



T. C.

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**TRANSPALATAL ARK VE NANCE APAREYİNİN YER KORUMA
ETKİNLİKLERİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİYLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Saadet Nilsu MUTTEPE

UZMANLIK TEZİ

ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNER

Gaziantep

2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

28.02.2025

Saadet Nilsu MUTTEPE

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR VE SEMBOLLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1.GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Dental Ark ve Oklüzyonun Gelişimi	6
2.1.1. Dişsiz Dönem (0-6 ay).....	6
2.1.2. Süt Dişlenme Dönemi (6ay-6yaş).....	7
2.1.2.1. Süt Dişlenme Döneminde Oklüzyon İlişkileri	8
2.1.3. Karışık Dişlenme Dönemi	9
2.1.3.1 Erken Karışık Dişlenme Dönemi	9
2.1.3.2. Ara Dönem	12
2.1.3.3. Geç karışık Dişlenme	12
2.1.4. Daimi Dişlenme Dönemi	13
2.1.5. Dişlerin Değişimini ve Oklüzyonu Etkileyen Dental Faktörler	13
2.1.5.1. Süt Dişlerinin Erken Kaybı ve Etkileri	13
2.1.5.2. Süt Dişlerinin Erken Kaybı Durumunda Alınacak Önlemler	14
2.2. Yer Tutucular	14
2.2.1. Yer tutucu uygulamasının endikasyon ve kontrendikasyonları	15
2.2.2. Yer tutucu planlamasını etkileyen faktörler	16
2.2.2.1. Süt dişi kaybının üzerinden geçen süre	16
2.2.2.2. Mevcut yer	16
2.2.2.3. Dişlerin sürme sırası	17
2.2.2.4. Sürecek olan daimi diş üzerindeki kemik miktarı	17
2.2.2.5. Kaybedilen süt dişi yerine sürmesi gereken dişin konjenital olarak eksik olması	17

2.2.2.6. Daimi dişin geç sürecek olması	17
2.2.2.7. Çocuğun diş yaşı	18
2.2.2.8 Hasta velisinin yer tutucuların önemi hakkında bilgilendirilmesi	18
2.2.3. Yer tutucuların sınıflandırılması	18
2.2.3.1. Sabit yer tutucular	19
2.2.3.2. Hareketli yer tutucular	23
2.3. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)	23
2.3.1. Sonlu elemanlar analiziyle ilgili kavramlar	23
2.3.1.1. Kuvvet	23
2.3.1.2. Gerilme (Stres)	24
2.3.1.3. Gerinim (Strain)	24
2.3.1.4. Eleman (Element)	24
2.3.1.5. Düğüm noktası (Node)	25
2.3.1.6. Elastisite modülü	25
2.3.1.7. Poisson oranı	25
2.3.1.8. Ağ yapısı (Mesh)	25
2.3.1.9. Sınır koşulları (Boundary Conditions)	25
2.3.2. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan stres tipleri	26
2.3.2.1. Von mises stresleri	26
2.3.2.2. Principle stres	26
2.3.3. Sonlu elemanlar analizinin aşamaları	26
2.3.3.1. Analiz öncesi aşama	26
2.3.3.2. Analiz aşaması	26
2.3.3.3. Analiz sonrası aşama	26
3.GEREÇ VE YÖNTEM	27
3.1. Kortikal Kemik, Trabeküler Kemik, Diş ve Periodontal Ligamentin	
Modellenmesi	27
3.2. TPA ve Nance Apareyinin Modellenmesi ve Çalışma Modellerinin	
Oluşturulması	30
3.3. Çalışma Modellerinin Oluşturulması	31
3.4. Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi	36

3.5. Malzeme Tanımları	36
3.6. Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları	37
3.7. Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu	39
4. BULGULAR.....	40
4.1. X Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi	40
4.2. Y Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi	40
4.3. Z Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi.....	41
4.4. Bileşke Yer değiştirmenin (Magnitude) Değerlendirilmesi.....	45
4.6. Model 2’de Görülen Stres Değerleri	58
4.7. Model 3’te Görülen Stres Değerleri	59
4.8. Model 4’te Görülen Stres Değerleri	61
4.9. Model 5’te Görülen Stres Değerleri	62
4.10. Model 6’da Görülen Stres Değerleri.....	64
4.11. Model 7’de Görülen Stres Değerleri.....	65
4.12. Model 8’de Görülen Stres Değerleri.....	67
4.13. Model 9’da Görülen Stres Değerleri.....	68
4.14. Model 10’da Görülen Stres Değerleri.....	70
5.TARTIŞMA.....	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
7. KAYNAKLAR	85

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

ANSYS	Swanson Analysis Systems
BT	Bilgisayarlı Tomografi
CBCT	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DB	Distobukkal
DP	Distopalatinal
E	Exponent
ECC	Error Correction Code
MAG	Magnitude
MB	Mesiobukkal
mm	Milimetre
MP	Mesiopalatinal
MPA	Megapascal
MR	Manyetik Rezonans
N	Newton (Kuvvet birimi)
P1	Maksimum Principle Stress
P3	Minimum Principle Stress
PDL	Periodontal Ligament
SEA	Sonlu Elemanlar Analizi
TPA	Transpalatal Ark

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Alt ve üst dişeti yastıkçıları (16).....	7
Şekil 2. 2. Primat boşluklarının yandan görünümü (16).....	7
Şekil 2. 3. Overjet ve overbite (16).....	8
Şekil 2. 4. İkinci süt azıların terminal düzlem ilişkileri. A- Düz terminal düzlem B- Mesial tip terminal düzlem C- Distal tip terminal düzlem (24).....	9
Şekil 2. 5. Erken mesial shiftle molar ilişkisinin düzelmesi (16)	10
Şekil 2. 6. Geç mesial shift (27).....	10
Şekil 2. 7. A) Daimi dişlerin labialden sürmesi B) Daimi ve süt dişleri arasındaki interinsizal açı (24).	11
Şekil 2. 8. Çirkin ördek yavrusu evresi (16).	11
Şekil 2. 9. Alt ve üst çenede sürme sıraları (16). Üst çenede genel sürme sırası 6-1-2-4-5-3-7 ya da 6-1-2-4-3-5-7 şeklindedir.....	12
Şekil 3. 1. Tomografi verileri.....	27
Şekil 3. 2. Kortikal Kemik	28
Şekil 3. 3. Trabeküler kemik.....	29
Şekil 3. 4. Dişler.....	29
Şekil 3. 5. Periodontal ligament (PDL).....	30
Şekil 3. 6. TPA modeli.....	30
Şekil 3. 7. Nance Apareyi modeli	31
Şekil 3. 8. Birinci senaryo için tasarlanan model (model 1).....	32
Şekil 3. 9. İkinci senaryo için tasarlanan model (model 2).....	33
Şekil 3. 10. Üçüncü senaryo için tasarlanan model (Model 3)	33
Şekil 3. 11. Dördüncü senaryo için tasarlanan model (Model 4).....	33
Şekil 3. 12. Beşinci senaryo için tasarlanan model (Model 5).....	34
Şekil 3. 13. Altıncı senaryo için tasarlanan model (Model 6)	34
Şekil 3. 14. Yedinci senaryo için tasarlanan model (Model 7).....	34

Şekil 3. 15. Sekizinci senaryo için tasarlanan model (Model 8).....	35
Şekil 3. 16. Dokuzuncu senaryo için tasarlanan model (Model 9)	35
Şekil 3. 17. Onuncu senaryo için tasarlanan model (Model 10).....	35
Şekil 3. 18. Matematiksel modellerden bir görüntü.....	36
Şekil 3. 19. Kuvvet uygulaması	38
Şekil 3. 20. Sınır Koşulları.....	38
Şekil 4. 1. Model 1’de daimi birinci büyük azı dişinin hareket öncesi ve sonrası konumlarını gösteren görsel.....	46
Şekil 4. 2. Model 1’deki hareketlerin oklüzalden görünümü.....	47
Şekil 4. 3. Model 2’deki diş hareketlerini gösteren görsel	47
Şekil 4. 4. Model 2’deki hareketlerin oklüzal görüntüsü.....	48
Şekil 4. 5. Model 3’te diş hareketlerini gösteren görsel	48
Şekil 4. 6. Model 3’teki hareketlerin oklüzal görüntüsü.....	49
Şekil 4. 7. Model 4’teki diş hareketlerini gösteren görsel	49
Şekil 4. 8. Model 4’teki hareketlerin oklüzal görüntüsü.....	50
Şekil 4. 9. Model 5’teki diş hareketlerini gösteren görsel.....	50
Şekil 4. 10. Model 5’teki hareketlerin oklüzal görüntüsü.....	51
Şekil 4. 11. Model 6’daki diş hareketlerini gösteren görsel	51
Şekil 4. 12. Model 6’daki hareketlerin oklüzalden görüntüsü	52
Şekil 4. 13. Model 7’deki diş hareketlerini gösteren görsel	52
Şekil 4. 14. Model 7’deki diş hareketlerinin oklüzal görüntüsü	53
Şekil 4. 15. Model 8’deki diş hareketlerini gösteren görsel	53
Şekil 4. 16. Model 8’deki hareketlerin oklüzalden görünümü.....	54
Şekil 4. 17. Model 9’daki diş hareketlerini gösteren görseller	54
Şekil 4. 18. Model 9’daki yer değiştirmenin oklüzalden görünümü.....	55
Şekil 4. 19. Model 10’daki yer değiştirmeleri gösteren görseller.....	55
Şekil 4. 20. Model 10’daki hareketlerin oklüzalden görünümü.....	56

Şekil 4. 21. Model 1’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	56
Şekil 4. 22. Model 1’de daimi azı dişi üzerindeki maksimum stres değeri	57
Şekil 4. 23. Model 1’de PDL’ deki maksimum stres değeri	57
Şekil 4. 24. Model 2’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	58
Şekil 4. 25. Model 2’de maksimum von mises stres değeri.....	58
Şekil 4. 26. Model 2’ de PDL’deki maksimum von mises değeri	59
Şekil 4. 27. Model 3’te daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	59
Şekil 4. 28. Model 3’teki maksimum stres değeri	60
Şekil 4. 29. Model 3’te PDL’ deki maksimum stres değeri.....	60
Şekil 4. 30. Model 4’te daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	61
Şekil 4. 31. Model 4’te maksimum stres değeri.....	61
Şekil 4. 32. Model 4’te PDL’ deki maksimum stres değeri.....	62
Şekil 4. 33. Model 5’ de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	62
Şekil 4. 34. Model 5’te maksimum stres değeri.....	63
Şekil 4. 35. Model 5 PDL’ deki maksimum stres değeri	63
Şekil 4. 36. Model 6’da daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	64
Şekil 4. 37. Model 6’daki maksimum von mises stres değeri	64
Şekil 4. 38. Model 6’da PDL’ deki maksimum von mises stres değeri.....	65
Şekil 4. 39. Model 7’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	65
Şekil 4. 40. Model 7’deki maksimum stres değeri.....	66
Şekil 4. 41. Model 7’de PDL’ deki maksimum stres değeri.....	66
Şekil 4. 42. Model 8’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	67
Şekil 4. 43. Model 8’de görülen maksimum stres değeri	67

Şekil 4. 44. Model 8’ de PDL’deki maksimum stres değeri	68
Şekil 4. 45. Model 9’da daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	68
Şekil 4. 46. Model 9’da gözlenen maksimum stres değeri	69
Şekil 4. 47. Model 9’da PDL’deki maksimum stres değeri	69
Şekil 4. 48. Model 10’da gözlenen daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri	70
Şekil 4. 49. Model 10’da görülen maksimum stres değeri	70
Şekil 4. 50. Model 10’da PDL’deki maksimum stres değeri	71



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1. Model ve senaryolar	32
Tablo 3. 2. Bileşenlerin malzeme özellikleri (3).....	37
Tablo 3. 3. Kuantitatif Model Bilgileri	39
Tablo 4. 1. Daimi birinci azı dişinin x eksenindeki yer değiştirmeleri.....	41
Tablo 4. 2. Y eksenindeki yer değiştirmeler	41
Tablo 4. 3. Z eksenindeki yer değiştirmeler	42
Tablo 4. 4. X eksenini boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değiştirme değerleri	43
Tablo 4. 5. Y eksenini boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değiştirme değerleri	44
Tablo 4. 6. Z eksenini boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değiştirme değerleri.....	45
Tablo 4. 7. MAG değerleri.....	46
Tablo 4. 8. Modellerde göre von mises değerleri	71
Tablo 4. 9. Modellerde kuron ve PDL’deki maximum stres değerleri	72

ÖZET

TRANSPALATAL ARK VE NANCE APAREYİNİN YER KORUMA ETKİNLİKLERİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Saadet Nilsu MUTTEPE

Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNER

Şubat 2025, 96 sayfa

Çocuklarda süt dişleri çeşitli nedenlerle fizyolojik düşme yaşından önce çekilebilmektedir. Süt dişlerinin erken çekimi, arkta yer kaybı, alttaki daimi dişin sürmesinin engellenmesi gibi çeşitli problemlere neden olabilmektedir ve çocuğun ileriki dönemlerde komplike ortodontik tedaviler görmesine yol açabilmektedir. Tüm bunların önüne geçmek ve çekim boşluğunun korunması amacıyla yer tutucular kullanılmaktadır. TPA (Transpalatal Ark) ve nance apareyi, üst çenede bu amaçla kullanılan bilateral sabit apareylerdir. Çalışmamızın amacı, sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılarak oluşturulan bir model üzerinde, mesialinde dişsiz boşluk bulunan olgunlaşmamış daimi birinci azı dişin çiğneme kuvvetleri karşısındaki yer değiştirme davranışını incelemek ve bu yer değiştirmeyi önlemeye yönelik olarak kullanılan TPA ile Nance apareyinin etkinliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Çalışmada kullanılan maksiller kemik ve diş modellerinin oluşturulmasında, daha önce elde edilen bir tomografi görüntüsünden yararlanılmıştır. Tomografi verisi 0.1 mm kesit kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen tomografi verileri DICOM formatında 3DSlicer yazılımına aktarılmıştır. DICOM formatındaki CT verisi 3DSlicer yazılımında uygun Hounsfield değerlerine göre ayrıştırılarak, segmentasyon işlemi ile üç boyutlu modellere dönüştürülmüştür. Modeller .stl formatında dışa aktarılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan apareyler elde edilen kemik ve diş modeline göre ANSYS Spaceclaim yazılımında modellenmiştir. Hazırlanan tüm modeller ANSYS Spaceclaim yazılımında 3 boyutlu uzayda doğru koordinatlara yerleştirilip modelleme işlemi tamamlanmıştır. Nance apareyi, erken süt dişi kaybı sonrası daimi azılardaki olumsuz etkileri TPA'ya kıyasla daha iyi azaltabilir; ancak oral hijyenin yetersiz olduğu veya akrilik bileşenlerin tolere edilemediği durumlarda TPA, yer koruma için daha uygun bir alternatif olabilir. Nance apareyinin dezavantajlarının tolere edilemediği durumlarda, TPA hem daimi diş gelişimini hem de ark stabilitesini destekleyen etkili bir seçenektir.

Anahtar Sözcükler: nance, SEA, süt dişi, TPA, yer kaybı

ABSTRACT

COMPARISON OF SPACE CONSERVATION EFFICIENCIES OF TRANSPALATAL ARCH AND NANCE APPLIANCE BY FINITE ELEMENT ANALYSIS

Saadet Nilsu MUTTEPE

Specialization Thesis Department of Pediatric Dentistry

Supervisor: Asst. Prof. Zehra GÜNER

February 2025, 96 pages

In children, deciduous teeth may be extracted before the physiological age of eruption for various reasons. Early extraction of deciduous teeth may cause problems such as loss of space in the arch, prevention of the eruption of the permanent tooth below, and may lead to complicated orthodontic treatments in the future. Space maintainers are used to prevent these problems and to maintain the extraction space. TPA (Transpalatal Arc) and Nance appliances are bilateral fixed appliances used for this purpose in the upper jaw. The aim of our study was to investigate the displacement behavior of an immature permanent first molar with a mesial edentulous cavity under masticatory forces on a model created using finite element analysis (FEA) and to evaluate comparatively the effectiveness of the TPA and Nance appliances in preventing this displacement. A previously obtained tomography image served as the basis for creating the maxillary bone and tooth models in the study. The tomography data were reconstructed with a slice thickness of 0.1 mm. The reconstructed CT data were transferred to the 3DSlicer software in DICOM format. The CT data in DICOM format were segmented according to appropriate Hounsfield values in the 3DSlicer software and converted into three-dimensional models through a segmentation process. The models were exported in .stl format. The appliances used in the study were modeled in ANSYS Spaceclaim software according to the obtained bone and tooth model. All prepared models were placed in the correct coordinates in 3D space in the ANSYS Spaceclaim software, completing the modeling process. The Nance appliance may better reduce the negative effects on permanent molars after early deciduous tooth loss compared to TPA; however, TPA may be a more suitable alternative for space preservation in cases where oral hygiene is inadequate or acrylic components are not tolerated. When the disadvantages of the Nance appliance are not manageable, TPA is an effective option that promotes both permanent tooth development and arch stability.

Keywords: nance, FEM, primary tooth, TPA, space loss

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Çocuklarda süt dişlerinin fizyolojik düşme yaşından önce çekimi, oral sağlık ve dental gelişim açısından çeşitli komplikasyonlara yol açabilmektedir. Erken süt dişi kaybı sonrası oluşan dişsiz boşluklara, komşu dişlerin devrilme eğilimi göstermesi ark boyutlarında değişime neden yol açabilmektedir. Bu durum, alttaki daimi dişin sürmesini engelleyerek dental oklüzyonun bozulmasına ve çene gelişiminin olumsuz etkilenmesine sebep olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, çocuğun ileriki yaşlarda daha karmaşık ve uzun süreli ortodontik tedavilere ihtiyaç duyma olasılığı artmaktadır (1). Bu olumsuz sonuçların önüne geçmek adına çekim boşluğunun korunması büyük önem taşımaktadır. Çocuk Diş Hekimliğinde bu amaçla kullanılan yer tutucular dişlerin mesio-distal hareketini (devrilme) kısıtlayarak ark boyutlarını korumayı amaçlamaktadır.

Süt veya karma dişlenme döneminde birden fazla süt azı dişinin kaybı, diş arkı dengesi ve çocuğun dental gelişimi üzerinde ciddi sorunlara neden olabileceğinden, kalan dişlerin pozisyonunu ve ilişkisini korumak, ayrıca gelişmekte olan daimi dişlerin sürmesine rehberlik etmek amacıyla uygun bir aparey uygulanması gerekmektedir. Aparey kullanılmadığı takdirde, dişsiz boşlukların daralması ve komşu dişlerin devrilmesi gibi mekanik sorunlar meydana gelebilmektedir (2). Süt azı dişlerinin kaybindan sonra herhangi bir müdahale yapılmazsa, daimi azı dişlerin yer değiştirmesi ve bunun sonucunda posterior çapraz kapanışın meydana gelmesi beklenmektedir (3). Oluşacak olan yer kaybı nedeniyle, daimi küçük azı dişleri ektopik olarak sürebilmekte ve aşırı durumlarda persiste kalabilmektedir.

Üst çenede çoklu diş kayıplarında genellikle nance apareyi yer tutucu olarak tercih edilmektedir. Nance apareyi posterior azı dişlerine uygulanan bant, paslanmaz çelik tel ve damak dokusuna temas eden akrilik bir yapıdan oluşmaktadır. Bu aparey etkili bir yer tutucudur ancak yumuşak doku iritasyonuna neden olabilmektedir. Bakteri ve yiyecek artıklarının birikmesi sıklıkla ağrı ve enflamasyona yol açabilmektedir. Nance apareyi yerine kullanılabilecek bir diğer aparey ise transpalatal arktır (TPA). TPA posterior azı dişlerine uygulanan bant ve bunlara lehimlenen paslanmaz çelik telden oluşmaktadır. Nance apareyinin aksine TPA' nın yumuşak dokuyla teması olmadığından yumuşak doku iritasyonu ve enflamasyonu söz konusu değildir. TPA ve

nance apareyi hem tek hem de çift taraflı diş eksikliklerinde kullanılabilir. TPA'nın üst azı dişlerinin pozisyonunu korumada Nance apareyi tedavisine alternatif olarak kullanılmasına ilişkin tartışmalar mevcuttur (4,5). TPA kullanımı nance apareyine kıyasla daha konforlu ve hijyenik bulunsa da azı dişlerinin yer değiştirmesini önlemedeki etkinliği öngörülememektedir (6). Bu iki apareyin tasarım konusundaki farklılıkları yer tutma etkinliklerinin değişmesine yol açabilmektedir ancak hangi yer tutucunun seçileceğiyle ilgili bilimsel kanıtlar yetersiz bulunmaktadır (4). Ortodontide ankraj olarak da kullanılan TPA ve Nance apareyinin bu alandaki etkinlikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Ancak yer tutucu etkinliklerini inceleyen çok az sayıda araştırma mevcuttur. Çocuk diş hekimliğinde bu apareyler fonksiyonel çiğneme kuvvetlerine karşı pasif olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, yapılan ortodontik çalışmaların sonuçları bu apareylerin yer tutma etkinlikleriyle ilgili soru işaretlerine cevap verememektedir (5).

TPA ve nance apareyinin çocuk diş hekimliği alanında değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Yer tutucularla ilgili çalışmalar, genellikle modeller üzerinden veya panoramik filmler üzerinden yapılan ölçümlerle olmaktadır. Ölçü alınarak modeller oluşturulması ve bunun belli aralıklarla tekrarlanması; hasta kooperasyonuna ihtiyaç duyulmasına ve çalışma süresinin uzamasına yol açmaktadır. Bunların yanı sıra, klasik ölçüm yöntemlerinin iki boyutlu olması, dental ark ve dişlerin ilişkilerinin tam anlamıyla değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. İki boyutlu ölçümler, dişlerin üç boyutlu anatomik pozisyonlarını ve komşu dişlerle olan dinamik ilişkilerini doğru bir şekilde yansıtamadığından, alınan sonuçların güvenilirliğini sınırlandırmaktadır.

Bir dişte meydana gelen hareket, diş kuvvete maruz kaldığında PDL'de meydana gelen stres dağılımına bağlı olmaktadır. Diş hareketi, PDL'nin indüklediği kemik reaksiyonlarıyla meydana gelen biyolojik bir süreçtir (5,7). Kemikte oluşan sıkışma ve gerilme bölgelerinde, PDL'nin indüklemesiyle kemik yıkımı ve yeniden oluşumu gözlenmektedir. Bu da dişin genellikle kuvvetin geldiği yöne doğru hareket etmesine neden olmaktadır. Diş hareketini olabildiğince doğru bir şekilde inceleyebilmek için PDL ve alveol kemiğin biyolojik davranışını simüle etmek gerekmektedir. Yapılan ortodontik ve periodontolojik çalışmalarda böyle bir matematiksel modelin oluşturulması için "sonlu elemanlar analizi (SEA)" faydalı bulunmuştur (7,8,9). Çocuk

diş hekimliği alanında yapılan benzer çalışmalarda genellikle olgunlaşmış dişler üzerinden diş hareketleri incelenmiştir. Olgunlaşmış dişlere gelen stresler uzun kökler sayesinde geniş bir alana yayılarak dağılabilmektedir. Gelişimi devam etmekte olan dişler ise benzer stresleri alttaki kemiğe aktarmak için daha küçük bir yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle, böyle dişlerde PDL’de daha fazla stres oluşması beklenmektedir. Bu tarz değişkenlerin doğru bir şekilde aktarılması ve incelenmesi için SEA’ nın uygun bir yöntem olduğu bilinmektedir (10,11).

Bu in vitro çalışmanın amacı; sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan bir modellemede; mesialinde dişsiz boşluk bulunan olgunlaşmamış daimi 1.molar dişin çiğneme kuvvetleri karşısındaki yer değiştirmesini incelemek, bunu engellemeyi amaçlayan TPA ve Nance apareyinin etkinliğini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Literatürde TPA ile Nance apareyinin etkinliğini karşılaştıran çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu iki apareyin yer tutucu etkinlikleri tartışmalı bir konudur. Sabit yer tutucu apareylerle ilgili sonlu elemanlar analizi çalışmaları yapılmıştır. Ancak TPA ve nance apareyiyle ilgili yapılan bir sonlu elemanlar analizi bulunmamaktadır. Çalışmamızda bu iki apareyin yer korumadaki etkinliği SEA kullanılarak incelenecektir. Hızlı, pratik ve nesnel ölçümler yapılması hedeflenmektedir.

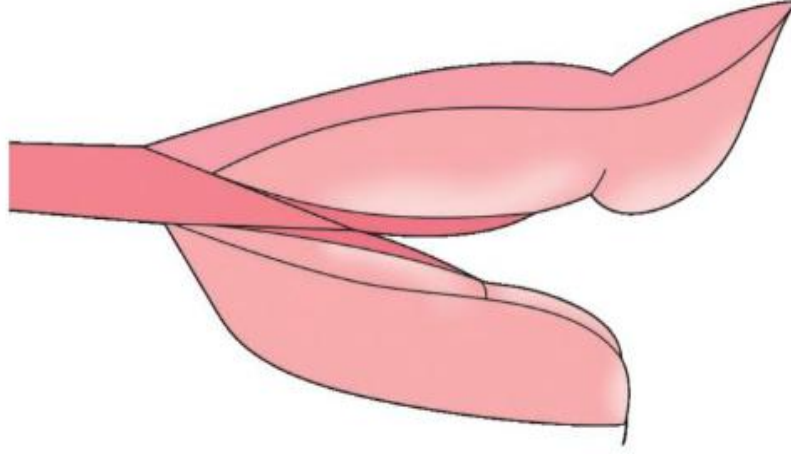
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dental Ark ve Oklüzyonun Gelişimi

Dental oklüzyon, karşit dişlerin veya bunların yer değiştirmelerinin ısırma yüzeylerinin fiziksel teması olarak tanımlanmakla birlikte bundan çok daha fazlasıdır. Oklüzyonda morfolojik çeşitlilik oldukça yaygındır ve bu normal bir durum olarak kabul edilmektedir (12). Daimi dişlenme döneminde uyumlu, işlevsel ve estetik açıdan uygun bir oklüzyon oluşturmak adına dişsiz dönemden itibaren birçok fizyolojik durum geliştirilmiştir. Daimi dişlenmede anomali olarak görülen bazı durumlar, oklüzyonun gelişim sürecinde geçiş dönemlerine bağlı olarak fizyolojik kabul edilmektedir. Oklüzyon gelişim dönemlerinin detaylarının ve hangisinin anomali hangisinin fizyolojik bir süreç olduğunun ayırımına sağlıklı bir şekilde varılabilmesi için her dönemin özelliklerinin, hastanın bulunduğu fizyolojik sürecin ve yaşa uygunluğunun iyi bilinmesi gerekmektedir (13). Dişlerin sürme zamanı, sıralanması ve oklüzyonu oluşturma sürecinin tamamı “oklüzyonun gelişimi” olarak adlandırılmaktadır. Oklüzyonun gelişimi dört aşamada incelenmektedir. Bunlar; dişsiz dönem (0-6 ay), süt dişlenme dönemi (6 ay-6 yaş), karışık dişlenme dönemi (6-12 yaş) ve daimi dişlenme dönemidir (14).

2.1.1. Dişsiz Dönem (0-6 ay)

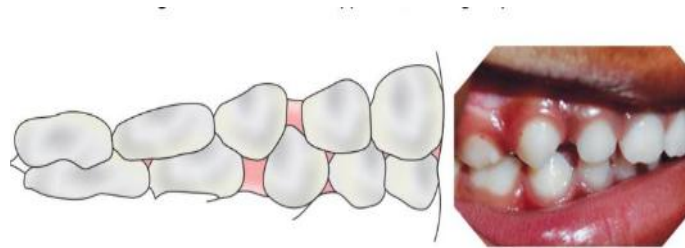
Doğumdan başlayıp, ilk süt dişi çıkana kadar olan dönemi kapsar (0-6 ay). Dişlerin bulunmadığı bu dönemde, alt ve üst çenede olmak üzere iki tane sert sıkı dişeti kaplı alveol ark bulunur. Bunlar “dişeti yastıkçığı” olarak adlandırılır (15). Posterior bölgede temas varken, anterior bölgede açık kapanış vardır. Üst çene, alt çeneye göre 5 mm daha öndedir. Bu kapanış şekli daha sonraki dönemlerde, çenelerin gelişimi ve dişlerin sürmesiyle değişime uğrar (13).



Şekil 2. 1. Alt ve üst dişeti yastıkçıkları (16)

2.1.2. Süt Dişlenme Dönemi (6ay-6yaş)

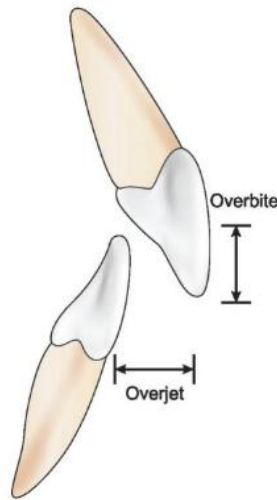
Doğumdan sonraki 6. aydan başlayıp, daimi birinci büyük azının sürmesine kadar olan dönemi kapsar (6 ay-6 yaş). Süt kesici dişler sürdüğünde üst dişer alt dişlere göre önde konumlanarak overjetin artmasına neden olur. Süt azıları sürene kadar overbite da artış gösterir. Süt dişlerin tamamlanması 2.5-3 yaşına kadar tamamlanır. Daimi birinci büyük azı dişi sürene kadar stabil bir dönem yaşanır (17,18). Bu dönemde süt dişleri arasında, ileride daimi dişlerin sıralanması ve oklüzyonun oluşması için önem arz eden boşluklar bulunur. Bunlar primat ve fizyolojik boşluklar olmak üzere iki tiptir (19). Primat boşluklar; üstte, süt lateral diş ile süt kanin arasında, altta ise süt kanin ile sür daimi birinci azı dişi arasında buunur (20,21) Primat boşluklara, antropoid ya da maymun diestamaları da denmektedir (22). Fizyolojik boşluklar ise tüm süt dişleri arasında bulunmaktadır. Üst çenede toplam fizyolojik boşluk miktarı ortalama 4 mm olmak üzere, 0-8 mm arasında değişebilirken, alt çenede ortalama 3 mm olmak üzere 1-7 mm arasında değişebilmektedir (16).



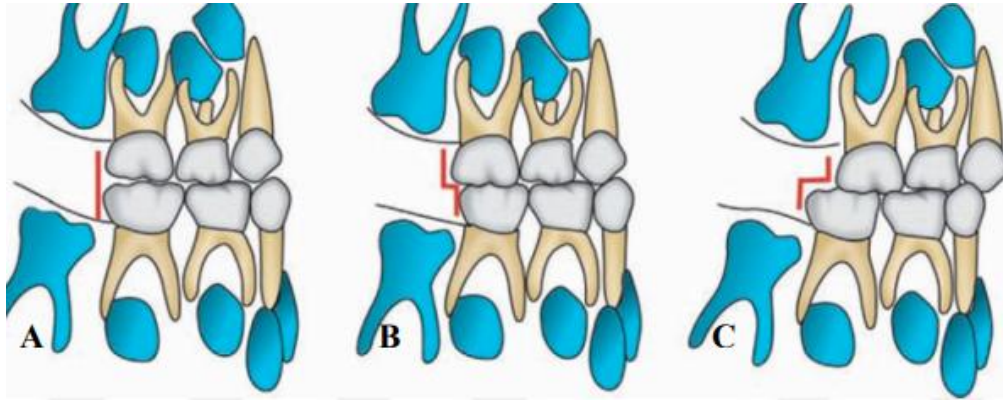
Şekil 2. 2. Primat boşluklarının yandan görünümü (16)

2.1.2.1. Süt Dişlenme Döneminde Oklüzyon İlişkileri

Üst keser dişlerin kesici kenarının alt süt keser dişin kesici kenarını geçtiği dikey mesafeye overbite denir. Süt dişlenme döneminde ortalama overbite 2 mm'dir. Alt ve üst keser dişlerin kesici yüzeyi aynı seviyede olursa buna "tetatet" denir. Eğer kesici dişler arasında örtüşme yoksa bu duruma "açık kapanış" denir. Süt dişlenme döneminde derin olan overbite, daimi azı dişlerin sürmesiyle beraber azalma gösterir (16,23). Üst kesici dişlerin lingual ile alt kesici dişlerin labial yüzeyleri arasındaki mesafeye overjet denir. Süt dişlenme döneminde overjet miktarı 0-4 mm arasında değişebilmektedir (22,23). Bu dönemde kanin dişler arasındaki ilişki en stabil olan ilişkilerden biri olarak kabul edilmektedir (22). Süt azı dişleri arasındaki anterior-posterior ilişkiler, terminal düzlemler arasındaki ilişkilerle tanımlanır. Terminal düzlemler alt ve üst çene molar dişlerin distal yüzeyini ifade etmektedir. Buna göre üç farklı ilişki ortaya çıkmaktadır: Düz (flush) terminal düzlem, mesial tip terminal düzlem, distal tip terminal düzlem. Düz terminal düzlemde; alt ve üst ikinci süt azıların distal yüzeyleri aynı hizadadır. Mesial tip terminal düzlemde; alt ikinci süt azı dişinin distal yüzeyi, üst ikinci süt azı dişine göre daha mesialde konumlanır. Distal tip terminal düzlemde ise; alt ikinci süt azı dişinin distal yüzeyi, üst ikinci süt azı dişine göre daha distalde konumlanmaktadır (16). Süt dişlenme dönemdeki terminal düzlem ilişkileri, kalıcı dişlenme döneminde oluşacak oklüzyon için rehberlik eder ve büyük önem taşır (23).



