.

Sonlu elemanlar analizinin yapılabilmesi için Intel Pentium® D CPU 3,00 GHz işlemci, 2TB Hard disk, 48 GB RAM donanımlı ve Windows 7 işletim sistemi olan bilgisayardan, NextEngine (NextEngine Inc, California, USA) lazer tarayıcısı ile makro çözünürlükte yapılan üç boyutlu taramadan, CATIA (McNeel Inc, Seattle, WA, USA) ve Rhinoceros 4.0 (McNeel Inc., Seattle, WA, ABD) üç boyutlu modelleme yazılımından ve ADINA (Autodesk Inc, Pittsburgh, PA, USA) analiz programından yararlanıldı.

3.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması

3.1.1. Maksillanın modellenmesi

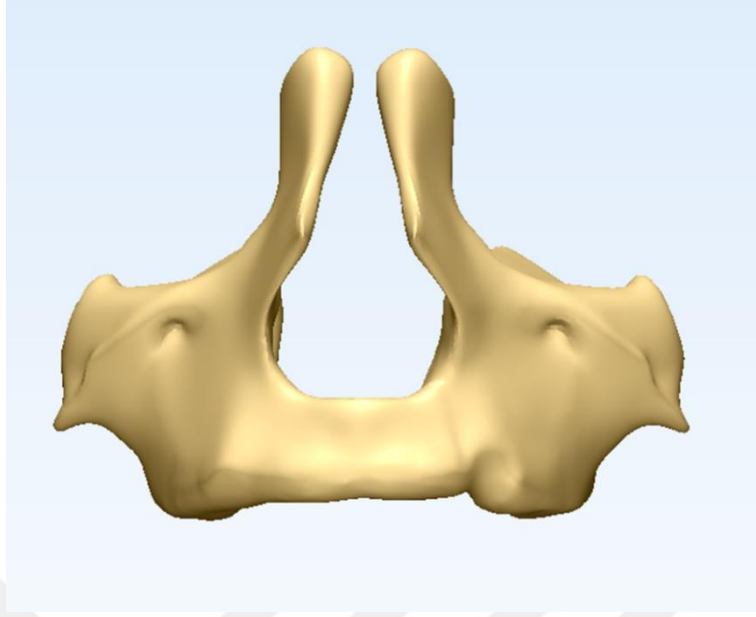
Maksillanın modelinin oluşturulması için, herhangi bir kraniyofasiyal bozukluğu olmayan, yetişkin bir hastaya ait KIBT görüntüleri kullanıldı. KIBT görüntüleri ILUMA (3M Imtec, Oklahoma, ABD) 3B görüntüleme cihazı ile 3.8 mA, 120 kvp' de, 40 saniyelik taramanın sonucunda elde edildi. Daha sonra hacimsel veri 0.2 mm kesit kalınlığı ile yeniden yapılandırıldı. Yeniden yapılandırma sonucunda elde edilen kesitler, DICOM 3.0 formatında dışa aktarıldı ve MIMICS (Able Software Corp, Massachusetts, USA) yazılım programına alındı.



Şekil 3.1. Yetişkin bir hastaya ait KIBT görüntüsü.

MIMICS; MRG ve BT gibi birçok görüntüleme yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin bilgisayar ortamında rekonstrükte edildiği bir programdır. Bu program ile rekonstrüksiyonu yapılan görüntülere, sadeleştirme ve yeniden biçimlendirme gibi çeşitli değişiklikler uygulanabilmektedir.

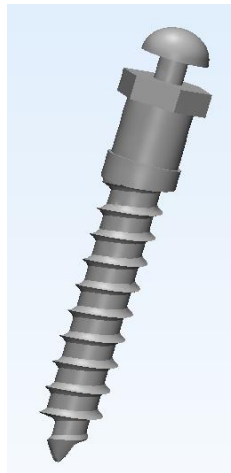
Radyografik görüntüler MIMICS yazılım programına aktarıldı. Daha sonra burada "Interactive Segmentation" yöntemi ile Hounsfield Ünitesi değerleri dikkate alınarak üst çene kemik dokusu ayrıştırıldı. Bu işlemden sonra "Complex Surface Rendering" yöntemi ile 3B kemik modeli elde edildi. Elde edilen 3B modelin MIMICS yazılımındaki sadeleştirme yöntemleri ile düşük hafıza tüketen ve düzgün oranlara sahip elemanlardan oluşan, pürüzsüz bir yüzey haline getirilmesi ile maksillanın modelleme işlemi tamamlandı. 3B kemik modeli MIMICS yazılımından “.stl” formatında bir dosya halinde dışa aktarılarak CATIA yazılımına gönderildi.



Şekil 3.2. *Maksillanın geometrik model görüntüsü.*

3.1.2. Mini vidanın modellenmesi

Birinci modelde kullanılmak üzere 1,5 mm çapında ve 8 mm uzunluğundaki palatal mini vida (American Orthodontics, Sheboygan, Wisconsin, USA) CATIA yazılımında modellendi. Araştırmamızda kullanılan bu mini vida titanyum alaşımından yapılmıştır (Ti-6 Al-4V).



Şekil 3.3. *Mini vidanın geometrik model görüntüsü.*

3.1.3. Transpalatal arkın modellenmesi

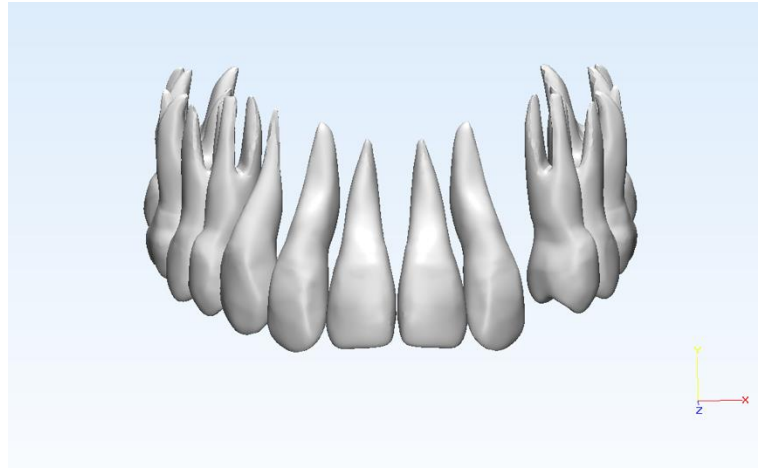
İkinci modelde kullanılmak üzere her iki birinci molar dişin bantlarına lehimlenmiş, U looplulu, 0.036 inç (0.9 mm)' lik paslanmaz çelik telden yapılan, TPA üzerine sol tarafta ikinci premolar ile birinci molar dişler arasındaki bölgeye denk gelecek şekilde çengel eklenerek modifiye edilmiş transpalatal ark, Rhinoceros yazılımında manuel olarak modellendi.



Şekil 3.4. Transpalatal arkın geometrik model görüntüsü.

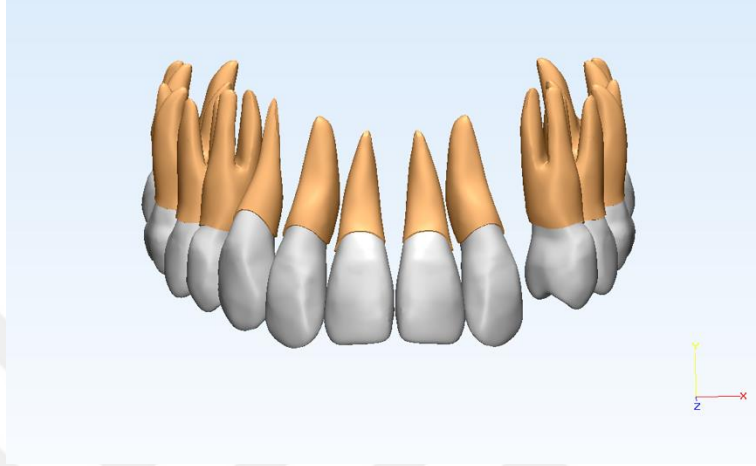
3.1.4. Dişlerin ve periodontal ligamentin modellenmesi

Kök ve kronlara sahip üç boyutlu diş modelleri Wheeler [227] diş atlası referans alınarak manuel olarak Rhinoceros 3B modelleme yazılımında modellendi. Maksiller dentisyon modellenirken yirmi yaş dişleri dental ark üzerine dâhil edilmedi. Modelleme sırasında dişlere ait mine, dentin, sement ve pulpa dokuları oluşturulmadı.



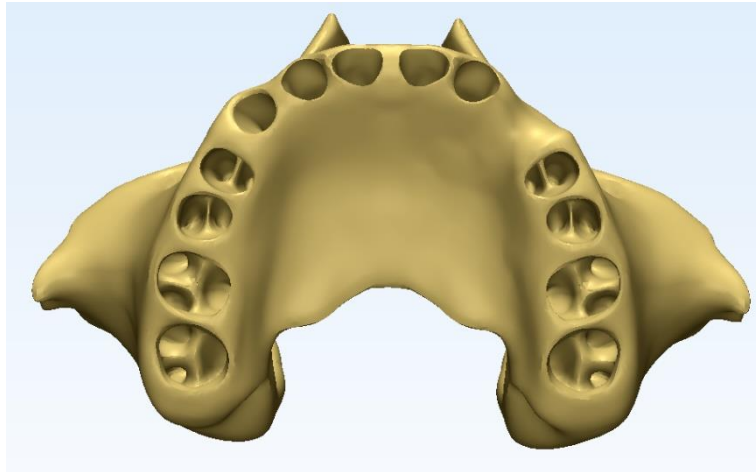
Şekil 3.5. Dişlerin geometrik model görüntüsü.

Dişlerin kortikal kemik içerisinde kalan kısımlarının “slice” işlemi ile kesilmesiyle elde edilen arayüzlerden, “offset” komutu ile 0.25 mm kalınlığında uniform periodontal ligament oluşturuldu.



Şekil 3.6. Periodontal ligamentin geometrik model görüntüsü.

Rhinoceros yazılımında peridontal ligament dokularının kortikal kemikten “boolean” yöntemi ile çıkartılmasıyla diş soketleri elde edildi.

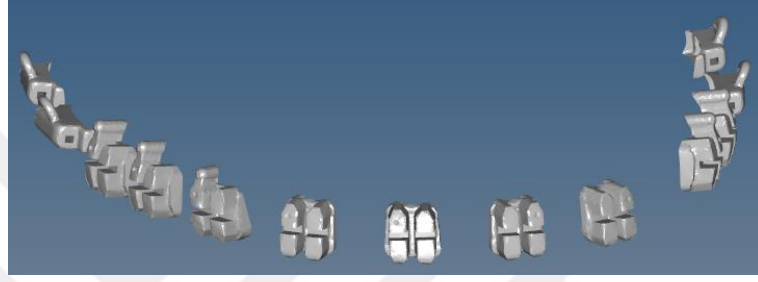


Şekil 3.7. Diş soketlerinin geometrik model görüntüsü.

Diş soketlerinin elde edilmesinden sonra kemik dokusuna “offset” yöntemi ile kalınlık verilerek spongioz kemiğin dış kısmı modellendi.

3.1.5. Braketler ve tüplerin modellenmesi

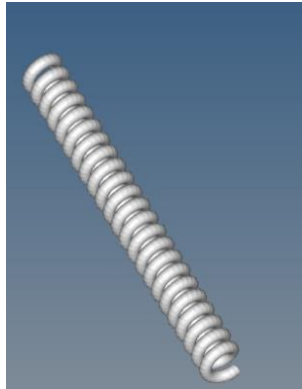
Araştırmamızda NextEngine lazer tarayıcısı yardımıyla American Orthodontics (Sheboygan, Wisconsin, USA) firmasına ait 0.022 inç slot boyutuna sahip MBT braketler ve tüpler, üç boyutlu olarak tarandı. Elde edilen görüntüler CATIA yazılım programına gönderildi. Modellemede kullanılan braketler, dişin vestibül yüzeyinin orta noktasına denk gelecek şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.8. Braketler ve tüplerin geometrik model görüntüsü.

3.1.6. Ark teli, yay ve butonun modellenmesi

American Orthodontics (Sheboygan, Wisconsin, USA) firmasına ait 0.019x0.025 inç paslanmaz çelik ark teli, Ni-Ti kapayıcı sarmal yay, molar bandı ve buton Rhinoceros yazılım programında manuel olarak modellendi.



Şekil 3.9. Kapayıcı yayın geometrik model görüntüsü.

3.2. Matematiksel Modelin Oluşturulması

CATIA yazılımında oluşturulan modeller, üç boyutlu koordinatlar korunarak ADINA (Autodesk Inc, Pittsburgh, PA, USA) programına aktarıldı. CATIA yazılımında yüzey şeklinde yapılan ağ yapının oluşturulması işlemi, ADINA yazılımında katı model şeklinde yapıldı. Burada oluşturulan modeller Tetrahedral elemanlar olarak katı modele çevrildi.

Tablo 3.1. Modellerde kullanılan eleman ve düğüm sayıları.

	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı
1. Model	282794	1471886
2. Model	282893	1445296

3.2.1. Materyal özelliklerinin tanımlanması

Araştırmamızda kullanılan tüm modeller lineer elastik, homojen ve izotropik olarak kabul edildi.

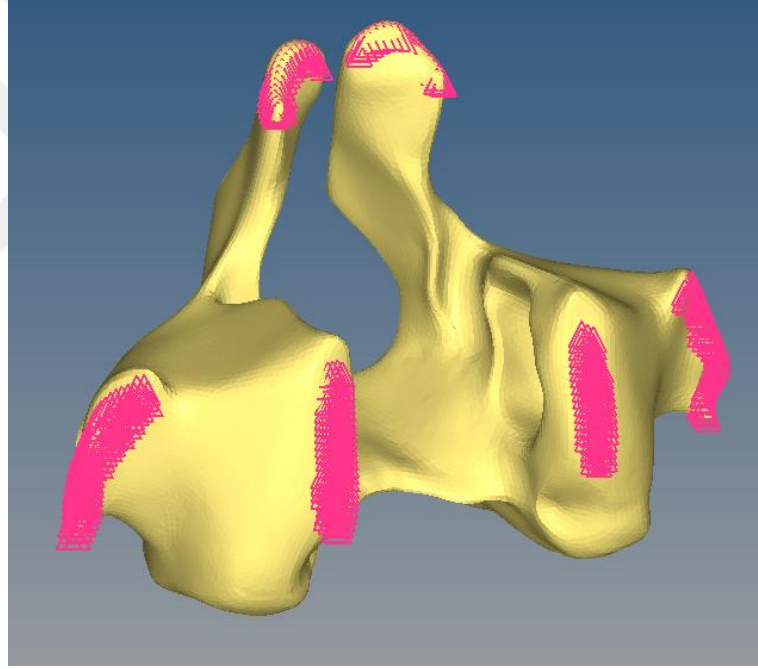
Tablo 3.2. Anatomik yapılar ve materyallerin mekanik özellikleri.

	Elastiklik Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Dişler	18600	0,31
Kortikal Kemik	13700	0,3
Spongioz Kemik	1370	0,3
Periodontal Ligament	0,69	0,45
Titanyum Alaşımı	113000	0,35
Çelik (Braket ve Teller)	208000	0,3

3.2.2. Sınır koşulları

Uzay boşluğunda var olan yapıların üzerine uygulanan kuvvetler karşısında bu yapıların nasıl davranacağını analiz edilebilmesi için analizi istenen kısma uzak olan bölgelerden sabitlenmesi ve model içerisinde birbirleri ile etkileşime girecek farklı yapıların hangi şartlar altında etkileşime gireceğinin tanımlanması, yani sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada oluşturulan her iki modelde de maksilla, apertura priformis ve maksiller tüber seviyesinde sabitlendi. Hareketli ve sabit kabul edilen bu bölgeler analiz sonuçlarını etkilememesi açısından analizi yapılacak bölgelerden uzakta seçildi.



Şekil 3.10. Maksillanın sınır koşulları.

Braketler ile ark teli arasındaki sürtünme kat sayısı 0,2 olacak şekilde tanımlandı.

3.3. Modellerin Oluşturulması

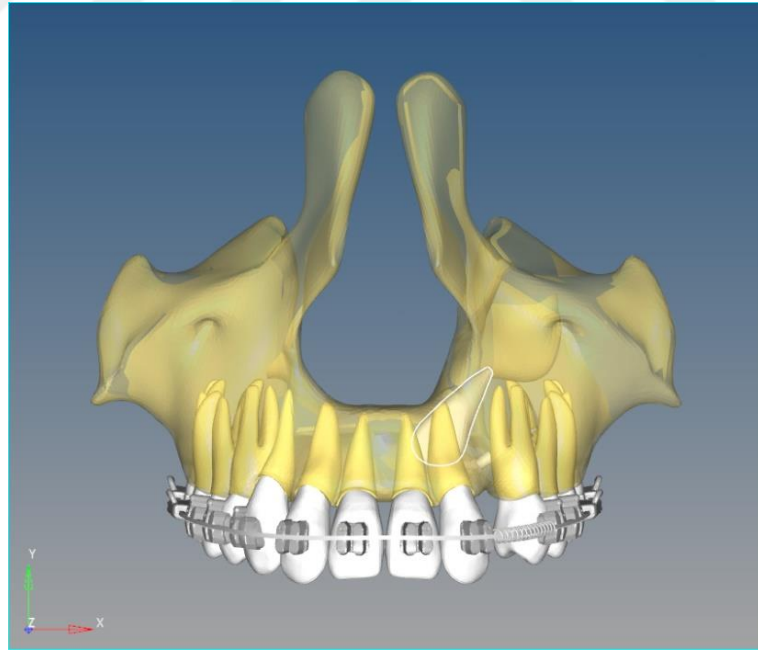
Analizi yapılacak iki farklı senaryoyu temsil eden iki çalışma modeli oluşturuldu. Her iki modelde de gömülü kanin diş, maksillanın palatinal bölgesinde sol tarafta orta hat

ile 45° açı yapacak şekilde, gömülü dişin tüberkül tepesi lateral dişin uzun eksenine ile santral dişin distali arasında olacak şekilde (sektör 3) modellendi.

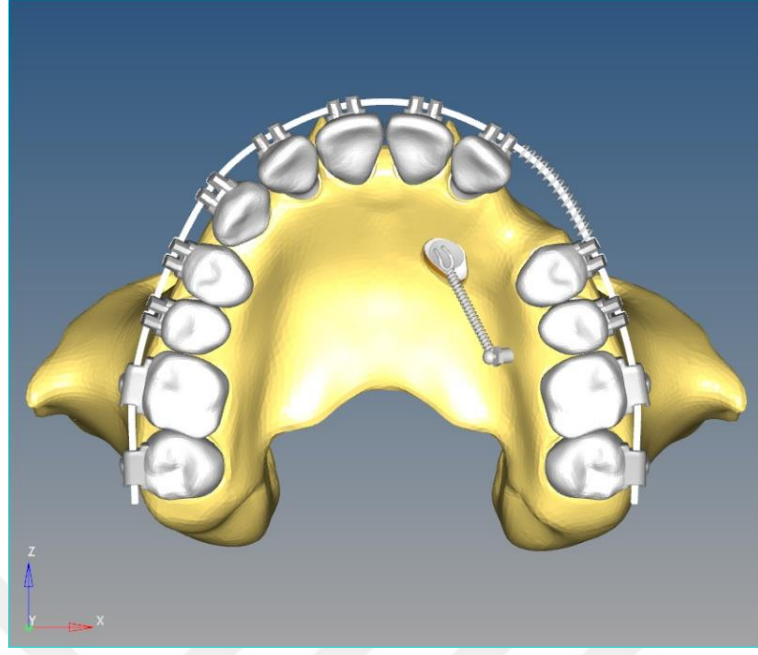
Her iki modelde de 0.022 inç slotlu MBT braketler ve 0.019 x 0.025 inç paslanmaz çelik ark teli kullanıldı. Her iki modelde de gömülü kanin dişe Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylar kullanılarak 100 g kuvvet uygulandı.

3.3.1. Birinci modelin oluşturulması

Çalışmamızda oluşturulan birinci modelde, maksillanın palatinal bölgesinde sol tarafta kanin dişin gömülü olduğu ve gömülü dişin mini vida denilen iskeletsel ankraj ünitesiyle sürdürülmesi temsil edilmektedir. Kullanılan mini vida 1,5 mm çapında ve 8 mm uzunluğunda titanyum alaşımından yapılmış olup, üst çene posterior palatinal bölgede ikinci premolar ve birinci molar dişler arasında alveol kretten 6 mm uzaklıkta interradiküler bölgeye yerleştirildi. Mini vidadan gömülü diş üzerine yapıştırılan butona Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylar kullanılarak 100 g kuvvet uygulandı.



(a)

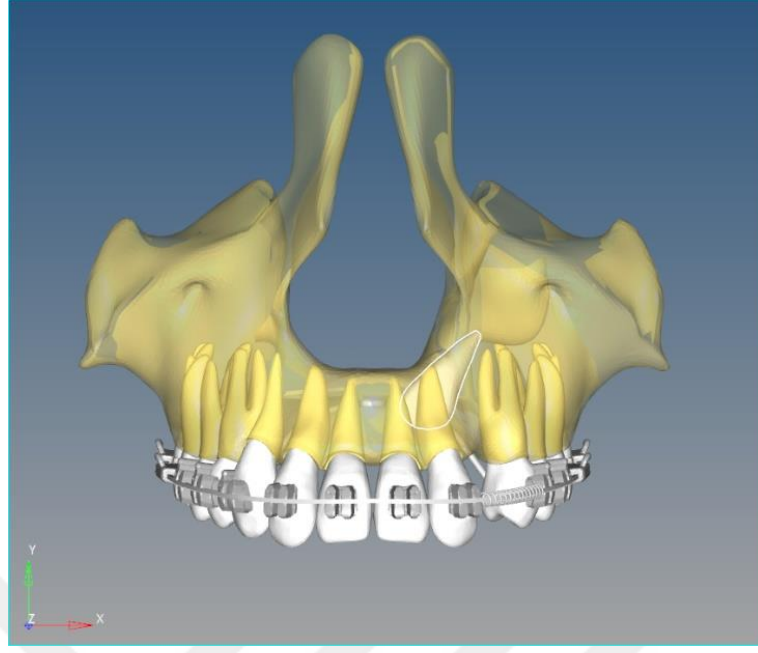


(b)

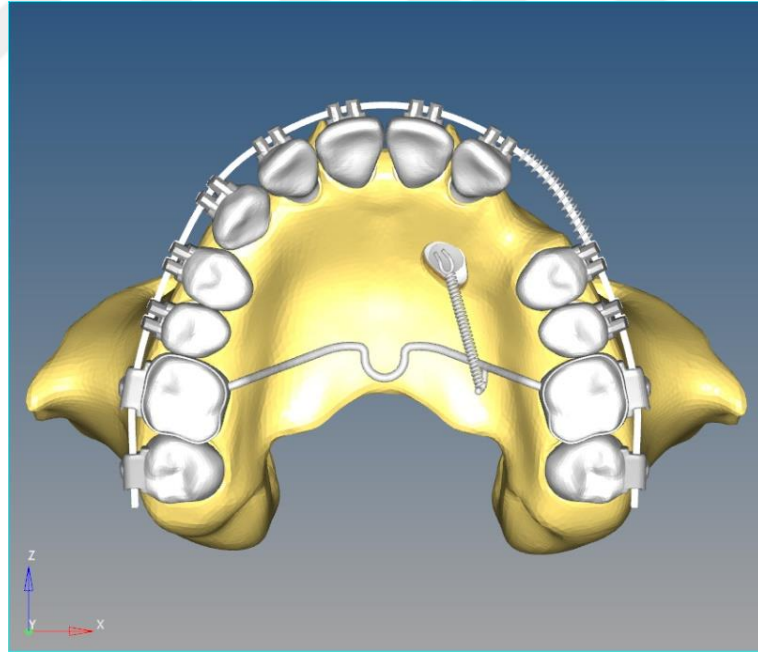
Şekil 3.11. Birinci modelin önden (a) ve oklüzalden (b) görüntüsü.

3.3.2. İkinci modelin oluşturulması

İkinci modelde, maksillanın palatinal bölgesinde sol tarafta kanin dişin gömülü olduğu ve gömülü dişin, TPA yardımıyla sürdürülmesi temsil edilmektedir. TPA; molar dişin bantlarına lehimli, U looplü, 0.036 inç (0.9 mm)' lik paslanmaz çelik telden, sol tarafta ikinci premolar ile birinci molar dişler arasındaki bölgeye denk gelecek şekilde çengel eklenip modifiye edilerek modellendi. TPA üzerine yerleştirilen çengel üzerinden gömülü diş üzerindeki butona Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylar kullanılarak 100 g kuvvet uygulandı.



(a)



(b)

Şekil 3.12. İkinci modelin önden (a) ve oklüzalden (b) görüntüsü.

4. BULGULAR

Çalışmamızda kuvvet uygulaması sonucu dişler ve kemik dokusunda oluşan gerilmeler, transversal sagital ve vertikal düzlemdeki yer değiştirmeler ile mini vida çevresinde oluşan Von Mises gerilmeleri değerlendirilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinin yapılması ile oluşan veriler, kuvvet uygulamasının ilk anında meydana gelen değerleri belirtmektedir. Çalışmamızda X eksen transversal, Z eksen sagital ve Y eksen de vertikal yönü göstermektedir.

Asal gerilmeler, Von Mises gerilmeleri ve uzayın 3 yönünde meydana gelen yer değiştirmeler renklendirilmiş görüntüler olarak gösterilmektedir. Her bir rengin bir değer aralığını gösterdiği bu görüntülerde, değer aralıklarının renk kodları sol tarafta yer alan skala ile gösterilmektedir.

Von Mises gerilmelerin gösterildiği şekillerde kırmızı renkli alanlar maksimum gerilmenin, mavi renkli alanlar ise minimum gerilmenin olduğu yerleri göstermektedir. Asal gerilmelerin değerlendirildiği renklendirilmiş görüntülerde; maksimum asal gerilmelerde gerilmenin en fazla olduğu alanlar kırmızı renk ile, minimum asal gerilmelerde ise maksimum sıkışma ya da gerilmenin en az olduğu yerler mavi renk ile gösterilmektedir.

