



TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
BEZMİÂLEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNDE KULLANILAN ÜÇ FARKLI  
APAREYİN KRANİYOFASİYAL SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN SONLU  
ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Merve SUCU

Ortodonti Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Berza YILMAZ

İSTANBUL-2017

TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNDE KULLANILAN ÜÇ FARKLI  
APAREYİN KRANİYOFASİYAL SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN SONLU  
ELEMENLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Merve SUCU

Ortodonti Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Berza YILMAZ

Bu araştırma Bezmialem Vakıf Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi tarafından desteklenmiştir.

İstanbul, Mayıs 2017

## TEZ ONAY FORMU

Kurum: Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi

Programın seviyesi: Yüksek Lisans ( ) Uzmanlık (✓) Doktora ( )

Anabilim Dalı: Ortodonti Anabilim Dalı

Tez Sahibi: Merve SUCU

Tez Başlığı: HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNDE KULLANILAN ÜÇ FARKLI APAREYİN KRANİYOFASİYAL SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

İmza

Jüri Bşk.

Yrd. Doç. Dr. Berza YILMAZ

(Danışman)

Bezmialem Vakıf Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti A. D.

Üye

Prof. Dr. Sibel BİREN

Marmara Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti A. D.

Üye

Yrd. Doç. Dr. Meltem BAKKAL

Bezmialem Vakıf Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti A. D.

Bu tez, 26.04.2014 tarihli 28983 sayılı T.C SAĞLIK BAKANLIĞI, TIPTA VE DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK EĞİTİMİ YÖNETMELİĞİ ilgili maddeleri uyarınca yukarda belirtilen jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve .02./05./2014 tarih ve ..... sayılı kararlar kabul edilmiştir.

## BEYAN

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

İmza: 

Merve SUCU

Tarih: 02/05/2017

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince ve tez çalışmam boyunca büyük bir sabır ve titizlikle bana yardımcı olan ve yol gösteren; her konuda anlayış ve hoşgörüsüyle desteğini hissettiğim danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Berza Yılmaz'a,

Gerek mesleki eğitimime katkıda bulunarak, gerekse hayat tecrübelerini paylaşarak bana her zaman destek olan ve uzmanlık tezimin hazırlanmasında büyük emeği geçen çok değerli hocam sayın Prof. Dr. Sabri İlhan RAMOĞLU'na,

Uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve kendilerinden çok şey öğrendiğim sayın hocalarım Prof. Dr. Serdar ÜŞÜMEZ, Yrd. Doç. Dr. Sertaç AKSAKALLI, Dr. Muhammet BİRLİK ve Dr. Hilal YILANCI'ya,

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam sırasında desteklerinden dolayı ve bir arada çalışmaktan mutluluk duyduğum çok değerli arkadaşlarım Dt. Esra BÖLÜKBAŞI ve Dt. Yasemin AYDIN ÖZÇOBAN başta olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca her konuda ilgi, destek ve sevgilerini hissettiğim; her zaman yanımda olan, beni en iyi koşullarda büyütüp yetiştiren, teşekkürlerin yetersiz kalacağı başta annem Nazan ASTARCI olmak üzere canım aileme,

Ortak bir hayatı paylaşmaktan mutluluk duyduğum, tezimin her aşamasında sabır anlayış ve özveriyle hep yanımda olan sevgili eşim Burak SUCU'ya

Sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Merve SUCU

# İÇİNDEKİLER

BEYAN .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
RESİMLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Maksiller Darlık.....	3
2.1.1 Tanım .....	3
2.1.2 Etiyoloji.....	4
2.1.3 Teşhis .....	5
2.1.4 Tedavi.....	7
2.2. Hızlı Üst Çene Genişletmesi.....	8
2.2.1 Endikasyonları.....	9
2.2.2 Hızlı üst çene genişletmesinde zamanlama.....	10
2.2.3 Hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan apareyler .....	11
2.2.1 Hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal ve dentoalveolar yapılar üzerine etkilerini inceleyen klinik ve hayvan çalışmaları.....	13
2.2.2 Hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal ve dentoalveolar yapılar üzerine etkilerini sonlu elemanlar analiz yöntemi ile inceleyen çalışmalar.....	17