Şekil 2. 3. Overjet ve overbite (16)



Şekil 2. 4. İkinci süt azıların terminal düzlem ilişkileri. A- Düz terminal düzlem B- Mesial tip terminal düzlem C- Distal tip terminal düzlem (24).

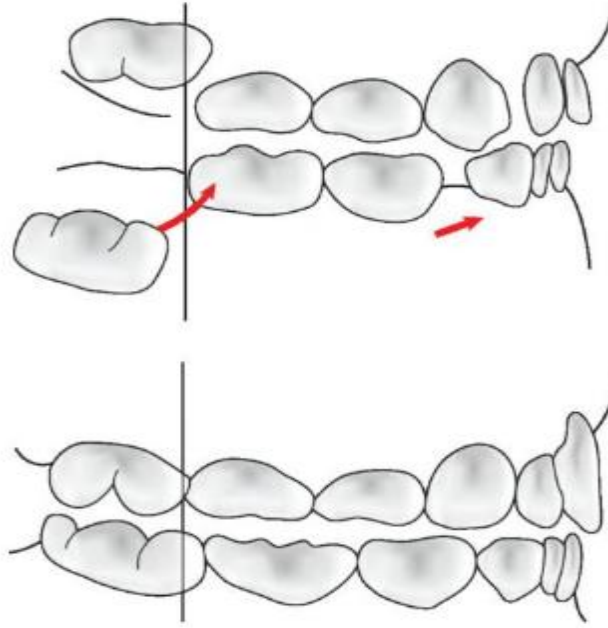
2.1.3. Karışık Dişlenme Dönemi

Karışık dişlenme dönemi, süt dişleri ve daimi dişlerin bir arada bulunduğu dönemdir. Yaklaşık 6 yaşında alt süt kesici dişlerin dökülmesi ve daimi azıların sürmesi ile başlar. Oklüzyon gelişimi için büyük önem arz eden bu dönem üç bölümde incelenir: Erken karışık dişlenme dönemi, ara dönem, geç karışık dişlenme dönemi (25).

2.1.3.1 Erken Karışık Dişlenme Dönemi

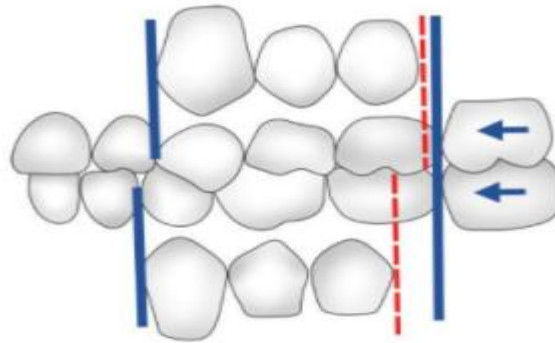
Bu dönem daimi 1. büyük azı ve ön keser dişlerin sürmesiyle karakterizedir. Daimi birinci büyük azı dişlerinin çenelerdeki konumu ikinci süt azı dişler arasındaki ilişkiye bağlıdır (terminal düzlem). Daimi molar dişlerin anteroposterior pozisyonu, terminal düzlem ilişkileri yanında fizyolojik boşluklar ve maksilla ve çenelerin farklı büyüme dinamiklerinden de etkilenmektedir (16).

İkinci süt azılar arasındaki ilişki düz terminal düzlem şeklindeyse, daimi dişlenme döneminde sınıf 1 oklüzyon ilişkisinin oluşması alt daimi birinci azının sürerken 2-3 mm mesialize olmasıyla gerçekleşebilir. Bu iki şekilde gerçekleşebilir: erken ve geç mesializasyon. Erken mesializasyon alt daimi birinci büyük azı dişi mesial sürme kuvveti sayesinde primat boşlukları kapatmasıyla meydana gelir. Böylece üst daimi birinci azı dişleri sınıf 1 ilişkiye girer. Bu “erken mesial shift” olarak adlandırılır (24).



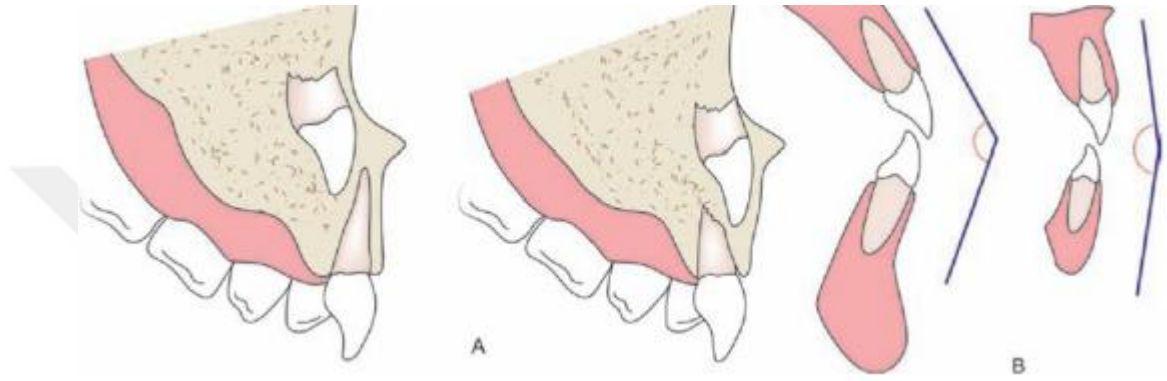
Şekil 2. 5. Erken mesial shiftle molar ilişkisinin düzelmesi (16)

Bazı çocuklarda primat boşlukları bulunmamaktadır. Bu gibi durumlarda erken mesializasyon döneminde kurulamayan sınıf 1 azı ilişkisi geç mesializasyon döneminde kurulabilir. Süt kanin, birinci ve ikinci süt molar dişlerinin toplam mesiodistal genişliği, daimi kanin, birinci ve ikinci premolar dişlerin toplam mesiodistal genişliğinden daha büyüktür. Bu fark, "Leeway yer rezervi" olarak adlandırılır (26). Hem alt hem üst çenede mevcuttur. İkinci süt azı dişlerinin dökülmesiyle Leeway yer rezervi kullanılarak daimi azılar arasında sınıf 1 ilişki kurulur. Buna “geç mesial shift” denir (23).



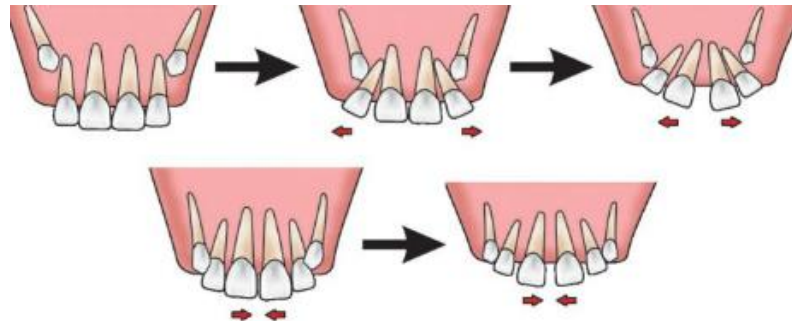
Şekil 2. 6. Geç mesial shift (27).

Alt ve üst kesici dişler genellikle daimi azı dişleri takiben sürerler. Dil, dudak ve yüz kasları arasındaki normal dengeli pozisyona labial olarak sürerler. Labial olarak sürmeleri, süt kesici dişlere göre daha büyük olan daimi keserlerin uyumuna yardımcı olur. Süt keserler arasında yaklaşık 150° olan interinsizal açı, labial açılanmayla birlikte daimi dişlerde 123°'ye düşer. Böylece ark çevresi uzunluğu artmış olur (27).



Şekil 2. 7. A) Daimi dişlerin labialden sürmesi B) Daimi ve süt dişleri arasındaki interinsizal açı (24).

Üst orta kesici dişler sürerken hafif distal eğimle çıkar. Çene içinde gömülü olan kanin dişlerinin kronları, gelişmekte olan yan kesicinin köklerine temas ederek kökleri mesiale doğru itebilir. Bu durum kuronların distale doğru açılmasına neden olur. Santral kesici dişlerin kökleri bu etkiyle birlikte birbirine yaklaşır. Böylece geçici bir orta hat diasteması oluşur. Daimi kanin dişin sürmesiyle beraber diastema kapanır. Tüm bu süreç “çirkin ördek yavrusu evresi” (Broadbent Fenomeni) olarak adlandırılır (24,27).



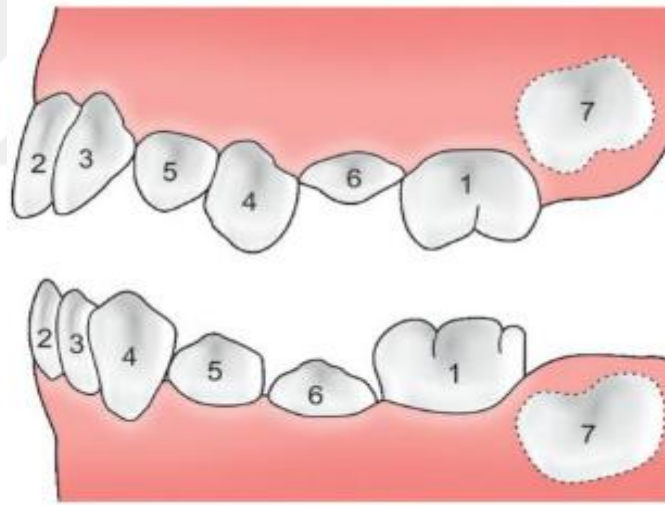
Şekil 2. 8. Çirkin ördek yavrusu evresi (16).

2.1.3.2. Ara Dönem

Bu dönemde daimi 1. büyük azı ve kesici dişler ile süt molar ve kanin dişler birlikte bulunmaktadır. Daimi diş köklerinin gelişimi devam ederken, süt dişlerinin fizyolojik rezorbsiyonu hızlanmaktadır. Çene arklarında alveol kemik yüksekliği artmaktadır. Süt dişleri kuronlarında aşınmalar gerçekleşmektedir (25,27)

2.1.3.3. Geç karışık Dişlenme

Daimi kanin, küçük azılar ve daimi 2. azı dişleri bu dönemde sürer. Oklüzyonun kurulması bu dönemde gerçekleşir. Sürme sıraları alt ve üst çenede farklılık gösterebilir. Mandibula için sürme sırası genelde (Şekil 1.8) 6-1-2-3-4-5-7 şeklindedir. Kanin dişlerin, küçük azılara göre erken sürmesi, ark çevresinin korunmasını sağlar ve kesici dişlerin linguale doğru eğilmesinin önüne geçer (16).



Şekil 2. 9. Alt ve üst çenede sürme sıraları (16). Üst çenede genel sürme sırası 6-1-2-4-5-3-7 ya da 6-1-2-4-3-5-7 şeklindedir.

2.1.4. Daimi Dişlenme Dönemi

Ağızda kalan son süt dişinin düşmesiyle birlikte daimi diş dönemine girilir. Üçüncü azılar dışındaki bütün daimi dişlerin sürdüğü dönemdir. Dişlerin sürmesi ve arklardaki uzamaya paralel olarak çenelerde de büyüme ve gelişme devam etmektedir (17).

2.1.5. Dişlerin Değişimini ve Oklüzyonu Etkileyen Dental Faktörler

Süt dişlenme döneminden daimi dişlenmeye sorunsuz bir geçiş olması normal bir oklüzyon gelişimi için büyük önem taşımaktadır. Dişlerin gelişim dönemlerinde daimi dişlerin düzgün sıralanmasını, dolayısıyla oklüzyonu etkileyebilecek yer kayıpları meydana gelebilmektedir. Yer kaybının yaygın sebepleri arasında; süt dişleriyle ilişkili faktörler, travma, daimi dişlerin ektopik sürmeleri ve konjenital olarak eksikliği, sürme gecikmeleri ve dental anomaliler gibi faktörler yer almaktadır (28). Süt dişlerindeki arayüz çürükleri veya süt dişlerinin erken düşmesi/çekimi nedeniyle mesio-distal yönde boşluk oluşur. Dişler de fizyolojik olarak hareket ederek bu boşluğu kapatma eğilimindedir. Bu da ark boyutunda kayba neden olabilmektedir. Daimi dişlerin sürmesi için gereken boşluk daralmış olmaktadır. Böylece çeşitli anomaliler meydana gelebilmektedir (29).

2.1.5.1. Süt Dişlerinin Erken Kaybı ve Etkileri

Süt dişlerinin düşmesi ve yerine daimi dişlerin sürmesi fizyolojik bir süreçtir. Süt dişlerinin düşme zamanından önce kaybedilmesi normal süreci bozarak dişlerin mesiale hareketine neden olmaktadır ve ark uzunluğunda kayba yol açabilmektedir. Bu durum daimi dişlenmede çapraşıklık, daimi dişlerin gömülü kalması ve benzeri şekilde maloklüzyon şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunları önlemenin en iyi yolu, süt dişlerini normal düşme zamanına ulaşana kadar arkta tutmaktır (2,30). Üst süt azı dişlerinin kaybı ve buna bağlı olarak meydana gelebilecek yer kaybı, oklüzyonun gelişimi için önemli rol oynamaktadır. Bu dişlerin işlevini, kaybolma sebeplerini ve diş yapısına olan etkilerini kavramak hem uzmanlar hem de önleyici tedavi arayan hastalar için son derece önemli olmaktadır (31). Daimi birinci büyük azı dişinin sürmüş olduğu bir ağızda, süt birinci azı dişinin erken kaybedilmesinin genelde bir yer kaybına neden olmayacağı bildirilmektedir. Çünkü birinci süt azı dişinin mesio-distal genişliği, yerine gelecek olan daimi birinci küçük azının mesio-distal genişliği ile benzerdir. Ancak daimi birinci büyük azı henüz sürmemişse, bu dişin sürmesi sırasında ikinci süt azı

dişinin mesiale doğru itileceği, böylece birinci süt azı dişinden kalan boşluğun daralacağı ve premolar dişin sürmesi için gerekli boşluğun sağlanamayacağı savunulmaktadır (32). Süt azı dişinin erken kaybında meydana gelebilecek yer değişiklikleri sürme sırasındaki farklılardan dolayı alt ve üst çenede farklılık göstermektedir. Alt çenede kaybın olmadığı, üst çenede ikinci süt azının kaybedildiği durumda, daimi birinci büyük azı dişinin mesiale kayması sonucu oklüzyon sınıf 2 ilişkiye geçmektedir. Tam tersi durumda ise alt çenede kaybedilen ikinci süt azı dişi nedeniyle alt birinci azı dişi mesiale kayarak normal oklüzyonu oluşturmaktadır. Normal oklüzyona gelen azı dişleri arasında kenetlenme sıkı olduğu durumda alt daimi azının daha fazla mesiale kayması engellenmektedir (33,34).

2.1.5.2. Süt Dişlerinin Erken Kaybı Durumunda Alınacak Önlemler

Süt dişlerinin, daimi dişlerin sürmesinde rehber görevi görmesi ve ileriki dönemlerde büyüme ve gelişmeye, oklüzyona etki etmesi varlığını önemli kılmaktadır. Bu yüzden süt dişlerinin fizyolojik olarak kaybedildiği durumlar dışında yerlerinin korunması daimi dişlenme döneminde oluşabilecek sorunların önüne geçmektedir (35). Erken süt diş kaybı durumunda yer tutucuların kullanımı, dişlerin düzgün sıralanmasını sağlamak ve çene yapısının gelişimini desteklemek açısından kritik öneme sahiptir. Yer tutucular daimi dişler sürene kadar süt dişlerinden kalan boşluğun korunmasını ve komşu dişlerin bu boşluğa hareketini engellemektedir. Böylelikle daimi dişlerin doğru pozisyonda sürmesi ve ark boyutlarında oluşabilecek azalmanın engellenmesi hedeflenmektedir. Yer tutucuların kullanımı ileride oluşabilecek ortodontik sorunları azaltmaktadır. Bu sebeple, erken süt dişlerini kaybeden çocuklar için yer tutucu kullanımı, diş sağlığını korumak adına etkili bir önleyici yöntem olarak kabul edilmektedir (35,36).

2.2. Yer Tutucular

Yer tutucular, henüz sürmemiş bir dişi uygun konumda yönlendirmek ve boşluğu korumak için kullanılan bir araçtır. Dişin erken kaybı sonrası, yer tutucular daimi dişin düzgün bir şekilde hizalanmasını sağlar ve oklüzyona ulaşmasına yardımcı olur. Yer tutucular hem estetiğe hem de fonksiyona yardımcı olmaktadır. Bu apareyler, koruyucu ve durdurucu ortodontinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (37). Yer tutucular oklüzyonun mevcut durumunu koruyarak ark çevresinin, uzunluğunun ve genişliğinin

korunmasını sağlamaktadır. Oklüzal düzlemin normal olarak oluşması için gerekli olan maymun diestamalarının kapatılmasını önlemektedir. Dişi olarak yapıldığında yer tutucular estetik bir görüntüye, çiğnemeye ve fonetiğe katkı sağlayabilmektedir (38).

2.2.1. Yer tutucu uygulamasının endikasyon ve kontrendikasyonları

Yer tutucular uygulaması yapılacağı zaman; çocuğun medikal durumu, mental gelişimi ve yaşı, ailenin sosyoekonomik durumu gibi genel faktörler göz bulundurularak değerlendirilmedir (39). Bunlar dışında lokal olarak değerlendirilmesi gereken endikasyon ve kontrendikasyonlar bulunmaktadır.

Yer tutucu endikasyonları:

- 1) Travma, çürük vb nedenlerle süt dişinin erken kaybedilmişse
- 2) Gelecekte yapılacak ortodontik tedaviye destek olmak isteniyorsa
- 3) Konjenital olarak eksik olan daimi dişlerin yerinin korunması isteniyorsa
- 4) Tek taraflı süt dişi kaybında orta hat kaymasının önlenmesi isteniyorsa
- 5) Karşı arkta kayıp diş varlığında supraerüpsiyonun önlenmesi isteniyorsa
- 6) Estetiği sağlamak ve böylece çocuktaki psikolojik etkileri azaltmak için
- 7) Çiğneme fonksiyonunu yeniden kazandırmak amacı varsa kullanılır.

Yer tutucu kontrendikasyonları:

- 1) Erken kaybedilen süt dişinin mesio-distal boyutu, yerine sürececek olan daimi diştten küçükse
- 2) Daimi dişin sürmesine 6 aydan az bir zaman kalmışsa veya radyografik olarak daimi dişin kökünün üçte ikisi tamamlanmışsa
- 3) Molar dişlerde mesiale hareket isteniyorsa
- 4) Ark-boyut uyumsuzluğu ileri düzeyde olan hastalarda
- 5) Oral hijyenin yeterli olmadığı hastalarda
- 6) Aile ve hastayla kooperasyon sağlanamıyorsa
- 7) Çürük riskinin yüksek olduğu hastalarda
- 8) Konjenital daimi diş eksikliği bulunan olgularda boşluğun ortodontik olarak kapatılması planlanıyorsa yer tutucu kullanımı kontrendikedir (40).

2.2.2. Yer tutucu planlamasını etkileyen faktörler

Yer tutucular yapılırken planlamada yapılacak bir hata oklüzyonda bozulmalar meydana getirebilir. Bu nedenle yer tutucu planlaması optimum şekilde yapılmalıdır (41). Planlama yapılırken çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Süt diş kaybı üzerinden geçen süre
- Mevcut yer
- Dişlerin sürme sırası
- Sürecek olan daimi diş üzerindeki kemik miktarı
- Kaybedilen süt diş yerine sürmesi gereken dişin konjenital olarak eksik olması
- Daimi dişin geç sürecektir olması
- Çocuğun diş yaşı
- Hasta velisinin yer tutucuların önemi hakkında bilgilendirilmesidir (30,35,36).

2.2.2.1. Süt diş kaybının üzerinden geçen süre

Yer kaybının en fazla olduğu dönem süt diş kaybının ardından ilk 6 aydır. Bu süre içinde alttaki daimi dişin sürmesi beklenmiyorsa yer tutucu bir an önce yapılmalıdır. Geç kalınırsa daimi azı dişinin mesiopalatinal yönde devrilmesiyle çekim boşluğu kısıtlanabilmektedir. Bu durumu ortodontik olarak düzeltmek oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle yer darlığı kendini göstermeden yer tutucuyu uygulamak önem arz etmektedir (42). Altta daimi dişin sürmesine olanak tanımayacak şekilde yer darlığı olmuşsa, yer tutucu endike değildir. Yer darlığı oluşmuş ancak daimi dişin sürmesi için hala yeterli alan var ise yer tutucu uygulaması endikedir (43).

2.2.2.2. Mevcut yer

Mevcut olan çekim boşluğu yer tutucu planlamasındaki en önem arz eden etken olmaktadır. Mevcut olan yer miktarı; oklüzal ilişkiler, çene ve kaslardaki hareketler, arayüz çürükleri, daimi dişlerin sürme zamanları gibi faktörlerden etkilenebilmektedir

(44). Mevcut yerin oluşum nedeni belirlenmeli ona göre yer tutucu endikasyonu değerlendirilmelidir. Gelişim yetersizliği nedeniyle oluşan boşluklar için öncelikli tercih yer kazanımı olmalıdır. Çürük, çekim gibi nedenlerle meydana gelmişse yer tutucu düşünülmelidir (45).

2.2.2.3. Dişlerin sürme sırası

Yer tutucu planlaması için boşluğun hangi çenede olduğu, daimi dişlerin sürdüğü sıra önemli olmaktadır. Örnek olarak; ikinci süt büyük azı dişinin erken kaybedilmesi durumunda, daimi ikinci büyük azı diş ikinci küçük azı dişinden önce sürerse, ikinci büyük azı dişinin sürme kuvvetiyle, daimi birinci büyük azı mesiale doğru hareket edebilmekte ve çekim boşluğunda daralma meydana gelebilmektedir. Dişlerin sürme sırasının bilinmesi, yer tutucu uygulamasının planlanmasını, çeşidini ve gerekli olup olmadığının belirlenmesini etkileyebilmektedir (45).

2.2.2.4. Sürecek olan daimi diş üzerindeki kemik miktarı

Sürecek olan daimi diş germi üzerinde kemik yoksa yer tutucu yapmaya gerek olmamaktadır. Çünkü dişin yakın zamanda sürmesi beklenmektedir. Daimi diş üzerinde kemik olmaması, dişin sürme yaşı geldiği için olabildiği gibi enfeksiyon nedeniyle kemiğin ortadan kalkmasıyla da meydana gelebilmektedir (44,46). Bu durumda dişin sürmesi hızlanacağından yine yer tutucu yapmaya gerek olmamaktadır. Daimi diş üzerindeki her 1mm'lik kemik varlığı, 6 aylık bir süreye denk gelmektedir (43).

2.2.2.5. Kaybedilen süt dişi yerine sürmesi gereken dişin konjenital olarak eksik olması

Altında daimi diş germi bulunmayan bir süt dişinin erken kaybedilmesi, maloklüzyon oluşma olasılığı doğurmaktadır. Böyle bir durumda ortodontik tedaviyle boşluğun kapatılması veya boşluğun korunarak ileride protetik tedaviler yapılması gibi tedavi seçenekleri bulunmaktadır. Boşluğun korunması tercih edildiğinde yer tutuculardan yararlanılmaktadır (47).

2.2.2.6. Daimi dişin geç sürecek olması

Daimi dişler çeşitli faktörlerden ve bunların kombinasyonlarından etkilenecek geç sürebilmektedir. Bu faktörler arasında; arkta bulunan çarpışıklık, süpernumere diş varlığı, oklüzal bir engelin bulunması (overerüpsiyon), süt dişi ankilozu veya

retansiyonu bulunmaktadır (45,46). Böyle bir durumda, daimi diş sürene ve normal konumuna gelene kadar çekim boşluğunu korumak amacıyla yer tutucu yapılabilir (43).

2.2.2.7. Çocuğun diş yaşı

Hasta yaşı ile diş yaşı her zaman paralellik göstermemektedir. Bu nedenle yer tutucu endikasyonu koyulurken hastanın yaşından ziyade diş yaşına bakılması gerekmektedir. Radyolojik ve klinik incelemeler sonucunda ağızda hangi dişlerin sürdüğü, sürmekte olduğu; henüz sürmemiş dişlerin ise kök gelişimine bakılarak ne zaman süreceği hakkında tahminde bulunulmaktadır. Bütün bunlar çocuğun diş yaşı hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Daimi dişlerin aktif olarak sürmesi, kök gelişiminin yaklaşık yarısı ile üçte ikisi tamamlandıktan sonra başladığı bildirilmiştir. Bu şekilde aktif sürme döneminde olduğu düşünülen daimi dişin üzerindeki kemik miktarı da engel oluşturmayacak miktardaysa, süt dişinin çekiminden sonra yer tutucu yapılmasına gerek olmamaktadır. Çünkü daimi diş, süt dişinin çekiminin ardından kısa bir süre içinde sürecektir (43).

2.2.2.8 Hasta velisinin yer tutucuların önemi hakkında bilgilendirilmesi

Uzun dönemde yer tutucuların başarılı olabilmesi için hasta velilerinin iş birliği önemli olmaktadır. Yer tutucu yapma amacı, yapılmazsa neler olabileceği, veliye detaylı bir şekilde anlatılmalıdır. Yer tutucunun kullanım şekli ve oral hijyenin önemi de veliye aktarılarak iş birliği sağlanmalıdır (48). Yer tutucu kullanımının, gıda birikimi ve plak tutulumunu artırması çürük riskinin artmasına da neden olmaktadır. Bu sebeple, hasta velilerine bu risk hakkında bilgi verilmeli, uygun bir diyet programı yapılmalı ve oral hijyen önlemleri alınmalıdır (49).

2.2.3. Yer tutucuların sınıflandırılması

Yer tutucular çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Fonksiyonlarına göre; fonksiyonel olanlar ve fonksiyonel olmayanlar
- Dişlere uyguladıkları kuvvetlere göre aktif ve pasif olanlar
- Kullanım durumlarına göre; sabit ve hareketli yer tutucular şeklindedir.

Genel olarak kullanılan ana sınıflandırma, sabit ve hareketli yer tutuculardır. Sabit yer tutucular da kendi arasında alt başlıklara ayrılmaktadır (50,51).

2.2.3.1. Sabit yer tutucular

Dişsiz boşluğa komşu dişe simante edilerek yapılan, ortodontik tel ve bantlardan oluşan yer tutuculardır. Tek taraflı ve eksik diş sayısı az olan, kooperasyonun zayıf olduğu vakalarda bu tür yer tutucular tercih edilmektedir. Sabit yer tutucu tipi, yer tutucunun simante edileceği dişlerin hangi çenede bulunduğuna ve arktaki konumuna bağlı olarak değişmektedir. Bunlar:

- Band-loop yer tutucu
- Kron-loop yer tutucu
- Distal uzantılı aparey (Distal shoe retainer)
- Nance apareyi
- Transpalatal ark
- Lingual ark
- Kompozit Rezin ile Yapıştırılan Farklı Sabit Yer Tutucular (22,30).

Sabit yer tutucuların avantajları:

- Destek aldığı dişin düşmesine ve sürmesine etkisi bulunmamaktadır
- Kooperasyonun başarıya etkisi yoktur.
- Sürecek olan daimi dişi etkilememektedir.
- Çenelerin büyümesini etkilememektedir (15).

Sabit yer tutucuların dezavantajları:

- Plak birikiminin kolaylaşmasıyla, gingivitis ve çürük oluşumunda artış gözlenebilmektedir
- Uygun olmayan yer tutucular nedeniyle destek alınan dişlerden istenmeyen hareketler gerçekleşebilmektedir
- Yer tutucu zamanla desimante olabilmektedir
- Minede demineralizasyon izlenebilmektedir

- Bandın zamanla dişetine gömülmesiyle yumuşak dokuda zedelenme meydana gelebilmektedir
- Yer tutucu metal yorgunluğu ya da tüketilen besin çeşidine bağlı olarak kırılabilir (33,52,53).

2.2.3.1.A. Band-loop yer tutucular

Karışık dişlenme veya süt dişlenme dönemlerinde; arkın tek bir tarafında bir tane süt azısının erken kaybı halinde kullanılmaktadır (54). Bant-loop yer tutucular düşük maliyetlidir ve kolaylıkla uygulanabilir. Bunların yanında düzenli bakım ve kontrol gerektirmesi, sabitlendiği dişte çürüğe neden olabilmesi, oklüzal olarak fonksiyon karşılamaması gibi dezavantajları vardır (15,43). Bu apareyler, dişsiz boşluğun distalindeki daimi dişe veya 2. süt azı dişine simanla sabitlenen bir bant ve buna lehimlenen, boşluğun mesialindeki dişe dayanarak destek alacak şekilde hazırlanan bir telden oluşmaktadır (29,51).

Endikasyonları:

- Daimi birinci büyük azı dişinin henüz ağızda olmadığı, birinci süt azının kaybedildiği durumlarda
- Tek süt dişinin kaybedildiği durumlarda
- Hastanın ileriki dönemlerde ortodontik tedavi gerektirecek maloklüzyonlarının bulunmaması
- Daimi birinci azıların ağızda daimi kesicilerin ise henüz ağızda olmadığı, süt azılardan herhangi birinin tek veya çift taraflı kayıp olduğu durumlarda endikedir (29,51,55).

2.2.3.1.B. Kuron-loop yer tutucular

Dişsiz boşluğa komşu olan destek dişte fazla madde kaybı varsa ve ideal bir restorasyon planlanamıyorsa bu yer tutucu tercih edilmektedir. Destek dişe uygulanan kuron ve buna lehimlenen, diğer komşu dişe dayanarak destek alan telden oluşmaktadır. Destek alınan dişin kuronlanmasıyla, çürüğe yatkınlık dezavantajı ortadan kalkmaktadır. Bu yer tutucunun en büyük problemi, kırılma gibi bir durumla karşı karşıya gelindiğinde

tamirinin yapılamamasıdır. Bu durumda aparey yapımının tekrarlanması gerekebilmektedir. Diğer bir çözüm ise kuron üzerine band yerleştirilerek, band-loop yer tutucuya dönüşümün sağlanmasıdır (56).

2.2.3.1.C. Distal uzantılı aparey (Distal shoe retainer)

Daimi birinci büyük azı dişi sürmeden önce, ikinci sütazı dişleri kaybedilirse bu yer tutucular kullanılır (22). Dişsiz boşluğun distal hizasına denk gelecek şekilde dişetine ve alveole gömülen bir parçası bulunmaktadır. Buradaki amaç daimi birinci büyük azının mesiale doğru hareketini önlemektir. Bu parça süt 1.azı dişine simante edilen bir bantla lehimlenmektedir (57,58). Bu yer tutucu yapılırken anestezi yapılmalı, invaziv bir işlem olduğundan enfektif endokardit riskine dikkat edilmelidir (59). Bu yer tutuculara sahip hastalar için oral hijyene dikkat etmek çok önemlidir. Daimi birinci büyük azı sürüldükten sonra, distal uzantılı aparey başka uygun bir yer tutucuyla değiştirilmelidir (29).

2.2.3.1.D. Alt çene lingual arkı

Alt çenede çift taraflı olarak süt azı dişlerinin kaybında kullanılmaktadır. Bu aparey sadece daimi birinci molarlar ve alt daimi keser dişler ağızdayken yapılabilmektedir. Aksi takdirde süt keserlerin lingualinde konumlanmış olan daimi keserlerin sürmesini engelleyebilmektedir. Daimi keserlerin henüz sürmediği durumlarda iki taraflı olarak band veya kuron loop kullanılmaktadır (29). Lingual ark daimi birinci azılara ya da ikinci süt azılara simante edilen band ve bunlara lehimlenen telden oluşmaktadır (43). Bu apareyler, karşıt çenedeki dişlerden de destek alabildiğinden stabil ve etkili bir yer tutucu olmaktadır (22,29). Lingual arklar, çeşitli elemanlar eklenerek veya bükümler yapılarak aktifleştirilebilmekte ve çeşitli modifikasyonlarda kullanılabilmektedir (15,60).