Yer değiştirme bulgularının değerlendirildiği şekillerde kırmızı alanlar belirtilen eksenlerdeki maksimum yer değiştirmeyi, mavi alanlar ise belirtilen yönün aksi yönündeki yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Sarı veya yeşil ile gösterilen alanlar ise belirtilen yöndeki minimum yer değiştirmeyi temsil etmektedir.

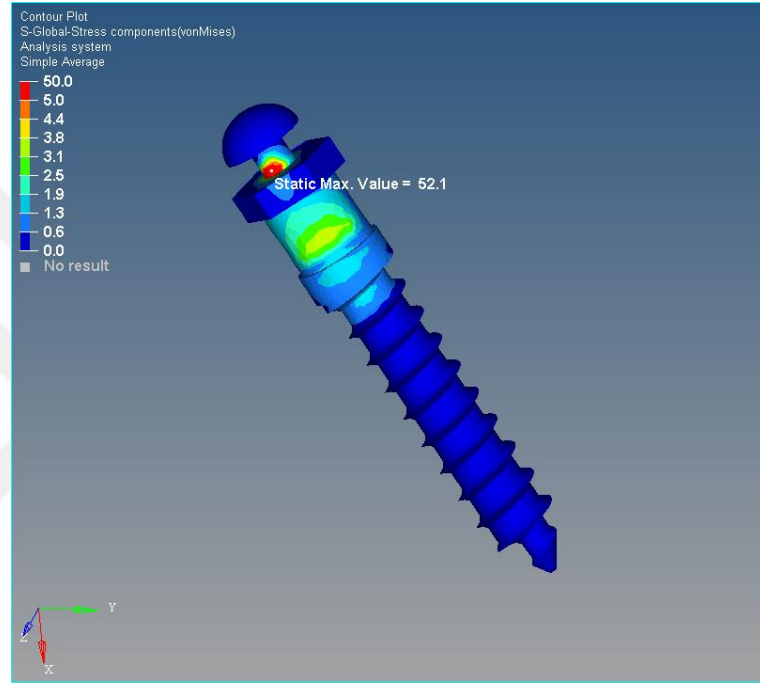
Araştırmamızda, yer değiştirme bulguları “milimetre (mm)”, gerilme bulguları “Mega Paskal (MPa = N/mm²)” olarak gösterilmiştir.

4.1. Birinci Modele Ait Bulgular

Birinci modelde, palatinal bölgeye üst 2. premolar ve 1. molar kökleri arasına yerleştirilmiş mini vidadan gömülü kanin diş üzerine Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylarla 100 g kuvvet uygulanmıştır (Şekil 3.11).

4.1.1. Mini vidada meydana gelen gerilmeler

Uygulanan kuvvet sonucu mini vidada oluşan Von Mises gerilmeleri Şekil 4.1’de 0-50 N/mm² aralığındaki renk skalasında gösterilmektedir. Analiz sonucunda mini vidada en fazla gerilmenin boyun bölgesinde ve 52,1 MPa olarak ölçüldüğü görülmektedir. Burada oluşan stres, mini vida baş kısmının altına ve vidanın ilk yivine doğru devam etmektedir.

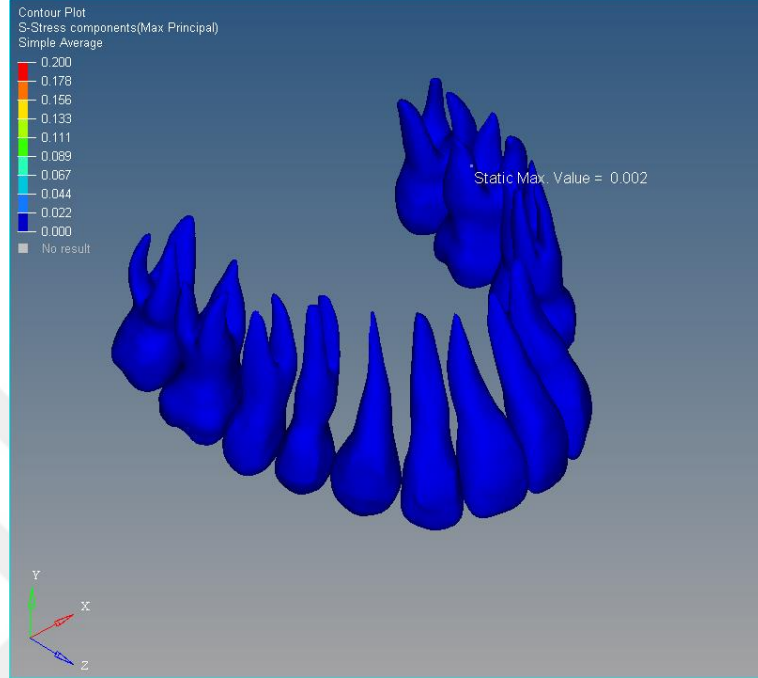


Şekil 4.1. Birinci modelde mini vidada meydana gelen Von Mises gerilmeleri.

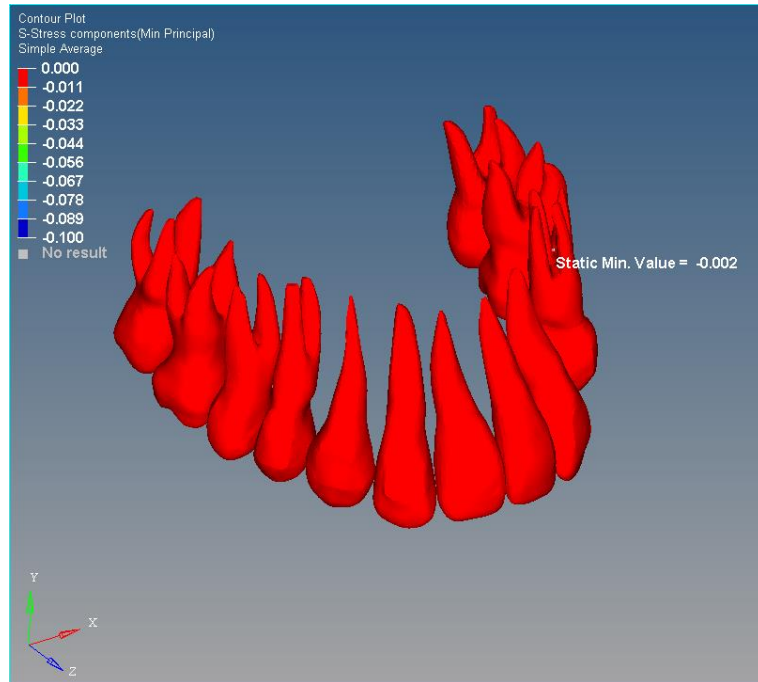
4.1.2. Dişlerde meydana gelen gerilmeler

Birinci modelde uygulanan kuvvet sonucu dişlerde oluşan çekme gerilmeleri Şekil 4.2’de ve basma gerilmeleri Şekil 4.3’de gösterilmektedir. Maksimum ve minimum asal gerilme bulguları incelendiğinde dişler üzerinde oluşan gerilmeler minimum düzeydedir. Anterior dişlerde meydana gelen maksimum ve minimum asal gerilmeleri detaylı değerlendirebilmek amacıyla renk skalasının aralığı düşürülmüştür (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7). Bunun sonucunda gömülü dişe komşu yan keser dişin kökünün palatinal yüzeyinde çekme gerilmeleri, aynı dişin labial yüzeyinde de basma gerilmeleri görülmektedir. Gömülü kanin diş incelendiğinde, diş kronunun palatinalinde belirgin çekme gerilmeleri izlenmektedir (Şekil 4.8). Kanin dişin singulum bölgesinde yoğun

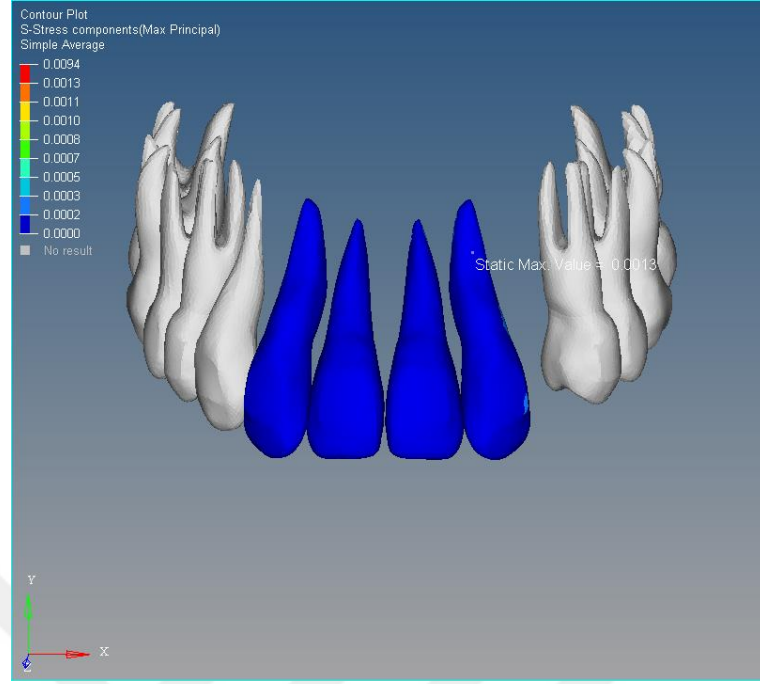
basma gerilmeleri izlenirken, bu gerilmeler kök apeksine doğru giderek azalmaktadır (Şekil 4.9). Gömülü kanin dış üzerinde oluşan çekme gerilmelerinin basma gerilmelerinden daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.



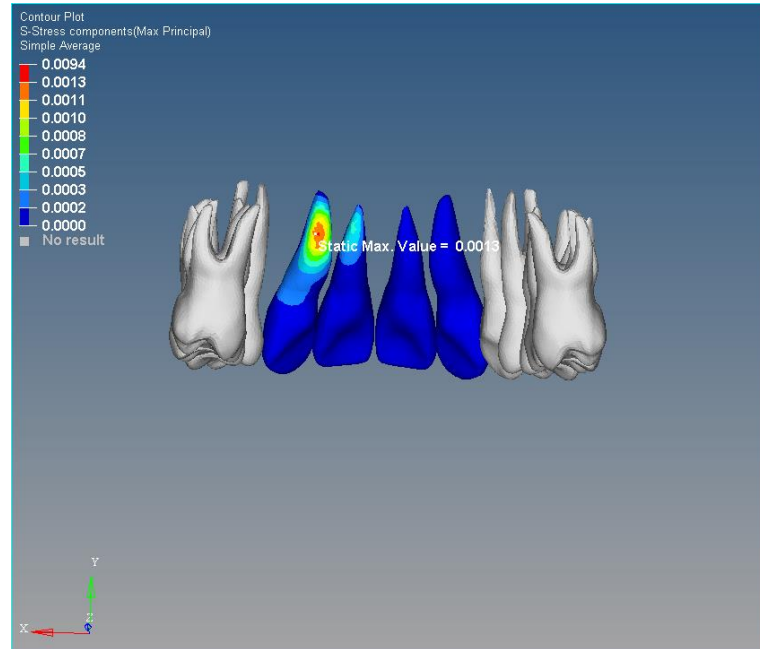
Şekil 4.2. Birinci modelde dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



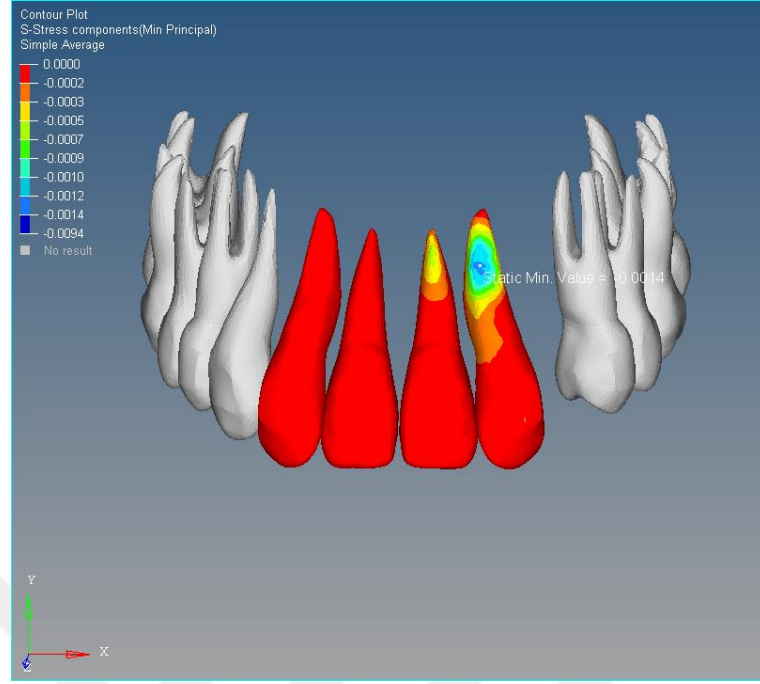
Şekil 4.3. Birinci modelde dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmeler.



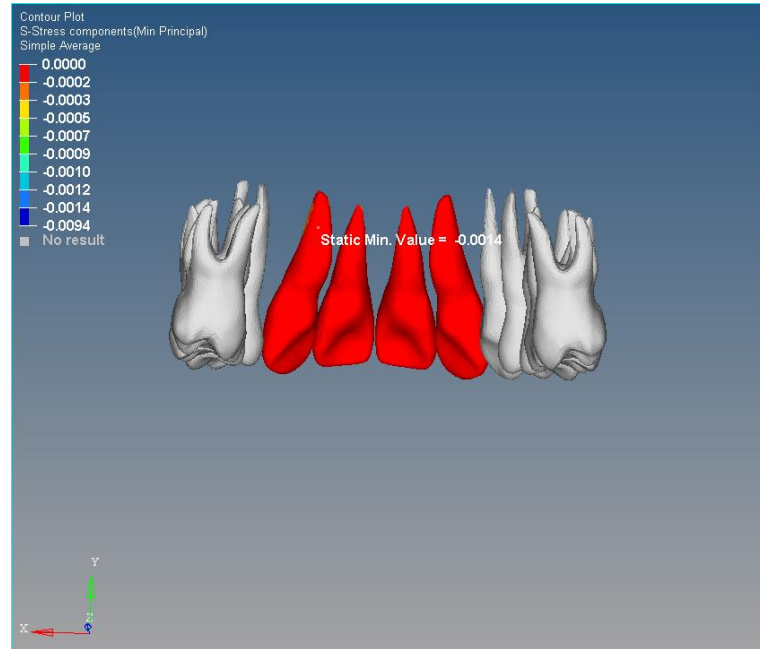
Şekil 4.4. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin labialden görünümü.



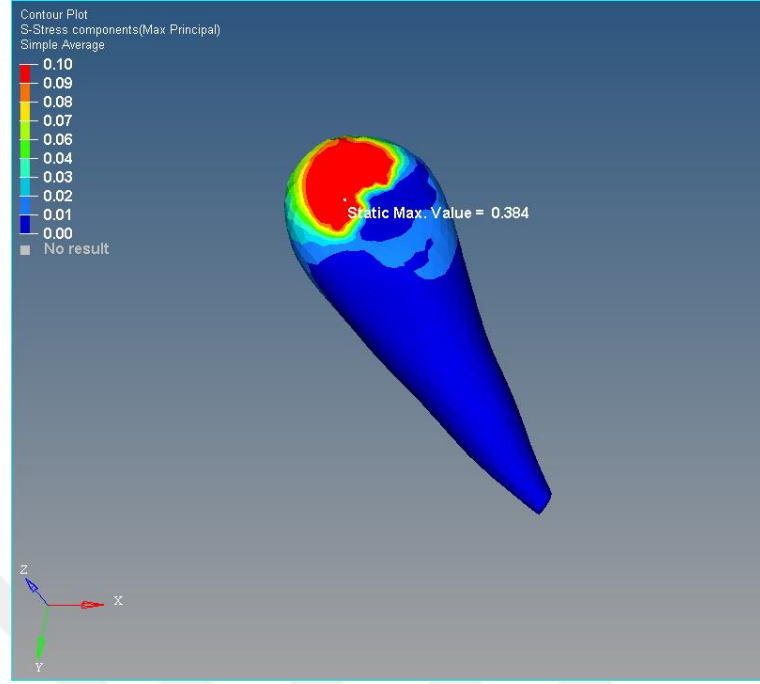
Şekil 4.5. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.



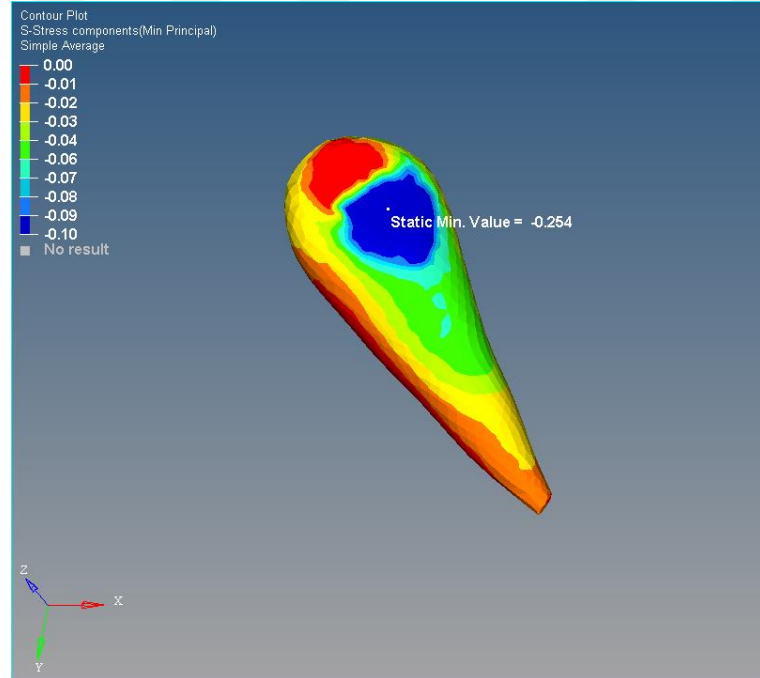
Şekil 4.6. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin labialden görünümü.



Şekil 4.7. Birinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.



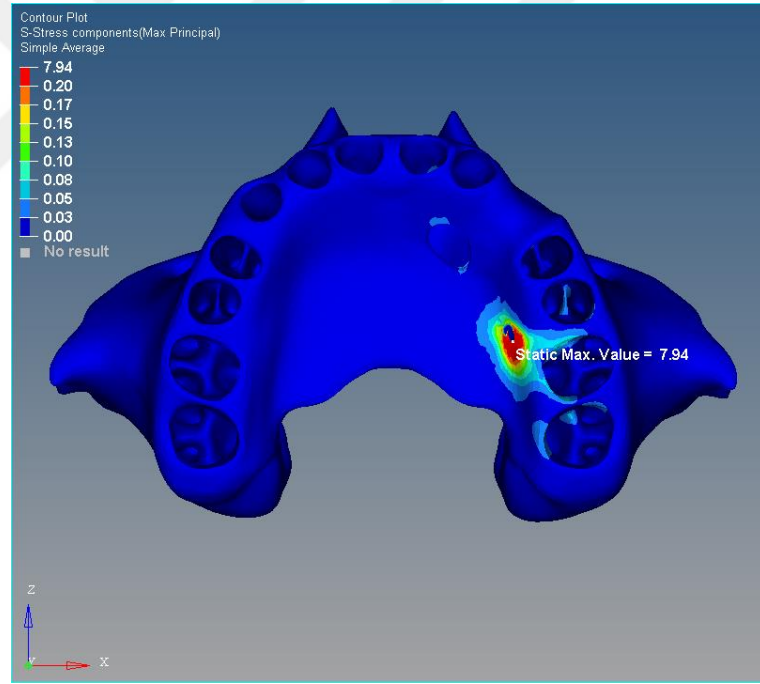
Şekil 4.8. Birinci modelde kanin dişte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



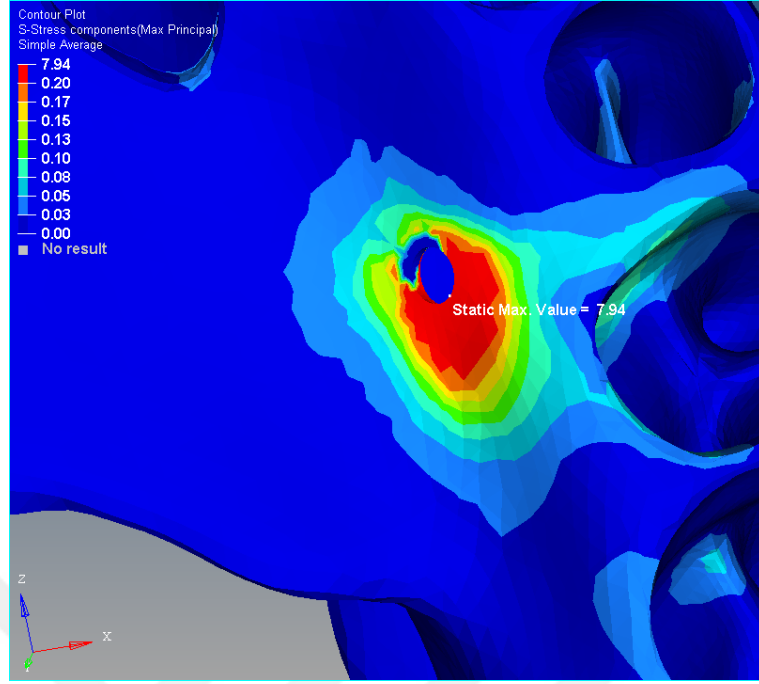
Şekil 4.9. Birinci modelde kanin dişte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.1.3. Kortikal kemikte meydana gelen gerilmeler

Birinci modelde uygulanan kuvvet sonucu kortikal kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler Şekil 4.10'da, minimum asal gerilmeler Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Şekil 4.10 incelendiğinde en fazla çekme gerilimi, kuvvetin uygulandığı yönün tersinde, mini vidanın distalinde 7,94 MPa olarak ölçülmüştür. Bu çekme gerilimi birinci molar dişin meziopalatinal ve distopalatinaline doğru azalarak devam etmektedir. Şekil 4.11'de, mini vidaya uygulanan kuvvet yönünde basma gerilimlerinin olduğu görülmektedir. En yüksek basma gerilimi 6,34 MPa olarak ölçülmüştür. Bu basma geriliminin mini vidadan birinci ve ikinci premolarların palatinaline ve oradan da kanin dişin alveol kretine doğru azalarak devam ettiği görülmektedir. Mini vida çevresindeki kortikal kemikte görülen çekme gerilim değeri, basma gerilim değerinden daha yüksektir.