2.3. Gerilme Analiz Metotları.....	21
2.3.1 Fotoelastik kuvvet analiz yöntemi .....	21
2.3.2 Denek hayvan çalışmaları .....	21
2.3.3 Kırılğan vernik tekniği ile kuvvet analiz yöntemi.....	22
2.3.4 Gerinim ölçerli kuvvet analiz yöntemi.....	22
2.3.5 Lazer ışını ile kuvvet analiz yöntemi (Holografik interferometre) .....	22
2.3.6 Sonlu elemanlar analizi .....	22
2.4. Sonlu Elemanlar Analizi.....	23
2.4.1 Sonlu elemanlar analizinin avantajları ve dezavantajları .....	23
2.4.2 Sonlu elemanlar analizi ile ilgili kavramlar .....	24
2.4.3 Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz basamakları.....	28
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	31
3.1. Geometrik Modelin Oluşturulması .....	31
3.1.1 Kraniyofasiyal sistemin modellenmesi .....	31
3.1.2 Karşılaştırılan apareylerin modellenmesi.....	37
3.2. Matematik Modelin Oluşturulması.....	40
3.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması .....	42
3.4. Sınır Koşullarının Belirlenmesi .....	43
3.5. Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Tanımlanması.....	43
3.6. Araştırılan Anatomik Bölgeler.....	44
4. BULGULAR .....	47
4.1. Hyrax Vidasına Ait Bulgular .....	47
4.1.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular.....	49
4.1.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular.....	55
4.2. Fan Type Vidasına Ait Bulgular .....	57

4.2.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular.....	58
4.2.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular.....	64
4.3. Çift Menteşeli Genişletme Vidasına Ait Bulgular .....	66
4.3.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular.....	67
4.3.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular.....	73
5. TARTIşMA.....	75
5.1. Gereç ve Yöntemin Tartışması .....	76
5.1.1 Eleman tipinin tartışması.....	76
5.1.2 Eleman sayısının tartışması.....	76
5.1.3 Malzeme zelliklerinin tartışması .....	77
5.1.4 Sınır koşullarının tartışması .....	78
5.2. Bulguların Tartışması .....	78
5.2.1 Yer değiştirme dağılımının tartışması.....	78
5.2.2 Von Mises gerilme dağılımının tartışması .....	82
6.SONUÇ VE ÖNERİLER .....	85
ZGEMİş.....	88
KAYNAKLAR.....	89



## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

Alt-RAMEC: Alternate rapid maxillary expansions and constrictions

DICOM: Digital imaging and communications in medicine

DVT: Dental volümetrik tomografi

dyn: Dyne

gf: Gram-kuvvet

HU: Hounsfield unit

kg: Kilogram

kgf: Kilogram-kuvvet

MIMICS: Materialise's interactive medical image control system

mm: Milimetre

MPa: Megapaskal

N: Newton

Ni-Ti: Nikel-titanyum

oz: Ons

Pa: Paskal

PDL: Periodontal ligament

sn: Saniye

## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim 1.</b> DICOM verilerinin MIMICS versiyon 10.01 programı ile görüntülenmesi .....	32
<b>Resim 2.</b> Kemik yüzeyinde görülen yalancı defektler .....	33
<b>Resim 3.</b> MIMICS yazılımıyla defektlerin kemik dokusuyla tamamlanması.....	33
<b>Resim 4.</b> Dişlerin modellenmesi .....	34
<b>Resim 5.</b> PDL'nin modellenmesi .....	35
<b>Resim 6.</b> Kraniofasial suturların modellenmesi .....	35
<b>Resim 7.</b> Kraniofasial suturlara göre kemik dokunun segmentasyonu .....	36
<b>Resim 8.</b> MIMICS yazılımında segmentasyonu tamamlanmış anatomik üniteler.....	36
<b>Resim 9.</b> Hastaya ait modelin Geomagic Design X yazılımı ile düzenlenmesi.....	37
<b>Resim 10.</b> Hyrax genişletme apareyi .....	38
<b>Resim 11.</b> Fan type genişletme apareyi.....	38
<b>Resim 12.</b> Çift menteşeli genişletme apareyi.....	39
<b>Resim 13.</b> SolidWorks programında vida konumlarının düzenlenmesi.....	40
<b>Resim 14.</b> Ağ yapısı tamamlanmış sonlu elemanlar modeli .....	41
<b>Resim 15.</b> Ağ yapısı tamamlanmış hyrax genişletme apareyi .....	42
<b>Resim 16.</b> Foramen magnumun sınır koşulu olarak tanımlanması .....	43
<b>Resim 17.</b> Çalışmada araştırılan anatomik bölgeler.....	46
<b>Resim 18.</b> Hyrax genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı.....	50
<b>Resim 19.</b> Hyrax genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı	52
<b>Resim 20.</b> Hyrax genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı.....	54
<b>Resim 21.</b> Hyrax genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı.....	56
<b>Resim 22.</b> Fan type genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı....	59