2.2.3.1.E. Nance apareyi

Nance apareyi, lingual arkın üst çenedeki versiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Kesici dişlere uzakta konumlandığından süt dişlenme dönemindeki yer tutucu ihtiyaçlarına da cevap vermektedir. Üst çenede erken süt diş kaybı nedeniyle oluşan yer darlığı azı dişlerin migrasyonundan kaynaklanmaktadır. Nance apareyleri tam olarak bunu önlemek için tasarlanmıştır (43,45). Nance apareyi, arkın her iki tarafında dişsiz boşluğun distalindeki süt veya daimi azılara sabitlenen bant ve bunlara lehimlenen

telden (0.9 mm) oluşmaktadır. Arkın iki tarafından gelen teller palatal rugalar bölgesinde damakla temasta olan bir akrilik butonla birleşmektedir (29,51). Akrilik butonun amacı telin palatal mukozaya gömülmesine engel olarak, molar dişlerin mesiale doğru devrilmesini önlemektir. Nance apareyi; alışkanlık kırıcı olarak, ankraj arttırmak için ve keser diş eksikliğinde diş eklenerek farklı amaçlarla da kullanılabilir (29,61). Bu aparey, damaktaki akrilik teması nedeniyle doku irritasyonuna ve hiperplazisine neden olabilmektedir. Uzun dönemde kullanıldığında damak dokusuna gömülmeler gözlenebilmektedir. Bu nedenle ağız hijyenine dikkat edilmeli, düzenli olarak kontrollerinin yapılması gerekmektedir (22,29).

2.2.3.1.F. Transpalatal ark (TPA)

Nance apareyine benzer şekilde, lingual arkın üst çenede kullanılan versiyonudur. Transpalatal ark (TPA); çiğneme kuvvetlerinin etkisiyle daimi birinci büyük azı dişlerin palatinal kökleri üzerinde rotasyon hareketi getirmesiyle oluşacak yer kaybını engellemeyi amaçlamaktadır (29,43). Bu aparey, daimi birinci büyük azı dişlerine yerleştirilen bantlar ve bu bantlara lehimlenen, transpalatal olarak her iki tarafa uzanan, dokudan 2-3 mm uzakta olacak şekilde teması olmayan telden oluşmaktadır (29,43,45,51). TPA, palatal mukozaya teması olmadığı için doku irritasyonuna sebep olmamaktadır ve gömülme izlenmemektedir (22,29). TPA'nın bir diğer avantajı da daimi azı dişlerin dikey boyutunu korumaya katkısıdır. Daimi azı dişlerin aşırı sürmesine ve devrilmesine engel olmaktadır. İkinci süt azı dişlerin her ikisinin de erken kaybedildiği durumlarda TPA'nın kullanımı tartışmalı bir konudur. Özellikle daimi ikinci azıların erken sürmesi TPA'nın etkinliğini azaltabilmektedir. Bazı çalışmalar TPA kullanımının tek taraflı süt azı kayıplarında sınırlandırılması gerektiğini savunmaktadır (5,45,48).

2.2.3.1.G. Kompozit rezin ile yapıştırılan farklı sabit yer tutucular

Bu yer tutucular dişsiz boşluğa komşu dişlere kompozit rezin kullanılarak tutturulmasıyla hazırlanmaktadır. Tutuculuklarının artırılması için mekanik aşındırma, asitlendirme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yer tutucuların uzun dönem başarısı; hastanın oral hijyeni düzeyi, uygulama sırasındaki izolasyon, kullanılan bond ve kompozit çeşidi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu yer tutucular; ortodontik telden oluşan direkt bonded yer tutucular, fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinle

uygulana yer tutucular, paslanmaz çelik kuronun vestibül yüzüne açılan pencereye yapııştırılan yer tutucular ve EZ space maintainer olarak sınıflandırılmaktadır (35,52).

2.2.3.2. Hareketli yer tutucular

Hareketli yer tutucular hem karma hem de süt dişlenme döneminde kullanılabilir. Tek veya çift taraflı olarak çoklu diş eksiklerinde tercih edilmektedirler. Hareketli yer tutucuların sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için hem hastanın hem de hasta velisinin iş birliğine ihtiyaç bulunmaktadır (2,62). Fonksiyonel hareketli apareyler kullanıldığında, oklüzal fonksiyon sağlanabilir. Daimi dişler sürmeye başladığında hareketli yer tutucudaki akrilik aşındırılarak modifiye edilmelidir. Hareketli yer tutucuların maliyeti sabit olanlara göre daha fazladır. Uzun vadede doku iritasyonuna yol açabilmesi, ağızda çok yer kaplaması ve kolayca kaybolabilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Zamanla retansiyonu azalabileceği için düzenli kontroller yapılması gerekmektedir (63,64).

2.3. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

Sonlu elemanlar analizi deneysel olarak çözümlenmesi zahmetli olan durumların bilgisayar yardımıyla çözülüp matematiksel olarak hesaplanmasını sağlayan bir analiz yöntemidir. Uzun yıllardır mühendislik başta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi, ağız içindeki biyomekanik süreçlerin daha iyi anlaşılması ve etkili tedaviler yapılabilmesi için, diş hekimliğinde de uzun süredir yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (65). Bu analiz yöntemi, çeşitli kuvvetler uygulandığında periodontal ligament ve alveol kemikteki gerilimleri, bunların dağılımını ve bunların etkisiyle meydana gelebilecek diş hareketlerini simüle edebilmektedir (66,67).

2.3.1. Sonlu elemanlar analiziyle ilgili kavramlar

2.3.1.1. Kuvvet

Cisimlerde etki oluşturabilen; şiddeti, yönü, doğrultusu olan vektörel bir büyüklüktür. Kuvvet, temasta olan iki cisim arasında olabildiği gibi aralarında mesafe olan iki cisim arasında da olabilmektedir (68,69).

2.3.1.2. Gerilme (Stres)

Deforme edici bir dış kuvvete karşı üretilen, uygulanan kuvvetle ters yönde ancak aynı büyüklükte olan iç direnç gerilme (stres) olarak ifade edilmektedir. Dışarıda gelen kuvvet de sebep olduğu stres de belirli bir yüzey alanına dağıldığından; stres birim alan başına düşen kuvvet şeklinde hesaplanmaktadır (12). Üç temel stres tipi bulunmaktadır:

- Çekme gerilimi; bir cisim aynı hat üzerinde ancak farklı yönlerde hareket eden iki kuvvete maruz kaldığında ortaya çıkan, bu kuvvetlerin neden olduğu deformasyona karşı oluşan tepkidir.
- Basınç gerilimi; bir cisme aynı yönde ancak farklı yönlerde etki eden iki kuvvetin neden olduğu stres ifade etmektedir.
- Makaslama gerilimi; bir cisme etki eden iki farklı karşıt kuvvetin oluşturduğu gerilimi ifade etmektedir.

2.3.1.3. Gerinim (Strain)

Belli bir kuvvetin birim boyutunda meydana getirdiği değişikliği ifade etmektedir. Meydana gelen bu değişimin, normal boyuta olan oranıyla gerinim elde edilmektedir. Gerinim, gerilimden farklı olarak bir büyüklüğü olan skaler bir niceliktir (70,71). Kuvvete maruz kaldıkları zaman cisimlerde meydana gelen boyutsal değişiklik iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar elastik ve plastik deformasyonlar olarak adlandırılmaktadır. Elastik deformasyon; etki eden kuvvet ortadan kalktığında eski hale dönebilmeyi ifade ederken, kuvvet ortadan kalktığında cismin orijinal halini koruyamaması plastik deformasyonu ifade etmektedir (72).

2.3.1.4. Eleman (Element)

Sonlu elemanlar analizi sistemin tanımlayıcı bölgesinin geometrik şekillere bölünmesi ile elemanlar oluşmaktadır. Elemanlar, düğümler olarak bilinen belirli sitelerde bilinmeyen değerler olarak temsil edilmektedir. Gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek için eleman sayısı arttırılmaktadır. Elemanların sayısını arttırmak, daha gerçeğe yakın ve doğru sonuçlara yol açmaktadır. Elementler; boyutlarına (tek, iki, üç boyutlu), geometrik şekillerine (üçgen, dörtgen vb.), ve sahip oldukları düğüm sayısına göre ayrılmaktadır (73,74).

2.3.1.5. Dügüm noktası (Node)

Sonlu elemanlar analizinde, elemanlar belirli konumlarda birleştirilir. Bu konumlar düğüm noktası (node) olarak adlandırılmaktadır. Dügüm noktalarında oluşan değişiklikler elemanların gerilmelerini diğer elemanlara aktarmaktadır. Bu nedenle düğüm noktalarının belli noktalardan sabitlenmesi gerekmektedir (73).

2.3.1.6. Elastisite modülü

Bir materyalin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirence denmektedir ve gerilme/gerinim oranı kullanılarak hesaplanmaktadır. Elastisite modülü ne kadar yüksek olursa, uğranan deformasyon derecesi o kadar az olmaktadır (75).

2.3.1.7. Poisson oranı

Bir cisme çekme kuvveti uyguladığında elastik sınırlar içinde uzamaktadır. Sıkışma kuvveti uygulandığında ise kısalmaktadır. Bir cismin enine deformasyon/boyuna deformasyon oranı poisson oranı olarak ifade edilmektedir. Poisson oranı her bir materyal için 0- 0.5 arasında değişmektedir (75).

2.3.1.8. Ağ yapısı (Mesh)

Ağ yapısı, düğümlerin ve elemanların koordinatlarını oluşturmaktadır. Ağ yapısı kullanıcı tarafından manuel veya otomatik olarak yapılabilir. Ağ yapısı oluşturulurken birim başına daha fazla eleman eklemek verimliliği artırmaktadır. Önemli ölçüde element içeren veya içermesi beklenen bölgelerde birim alana düşen element sayısı kendi sınırları içinde önemli farklılıklar göstermektedir. Kilit nokta modeli daha küçük parçalara ayırabilmek için gereken en etkili yöntemi belirlemektir. Ağ yapısı oluşturma işlemi bittikten sonra, hareketsiz noktaları ve kuvvetin uygulandığı yerleri belirtmek için sınır koşulları belirlenmektedir (76).

2.3.1.9. Sınır koşulları (Boundary Conditions)

Sınır koşulları, sınırlardaki gerilmelerin ve yer değiştirmelerin sınırlarını kapsamaktadır. Kuvvetin uygulandığı yeri ve sabitleme noktasının yerini göstermektedir. Sınır koşulları belirlenirken analizi yapılan cismin hangi bölgesine kuvvet uygulanacağı dikkate alınmaktadır (76).

2.3.2. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan stres tipleri

2.3.2.1. Von mises stresleri

Cisimlere uygulanan kuvvetler farklı boyutlarda ele alınmaktadır. Üç boyutlu olarak ele alındığında x , y ve z düzlemlerinde herhangi bir noktada üç sıkışma stresi oluşmaktadır. Bu üç stresin kombinasyonu von mises stresini ifade etmektedir (77,78).

2.3.2.2. Principle stres

3 boyutlu bir cisimde tüm bileşenlerin makaslama değeri sıfır olduğunda, en büyük stres değeri oluşmaktadır. Bu durumda, cismin maruz kaldığı normal streslere "principle stres" denmektedir. Bu stresler, x , y ve z düzlemlerinde oluşmaktadır. En yüksek gerilme değerine sahip ve daima pozitif olan değer "maksimum principle stres" ara değerlere sahip değer "ara principle stres", değeri her zaman negatif olan sıkıştırma değeri ise minimum principle stres olarak adlandırılmaktadır (79).

2.3.3. Sonlu elemanlar analizinin aşamaları

2.3.3.1. Analiz öncesi aşama

İncelenecek olan yapının üç boyutlu modelinin yapılması için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Bu fazda yapının alansal, hacimsel, noktasak ve çizgisel olarak geometrisinin sunulması amaçlanmaktadır. Oluşturulan bu ağ yapı sonlu elemanlar denilen ve birbirleriyle düğüm noktalarıyla bağlanan alt bölümlere ayrılmaktadır. Bağlandıkları düğüm noktaları sınır koşullarını oluşturmaktadır (73,80).

2.3.3.2. Analiz aşaması

Oluşturulan yapı üzerindeki elemanların özellikleri ve koşullarının belirlendiği aşamadır. Elastisite ve poisson oranları kullanılmaktadır. Daha sonra kuvvetle ilgili özellikler belirlenmektedir (81).

2.3.3.3. Analiz sonrası aşama

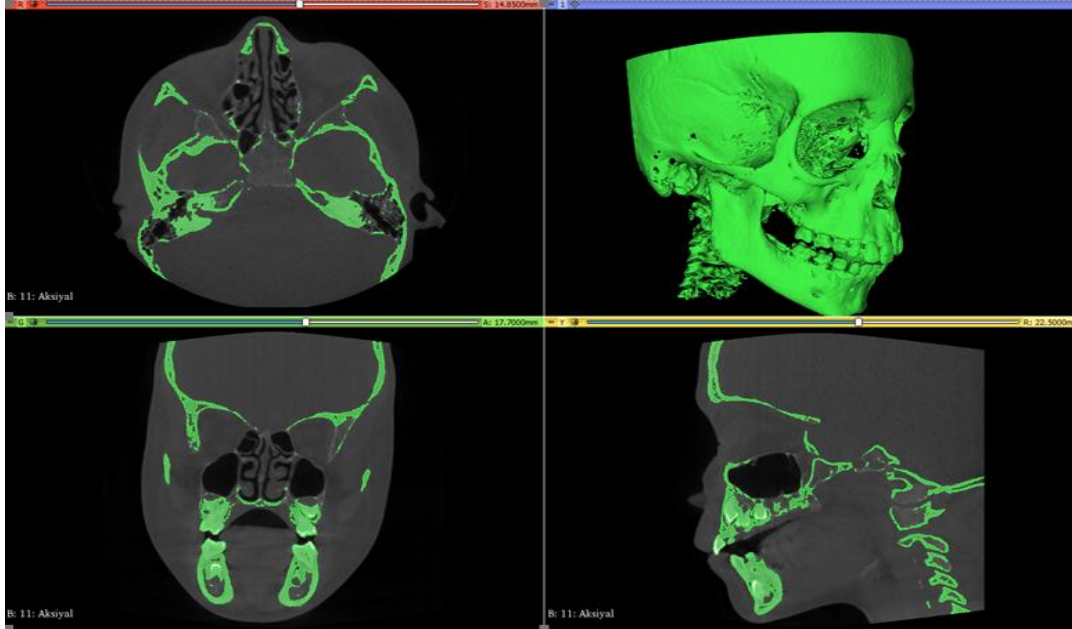
Analiz sonrası elde edilen stres ve yer değiştirme gibi değerler değerlendirilmeye alınmaktadır. Elde edilen verilerin değerlendirmesi incelenen yapının tipine göre yapılmaktadır. Çekilebilir yapılar (metal vb.) Von mises stresler, kemik, porselen gibi kırılğan yapılar için ise principle stresler kullanılmaktadır (73,81).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve Tinus Technologies iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi ve matematiksel anlamda uygun katı ağ yapısına dönüştürülmesi, üç boyutlu sonlu elemanlar analizi modellerinin oluşturulması ve sonlu elemanlar stres analizi işlemi; 2.40 GHz saat hızında INTEL Xeon E-2286 işlemcili, 64 GB ECC belleğe sahip HP iş istasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Tomografi verisinden .stl modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır. Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri ANSYS Spaceclaim (ANSYS INC., Canonsburg, PA, USA) yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması faaliyetleri ANSYS Workbench (ANSYS INC., Canonsburg, PA, USA) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için LS-DYNA (LSTC, Livermore, CA, USA) çözücüsü kullanılmıştır.

3.1. Kortikal Kemik, Trabeküler Kemik, Diş ve Periodontal Ligamentin Modellenmesi



Şekil 3. 1. Tomografi verileri

Çalışmada kullanılan maksiller kemik ve diş modellerinin oluşturulmasında, daha önce elde edilen bir tomografi görüntüsünden yararlanılmıştır. Tomografi verisi 0.1 mm kesit

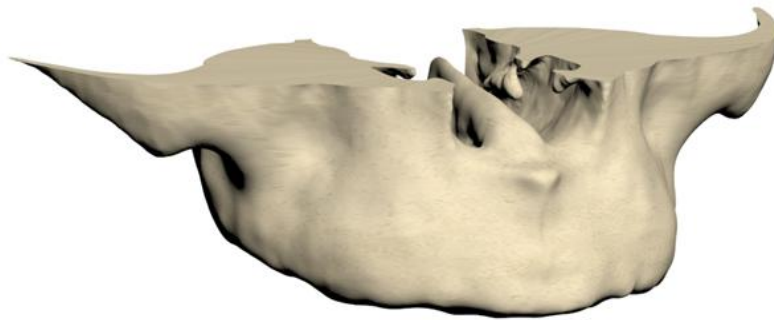
kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen tomografi verileri DICOM (.dcm) formatında 3DSlicer yazılımına aktarılmıştır. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatındaki CT verisi 3DSlicer yazılımında uygun Hounsfield değerlerine göre ayrıştırılarak, segmentasyon işlemi ile üç boyutlu modellere dönüştürülmüştür. Modeller, .stl (3 boyutlu baskı formatı) formatında dışa aktarılmıştır.

Üç boyutlu model ANSYS (Swanson Analysis Systems) Spaceclaim yazılımına aktarılmıştır ve burada maksiller kemik ve dişler modellenmiştir.

Maksiller kemik modeline içeri yönde 2 mm offset verilerek kortikal kemik modeli oluşturulmuştur. Kalınlığı ayarlanan üç boyutlu kortikal kemiğin iç yüzeyi referans alınarak trabeküler kemik elde edilmiştir.

Dişlerin dış yüzeyine dışarı doğru 0.25 mm offset verilerek 0.25 mm kalınlığında periodontal ligament modelleri oluşturulmuştur.

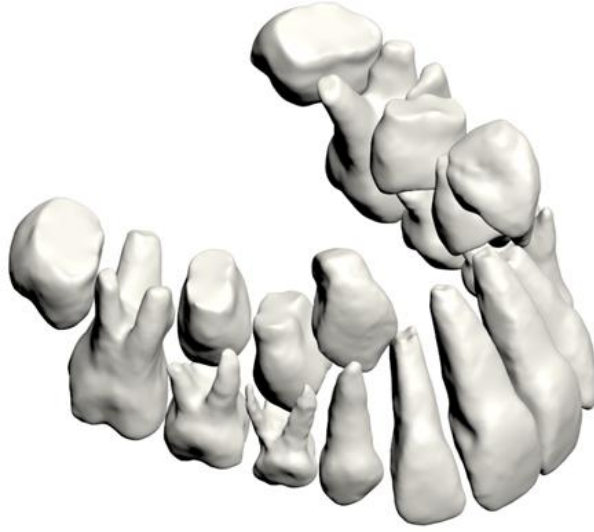
Hazırlanan tüm modeller ANSYS Spaceclaim yazılımında 3 boyutlu uzayda doğru koordinatlara yerleştirilip modelleme işlemi tamamlanmıştır.



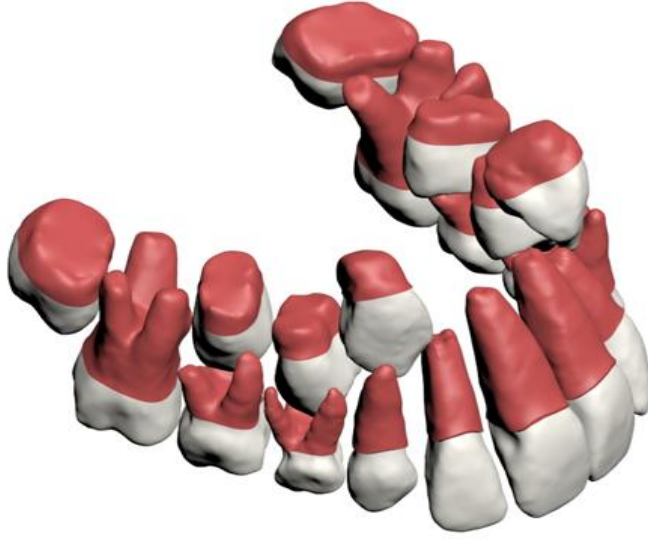
Şekil 3. 2. Kortikal Kemik



Şekil 3. 3. Trabeküler kemik



Şekil 3. 4. Dişler



Şekil 3. 5. Periodontal ligament (PDL)

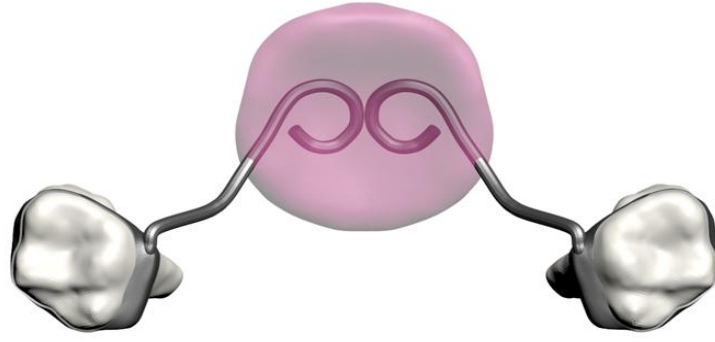
3.2. TPA ve Nance Apareyinin Modellenmesi ve Çalışma Modellerinin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan TPA Apareyi ve Nance Apareyi elde edilen kemik ve diş modeline göre ANSYS Spaceclaim yazılımında modellenmiştir.

Modeller arasında kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için ANSYS Workbench yazılımında mesh yapıları arasında uyumlandırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3. 6. TPA modeli



Şekil 3. 7. Nance Apareyi modeli

3.3. Çalışma Modellerinin Oluşturulması

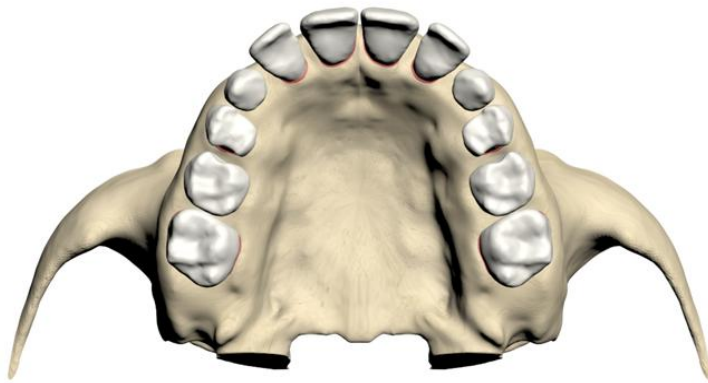
Çalışmada, iki farklı aparey ve molar süt dişlerinin eksikliği kombinasyonları sonucunda 10 farklı ana model elde edilmiştir. Bu modeller, sonlu elemanlar analizi kapsamında değerlendirilmiştir. Her bir model, ilgili kombinasyonların etkilerini incelemek amacıyla tasarlanmıştır.

Çalışmamızdaki senaryolar belirlenirken, her bir senaryoda kayıp dişler içerisinde en az bir ikinci süt azısının olmasına dikkat edilmiştir. Bunun nedeni, ikinci süt azı dişlerinin erken kaybı sonucu oluşan ark uzunluğu uyumsuzluklarının, birinci süt azı dişlerinin erken kaybıyla ilişkili olanlardan daha çarpıcı olmasıdır.

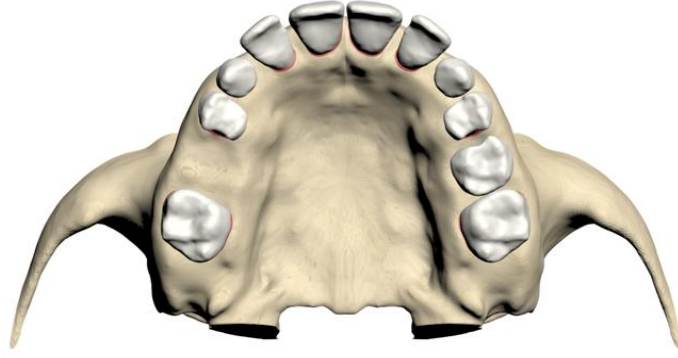
1. senaryoda tüm dişlerin ağızda olduğu bir modelleme oluşturulmuştur. 2,3 ve 4. senaryoda tek taraflı olarak ikinci süt azısının kaybı ele alınmıştır (Sağ veya sol olmasının sonuçları etkilemeyeceği düşünülerek taraf seçimi rastgele yapılmıştır). Buna ilaveten oluşturulan modellere 3. senaryoda TPA, 4. senaryoda nance apareyi uygulanmıştır. 5 ,6 ve 7. modelde ise çift taraflı ikinci süt azılarının eksik olduğu bir modelleme yapılmıştır. 6. senaryoya TPA, 7. senaryoya nance apareyi eklenmiştir. 8,9 ve 10. senaryolarda ise tek taraflı olarak hem birinci hem de ikinci süt azı dişlerinin eksik olduğu bir modelleme oluşturulmuştur. 9. senaryodaki modele TPA, 10. senaryodaki modele nance apareyi uygulanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3. 1. Model ve senaryolar

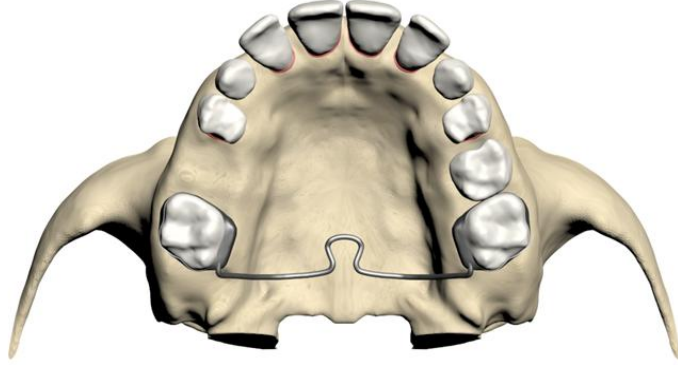
	Eksik Dişler	TPA Apareyi	Nance Apareyi
Model 1	-	-	-
Model 2	Sağ Süt 2.Molar	-	-
Model 3	Sağ Süt 2.Molar	Var	-
Model 4	Sağ Süt 2.Molar	-	Var
Model 5	Sağ Süt 2.Molar, Sol Süt 2.Molar	-	-
Model 6	Sağ Süt 2.Molar, Sol Süt 2.Molar	Var	-
Model 7	Sağ Süt 2.Molar, Sol Süt 2.Molar	-	Var
Model 8	Sağ Süt 1.Molar, Sağ Süt 2.Molar	-	-
Model 9	Sağ Süt 1.Molar, Sağ Süt 2.Molar	Var	-
Model 10	Sağ Süt 1.Molar, Sağ Süt 2.Molar	-	Var



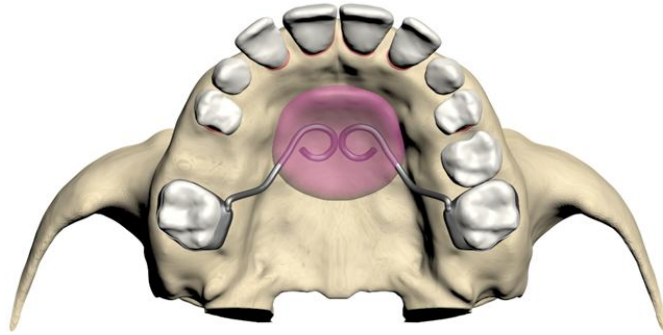
Şekil 3. 8. Birinci senaryo için tasarlanan model (model 1)



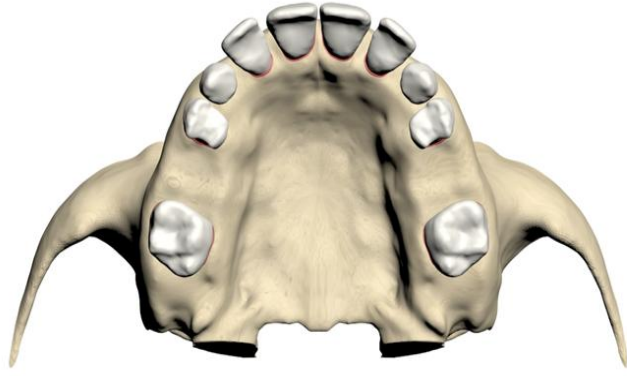
Şekil 3. 9. İkinci senaryo için tasarlanan model (model 2)



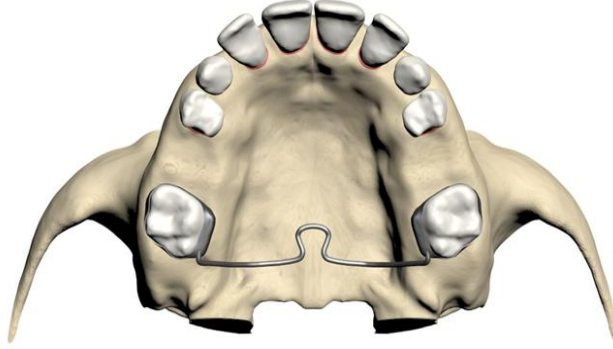
Şekil 3. 10. Üçüncü senaryo için tasarlanan model (Model 3)



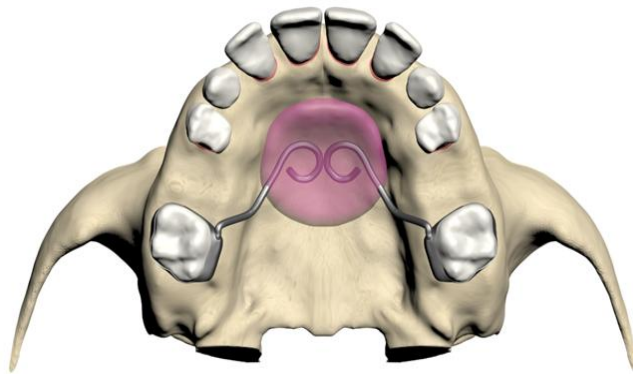
Şekil 3. 11. Dördüncü senaryo için tasarlanan model (Model 4)



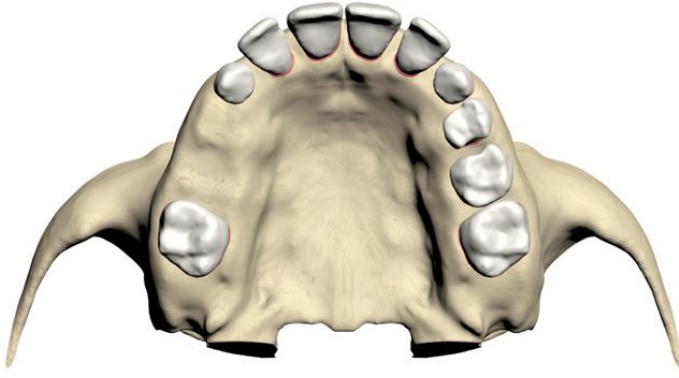
Şekil 3. 12. Beşinci senaryo için tasarlanan model (Model 5)



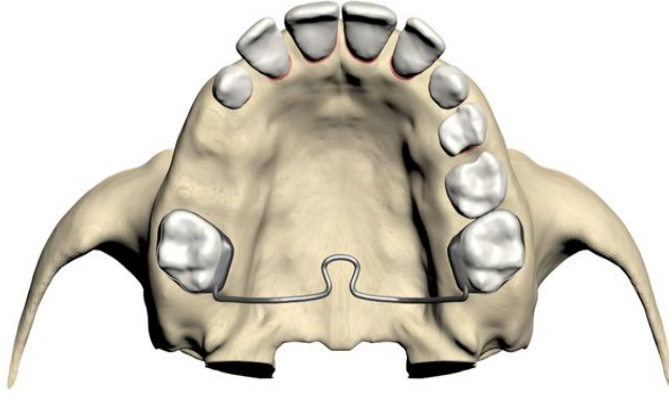
Şekil 3. 13. Altıncı senaryo için tasarlanan model (Model 6)



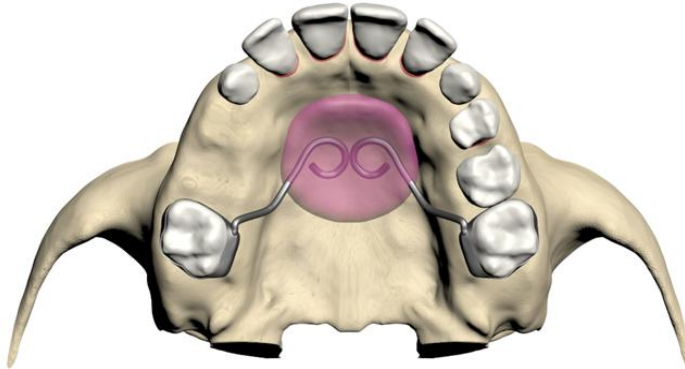
Şekil 3. 14. Yedinci senaryo için tasarlanan model (Model 7)



Şekil 3. 15. Sekizinci senaryo için tasarlanan model (Model 8)



Şekil 3. 16. Dokuzuncu senaryo için tasarlanan model (Model 9)

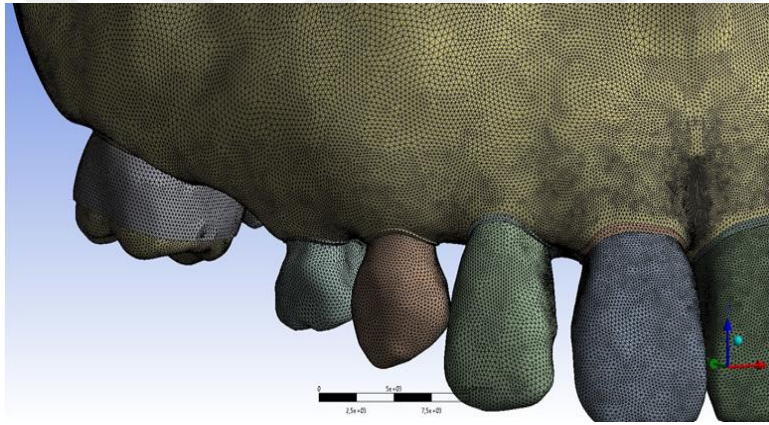


Şekil 3. 17. Onuncu senaryo için tasarlanan model (Model 10)

3.4. Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi

Matematiksel modeller, geometrik modellerin mesh adı verilen basit ve küçük parçalara bölünmesiyle oluşmaktadır. ANSYS Spaceclaim yazılımında modelleme işlemi tamamlandıktan sonra modeller ANSYS Workbench yazılımıyla matematiksel olarak oluşturulup analize hazır hale getirilmiştir. Çalışmada matematiksel modeller (mesh yapıları) oluşturulurken 0.1-0.25 mm aralığında (oldukça hassas) tria (üçgen) mesh boyutları kullanılmıştır. Tüm modellerin yüzey mesh'leri tria adını verilen üçgen mesh'ler ile mesh'lendikten sonra, objelerin katı mesh'leri tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) tipte katı mesh ile oluşturulmuştur.