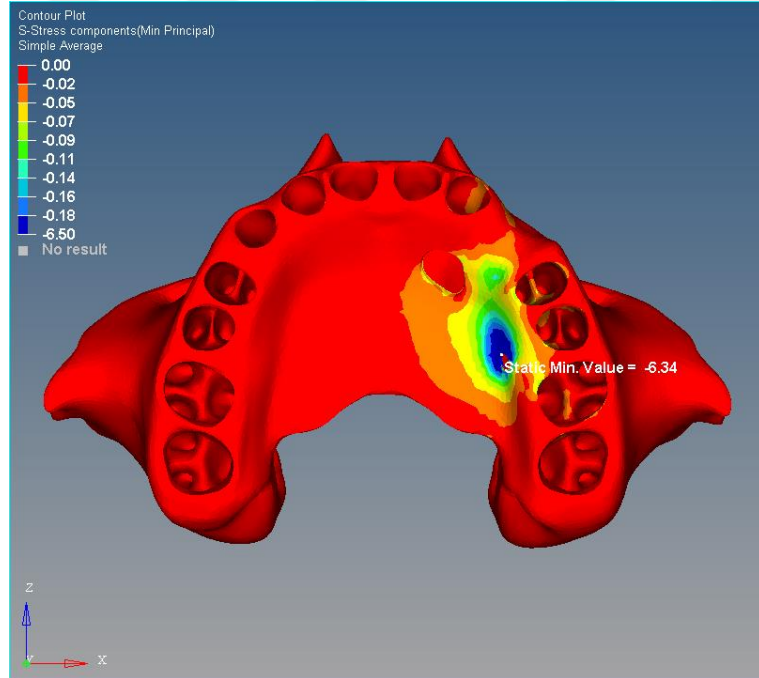


(a)

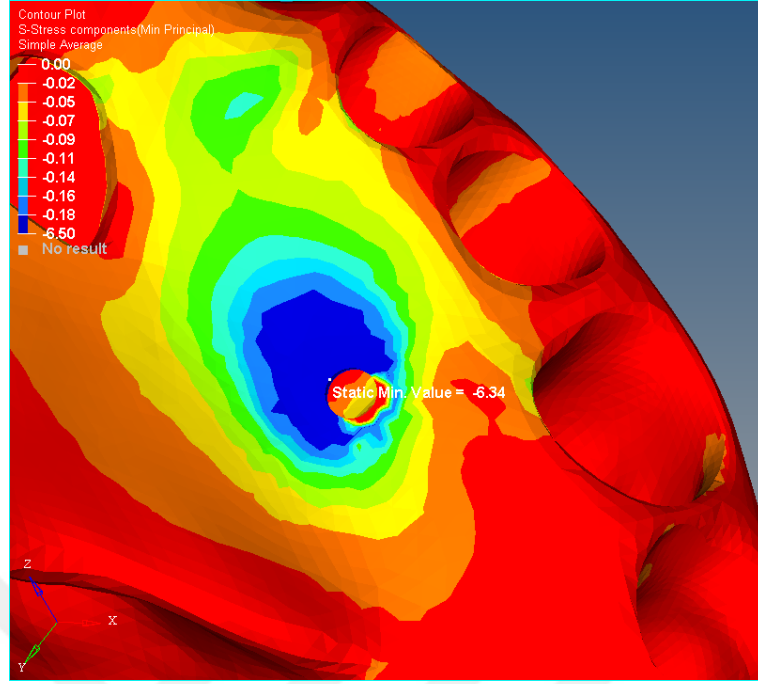


(b)

Şekil 4.10. Birinci modelde kortikal kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



(a)

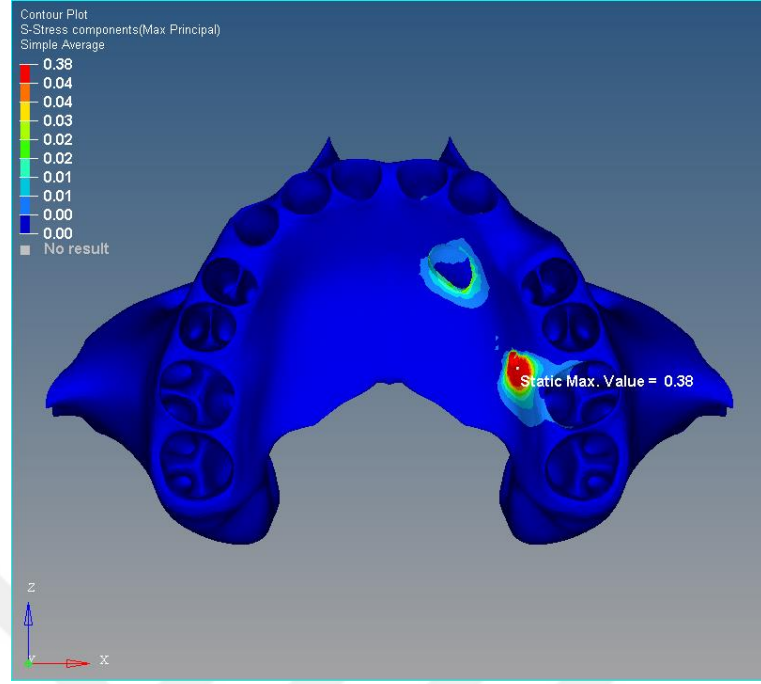


(b)

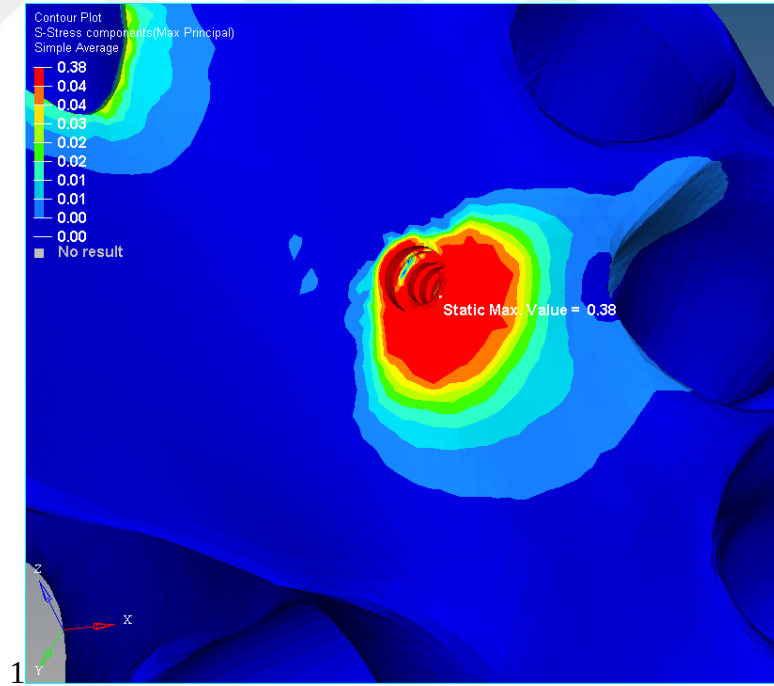
Şekil 4.11. Birinci modelde kortikal kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.1.4. Spongioz kemikte meydana gelen gerilmeler

Birinci modelde spongioz kemik dokusunda oluşan maksimum asal gerilmeler Şekil 4.12’de minimum asal gerilmeler Şekil 4.13’te gösterilmektedir. Analiz sonucunda en yüksek çekme gerilim değeri, 0,38 MPa olarak kuvvet uygulama yönünün tersi olan mini vidanın distalinde izlenmektedir. Mini vidanın distalindeki çekme gerilmeleri birinci molar dişin mezial ve palatinaline doğru azalarak devam etmektedir. Gömülü kanin dişin çevresindeki spongioz kemik dokusunda yoğun olmayan çekme gerilimleri izlenmektedir. Şekil 4.13’te mini vidanın mezialinde ve gömülü kanin diş çevresinde basma gerilmeleri olduğu görülmektedir. Burada oluşan en yüksek basma gerilim değeri mini vidanın mezialinde -0,31 MPa olarak ölçülmüştür. Birinci modelde spongioz kemikte oluşan asal gerilme sonuçlarına göre mini vida çevresindeki çekme gerilmeleri, basma gerilimlerine göre daha baskındır.

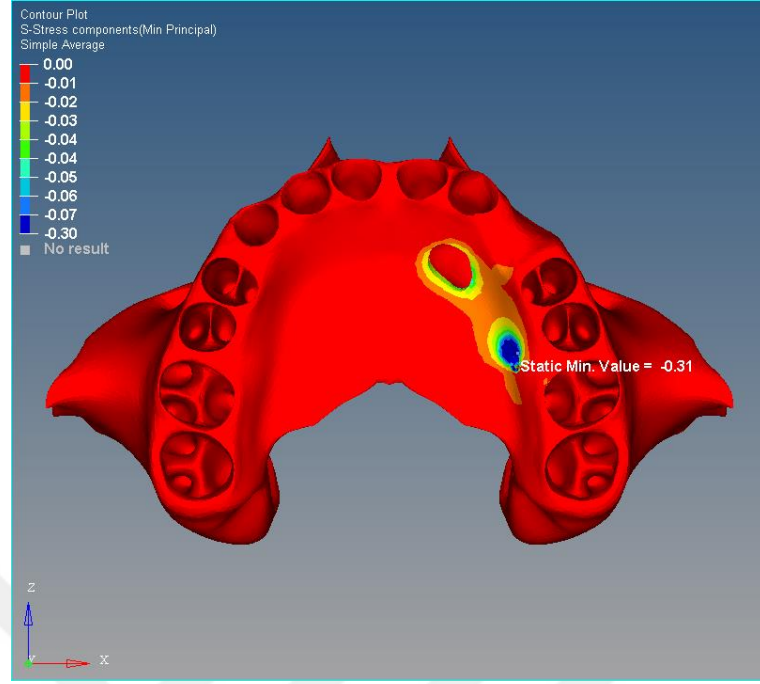


(a)

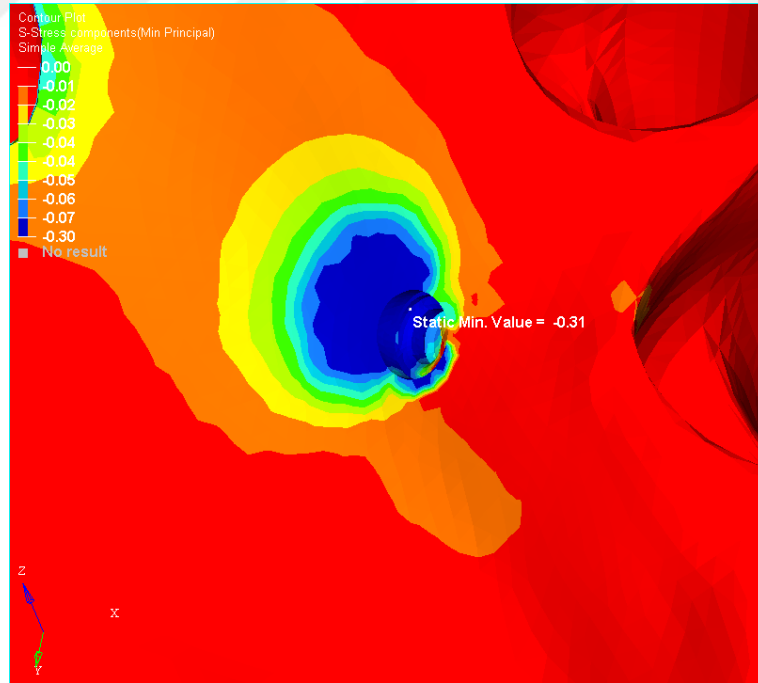


(b)

Şekil 4.12. Birinci modelde spongioz kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



(a)

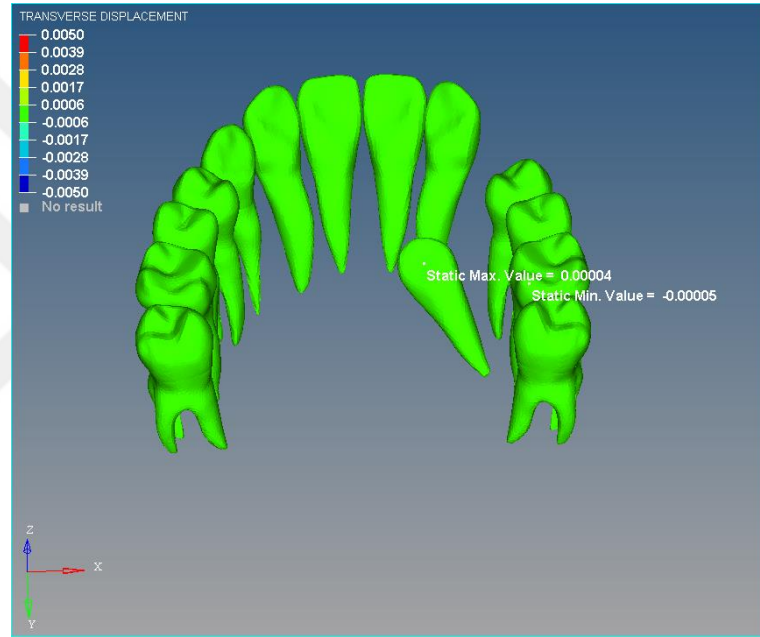


(b)

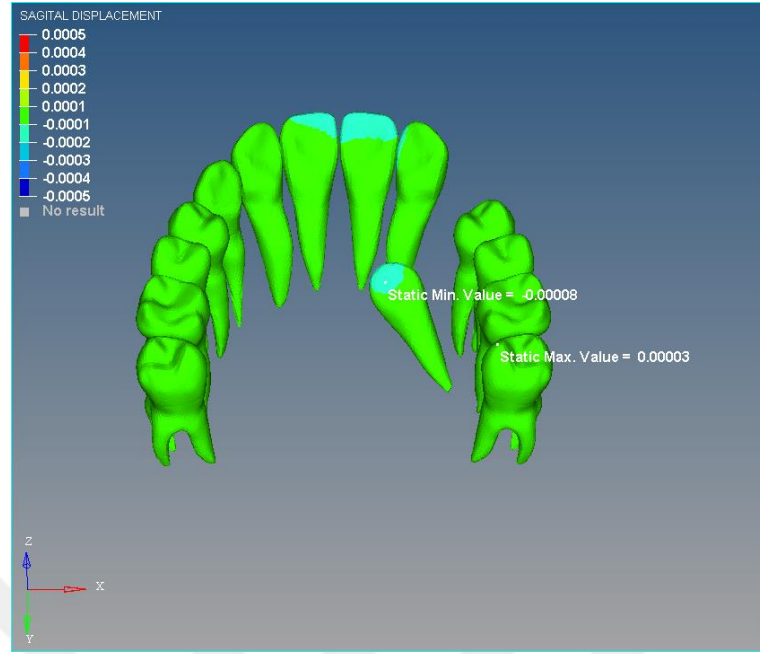
Şekil 4.13. Birinci modelde spongiöz kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.1.5. Yer değiştirme (deplasman) bulguları

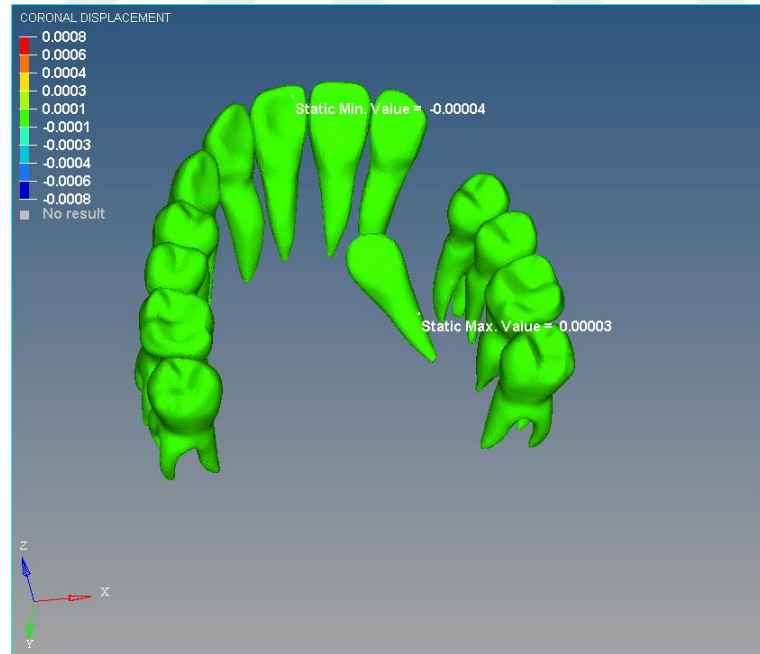
Birinci modelde oluşan transversal yöndeki yer değiştirmeler şekil 4.14'te, sagital yöndeki yer değiştirmeler şekil 4.15'te, vertikal yöndeki yer değiştirmeler 4.16'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde gömülü kanin dişin tüberkül tepesinde ve santral dişlerin insizal kenarlarında az miktarda distale hareket gözlenmekle birlikte birinci modelde her üç düzlemde de dişlerde oluşan anlık yer değiştirme miktarı çok düşük düzeydedir.



şekil 4.14. Birinci modelde transversal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.



Şekil 4.15. Birinci modelde sagital yönde meydana gelen yer değiştirmeler.



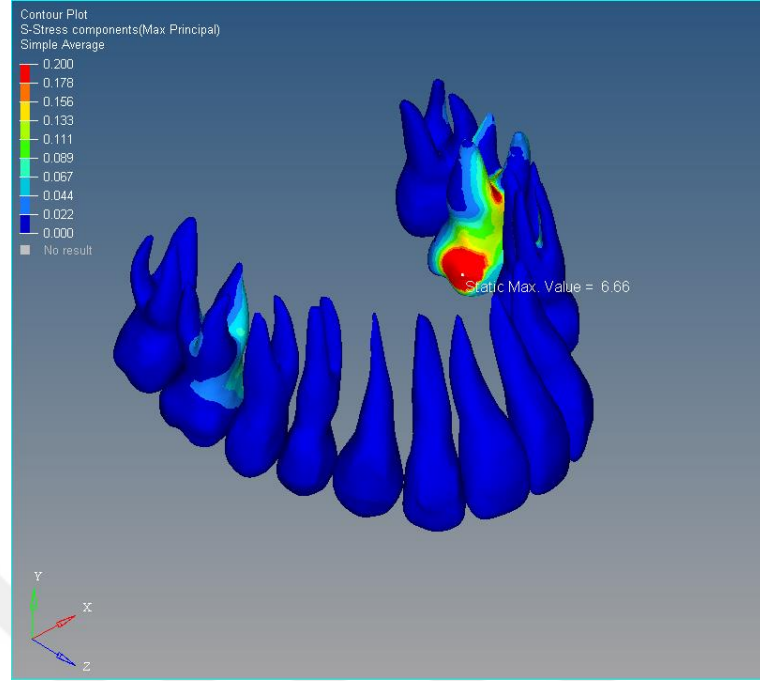
Şekil 4.16. Birinci modelde vertikal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.

4.2. İkinci Modele Ait Bulgular

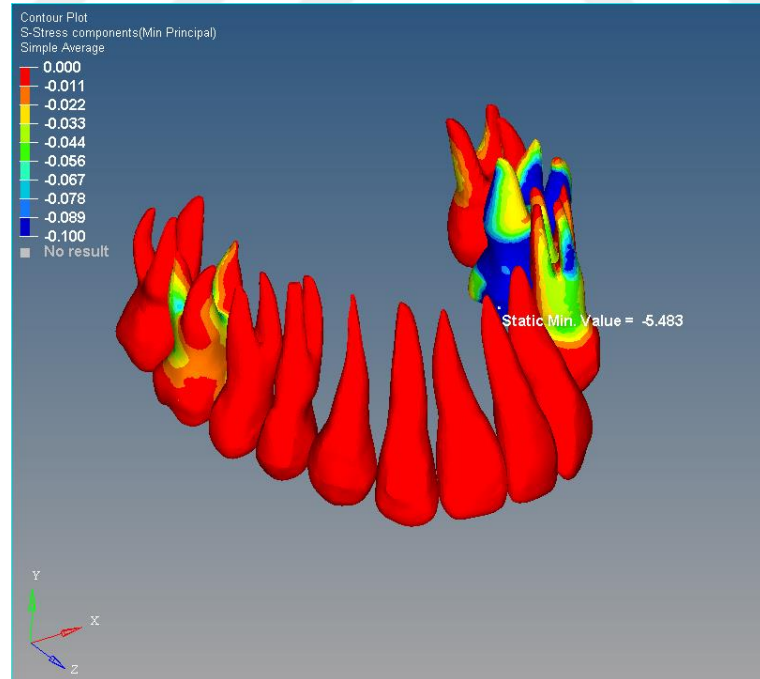
İkinci modelde, sağ ve sol birinci molar dişler arasına yerleştirilen modifiye edilmiş transpalatal arktan gömülü kanin diş üzerine 100 g kuvvet uygulanmıştır (Şekil 3.12).

4.2.1. Dişlerde meydana gelen gerilmeler

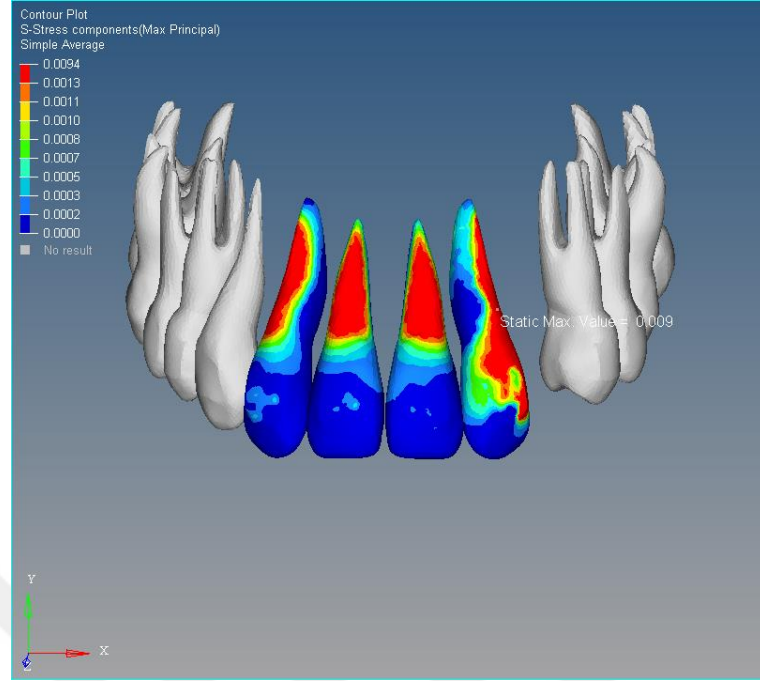
İkinci modelde uygulanan kuvvet sonucu dişlerde oluşan çekme gerilmeleri Şekil 4.17’de, basma gerilmeleri Şekil 4.18’de gösterilmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde, en fazla çekme geriliminin sol birinci molar dişin meziopalatinal tüberkülünde 6,66 MPa olarak ölçüldüğü ve bu dişin furkasyon bölgesinde yoğun, kontralateral molar dişte ise düşük değerlerde çekme gerilmeleri görülmektedir. Minimum asal gerilme bulguları incelendiğinde, sol birinci molar dişin kronundan başlayıp kök apekslerine doğru gittikçe azalan ve komşu premolar dişlerin köklerinde yoğun basma gerilmeleri ile birlikte kontralateral molar dişin furkasyon bölgesinde düşük değerlerde basma gerilmeleri izlenmektedir. Anterior dişlerde meydana gelen maksimum ve minimum asal gerilmeleri detaylı değerlendirebilmek amacıyla renk skalasının aralığı düşürülmüştür. Bunun sonucunda gömülü dişe komşu yan keser dişin distal yüzeyinde daha fazla olmak üzere keser dişlerin labial yüzlerinde yoğun çekme gerilmeleri görülmektedir (Şekil 4.19, Şekil 4.20). Gömülü dişe komşu yan keser dişin mezialinde daha fazla olmak üzere yan keser dişlerin palatinal yüzlerinde de yoğun basma gerilmeleri görülmektedir (Şekil 4.21, Şekil 4.22). Kanin dişte birinci modelle benzer olarak kuvvet uygulama noktasında yoğun çekme gerilmeleri izlenirken bu noktanın hemen altında sıkışma gerilmeleri izlenmektedir (Şekil 4.23, Şekil 4.24).



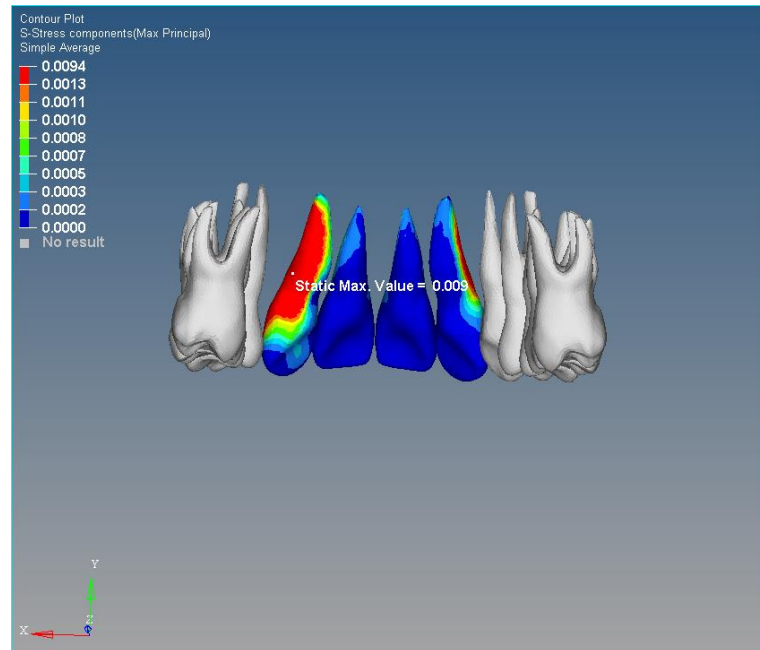
Şekil 4.17. İkinci modelde dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



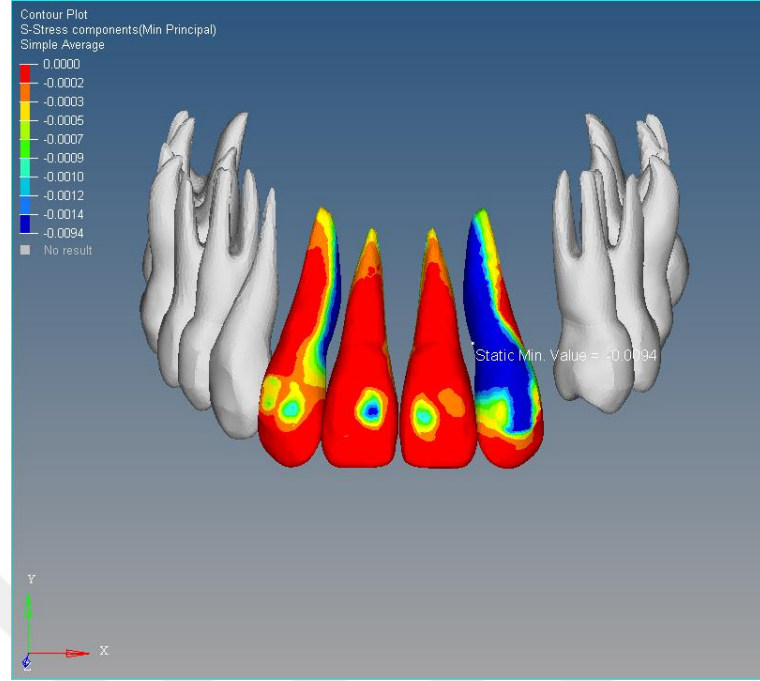
Şekil 4.18. İkinci modelde dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmeler.



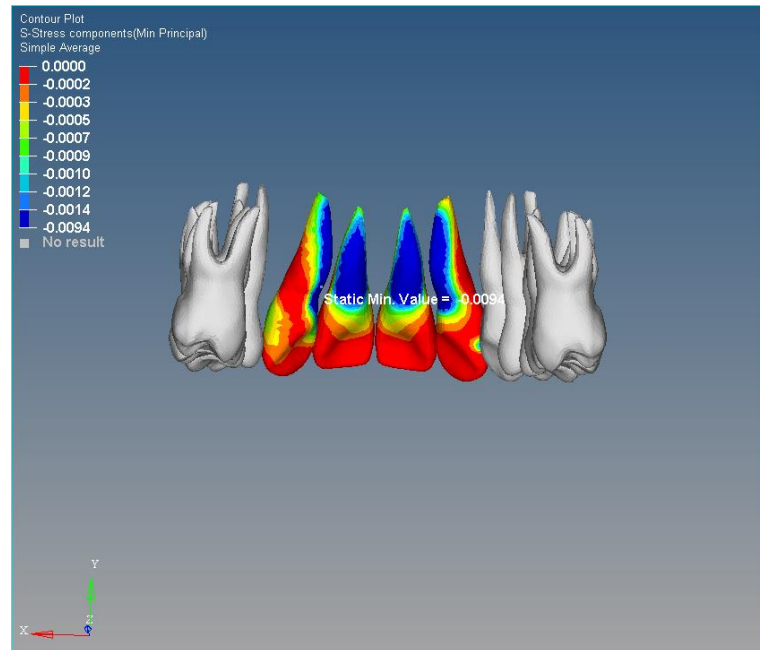
Şekil 4.19. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin labialden görünümü.