<b>Resim 23.</b> Fan type genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı .....	61
<b>Resim 24.</b> Fan type genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı.....	63
<b>Resim 25.</b> Fan type genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı.....	65
<b>Resim 26.</b> Çift menteşeli genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı .....	68
<b>Resim 27.</b> Çift menteşeli genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı.....	70
<b>Resim 28.</b> Çift menteşeli genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı	72
<b>Resim 29.</b> Çift menteşeli genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı .....	74

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Analizler için baz alınan Hounsfield unit (HU) değerleri [174].....	32
<b>Tablo 2.</b> Çalışmada kullanılan elastisite modülleri ve Poisson oranları .....	42
<b>Tablo 3.</b> Hyrax genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları .....	48
<b>Tablo 4.</b> Fan type genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları .....	57
<b>Tablo 5.</b> Çift menteşeli genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları.....	66



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 10 düğüm noktalı tetrahedral eleman. (a) deformasyon öncesi, (b) deformasyon sonrası  
.....41



# HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNDE KULLANILAN ÜÇ FARKLI APAREYİN KRANİYOFASİYAL SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan hyrax, fan type ve çift menteşeli genişletme apareylerinin kraniyofasiyal ve dentoalveolar sistem üzerine olan etkilerini sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmektir.

Çalışmamızda üst çene genişletme ihtiyacına sahip 12 yaşında bir hastanın tomografi görüntülerinden elde edilen üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. İncelenen modeller yaklaşık 2750000 düğüm noktasına sahip 1800000 tetrahedral elemandan oluşmaktadır. 0,2 mm'lik genişletme sonucu von Mises gerilme dağılımı ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımları incelenmiştir.

En yüksek gerilmeler her üç apareyde de sutura zigomatikomaksillaris bölgesinde gözlenmiştir. Özellikle pterigomaksiller fissür, medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri, nazal bölgeye yakın yapılarda stres artışı gözlenmiştir. Anatomik yapılar genel olarak değerlendirildiğinde, gerilme dağılımları en yüksek hyrax genişletme apareyinde görülürken, en düşük fan type genişletme apareyinde bulunmuştur.

Her üç apareyde de maksiller genişleme kama şeklinde meydana gelmiştir. Transversal yönde, posteriorda en fazla genişleme hyrax apareyinde olurken, anteriorda çift menteşeli apareyde olmuştur. Her üç apareyde de maksilla aşağı ve ileri hareket etmiştir. Maksillanın aşağı yönde yer değiştirmesi hyrax apareyinde daha fazla bulunurken, ileri doğru yer değiştirmesi çift menteşeli apareyde daha fazla bulunmuştur. Hyrax ve fan type apareylerinde maksillanın posterior rotasyonu gözlenirken, çift menteşeli apareyde paralel hareket gözlenmiştir. Hyrax apareyinde dental bölgelerde posterior yönde yer değişimleri görülürken, fan type apareyle ve özellikle çift menteşeli apareyle anterior yönde yer değişimleri görülmüştür. Vertikal yönde anatomik yapılar değerlendirildiğinde hyrax apareyi ile inferior yönde hareketin baskın olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hyrax genişletme apareyi, Fan type genişletme apareyi, Çift menteşeli genişletme apareyi, Sonlu elemanlar analizi.

# EVALUATION OF THE EFFECTS OF THREE DIFFERENT RAPID MAXILLARY EXPANSION APPLIANCES ON CRANIOFACIAL STRUCTURES WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS

## SUMMARY

The aim of this study is to evaluate the craniofacial and dentoalveolar effects of the hyrax, fan type and double hinged expansion screws used for rapid maxillary expansion by using three dimensional finite element method.