Analizlerin yapılabilmesi için, ANSYS Workbench yazılımında hazırlanan matematiksel modeller LS-DYNA çözücüsüne aktarılmıştır.



Şekil 3. 18. Matematiksel modellerden bir görüntü

3.5. Malzeme Tanımları

Analizlerde elastik modül ve poisson oranı verilen malzemelerin doğrusal (lineer) malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analizi yapılan modelin malzeme özellikleri sayısal olarak tanımlanmıştır. Bileşenlerin malzeme özellikleri Tablo 3.2' de sunulmuştur.

Tablo 3. 2. Bileşenlerin malzeme özellikleri (3)

Malzeme	Elastik Modül [MPa]	Poisson Oranı [v]
Kortikal Kemik	13700	0.30
Spongioz Kemik	1370	0.30
Dişler	20000	0.33
PDL	0.05	0.45
Akrilik	2000	0.3
Paslanmaz Çelik	193000	0.31

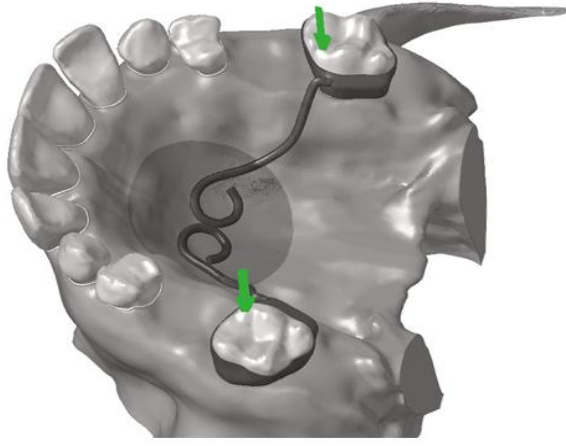
3.6. Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları

Tüm modellerde 1. azı dişlerin mesiopalatinal tüberküllerine, dik yönde 70 N büyüklüğünde vertikal kuvvet uygulanmıştır. Kuvvetler çevre düğüm noktalarına dağıtılarak uygulanmış ve yükleme bölgelerinde gerilme tekilliğinin önüne geçilmiştir.

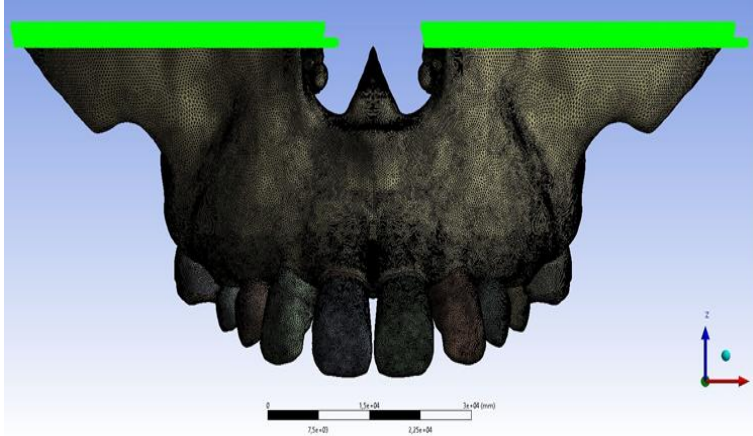
Modeller kemiğin superior bölgesinde bulunan düğüm noktalarından her üç eksendeki hareketi engellenecek şekilde tüm serbestlik dereceleri kısıtlanarak sabitlenmiştir. Her model için düğüm (node) ve eleman (element) sayıları tablo 3.3’ de belirtilmiştir.

Belirtilen kuvvet ve sınır koşulları altında 10 analiz modeli için toplam 10 nonlinear statik analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen gerilme değerleri Megapascal [MPa], yer değiştirme değerleri milimetre [mm] cinsinden sunulmuştur.



Şekil 3. 19. Kuvvet uygulaması



Şekil 3. 20. Sınır Koşulları

Tablo 3. 3. Kuantitatif Model Bilgileri

	Total # of Nodes	Total # of Elements
Model 1	1062167	4165556
Model 2	1041138	4092101
Model 3	1057213	4141303
Model 4	1091995	4278157
Model 5	1019488	4013525
Model 6	1035563	4062727
Model 7	1070345	4199581
Model 8	1030164	4056373
Model 9	1046239	4105575
Model 10	1081021	4242429

3.7. Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu

Oluşturulan matematiksel modellerde analizlerin yapılabilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için, modeli oluşturan parçaların birbirleriyle olan yüzey ilişkilerinin analiz programında tanımlanması gerekmektedir. Aparent- dış ara yüzlerinde $\mu=0.2$ katsayılı nonlineer sürtünme kontağı tanımlanmıştır. Temas eden diğer komponentler arasında ise bonded tipi kontakt tanımı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım parçaların hareketi esnasında tam korelasyon ile hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır.

4. BULGULAR

Çalışmamızda olgunlaşmamış daimi üst birinci büyük azı dişinin; uzayın her 3 düzleminde meydana gelen yer değiştirmeleri ve belli noktalardaki von mises stresleri sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler, görüntüler üzerinde renk kodlaması ile görselleştirilmiştir. Görsellerde kullanılan renklerin sayısal karşılıkları ise her bir görüntünün sol üst köşesinde belirtilmiştir.

Bu çalışmada von mises streslerinin ölçümü için megapaskal (Mpa), yer değiştirmeler için ise milimetre (mm) birimleri kullanılmıştır. Her model (senaryo) için birinci büyük azı dişinin anatomik noktalarındaki yer değiştirmeler ve stres değerleri tablolaştırılarak yorumlanmıştır. Yer değiştirme tablolarında (-) olarak gösterilen sayılar, yön belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Çalışmamızda +X: palatinal, -X: bukkal, +Y: distal, -Y: mesial yönü ifade etmektedir. Görsellerin sol alt köşesinde bulunan koordinat eksenleri x, y, z yönlerini belirtmektedir. Yer değiştirme tablolarında tüberkül isimleri kısaltılarak belirtilmiştir (MP: Mesiopalatinal, MB: Mesiobukkal, DB: Distobukkal, DP: Distopalatinal).

4.1. X Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi

X eksenindeki hareketler incelendiğinde, X eksen boyunca kuronda görülen en fazla yer değiştirme ise 0.001496 mm ile tek taraflı birinci ve ikinci süt azılarının birlikte kaybedildiği senaryoda (model 8) gerçekleşmiştir. Dişlerin X eksen boyunca kök hareketleri incelendiğinde ise en fazla hareket, bütün modellerde palatinal kökte gerçekleşmiştir (Tablo 4.1).

4.2. Y Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi

Y eksenindeki hareketler incelendiğinde bütün modellerde en fazla yer değiştiren tüberkül mesiopalatinal tüberkül olurken, en fazla yer değişikliği gözlenen kök ise palatinal tüberkül olmuştur. Modeller kendi aralarında karşılaştırıldığında ise kuronda en fazla yer değişikliği 0.002999 mm ile tek taraflı birinci ve ikinci süt azılarının birlikte kaybedildiği senaryoda (model 8) gerçekleşmiştir. (Tablo 4.2)

Genel olarak bütün modellerde kuron mesiale kayma eğilimi gösterirken, kökler distale doğru eğilim göstermiştir. (Tablo 4.4).

4.3. Z Eksenindeki Hareketlerin Değerlendirilmesi

Z eksenini boyunca en çok yer değiştirme gözlenen tüberkül bütün modellerde mesiopalatinal tüberkül olmuştur. Kuronda en fazla yer değişikliği 0.007329 mm ile çift taraflı ikinci süt azının kaybedildiği senaryoda (model 5) gözlenmiştir. Z eksenini boyunca en fazla kök hareketi ise 0.002280 mm ile yine model 5'te gerçekleşmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4. 1. Daimi birinci azı dişinin x eksenindeki yer değiştirmeleri

Değişken/Model	MP Tüberkül	MB Tüberkül	DB Tüberkül	DP Tüberkül	Palatinal Kök	Distal Kök	Mesial Kök
Model 1	0.0009014	0.0005897	0.0007863	0.0008883	0.0004057	-0.0003441	-0.0002515
Model 2	0.001917	0.001783	0.001621	0.001577	0.0003723	-0.0003072	-0.0003159
Model 3	0.001221	0.001484	0.0008135	0.0003747	0.0002167	-0.00004251	0.00001774
Model 4	-0.0005123	-0.00002562	-0.0003442	-0.0005849	0.0003244	0.00008187	0.0002332
Model 5	0.001912	0.001777	0.001615	0.001571	0.0003658	-0.0003219	0.0003129
Model 6	0.001226	0.0001489	0.0008191	0.0003810	0.0002058	0.00001224	-0.00004792
Model 7	-0.0005004	-0.0002068	-0.0003485	-0.0005894	0.0003290	0.00005833	0.0002196
Model 8	0.001927	0.001792	0.001629	0.001584	0.0003735	-0.0003080	-0.0003170
Model 9	0.001232	0.001496	0.0008212	0.0003791	0.0002183	-0.00004199	0.00001883
Model 10	-0.0005234	-0.00003723	-0.0003633	-0.0006064	0.0003285	0.00006675	0.0002255

Tablo 4. 2. Y eksenindeki yer değiştirmeler

DEĞİŞKEN/ MODEL	MP Tüberkül	MB Tüberkül	DB Tüberkül	DP Tüberkül	Distal Kök	Palatinal Kök	Mesial Kök
MODEL 1	-0.0006783	-0.00001393	-0.00009580	-0.0003904	0.00003347	0.0003945	-0.0002773
MODEL 2	-0.002986	-0.002238	-0.002095	-0.002298	0.0002470	0.0006750	-0.0002537
MODEL 3	-0.0001584	-0.001525	-0.0001481	-0.001253	0.0005945	0.0008311	0.0001263
MODEL 4	-0.0009722	-0.0009379	-0.0008617	-0.0006241	0.0002524	0.0003013	-0.0001033
MODEL 5	-0.002997	-0.002247	-0.002103	-0.002307	0.0002472	0.0006752	-0.0002554
MODEL 6	-0.001590	-0.001526	-0.001481	-0.001256	0.0006080	0.0008561	0.0001353
MODEL 7	-0.0009726	-0.0009409	-0.0008669	-0.0006253	0.0002503	0.0003227	-0.0001123
MODEL 8	-0.002999	-0.002250	-0.002106	-0.002309	0.0002478	0.0006776	-0.0002545
MODEL 9	-0.001593	-0.001534	-0.001490	-0.001260	0.0005985	0.0008364	0.0001278
MODEL 10	-0.001002	-0.0009663	-0.0008899	-0.0006493	0.0002526	0.0003138	-0.0001121

Tablo 4. 3. Z eksenindeki yer deęistirmeler

DEğİŞKEN/ MODEL	MP Tüberköl	MB Tüberköl	DB Tüberköl	DP Tüberköl	Distal Kök	Palatinal Kök	Mesial Kök
MODEL 1	0.006215	0.001939	0.001649	0.001996	0.001686	0.001635	0.001654
MODEL 2	0.007308	0.002765	0.001221	0.001456	0.001844	0.001894	0.002273
MODEL 3	0.006094	0.002144	0.0008078	0.0005677	0.001237	0.001243	0.001567
MODEL 4	0.005069	0.001831	0.001328	0.0009333	0.001151	0.0007435	0.001271
MODEL 5	0.007329	0.002774	0.001226	0.001460	0.001850	0.001898	0.002280
MODEL 6	0.006128	0.002157	0.0008073	0.0005658	0.001243	0.001252	0.001576
MODEL 7	0.005171	0.001901	0.001392	0.001015	0.001217	0.0007988	0.001332
MODEL 8	0.007331	0.002774	0.001224	0.001459	0.001849	0.001900	0.002280
MODEL 9	0.006127	0.002155	0.0008105	0.0005690	0.001243	0.001250	0.001575
MODEL 10	0.005184	0.001902	0.001385	0.0009905	0.001208	0.0007830	0.001328

Tablo 4. 4. X eksenı boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değıştirme değeri

<i>MODEL/ DEĞİŞKEN</i>	<i>KURON</i>	<i>APEKS</i>
<i>MODEL 1</i>	0.0009014	0.0004057
<i>MODEL 2</i>	0.001917	0.0003723
<i>MODEL 3</i>	0.001484	0.0002167
<i>MODEL 4</i>	-0.0005849	0.0003244
<i>MODEL 5</i>	0.001912	0.0003658
<i>MODEL 6</i>	0.001489	0.0002058
<i>MODEL 7</i>	-0.0005894	0.0003290
<i>MODEL 8</i>	0.001927	0.0003735
<i>MODEL 9</i>	0.001496	0.0002183
<i>MODEL 10</i>	-0.0006064	0.0003285

Tablo 4. 5. Y eksenı boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değıştirme değeri

<i>Model/Değişken</i>	<i>OKLÜZAL</i>	<i>APİKAL</i>
MODEL 1	-0.0006783	0.0003945
MODEL 2	-0.002986	0.0006750
MODEL 3	-0.001584	0.0008311
MODEL 4	-0.0009722	0.0003013
MODEL 5	-0.002997	0.0006752
MODEL 6	-0.001590	0.0008561
MODEL 7	-0.0009726	0.0003227
MODEL 8	-0.002999	0.0006776
MODEL 9	-0.001593	0.0008364
MODEL 10	-0.001002	0.0003138

Tablo 4. 6. Z eksenı boyunca oklüzal ve apikaldeki yer değıştirme değeri

<i>Model/Değişken</i>	<i>OKLÜZAL</i>	<i>APİKAL</i>
MODEL 1	0.006215	0.001686
MODEL 2	0.007308	0.002273
MODEL 3	0.006094	0.001567
MODEL 4	0.005069	0.001271
MODEL 5	0.007329	0.002280
MODEL 6	0.006128	0.001576
MODEL 7	0.005171	0.001332
MODEL 8	0.007331	0.002280
MODEL 9	0.006127	0.001575
MODEL 10	0.005184	0.001328

4.4. Bileşke Yer değıştirmenin (Magnitude) Değerlendirilmesi

Magnitude (Mag) değeri x, y ve z eksenlerdeki yer değıştirmelerinin bileşke değeri göstermektedir. Yön belirtmeyen, skaler bir büyüklük olan bu değeri; x, y, z eksenlerinin karelerinin toplamı kare kökünün alınmasıyla elde edilmektedir.

En fazla hareket mesiopalatinal tüberkül ve mesial kökte gözlenmiştir. Her bir senaryo (model) için daimi birinci büyük azı dişlerindeki üç boyutlu yer değıştirmeler görsel olarak belirtilmiştir (İlk konum mesh yapılı, son konum renkli olarak görselleştirilmiştir). “E”li gösterim: Exponent gösterim sayıyı üstlü

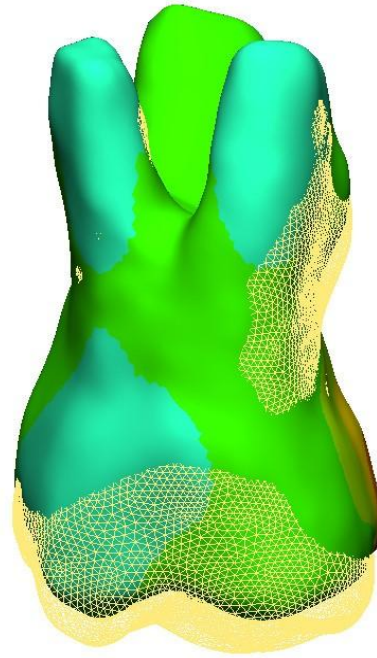
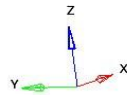
olarak ifade etmek için kullanılır. Genelde çok basamaklı sayıları daha kısa bir şekilde ifade etmek için kullanılır (Örneğin: 2.124 E-02 = 2.124 x = 0.02124).

Tablo 4. 7. MAG değerleri

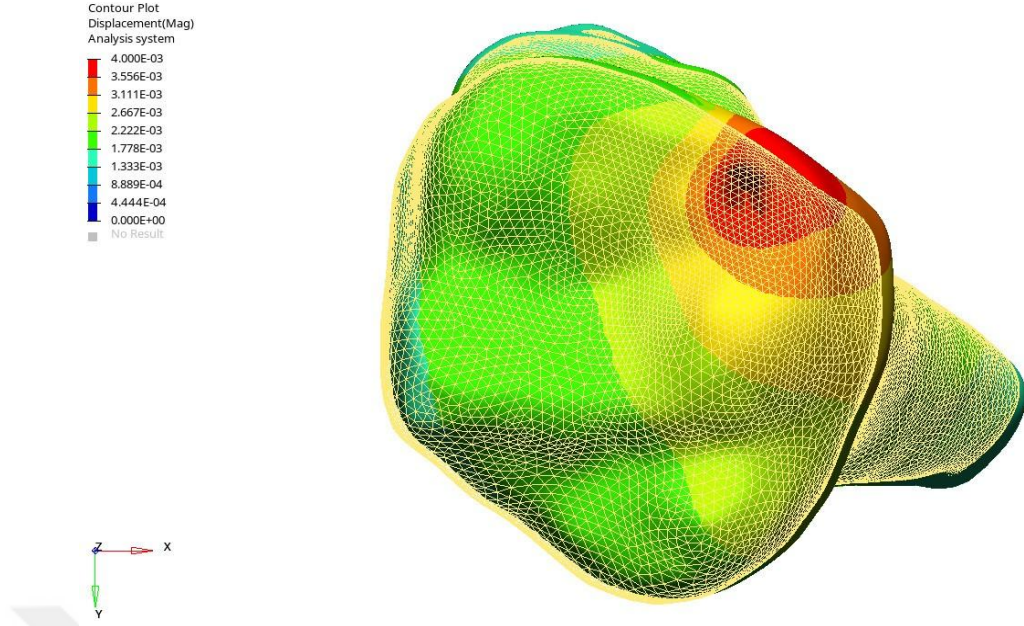
DEĞİŞKEN/MODEL	MP Tüberkül	MB Tüberkül	DB Tüberkül	DP Tüberkül	Distal Kök	Palatinal Kök	Mesial Kök
MODEL 1	0.006317	0.002027	0.001829	0.002219	0.001721	0.001730	0.001696
MODEL 2	0.008124	0.003979	0.002917	0.003145	0.001886	0.002045	0.002308
MODEL 3	0.006413	0.003020	0.001873	0.001425	0.001373	0.001511	0.001572
MODEL 4	0.005187	0.002058	0.001620	0.001266	0.001181	0.0008653	0.001296
MODEL 5	0.008146	0.003988	0.002921	0.003150	0.001893	0.002048	0.002316
MODEL 6	0.006449	0.003033	0.001875	0.001429	0.001384	0.001530	0.001582
MODEL 7	0.005285	0.002121	0.001676	0.001330	0.001244	0.0009222	0.001355
MODEL 8	0.008152	0.003996	0.002930	0.003158	0.001891	0.002052	0.002316
MODEL 9	0.006450	0.003039	0.001885	0.001433	0.001380	0.001520	0.001580
MODEL 10	0.005306	0.002134	0.001686	0.001331	0.001236	0.0009052	0.001352

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

4.000E-03
3.556E-03
3.111E-03
2.667E-03
2.222E-03
1.778E-03
1.333E-03
8.889E-04
4.444E-04
0.000E+00
No Result

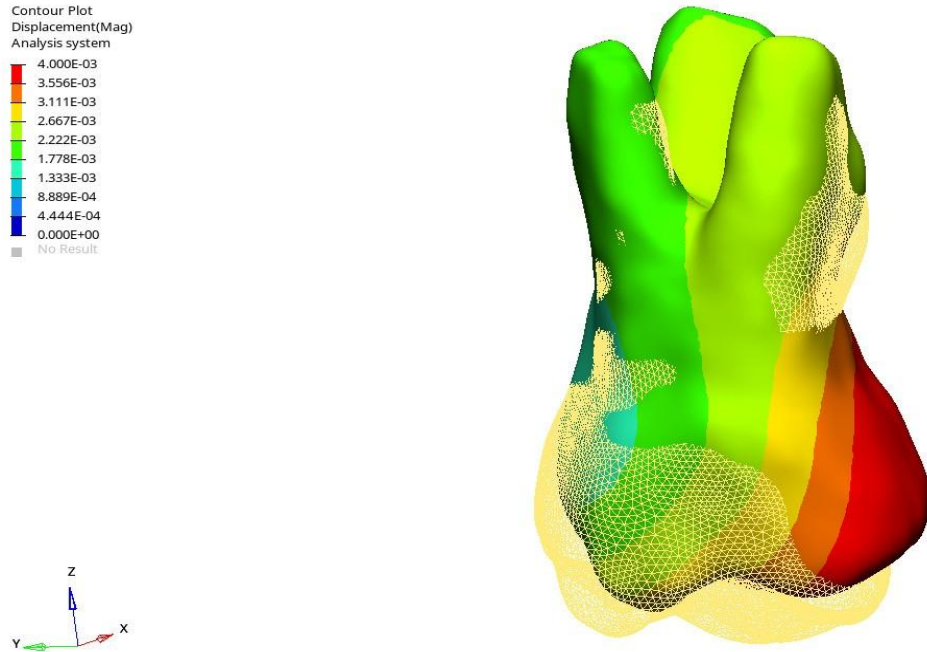


Şekil 4. 1. Model 1’de daimi birinci büyük azı dişinin hareket öncesi ve sonrası konumlarını gösteren görsel

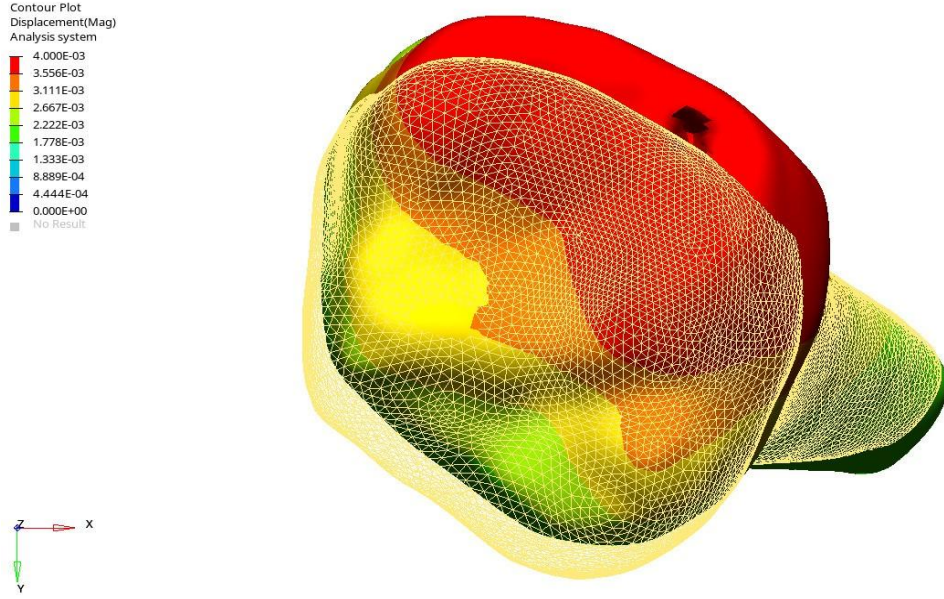


Şekil 4. 2. Model 1’deki hareketlerin oklüzalden görünümü

Model 1’de en fazla yer değiştirme mesiobukkal tüberkülde görülürken, kök kısmında en fazla yer değiştirme palatinal kökte gözlenmiştir.

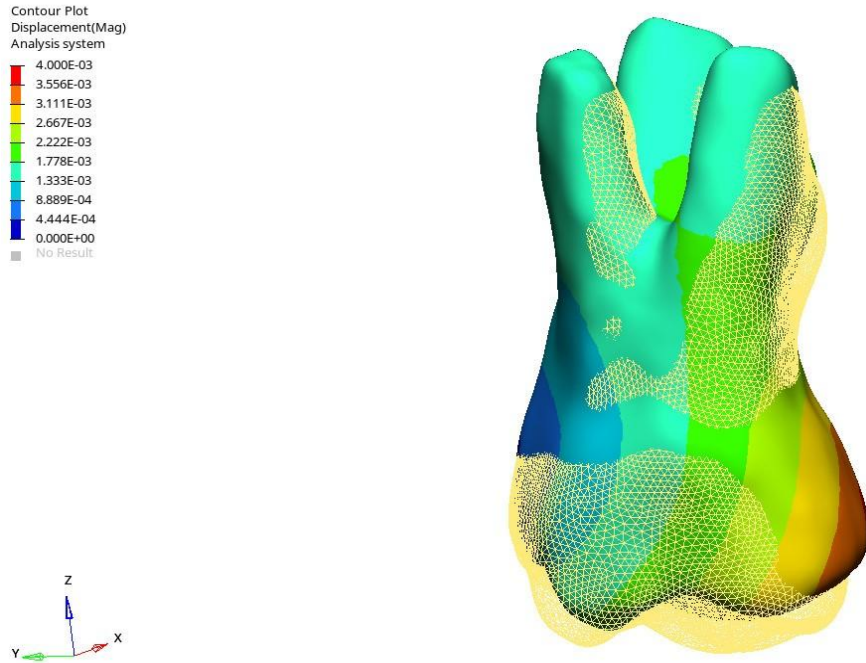


Şekil 4. 3. Model 2’deki diş hareketlerini gösteren görsel

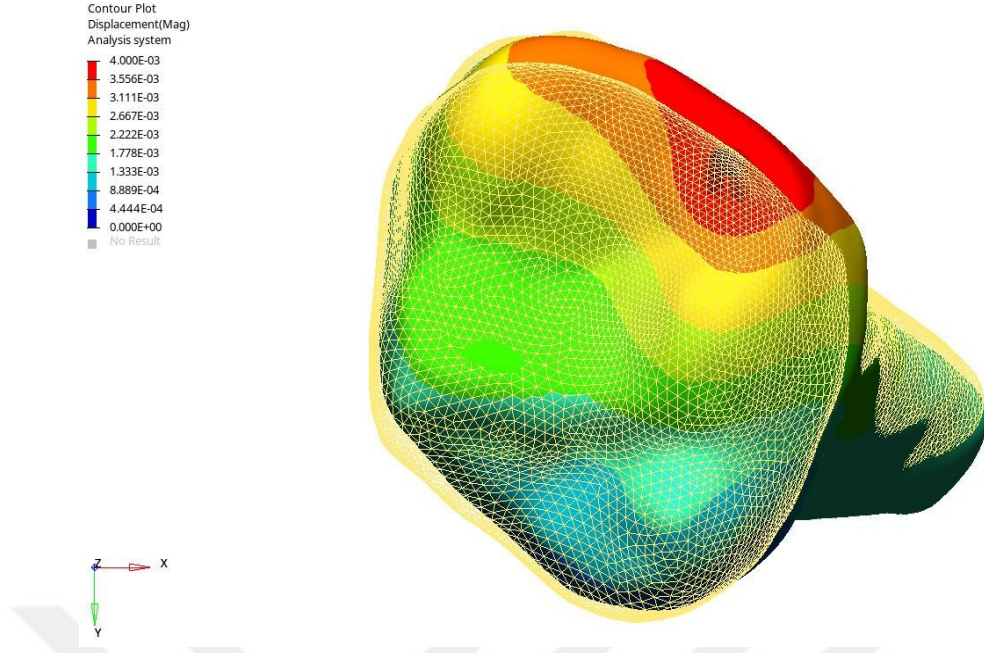


Şekil 4. 4. Model 2'deki hareketlerin oklüzal görüntüsü

Model 2'de kuronda en fazla yer değiştirme mesiopalatinal tüberkülde görülürken, kökte ise en fazla mesial kökte gözlenmiştir.

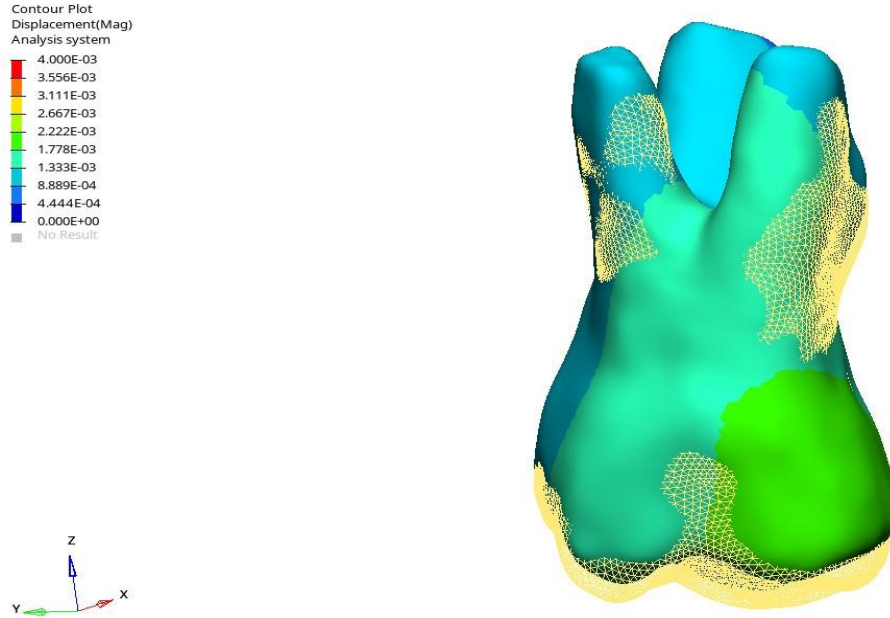


Şekil 4. 5. Model 3'te diş hareketlerini gösteren görsel

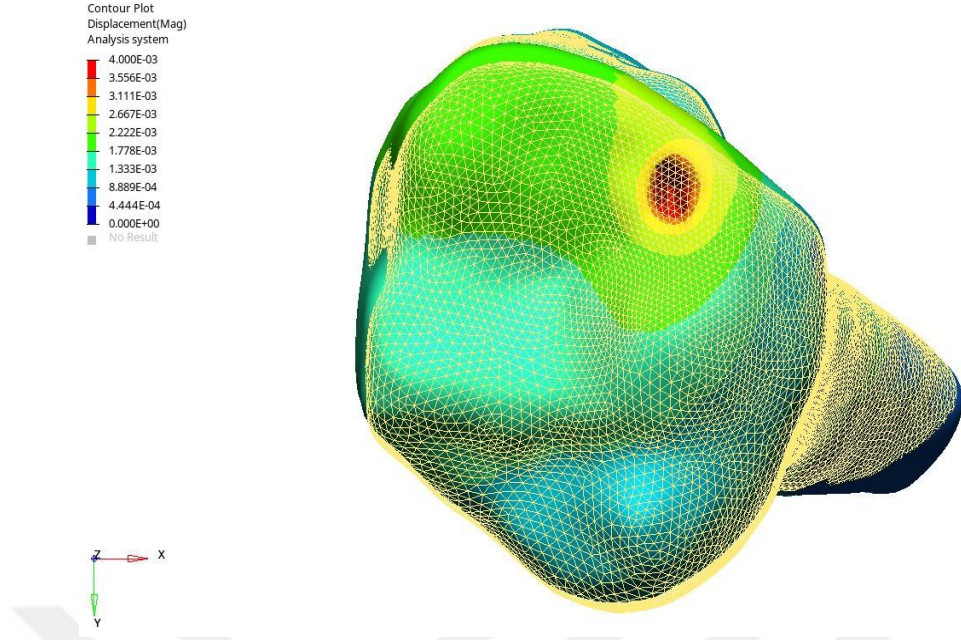


Şekil 4. 6. Model 3'teki hareketlerin oklüzal görüntüsü

Model 3'te en fazla yer değiştirme mesiopalatinal tüberkül ve mesial kökte gerçekleşmiştir. Hem kuron hem kökteki yer değiştirmeler model 2'ye oranla azalma göstermiştir.