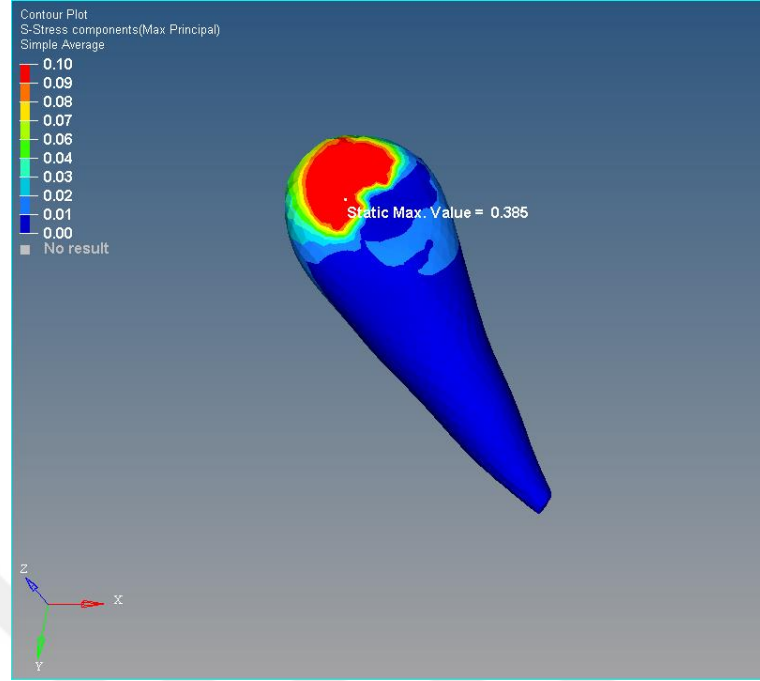
Şekil 4.20. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen maksimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.



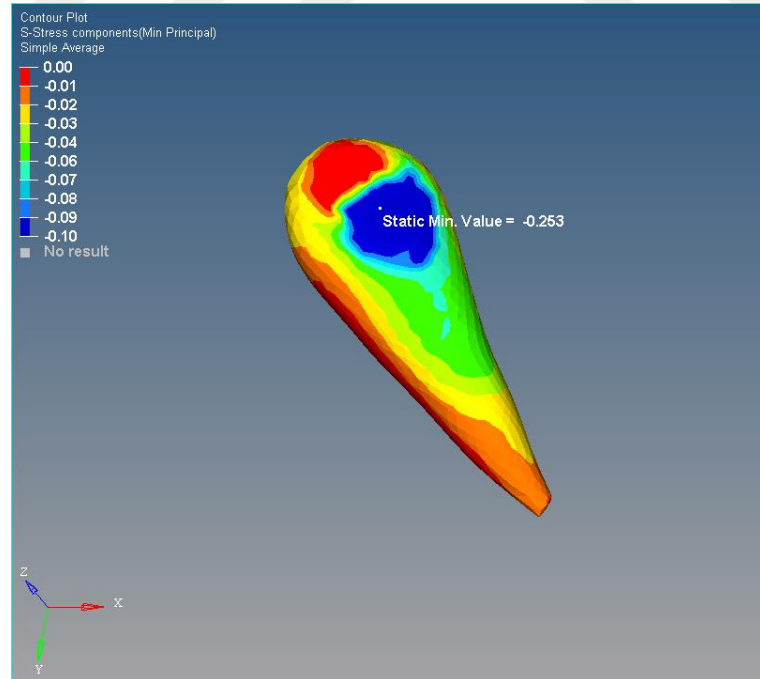
Şekil 4.21. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin labialden görünümü.



Şekil 4.22. İkinci modelde anterior dişlerde meydana gelen minimum asal gerilmelerin palatinalden görünümü.



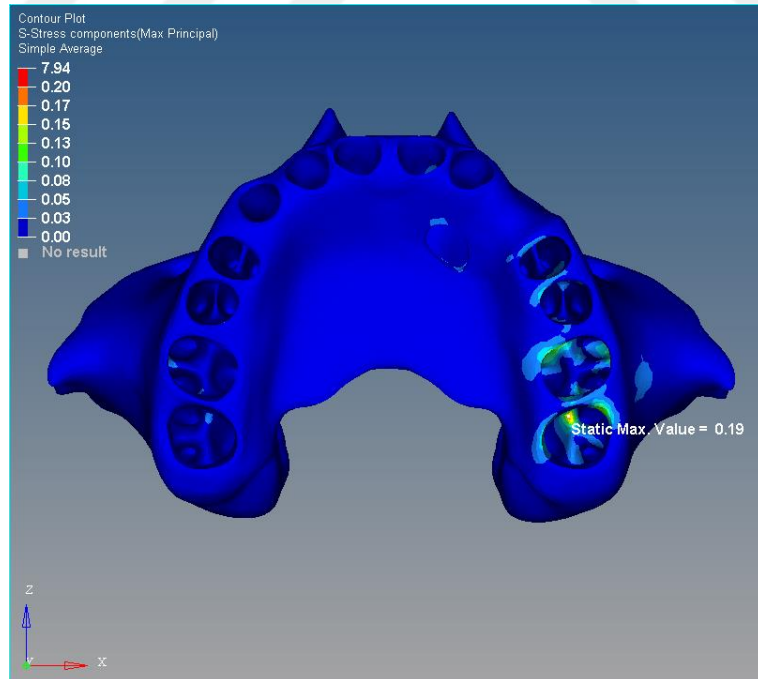
Şekil 4.23. İkinci modelde kanin dişte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



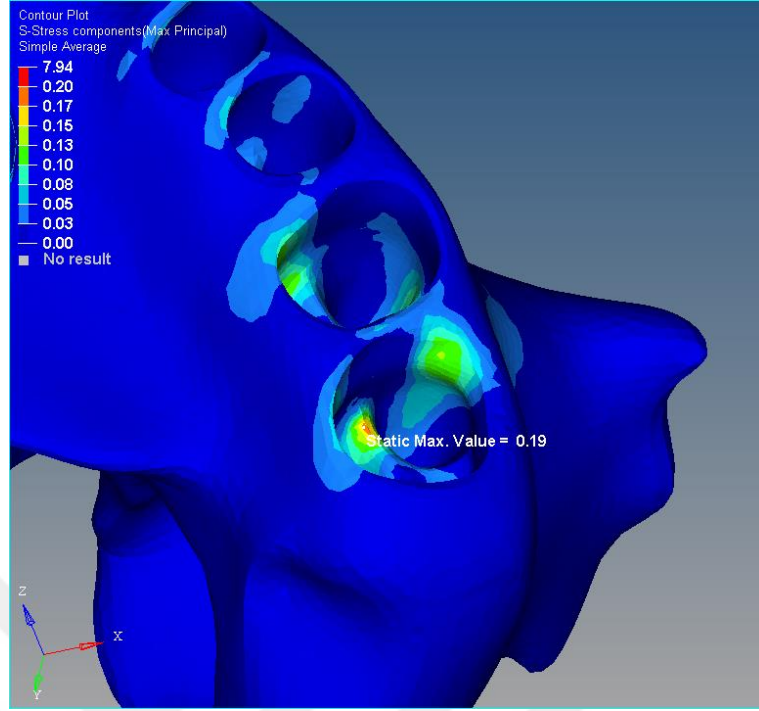
Şekil 4.24. İkinci modelde kanin dişte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.2.2. Kortikal kemikte meydana gelen gerilmeler

İkinci modelde uygulanan kuvvet sonucu kortikal kemikte oluşan maksimum asal gerilmeler Şekil 4.25'te, minimum asal gerilmeler Şekil 4.26'da gösterilmektedir. Şekil 4.25'te görülen gerilme alanları incelendiğinde en fazla çekme gerilimi sol ikinci molar dişin mezialindeki kortikal kemikte 0,19 MPa olarak ölçülmüştür. İkinci molar dişin bukkalinde ve birinci molar dişin bukkal ve meziopalatinalindeki kortikal kemikte de çekme gerilmeleri izlenmektedir. İkinci modelde maksiller kortikal kemikte oluşan en yüksek basma gerilmeleri sol birinci molar dişin distobukkalindeki kortikal kemikte 0,18 MPa olarak ölçülmüştür. Birinci premolar, ikinci premolar ve birinci molar dişin palatinalindeki kortikal kemikte de basma gerilmeleri izlenmektedir. Birinci moların distalinde oluşan basma gerilmeleri palatinal bölgedeki gerilmelere göre oldukça kısıtlı bir alanda meydana gelmesine rağmen, en yüksek gerilme değeri birinci moların distalindeki kortikal kemikte ölçülmüştür. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, kortikal kemikte oluşan çekme gerilmelerinin, basma gerilmeleri ile yakın değerlerde olduğu ancak basma gerilmelerinin daha geniş bir alanda meydana geldiği görülmektedir.

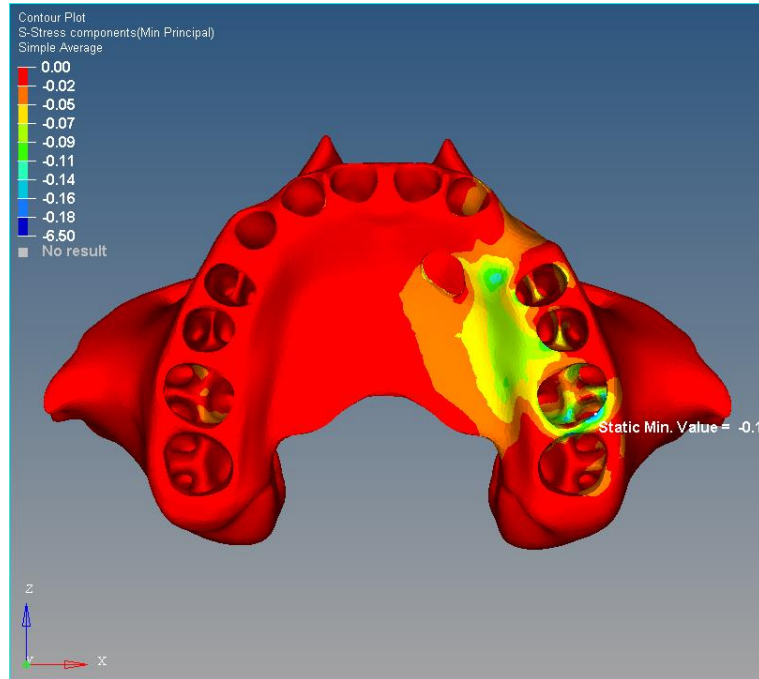


(a)

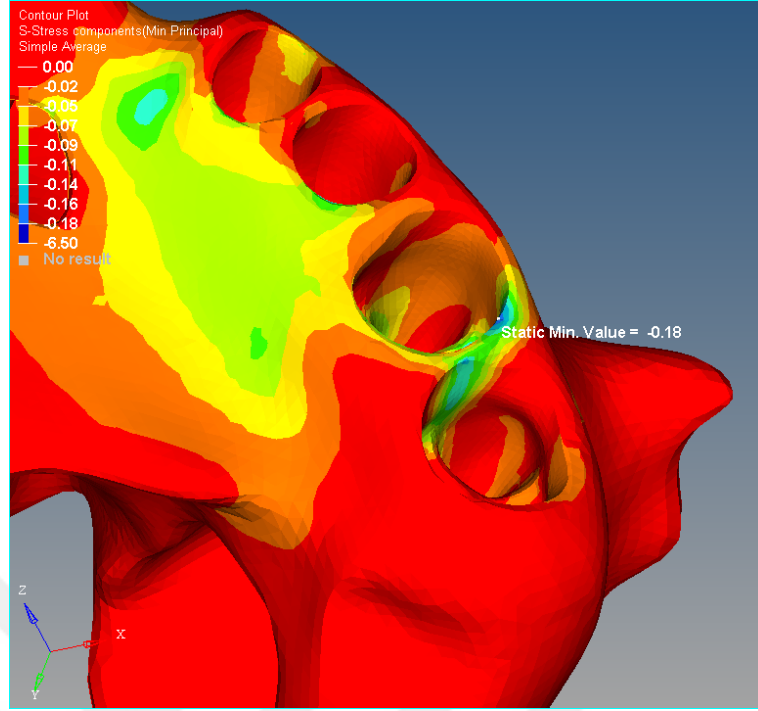


(b)

Şekil 4.25. İkinci modelde kortikal kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



(a)

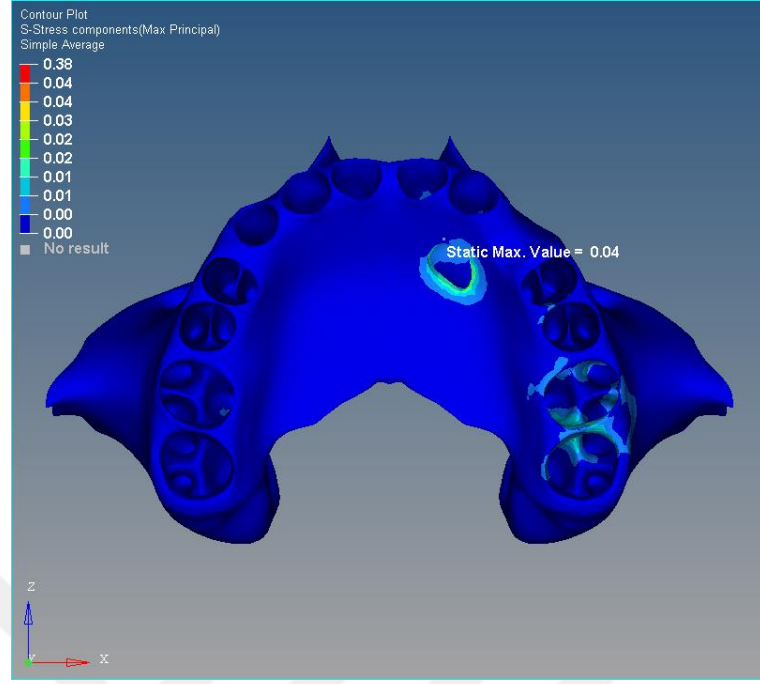


(b)

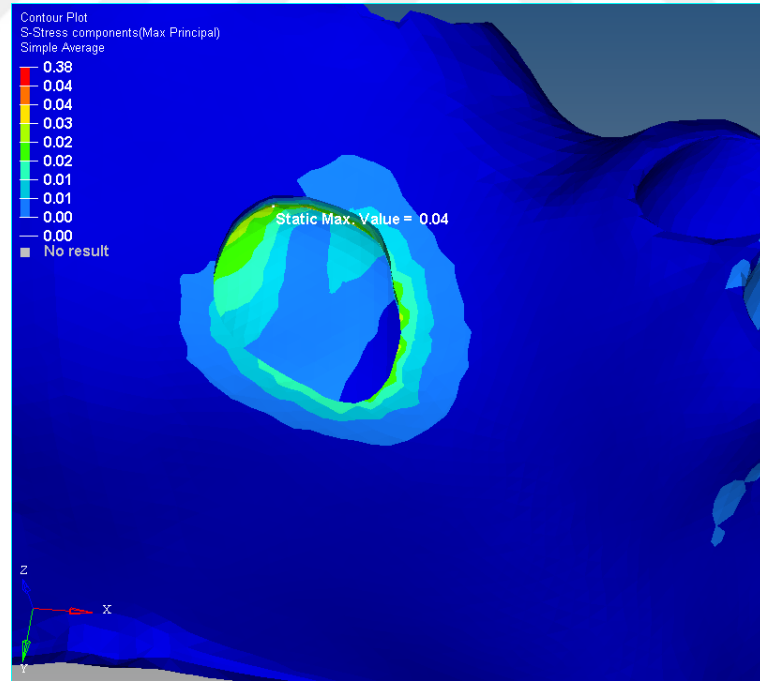
Şekil 4.26. İkinci modelde kortikal kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.2.3. Spongioz kemikte meydana gelen gerilmeler

İkinci modelde spongioz kemik dokusunda oluşan maksimum asal gerilmeler Şekil 4.27’de, minimum asal gerilmeler şekil 4.28’de gösterilmektedir. Maksimum asal gerilme değerleri incelendiğinde en yüksek çekme gerilim değeri, gömülü kanin diş socketinin labialindeki spongioz kemikte 0,04 MPa olarak ölçülmüştür. Gömülü diş socketinin labial ve palatinallerinde çekme gerilmeleri izlenirken aynı kadranda bulunan birinci molar ve ikinci molar diş socketlerinde de daha düşük değerlerde gerilmeler görülmektedir. Minimum asal gerilme bulguları incelendiğinde gömülü kanin diş soketi çevresinde basma gerilmeleri meydana gelmiş ve en yüksek gerilme değeri gömülü diş socketinin palatinalinde 0,07 MPa olarak ölçülmüştür. Analiz sonucunda spongioz kemikte oluşan asal gerilme değerleri kortikal kemikte oluşan asal gerilmelerine göre oldukça düşüktür.

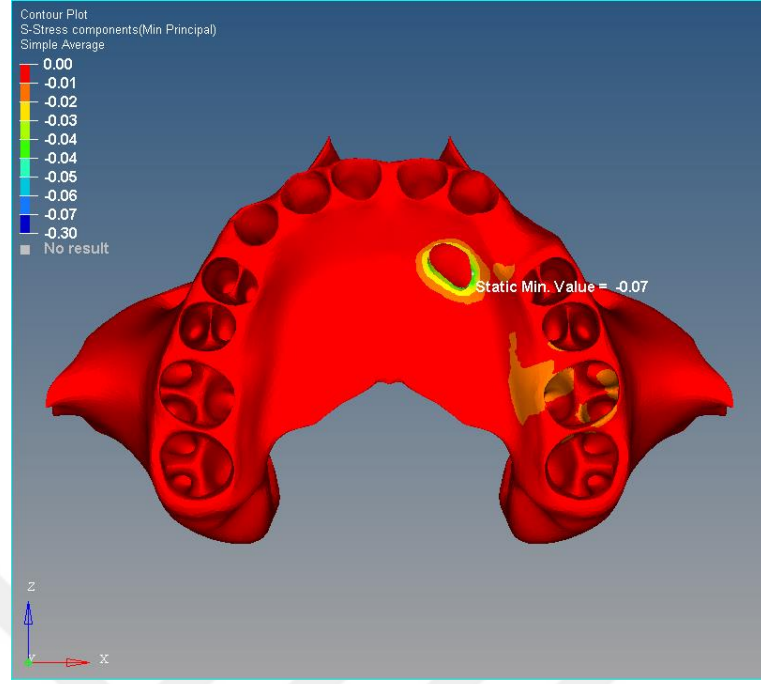


(a)

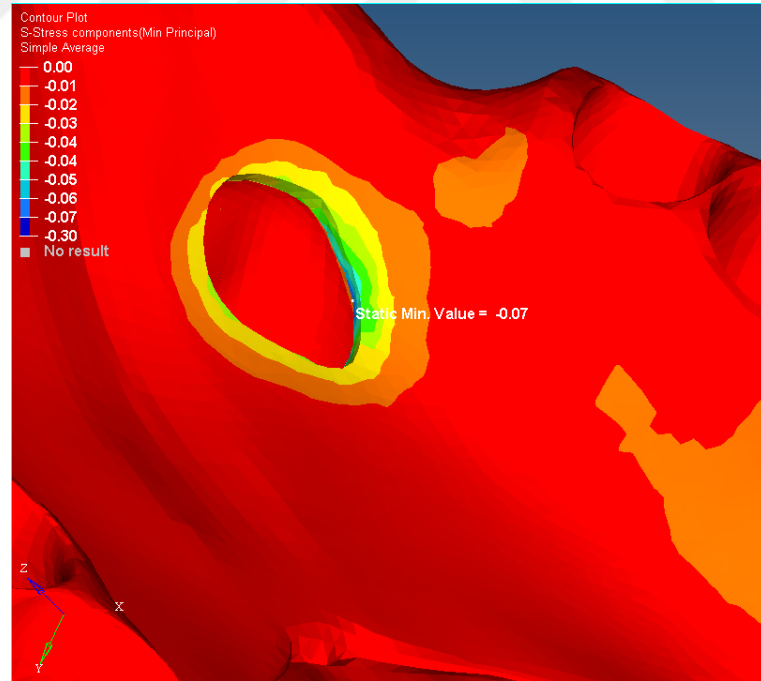


(b)

Şekil 4.27. İkinci modelde spongiöz kemikte meydana gelen maksimum asal gerilmeler.



(a)

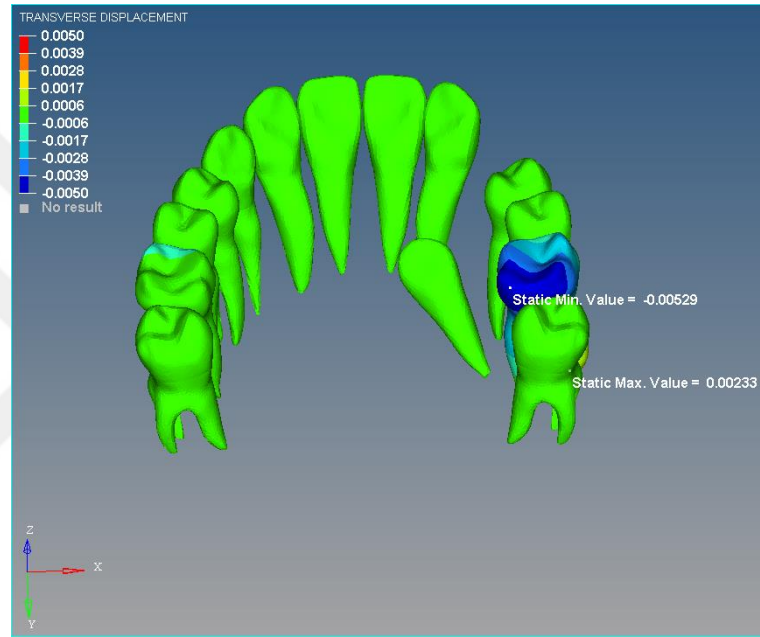


(b)

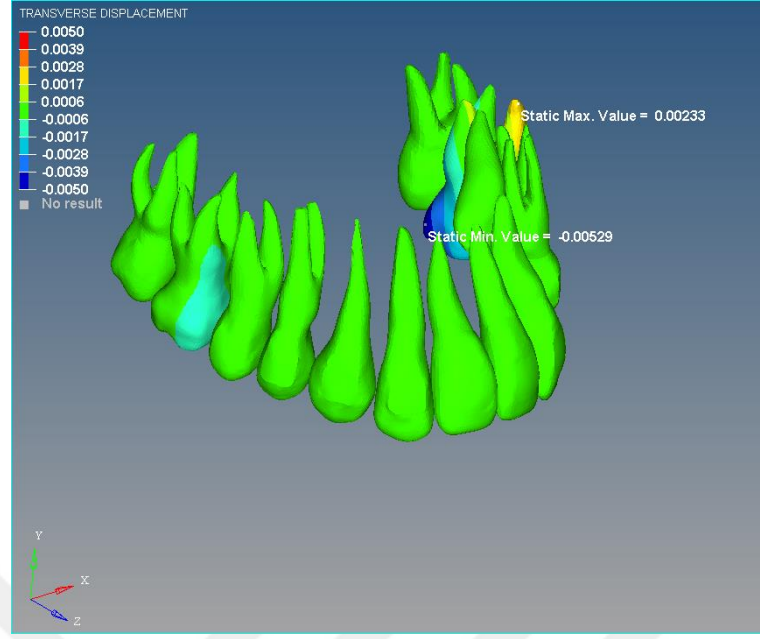
Şekil 4.28. İkinci modelde spongios kemikte meydana gelen minimum asal gerilmeler.

4.2.4. Yer değiştirme bulguları

İkinci modelde transversal yönde meydana gelen yer değiştirmeler şekil 4.29'da gösterilmiştir. En fazla yer değiştirmenin sol birinci molar dişin distalinde ve meziopalatinal yönde olduğu görölmektedir. Bu hareket köklere doğru azalma gösterirken meziobukkal kökte bukkale doğru bir yer değiştirme görölmektedir. Kontralateral molar dişin mezialinde de düşük düzeylerde palatinala doğru yer değiştirme görölmektedir.



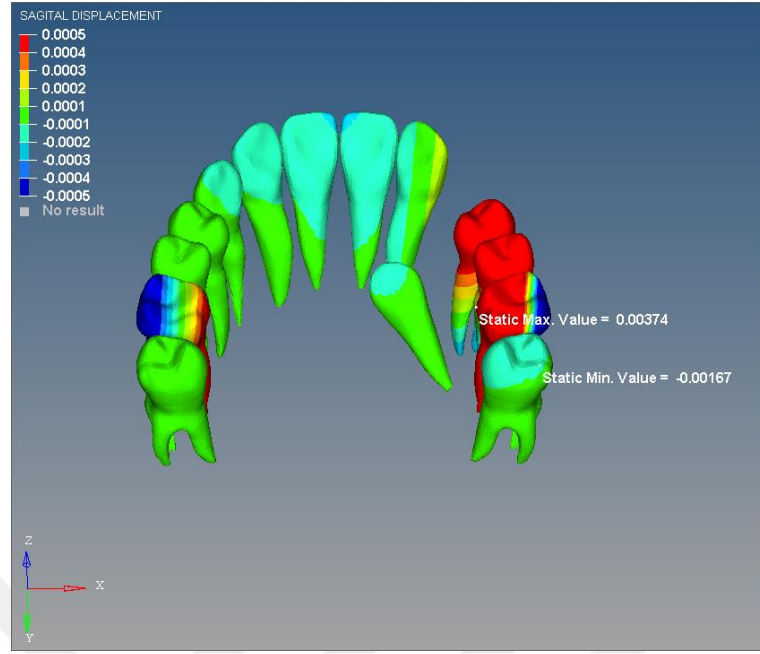
(a)



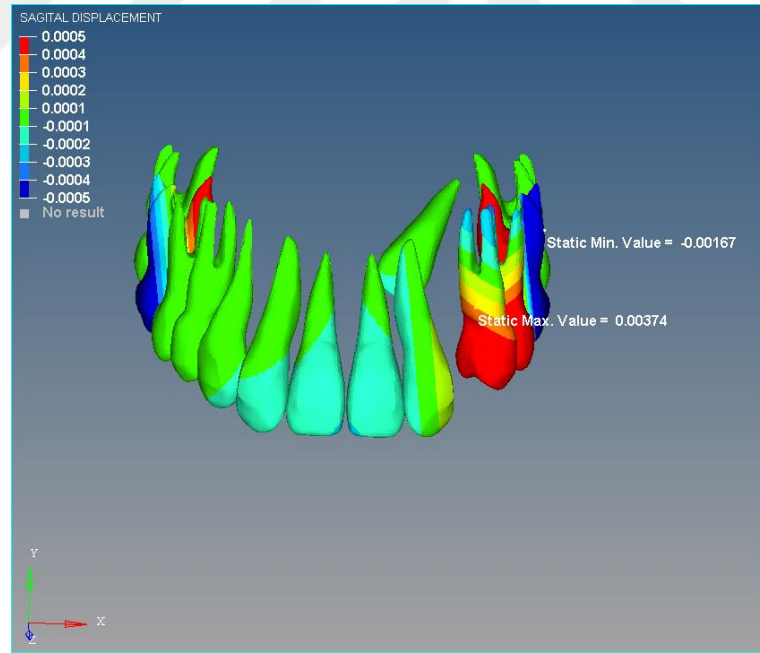
(b)

Şekil 4.29. İkinci modelde transversal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.