The construction of the three-dimensional finite element model was based on computer tomography scans of a 12 year old patient who needs maxillary expansion. These models consisted of approximately 1800000 tetrahedral element with 2750000 nodes. The Von Mises stress distribution following 0.2 mm of expansion and displacement distributions following 5 mm of expansion were evaluated.

The highest stresses accumulation was observed in the sutura zygomaticomaxillaris area with all three appliances. An increase of stress was noticed at the pterygomaxillary fissure, medial and lateral pterygoid plates of the sphenoid bone and the nasal areas. When all the anatomical structures were evaluated overall, the stress distributions were found highest with the hyrax expansion screw and the lowest values were recorded with the fan type expansion screw.

The wedge-shaped opening was observed with all three appliances. In the transverse plane, the maximum posterior expansion was achieved with hyrax appliance, while the maximum anterior expansion was observed with double-hinged appliance. Maxilla moved downward and forward with all three appliances. The higher amount of downward displacement of the maxilla was recorded with the hyrax appliance. On the other hand, forward maxillary displacement amount is higher with the double hinged appliance. Maxilla rotated posteriorly with the hyrax and fan type appliances, while parallel movement occurred with the double hinged appliance. Dentoalveolar complex moved posteriorly with hyrax appliance while anterior displacement was recorded with fan type and double-hinged appliances. When all the anatomical structures were evaluated in the vertical plane, a tendency in inferior displacement was recorded with hyrax appliance.

**Key Words:** Hyrax expansion screw, Fan type expansion screw, Double-hinged expansion screw, Finite element method.

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çeşitli faktörler üst çene gelişimini olumsuz yönde etkileyerek sagittal, vertikal ve transversal problemlere neden olabilmektedir. Ortodonti biliminde, üst çenenin transversal yöndeki yetersizliği, en yaygın iskeletsel sorunlardan biri olarak kabul görmektedir [1]. Derin ve dar damak kubbesi, çapraşıklık, üst posterior dişlerin bukkal eğimi, alt posterior dişlerin lingual eğimi, posterior çapraz kapanış, gülümsemede karanlık bukkal koridorlar ve fasiyal asimetri varlığı, maksiller darlığın klinik belirtileri olarak kabul edilmektedir [2-5]. Etiyolojisinde genetik, ağız solunumu, anormal basınç alışkanlıkları, erken oklüzal temaslar gibi birçok faktörün rol oynadığı bilinmektedir [6-8].

Birçok araştırmacı maksiller darlığın erken dönemde tedavi edilmesini ve etiyolojik faktörün ortadan kaldırılması gerektiğini savunmuşlardır [9-11]. Maksiller darlığı tedavi etmek amacıyla 1860 yılında Angell, vidalı bir üst çene genişletme apareyi ile sutural genişleme elde ettiğini söyleyerek hızlı üst çene genişletmesinin literatürde ilk kez yerini almasını sağlamıştır [12]. Üst çene genişletmesinde ortodontik ve ortopedik etki elde etmek için diş destekli, doku destekli veya hem diş hem de doku destekli apareyler tasarlanmıştır [13]. Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan hızlı üst çene genişletme apareyi 1961 yılında Haas tarafından tasarlanmıştır [14].

Hızlı üst çene genişletmesi, kraniofasiyal sistemdeki kemiklerin birbirine suturlar aracılığıyla bağlı olmasından dolayı sadece üst çenede değil, üst çene komşuluğundaki sfenoid, zigomatik, nazal, frontal, lakrimal, etmoid, vomer, palatinal kemikler ve nazal konkalarla da ilişkilidir [15, 16]. Yapılan çalışmalarda üst çene genişletmesi sonucu en fazla direncin sadece median palatal suturda değil, sfenoid ve zigomatik kemiklerin üst çeneyi çevreleyen yapılarda olduğu bulunmuştur [6]. Sonlu elemanlar analizi ile yapılan bazı çalışmalar sonucunda en yüksek stres seviyelerinin sfenoid kemiğin pterigoid plaklarının yukarı bölümlerinde ve zigomatik kemiğin ön bölümünde olduğunu, ayrıca frontomaksiller, frontonazal, nazomaksiller, sfenozigomatik ve zigomatikotemporal suturalarda da stres olduğunu bildirmişlerdir [17, 18].