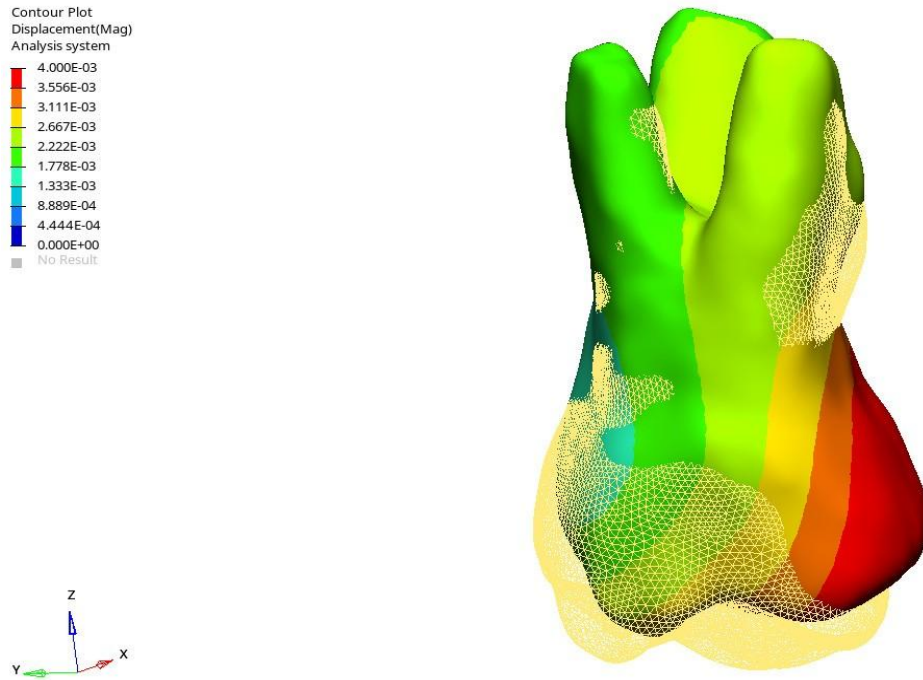


Şekil 4. 7. Model 4'teki diş hareketlerini gösteren görsel

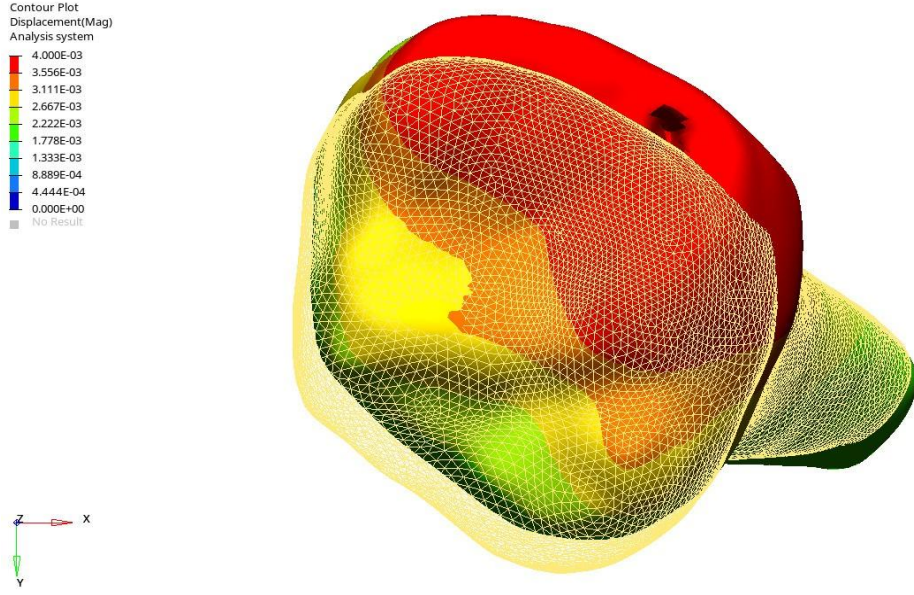


Şekil 4. 8. Model 4'teki hareketlerin oklüzal görüntüsü

Model 4'te en fazla yer değiştirme mesiopalatinal tüberkül ve mesial kökte gözlenmektedir. Bu değerler, model 2 ve 3'e kıyasla daha düşük değerdedir.

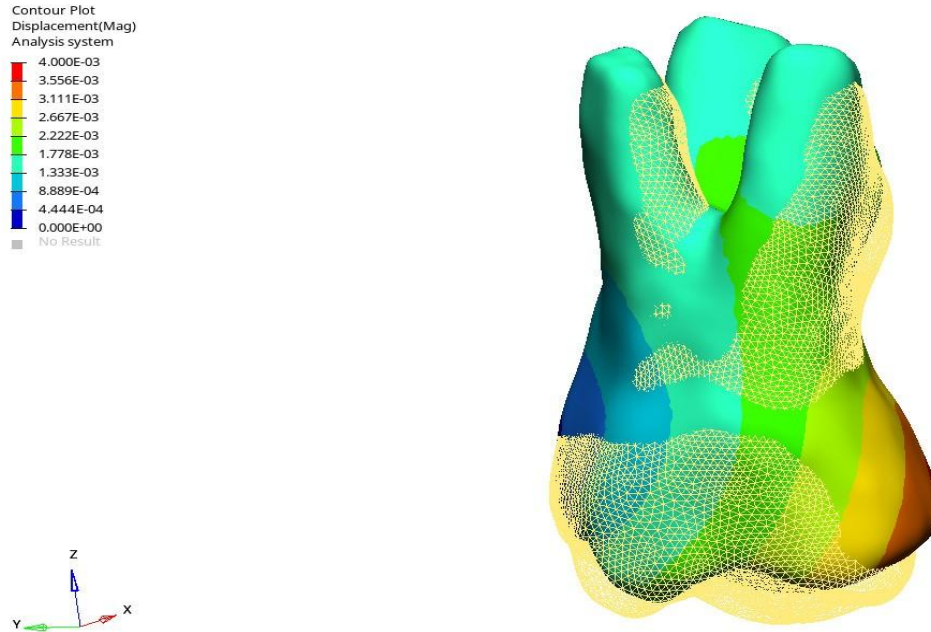


Şekil 4. 9. Model 5'teki diş hareketelerini gösteren görsel



Şekil 4. 10. Model 5'teki hareketlerin oklüzal görüntüsü

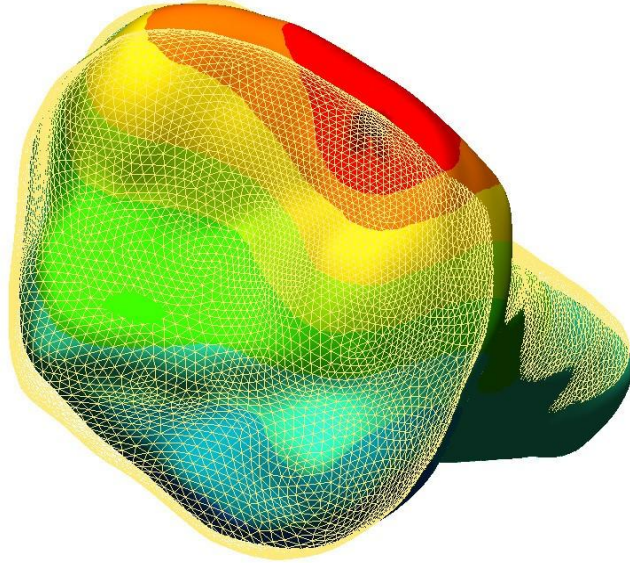
Model 5'de en fazla yer değiştirme mesiopalatinal tüberkül ve mesial kökte gözlenmiştir. Bu değerler önceki modellerdeki değerlerin hepsinden daha yüksek değerdedir.



Şekil 4. 11. Model 6'daki diş hareketlerini gösteren görsel

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

4.000E-03
3.556E-03
3.111E-03
2.667E-03
2.222E-03
1.778E-03
1.333E-03
8.889E-04
4.444E-04
0.000E+00
No Result

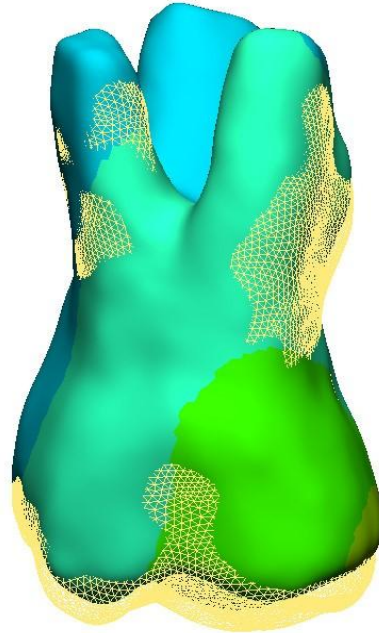


Şekil 4. 12. Model 6'daki hareketlerin oklüzalden görüntüsü

Model 6'da gözlenen hareketlerde en fazla yer değiştirme, diğer modellerde olduğu gibi mesial kök ve mesiopalatinal tüberkülde gözlenmiştir.

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

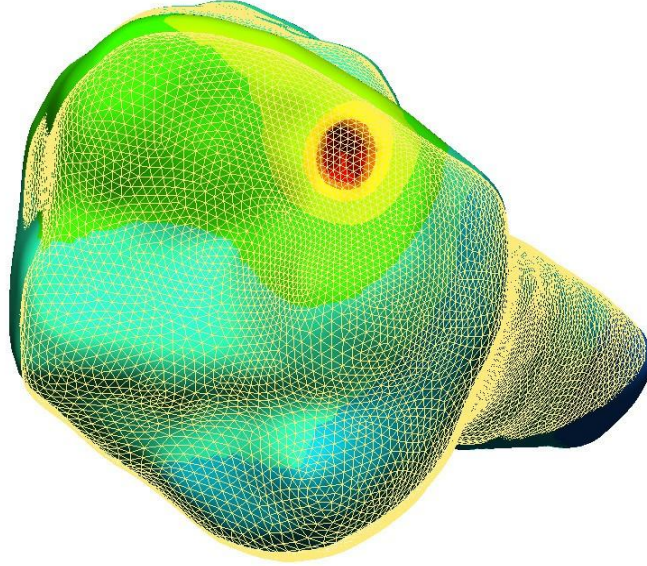
4.000E-03
3.556E-03
3.111E-03
2.667E-03
2.222E-03
1.778E-03
1.333E-03
8.889E-04
4.444E-04
0.000E+00
No Result



Şekil 4. 13. Model 7'deki diş hareketlerini gösteren görsel

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

4.000E-03
3.556E-03
3.111E-03
2.667E-03
2.222E-03
1.778E-03
1.333E-03
8.889E-04
4.444E-04
0.000E+00
No Result

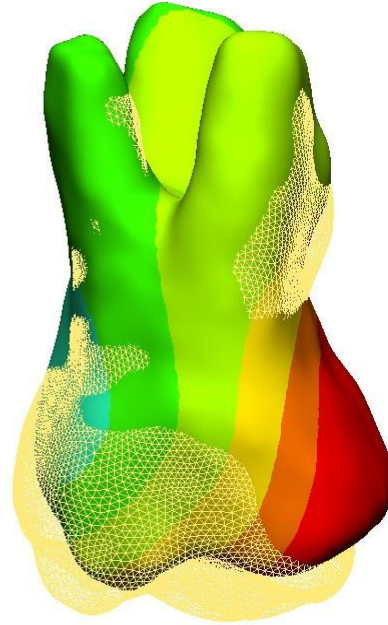
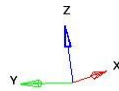


Şekil 4. 14. Model 7'deki diş hareketlerinin oklüzal görüntüsü

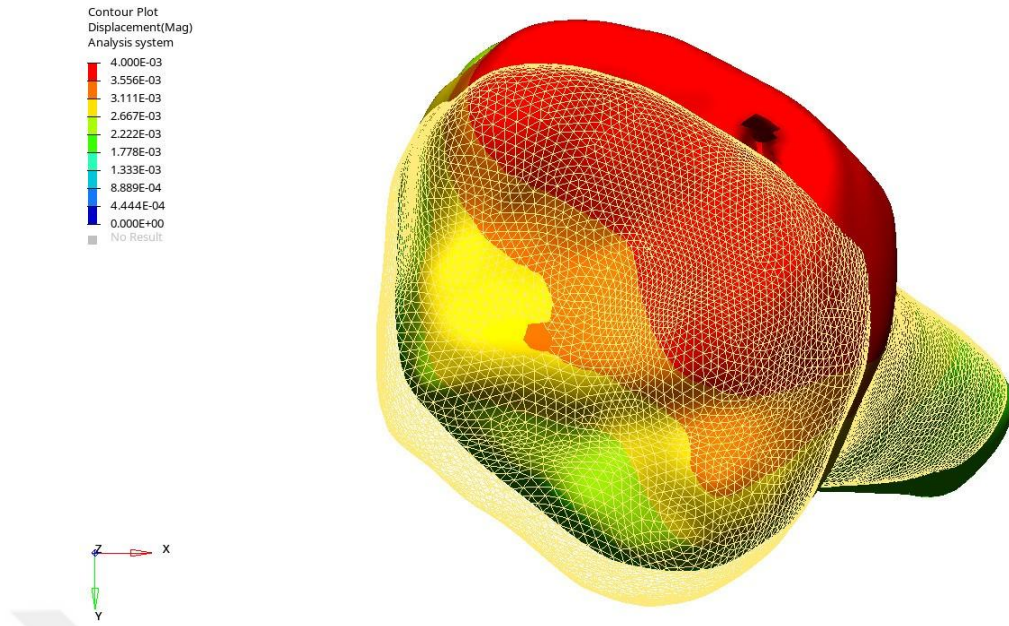
Model 7'de en fazla yer değiştirme dişin mesiopalatinal tüberkül ve mesial kökünde meydana gelmiştir. Bu yer değiştirmeler önceki senaryolarla karşılaştırıldığında; model 4'ten daha fazla, diğer modellerden ise daha düşük bir değerdedir.

Contour Plot
Displacement(Mag)
Analysis system

4.000E-03
3.556E-03
3.111E-03
2.667E-03
2.222E-03
1.778E-03
1.333E-03
8.889E-04
4.444E-04
0.000E+00
No Result

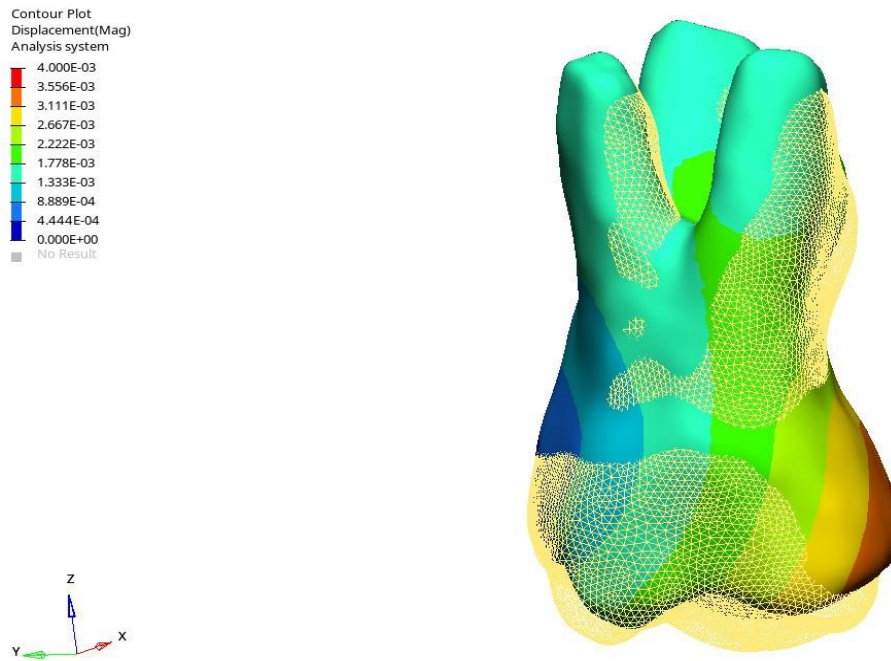


Şekil 4. 15. Model 8'deki diş hareketlerini gösteren görsel

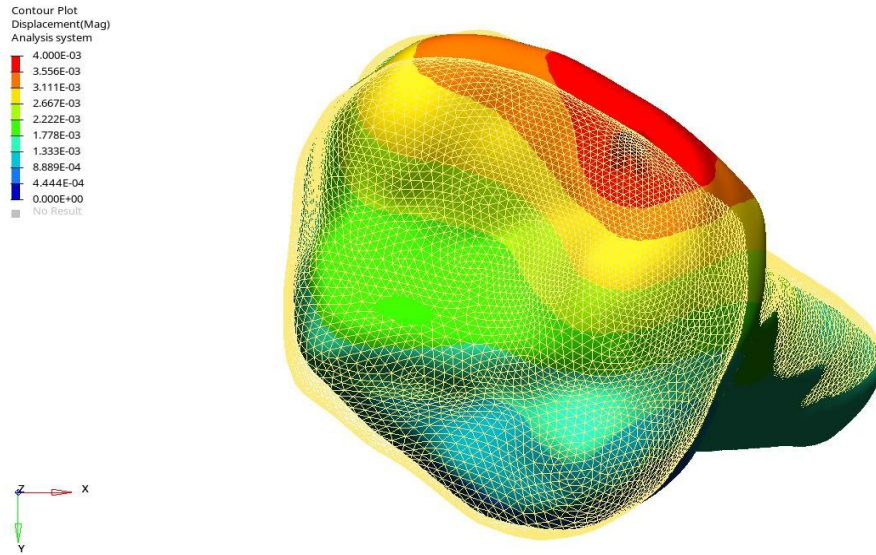


Şekil 4. 16. Model 8’deki hareketlerin oklüzalden görünümü

Model 8’de gözlenen hareketlerde, en fazla yer değiştirme mesiopalatinal tüberkül ve mesial köktedir. Bütün modellerde en fazla yer değiştirme gözlenen senaryo model 8’dir.

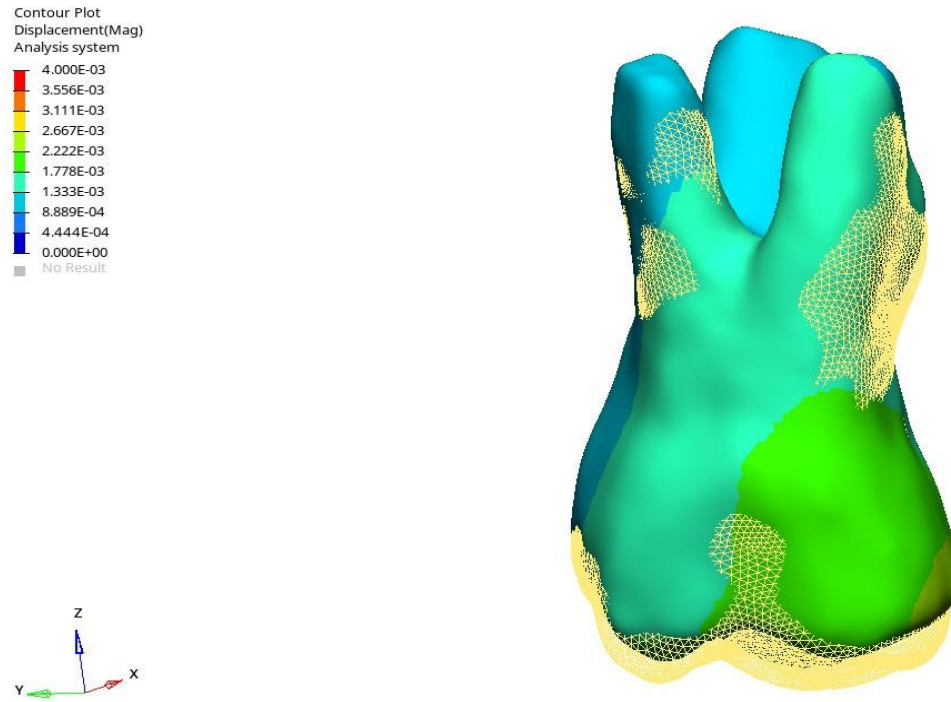


Şekil 4. 17. Model 9’daki diş hareketlerini gösteren görseller

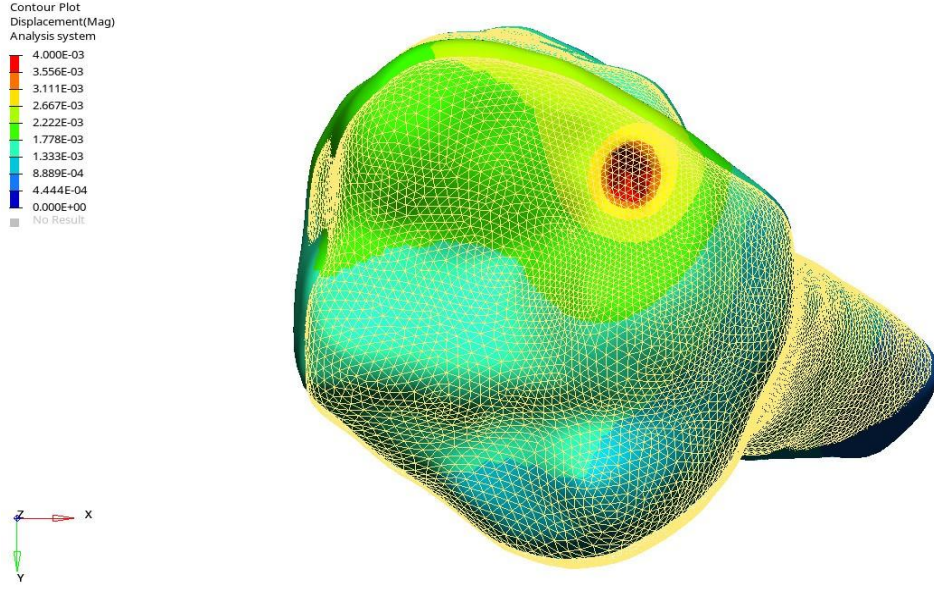


Şekil 4. 18. Model 9'daki yer değiştirmenin oklüzalden görünümü

Model 9'da yer değiştirme hem kuron hem de kökte yine mesial kısımda yoğunlaşmıştır.



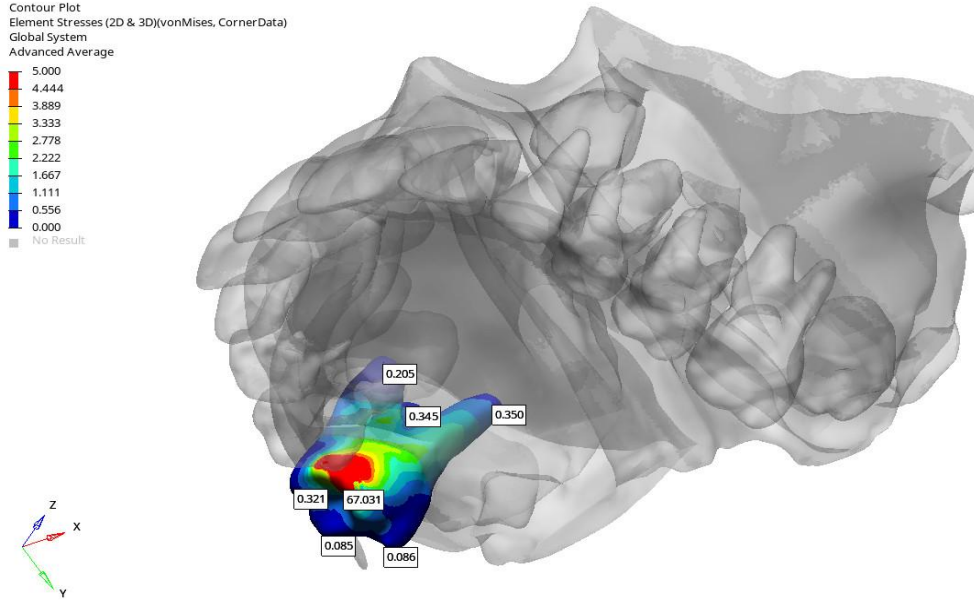
Şekil 4. 19. Model 10'daki yer değiştirmeleri gösteren görseller



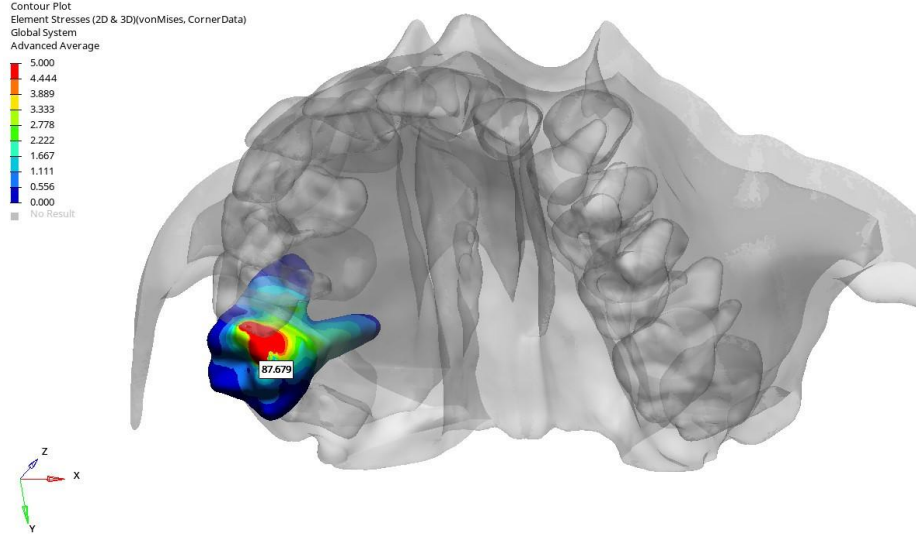
Şekil 4. 20. Model 10'daki hareketlerin oklüzalden görünümü

Model 10'da yer değiştirmeler diğer modellerde olduğu gibi dişin mesial kısmında yoğunlaşmıştır.

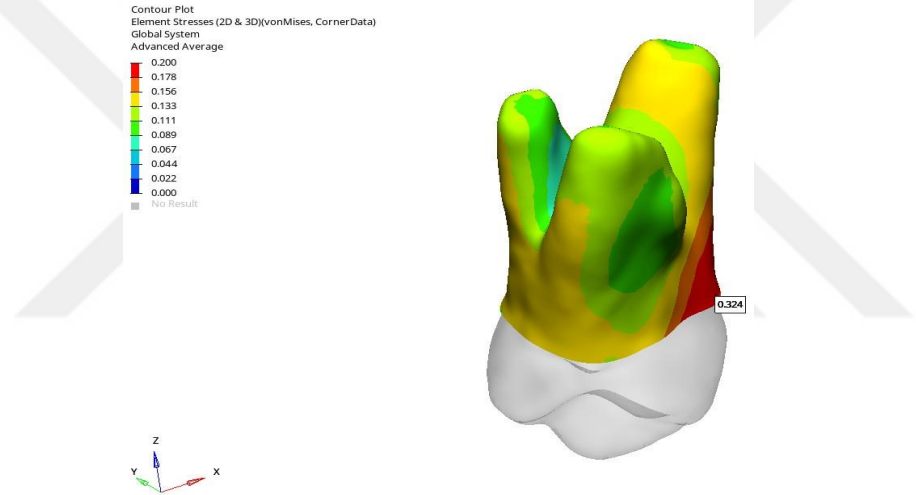
4.5. Model 1'de Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 21. Model 1'de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



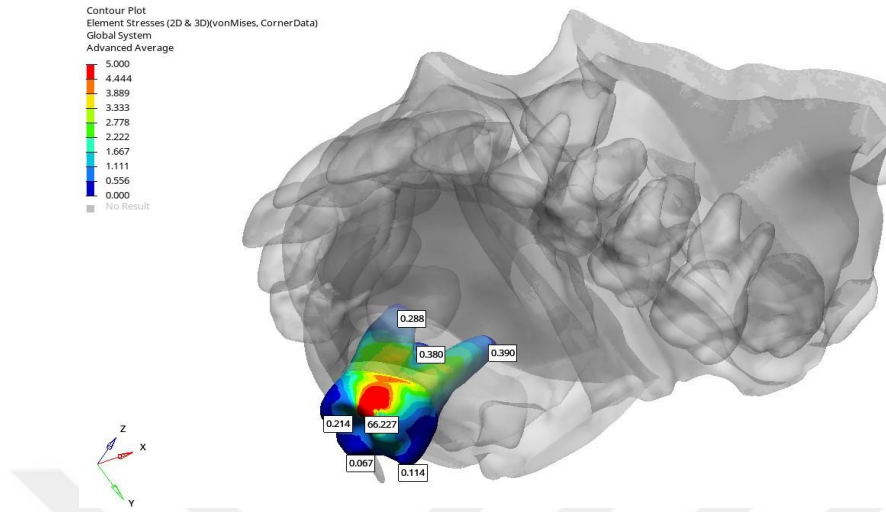
Şekil 4. 22. Model 1’de daimi azı dişi üzerindeki maksimum stres değeri



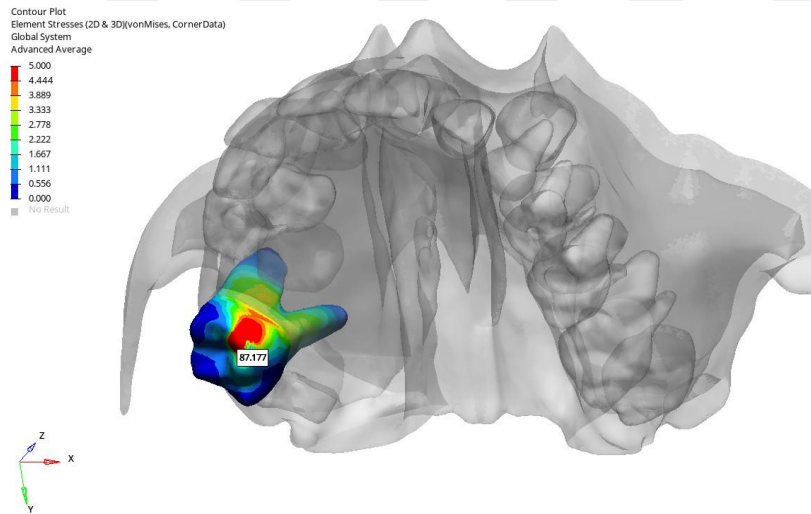
Şekil 4. 23. Model 1’de PDL’ deki maksimum stres değeri

Model 1’de en fazla stres dişin mesial kontakt bölgesinde oluşmuştur. Bu kısım kırmızıyla gösterilmiştir. Diş kuronun diğer bölgelerinde ve köklerde bu kısma göre çok daha az değerler görülmüştür. Köklerdeki stres kök apekslerine doğru azalmaktadır. Giderek azalan bu değerler sırasıyla sarı, yeşil ve mavi tonlarıyla gösterilmiştir. Kök apekslerinde yok denecek kadar az stres vardır ve koyu mavi ile gösterilmiştir. PDL’ de gözlenen maksimum stres değeri palatinal kökte mesiobukkal bölgede izlenmiştir.