İkinci modelde sagittal yönde meydana gelen yer değiştirmeler Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en fazla yer değiştirmenin sol birinci molar dişin palatinalinde ve mezial yönde olduğu görülmektedir. Aynı kadranda bulunan birinci ve ikinci premolar dişlerde ve kontralateral molar dişin palatinalinde de meziale doğru yer değiştirme görülmektedir. Molar dişlerin palatinalinde meziale doğru yer değiştirme görülürken, bukkal yüzeylerinde distale doğru yer değiştirme görülmektedir. Aynı zamanda anterior dişler, sol ikinci molar diş ve gömülü dişin kronunda da distale hareket gözlenmektedir.



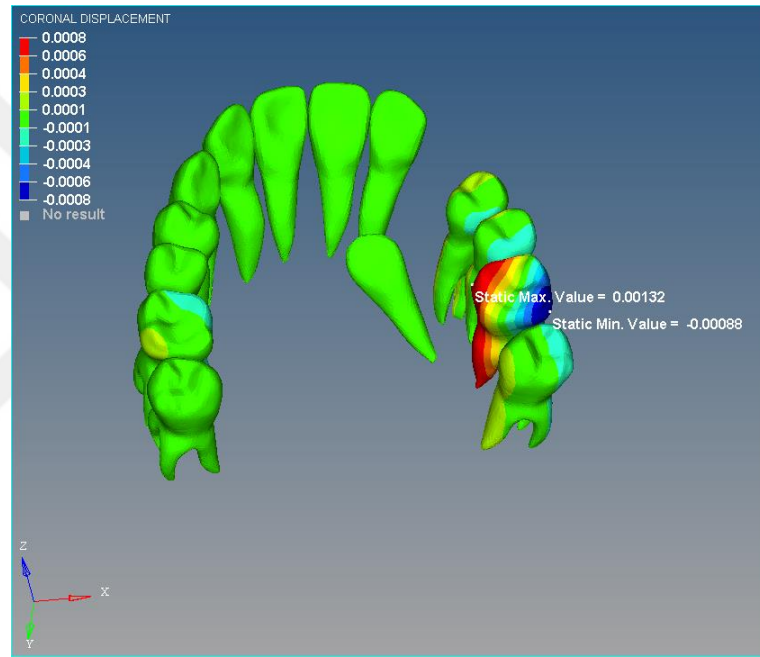
(a)



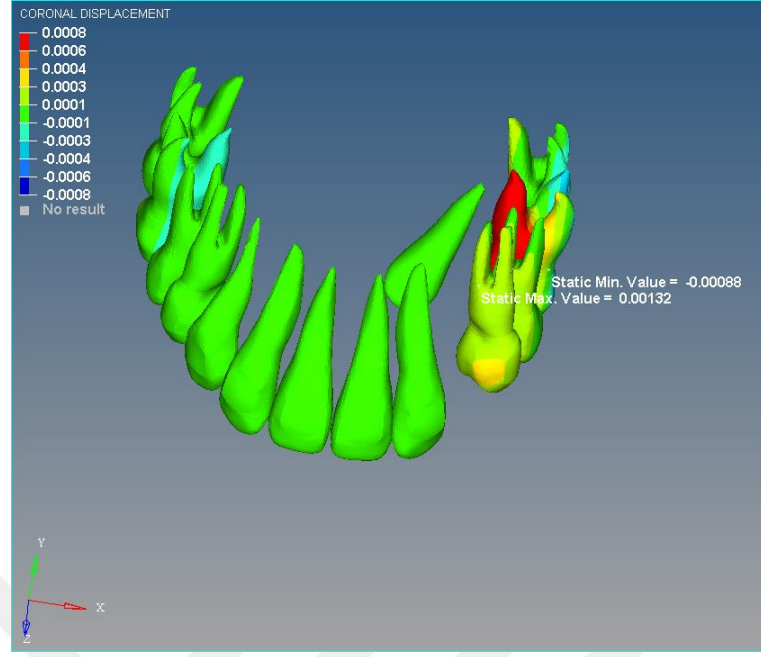
(b)

Şekil 4.30. İkinci modelde sagital yönde meydana gelen yer değiştirmeler.

İkinci modelde vertikal yönde meydana gelen yer değiştirmeler Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sol birinci molar dişin meziopalatinalinde intrüzyon hareketi görülürken, distobukkalinde ekstrüzyon hareketi görülmektedir. Daha az miktarda aynı kadranda bulunan premolar dişlerin meziallerinde intrüzyon, distallerinde ekstrüzyon hareketi gözlenirken, ikinci molar dişin palatinalinde intrüzyon ve bukkalinde ekstrüzyon hareketi görülmüştür. Sağ birinci molar dişin meziopalatinalinde ekstrüzyon ve distobukkalinde az miktarda intrüzyon görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.31. İkinci modelde vertikal yönde meydana gelen yer değiştirmeler.

5. TARTIŞMA

5.1. Amacın Tartışılması

Kanin dişlerin gömülü kalması, ortodonti klinik pratiğinde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Üçüncü molarlardan sonra en sık gömülülüğüne rastlanılan dişler, maksiller kanin dişleridir [37, 39].

Gömülü kanin dişler; kistik değişim ve enfeksiyon, ark boyunda azalma ve komşu kesici diş köklerinde rezorpsiyon gibi birçok komplikasyona neden olabilmektedir [2, 6-8]. Bu dişler ile birlikte en sık görülen komplikasyonlardan biri ise; gömülü dişe komşu lateral ve birinci premolar dişlerdeki kök rezorpsiyonudur [9-12]. Maksiller kanin dişin dental folikülünün tek başına komşu keser dişlerde rezorpsiyon oluşturmayaacağı, rezorpsiyon riskini arttıran etkenlerin, kanin dişin mezial eğimi ve orta hatta olan mesafesi ile ilişkili olduğu bildirilmektedir [13, 14]. Bu komplikasyonlar gömülü kanin dişlerin erken evrede teşhis ve tedavisinin önemini vurgulamaktadır.

Maksiller kanin dişler, dental arkta estetik ve fonksiyonel açıdan çok önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple gömülü kanin dişlerin tedavisinde en çok tercih edilen seçenek, kanin dişin ortodontik tedavi ile oklüzyona getirilmesidir [15]. Gömülü diş sürdürülürken komşu dişler üzerinde oluşan yan etkileri en aza indirmek ve kanin kronunu kesici dişlerin köklerinden uzağa yönlendirmek için bukkal kuvvetlerden önce distal ve/veya vertikal kuvvetin uygulanması önerilmiştir [16, 17].

Ortodontik tedavide ankraj mekaniklerinin belirlenmesi ve kontrolünün yapılması tedavinin başarıya ulaşması açısından büyük önem taşımaktadır. Dişler, ortodontide ankraj amaçlı en sık tercih edilen yapılardır. Ankraj amaçlı dişlerin kullanılması dişlerde istenmeyen yan etkilerin oluşmasına, bu durum çoğu zaman tedavinin daha kompleks bir hale gelmesine ve tedavi hedeflerine ulaşmada güçlüğüne neden olabilmektedir [18, 19].

Aktif ve pasif şekilde görev yapan transpalatal arklar, ortodontik tedavi sırasında rutin olarak kullanılmaktadır. TPA' nın ankrajı arttırmak, diş hareketi oluşturmak ve mevcut durumu stabilize etmek gibi avantajları bulunmaktadır [177].

Mini vidalar ortodontide geleneksel ankraj yöntemlerine karşı geliştirilmiş, hasta kooperasyonu gerektirmeyen, dişlerde herhangi bir yan etki oluşturmeyen geçici ankraj

aygıtlarıdır. Mutlak ankraj sağlayan bu iskeletsel ankraj ünitelerinin diş hekimliği alanında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [184].

Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, ortodontistin yaptığı detaylı radyografik inceleme sonucu gömülü kanin dişin mezial inklinasyonunun ve orta hatta yakınlığının artması, komşu dişlerde istenmeyen yan etkiler oluşturacak ve ortodontik tedavi protokolünü daha karmaşık hale getirecektir. Bu sebeple gömülü kanin dişin arkta olması gereken yere sürdürülmesinden önce distal yönde kuvvet uygulayıp angulasyonunun düzeltilmesi ve oluşan bu istenmeyen etkilerin en aza indirilmesi planlanmıştır.

Bu çalışmada, gömülü kanin dişin pozisyonunun düzeltilmesi ve sürdürülmesi amacıyla kullanılan; biri iskeletsel, diğeri diş destekli iki farklı ankraj mekaniğinin sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

5.2. Materyal ve Metodun Tartışılması

Araştırmamızda gömülü kanin dişin sürdürülmesinde kullanılan iki farklı ankraj mekaniğine kuvvet uygulanması sonucu, dişlerde oluşan anlık yer değiştirme ile birlikte, diş, çene kemiği ve ankraj ünitelerinde meydana gelen gerilmeler sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir.

Gömülü kanin dişler fonksiyon ve estetik açıdan çok büyük bir öneme sahip olup bu dişlerin arkta olması gereken yere sürdürülmesi, ortodontik tedavide en çok tercih ve tavsiye edilen yöntemdir [15]. Gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi, uygulanan kuvvet, kullanılan aparey ve teknik gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir.

Zeno ve ark. [16] yaptıkları çalışmada, vertikal ve bukkal yönlerde uygulanan kuvvetlerin farklı yükleme koşulları altında gömülü kanin dişlerinin seviyelenmesi sırasında maksiller dişler üzerinde oluşturdukları stresi değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda gömülü dişe komşu dişler üzerinde oluşan stresi en aza indirmek için; distal, vertikal veya her iki kuvvet yönünün bir kombinasyonunu, kanin kronunu kesici dişlerin köklerinden uzağa yönlendirmek veya gömülü dişi arka almak için bukkal kuvvetlere tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Zeno ve ark. [17] sonlu elemanlar analizini kullanarak yaptıkları çalışmada bukkal, vertikal ve distal yönlerde kuvvet uygulanan gömülü kanin diş üzerindeki stres seviyelerini değerlendirmiş ve bu dişlerin eğim şiddeti ile ilişkili olarak oluşan stresleri

karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda daha şiddetli eğime sahip kanin dişleri ile servikal seviyede bukkalden uygulanan kuvvetlerin daha yüksek stres oluşturduğunu ve harekete daha fazla direnç gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sebeple tedavinin ilk aşamalarında distal ve/veya vertikal kuvvetin uygulanmasını önermişlerdir.

Diş hareketlerinde optimum kuvvet uygulanması, hastalarda ağrı ve çevre yapılar da hasar oluşturmaması açısından önemli olmakla birlikte, maksimum hücre sel cevabın meydana gelebilmesi için de önemlidir [214].

Literatürde gömülü dişlerin sürdürülmesi için farklı kuvvetler uygulanmakla birlikte teorik olarak gerekli kuvvet miktarı net bir şekilde belirtilmemiştir.

Nagendraprasad ve ark. [224] yaptıkları çalışmada, gömülü dişlerin eğimindeki değişikliklerle birlikte farklı büyüklüklerde ortodontik ekstrüzyon kuvvetleri uygulandığında, gömülü kaninlerin, lateral dişlerin ve gömülü dişlere bitişik birinci premolar dişlerin periodontal ligamentindeki yer değiştirme ve stres paternini analiz etmişlerdir. Çalışma, farklı açılarda yerleştirildiğinde, gömülü kaninlerin yer değiştirme ve stres dağılımında değişiklik olduğunu göstermiştir. Gömülü dişlerin yer değiştirme oranı, gömülü kaninlerin kronu daha mezial eğimli olduğunda azalmıştır. Minimum kuvvetlerin kullanılmasının, gömülü kanin dişleri ekstrüze etmek için ideal olduğu bildirilmiştir.

Süt kanin dişi çekimi sonrası alveolar kemiğin yetersizliği nedeni ile gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi için 50 g'dan az kuvvet uygulanırken, Puricelli [228] bu dişlerin sürdürülmesinde 100-150 g'lık kuvvet uygulamıştır [157].

Bishara [2] gömülü kaninlerde uygulanan ortodontik sürdürme kuvvetinin 60 g'dan fazla olmamasını önermiştir.

Kocsis ve Seres [196] yaptıkları çalışmada, gömülü kanin dişe yaklaşık 50-80 g kuvvet uygulayarak dişin angulasyonunu düzeltmiş ve sürdürmüşlerdir.

Yadav ve ark. [229] gömülü kanin dişlerdeki optimal biyomekaniğin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, sürdürmede kullanılan kilroy spring, elastik chain ve ligatür teli mekaniklerine sırasıyla 240 g, 260 g, 280 g kuvvet uygulamışlardır. Çalışmacılar bu kuvvetin tavsiye edilen kuvvet miktarından fazla olduğunu ancak gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi için gereken kuvvet miktarının bu aralıkta olması gerektiğini bildirmişler ve literatür bilgisinin yeniden düzenlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda ve vaka raporlarında gömülü dişlerin sürdürülmesinde yaklaşık 50 g ile 250 g aralığında kuvvet uygulanmıştır [1, 229-231]. Araştırmamızda bu aralıkta olması sebebi ile Han ve ark. [232] tarafından da savunulan 100 g'lık bir kuvvet tercih edilmiştir.

KIBT, çene cerrahları tarafından gömülü maksiller kaninler için ana tanı yöntemi olarak önerilmiştir. Bunun aksine, ortodontistler rutin bir tanı yöntemi olarak genellikle konvansiyonel radyografiyi KIBT' ye tercih etmişlerdir [233, 234].

Ortodontistin gömülü kaninlerin tedavisinin ne kadar karmaşık olabileceğini öngörmesine izin veren birkaç sınıflandırma yapılmıştır [75, 128-130]. Tedavideki karmaşıklık gömülü dişin konumuna, sektör sınıflamasına ve gömülü kalma açısına bağlı olarak değişmektedir. Orta hatta daha yakın olan gömülü kaninler tedavi sırasında daha büyük komplikasyonlara neden olabilmektedir [131].

Ericson ve Kurol [75] tarafından önerilen sınıflandırmaya göre sektör 4 ve 5'te bulunan gömülü dişler, tedavisi en karmaşık olanlardır. Çünkü ortodontik sürdürme için özel biyomekanik gerektirirler. Horizontal konumda olan gömülü kaninlerin tedavisi vertikal konumdakilere kıyasla daha zordur ve gömülü dişin orta hat ile yaptığı açının artması, tedavinin prognozunu riske atmaktadır.

Arriola-Guillén ve ark. [132] 2019 yılında yaptığı çalışmada, ortodontik sürdürme kuvvetinin yan keser dişlerde oluşturduğu kök rezorpsiyonunu incelemişlerdir. Bu çalışmada tedavi kompleksliği, sektör sınıflaması, gömülü kalma açısı ve kanin pozisyonuna göre tanımlanmıştır. Yüksek komplekslik grubu, Ericson ve Kurol sınıflandırmasına göre sektör 3 (alfa açısı $>40^\circ$), 4 veya 5 ve bikortikal etkilenmiş maksiller kaninleri içermektedir. Bu grupta %60 başlangıç kök rezorpsiyonu olmasına rağmen (düşük komplekslik grubunda %15'e kıyasla), ortodontik sürdürme kuvvetinden sonra kök rezorpsiyonu her iki grupta da benzer bulunmuştur.

Koutzoglou ve ark. [235] gömülü kalma şiddetinin ankiloz gelişimi ve tedavi başarısızlığı ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir.

Stewart ve ark. [89] gömülü maksiller kanin dişleri olan hastalar için tedavi süresinin, hastanın tedavinin başlangıcındaki yaşından, gömülü dişin oklüzal düzlemden uzaklığından, gömülü dişin orta hatla yaptığı açıdan ve orta hatta olan yatay mesafeden

etkilendiğini bildirmiştir. Gömülü dişin oklüzal düzlemden uzaklığının 14 mm'den fazla olması durumunda her 1 mm'lik artış için, 2 haftalık ek tedavi süresine ihtiyaç duyulacağını bildirmişlerdir.

Zasciurinskiene ve ark. [173] cerrahi-ortodontik tedaviden sonra gömülü kanin ve komşu dişlerin periodontal sağlığının gömülü dişin başlangıçtaki dikey ve yatay pozisyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Başlangıç kanin pozisyonu ile tedavi sonucu arasındaki ilişki literatürde değerlendirildiğinde, mezial pozisyon, yüksek α açısı (gömülü kaninin uzun eksenini ile kesici dişler arasındaki medyan çizgisi arasında oluşan açı -normal değer = 20–53°) ve yüksek vertikal lokalizasyon, tedavinin negatif belirleyicileri olarak tanımlanmıştır [133].

Çalışmamızda her iki modelde de gömülü kanin diş maksillanın palatinal bölgesinde sol tarafta orta hat ile 45° açı yapacak şekilde, gömülü dişin tüberkül tepesi lateral dişin uzun eksenini ile santral dişin distali arasında olacak şekilde (sektör 3) modellenmiştir.

Telin elastikiyeti, kuvvet uygulaması sonucu dişte oluşan rotasyon ve devrilme miktarını belirleyen önemli faktörlerden biridir. Katılığı yüksek olan tellerde birim kuvvette tel daha az esneyeceği için, dişlerde oluşan devrilme miktarı da daha az olmaktadır. Bu sebeple gömülü kanin dişlerin sürdürülmesinde paslanmaz çelik veya kobalt-krom alaşımı gibi daha katı tellerin kullanılması tavsiye edilmektedir [214].

Çalışmamızda, gömülü dişin sürdürülmesi sırasında dişlerde oluşan yan etkilerin en aza indirilebilmesi amacıyla 0.019x0.025 inç kesitli paslanmaz çelik ark teli kullanılmıştır.

Ankraj, istenmeyen diş hareketine karşı oluşan direnci ifade eden bir terimdir [19, 236]. Ortodontik tedavide ankrajın arttırılması amacıyla çeşitli apareyler kullanılmaktadır. Ekstraoral apareylerin kullanımı, ankrajın güçlendirilmesinde tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte, molar dişlerde ekstrüzyon veya devrilme gibi yan etkilere sebep olması ve hasta kooperasyonuna ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajlarından [19, 20]. Hasta kooperasyonundan bağımsız intraoral ankraj arttırma yöntemlerine diş sayısının arttırılması, TPA, elastikler, Nance apareyi ve ikinci düzen bükümler örnek verilebilir [19, 21-23].

İntraoral ve ekstraoral apareylere alternatif olarak kemik içerisine yerleştirilen implant, onplant ve mini vida gibi aygıtların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [183,

237]. Boyutları ve kompleks dizaynlarından ötürü onplant ve implantların klinik uygulamaları kısıtlı bir alanda yapılmaktadır. Bununla birlikte osseointegrasyon süresi, laboratuvar aşaması ve yüksek maliyet de diğer dezavantajları arasında sayılmaktadır [238, 239].

Mini vidalar, biyouyumlu olmaları, boyutlarının küçük ve yerleştirilmelerinin kolay olmaları nedeniyle diş hareketinin oluşturulması ve ankrajın arttırılmasında oldukça önemli bir yere sahiptirler [240].

Mini vidalar ile iki farklı şekilde ankraj sağlanmaktadır. Direkt ankrajda kuvvet, kemik içerisine yerleştirilen aygıttan hareketi istenen bölgeye uygulanmaktadır. İndirekt ankrajda ise bu aygıtlardan yararlanılarak hareket etmesi istenmeyen bölgenin ankrajı arttırılır [26]. Araştırmamızdaki birinci modelde mini vidalar direkt ankraj ünitesi olarak kullanılmıştır.

Ortodontik tedavi sırasında rutin olarak kullanılan TPA' nın ankrajı arttırmak, diş hareketi oluşturmak ve mevcut durumu stabilize etmek gibi avantajları bulunmaktadır. TPA' nın molar dişleri birbirine bağlaması sonucu kök yüzey alanı genişlemekte ve bu sayede istenmeyen hareketlere karşı direnç artmaktadır [177]. Araştırmamızdaki ikinci modelde hem kuvvet uygulamak hem de posterior bölgedeki ankrajı arttırmak amacıyla TPA' dan yararlanılmıştır.

Ortodontide diş hareketi oluşturmak için en çok tercih edilen kuvvet elemanları, elastik materyaller ve NiTi sarmal yaylardır [175, 241, 242].

Elastik zincirlerde zaman içinde kuvvet kaybı olduğu ve bu materyalin ısıdan ve nemden etkilendiği bildirilmiştir [145]. Yüksek şiddetli ve kesikli kuvvet uygulayan elastik zincirlerin aksine Ni-Ti sarmal yaylar, düşük şiddetle sürekli kuvvetler uygulamaktadır [243].

Han ve Quick [244] yaptıkları çalışmada Ni-Ti sarmal yayları, elastik zincir ve paslanmaz çelik yaylar ile karşılaştırmışlardır. Araştırmanın sonucunda elastik zincirlerin kuvvet uygulama özelliklerini kısa sürede kaybettiklerini, paslanmaz çelik yayların gerilme dayanımının yüksek olduğunu, Ni-Ti sarmal yayların ise kuvvet uygulama kapasitelerini koruduklarını bildirmişlerdir.

Araştırmamızdaki her iki modelde de klinik olarak düşük şiddetli ve devamlı kuvvet uygulamaları sebebiyle Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylar tercih edilmiştir [243].

Kuvvet analizlerinin canlı dokular üzerinde yapılması zor olduğu için analizler bilgisayar programlarında oluşturulan modeller üzerinde gerçekleştirilir. Bu modellerin gerçeğe benzeme oranının artması analiz sonuçlarının canlı dokulardaki benzerliğini de o oranda arttıracaktır [245].

Kuvvet analizlerinin yapılabilmesi için fotoelastik analiz yöntemi, gerinim ölçer analiz yöntemi, kırılğan vernikle kaplama yöntemi, holografik interferometre analiz yöntemi ve sonlu elemanlar analiz yöntemi gibi birçok yöntem kullanılmaktadır [32, 203, 246, 247].

Sonlu elemanlar analizi, düzgün geometriye sahip olmayan yapıların yer değiştirme, gerilme ve gerinme değerlerini detaylı bir şekilde inceleyen güçlü bir bilgisayarlı simülasyon metodudur [29, 30]. Araştırmamızda, diğer kuvvet analiz yöntemlerinin, yapıların fiziksel özelliklerini gerçeğe uygun yansıtamaması, düzgün geometriye sahip olmayan yapıları detaylı bir şekilde modelleyememesi, deney düzeneği gerektirmeleri ve doku içine aygıt yerleştirilmeye ihtiyaç duyulması gibi birçok dezavantajından ötürü sonlu elemanlar analizi tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi ile deplasman değerleri, asal gerilmeler ve Von Mises gerilme değerleri elde edilmektedir. Analize ait veriler değerlendirilirken materyalin mekanik özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Mini vida, implant gibi çekilebilir özellikte olan materyaller için Von Mises gerilmeleri; kemik ve diş gibi kırılğan materyaller için ise asal gerilmeler önem taşımaktadır. Von Mises değerleri, gerilmenin karakterini belirtemezken dağılımını ve yoğunluğunu göstermektedir. Asal gerilme değerleri ise oluşan gerilmelerin çekme ya da basma şeklinde olduğunu ve hangi tip gerilmenin daha etkin olduğunu belirtmektedir [248].

Araştırmamızda mini vida çevresinde meydana gelen gerilmeleri değerlendirmek için Von Mises gerilmeleri kullanılırken, dişlerde meydana gelen gerilmeleri incelemek için asal gerilmeler kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi ile oluşan sonuçların güvenilirliği, modelin gerçeğe benzeme oranına bağlı olarak değişmektedir. Modelleme sırasında en çok, üç boyutlu görüntüleme yöntemleri olan BT ve MRG' den faydalanılmaktadır [222].

Araştırmamızda maksillanın üç boyutlu modellenebilmesi için yetişkin bir hastanın KIBT görüntüleri kullanılmıştır. TPA, buton ve ark teli manuel olarak modellenirken mini vidalar, dişler, braketler ve tüpler lazer tarayıcılar kullanılarak modellenmiştir.

Analizin sonuçlarının etkilenmemesi ve standardizasyonun sağlanması amacıyla dişlerin eksen eğimleri MBT tarafından bildirilen rotasyon, angulasyon ve tork değerleri referans alınarak konumlandırılmış ve ideal diş dizisi elde edilmiştir.

Kullanılan materyallerin elastikiyet modülü ve Poisson oranı, kuvvet dağılımını etkileyecek en önemli özelliklerdir. Araştırmamızda literatür ile uyumlu Poisson oranı ve elastikiyet modülü kullanılmıştır [249, 250].

Herhangi bir materyalin veya dokunun tamamıyla izotrop ve homojen olması mümkün olmamakla birlikte araştırmamızda modellenen yapılar izotropik, homojen ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir [251]. Bu sebeple analiz sonucu elde edilen veriler gerçekler ile bire bir uyuşmayabilir. Ancak uygulanan kuvvetin ve materyallerin mekanik özellikleri sabit tutulması ve modellerin birbirleri ile kıyaslanarak değerlendirilmesi araştırmamızı bilimsel açıdan uygun hale getirmektedir.

Araştırmamızda matematiksel modelin oluşturulabilmesi amacıyla kullanılan solidtetrahedral eleman özelliğinin, çene yüz bölgesi için ideal olduğu bildirilmiştir [252].

5.3. Modellerin Yapısının Tartışılması

Araştırmamızda 2 farklı ankraj nitesi kullanılarak yapılan gömülü kanin sürdürülmesi tedavisinde başlangıç kuvvet uygulamasından sonra oluşan yer değiştirme ve gerilmelerin değerlendirilebilmesi amacıyla 2 farklı model oluşturulmuştur.

5.3.1. Birinci model yapısının tartışılması

Birinci model oluşturulurken direkt ankraj elde etmek amacıyla st çene posterior palatinal bölgeye, ikinci premolar ve birinci molar dişler arasına, alveol kretten 6 mm uzaklıkta interradykler bölgeye, 1,5 mm çapında ve 8 mm uzunluğunda bir adet mini vida

yerleştirilmiştir. Mini vidalardan gömülü kanin diş butonuna distal yönlü olacak şekilde Ni-Ti kapatıcı sarmal yaylar kullanılarak 100 g kuvvet uygulanmıştır.