Mühendislik yapılarındaki statik yüklemelerin hesaplanması amacıyla geliştirilen sonlu elemanlar analizinin, ortodontik kuvvetlerin kraniofasiyal sistemde neden olduğu biyomekanik etkileri de değerlendirmek amacıyla kullanım alanı artmıştır. Sonlu elemanlar



analizi ortodontik kuvvetlerin ve ya ortodontik kuvvet oluşturan apareylerin dişler, periodontal ligament, alveol kemiği ve kraniyofasiyal yapılardaki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesi ya da ankraj amacıyla kullanılan mini vidaların etrafında oluşan gerilmelerin değerlendirilmesi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [19].

Yapılan literatür taramasında üst çene genişletmesi ihtiyacına sahip ergenlik dönemindeki bir hastada hyrax ekspansiyon vidası, fan type ekspansiyon vidası ve çift menteşeli ekspansiyon vidası ile yapılan genişletmenin kraniyofasiyal yapılar üzerinde oluşturduğu stres ve yer değiştirme miktarını sonlu elemanlar analizi ile değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu uzmanlık tez çalışmasının amacı, hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan üç farklı apareyin kraniyofasiyal sistem üzerine olan etkilerini sonlu elemanlar analizi ile incelemek ve karşılaştırmaktır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Maksiller Darlık

#### 2.1.1 Tanım

Üst çenenin transversal yöndeki yetersizliği, kraniyofasiyal bölgede görülen en yaygın iskeletsel sorunlardan biri olarak kabul görmektedir [1]. Maksiller darlık olgusu binlerce yıl önce ilk kez Hipokrat tarafından fark edilmiş, fakat bu problemin tedavisine yönelik bir müdahaleden bahsedilmemiştir [20].

Haas maksiller darlığı gerçek ve göreceli olarak ikiye ayırmaktadır. Gerçek maksiller darlığı posterior dişlerle birlikte maksillanın daralması olarak tanımlamıştır. Diğer yüz kemikleri ve alt çeneye göre maksillanın boyutları olması gerekenden küçüktür. Göreceli maksiller darlıkta ise problem alt çeneden kaynaklanmaktadır, üst çene diğer yüz kemiklerine göre normal büyüklüktedir [21, 22].

Maksiller darlığın klinik yansıması olarak çapraşıklık ve çapraz kapanış sıklıkla görülmektedir. Bununla birlikte, üst çenede posterior dişlerin bukkal yönde eğimlenmesine bağlı olarak çapraz kapanışın görülmediği vakalarda maksiller darlık kamufle olabilmektedir. Mcnamara böyle bir durumda, artmış Wilson eğrisiyle birlikte maksiller intermolar genişliğin 31 mm'den daha az olmasının maksiller darlığın göstergesi olduğunu söylemiştir [1].

Normal bir oklüzyonda üst posterior dişlerin palatinal tüberkülleri alt posterior dişlerin santral fossası ile temas eder [23]. Posterior dişlerin transversal yönde olan bu ilişkilerinin bozulması halinde posterior çapraz kapanış varlığından söz edilebilir. Literatüre bakıldığında birçok araştırmacı maksiller darlığın önemli bir göstergesi olan posterior çapraz kapanışı dişsel, iskeletsel ve fonksiyonel şekilde sınıflandırmıştır [6, 9, 24-26].

#### ***Dişsel Posterior Çapraz Kapanış***

Üst çene apikal kemik kaidesi transversal yönde normal genişlikteyken, tek bir dişin ya da bir diş grubunun palatinal eğimli olmasıyla karakterizedir. Genellikle lokal faktörler sebebiyle dişlerin bukkolingual eğimlerinin dikleşmesi sonucunda oluşur [2, 3, 27].

### ***İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış***

Alt ve üst çene bazal kaide genişlikleri arasında transversal yönde uyumsuzluk vardır [24]. Genellikle üst çenede apikal kemik kaidesi yetersizliği sonucu oluşan bu durum, alt çenenin aşırı gelişmesi ile ya da her ikisinin kombinasyonu sonucunda da oluşabilmektedir [6, 14, 21, 24, 26, 28].