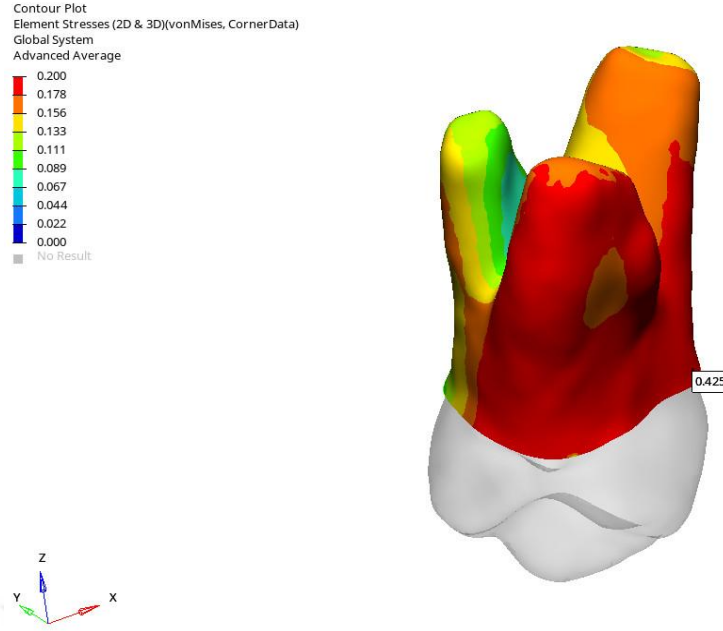
4.6. Model 2’de Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 24. Model 2’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



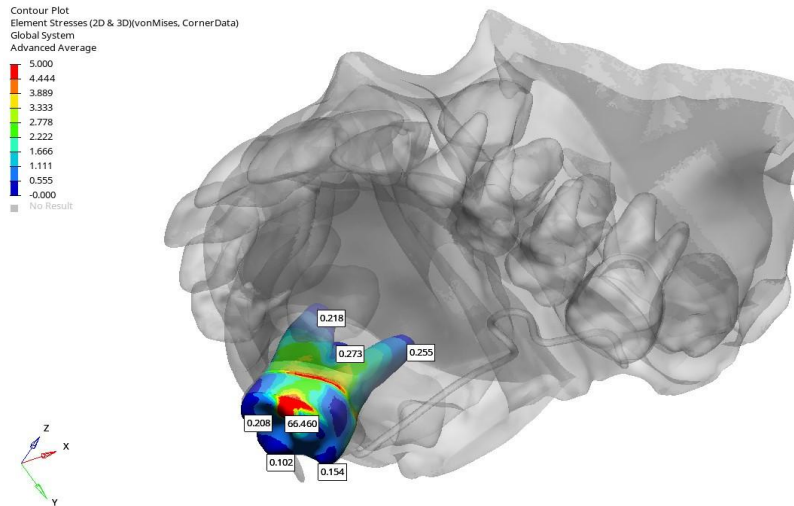
Şekil 4. 25. Model 2’de maksimum von mises stres değeri



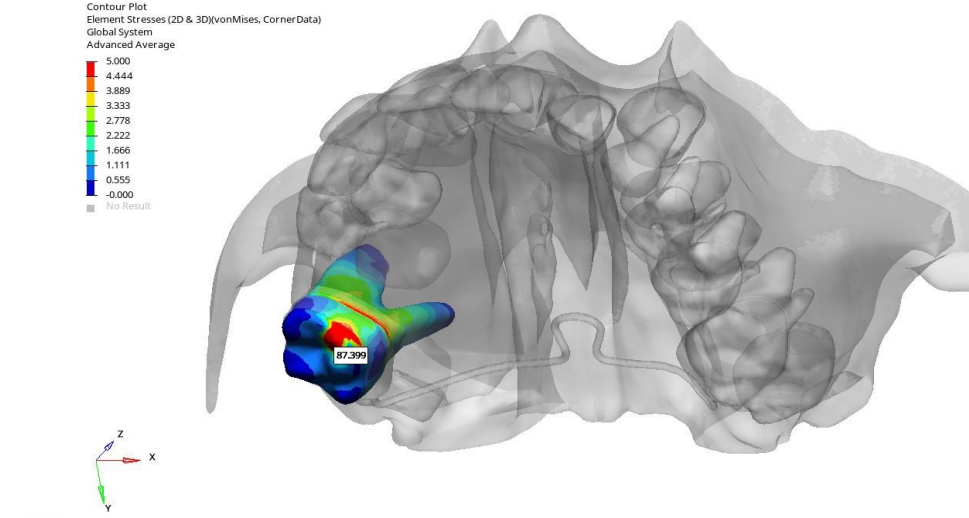
Şekil 4. 26. Model 2’ de PDL’deki maksimum von mises değeri

Süt ikinci azı dişinin tek taraflı eksik olduğu 2. modelde, en fazla stres dişin mesial yüzeyinde görülmüştür kole bölgesine doğru da yoğunlaşma görülmektedir. Bu bölgeler kırmızı ve turuncu renkle belirtilmiştir. Bu modelde PDL’ ye iletilen strete artış görülmüştür. PDL’ de en fazla stres, mesial kök boyunca ve palatinal kökün mesial yüzeyinde izlenerek kırmızı renkle gösterilmiştir.

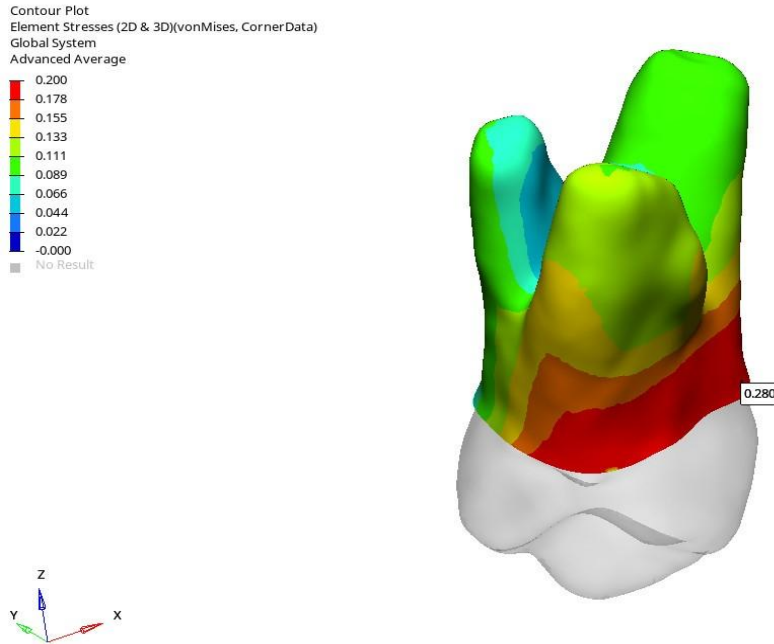
4.7. Model 3’te Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 27. Model 3’te daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



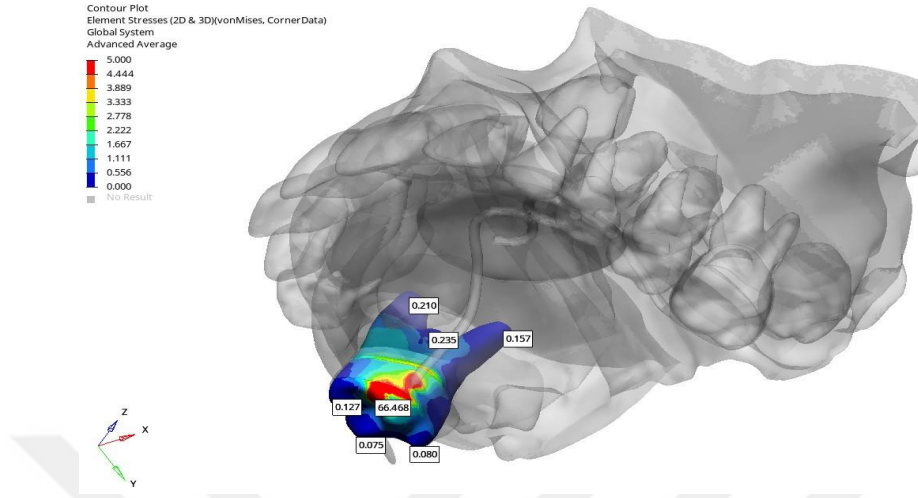
Şekil 4. 28. Model 3'teki maksimum stres değeri



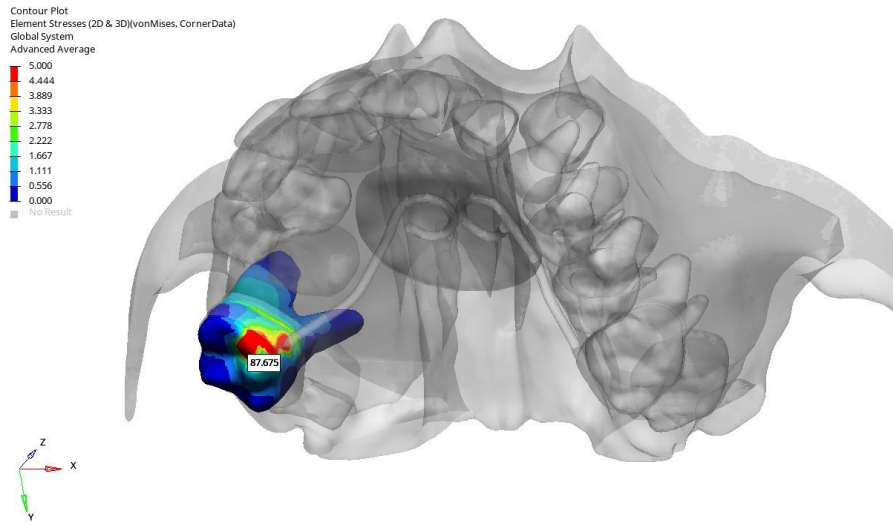
Şekil 4. 29. Model 3'te PDL' deki maksimum stres değeri

Süt ikinci süt azı dişinin tek taraflı kaybı üzerine, TPA apareyinin uygulanmasıyla elde edilen bu modelde en yüksek stres değeri, diş kuronunun mesiooklüzal ve dişin kole kısmında yoğunlaşmıştır. TPA' nın uygulanmasıyla birlikte köklere iletilen stresin azaldığı ve maksimum stresin kökün koronalinde, mesial kısımda yoğunlaştığı izlenmektedir.

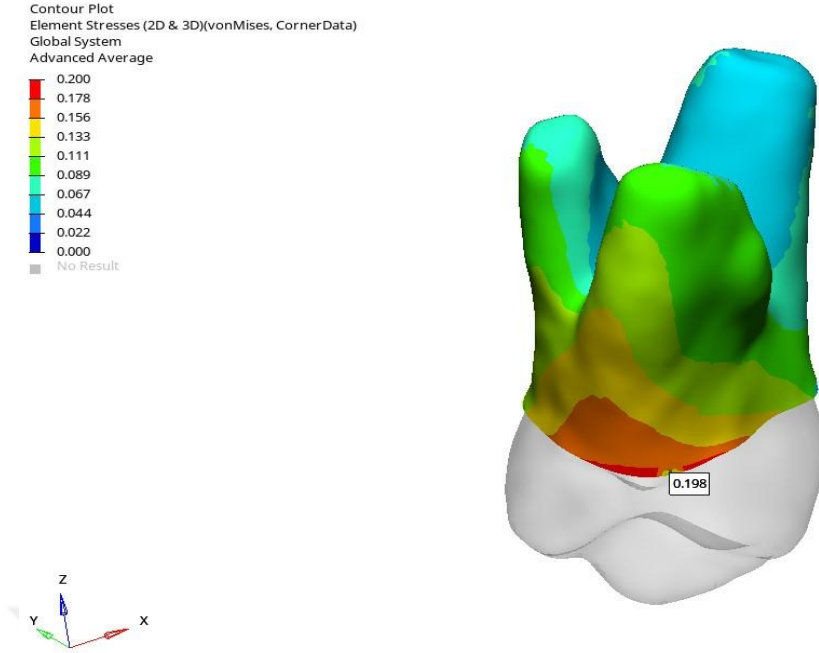
4.8. Model 4'te Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 30. Model 4'te daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



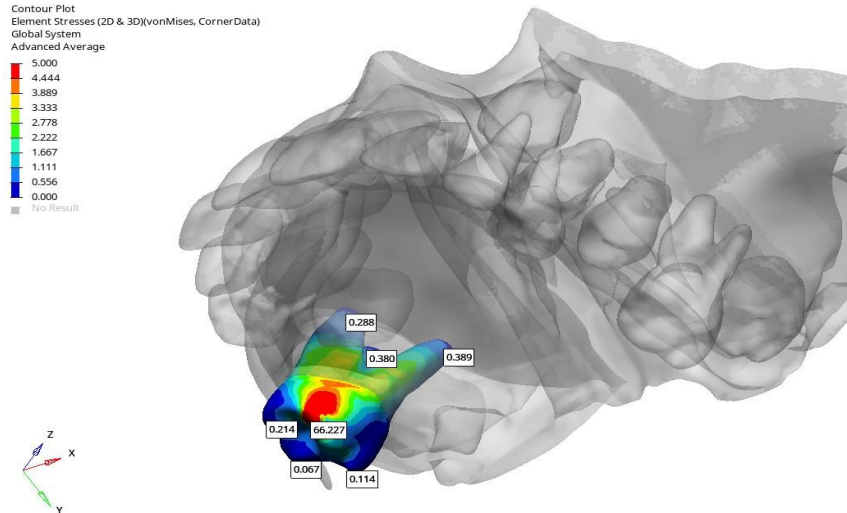
Şekil 4. 31. Model 4'te maksimum stres değeri



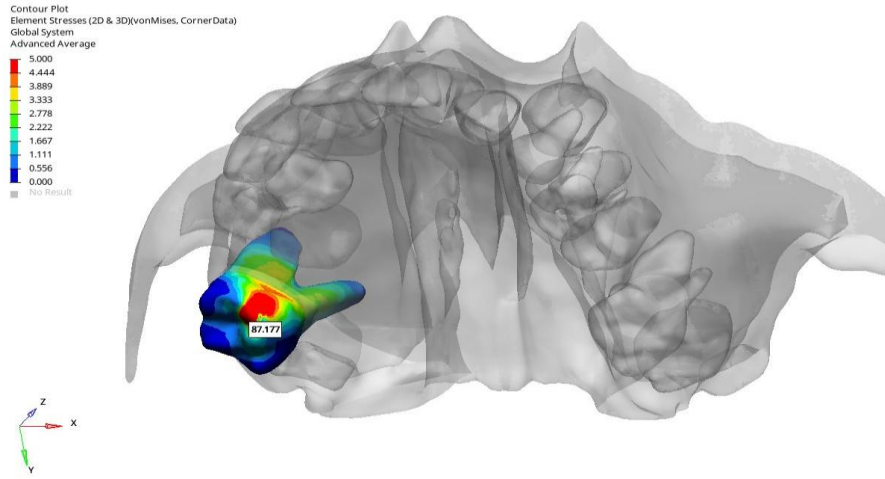
Şekil 4. 32. Model 4'te PDL' deki maksimum stres değeri

Nance apareyinin uygulandığı bu senaryoda, maksimum stres değeri kuronun mesial ve mesiopalatinal küçük bir kısımda yoğunlaşmıştır. PDL' ye iletilen stres büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. PDL' de maksimum stres diğer modellere göre çok daha dar bir alanı kaplamaktadır.

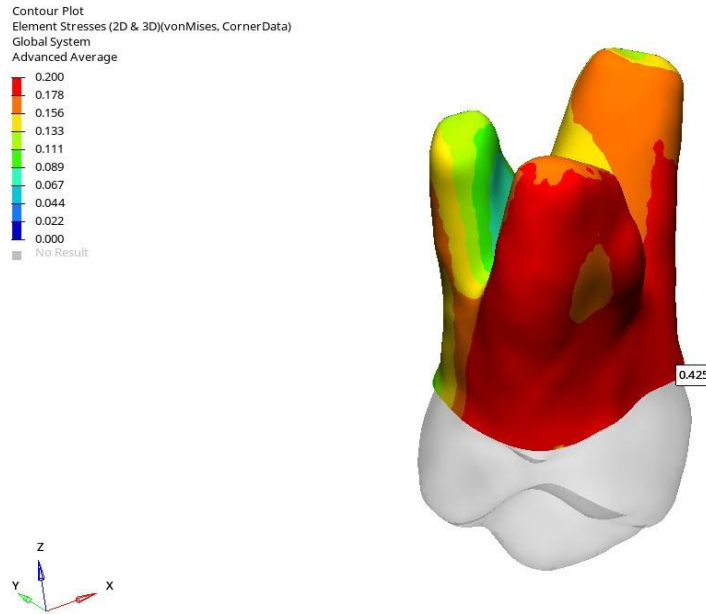
4.9. Model 5'te Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 33. Model 5' de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



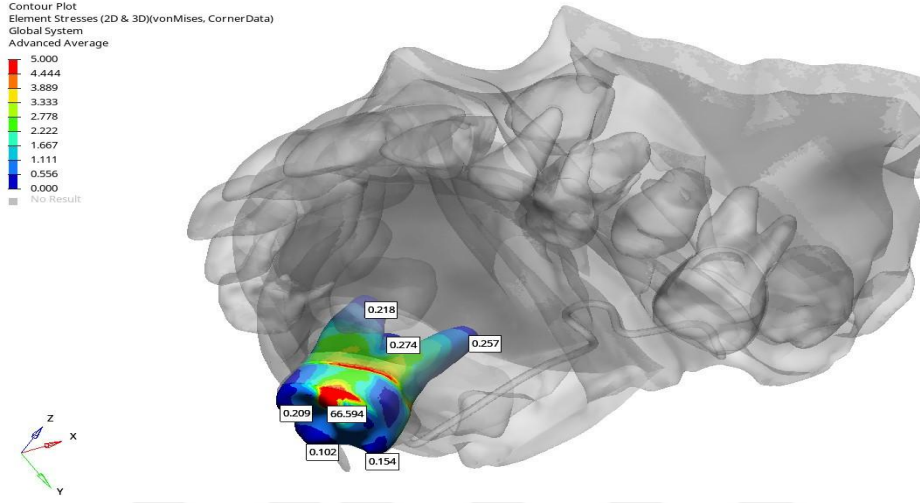
Şekil 4. 34. Model 5'te maksimum stres değeri



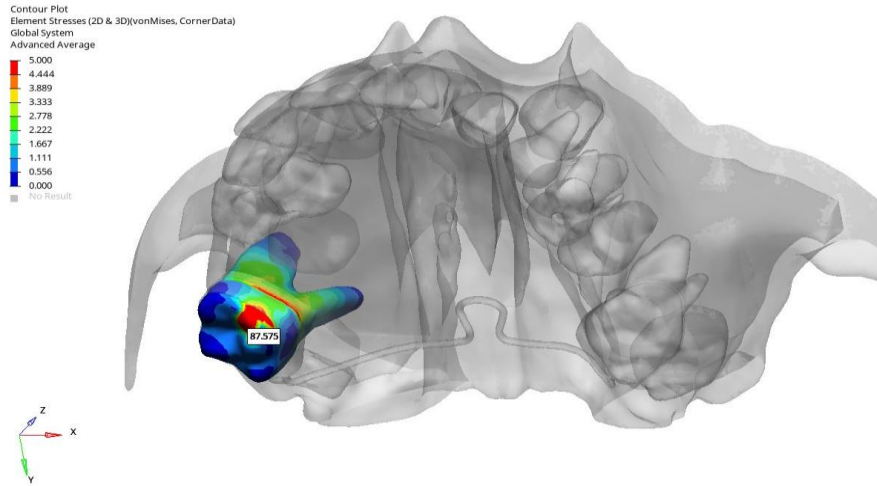
Şekil 4. 35. Model 5 PDL' deki maksimum stres değeri

Arkın her iki tarafında da ikinci süt azı dişlerinin eksik olduğu bu senaryoda, maksimum stres model 2'de olduğu gibi kuronun mesial yüzeyinde ve kole kısmına yakın bölgede yoğunlaşma gözlenmektedir. Daimi dişin mesialinde kısıtlama olmadığından her iki tarafta da PDL' ye iletilen stres fazla olmuştur. En yüksek değerler mesial ve palatinal kökte izlenmiştir.

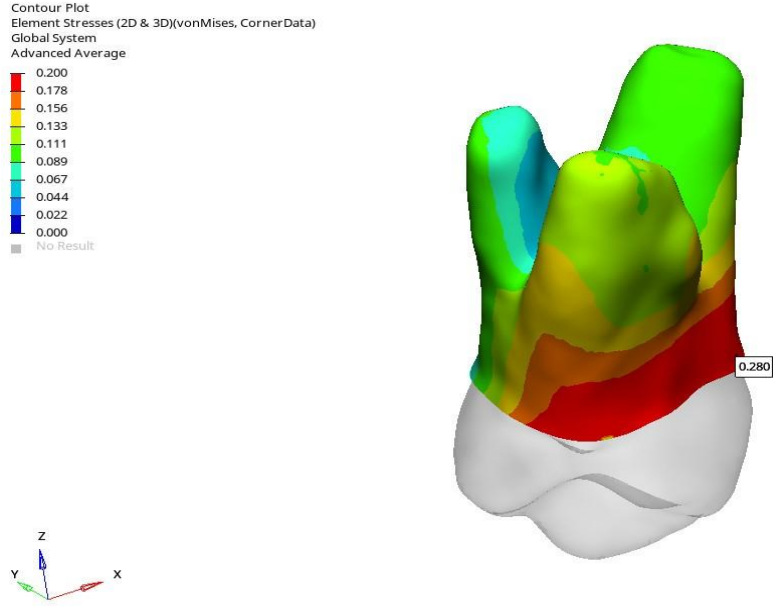
4.10. Model 6'da Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 36. Model 6'da daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



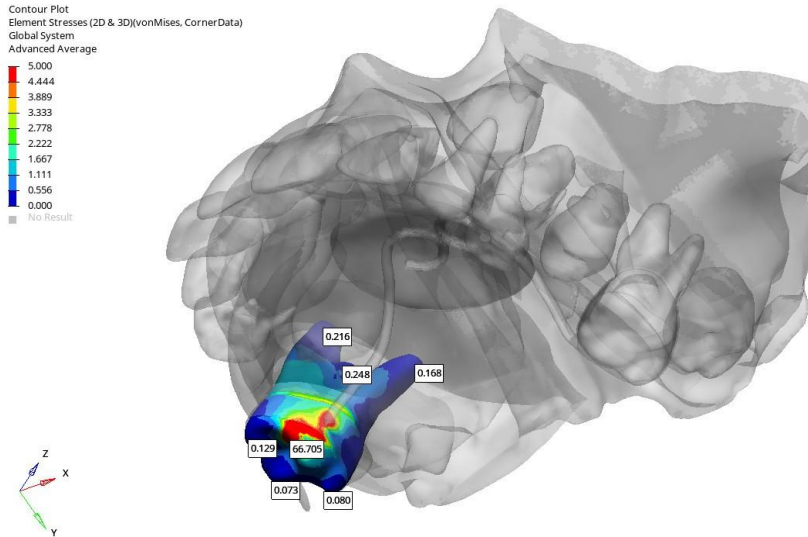
Şekil 4. 37. Model 6'daki maksimum von mises stres değeri



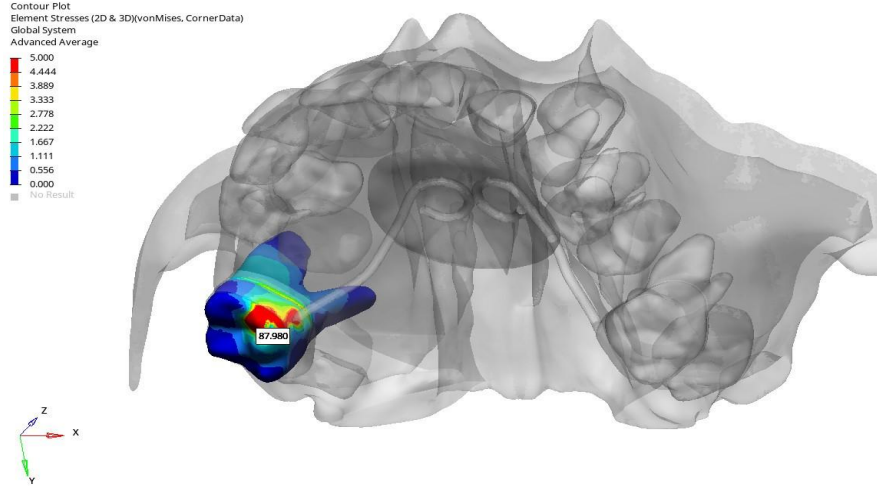
Şekil 4. 38. Model 6’da PDL’ deki maksimum von mises stres değeri

Çift taraflı süt ikinci büyük azı dişinin eksik olduğu senaryoya TPA’ nın eklenmesiyle oluşturulan bu modelde, maksimum stres kuronun mesiooklüzal kısmında ve kolede gözlenmiş ve kırmızıyla gösterilmiştir. PDL’ deki stresler kökün koronal kısmında mesial yüzeyde yoğunlaşmıştır. PDL’ ye iletilen stres, daimi dişlerin mesialinde kısıtlama olmayan model 5’ e göre daha az olmuştur.

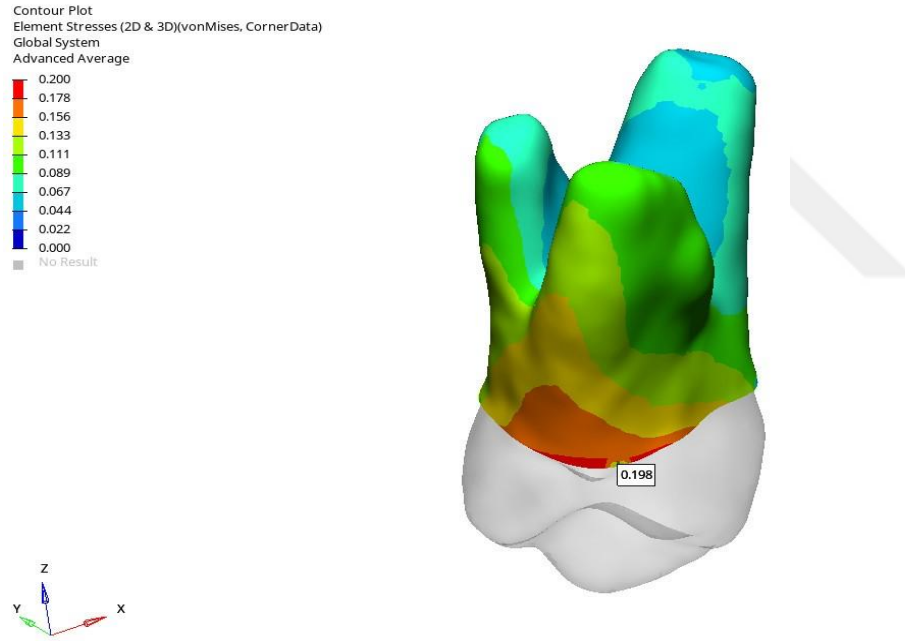
4.11. Model 7’de Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 39. Model 7’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



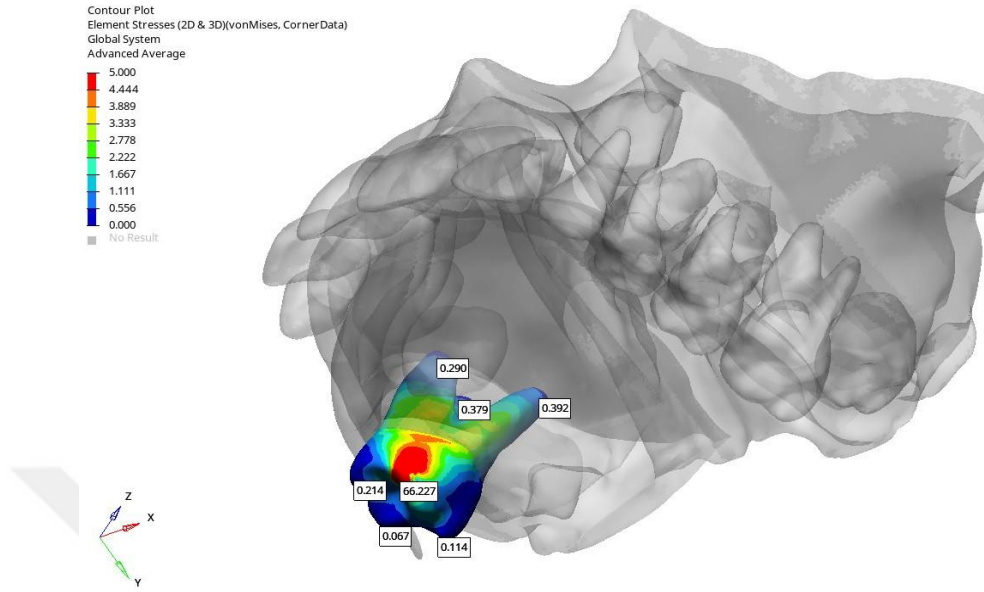
Şekil 4. 40. Model 7'deki maksimum stres değeri



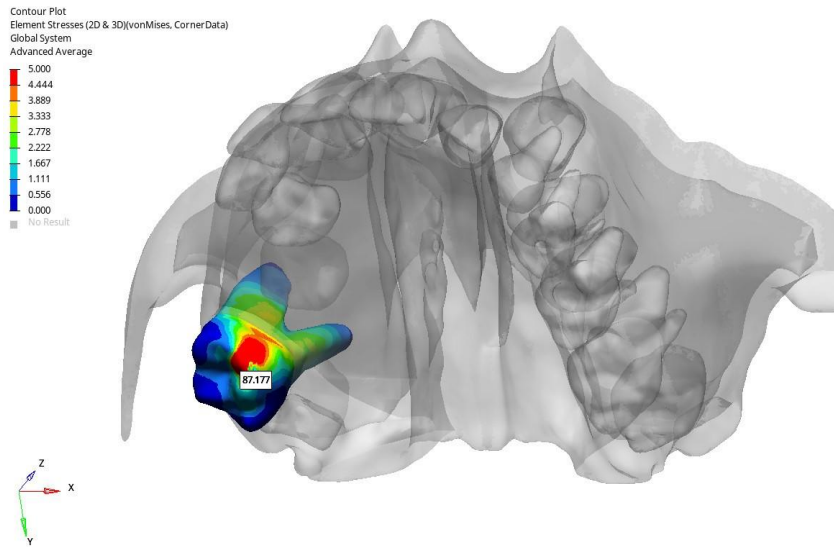
Şekil 4. 41. Model 7'de PDL' deki maksimum stres değeri

Çift taraflı süt ikinci azı eksik olduğu senaryoya nance apareyinin eklenmesiyle oluşturulan modelde maksimum stres krunun mesial ve mesiopalatinal kısımlarında yoğunlaşmıştır. PDL' ye iletilen stres büyük ölçüde azalmış ve koleda dar bir alanda gözlenmiştir.

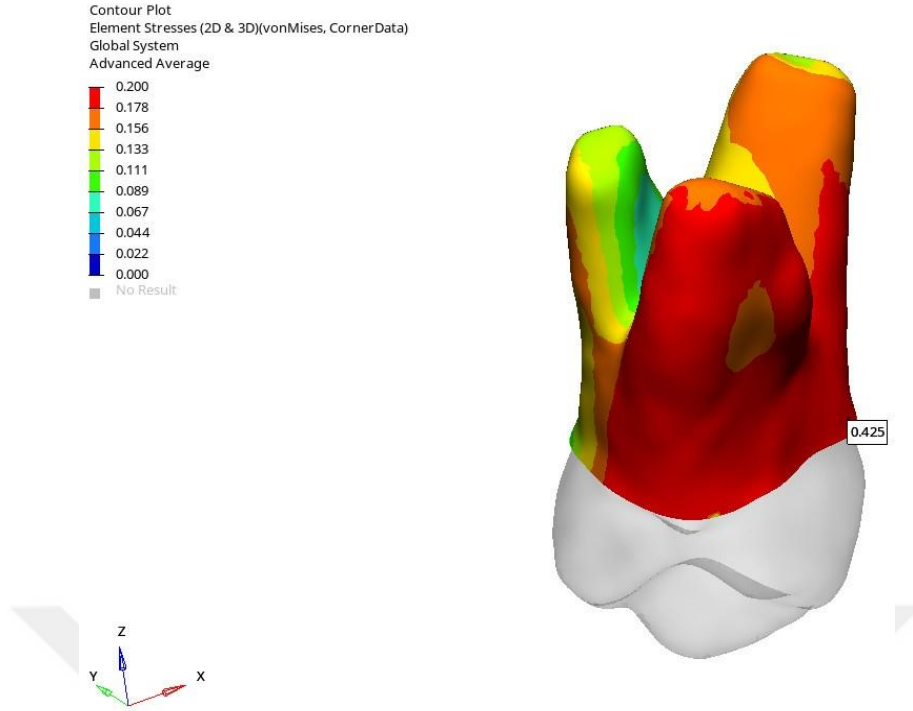
4.12. Model 8’de Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 42. Model 8’de daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



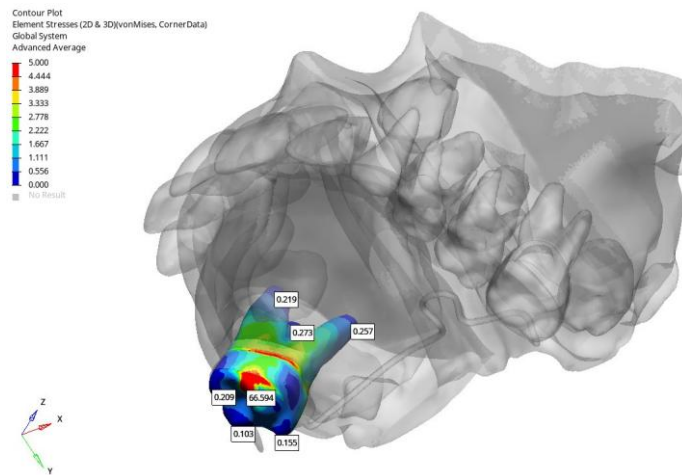
Şekil 4. 43. Model 8’de görülen maksimum stres değeri



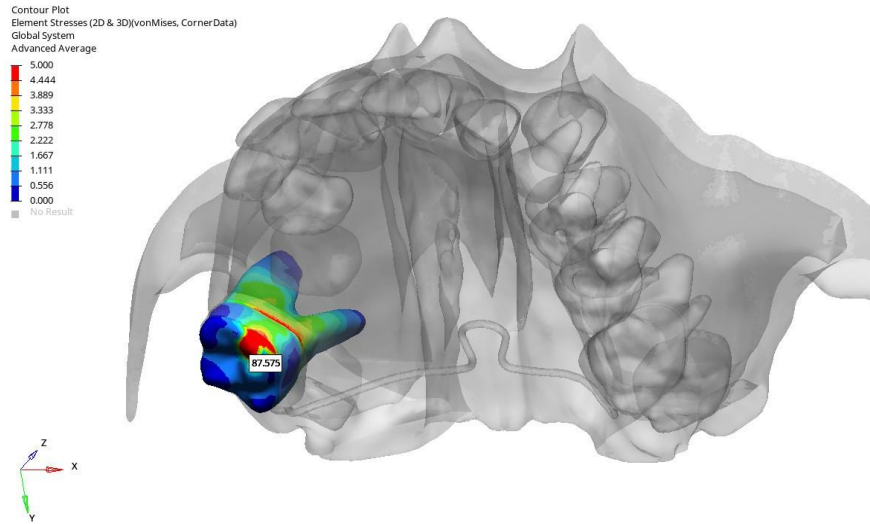
Şekil 4. 44. Model 8’ de PDL’deki maksimum stres değeri

Süt birinci ve ikinci azının tek taraflı eksik olduğu model 8’ de, kurunun mesial yüzeyinin ortasında ve koleye yakın bölgede yüksek stres değerleri görülmüştür. Bu modelde PDL’ ye iletilen streslerde artış gözlenmiştir. En yüksek değerler, daimi azı dişinin mesial ve palatinal kök PDL’ sinde görülmüştür.