Araştırmamızda birinci modelde, küçük boyutta olması, geniş bir alana uygulanabilmesi, yüksek başarı oranına sahip olması, hasta konforunun yüksek olması, bekleme zamanına ihtiyaç duyulmaması ve ucuz olması gibi avantajlara sahip oldukları için mini vida kullanımı tercih edilmiştir.

Mini vidalar modelleme aşamasında kemik içerisinde konumlandırılırken bulundukları yerin literatür ile uyumlu olmasına özen gösterilmiştir. Mini vidalar diş köklerinden uzakta, köklere temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir.

KIBT görüntüleri kullanılarak yapılan bir çalışmada, maksillada kemiğin en fazla bukkolingual olarak birinci ve ikinci molar dişler arasında meziodistal olarak palatinalde ikinci premolar ve birinci molar diş arasında olduğu tespit edilmiştir. Maksillada alveol kret tepesinden 5-8 mm uzaklıkta, ikinci premolar ile birinci molar diş arasında kalan bölge mini vida yerleşimi için uygun bulunmuştur [194]. Kret tepesinden apikale doğru 8-10 mm'lik mesafenin aşılması halinde maksiller sinüsün perforasyon riski oluşmaktadır [253].

Deguchi ve ark. [254] mini vida yerleşimi için en güvenli bölgenin belirlenmesi amacıyla BT görüntülerini kullanarak kortikal kemik kalınlığını değerlendirmişlerdir. Araştırmanın sonucunda en güvenli bölgenin birinci molar dişin distali veya meziali olduğunu bildirmişlerdir.

Araştırmamızda kullanılan mini vidalar literatür ile uyumlu olacak şekilde palatinal bölgede, birinci molar dişin mezialine, alveoler kretten 6 mm uzakta olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Kyung ve ark. [255] maksillada mini vida yerleştirilirken mini vidanın dişlerin uzun eksenleri ile oluşturduğu açının 30°- 40° olmasını önermişlerdir. Carano ve ark. [253] da benzer tavsiyelerde bulunmuş fakat sinüs hasarının önlenmesi amacıyla o bölgede mini vidanın daha dik bir açıyla yerleştirilmesini tavsiye etmişlerdir.

Park [256] mini vidalar yerleştirilirken kök hasar riskinin önlenmesi ve kortikal kemik temasının arttırılması amacıyla mini vidaların maksillada 30°-40°, mandibulada ise 20°-60° açı yerleştirilmesini tavsiye etmiştir.

Wilmes ve ark. [257] mini-implantlarda en iyi primer stabilitenin 60°-70°'lik açı ile sağlanabildiğini rapor etmişlerdir.

Zhang ve ark. [258] farklı açılar ile yerleştirilen mikro-implantların stabilitelerini karşılaştırdıkları çalışmada, yerleştirme açısının artmasının uygulanan kuvvetlere karşı stabiliteyi arttırdığını bildirilmişlerdir.

Araştırmamızda modellenen mini vidalar literatür ile uyumlu olarak palatinal bölgede 30°-40° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.

Mini vidaların stabilitesi ve başarısını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; çap, yiv mesafesi, uzunluk, koniklik ve uç kısmının yapısıdır. Çapın ve uzunluğun artmasıyla mini vidanın stabilitesi artsa da, stabilite için ön önemli faktörün kortikal kemik olduğu rapor edilmiştir [188].

Konik veya silindirik şekillerde üretilen mini vidalar, kortikal kemik teması ve primer stabilite açısından değerlendirildiğinde konik şekilli mini vidaların daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır [188].

Carano ve ark. [187] yaptıkları çalışmada üç farklı mini vida sisteminin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda silindirik şekilli mini vidanın konik olandan daha üstün olduğu ancak kökler arası mesafenin 2,5-3,5 mm ile sınırlı olduğu durumlarda konik vidaların tercih edilebileceğini bildirmişlerdir.

Lim ve ark. [190] mini vidanın uzunluğu ve çapı ile kortikal kemik genişliği üzerindeki stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, mini vidaya uygulanan kuvvet sonucu meydana gelen stresin büyük kısmını kortikal kemiğin absorbe ettiğini ve mini vida stabilitesinin vidanın uzunluğundan ziyade çapına bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Araştırmamızda, literatürdeki bu bilgiler ışığında daha sıkı kortikal kemik teması elde etmesi ve komşu diş köklerine zarar verme riskinin daha az olması sebebiyle konik mini vidalar tercih edilmiştir.

Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda kullanılan mini vida çapları 1,0-2,3 mm arasında, uzunlukları ise 4-21 mm arasında değişmektedir [26, 189].

Gracco ve ark. [259] ideal mini vida uzunluğunun 9 mm olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Takaki ve ark. [260] 1,5-2,3 mm çapa sahip mini vidaların başarı oranlarının 1,0-1,1 mm arasında çapa sahip mini vidalara kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Lee [185] 1,2-1,4 mm çapa sahip mini-implantların stabilite açısından yeterli olmadığını, 2 mm çapa sahip mini-implantların ise kök hasarı oluşturma ihtimalinin olduğunu bildirmiştir.

Araştırmamızda primer stabilitenin iyi sağlanabilmesi ve komşu diş köklerine zarar vermemek amacıyla literatür ile uyumlu olacak şekilde 1,5 mm çapında 8 mm uzunluğunda konik mini vidalar kullanılmıştır.

5.3.2. İkinci modelin yapısının tartışılması

Araştırmamızdaki ikinci modelde ankraj ünitesi olarak birinci molar dişler arasına 0.9 mm çapında paslanmaz çelik telden yapılan, modifiye edilmiş TPA yerleştirilmiştir. Bu sayede birinci molar dişler birbirine bağlanarak kanin dişin sürdürülmesi sırasında ankrajın artırılması hedeflenmektedir.

Bununla birlikte kuvvet uygulama noktası oluşturabilmek amacıyla TPA üzerine ikinci premolar ile birinci molar dişleri arasındaki bölgeye denk gelecek şekilde çengel yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çengelin konumu her iki modelde uygulanan kuvvetin yönünü standartize edebilmek amacıyla mini vida ile benzer olacak şekilde seçilmiştir.

Araştırmamızda TPA hem direk hem de indirekt ankraj elde etmek amacıyla kullanılmıştır. TPA üzerine yerleştirilmiş çengelden gömülü kanin diş butonuna Ni-Ti kapayıcı sarmal yaylar kullanılarak distal yönlü olacak şekilde 100 g kuvvet uygulanmıştır.

TPA' nın molar dişlerde meydana gelen devrilme ve rotasyon hareketlerini önlediği ve molar dişler arasındaki transversal mesafeyi koruduğu bildirilmiştir [18, 261].

Kojima ve Fukui [225] sonlu elemanlar analizi ile TPA' nın molar dişler üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, bu arkların molar dişlerin mezial yöndeki hareketini önleyemediği fakat transversal yönde oluşan hareketleri engellediğini belirtmişlerdir.

Bobak [226] TPA yerleştirilen ve yerleştirilmeyen molar dişlerdeki periodontal stresi sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmiş ve TPA' nın molar dişlerin devrilmesini engelleyemediğini, bu dişlerin rotasyonunu azalttığını ve PDL' de meydana gelen stresi %1'den daha az etkilediğini belirtmiştir.

Araştırmamızda 1. molar dişler arasına yerleştirilen transpalatal ark vasıtası ile hem kuvvet uygulama noktası oluşturmayı hem de molar dişlerin ankrajını arttırmayı amaçladık.

5.4. Bulguların Tartışılması

5.4.1. Birinci modelin bulgularının tartışılması

5.4.1.1. Mini vidada meydana gelen değişikliklerin tartışılması

Gallas ve ark. [262] 4,1 mm çapında ve 10 mm uzunluğunda ankraj amacıyla kullanılan implantlardaki stresi sonlu elemanlar analizi ile değerlendirebilmek için, bu implantları osseointegrasyon olacak ve olmayacak şekilde modellemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kuvvet uygulaması ile birlikte osteointegre olmayan implantlarda daha az stresin meydana geldiğini ve en yüksek stres değerinin her zaman mini vidanın boyun kısmında oluştuğunu bildirmişlerdir.

Zhang ve ark. [258] mikro-implant ile kemik arasında oluşan stresi değerlendirdikleri çalışmalarında, meydana gelen stresin boyun bölgesinde yoğunlaştığını, kortikal ve spongios kemiğe doğru azalarak devam ettiğini bildirmişlerdir.

Sonlu elemanlar stres analizi ile yapılan çalışmada, Ammar ve ark. [240] mini vida kullanarak alt kanin dişi distalize etmişler ve çalışmanın sonucunda mini vida çevresinde oluşan en yoğun stresin boyun bölgesinde görüldüğünü bildirmişlerdir.

Literatür incelendiğinde yapılan araştırmalarda, mini vidaya uygulanan kuvvetler sonucu boyun bölgesinde gerilmenin yoğunlaşmasının, bu bölgenin mini vidanın stabilitesinde primer rol oynayan kortikal kemik ile çevrili olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [240, 263, 264].

Araştırmamızda literatür ile uyumlu olacak şekilde mini vidada meydana gelen en yüksek gerilme, vidanın boyun bölgesinde kortikal kemik içinde kalan kısmında meydana gelmiştir.

Araştırmamızda kullanılan mini vidanın materyali olan titanyumun dayanıklılık limitinin 500 MPa ile 1000 MPa arasında olduğu bildirilmiştir [265]. Araştırmamızda mini vidada görülen 52,1 MPa değerindeki en yüksek Von Mises gerilmesinin mini vidanın zarar göreceği stres aralığından uzakta olduğunu düşünmekteyiz.

5.4.1.2. Dişlerde oluşan değişikliklerin tartışılması

Yer değiştirme bulguları incelendiğinde gömülü kanin dişin tüberkül tepesinde ve santral dişlerin insizal kenarlarında çok az miktarda distale hareket gözlenmekle birlikte, birinci modelde her üç düzlemde de dişlerde oluşan anlık hareket miktarı çok düşük düzeydedir. Kanin dişin kronuna tek noktadan kuvvet uygulamamıza bağlı olarak bu dişte distale doğru bir devrilme hareketi meydana gelmektedir. Anterior dişlerde görülen bu distale hareketi, gömülü dişin çekiş yönüne bağlı olarak PDL vasıtasıyla anterior dişlere iletilmesi sonucu olduğunu düşünmekteyiz. Elde ettiğimiz bu sonucu iskeletsel ankraj kullanılmasına bağlamaktayız.

Gömülü kanin dişler ile birlikte en sık görülen komplikasyonlardan biri keser dişler ve birinci premolar dişte görülen kök rezorpsiyonudur [9-12]. Lateral diş, anatomik yapısı ve gömülü dişe yakın pozisyonda olması sebebiyle en çok rezorpsiyon görülen diştir [73]. Gömülü maksiller kanin dişe komşu keser dişlerdeki kök rezorpsiyon oranının KIBT ile incelendiği bir çalışmada, bu oran %33,8 olarak bulunmuştur [161]. Lund ve ark. [162] yaptıkları çalışmada, ortodontik tedavi gören hastaların %60'ında keser diş rezorpsiyonu görüldüğünü ve bu rezorpsiyonun 1 mm'den daha az olduğunu bildirmişlerdir. Bazı hastalarda 4 mm ve üzeri olacak şekilde ciddi rezorpsiyonlar görülebilmektedir. Bu durum kök morfolojisi, ağır ortodontik kuvvet uygulanması ve ortodontik tedavi süresinin uzun olması ile ilişkili olabilmektedir [163].

Maksimum ve minimum asal gerilme bulguları incelendiğinde dişler üzerinde oluşan gerilmeler minimum düzeydedir. Anterior dişler renk skalasının aralığı düşürülerek incelendiğinde gömülü dişe komşu yan keser dişin kökünün palatinal yüzeyinde çekme gerilmeleri, aynı dişin labial yüzeyinde de basma gerilmeleri görülmektedir. Bu bulgular klinik pratiğinde gömülü dişe uygulanan kuvvet sonucu komşu lateral dişlerde kök rezorpsiyonu olması şeklinde yorumlanabilir.

Gömülü kanin diş incelendiğinde, diş kronunun palatinalinde belirgin çekme gerilmeleri izlenmektedir. Kanin dişin singulum bölgesinde yoğun basma gerilmeleri

izlenirken bu gerilmeler kök apeksine doğru giderek azalmaktadır. Kuvvet, gömülü diş botunu üzerinden uygulandığı için bu dişte oluşan yoğun gerilme alanlarını normal kabul etmekteyiz.

5.4.1.3. Kemikte oluşan gerilmelerin tartışılması

Gerilme alanları incelendiğinde kortikal kemikte görülen en yüksek çekme gerilimi, kuvvetin uygulandığı yönün tersi olan mini vidanın distalinde, en yüksek basma gerilimi ise mini vidaya uygulanan kuvvet yönünde olduğu görülmektedir. Mini vida çevresindeki kortikal kemikte görülen çekme gerilim değeri, basma gerilim değerinden daha yüksektir.

Spongioz kemikte görülen en yüksek çekme gerilim değeri kuvvet uygulama yönünün tersi olan mini vidanın distalinde, en yüksek basma gerilim değeri mini vidanın mezialinde ölçülmüştür. Birinci modelde mini vidanın çevresindeki spongioz kemik dokusunda oluşan gerilimlerin kortikal kemiğe oranla oldukça az olduğu görülmektedir.

Kortikal kemik spongioz kemiğe nazaran daha kompakt olup streslerin büyük bir bölümünü kompanse ettiği için, mini vida çevresindeki spongioz kemik dokusunda meydana gelen çekme ve basma gerilmeleri, kortikal kemikte ölçülen değerlerden oldukça düşük bulunmuştur. [266, 267].

Meher ve ark. [264] yaptıkları çalışmada, kortikal kemiğin esneklik katsayısının spongioz kemiğe kıyasla daha yüksek olması sonucu kuvvetin kortikal kemikte daha fazla gerilim oluşmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Gracco ve ark. [259], Singh ve ark. [268] da çalışmalarında mini vidaya uygulanan kuvvet sonucu kortikal kemikte oluşan stres değerlerinin spongioz kemiğe oranla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Gömülü diştan mini vidaya uygulanan kuvvet sonucu beklenildiği gibi mini vidanın distal tarafındaki kortikal kemikte yoğun çekme gerilimleri, mezial tarafında ise yoğun basma gerilmeleri saptanmıştır. Maksimum çekme gerilim değeri maksimum basma gerilim değerinden bir miktar fazla olsa da aradaki fark oldukça küçüktür.

Gracco ve ark. [259] yaptıkları çalışmada ortodontik mini vida çevresinde oluşan stres dağılımını analiz etmişler ve kemiğin dayanıklılık limitine yakın değerlerde stres oluşmasının kemik dokusunda mikro kırıklara neden olduğu, enflamatuvar reaksiyon oluşturarak kemik dokusunda biyolojik döngüyü bozduğunu bildirmişlerdir. Kemik rezorpsiyonuna sebep olan bu durum, mini vida kaybına yol açabilmektedir.

Boccacio ve ark. [269] yaptıkları çalışmada kortikal kemiğin dayanıklılık limitini 122 MPa, spongios kemik dayanıklılık limitini 2 MPa olarak bulmuşlardır. Araştırmamızda mini vida etrafındaki kortikal kemikte görülen en yüksek gerilim değeri 7,94 MPa, spongios kemikteki 0,38 MPa olup bahsedilen dayanıklılık limitlerinin oldukça altındadır. Araştırmamızın bulgularına dayanarak gömülü kanin dişlerin sürdürülmesinde, mini vidadan ankrajı kullanımının mini vida kaybına sebep olacağını düşünmemekteyiz.

5.4.2. İkinci modelin bulgularının tartışılması

5.4.2.1. Dişlerde oluşan değişikliklerin tartışılması

Analiz sonucunda oluşan veriler değerlendirildiğinde, sol birinci molar dişte daha fazla olmak üzere transpalatal arkın yerleştirildiği birinci molar dişlerde yoğun gerilme alanları meydana geldiği görülmektedir. Renk skalasının aralığının düşürülmesi ile elde edilen verilerde anterior dişlerde de gerilme alanları olduğu görülmektedir. İkinci modelde kuvvet, transpalatal arkta uygulandığı için molar dişlerde yoğun gerilme alanlarının oluşmasını, bununla birlikte transpalatal arka uygulanan kuvvetin ark teli vasıtasıyla anterior dişlere iletilmesi sonucu anterior dişlerde de gerilme alanları oluşmasını normal kabul etmekteyiz.

Yer değiştirme bulguları incelendiğinde transversal yönde en fazla yer değiştirmenin sol birinci molar dişin distalinde ve meziopalatinal yönde olduğu görülmektedir. Bu bulgular sol birinci molar dişin meziopalatinal yönde rotasyon yaptığını göstermektedir. Araştırmamızda TPA üzerine yerleştirilen çengele, molar dişin mezialinden ve palatinalinden kuvvet uygulandığı için bu dişlerde görülen rotasyon kaçınılmaz olmuştur.

Sagittal yönde en fazla yer değiştirmenin sol birinci molar dişin palatinalinde ve mezial yönde olduğu görülmektedir. Aynı kadranda bulunan birinci ve ikinci premolar dişlerde ve kontralateral molar dişin palatinalinde de meziale doğru yer değiştirme görülmektedir. Ayrıca sağ birinci molar dişte; palatinalinde meziale, bukkalinde ise distale doğru yer değiştirme sonucu meziobukkal rotasyon meydana gelmektedir. Aynı zamanda anterior dişler ve gömülü dişin kronunda da distale hareket gözlenmektedir.

Sol birinci molar dişte görülen meziale hareketin, transpalatal arkta gömülü kanin dişe uygulanan kuvvet sonucu tepki kuvvetinin transpalatal ark vasıtasıyla tamamen molar dişlere iletilmesi sebebiyle normal kabul etmekteyiz. Sol premolar dişlerde görülen meziale hareketin ark teli aracılığı ile bu dişlere iletilmesi sonucu oluştuğunu

düşünmekteyiz. Premolar dişlerin köklerinde meydana gelen yer değiştirmenin kronlara kıyasla daha az miktarda olması dişlerde devrilme hareketi meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca molar dişlerde oluşan rotasyon sonucu telde meydana gelen deformasyonun anterior dişlerin palatinala devrilmesine sebep olduğunu düşünmekteyiz. Keser dişlerde ilk anda meydana gelen bu devrilme hareketi minimaldir ve uzun vadede sol bölgedeki meziale hareket kaynaklı anterior dişlerde protrüzyon görülebilir.

Vertikal yönde ise sol birinci molar dişin meziopalatinalinde intrüzyon hareketi görülürken distobukkalinde ekstrüzyon hareketi izlenmektedir. Gömülü dişe uygulanan distal yönlü kuvvetin vertikal bileşeni kaynaklı bu dişte ekstrüzyon hareketi beklenirken tepki kuvvetine bağlı olarak da destek alınan molar dişlerde intrüzyon hareketi oluşmasını normal kabul etmekteyiz.

TPA' nın molar dişlerde meydana gelen devrilme ve rotasyon hareketlerini önlediği ve molar dişler arasındaki transversal mesafeyi koruduğu bildirilmiştir [18, 261].

Kojima ve Fukui [225] sonlu elemanlar analizi ile TPA' nın molar dişler üzerindeki etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, bu arkların molar dişlerin mezial yöndeki hareketini önleyemediği fakat transversal yönde oluşan hareketleri engellediğini belirtmişlerdir.

Bobak [226] TPA yerleştirilen ve yerleştirilmeyen molar dişlerdeki periodontal stresi sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmiş ve TPA' nın molar dişlerin devrilmesini engelleyemediğini, bu dişlerin rotasyonunu azalttığını ve PDL' de meydana gelen stresi %1'den daha az etkilediğini belirtmiştir.

Zablocki ve ark. [270] yaptıkları çalışmada çekimli ortodontik tedaviler sırasında TPA' nın ankraj üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. TPA' nın üst molar dişlerin sagittal veya vertikal hareketlerini engellemede anlamlı bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Zeno ve ark. [16] yaptıkları çalışmada, gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında transpalatal ark kullanmış ve bu aktif apareylerin molar dişlere yerleştirilmesinin komşu dişlerde daha az stres oluşumuna neden olduğunu bildirmişlerdir.

Nakandakari ve ark. [114] gömülü kanin dişi modifiye TPA ile segmental ark tekniği kullanarak sürdürmüş ve tedavi sonucunda bu tekniğin kullanımının diş sürdürülmesi

açısından yan etkilerinin minimum olduğunu ve tedavi öngörülebilirliğinin yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Araştırmamızın sonuçlarına göre; gömülü kanin dişin sürdürülmesi sırasında TPA' nın molar dişlerdeki transversal, sagittal ve vertikal hareketleri engellemede yeterli ankrajı sağlayamadığı görülmüştür. Çalışmamızda TPA' nın, hem direk hem indirekt ankraj olarak kullanılması sebebiyle her üç düzlemde de yeterli ankraj kontrolünü sağlayamadığını düşünmekteyiz.

5.4.2.2. Kemikte oluşan gerilmelerin tartışılması

Ortodontik tedavilerde kuvvet uygulaması sonucu oluşan diş hareketlerinde, dişin hareket ettiği tarafta periodontal liflerde sıkışma ve kemikte rezorpsiyon görülürken, aksi yönde gerilme ve kemik apozisyonu görüldüğü bildirilmiştir [18, 271].

Viecelli ve ark. [272] sonlu elemanlar analizini kullanarak yaptıkları çalışmada, dişin hareket yönündeki PDL ve kemikte minimum asal gerilmelerin, aksi yönde ise maksimum asal gerilmelerin oluştuğunu bildirmişlerdir. Araştırmamızda söz konusu çalışmayla tutarlı olarak, meziopalatinal rotasyona uğrayan sol birinci molar dişin distalindeki kortikal kemikte çekme gerilmeleri izlenirken, birinci molar socketinin distobukkalinde de basma gerilmeleri görülmektedir. Gerilmelerin karakteri birinci molar kronunun meziale hareket ettiğini ve meziopalatinal yönde rotasyona uğradığını gösteren bulgularımızla uyumlu bulunmuştur.

Spongioz kemikte ölçülen en yüksek çekme gerilim değeri, gömülü kanin diş socketinin labialinde ölçülürken, en yüksek basma gerilim değeri gömülü dişin kole bölgesinde ölçülmüştür. Gerilmelerin karakteri gömülü dişin distale hareket ettiğini gösteren bulgularımızla uyumlu bulunmuştur. Analiz sonucunda spongioz kemikte oluşan asal gerilme değerleri kortikal kemikte oluşan asal gerilmelerine göre oldukça düşük değerdedir.

Kortikal kemik spongioz kemiğe nazaran daha kompakt olup streslerin büyük bir bölümünü kompanse ettiği için, spongioz kemik dokusunda meydana gelen çekme ve basma gerilmeleri, kortikal kemikte ölçülen değerlerden düşük bulunmuştur [266, 267].

5.5. Modellerin Bulgularının Karşılaştırılarak Tartışılması

Her iki çalışma modelinde dişler üzerinde meydana gelen gerilmelerin dağılımı karşılaştırıldığında, birinci modelde meydana gelen gerilim değerleri çok düşük düzeyde iken ikinci modelde TPA' nın yerleştirildiği molar dişlerde ve sol kadranda bulunan premolar dişlerde yoğun gerilme alanlarının olduğu görülmektedir. İkinci modelde oluşan yoğun stres alanları klinik olarak ankraj alınan dişlerde rezorpsiyon, periodontal hasar veya istenmeyen diş hareketleri olarak karşımıza çıkabilmektedir.

Kocsis ve Seres [196] yaptıkları çalışmada gömülü kanin dişte ankiloz tanısı ekarte etmek ve gömülü dişin başlangıç angulasyonunu düzeltmek için alveolar kemiğe mini vidalar yerleştirmişler ve gömülü dişin sürdürülmesi için ankraj olarak kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda alveolar kemiğe yerleştirilen mini vidaların, gömülü kaninlerin sürdürülmesinde güvenilir ve kullanışlı iskelet ankraj üniteleri olduğunu bildirmişlerdir.

Lee ve ark. [195] gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında köklerde oluşabilecek çatışmaların önlenmesi amacıyla palatinal bölgeye mini vida yerleştirerek distal yönlü kuvvet uygulamışlardır. Bu şekilde kuvvetin doğru yönlendirilmesiyle komşu dişler üzerinde oluşan yan etkileri en aza indirerek estetik ve fonksiyonel sonuçlar elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

Park ve ark. [157] gömülü kanin dişin sürdürülmesi sırasında mini vida ankrajından yararlanmışlardır. Kanin dişin sürdürülmesi için ihtiyaç duyulan kuvvet aralığında mini vidanın stabil olduğunu ve arkta herhangi bir deformasyon olmadan bu yöntem ile kanin dişin arka alınabileceğini bildirmişlerdir.

Analiz sonucuna göre transversal yönde en fazla yer değiştirme ikinci modelde sol birinci molar dişin distalinde ve meziopalatinal yönde görülürken birinci modelde izlenen yer değiştirme miktarı çok düşük değerlerdedir. İkinci modelde transversal etkiler göz önüne alındığında molar dişlerde görülen palatinal devrilme hareketinin önlenmesi amacıyla başlangıç aşamasında TPA hastaya aktif bir şekilde uygulanabilir.

Sagittal yönde en fazla yer değiştirme ikinci modelde sol birinci molar dişin palatinalinde ve mezial yönde olduğu görülürken birinci modelde gömülü kanin dişin tüberkül tepesinde gözlenmektedir. İkinci modelde sol kadranda bulunan birinci ve ikinci premolar dişlerde ve sağ birinci molar dişin palatinalinde de meziale doğru yer değiştirme

gözlenirken, birinci modelde posterior dişlerde görülen hareket miktarı çok düşük değerlerdedir. Her iki modelde de gömülü diş kronunda az miktarda distale hareket görülmektedir. Araştırmamızın sonucuna göre ikinci modelde molar dişlerde ankraj kaybı meydana gelmektedir.