### ***Fonksiyonel Çapraz Kapanış***

Genellikle süt veya karışık dişlenme döneminde görülen fonksiyonel yan çapraz kapanışların etiyolojisinde üst çenenin dar olmasından kaynaklanan oklüzal erken temaslar rol oynamaktadır. Oklüzal erken temaslar sonucunda alt çene maksimum interküspidasyona geçerken bir tarafa kayarak çapraz kapanış oluşturur. Alt çene genellikle simetriktir fakat asimetrik konumlanmıştır [3, 24, 29].

### **2.1.2 Etiyoloji**

Üst çene darlığı gelişimsel bir anomali olup, birçok faktörün etkisiyle meydana gelebilir.

Bishara ve ark. maksiller darlığın akondroplazi, Binder gibi sendromlarla birlikte görülebileceğini söylemiştir [6]. Kraniofasial Dizostozis'te kafa ve yüz suturlarının erken kapanmasına bağlı olarak orta yüzde gelişim geriliği görülür ve buna bağlı olarak maksiller darlık oluşabilmektedir. Down sendromunda üst çene gelişiminin yetersizliği sonucu maksiller darlık görülebilmektedir [24].

Dudak-damak yarıklı bireylerde, bukkal kas yapılarının üst çeneyi palatinal harekete zorlaması maksiller darlığa sebep olmaktadır [30]. Bu hastalarda sağlıklı bir oklüzyon olmaması sebebiyle çiğnemenin tam olarak yapılamıyor olması ve yarık tamiri sonrası oluşan skar dokusu nedeniyle posterior çapraz kapanış oluşma riski artmaktadır [31, 32].

Büyüme ve gelişim çağında yeterince uzun bir süre ağız solunumu yapılması sonucunda üst çene darlığı oluşabilir [24]. Harvold ve ark. silikon burun tıkaçlarıyla nazal hava yolu tıkanıklığı oluşturulan ve deneysel olarak ağız solunumu yapmaları sağlanan rhesus maymunlarında, kontrollere kıyasla üst çenede darlık gözlemlenmiştir [33].

Nazal septum deviyasyonu, concha nasalis veya faringeal tonsil hipertrofisi ve nazal polipler gibi burun solunumu zorlaştırarak ağız solunumuna neden olan durumlarda da maksiller darlık gelişebilir [24].

Dilin aşağıda konumlanmasıyla birlikte üst posterior dişlere etkiyen kuvvet dengesinin bozulması sonucu posterior çapraz kapanış gelişebilir [25]. Behlfelt ve ark. hipertrofik tonsillere sahip ortalama yaşı 10 olan 73 çocukta yaptıkları çalışmada orofarinksin tıkanması sonucu gelişen ağızın açık konumu nedeniyle dil ve hyoid kemiğin aşağıda konumlandığını, bu durumda üst dental arkın daha dar olduğunu ve yan çapraz kapanış sıklığının arttığını rapor etmiştir [34].

Uzun süre emzik kullanan veya parmak emen çocuklarda maksiller darlık oluşabilir [24]. Emzik ya da parmak ağza yerleştirilince dil aşağıda konumlanır. Emme esnasında çalışan kaslar posterior dişlerin bukkal yüzeylerine basınç yaparken dil aşağıda konumlandığı için bu basınç karşılıksız kalır ve üst çenede darlık meydana gelir [35, 36]. Larsson emme, çiğneme ve beslenme alışkanlıklarını değerlendirdiği bir çalışmada doğumdan 3 yaşına kadar emzik emen kız çocuklarında %26 oranında çapraz kapanış gözlemlemiştir [36]. Aynı araştırmacı daha önceki bir çalışmasında 4 yaşından önce emzik emme alışkanlığını bırakmış çocukların daimi dişlerinde posterior çapraz kapanış görülme oranını %7 ile %10 arasında bildirmiştir [37].

### 2.1.3 Teşhis

Maksiller darlığın teşhisi, ortodontik olarak doğru tedavi planı yapılabilmesi için gereklidir. Bu teşhiste klinik ve radyografik muayeneden yararlanılabileceği gibi model analizi de maksiller darlık teşhisi için yardımcıdır.