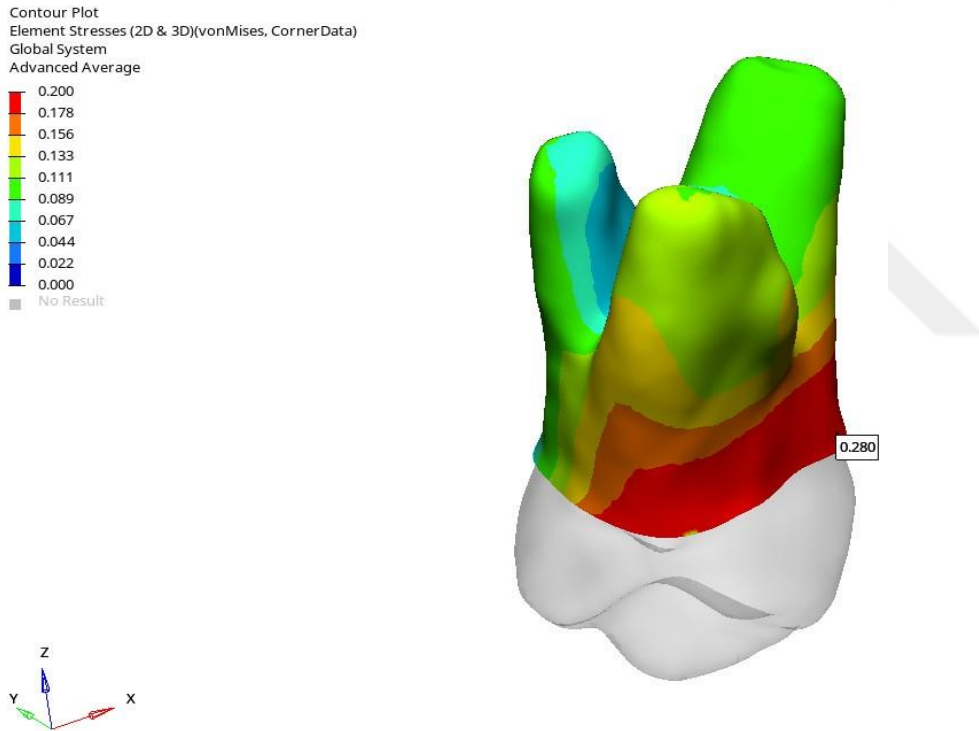
4.13. Model 9’da Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 45. Model 9’da daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



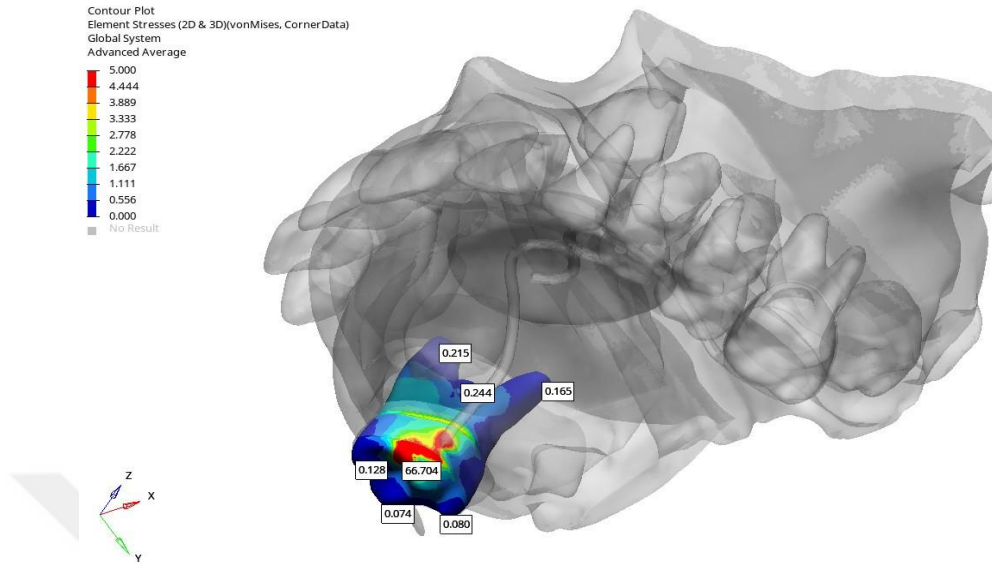
Şekil 4. 46. Model 9’da gözlenen maksimum stres değeri



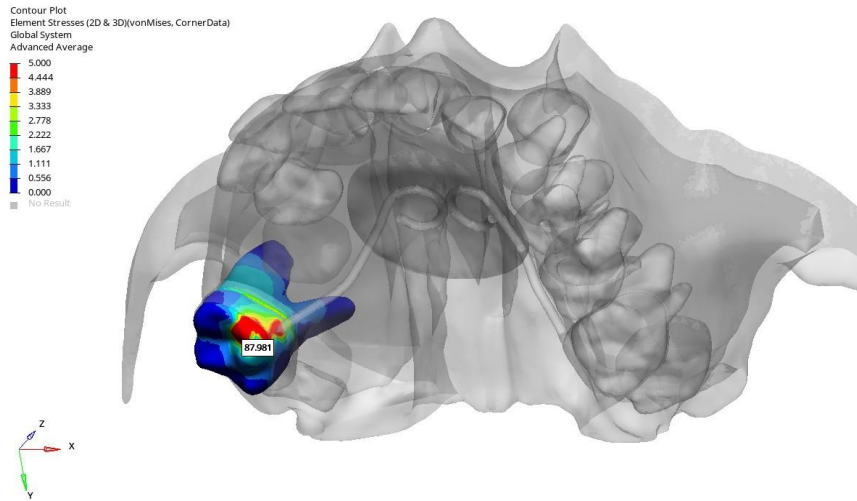
Şekil 4. 47. Model 9’da PDL’ deki maksimum stres değeri

Süt birinci ve ikinci azı dişinin eksik olduğu senaryoya, TPA’ nın eklenmesiyle oluşturulan model 9’ da yüksek stres değerleri, dişin mesio-oklüzal kısmında ve kolede yoğunlaşmıştır. PDL’ ye iletilen stres model 8’ e göre azalmıştır. PDL’ deki maksimum stres değeri kökün mesial yüzeyinin koronalinde izlenmiştir.

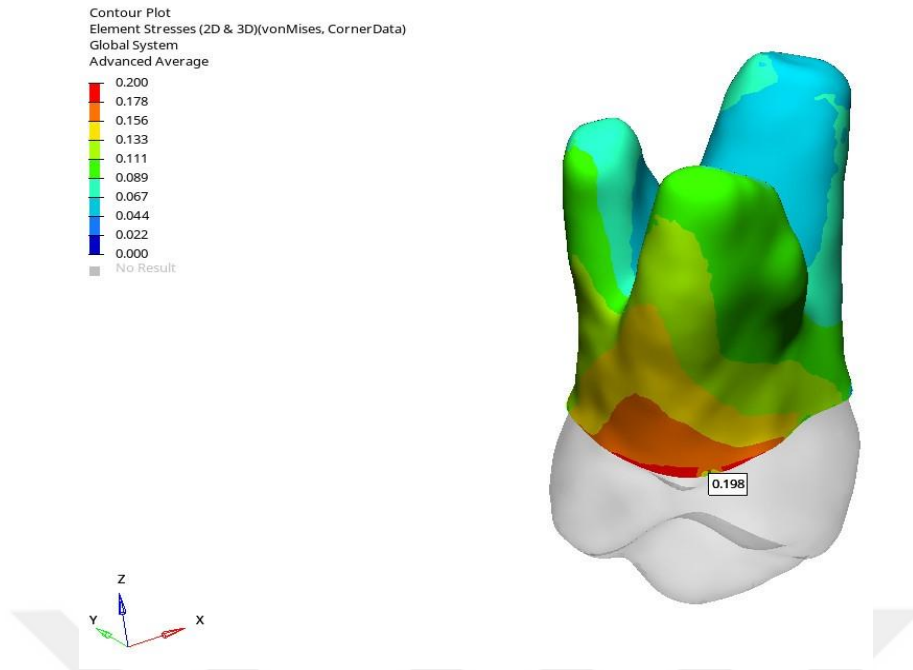
4.14. Model 10'da Görülen Stres Değerleri



Şekil 4. 48. Model 10'da gözlenen daimi birinci büyük azı dişinin tüberkül ve köklerindeki von mises değerleri



Şekil 4. 49. Model 10'da görülen maksimum stres değeri



Şekil 4. 50. Model 10’ da PDL’ deki maksimum stres değeri

Süt birinci ve ikinci azı dişinin eksik olduğu senaryoya, nance apareyinin eklenmesiyle oluşturulan model 10’ da en yüksek stres değerleri kuronun mesial ve mesiopalatinal kısımlarında yoğunlaşmıştır. PDL’ ye iletilen stres büyük ölçüde azalmıştır. PDL’ de en yüksek stres değeri mesiobukkal yüzeyde koronal kısımda dar bir alanda gözlenmiştir.

Tablo 4. 8. Modellere göre von mises değerleri

Model/Marker	MP	DP	DB	MB	Palatinal Kök	Distal Kök	Mesial Kök
MODEL 1	67,031	0,086	0,085	0,321	0,350	0,345	0,205
MODEL 2	66,227	0,114	0,067	0,214	0,390	0,380	0,288
MODEL 3	66,460	0,154	0,102	0,208	0,255	0,273	0,218
MODEL 4	66,468	0,080	0,075	0,127	0,157	0,235	0,210
MODEL 5	66,227	0,114	0,067	0,214	0,389	0,380	0,288
MODEL 6	66,594	0,154	0,102	0,209	0,257	0,274	0,218
MODEL 7	66,705	0,080	0,073	0,129	0,168	0,248	0,216
MODEL 8	66,227	0,114	0,067	0,214	0,392	0,379	0,290
MODEL 9	66,594	0,155	0,103	0,209	0,257	0,273	0,219
MODEL 10	66,704	0,080	0,074	0,128	0,165	0,244	0,215

Tablo 4. 9. Modellerde kuron ve PDL’ deki maximum stres değerleri

	Maximum stres	PDL max stres
Model 1	87.679	0.324
Model 2	87.177	0.425
Model 3	87.399	0.280
Model 4	87.675	0.198
Model 5	87.177	0.425
Model 6	87.575	0.280
Model 7	87.980	0.198
Model 8	87.177	0.425
Model 9	87.575	0.280
Model 10	87.981	0.198

5.TARTIŞMA

Çocuklarda süt azı dişlerinin erken yaşta kaybedilmesi, çok yönlü sonuçları olan dental bir problemdir. Süt azı dişlerinin erken kaybı, bir dizi patolojik değişikliğe neden olabilmektedir. Çeşitli kaynaklara göre süt azı dişlerinin erken kaybının sonuçları; yer kaybı, çapraşıklık, kalıcı dişlerin gömülü kalması, ektopik sürme riski, bitişik dişlerin anormal eğimi, ark uzunluğunun artması olarak sıralanmaktadır (82). Süt dişlerinin erken kaybı nedeniyle oluşacak boşluğu korumak ve bu nedenle oluşabilecek problemlerin önüne geçmek için çeşitli yer tutucu apareyler geliştirilmiştir. Yer tutucu seçimi yapılırken hastanın mevcut durumu ve ihtiyaçları gözetilmeli, avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak karar verilmelidir. Yer tutucuların etkinliklerinin karşılaştırılmasıyla ilgili literatür çalışmaları kısıtlı durumdadır ve bu konuyla ilgili daha fazla çalışma gereksinimi bulunmaktadır (31). Süt azı dişlerinin erken kaybı nedeniyle diş arkında meydana gelen değişikliklere ilişkin klinik çalışmalar; arktaki değişikliğin yönü, çekim nedeniyle oluşan boşluğun miktarı ve yer tutucuya olan ihtiyaç olmak üzere birçok bulguya sahiptir (83). Bhujel ve arkadaşları, yaptıkları bir çalışmada süt azı dişlerinin erken çekimini takiben, kaybedilen azı dişi sayısının artmasıyla birlikte ortodontik tedavi ihtiyacının da arttığını sonucuna varmıştır (84). Maksiller arkta yer kaybı, daimi azı dişlerinin mesiopalatal rotasyonuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, üst süt azı dişlerinin kaybindan sonra olabilecek en kısa sürede, daimi azıların mesiopalatal rotasyonunu önleyebilen bir aparey yapılması gerekmektedir (10,85).

Yapılan çoğu çalışmada, daimi birinci büyük azı dişleri sürdükten sonra süt birinci azı dişlerinin erken kaybının arkta önemli bir boyut değişikliğine neden olmadığı, bu sebeple tek taraflı süt birinci azı dişinin kaybedildiği durumlarda yer tutucularının yapımına gerek olmadığı vurgulanmıştır. İkinci süt azı dişlerinin kaybının ise ark boyutunu önemli ölçüde etkilediği sonucuna varıldığı belirtilmiştir (45,86,87,88). İkinci süt azı dişi, daimi birinci büyük azı dişi için bir sürme rehberi görevindedir. Dolayısıyla bu rehberin erken kaybı büyük bir yer değişikliğine sebebiyet verebilmektedir. Süt ikinci azı dişinin kaybı nedeniyle oluşabilecek yer kaybı, leeway yer rezervi dikkate alındığında, üst çenede alt çeneye kıyasla daha fazla olmaktadır. Bu durum, üst çenede leeway yer rezervinin sınırlı olması ve buna bağlı olarak dişlerin mesial hareketinin daha fazla gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (34). Üst ikinci süt azı dişinin erken

kaybının, ark boyutunda değişikliklere yol açabileceği ve bu durumun ilerleyen dönemde ciddi ortodontik problemlere neden olabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Literatürde, bu tür vakalarda uygun bir yer tutucunun uygulanmasının, olası olumsuz sonuçların önüne geçebileceği yönünde görüşler bulunmaktadır. (89,90,91,92). Bu nedenle, çalışmamızda ark boyutunun korunması açısından daha kritik bir öneme sahip olan üst süt ikinci azı dişı kayıpları ele alınmış ve bu kayıpların önlenmesinde yer tutucuların etkinliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli modeller oluşturulmuştur.

Çalışmamızda, üst süt ikinci azı dişinin tek taraflı ve çift taraflı kaybı ile süt birinci azı ile birlikte kaybedildiği durumlarda yer tutucu olarak kullanılan TPA ve nance apareylerinin etkinliklerine yer verilmiştir. TPA ve nance apareylerinin özellikleri ve klinik uygulamaları ortodontik çalışmalarda yer bulmuştur ancak çocuk diş hekimliği alanında çalışmalar yetersiz olmaktadır (5). Ulaşılabilir literatür kaynaklarında, TPA ve nance apareyini radyolojik ve klinik ölçümlerle karşılaştıran çeşitli çalışmalar mevcuttur. Radyografiler aracılığıyla yer kaybı miktarını değerlendiren çalışmalar, iki boyutlu bir analiz sağladıkları için diş hareketlerinin üç boyutlu doğasını tam olarak yansıtmakta yetersiz kalmaktadır. Benzer şekilde, klinik olarak hastalardan alınan ölçülerle elde edilen alçı modeller üzerinden yapılan değerlendirmeler de anatomik yapıların karmaşıklığını ve diş hareketlerinin dinamik sonuçlarını tam anlamıyla temsil edememektedir.

Dişlerin, alveol kemiğin ve PDL' nin yapısal geometrisini, doku özelliklerini, çenelere uygulanan kuvveti ve bu kuvvetlerin etkisiyle dişte meydana gelecek hareketleri doğru bir şekilde simüle edebilecek bir model tasarlamak "sonlu elemanlar analizi" yöntemiyle mümkün olmaktadır. Sonlu Elemanlar Analizi (SEA), karmaşık geometrilere sahip yapıların mekanik davranışlarının, örneğin gerinme, gerilme ve yer değiştirme miktarlarının, sayısal ve yüksek doğrulukla incelenmesine olanak sağlayan ileri bir matematiksel modelleme yöntemidir. Diş hekimliğinde biyomekanik etkilerin değerlendirilmesi gerektiğinde, klinik araştırmalar, laboratuvar deneyleri ya da hayvan modelleriyle elde edilen veriler yerine, SEA kullanılarak bilgisayar destekli standartlaştırılmış simülasyonlar oluşturulabilmektedir. Bu yöntem, biyomekanik analizlerin daha kontrollü, tekrarlanabilir ve etik bir şekilde gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır (93).

SEA' nın uygulanabilmesi için öncelikle matematiksel modeller oluşturulmakta, ardından bu modellere kuvvetler uygulanarak oluşan stres dağılımları ve mekanik etkiler hesaplanabilmektedir. Literatürde yapılan birçok çalışma, SEA' nın tutarlı sonuçlar sağladığını ve diğer test yöntemleriyle yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu yöntemde kullanılan materyallerin özellikleri, kuvvetin şiddeti ve yönü kolaylıkla değiştirilebilmekte ve analizlerin istenildiği kadar tekrarlanmasına olanak tanınmaktadır. Bu esneklik, SEA' yı biyomekanik araştırmalarda güçlü bir araç haline getirmektedir. SEA' nın diğer yöntemlere göre bir diğer avantajı da sonuçların hızlı bir şekilde elde edilebilmesidir (94). Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan modeller için BT (Bilgisayarlı Tomografi), CBCT (Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi) ve MR (Manyetik Rezonans) gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Dental alanda modellerin elde edilmesi için en yaygın kullanılan yöntem, CBCT ile elde edilen verilerin DICOM formatında kullanılmasıdır (95,96,97).

SEA, diş hekimliği alanında birçok çalışmada kullanılmış ve hala kullanılmakta olan pratik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Analizde, üç boyutlu modellerin kullanılması, gerçeğe yakın ve doğru sonuçların elde edilmesi açısından önemli olmaktadır. İncelenen parametreler, çalışma ortamının bir simülasyon olması nedeniyle herhangi bir risk oluşturmada ve araştırma gereksinimlerine uygun şekilde uç sınırlara kadar değiştirilebilir. SEA, malzeme üzerindeki stres ve deformasyonları analiz ederek karmaşık yapısal problemleri çözmede etkili bir yöntemdir. Bu sayede, klinik olarak test edilmesi zor olan durumlar güvenli bir şekilde modellenenebilir ve farklı senaryolar altında yer tutucuların etkinliği değerlendirilebilir (5,98). Tüm bu bilgiler doğrultusunda, çalışmamızda olgunlaşmamış daimi birinci molar dışın çiğneme kuvvetleri karşısındaki stres ve yer değiştirme dağılımlarını değerlendirmek ve bu etkilerin TPA ile nance apareyleri tarafından ne ölçüde sınırlandırıldığını belirlemek amacıyla SEA kullanılmıştır.

Üç boyutlu SEA'da, modelde yer alan eleman ve düğüm sayısının artması, analiz sonuçlarının gerçek duruma daha yakın olmasını sağlamaktadır. Bunun nedeni, eleman ve düğüm sayısındaki artışın, modelin incelenen anatomik yapıyı daha detaylı ve gerçeğe uygun bir şekilde temsil etmesine olanak tanınmasıdır. Bu durum, analizlerin hassasiyet ve doğruluğunu artırmaktadır (99,100). Düğüm sayısının artması, analiz sonuçlarının gerçekliğe yakınlığını artırsa da bu durum aynı zamanda analiz süresinin

uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, düğüm sayısının artırılması hem doğruluk hem de çözüm süresi açısından optimal bir denge sağlanacak seviyeye kadar sınırlı tutulmalıdır (93). Çalışmamız için belirlenen düğüm ve eleman sayılarıyla analizin mümkün olan en gerçekçi şekilde çözülmesi amaçlanmıştır.

Malzeme özelliklerinin belirlenmesi, SEA yöntemindeki en kritik parametrelerden biridir. Biyolojik dokuların modellenmesi, mineral içeriği, cinsiyet ve yaş gibi değişkenlerden etkilendiği için, bu özellikler her birey için farklılık gösterebilmektedir. SEA’da dokular tanımlanırken, bazı değişkenlerin sabit kabul edilmesi gerekmektedir. Bu durum, SEA yönteminin en önemli dezavantajlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Çene kemiklerinin elastik özelliklerinin kesin değerlerinin belirlenememesi nedeniyle, SEA ile gerçekleştirilen çalışmalarda, modeldeki dokunun lineer elastik, izotropik ve homojen özellikler taşıdığı varsayılmıştır (101,102,103). Literatürde, SEA çalışmalarında farklı dokulara ait çeşitli Young modülü ve Poisson oranları kullanılmıştır. Çalışmamızda kortikal kemik, diş ve yer tutucu bileşenlerinin Poisson oranları ve Young modülleri, benzer çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir (3).

Kojima ve Fukui yaptıkları bir çalışmada; sonlu elemanlar analizinin klinik koşulları başarılı bir şekilde taklit edebileceğini savunmuştur. Sonlu elemanlar analizinin ortodontik çalışmalarda; diş hareketi gibi karmaşık olayları simüle edebilmesi, çocuk diş hekimliği alanında da yer tutucuları araştırmada kullanılması konusunda yol gösterici olmuştur (104).

Çiğneme kuvveti yaş, cinsiyet, diş gelişim evresi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Çocuklarda bu kuvvetin maruz kaldığı kemik ve diş dokuları da henüz tam olarak olgunlaşmadığından yetişkinlere göre farklılık gösterebilmektedir. Çocuklarda alveol kemik; daha az kalsifiye, daha az trabeküllü ve daha elastik bir yapıya sahiptir. Karma dişlenme döneminde, daimi azı dişlerinin gelişim ve sürme süreçleri devam etmektedir. Bu dişlerin kök oluşumları ise henüz tamamlanmamıştır. Olgunlaşmış dişlere göre daha kısa köklere sahip olan bu dişler, çiğneme kuvvetlerini dağıtmak için daha sınırlı bir yüzey alanına sahiptir. Komşu bir dişin eksikliği, çiğneme sırasında gelen kuvvetlerin düzgün bir şekilde dağıtılamamasına neden olabilmektedir. Bu durumda, olgunlaşmamış daimi dişe gelen kuvvetler artmaktadır. Mesialdeki destek eksikliği nedeniyle diş, normalden daha fazla çiğneme yükü taşır. Bu, dişin yapısal dayanıklılığını zorlayabilir ve kök gelişimini

olumsuz etkileyebilir. Artan stres, olgunlaşmamış dişin periodontal bağ dokusunda ekstra yüke neden olarak dişin yer değiştirmesine veya istenmeyen hareketlere yol açabilmektedir (105,106). Süt azılarının erken kaybında çekim boşluğunu bir yer tutucuyla korumak bu sebeple büyük önem taşımaktadır (10,107). 6-12 yaş arasındaki çocuklarda, gıdaların çiğnemesi ve yutulması sırasında dişlere gelen maksimum kuvvetler 70-150 N arasında değişmektedir. Normal fizyolojik çiğneme kuvveti ise 78 N'dir (108). Bu değer çalışmamızda ortalama 70 N olarak kabul edilmiştir (10). Çiğneme sırasında oluşan bu kuvvetler; alt daimi 1. azı dişiyle temas halinde olan, üst daimi 1. azı dişinin mesiopalatinal tüberkülüne etki etmektedir. Çalışmamızda bu dişlerde meydana gelen değişiklikleri incelemek için mesiopalatinal tüberküle çiğneme kuvvetlerini temsilen 70 N'luk vertikal bir kuvvet uygulanmıştır.

2016'da yapılan bir çalışmada, yer tutucuların fizyolojik çiğneme kuvvetlerine karşı dişlerin mesial-distal hareketini pasif bir şekilde engellediği, bu nedenle PDL'deki gerilmelerin ve diş hareketinin ortodontiden farklı bir şekilde ele alınması gerektiği savunulmuştur. Sonlu elemanlar analizinin uygulandığı dental çalışmalarda, stres birikimlerini incelemek ve yorumlamak amacıyla Pmax (gerilme) ve Pmin (sıkışma) değerlerinin bileşkesi olan von mises stres kriteri kullanılmıştır (103,109). Bu çalışmada da fizyolojik çiğneme kuvvetlerine maruz kalan olgunlaşmamış daimi birinci molar diş üzerinde oluşan von mises stresleri ile bu streslerin etkisiyle meydana gelen yer değiştirme miktarları, 10 farklı senaryo kapsamında analiz edilmiştir. Her bir senaryoda, daimi birinci molar dişin tüberkül ve kök bölgelerindeki von Mises stres değerleri ile kuron ve periodontal ligament (PDL) üzerindeki maksimum von Mises stres değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen farklı stres değerlerini görselleştirmek amacıyla, analiz sonuçları çeşitli renk skalaları kullanılarak sunulmuştur.

Nance apareyinin uygulandığı modellerde, yer tutucunun sağladığı destek sayesinde gelen streslerin azaldığı ve bu durumun periodontal ligamente (PDL) iletilen stresi minimum seviyeye indirdiği gözlemlenmiştir. PDL'ye iletilen stres düzeyi, en düşük seviyede Nance apareyi uygulanan modellerde (Model 1, 4, 7) görülmüş, bunu sırasıyla TPA apareyinin kullanıldığı modeller (Model 3, 6, 9) takip etmiştir. Hiçbir yer tutucunun uygulanmadığı ve dişsiz boşluk içeren modellerde (Model 2, 5, 8) ise PDL'ye iletilen stresin en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Sabeti ve arkadaşlarının 2020 yılında sabit yer tutucuların etkinliğini sonlu elemanlar analizi (SEA) ile incelediği

çalışmada, yer tutucu uygulandığında periodontal ligamente (PDL) iletilen stresin azaldığı belirtilmiştir. Çalışmamızda elde edilen bulgularla benzer olarak, gelen streslerin yer tutucu üzerinde ve daimi dişin distal bölgesinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir (3).

Diş üzerinde oluşan streslere bağlı olarak, dişin X, Y ve Z eksenlerindeki yer değiştirme miktarları ile bu eksenlerdeki hareketlerin bileşkesi olan toplam yer değiştirme (mag) değerleri görselleştirilerek sunulmuştur. X eksenindeki hareketler değerlendirildiğinde, diş kaybının bulunduğu ve herhangi bir yer tutucunun yer almadığı modellerde (Model 2, 5, 8) daimi azı dişinin palatinal doğru hareket etme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. TPA apareyinin uygulandığı modellerde (Model 3, 6, 9) ise palatinal hareketin kısıtlandığı tespit edilmiştir. Nance apareyinin kullanıldığı modellerde ise (Model 4, 7, 10) apareyin kuronu bukkale doğru hareket ettirme etkisi sayesinde dişin palatinal hareketinin daha da fazla sınırlandırıldığı belirlenmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bu bulgular; bukkale doğru hareket ettirme eğiliminin nance apareyinde akrilik bileşenin sağladığı destek nedeniyle daha belirgin olduğu, nance apareyinin dişi bukkal yönde itme etkisi gösteren ortodontik çalışmalarla uyum göstermiştir (110,111). Zablocki ve ark. TPA' nın bu konuda daha minimal bir etkiye sahip olmakla birlikte, dişin palatinal hareketini kısıtlarken belirli düzeyde bukkale yer değiştirmeye neden olabileceğinden bahsetmiştir (112).

Çalışmamızda yer tutucuların boşluk koruma üzerindeki etkileri değerlendirildiğinden, çalışmamız için en önemli yer değiştirme eksenini “y eksenini” olmaktadır. 10 modelin kuronundan okunan değerlere baktığımızda (displacement Y), hepsi -Y yönünde hareket etmiştir. Diş kökleri ise distale doğru hareket etme eğilimi göstermiştir. Tüm bu bulgular süt ikinci azı dişi eksik olan vakalarda daimi birinci azı dişinin mesiopalatal rotasyon ile mesiale devrilme şeklinde hareket ettiğini kanıtlamaktadır ve ilgili çalışmaları doğrulamaktadır (10,62,113,114). Tabatabai ve Kjellberg, süt ikinci azı dişlerinin erken kaybının, daimi birinci azı dişlerinde mesiale eğilmeye neden olduğunu ve farklı yer tutucuların kullanımının bu nedenle oluşacak yer kaybını önlemede etkili olabileceğini bildirmiştir (115). Cernie ve ark. da üst süt azı dişinin erken kaybindan ardından yer tutucuların kullanımının daimi birinci azı dişlerinde ve diş arkında meydana gelebilecek olan problemlerin önüne geçileceğini belirtmiştir (88).

Tüm dişlerin mevcut olduğu sağlam bir dental arka sahip olan model 1’de, maksimum stres daimi birinci azı dişinin mesial kontağında yoğunlaşmıştır ve bu stresin köklerden ziyade azı dişinin mesialindeki süt ikinci azı dişine aktarıldığı görülmektedir. Kuronun diğer bölgelerinde kök PDL’ sinde ise daha az stres görülmüştür. Bu bulgular, benzeri çalışmalarla uyum göstermektedir (10). Uygulanan kuvvetin, diş kuronu ve kök apeksi bölgelerinde minimal düzeyde bir yer değiştirmeye neden olduğu belirlenmiştir. Bu yer değiştirmenin klinik açıdan anlamlı olmadığı ve fizyolojik sınırlar içerisinde kabul edilebileceği değerlendirilmektedir. Hiçbir dişin kaybedilmediği sağlam bir arka, anlamlı bir yer değiştirmenin gözlemlenmediğini ortaya koyan çeşitli klinik çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmamızda elde edilen bulgular da literatürde bildirilen bu sonuçlarla benzerlik göstermektedir (10,116).

Süt ikinci azı dişinin tek taraflı olarak eksik olduğu Model 2’de, daimi birinci azı dişinin mesial bölgesindeki boşluk nedeniyle stresin, Model 1’e kıyasla köklere daha fazla aktarıldığı tespit edilmiştir. Çalışmamızda, maksimum stresin dişin mesiobukkal kökünde ve palatinal kökün mesial yüzeyinde belirgin derecede yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Dişte oluşan bu streslerin etkisiyle, yer değiştirme değerlerinin birinci modele kıyasla belirgin bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu yer değiştirmenin, bütünsel bir hareketten ziyade, dişin mesial yönde eğilmesi şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Söz konusu eğilme hareketinin büyük ölçüde kurondaki yer değişikliği ile meydana geldiği görülmüştür. Elde edilen tüm bu bulgular, daha önce yapılan klinik çalışmalarla uyumlu olup, çalışmamız tarafından da doğrulanmıştır (34,117,118). TPA’nın ankraj etkinliğinin değerlendirildiği bir sonlu elemanlar analizi çalışmasında da bu tür dişlerde meydana gelen hareketin mesiale devrilme şeklinde olduğu gösterilmiştir (104).

Süt ikinci azı dişinin tek taraflı eksik olduğu durumda, TPA’nın uygulandığı Model 3’te, daimi azı dişinin periodontal ligamentine (PDL) iletilen stresin Model 2’ye kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Stresin, diş kuronunun mesial bölgesinde ve kökün mesial yüzeyinin servikal bölgesinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yer tutucunun, stresi bu bölgeye yönlendirerek PDL’ye aktarılan stresi azalttığı belirlenmiştir. Dişin mesial yönde devrilme hareketi, yer tutucu (TPA) sayesinde Model 2’ye oranla azalmış olmakla birlikte, süt azı dişinin kaybedilmediği model 1’ deki kadar etkili bir kısıtlama

sağlanamamıştır. Bu bulgular, yer tutucuların azı dişlerinin hareketini sınırlayıcı etkisini ortaya koyan önceki çalışmalarla uyum göstermektedir (45,56)(113).