Thiruvengkatachari ve ark. [236] kanin retraksiyonu sırasında mini vida ankrajı kullanılan ve kullanılmayan birinci molar dişlerde görülen ankraj kaybı miktarını karşılaştırmak ve ölçmek için bir pilot çalışma yürütmüşlerdir. İmplantın yerleştirildiği tarafta ankraj kaybı olmadığını ancak implant olmayan karşı tarafta ortalama 1,6 mm mezial molar hareketi rapor etmişlerdir.

Sharma ve ark. [273] yaptıkları çalışmada, TPA ve mini vida ankrajı kullanarak yapılan kanin retraksiyonu sırasında üst birinci molar dişte meydana gelen mezial hareketi karşılaştırmışlardır. Bu çalışma yerleştirilen mini vidaların, transpalatal arkın aksine maksiller kanin retraksiyonu sırasında mutlak ankraj sağlayabildiğini göstermiştir.

Vertikal yönde ikinci modelde sol birinci molar dişin meziopalatinalinde intrüzyon hareketi, distobukkalinde ekstrüzyon hareketi izlenirken birinci modelde izlenen anlık yer değiştirme minimum seviyededir.

Analiz sonucunda posterior bölgede vertikal yönde elde ettiğimiz değişimlere dayanarak ikinci modelde sol birinci molar dişin distobukkalinde meydana gelen ekstrüzyonunun düşük yüz yüksekliğine sahip hastalarda daha avantajlı olacağını düşünmekteyiz.

Gömülü maksiller kanin dişlerin sürdürülmesi için iki farklı ankraj sistemi olan TPA ve mini vidanın etkinliğinin değerlendirildiği çalışmada, gömülü dişte hareket ve tedavi süresi açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bununla birlikte traksiyon kuvveti mini vida stabilitesini etkilemezken, TPA grubunda, azı dişlerinde klinik olarak anlamlı derecede bir devrilme hareketi meydana geldiği bildirilmiştir [179].

Her iki modelde meydana gelen bu yer değiştirme değerlerindeki farklılığı birinci modelde mini vida ile iskeletsel ankraj kullanımına, ikinci modelde ise TPA kullanımına bağlamaktayız.

Transpalatal arkların molar rotasyonunu önleyememesi, posterior bölge dişlerinde ankraj kaybını engelleyememesi ve vertikal yönde kontrol sağlayamaması sebebiyle

gömülü kanin dişlerin tedavileri sırasında iskeletsel ankraj sağlayan mini vidaların kullanımının daha ideal tedavi sonucu sağlayacağını düşünmekteyiz.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Çalışmamızda, farklı ankraj mekanikleri kullanılarak gerçekleştirilen gömülü kanin dişlerin tedavisinde, kuvvetin uygulandığı ilk anda dişler ve kemik üzerindeki stres dağılımları, bir in vitro analiz yöntemi olan sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

1. Mutlak ankraj sağlamak amacıyla kullanılan mini vidalarda, kuvvetin uygulanmasının ardından en fazla stres mini vidanın boyun kısmında meydana gelmiştir.
2. Başlangıç kuvvet uygulamasını takiben birinci modelde her üç düzlemde de dişlerde oluşan yer değiştirme miktarı çok düşük düzeydedir. İkinci modelde ise sol molarda meziopalatinal rotasyon, sol kadranda birinci premolar ve birinci molarda ve sağ birinci molarda meziale hareket ile birlikte gömülü kanin dişlerde distale hareket gözlenmektedir. Ayrıca sol birinci molar dişin meziopalatinalinde intrüzyon hareketi görülürken distobukkalinde ekstrüzyon hareketi görülmektedir.
3. Dişler üzerinde oluşan gerilimler incelendiğinde, birinci modelde oluşan gerilmelerin çok düşük değerlerde olduğu, ikinci modelde TPA' nın yerleştirildiği molar dişlerde ve sol kadranda bulunan premolar dişlerde yoğunlaştığı görülmektedir.
4. Kuvvet uygulamasını takiben her iki modelde de çevre kortikal ve spongios kemikler üzerinde stresler oluşmaktadır. Uygulanan kuvvet miktarı eşit olmasına rağmen basma ve çekme gerilim değerlerinin birinci modelde daha yüksek olduğu görülmüştür.

6.2. Öneriler

Mezial inklinasyonu artmış gömülü kanin dişlerin sürdürülmesi sırasında komşu dişlerde oluşan etkileri en aza indirmek için bukkal yönlü bir kuvvet uygulamadan önce distal yönlü bir kuvvet uygulanması tavsiye edilmektedir. Bu tedavide kullanılan ankraj ünitesi seçilirken mutlak ankraj sağlayan mini vidanın minimum dişsel etkiye sebep olduğu, TPA' nın ise her üç düzlemdeki diş hareketlerinin kontrolünde yeterli başarıyı sağlayamadığı dikkate alınmalıdır.

Araştırmamızda elde edilen sonuçlar, kuvvet uygulamasını takiben sadece ilk anda meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerlerini göstermektedir. Bireylere özgü anatomik farklılıkların ve hastaya bağlı etkenlerin klinik ortamda farklılıklara sebep olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca birçok avantajı bulunmasına rağmen sonlu elemanlar analizinin bir bilgisayarlı simülasyon metodu olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKÇA

1. Bishara, S.E. Clinical management of impacted maxillary canines. in Seminars in orthodontics. 1998. Elsevier.
2. Bishara, S.E. and D. Ortho, Impacted maxillary canines: a review. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1992. 101(2): p. 159-171.
3. Bass, T., Observations on the misplaced upper canine tooth. The Dental practitioner and dental record, 1967. 18(1): p. 25-33.
4. Ericson, S. and J. Kurol, Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. European Journal of Orthodontics, 1988. 10(4): p. 283-295.
5. Johnston, W.D., Treatment of palatally impacted canine teeth. American journal of orthodontics, 1969. 56(6): p. 589-596.
6. Miloglu, O., et al., Generalized familial crown resorptions in unerupted teeth. European journal of dentistry, 2011. 5(02): p. 206-209.
7. Shafer, W., M. Hine, and B. Levy, A Textbook of Oral Pathology, ed. 2. Philadelphia and London. 1963, WB Saunders Company.
8. Vlaskalic, V., R.L. Boyd, and S. Baumrind. Etiology and sequelae of root resorption. in Seminars in orthodontics. 1998. Elsevier.
9. Cooke, M. and S. Nute, Maxillary premolar resorption by canines: three case reports. International Journal of Paediatric Dentistry, 2005. 15(3): p. 210-212.
10. Ericson, S. and J. Kurol, Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: a CT study. The Angle Orthodontist, 2000. 70(6): p. 415-423.
11. Lai, C.S., et al., Impacted maxillary canines and root resorptions of neighbouring teeth: a radiographic analysis using cone-beam computed tomography. European Journal of Orthodontics, 2013. 35(4): p. 529-538.
12. Rimes, R.J., C. Mitchell, and D. Willmot, Maxillary incisor root resorption in relation to the ectopic canine: a review of 26 patients. European Journal of Orthodontics, 1997. 19(1): p. 79-84.
13. Ericson, S., K. Bjerklin, and B. Falahat, Does the canine dental follicle cause resorption of permanent incisor roots? A computed tomographic study of erupting maxillary canines. The Angle Orthodontist, 2002. 72(2): p. 95-104.
14. Ericson, S. and J. Kurol, Resorption of maxillary lateral incisors caused by ectopic eruption of the canines: a clinical and radiographic analysis of predisposing factors. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1988. 94(6): p. 503-513.
15. Manfredini, D., L. Lombardo, and G. Siciliani, Temporomandibular disorders and dental occlusion. A systematic review of association studies: end of an era? Journal of oral rehabilitation, 2017. 44(11): p. 908-923.
16. Zeno, K.G., et al., Finite element analysis of stresses on adjacent teeth during the traction of palatally impacted canines. The Angle Orthodontist, 2019. 89(3): p. 418-425.
17. Zeno, K.G., et al., Effect of force direction and tooth angulation during traction of palatally impacted canines: A finite element analysis. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2020. 157(3): p. 377-384.
18. Proffit, W.R., et al., Contemporary Orthodontics. St. Louis. 2000, Mosby, Inc.
19. Ülgen, M., Ortodontik tedavi prensipleri. 1993.

20. Park, H.-S., et al., Micro-implant anchorage for treatment of skeletal Class I bialveolar protrusion. 2001.
21. Diedrich, P., Different orthodontic anchorage systems. A critical examination. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 1993. 54(4): p. 156-171.
22. Goshgarian, R., Orthodontic palatal arch wires. United States Government Patent Office, 1972.
23. Nance, H.N., The limitations of orthodontic treatment: I. Mixed dentition diagnosis and treatment. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 1947. 33(4): p. 177-223.
24. Costa, A., M. Raffainl, and B. Melsen, Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*, 1998. 13(3): p. 201-209.
25. Lin, J. and E. Liou, A new bone screw for orthodontic anchorage. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 2003. 37(12): p. 676-681.
26. Papadopoulos, M.A. and F. Tarawneh, The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2007. 103(5): p. e6-e15.
27. Antoszewska, J., et al., Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: a retrospective investigation of factors influencing success rates. *American Journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2009. 136(2): p. 158. e1-158. e10.
28. Karamanlı, E.B. and H. Kılıçoğlu, Yüz maskesi, çenelik ve modifiye jasper jumper aygıtlarının kraniyofasiyal sistem üzerine etkilerinin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi in *Ortodonti Ana Bilim Dalı*. 2013, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi: İstanbul.
29. Szwedowski, T.D., C.M. Whyne, and J.A. Fialkov, Toward characterization of craniofacial biomechanics. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2010. 21(1): p. 202-207.
30. Wakabayashi, N., et al., Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *Journal of dentistry*, 2008. 36(7): p. 463-471.
31. Middleton, J., M. Jones, and A. Wilson, The role of the periodontal ligament in bone modeling: the initial development of a time-dependent finite element model. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1996. 109(2): p. 155-162.
32. Tanne, K., M. Sakuda, and C.J. Burstone, Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1987. 92(6): p. 499-505.
33. Massler, M., Studies in tooth development: theories of eruption. *Am J Orthod*, 1941. 27: p. 552-576.
34. Dachi, S.F. and F.V. Howell, A survey of 3,874 routine full-mouth radiographs: I. A study of retained roots and teeth. *Oral surgery, Oral medicine, Oral pathology*, 1961. 14(8): p. 916-924.
35. Alling III, C.C. and G.A. Catone, Management of impacted teeth. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 1993. 51(1): p. 3-6.
36. Dachi, S.F. and F.V. Howell, A survey of 3,874 routine full-mouth radiographs: II. A study of impacted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 1961. 14(10): p. 1165-1169.

37. Ericson, S. and J. Kurol, Radiographic assessment of maxillary canine eruption in children with clinical signs of eruption disturbance. *The European Journal of Orthodontics*, 1986. 8(3): p. 133-140.
38. Ülgen, M., *Ortodonti Anomaliler, Sefalometri, Etiyoloji, Büyüme ve Gelişim, Tanı*. 3. ed. 2006, Ankara Ankara Üniversitesi Basımevi. 324-338.
39. Ericson, S. and J. Kurol, Incisor resorption caused by maxillary cuspids: a radiographic study. *The Angle Orthodontist*, 1987. 57(4): p. 332-346.
40. Ngan, P., R. Hornbrook, and B. Weaver. Early timely management of ectopically erupting maxillary canines. in *Seminars in Orthodontics*. 2005. Elsevier.
41. Yavuz, M.S., et al., Impacted mandibular canines. *J Contemp Dent Pract*, 2007. 8(7): p. 78-85.
42. Thilander, B. and N. Myrberg, The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *European Journal of Oral Sciences*, 1973. 81(1): p. 12-20.
43. Yazıcı, S., A. Kökden, and A. Tank, Gömülü dişler üzerine retrospektif bir çalışma. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hek Fak Derg*, 2002. 5(2): p. 46-51.
44. Aktan, A.M., et al., The incidence of canine transmigration and tooth impaction in a Turkish subpopulation. *The European Journal of Orthodontics*, 2010. 32(5): p. 575-581.
45. Celikoglu, M., H. Kamak, and H. Oktay, Investigation of transmigrated and impacted maxillary and mandibular canine teeth in an orthodontic patient population. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2010. 68(5): p. 1001-1006.
46. Becker, A., P. Smith, and R. Behar, The incidence of anomalous maxillary lateral incisors in relation to palatally-displaced cuspids. *The Angle Orthodontist*, 1981. 51(1): p. 24-29.
47. Becker, A., Y. Zilberman, and B. Tsur, Root length of lateral incisors adjacent to palatally-displaced maxillary cuspids. *The Angle Orthodontist*, 1984. 54(3): p. 218-225.
48. Peck, S., L. Peck, and M. Kataja, The palatally displaced canine as a dental anomaly of genetic origin. *The Angle Orthodontist*, 1994. 64(4): p. 250-256.
49. Bedoya, M.M. and J.H. Park, A review of the diagnosis and management of impacted maxillary canines. *The Journal of the American Dental Association*, 2009. 140(12): p. 1485-1493.
50. Jacoby, H., The etiology of maxillary canine impactions. *American journal of orthodontics*, 1983. 84(2): p. 125-132.
51. Becker, A., *The orthodontic treatment of impacted teeth*. 1998: Martin Dunitz London.
52. Coulter, J. and A. Richardson, Normal eruption of the maxillary canine quantified in three dimensions. *European Journal of orthodontics*, 1997. 19(2): p. 171-183.
53. McBride, L., Traction--a surgical/orthodontic procedure. *American journal of orthodontics*, 1979. 76(3): p. 287-299.
54. Lappin, M.M., Practical management of the impacted maxillary cuspid. *American journal of orthodontics*, 1951. 37(10): p. 769-778.
55. Brin, I., Y. Solomon, and Y. Zilberman, Trauma as a possible etiologic factor in maxillary canine impaction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 1993. 104(2): p. 132-137.
56. Stellzig, A., E. Basdra, and G. Komposch, The etiology of canine tooth impaction--a space analysis. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 1994. 55(3): p. 97-103.

57. Mossey, P., H. Campbell, and J. Luffingham, The palatal canine and the adjacent lateral incisor: a study of a west of Scotland population. *British journal of orthodontics*, 1994. 21(2): p. 169-174.
58. Alemam, A.A., et al., Incisor root resorption associated with palatally displaced maxillary canines: Analysis and prediction using discriminant function analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2020. 157(1): p. 80-90.
59. Scerri, E.S., F. McDonald, and S. Camilleri, Comparison of the dental anomalies found in maxillary canine-first premolar transposition cases with those in palatally displaced canine cases. *European Journal of Orthodontics*, 2016. 38(1): p. 79-84.
60. Baccetti, T., A controlled study of associated dental anomalies. *The Angle Orthodontist*, 1998. 68(3): p. 267-274.
61. Brin, I., A. Becker, and M. Shalhav, Position of the maxillary permanent canine in relation to anomalous or missing lateral incisors: a population study. *The European Journal of Orthodontics*, 1986. 8(1): p. 12-16.
62. Zilberman, Y., B. Cohen, and A. Becker, Familial trends in palatal canines, anomalous lateral incisors, and related phenomena. *The European Journal of Orthodontics*, 1990. 12(2): p. 135-139.
63. Moyers, R., *Handbook of Orthodontics. B. Development of the dentition and occlusion*. The Year Book Medical Publishers. Inc., Chicago, 1963. 51.
64. Pirinen, S., S. Arte, and S. Apajalahti, Palatal displacement of canine is genetic and related to congenital absence of teeth. *Journal of Dental Research*, 1996. 75(10): p. 1742-1746.
65. Alhaija, E.S.A. and F.T. Wazwaz, Third molar tooth agenesis and pattern of impaction in patients with palatally displaced canines. *The Angle Orthodontist*, 2019. 89(1): p. 64-70.
66. Peck, S., L. Peck, and M. Kataja, Site-specificity of tooth agenesis in subjects with maxillary canine malpositions. *The Angle Orthodontist*, 1996. 66(6): p. 473-476.
67. Devi, M.A. and S. Padmanabhan, Role of polymorphisms of MSX1 and PAX9 genes in palatal impaction of maxillary canines. *Journal of Orthodontics*, 2019. 46(1): p. 14-19.
68. Peck, S., L. Peck, and M. Kataja, Concomitant occurrence of canine malposition and tooth agenesis: evidence of orofacial genetic fields. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2002. 122(6): p. 657-660.
69. Chung, D.D., M. Weisberg, and M. Pagala, Incidence and effects of genetic factors on canine impaction in an isolated Jewish population. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2011. 139(4): p. e331-e335.
70. Leifert, S. and I.E. Jonas, Dental anomalies as a microsymptom of palatal canine displacement. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2003. 64(2): p. 108-120.
71. Sacerdoti, R. and T. Baccetti, Dentoskeletal features associated with unilateral or bilateral palatal displacement of maxillary canines. *The Angle Orthodontist*, 2004. 74(6): p. 725-732.
72. Maspero, C., et al., Maxillary central incisor root resorption due to canine impaction after trauma. is the canine substitution for maxillary incisors a suitable treatment option? two case reports. *Stomatologija*, 2018. 20(3): p. 102-8.
73. Saldarriaga, J.R. and M.C. Patiño, Ectopic eruption and severe root resorption. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 123(3): p. 259-265.

74. Ericson, S. and J. Kurol, Incisor root resorptions due to ectopic maxillary canines imaged by computerized tomography: a comparative study in extracted teeth. *The Angle Orthodontist*, 2000. 70(4): p. 276-283.
75. Ericson, S. and J. Kurol, Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1987. 91(6): p. 483-492.
76. Preda, L., et al., The use of spiral computed tomography in the localization of impacted maxillary canines. *Dentomaxillofacial Radiology*, 1997. 26(4): p. 236-241.
77. Dağsuyu, İ.M., F. Kahraman, and R. Okşayan, Three-dimensional evaluation of angular, linear, and resorption features of maxillary impacted canines on cone-beam computed tomography. *Oral Radiology*, 2018. 34(1): p. 66-72.
78. Suri, L., E. Gagari, and H. Vastardis, Delayed tooth eruption: pathogenesis, diagnosis, and treatment. A literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2004. 126(4): p. 432-445.
79. Schindel, R.H. and S.L. Duffy, Maxillary transverse discrepancies and potentially impacted maxillary canines in mixed-dentition patients. *The Angle Orthodontist*, 2007. 77(3): p. 430-435.
80. Harorlı, A., et al., Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi. 1. baskı İstanbul; Nobel Tıp Kitapevleri Tic. Ltd Şti, 2014: p. 484-500.
81. Pasler, F.A. and H. Visser, Pocket atlas of dental radiology. 2007.
82. Chaushu, S., A. Becker, and G. Chaushu, Reliability of a method for the localization of displaced maxillary canines using a single panoramic radiograph. *Clinical orthodontics and research*, 1999. 2(4): p. 194-199.
83. Lindauer, S.J., et al., Canine impaction identified early with panoramic radiographs. *The Journal of the American Dental Association*, 1992. 123(3): p. 91-97.
84. Nagpal, A., et al., Localization of impacted maxillary canines using panoramic radiography. *Journal of oral science*, 2009. 51(1): p. 37-45.
85. Stivaros, N. and N. Mandall, Radiographic factors affecting the management of impacted upper permanent canines. *Journal of Orthodontics*, 2000. 27(2): p. 169-173.
86. Warford Jr, J.H., R.K. Grandhi, and D.E. Tira, Prediction of maxillary canine impaction using sectors and angular measurement. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 124(6): p. 651-655.
87. An, S., et al., Comparison of methods for localization of impacted maxillary canines by panoramic radiographs. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2013. 42(8): p. 20130129.
88. Sahinoglu, Z. and A.A. Özçirpici, Gömülü Dislerin Tedavi Yaklaşımları/The Treatment Approach of Impacted Teeth. *Türkiye Klinikleri. Dishekimligi Bilimleri Dergisi*, 2014. 20(3): p. 182.
89. Stewart, J.A., et al., Factors that relate to treatment duration for patients with palatally impacted maxillary canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2001. 119(3): p. 216-225.
90. Katsnelson, A., et al., Use of panoramic x-ray to determine position of impacted maxillary canines. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2010. 68(5): p. 996-1000.
91. White, S. and M. Pharoah, *Oral Radiology, Principles and Interpretation*. 7 ed. 2009, Missouri: Mosby Elsevier. 41-259.

92. Alqerban, A., et al., Orthodontic treatment planning for impacted maxillary canines using conventional records versus 3D CBCT. *European journal of orthodontics*, 2014. 36(6): p. 698-707.
93. Ericson, S. and J. Kurol, CT diagnosis of ectopically erupting maxillary canines—a case report. *The European Journal of Orthodontics*, 1988. 10(1): p. 115-120.
94. Peene, P., et al., Resorption of the lateral maxillary incisor: assessment by CT. *Journal of computer assisted tomography*, 1990. 14(3): p. 427-429.
95. Nakajima, A., et al., Two-and three-dimensional orthodontic imaging using limited cone beam-computed tomography. *The Angle Orthodontist*, 2005. 75(6): p. 895-903.
96. Scarfe, W.C. and A.G. Farman, What is cone-beam CT and how does it work? *Dental Clinics of North America*, 2008. 52(4): p. 707-730.
97. Mozzo, P., et al., A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European radiology*, 1998. 8(9): p. 1558-1564.
98. Chen, B. and R. Ning, Cone-beam volume CT breast imaging: Feasibility study. *Medical physics*, 2002. 29(5): p. 755-770.
99. Cho, P.S., R.H. Johnson, and T.W. Griffin, Cone-beam CT for radiotherapy applications. *Physics in Medicine & Biology*, 1995. 40(11): p. 1863.
100. Robb, R.A., The dynamic spatial reconstructor: an x-ray video-fluoroscopic CT scanner for dynamic volume imaging of moving organs. *IEEE transactions on medical imaging*, 1982. 1(1): p. 22-33.
101. Drage, N.A. and V. Sivarajasingam, The use of cone beam computed tomography in the management of isolated orbital floor fractures. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2009. 47(1): p. 65-66.
102. Guerrero, M.E., et al., State-of-the-art on cone beam CT imaging for preoperative planning of implant placement. *Clinical oral investigations*, 2006. 10(1): p. 1-7.
103. Lofthag-Hansen, S., et al., Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2007. 103(1): p. 114-119.
104. Misch, K.A., E.S. Yi, and D.P. Sarment, Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *Journal of periodontology*, 2006. 77(7): p. 1261-1266.
105. Tyndall, D.A. and S. Rathore, Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. *Dental Clinics of North America*, 2008. 52(4): p. 825-841.
106. Hechler, S.L., Cone-beam CT: applications in orthodontics. *Dental Clinics of North America*, 2008. 52(4): p. 809-823.
107. Kau, C., et al., Current Products and Practice: Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *Journal of orthodontics*, 2005. 32(4): p. 282-293.
108. Palomo, J.M., et al., Three-dimensional cone beam computerized tomography in dentistry. *Dentistry today*, 2006. 25(11): p. 130.
109. Heimisdottir, K., D. Bosshardt, and S. Ruf, Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs? A case report with histology. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2005. 128(1): p. 106-109.

110. Maverna, R. and A. Gracco, Different diagnostic tools for the localization of impacted maxillary canines: clinical considerations. *Progress in orthodontics*, 2007. 8(1): p. 28-44.
111. Schmuth, G., et al., The application of computerized tomography (CT) in cases of impacted maxillary canines. *The European Journal of Orthodontics*, 1992. 14(4): p. 296-301.
112. Walker, L., R. Enciso, and J. Mah, Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2005. 128(4): p. 418-423.
113. Bayram, M., M. Ozer, and I. Sener, Maxillary canine impactions related to impacted central incisors: two case reports. *J Contemp Dent Pract*, 2007. 8(6): p. 72-81.
114. Nakandakari, C., et al., Orthodontic traction of impacted canine using cantilever. *Case reports in dentistry*, 2016. 2016.
115. Hamada, Y., et al. Canine impaction—A review of the prevalence, etiology, diagnosis and treatment. in *Seminars in Orthodontics*. 2019. Elsevier.
116. McConnell, T., et al., Maxillary canine impaction in patients with transverse maxillary deficiency. *ASDC journal of dentistry for children*, 1996. 63(3): p. 190-195.
117. Olive, R.J., Orthodontic treatment of palatally impacted maxillary canines. *Australian orthodontic journal*, 2002. 18(2): p. 64-70.
118. Williams, B.H., Diagnosis and prevention of maxillary cuspid impaction. *The Angle Orthodontist*, 1981. 51(1): p. 30-40.
119. Baccetti, T., M. Leonardi, and P. Armi, A randomized clinical study of two interceptive approaches to palatally displaced canines. *The European Journal of Orthodontics*, 2008. 30(4): p. 381-385.
120. Baccetti, T., et al., Interceptive treatment of palatal impaction of maxillary canines with rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2009. 136(5): p. 657-661.
121. Leonardi, M., et al., Two interceptive approaches to palatally displaced canines: a prospective longitudinal study. *The Angle Orthodontist*, 2004. 74(5): p. 581-586.
122. Chew, M.T. and M.M.-A. Ong, Orthodontic-surgical management of an impacted dilacerated maxillary central incisor: a clinical case report. *Pediatric dentistry*, 2004. 26(4): p. 341-344.
123. Fournier, A., J.-Y. Turcotte, and C. Bernard, Orthodontic considerations in the treatment of maxillary impacted canines. *American journal of orthodontics*, 1982. 81(3): p. 236-239.
124. Crescini, A., et al., Combined surgical and orthodontic approach to reproduce the physiologic eruption pattern in impacted canines: report of 25 patients. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 2007. 27(6).
125. Ling, K.K., et al., Comparison of surgical and non-surgical methods of treating palatally impacted canines. I-Periodontal and pulpal outcomes. *Australian Orthodontic Journal*, 2007. 23(1): p. 1-7.
126. Schmidt, A.D. and V.G. Kokich, Periodontal response to early uncovering, autonomous eruption, and orthodontic alignment of palatally impacted maxillary canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2007. 131(4): p. 449-455.