Klinik değerlendirmede maksiller ark formu ve simetrisi, palatal kubbenin şekli, gülümsemede bukkal koridorların genişliği, oklüzyon ve baskın solunum paterni incelenmelidir [38]. Ağız içi değerlendirme sırasında 'v' şeklinde dar maksiller ark formu, derin ve dar damak kubbesi, çapraşıklık, üst posterior dişlerin bukkal eğimi, alt posterior dişlerin lingual eğimi maksiller darlığın belirtileri olarak kabul edilmektedir [2-5]. Ağız dışı muayenede fasiyal asimetri varlığı değerlendirilmelidir. Fasiyal asimetri mevcutsa çene ucu kayıklığının, iskeletsel kaynaklı mı yoksa fonksiyonel kaynaklı mı oluştuğunun tespiti yapılmalıdır [4, 9]. Fonksiyonel çapraz kapanış sıklıkla maksiller darlığın sonucu olarak gözlenir. Fonksiyonel çapraz kapanış

varsa, alt çene istirahat halinde normal konumundadır fakat kapanışa geçerken maksimum interküspidasyonu sağlamak için bir tarafa doğru kaymaktadır [3, 24].

Radyografik değerlendirmede posteroanterior röntgen ve 3 boyutlu görüntüleme tekniklerinden yararlanmak mümkündür. Betts ve ark. posteroanterior sefalometrik röntgenlerin alt ve üst çene arasındaki transversal iskeletsel farklılıkları belirlemek ve değerlendirmek için en güvenilir ve rahat ulaşılabilir araç olduğunu ileri sürmüşlerdir [39]. Ricketts analizi posteroanterior röntgenler üzerinde sefalometrik referanslar kullanılarak transvers iskeletsel farklılıkların tanısında kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda transvers iskeletsel farklılıkları tahmin etmek için sağ-sol maksiller jugal genişlik ile sağ-sol mandibular antegonial genişlik karşılaştırılır [9, 40]. Üç boyutlu görüntüleme teknikleri ise kraniofasial bölgede doğru bir teşhis için görselleştirme sağlayan güncel bir araçtır [38]. Bu yöntem klinisyenler tarafından çenelerin konumsal ilişkilerinin ve asimetrilerin değerlendirilmesine imkan verir [38, 41].

Ortodontik model analiziyle; dental arkların şekli tam olarak görülebilmekte, transversal olarak apikal kemik kaidesinin yetersizliği tespit edilebilmektedir [38]. En sık kullanılan Howes Model Analizinde dişler ve bunları taşıyan apikal kemik kaidesi arasındaki transversal yön ilişkileri incelenir [35]. Bu analizde apikal kemik kaidesinin genişliğinin premolarlar arası diş kavsi genişliğine eşit ya da daha fazla olması gerektiği söylenmiştir [35]. Staley ve ark. önerdiği analizde ise üst molarların meziobukkal tüberkül tepeleri arasındaki mesafe ile mandibular molarların median sulkusunun orta kısımları arasında mesafe arasındaki fark hesaplanmaktadır. Bu fark normal bir oklüzyon için erkeklerde 1,6 mm kızlarda 1,2 mm olarak belirtilmiştir [42].

Dental modeller değerlendirilirken özellikle, üst posterior dişlerin bukkal kron torku, alt posterior dişlerin ise lingual kron torku alıp almadığına bakılmalıdır [9]. Bu durum çapraz kapanışın dişsel mi iskeletsel mi olduğu hakkında daha kesin bilgi verir [38].

Howe ve ark. 104 dental model üzerinde yaptıkları çalışmada normal bir üst ark genişliği 36-39 mm arasında bulunmuştur. Bu genişliğin 31 mm veya daha az olduğu durumlarda ortopedik veya cerrahi destekli genişletme tavsiye edilmiştir [5].

#### 2.1.4 Tedavi

Yapılan çalışmalarda süt ve erken karışık dişlenme döneminde maksiller darlığa bağlı görülen çapraz kapanışın spontan olarak düzelmesi, %8 ila %45 arasında değişen oranlarda bildirilmiştir [7, 26, 43, 44]. Bazı araştırmacılar ise posterior çapraz kapanışın kendiliğinden düzelmediğini ve teşhis edildikten sonra kısa sürede tedavi edilmesi gerektiğini savunmuşlardır [10, 11].