4. modeldeki bulgular incelendiğinde, nance apareyinin uygulanması ile daimi birinci büyük azı dişinin köklerine iletilen stresin minimum düzeye indiği görülmüştür. Maksimum stresin özellikle palatal ve mesial kökte gözle görülür derecede azaldığı izlenmektedir. Daimi azı dişindeki yer değiştirme bulguları incelendiğinde, diğer tüm modellere göre daha az mesiale eğilme hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu modelde kuronun bukkale doğru yer değiştirdiği de tespit edilmiştir. Bu bulgu, Nance apareyinin bukkal devrilme etkisi yarattığını belirten önceki çalışmalarla uyumlu bir şekilde sonuçlanmaktadır (4,5).

Çift taraflı olarak süt ikinci azısının olmadığı model 5 (M5) ve tek taraflı olarak süt birinci ve ikinci azı dişinin kaybedildiği model 8' de (M8); 2. modeldekine benzer stres değerleri görülmüştür. Yer değiştirme değerleri incelendiğinde M2, M5, M8 şeklinde yer değiştirme değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu modeller daimi dişte en fazla mesiale eğilme hareketinin gözlemlendiği modellerdir. Süt dişi kayıplarının olduğu bu modellere (model 2, 5, 7), TPA' nın eklenmesiyle, model 3, 6 ve 9 oluşturulmuştur. TPA'nın uygulandığı modellerde, yer tutucu bulunmayan modellere kıyasla daha düşük stres ve yer değiştirme değerleri gözlemlenmekle birlikte, daimi azı dişinin mesiale eğilmesini tamamen engelleyemediği tespit edilmiştir (Şekil 4.6, Şekil 4.12, Şekil 4.18). Bununla birlikte, TPA'nın tek taraflı süt ikinci azı eksikliği bulunan Model 3'te, bilateral kayıp bulunan Model 6'ya ve uzun dişsiz boşluk içeren (süt birinci ve ikinci azı eksik) Model 9'a kıyasla daha az mesiale eğilmeye neden olduğu belirlenmiştir. Chauhan ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, aynı ark üzerinde bilateral diş kayıplarının bulunduğu karma dişlenme döneminde TPA' nın yer tutucu olarak başarılı bir şekilde uygulanabileceği belirtilmiştir (10). Çalışmamızdaki bulgular da bu görüşü destekler niteliktedir. Martín-Vacas ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği klinik çalışmada, TPA'nın bilateral süt ikinci azı eksikliklerinde kullanımı, tek taraflı eksikliklere kıyasla daha fazla yer kaybına neden olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, TPA'nın özellikle bilateral durumlarda yer tutucu etkisinin sınırlı olduğunu ve kullanımının tek taraflı diş eksiklikleriyle sınırlandırılması gerektiğini savunmaktadır (4) Ancak, bizim çalışmamızdan elde edilen bulgular, TPA'nın yer koruma etkisinin sınırlı olmasına rağmen, daimi dişin palatinal hareketini önlediğini göstermektedir. Ayrıca, TPA, Nance

apareyine kıyasla mesial eğilmeye daha az direnç gösterse de gelen streslerin olgunlaşmamış dişin periodontal ligamentine (PDL) yüklenmesine izin vermemektedir. Bu sonuçlar, TPA'nın belirli durumlarda Nance apareyine bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Nance apareyinin uygulandığı modellerde (model 4, 7, 10), daimi azı dişinin mesialinin aparey tarafından sınırlandırılmasıyla birlikte stresin dişle yer tutucunun temas ettiği bölgede yoğunlaştığı izlenmektedir. Nance apareyinin varlığı, dişin mesialinde dişin olduğu modele benzer şekilde stresin PDL' ye aktarılmasını sağlamıştır. Bu bulgu, Southard ve arkadaşlarının yaptığı; oklüzale gelen kuvvetin proksimal bir temasla dişin mesialine aktarıldığını bildiren bir çalışmayla tutarlıdır. Chauhan ve arkadaşları da benzer sonuçlar bildirmiştir (10,119). Gelen stresin yer tutucuya aktarılmasıyla birlikte PDL' ye iletilen stres oldukça azalmıştır. Buna bağlı olarak mesiale devrilme minimum düzeyde olmuştur.

Çalışmamızda kullandığımız TPA ve nance apareyleri, çoklu yer kayıplarında yer tutucu olarak kullanılabilen sabit apareylerdir. TPA'nın boşluk korumadaki etkinliği, Nance apareyine kıyasla hasta konforu ve doku tahrişi açısından sağladığı avantajlara rağmen hala tartışma konusu olmaya devam etmektedir. TPA'nın rotasyon ve mesiale devrilme hareketlerini önlemedeki potansiyeli kabul edilse de uzun vadeli stabilite ve etkinliği konusundaki klinik veriler farklılık göstermektedir. (5). Stivaros ve ark. daimi azı dişlerin mesiaopalatinal rotasyonunun teorik olarak TPA tarafından kontrol edilebileceğini ve düzeltilebileceğini ancak yer tutma konusundaki etkinliğinin öngörülemez olduğunu savunmuştur. TPA'nın hasta konforu açısından ise nance apareyine göre daha az rahatsızlığa neden olabileceği belirtilmiştir (6,62). TPA'nın ankraj etkinliğini değerlendiren ortodontik bir çalışmada, daimi dişler üzerinde ankrajı artırmada belirgin bir etkisinin olmadığı, ancak daimi dişlerin rotasyonunu önleyebildiği belirtilmiştir. Kojima ve Fukui tarafından gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi çalışmasında ise yer tutucular üzerinde mesiale yönelen kuvvetlerden ziyade çiğneme kuvvetlerinin etkili olduğu ve bu nedenle aynı ark üzerinde bilateral diş kayıplarında TPA'nın başarıyla uygulanabileceği ifade edilmiştir (104).

Literatürde, TPA' nın yer tutucu olarak kullanımının etkileri şüpheli bulunsa da Kupietzky ve ark. TPA kullanımının avantajlarını göz önüne sererek nance apareyine iyi bir alternatif olabileceğinden bahsetmiştir. Çoğu klinisyen bu apareyin kullanımıyla

ilgili tartışmalardan kaçınmak adına bu apareyi tek taraflı diş kayıplarında kullanmayı tercih etmektedir (5). Ortodonti çalışmalarında, çift taraflı kullanılan TPA' nın daimi azı dişler arasında rijit bir bağlantı oluşturarak ark stabilitesini artırdığı, çiğneme kuvvetlerinin etkisiyle daimi azı dişlerin bir bütün olarak kolektif biçimde mesialize olmasına yol açabildiği belirtilmiştir. Bu etkinin önlenmesi amacıyla, TPA'nın tel kalınlığının artırılması veya tasarımında yapısal modifikasyonlar yapılması uygun bir yaklaşım olabilmektedir (81). Diş hareketlerini üç boyutlu bir simülasyon oluşturarak incelediğimiz çalışmamızda, nance apareyinin kullanıldığı modellerde daimi dişteki mesial hareketin çok başarılı bir şekilde sınırlandırıldığı görülmektedir. TPA uygulanan modellerde, bilateral diş kaybının olduğu model de dahil olmak üzere daimi dişteki mesial hareket sınırlandırılmış, TPA yer tutucu olarak görevini yerine getirmiştir.

Kojima ve Fukui tarafından belirlenen parametrelere göre, SEA sonuçlarının klinik bulgularla büyük ölçüde uyumlu olması, çalışmamızdan elde edilen sonuçların geçerliliğini desteklemektedir. Diş hareketinin klinik koşullar altında doğrudan incelenmesi sınırlı olduğundan, SEA ile oluşturulan matematiksel model bu durumu analiz etmemize ve yer tutucuların etkinliği hakkında değerlendirme yapmamıza olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, çalışmamızın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu sınırlılıklar arasında, modelin zamana bağlı olmaması, periodontal ligamentin doğrusal olmayan fibröz yapısının tam olarak yansıtılamaması ve fizyolojik çiğneme yüklerinin uzun vadeli etkilerini değerlendirmek için zamanın bir faktör olarak ele alınmaması yer almaktadır. Araştırmamızda TPA ve Nance apareylerinin daimi diş hareketini önlemesi üzerinden yer tutucu etkinlikleri değerlendirilmiştir ancak bu apareylerin kanin dişlerinin çekim boşluğuna doğru distal hareketinden kaynaklanan kayıp üzerinde hiçbir etkisi yoktur (113).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Erken süt dişi kaybının ve üst çeneye uygulanan iki farklı yer tutucunun olgunlaşmamış daimi diş üzerindeki etkilerini ve buna bağlı olarak yer kaybını, SEA'nın sınırlamaları çerçevesinde incelediğimiz bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

Nance apareyi, uygulandığı modellerde gelen stresleri daha etkin bir şekilde azaltarak periodontal ligamente (PDL) iletilen stresi minimum düzeye indirmiştir. Buna karşın, TPA uygulanan modellerde orta düzeyde stres gözlenmiş, yer tutucu bulunmayan modellerde ise PDL üzerindeki stresin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızdaki modelleri kendi içlerinde kıyasladığımızda, daimi dişin mesial devrilmesinin en az olduğu modeller nance apareyinin kullanıldığı modeller olmuştur. Bunu TPA Apareyinin kullanıldığı modeller, sonrasında da hiçbir yer tutucunun kullanılmadığı diş kaybı olan modeller izlemiştir.

TPA, dişin palatine doğru hareketini kısmen kısıtlarken, Nance apareyinin bukkal yönde uyguladığı kuvvet sayesinde bu hareketi daha fazla engellediği gözlemlenmiştir.

Sonuçlarımız hem TPA'nın hem de nance apareyinin olgunlaşmamış daimi azı dişinin anlık yer değiştirmesini ve dişler üzerindeki stresi önemli ölçüde azalttığını göstermiştir.

Nance apareyi, erken süt dişi kaybı sonrası daimi azı üzerindeki olumsuz etkileri azaltmada TPA'ya kıyasla daha etkili olsa da oral hijyen durumu yetersiz olan veya akrilik bileşenlerini tolere edemeyen çocuklar için TPA, yer koruma açısından daha uygun bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Tek taraflı olarak süt birinci ve ikinci azı dişinin birlikte kaybedildiği vakalarda, nance apareyinin dezavantaj ve komplikasyonlarının göze alınamadığı durumlarda TPA'nın kullanımı hem daimi diş gelişimini hem de ark stabilitesini desteklemek açısından faydalı bir seçenek sunmaktadır.

Yer tutucu seçiminde, hastanın oral hijyen durumu, uyum kapasitesi ve tedavi sürecine adaptasyonu dikkate alınmalıdır. Klinik çalışmalarda, uzun vadeli kullanım sonuçları

değerlendirilerek her iki apareyin etkileri daha geniş hasta gruplarında araştırılmalıdır. SEA analizlerine zamana bağlı faktörler dahil edilerek, çiğneme kuvvetlerinin uzun vadeli etkileri daha kapsamlı bir şekilde incelenmelidir. Yer tutucuların etkinliğini artırmak amacıyla bireyselleştirilmiş tedavi yaklaşımları ve hasta bazlı planlamalar yapılmalıdır. Yer kaybının değerlendirileceği çalışmalarda, kanin dişin veya süt birinci azı dişinin çekim boşluğuna olan distal hareketlerinin de incelenmesi gerekmektedir.



7. KAYNAKLAR

1. Hakim MAA, Khatab NMA, Mohamed KMG, Elheeny AAH. A Comparative Three-Dimensional Finite Element Study of Two Space Regainers in the Mixed Dentition Stage. *Eur J Dent*. 2020 Feb;14(1):107–14.
2. Barbería E, Lucavechi T, Cárdenas D, Maroto M. Free-end space maintainers: design, utilization and advantages. *J Clin Pediatr Dent*. 2006 Autumn;31(1):5–8.
3. Sabeti AK, Karimizadeh Z, Rafatjou R. Maximum equivalent stress induced and the displacement of the developing permanent first molars after the premature loss of primary second molars: A finite element analysis. *Dent Med Probl*. 2020 Oct;57(4):401–9.
4. Martín-Vacas A, Caleyá AM, Gallardo NE. Comparative Analysis of Space Maintenance Using Transpalatal Arch and Nance Button. *J Clin Pediatr Dent*. 2021 Apr 1;45(2):129–34.
5. Kupietzky A, Tal E. The transpalatal arch: an alternative to the Nance appliance for space maintenance. *Pediatr Dent*. 2007 May;29(3):235–8.
6. Stivaros N, Lowe C, Dandy N, Doherty B, Mandall NA. A randomized clinical trial to compare the Goshgarian and Nance palatal arch. *Eur J Orthod*. 2010 Apr;32(2):171–6.
7. Poiate IAVP, de Vasconcellos AB, de Santana RB, Poiate E. Three-dimensional stress distribution in the human periodontal ligament in masticatory, parafunctional, and trauma loads: finite element analysis. *J Periodontol*. 2009 Nov;80(11):1859–67.
8. Bobak V, Christiansen RL, Hollister SJ, Kohn DH. Stress-related molar responses to the transpalatal arch: a finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997 Nov;112(5):512–8.
9. Santler G, Kärcher H, Ruda C. Indications and limitations of three-dimensional

- models in cranio-maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 1998 Feb;26(1):11–6.
10. Chauhan SP, Sharma DS, Jain ML. Initial stresses induced in permanent maxillary first molar in mixed dentition under normal masticatory forces: A finite element study. *J Clin Pediatr Dent.* 2016;40(4):334–40.
 11. Zhang H, Cui JW, Lu XL, Wang MQ. Finite element analysis on tooth and periodontal stress under simulated occlusal loads. *J Oral Rehabil.* 2017 Jul;44(7):526–36.
 12. McNeill C. Occlusion: what it is and what it is not. *J Calif Dent Assoc.* 2000 Oct;28(10):748–58.
 13. Çayönü S, Yüksel BN, Sari Ş. Dişsiz Dönemden Daimi Dişlenme Sürecine Kadar Oklüzyonun Kurulumu. *Türkiye Klinikleri Dishekimligi Bilimleri Dergisi.* 2020;26(1):110–21.
 14. Proffit WR, Fields H, Larson B, Sarver DM. Contemporary Orthodontics-E-Book: Contemporary Orthodontics-E-Book. 2018; Available from: https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=A45nDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=P1&dq=Later+stages+of+development.+In:+Proffit+WR,+Fields+HW+Jr,+Larson+BE,+Sarver+DM,+eds.+Contemporary+Orthodontics.&ots=xGmcVVZUe&sig=pE19lXSxWq1ZwjN_9GQudWTrqeU
 15. Marwah N. Pediatric Space Managment. In: *TEXTBOOK OF PEDIATRIC DENTISTRY*. 3rd ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2014. p. 424- 54.
 16. Manjunatha BS. Textbook of dental anatomy and oral physiology. New Delhi, India: Jaypee Brothers Medical; 2012. 268 p.
 17. Oliver RG, Moxham BJ. The development of dental occlusion. *Curr Paediatr.* 2000 Dec;10(4):295–300.
 18. Ash MM, Nelson SJ. Wheeler’s Dental Anatomy, Physiology, and Occlusion. Saunders; 2003. 570 p.

19. Vinay S, Keshav V, Sankalecha S. Prevalence of spaced and closed dentition and its relation to malocclusion in primary and permanent dentition. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2012 May;5(2):98–100.
20. Baume LJ. Physiological tooth migration and its significance for the development of occlusion. I. The biogenetic course of the deciduous dentition: I. The biogenetic course of the deciduous dentition. *J Dent Res.* 1950 Apr;29(2):123–32.
21. Srinivasan D, Loganathan D, Kumar SS, Louis CJ, Eagappan S, Natarajan D. An evaluation of occlusal relationship and primate space in deciduous dentition in Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *J Pharm Bioallied Sci.* 2017 Nov;9(Suppl 1):S45–9.
22. Marwah N. Textbook of pediatric dentistry. 2018; Available from: https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=ZK52DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Marwah+N.+Development+of+occlusion,+textbook+of+pediatric+dentistry,+In:Marwah+N,++Vishwanathiah+S,+Gr+R,+eds.+Fourth+edition,+New+Delhi,+London,+Panama:+Jaypee++Brothers,+2019,+p:165-179.&ots=i0sEiThTxO&sig=I86-s_I_9zTDXKhEu9WlcseLGBA
23. Bishara SE. Textbook of Orthodontics. 2001. 616 p.
24. Premkumar S. TEXTBOOK OF ORTHODONTICS - E-Book. Elsevier Health Sciences; 2015. 780 p.
25. Vijayalakshmi K. Textbook of Orthodontics. CBS Publishers & Distributors Pvt Limited, India; 2019.
26. Hille HM. The Mean Leeway Space in a Population of Orthodontic Patients in Zurich. 2010. 44 p.
27. Singh G. Textbook of orthodontics. 3rd ed. New Delhi, India: Jaypee Brothers Medical; 2015. 736 p.
28. Casamassimo PS, Fields HW, McTigue DJ, Nowak A. Pediatric Dentistry - Pageburst E-Book on VitalSource, Infancy through Adolescence, 5: Pediatric Dentistry - Pageburst E-Book on VitalSource. Elsevier Health Sciences; 2012. 650

p.

29. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent*. 2009 May;19(3):155–62.
30. Kirzioğlu Z, Ertürk MSO. Success of reinforced fiber material space maintainers. *J Dent Child* . 2004 May-Aug;71(2):158–62.
31. Cenzato N, Crispino R, Galbiati G, Giannini L, Bolognesi L, Lanteri V, et al. Premature loss of primary molars in children: space recovery through molar distalisation. A literature review. *Eur J Paediatr Dent*. 2024 Mar 1;25(1):72–6.
32. Padma Kumari B, Retnakumari N. Loss of space and changes in the dental arch after premature loss of the lower primary molar: a longitudinal study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2006 Jun;24(2):90–6.
33. Demir P, Evren A. Koruyucu ve Durdurucu Pedodonti ve Ortodonti Uygulamaları. *Livre de Lyon*; 2021. 178 p.
34. Pokorná H, Marek I, Kucera J, Hanzelka T. Space Reduction After Premature Loss of A Deciduous Second Molar -Retrospective Study. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2016 Nov 1;15(11):1–08.
35. Simsek S, Yilmaz Y, Gurbuz T. Clinical evaluation of simple fixed space maintainers bonded with flow composite resin. *J Dent Child (Chic)*. 2004 May;71(2):163–8.
36. Yilmaz Y, Kocogullari ME, Belduz N. Fixed space maintainers combined with open-face stainless steel crowns. *J Contemp Dent Pract*. 2006 May 1;7(2):95–103.
37. Jitesh S, Mathew MG. Space maintainer-A review. *Drug Inven Today* [Internet]. 2019;11. Available from: <https://medicopublication.com/index.php/ijfmt/article/download/13189/12149/25191>
38. Adak A, Saha S, Sarkar S, Saha N, Pal S. SPACE MAINTAINERS IN PEDIATRIC DENTISTRY - A REVIEW [Internet]. *wbidajournal.org*; 2018. Available from: <http://wbidajournal.org/upload/article/article127.pdf>

39. Kargul B, Caglar E, Kabalay U. Glass fiber-reinforced composite resin as fixed space maintainers in children: 12-month clinical follow-up. *J Dent Child* . 2005 Sep-Dec;72(3):109–12.
40. Singh PH, Naorem H, Chaoba T, Debbarma N. MODERN CONCEPTS OF SPACE MAINTAINERS AND SPACE REGAINERS: A REVIEW ARTICLE. 2020 Feb 22.
41. McDonald RE, Avery DR, Dean JA. [ALINTI] Dentistry for the child and adolescent/[edited by] Ralph E. McDonald, David R. Avery, Jeffrey A. Dean. 2004; Available from: <https://scholar.google.com/citations?user=EfqTBuwAAAAJ&hl=tr&oi=sra>
42. Pinkham JR, Casamassimo PS, Tulunoğlu Ö, Tortop T. Çocuk diş hekimliği: bebeklikten ergenliğe. 2009. 750 p.
43. Christensen JR, Fields H, Sheats RD. Treatment planning and management of orthodontic problems. In: *Pediatric Dentistry*. Elsevier; 2019. p. 512–53.e3.
44. Dean JA, Avery DR, McDonald RE. McDonald and Avery Dentistry for the Child and Adolescent - E-Book: McDonald and Avery Dentistry for the Child and Adolescent - E-Book. Elsevier Health Sciences; 2010. 719 p.
45. Terlaje RD, Donly KJ. Treatment planning for space maintenance in the primary and mixed dentition. *ASDC J Dent Child*. 2001 Mar-Apr;68(2):109–14, 80.
46. Ghafari J. Early treatment of dental arch problems. I. Space maintenance, space gaining. *Quintessence Int*. 1986 Jul;17(7):423–32.
47. Demirel A, Sarı Ş. Pediatric dentist-pediatrician cooperation in early diagnosis of congenital tooth agenesis. *J Pediatr Res*. 2019 Jul 11;6(2):88–93.
48. christensen and avery. In: DEAN, JA, McDONALD, RE, AVERY, DR (2000) Managing the developing occlusion In: *Dentistry for The Child and Adolescent* 7th Ed: RE Mc Donald, DR Avery St Louis: Mosby Co Bölüm 27.
49. WAGGONER, W. F. , KUPIETZKY, A. (2001). Anterior esthetic fixed appliances for the preschooler: considerations and a technique for placement. *Pediatr Dent* .

- 23: 147-150. waggener.
50. Hitchcock HP. Preventive orthodontics. In: Clinical Pedodontics. S.B. Finn. W.B. Saunders Co, editor. Bölüm 16;
 51. Bijoor RR, Kohli K. Contemporary space maintenance for the pediatric patient. N Y State Dent J. 2005 Mar;71(2):32–5.
 52. S Deshpande S, D Bendgude V, Kokkali V V. Survival of Bonded Space Maintainers: A Systematic Review. Int J Clin Pediatr Dent. 2018 Oct 1;11(5):440–5.
 53. Santos VL, Almeida MA, Mello HS, Keith O. Direct bonded space maintainers. J Clin Pediatr Dent. 1993 Summer;17(4):221–5.
 54. Kharbanda OP. Orthodontics: Diagnosis and Management of Malocclusion and Dentofacial Deformities, E-Book. Elsevier Health Sciences; 2019. 1402 p.
 55. Subramaniam P, Babu G, Sunny R. Glass fiber-reinforced composite resin as a space maintainer: a clinical study. J Indian Soc Pedod Prev Dent. 2008;26 Suppl 3:S98–103.
 56. Qudeimat MA, Sasa IS. Clinical success and longevity of band and loop compared to crown and loop space maintainers. Eur Arch Paediatr Dent. 2015 Oct;16(5):391–6.
 57. Hicks EP. Treatment planning for the distal shoe space maintainer. Dent Clin North Am. 1973 Jan;17(1):135–50.
 58. Gegenheimer R, Donly KJ. Distal shoe: a cost-effective maintainer for primary second molars. Pediatr Dent. 1992 Jul;14(4):268–9.
 59. Brill WA. The distal shoe space maintainer chairside fabrication and clinical performance. Pediatr Dent. 2002 Nov;24(6):561–5.
 60. Rebellato J, Lindauer SJ, Rubenstein LK, Isaacson RJ, Davidovitch M, Vroom K. Lower arch perimeter preservation using the lingual arch. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1997;112(4):449-56.

61. Evans RD, Jones AG. Modified Nance appliance for cases with missing anterior teeth. *J Clin Orthod*. 1994 Jan;28(1):40–2.
62. Kupietzky A. Clinical technique: Removable appliance therapy for space maintenance following early loss of primary molars. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2007 Nov;8(S1):30–4.
63. Woodward GL. The Use of Space Mantainers in the North York Public Dental Program. 1993. 32 p.
64. Ngan PW, Wei SH, Yen PK. The primary dentition. Orthodontic treatment. *Oral Health*. 1988 Sep;78(9):17–21.
65. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dent Mater*. 2007 May;23(5):539–48.
66. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *J Dent Res*. 2005 May;84(5):428–33.
67. Srirekha A, Bashetty K. Infinite to finite: an overview of finite element analysis. *Indian J Dent Res*. 2010 Jul;21(3):425–32.
68. Bidez MW, Misch CE. Force transfer in implant dentistry: basic concepts and principles. *J Oral Implantol*. 1992;18(3):264–74.
69. Caputo AA, Standlee JP. Biomechanics in Clinical Dentistry. Quintessence Publishing (IL); 1987. 232 p.
70. FRANKLIN F. E. Stress Analysis. M. Kutz (Ed.). Mechanical Engineers' Handbook. Wiley Publishing.
71. O'Brien WJ. Dental Materials and Their Selection. Quintessence Publishing (IL); 1997. 444 p.
72. Veli İ. Üst kanin distalizasyonunda oluşan değişikliklerin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi. 2012;

73. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent*. 2001 Jun;85(6):585–98.
74. Moaveni S. *Finite Element Analysis: Theory and Application with Ansys*. 2003. 850 p.
75. Manappallil JJ. *Basic Dental Materials*. JP Medical Ltd; 2015. 630 p.
76. Avci T, Omezli MM, Torul D. Investigation of the biomechanical stability of Cfr-PEEK in the treatment of mandibular angulus fractures by finite element analysis. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2022 Nov;123(6):610–5.
77. Geng J, Yan W, Xu W. *Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry*. Springer Science & Business Media; 2008. 148 p.
78. Shigemitsu R, Yoda N, Ogawa T, Kawata T, Gunji Y, Yamakawa Y, et al. Biological-data-based finite-element stress analysis of mandibular bone with implant-supported overdenture. *Comput Biol Med*. 2014 Nov;54:44–52.
79. Ebrahimi F. *Finite Element Analysis: New Trends and Developments*. BoD – Books on Demand; 2012. 414 p.
80. Konda. P, Sa. T. *Basic principles of finite element method and its applications in orthod*
81. Borcic J, Braut A. *Finite Element Analysis in Dental Medicine*. In: Ebrahimi F, editor. *Finite Element Analysis - New Trends and Developments*. InTech; 2012.
82. Alrehaili R, Alhujaili A, Almanjhi W, Alnami H, Alsaiyari S, Alqahtani H, et al. How Effective Are the Nance Appliance and Transpalatal Arch at Reinforcing Anchorage in Extraction Cases? *Cureus*. 2024 May;16(5):e61171.
83. Lin YTJ, Lin YT. Long-term space changes after premature loss of a primary maxillary first molar. *J Dent Sci*. 2017 Mar;12(1):44–8.
84. Bhujel N, Duggal MS, Saini P, Day PF. The effect of premature extraction of primary teeth on the subsequent need for orthodontic treatment. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2016 Dec;17(6):423–34.

85. Gibas-Stanek M, Loster BW. The effect of premature extraction of primary molars on spatial conditions and formation of malocclusion – a systematic review. *Czas Stomatol.* 2018;71(5):420–31.
86. Lin YT, Lin WH, Lin YTJ. Twelve-month space changes after premature loss of a primary maxillary first molar. *Int J Paediatr Dent.* 2011 May;21(3):161–6.
87. Park K, Jung DW, Kim JY. Three-dimensional space changes after premature loss of a maxillary primary first molar. *Int J Paediatr Dent.* 2009 Nov;19(6):383–9.
88. Cernei ER, Maxim DC, Zetu IN. The influence of premature loss of temporary upper molars on permanent molars. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi.* 2015 Jan;119(1):236–42.
89. Ciftci V, Uzel A, Dogan MC. Evaluation of Skeletal and Dental Effects of Lower Lingual Arches. *J Clin Pediatr Dent.* 2018 Aug 7;42(6):469–74.
90. Srivastava N, Grover J, Panthri P. Space Maintenance with an Innovative “Tube and Loop” Space Maintainer (Nikhil Appliance). *Int J Clin Pediatr Dent.* 2016 Apr 22;9(1):86–9.
91. Smith SL, Buschang PH. Growth in root length of the mandibular canine and premolars in a mixed-longitudinal orthodontic sample. *Am J Hum Biol.* 2009 Sep;21(5):623–34.
92. Bindayel NA. Clinical evaluation of short term space variation following premature loss of primary second molar, at early permanent dentition stage. *Saudi Dent J.* 2019 Jul;31(3):311–5.
93. Knop L, Gandini LG Jr, Shintcovsk RL, Gandini MREAS. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental Press J Orthod.* 2015 Mar;20(2):119–25.
94. Assunção WG, Barão VAR, Tabata LF, Gomes EA, Delben JA, dos Santos PH. Biomechanics studies in dentistry: bioengineering applied in oral implantology. *J Craniofac Surg.* 2009 Jul;20(4):1173–7.
95. Hong HR, Pae A, Kim Y, Paek J, Kim HS, Kwon KR. Effect of implant position,

- angulation, and attachment height on peri-implant bone stress associated with mandibular two-implant overdentures: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2012 Sep;27(5):e69–76.
96. Chakraborty A, Prabhakar A, Nadig B, Yavagal C. Finite element stress analysis of restored primary teeth: A comparative evaluation between stainless steel crowns and preformed zirconia crowns. *Int J Oral Health Sci*. 2017;7(1):10.
 97. Gurbuz T, Sengul F, Altun C. Finite element stress analysis of short-post core and over restorations prepared with different restorative materials. *Dent Mater J*. 2008 Jul;27(4):499–507.
 98. Chien PYH, Walsh LJ, Peters OA. Finite element analysis of rotary nickel-titanium endodontic instruments: A critical review of the methodology. *Eur J Oral Sci*. 2021 Oct;129(5):e12802.
 99. Clelland NL, Ismail YH, Zaki HS, Pipko D. Three-dimensional finite element stress analysis in and around the Screw-Vent implant. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1991 Winter;6(4):391–8.
 100. Besimo C. *Removable Partial Dentures on Osseointegrated Implants: Principles of Treatment Planning and Prosthetic Rehabilitation in Edentulous Mandible*. Quintessence Publishing (IL); 1998. 240 p.
 101. Koriath TW, Versluis A. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1997;8(1):90–104.
 102. Akça K, Iplikçioğlu H. Finite element stress analysis of the influence of staggered versus straight placement of dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2001 Sep;16(5):722–30.
 103. Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *J Dent*. 2008 Jul;36(7):463–71.
 104. Kojima Y, Fukui H. Effects of transpalatal arch on molar movement produced by mesial force: a finite element simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008

Sep;134(3):335.e1–7; discussion 335–6.

105. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults: BITE FORCES IN HEALTHY ADULTS. *J Oral Rehabil.* 2004 Jan;31(1):18–22.
106. Melnyk VS, Rivis OY, Horzov LF, Rivis MV, Bun YM. Assessment of the parameters of the interocclusion relationship in the process of mesialization of the lower molars with the use of t-scan. *Ukr Dent Alm.* 2020 Jun 26;(2):97–102.
107. Parcha E, Bitsanis E, Halazonetis DJ. Morphometric covariation between palatal shape and skeletal pattern in children and adolescents: a cross-sectional study. *Eur J Orthod.* 2017 Aug 1;39(4):377–85.
108. Braun S, Hnat WP, Freudenthaler JW, Marcotte MR, Hönigle K, Johnson BE. A study of maximum bite force during growth and development. *Angle Orthod.* 1996;66(4):261–4.
109. Holberg C, Rudzki-Janson I. Stresses at the cranial base induced by rapid maxillary expansion. *Angle Orthod.* 2006 Jul;76(4):543–50.
110. Yuan S, Tang LH, Li TH, Weng SE. A study on the combination of Nance arch and TPA in the use of straight-wire arch orthodontic treatment. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2012 Jun;21(3):350–3.
111. Chen W, Chen RJ, Shen G. The effects of combined reverse Nance and TPA on reinforcement of anchorage. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* 2004 Aug;13(4):262–5.
112. Zablocki HL, McNamara JA Jr, Franchi L, Baccetti T. Effect of the transpalatal arch during extraction treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Jun;133(6):852–60.
113. Ahmad AJ, Parekh S, Ashley PF. Methods of space maintenance for premature loss of a primary molar: a review. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2018 Oct;19(5):311–20.
114. Alnahwi HH, Donly KJ, Contreras CI. Correction: Space loss following premature loss of primary second molars. *Gen Dent.* 2016 Jan-Feb;64(1):79.

- 115.Tabatabai T, Kjellberg H. Effect of treatment with dental space maintainers after the early extraction of the second primary molar: a systematic review. *Eur J Orthod*. 2023 Jul 31;45(4):462–7.
- 116.Natali AN, Pavan PG, Scarpa C. Numerical analysis of tooth mobility: formulation of a non-linear constitutive law for the periodontal ligament. *Dent Mater*. 2004 Sep;20(7):623–9.
- 117.Lin YT, Lin WH, Lin YTJ. Immediate and six-month space changes after premature loss of a primary maxillary first molar. *J Am Dent Assoc*. 2007 Mar;138(3):362–8.
- 118.Macena MCB, Tornisiello Katz CR, Heimer MV, de Oliveira e Silva JF, Costa LB. Space changes after premature loss of deciduous molars among Brazilian children. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011 Dec;140(6):771–8.
- 119.Southard TE, Behrents RG, Tolley EA. The anterior component of occlusal force. Part 2. Relationship with dental malalignment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990 Jan;97(1):41–4.