127. Vermette, M.E., V.G. Kokich, and D.B. Kennedy, Uncovering labially impacted teeth: apically positioned flap and closed-eruption techniques. *The Angle Orthodontist*, 1995. 65(1): p. 23-32.
128. Al-Zoubi, H., et al., Frequency of impacted teeth and categorization of impacted canines: A retrospective radiographic study using orthopantomograms. *European journal of dentistry*, 2017. 11(01): p. 117-121.
129. Dalessandri, D., et al., Reliability of a novel CBCT-based 3D classification system for maxillary canine impactions in orthodontics: the KPG index. *The Scientific World Journal*, 2013. 2013.
130. Kau, C.H., J.J. Lee, and N.M. Souccar, The validation of a novel index assessing canine impactions. *European Journal of Dentistry*, 2013. 7(04): p. 399-404.
131. Farronato, G., et al., Impacted maxillary canine on the position of the central incisor: surgical-orthodontic repositioning. *Minerva Stomatol*, 2013. 62(4): p. 117-25.
132. Arriola-Guillén, L.E., et al., Influence of impacted maxillary canine orthodontic traction complexity on root resorption of incisors: A retrospective longitudinal study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2019. 155(1): p. 28-39.
133. Caprioglio, A., et al., Effects of impaction severity of treated palatally displaced canines on periodontal outcomes: a retrospective study. *Progress in Orthodontics*, 2019. 20(1): p. 1-7.
134. Chaushu, S., G. Chaushu, and A. Becker, The use of panoramic radiographs to localize displaced maxillary canines. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 1999. 88(4): p. 511-516.
135. Vanarsdall, R.L. and H. Corn, Soft-tissue management of labially positioned unerupted teeth. *American journal of orthodontics*, 1977. 72(1): p. 53-64.
136. Becker, A., N. Shpack, and A. Shteyer, Attachment bonding to impacted teeth at the time of surgical exposure. *The European Journal of Orthodontics*, 1996. 18(1): p. 457-463.
137. Kohavi, D., A. Becker, and Y. Zilberman, Surgical exposure, orthodontic movement, and final tooth position as factors in periodontal breakdown of treated palatally impacted canines. *American Journal of Orthodontics*, 1984. 85(1): p. 72-77.
138. Kokich, V.G., Surgical and orthodontic management of impacted maxillary canines. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2004. 126(3): p. 278-283.
139. Shapira, Y. and M.M. Kuftinec, Treatment of impacted cuspids: the hazard lasso. *The Angle Orthodontist*, 1981. 51(3): p. 203-207.
140. Becker, A. and Y. Zilberman, A combined fixed-removable approach to the treatment of impacted maxillary canines. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 1975. 9(3): p. 162-169.
141. Sajnani, A.K. and N.M. King, Complications associated with the occurrence and treatment of impacted maxillary canines. *Singapore dental journal*, 2014. 35: p. 53-57.
142. Pearson, M.H., et al., Management of palatally impacted canines: the findings of a collaborative study. *European journal of orthodontics*, 1997. 19(5): p. 511-515.
143. Becker, A., *Orthodontic treatment of impacted teeth*. 2022: John Wiley & Sons.
144. Josell, S.D., J.B. Leiss, and E.D. Rekow. Force degradation in elastomeric chains. in *Seminars in orthodontics*. 1997. Elsevier.

145. Andreasen, G.F. and S. Bishara, Comparison of alastik chains with elastics involved with intra-arch molar to molar forces. *The Angle Orthodontist*, 1970. 40(3): p. 151-158.
146. David, C., et al., Force degradation of orthodontic elastomeric chains—a product comparison study. *American journal of orthodontics*, 1985. 87(5): p. 377-384.
147. Kim, K.-H., et al., Effects of prestretching on force degradation of synthetic elastomeric chains. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2005. 128(4): p. 477-482.
148. Wong, A.K., Orthodontic elastic materials. *The Angle Orthodontist*, 1976. 46(2): p. 196-205.
149. Ross, L.L., Technique Clinic-Nickel Titanium Closed-Coil Spring for Extrusion of Impacted Canines-A Jones Jig spring is used for de-impaction. *Journal of Clinical Orthodontics*, 1999. 33(2): p. 99-100.
150. Jacoby, H., The “ballista spring” system for impacted teeth. *American journal of orthodontics*, 1979. 75(2): p. 143-151.
151. Bowman, S.J. and A. Carano, The Kilroy spring for impacted teeth. *Journal of Clinical Orthodontics*, 2003. 37(12): p. 683-688.
152. Bıcakcı, A., C. Gökçürk, and S. Mertoglu, Kilroy spring kullanılarak gömülü üst kanin sürdürülmesi. *Cumhuriyet Dental Journal*, 2013. 16(4): p. 319-326.
153. Kalra, V., The K-9 spring for alignment of impacted canines. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 2000. 34(10): p. 606-610.
154. Becker, A. and Y. Zilberman, The palatally impacted canine: a new approach to treatment. *American journal of orthodontics*, 1978. 74(4): p. 422-429.
155. Gibson, E., Clinical success in surgical and orthodontic treatment of impacted teeth. *British Dental Journal*, 2008. 204(8): p. 468-468.
156. Orton, H.S., M.T. Garvey, and M.H. Pearson, Extrusion of the ectopic maxillary canine using a lower removable appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1995. 107(4): p. 349-359.
157. Park, H.-S., O.-W. Kwon, and J.-H. Sung, Micro-implant anchorage for forced eruption of impacted canines. *Journal of Clinical Orthodontics*, 2004. 38: p. 297-302.
158. McNamara, J.A., W.L. Brudon, and V.G. Kokich, Orthodontics and dentofacial orthopedics. Vol. 85. 2001: Needham Press Ann Arbor.
159. Gill, D.S. and F.B. Naini, Ortodontide Prensipler ve Pratik (Serdar Üşümez Çev.). 1. ed. 2011, İstanbul: Medya Yayın Grubu. 204-216.
160. Linden, F.P.G.M.V.D., Ortodontik Kavramlar ve Stratejiler (Tülin Arun Çev.). 2010, İstanbul: Quintessence Yayıncılık. 161-176.
161. Alqerban, A., et al., Predictors of root resorption associated with maxillary canine impaction in panoramic images. *European journal of orthodontics*, 2016. 38(3): p. 292-299.
162. Lund, H., et al., Apical root resorption during orthodontic treatment: a prospective study using cone beam CT. *The Angle Orthodontist*, 2012. 82(3): p. 480-487.
163. Makedonas, D., et al., Root resorption diagnosed with cone beam computed tomography after 6 months of orthodontic treatment with fixed appliance and the relation to risk factors. *The Angle Orthodontist*, 2012. 82(2): p. 196-201.
164. Arriola-Guillén, L.E., et al., Root resorption of maxillary incisors after traction of unilateral vs bilateral impacted canines with reinforced anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2018. 154(5): p. 645-656.

165. Arriola-Guillén, L.E., et al., Influence of maxillary canine impaction characteristics and factors associated with orthodontic treatment on the duration of active orthodontic traction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2019. 156(3): p. 391-400.
166. Arriola-Guillén, L.E., et al., Three-dimensional evaluation of the root resorption of maxillary incisors after the orthodontic traction of bicortically impacted canines. *Progress in Orthodontics*, 2019. 20(1): p. 1-9.
167. Zachrisson, S. and B.U. Zachrisson, Gingival condition associated with orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 1972. 42(1): p. 26-34.
168. Boyd, R., Clinical assessment of injuries in orthodontic movement of impacted teeth: I. Methods of attachment. *American journal of orthodontics*, 1982. 82(6): p. 478-486.
169. Hansson, C. and A. Rindler, Periodontal conditions following surgical and orthodontic treatment of palatally impacted maxillary canines—a follow-up study. *The Angle Orthodontist*, 1998. 68(2): p. 167-172.
170. Wisth, P., K. Norderval, and O. Boe, Periodontal status of orthodontically treated impacted maxillary canines. *The Angle Orthodontist*, 1976. 46(1): p. 69-76.
171. Woloshyn, H., et al., Pulpal and periodontal reactions to orthodontic alignment of palatally impacted canines. *The Angle Orthodontist*, 1994. 64(4): p. 257-264.
172. Cassina, C., S.N. Papageorgiou, and T. Eliades, Open versus closed surgical exposure for permanent impacted canines: a systematic review and meta-analyses. *European Journal of Orthodontics*, 2018. 40(1): p. 1-10.
173. Zasciurinskiene, E., et al., Initial vertical and horizontal position of palatally impacted maxillary canine and effect on periodontal status following surgical-orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*, 2008. 78(2): p. 275-280.
174. Graber, L.W., et al., *Orthodontics: current principles and techniques*. 2000, St Louis: Elsevier.
175. Sonis, A.L., E. Van der Plas, and A. Gianelly, A comparison of elastomeric auxiliaries versus elastic thread on premolar extraction site closure: an in vivo study. *American journal of orthodontics*, 1986. 89(1): p. 73-78.
176. Nanda, R., *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. 2005: Elsevier Health Sciences.
177. Stivaros, N., et al., A randomized clinical trial to compare the Goshgarian and Nance palatal arch. *The European Journal of Orthodontics*, 2010. 32(2): p. 171-176.
178. Gündüz, E., et al., An improved transpalatal bar design. Part I. Comparison of moments and forces delivered by two bar designs for symmetrical molar derotation. *The Angle Orthodontist*, 2003. 73(3): p. 239-243.
179. Migliorati, M., et al., Three dimensional movement analysis of maxillary impacted canine using TADs: a pilot study. *Head & Face Medicine*, 2021. 17(1): p. 1-10.
180. Basha, A.G., R. Shantaraj, and S.B. Mogegowda, Comparative study between conventional en-masse retraction (sliding mechanics) and en-masse retraction using orthodontic micro implant. *Implant dentistry*, 2010. 19(2): p. 128-136.
181. Creekmore, T.D., The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod.*, 1983. 17: p. 266-269.
182. Roberts, W.E., Rigid implant anchorage to close a mandibular first molar extraction site. *J. clin. Orthod.*, 1994. 28: p. 693-704.
183. Umemori, M., et al., Skeletal anchorage system for open-bite correction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1999. 115(2): p. 166-174.

184. Brettin, B.T., et al., Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 134(5): p. 625-635.
185. Lee, J.S., et al., *Applications of orthodontic mini-implants*. 2007: Quintessence Publishing Company Chicago, Ill.
186. Melsen, B. and C. Verna, A rational approach to orthodontic anchorage. *Progress in Orthodontics*, 2000. 1(1): p. 10-22.
187. Carano, A., et al., Mechanical properties of three different commercially available miniscrews for skeletal anchorage. *Progress in orthodontics*, 2005. 6(1): p. 82-97.
188. Cha, J.-Y., et al., Miniscrew stability evaluated with computerized tomography scanning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2010. 137(1): p. 73-79.
189. Crismani, A.G., et al., Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2010. 137(1): p. 108-113.
190. Lim, J.-W., et al., Three dimensional finite element method for stress distribution on the length and diameter of orthodontic miniscrew and cortical bone thickness. *The korean journal of orthodontics*, 2003. 33(1): p. 11-20.
191. Miyawaki, S., et al., Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 124(4): p. 373-378.
192. Park, H.-S., S.-H. Jeong, and O.-W. Kwon, Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006. 130(1): p. 18-25.
193. Schnelle, M.A., et al., A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. *The Angle Orthodontist*, 2004. 74(6): p. 832-837.
194. Poggio, P.M., et al., "Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. *The Angle Orthodontist*, 2006. 76(2): p. 191-197.
195. Lee, M.-Y., et al., Forced eruption of a palatally impacted and transposed canine with a temporary skeletal anchorage device. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2017. 151(6): p. 1148-1158.
196. Kocsis, A. and L. Seres, *Orthodontic screws to extrude impacted maxillary canines*. 2012, Springer.
197. Kanomi, R., Mini-implant for orthodontic anchorage. *J clin Orthod*, 1997. 31: p. 763-767.
198. Ludwig, B., et al., *Mini-implants in Orthodontics. Innovation. Anchorage. Concepts*. Quintessence International, 2007.
199. Wilmes, B. and D. Drescher, Vertical periodontal ligament distraction—a new method for aligning ankylosed and displaced canines. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2009. 70(3): p. 213-223.
200. Moaveni, S., *Finite element analysis theory and application with ANSYS*, 3/e. 2011: Pearson Education India.
201. Ogden, R.W. and G.A. Holzapfel, *Mechanics of biological tissue*. 2006: Springer.
202. Ramoğlu, S. and O. Ozan, Diş hekimliğinde sonlu elemanlar stres analiz yöntemi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2014. 24(3).
203. Eskitaşçıoğlu, G. and Y.B.D.H.S. Elemanlar, Stres Analiz Yöntemi. *AÜ Diş Hek Fak Derg*, 1995. 22: p. 201-5.

204. Chen, F., K. Terada, and K. Handa, Anchorage effect of various shape palatal osseointegrated implants: a finite element study. *The Angle Orthodontist*, 2005. 75(3): p. 378-385.
205. Ertürk, T., Anterior Dişlerin Mikroimplant Desteği İle İntrüze Edilerek Retrakte Edilmesi Sırasında Meydana Gelen Değişikliklerin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi. 2008, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
206. Ledley, R.S. and H.K. Huang, Linear model of tooth displacement by applied forces. *Journal of dental research*, 1968. 47(3): p. 427-432.
207. Davidian, E.J., Use of a computer model to study the force distribution on the root of the maxillary central incisor. *American journal of orthodontics*, 1971. 59(6): p. 581-588.
208. Biyomekanik, T.Y.S.O.A., Prensipleri. Ege Üniversitesi Basımevi. 1999. 6-7.
209. O'brien, W.J., Dental materials and their selection, 2002. Quintessence, 2002.
210. Kutz, M., Mechanical engineers' handbook, volume 1: Materials and engineering mechanics. 2015: John Wiley & Sons.
211. Shigley, J.E., et al., Machine Design. 1996, McGraw-Hill Education, New York.
212. Cattaneo, P.M., M. Dalstra, and B. Melsen, The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: a finite element study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 123(4): p. 367-373.
213. Zaimoğlu, A., et al., Diş hekimliğinde maddeler bilgisi. AÜ Basımevi, Ankara. 1993. 3-11.
214. Tosun, Y., Sabit ortodontik apareylerin biyomekanik prensipleri. 1999, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
215. Huijskes, R. and E.Y. Chao, A survey of finite element analysis in orthopedic biomechanics: the first decade. *Journal of biomechanics*, 1983. 16(6): p. 385-409.
216. Provatidis, C.G., A comparative FEM-study of tooth mobility using isotropic and anisotropic models of the periodontal ligament. *Medical engineering & physics*, 2000. 22(5): p. 359-370.
217. Toms, S.R., et al., Quasi-linear viscoelastic behavior of the human periodontal ligament. *Journal of biomechanics*, 2002. 35(10): p. 1411-1415.
218. Hughes, T.J., The finite element method. Prentice-Hall, New Jersey, 1987.
219. Geng, J.-P., K.B. Tan, and G.-R. Liu, Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2001. 85(6): p. 585-598.
220. Jeon, P.D., P.K. Turley, and K. Ting, Three-dimensional finite element analysis of stress in the periodontal ligament of the maxillary first molar with simulated bone loss. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2001. 119(5): p. 498-504.
221. Kusnoto, B. and C.A. Evans, Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2002. 122(4): p. 342-348.
222. Çifter, M., Üst çene posterior dişlerinin mikro-implant destekli intrüzyonunda meydana gelen değişikliklerin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ortodonti Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, 2007.
223. Holmgren, E.P., et al., Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *Journal of Oral Implantology*, 1998. 24(2): p. 80-88.

224. Nagendraprasad, K., et al., Displacement and periodontal stress analysis on palatally impacted canine-A finite element analysis. *Indian Journal of Dental Research*, 2019. 30(5): p. 788.
225. Kojima, Y. and H. Fukui, Effects of transpalatal arch on molar movement produced by mesial force: a finite element simulation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 134(3): p. 335. e1-335. e7.
226. Bobak, V., et al., Stress-related molar responses to the transpalatal arch: a finite element analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1997. 112(5): p. 512-518.
227. Wheeler, R.C., *Textbook of dental anatomy and physiology*. 1940: WB Saunders.
228. Puricelli, E., Apicotomy: a root apical fracture for surgical treatment of impacted upper canines. *Head & Face Medicine*, 2007. 3(1): p. 1-9.
229. Yadav, S., et al., Comparison of the force systems of 3 appliances on palatally impacted canines. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2011. 139(2): p. 206-213.
230. Kornhauser, S., et al., The resolution of palatally impacted canines using palatal-occlusal force from a buccal auxiliary. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1996. 110(5): p. 528-534.
231. Reitan, K., Effects of force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types. *The Angle Orthodontist*, 1964. 34(4): p. 244-255.
232. Han, G., et al., Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion: an intraindividual study. *The angle orthodontist*, 2005. 75(6): p. 912-918.
233. Haney, E., et al., Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2010. 137(5): p. 590-597.
234. Silva, A.C., et al., Root length and alveolar bone level of impacted canines and adjacent teeth after orthodontic traction: a long-term evaluation. *Journal of Applied Oral Science*, 2017. 25: p. 75-81.
235. Koutzoglou, S.I. and A. Kostaki, Effect of surgical exposure technique, age, and grade of impaction on ankylosis of an impacted canine, and the effect of rapid palatal expansion on eruption: A prospective clinical study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. 143(3): p. 342-352.
236. Thiruvengkatachari, B., P. Ammayappan, and R. Kandaswamy, Comparison of rate of canine retraction with conventional molar anchorage and titanium implant anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 134(1): p. 30-35.
237. Cope, J.B. Temporary anchorage devices in orthodontics: a paradigm shift. in *Seminars in orthodontics*. 2005. Elsevier.
238. Block, M.S. and D.R. Hoffman, A new device for absolute anchorage for orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1995. 107(3): p. 251-258.
239. Roberts, W.E., K.J. Marshall, and P.G. Mozsary, Rigid endosseous implant utilized as anchorage to protract molars and close an atrophic extraction site. *The Angle Orthodontist*, 1990. 60(2): p. 135-152.
240. Ammar, H.H., et al., Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2011. 139(1): p. e59-e71.

241. Angolkar, P.V., et al., Force degradation of closed coil springs: an in vitro evaluation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1992. 102(2): p. 127-133.
242. Bell, W.R., A study of applied force as related to the use of elastics and coil springs. *The Angle Orthodontist*, 1951. 21(3): p. 151-154.
243. Von Fraunhofer, J., P. Bonds, and B. Johnson, Force generation by orthodontic coil springs. *The Angle Orthodontist*, 1993. 63(2): p. 145-148.
244. Han, S. and D.C. Quick, Nickel-titanium spring properties in a simulated oral environment. *The Angle Orthodontist*, 1993. 63(1): p. 67-72.
245. Baran, İ., İki tip silindirik endosteal implant altyapı üzerine hazırlanmış üç değişik tüberkül eğimli kron tasarımlarına uygulanan vertikal kuvvetlerin oluşturduğu gerilimlerin "finite element stress analysis" yöntemi ile incelenmesi, in *Sağlık Bilimleri Enstitüsü*. 1995, Gazi Üniversitesi.
246. Asundi, A. and A. Kishen, A strain gauge and photoelastic analysis of in vivo strain and in vitro stress distribution in human dental supporting structures. *Archives of oral biology*, 2000. 45(7): p. 543-550.
247. Clifford, P.M., J.F. Orr, and D.J. Burden, The effects of increasing the reverse curve of Spee in a lower archwire examined using a dynamic photo-elastic gelatine model. *The European Journal of Orthodontics*, 1999. 21(3): p. 213-222.
248. Gümüş, H., Üç farklı dental implant yiv tasarımının ve iki farklı dental implant çapının değişik yoğunluktaki kemik üzerinde oluşturdukları streslerin üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ile karşılaştırılması. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 2007.
249. Liang, W., et al., Torque control of the maxillary incisors in lingual and labial orthodontics: a 3-dimensional finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2009. 135(3): p. 316-322.
250. Welsch, G., R. Boyer, and E. Collings, *Materials properties handbook: titanium alloys*. 1993: ASM international.
251. İlgin, A., et al., İnsan Mandibulasında Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Gerilme Analizi Yapılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2004. 19(1): p. 29-38.
252. Gautam, P., A. Valiathan, and R. Adhikari, Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2009. 135(4): p. 507-515.
253. Carano, A., et al., Clinical applications of the Mini-Screw-Anchorage-System (MAS) in the maxillary alveolar bone. *Progress in orthodontics*, 2004. 5(2): p. 212-235.
254. Deguchi, T., et al., Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006. 129(6): p. 721. e7-721. e12.
255. Kyung, H.-M., Overview development of orthodontic micro-implants for intraoral anchorage. *J. clin. Orthod.*, 2003. 37: p. 321-328.
256. Park, H., *Orthodontic treatment using micro-implant*. 2006. Seoul: Daehan Narae Publishing Inc.
257. Wilmes, B., Y.-Y. Su, and D. Drescher, Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. *The Angle Orthodontist*, 2008. 78(6): p. 1065-1070.
258. Zhang, Y., D. Zhang, and C. Feng, A three-dimensional finite element analysis for the biomechanical characteristics of orthodontic anchorage micro-implant.

- Shanghai kou qiang yi xue= Shanghai journal of stomatology, 2005. 14(3): p. 281-283.
259. Gracco, A., et al., Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage. *The European Journal of Orthodontics*, 2009. 31(1): p. 12-20.
 260. Takaki, T., et al., Clinical study of temporary anchorage devices for orthodontic treatment. *The Bulletin of Tokyo Dental College*, 2010. 51(3): p. 151-163.
 261. Williams, J., *Fixed orthodontic appliances: Principles and practice*. 1995: Butterworth-Heinemann.
 262. Gallas, M., et al., Three-dimensional numerical simulation of dental implants as orthodontic anchorage. *The European Journal of Orthodontics*, 2005. 27(1): p. 12-16.
 263. Kuroda, S., et al., Stress distribution in the mini-screw and alveolar bone during orthodontic treatment: a finite element study analysis. *Journal of orthodontics*, 2014. 41(4): p. 275-284.
 264. Meher, A.H., et al., Deflection and stress distribution around mini-screw implants: A finite element investigation into the effect of cortical bone thickness, force magnitude and direction. *Journal of orthodontics*, 2012. 39(4): p. 249-255.
 265. Niinomi, M., Mechanical properties of biomedical titanium alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 1998. 243(1-2): p. 231-236.
 266. Guan, H., et al., Influence of bone and dental implant parameters on stress distribution in the mandible: a finite element study. *International journal of oral & maxillofacial implants*, 2009. 24(5).
 267. Vijayalakshmi, P., et al., Finite Element Analysis of Stress and Strain Distribution in the Bone around the Implants used for Orthodontic Anchorage. *Journal of Indian Orthodontic Society*, 2012. 46(4): p. 175-182.
 268. Singh, S., et al., Three-dimensional finite element analysis of strength, stability, and stress distribution in orthodontic anchorage: a conical, self-drilling miniscrew implant system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2012. 141(3): p. 327-336.
 269. Boccaccio, A., et al., Mechanical behavior of an osteotomized mandible with distraction orthodontic devices. *Journal of biomechanics*, 2006. 39(15): p. 2907-2918.
 270. Zablocki, H.L., et al., Effect of the transpalatal arch during extraction treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2008. 133(6): p. 852-860.
 271. İşeri, H., G. Kurt, and R. Kişnişci, Biomechanics of Rapid Tooth Movement by Dentoalveolar Distraction Osteogenesis, in *Current therapy in orthodontics*. 2010, Elsevier. p. 321-337.
 272. Vieceilli, R.F., et al., Three-dimensional mechanical environment of orthodontic tooth movement and root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 133(6): p. 791. e11-791. e26.
 273. Sharma, M., V. Sharma, and B. Khanna, Mini-screw implant or transpalatal arch-mediated anchorage reinforcement during canine retraction: a randomized clinical trial. *Journal of orthodontics*, 2012. 39(2): p. 102-110.

EKLER

EK-1. ETİK KURUL ONAY FORMU



T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Karar Tarihi	Toplantı Sayısı	Karar Sayısı
20/04/2021	04	2021/04-17

Adıyaman Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı Öğretim Üyesi, Mehmet Ali YAVAN'ın sorumluluğunda yapılması tasarlanan "Maksiller Gömülü Kanin Dişlerin Minivida Destekli ve Konvansiyonel Yöntemlerle Sürdürülmesinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi" adlı proje için hazırlanmış olan ve 07/04/2021 tarihinde sunulan Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar İçin Başvuru Formu ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, araştırmanın yürürlükte olan ilgili yasal düzenlemelere uyularak yürütülmesi ve sonuçlandırılması koşulu ile gerçekleştirilmesinde etik sakınca bulunmadığına ve Etik Kurul kararının başvuru sahibine iletilmesine toplantıya katılan Etik Kurul Üyeleri'nin oy birliği ile karar verilmiştir.

(İmza)

Prof. Dr. Haydar BAĞIŞ
Başkan

(İmza)

Prof. Dr. Gülnur TARHAN
Üye

(İmza)

Prof. Dr. Tuncay ÇELİK
Üye

(İmza)

Dr.Öğr.Üys. Hüseyin KAFADAR
Üye

(İmza)

Dr.Öğr.Üys. Muhittin ÖNDERCI
Üye

(İmza)

Doç.Dr. Şemsettin BİLAK
Üye

(İmza)

Doç. Dr.Fatih ÜÇKARDEŞ
Üye

(İmza)

Dr.Öğr.Üys. Mehmet BÜLBÜL
Üye

(İmza)

Doç. Dr. Mahmut KOPARAL
Üye

(Katılmadı)

Doç. Dr. H. Sinan HATİPOĞLU
Üye

(İmza)

Dr.Öğr.Üys. Erman ALTUNIŞIK
Üye

(İmza)

Doç. Dr. İ. Hakan BUCAK
Üye

(İmza)

Doç. Dr. Kasım TURGUT
Üye

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Sümeyye GÜLER
Uyruğu	TC
Doğum tarihi ve yeri	
e-posta adresi	

Eğitim Bilgileri

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet Yılı
Doktora		
Yüksek Lisans		
Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2018
Lise	Tevfik Serdar Anadolu Lisesi	2013

İş Deneyimi

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2019-	ADYÜ Diş Hekimliği Fakültesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil	İngilizce
-------------	-----------

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

Sıra No	Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetler
1	Yavan, M. A., Güler, S., Eğlenen, M. N., & Karaca, M. N. (2021). A Comparison of the Effects of Extraction and Nonextraction Orthodontic Treatments on Cephalometric Parameters and Arch Widths. Cumhuriyet Dental Journal, 24(1), 47-56.

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

Yıl	Birlik/Dernek/Kuruluş Adı	Yeri
2019	Türk Ortodonti Derneği	Ankara