Maloklüzyonların oluşumunda emme alışkanlıklarının rolü düşünüldüğünde, bu durumla ilişkili olarak emzik emen çocuklarda transversal oklüzal ilişki 2-3 yaş arasında değerlendirilmelidir. Eğer süt köpek dişleri bölgesinde erken temaslar varsa möllenmeli ve ebeveynler emzik emme süresini azaltmak adına uyarılmalıdır [37].

Fonksiyonel çapraz kapanışta süt dişlerinde yapılacak olan aşındırmalar çapraz kapanış düzeltiminde etkili bulunmuştur [43, 44]. Fakat fonksiyonel kaymaların sebep olduğu şiddetli deviasyonlarda dişlerin düzeltilmesi ve uygun fonksiyonun sağlanması için sabit veya hareketli apareyler ile yapılacak ortodontik tedaviye ihtiyaç vardır [4].

Dişsel çapraz kapanışta düzeltim, yalnız diş hareketiyle, bukkal veya lingual tipping şeklinde gerçekleştirilebilir. Üst çenede, hareketli genişletme apareyi, transpalatal ark ya da 2x4 edgewise mekaniği ile kullanılan genişletilmiş yuvarlak ark teli etkili bir şekilde bukkal tipping hareketini sağlar. Alt çenede lingual ark, lip bumper ya da 2x4 edgewise mekaniği ile kullanılan daraltılmış yuvarlak ark teli molarların lingual tippingini sağlar [9]. Çapraz kapanış elastikleri de karşıt dişleri zıt yönde devirebilir. Bu devrilme bir transpalatal ark veya lingual ark yardımıyla kısıtlanabilir. Saf paralel diş hareketi elde etmek için tork bükümleri eklenmelidir [9].

Transversal uyumsuzluk miktarı açısından 4 mm veya daha az genişletme gerekiyorsa hareketli apareyler, transpalatal aygıtlar (transpalatal ark, Quad heliks, Porter W apareyi), ark telleri, çapraz kapanış elastikleri ve hızlı üst çene genişletme apareyleri eşit derecede etkili bulunmuştur [45, 46].

İskeletsel çapraz kapanış için apikal maksiller genişliği artırarak median palatal suturun transversal yönde genişletilmesi en yaygın tedavi yaklaşımıdır [9].

Maksillanın genişletilmesinde üç farklı yöntem öne çıkmaktadır. Bunlar yavaş, yarı hızlı ve hızlı üst çene genişletmesi yöntemleridir.

Yavaş genişletmede üst çeneye ve dişlere 450 ile 900 gr arasında kuvvetler uygulanır [6, 47]. Haftada 0,5-1 mm'lik aktivasyonlarla fizyolojik sınırlar içerisinde sutural doku bütünlüğü korunarak genişletme yapılır [48, 49]. Uygulanan kuvvetler ortodontik diş hareketi limitleri içerisinde olduğu için daha çok diş hareketi elde edilerek üst çenenin genişletilmesi sağlanır. Tedavi sonunda çevre dokularda artık yüklerin birikiminde azalma olabileceği için tedavinin nüks etme ihtimali de azalmaktadır [50].

Yarı hızlı üst çene genişletmesi için literatürde farklı tarifler mevcuttur. 1977 yılında Mew hareketli bir apareyle haftalık 1-1,5 mm'lik genişletme yapmış ve bunun hızlı üst çene genişletmesine göre daha fizyolojik limitler dahilinde olduğunu söylemiştir [51]. Sandıkçioğlu ve Hazar karışık dişlenme dönemindeki hastalarda hareketli apareylerin vidasını gün aşırı bir çeyrek tur çevirmişlerdir [52]. İşeri ve Özsoy rijit akrilik bonded hızlı üst çene genişletme apareyi kullanarak, sutural açılma oluncaya kadar vida günde iki çeyrek tur, sutural açılma olduktan sonra aparey sökölüp hareketli aparey olarak vida haftada üç çeyrek tur aktive edilerek üst çene genişletmesi yapılmıştır [53]. Ramoğlu ve ark. rijit akrilik bonded hızlı üst çene genişletme apareyi kullanarak karma dentisyondaki hastalarda ilk bir hafta sutur açılıncaya kadar günde iki çeyrek tur, sutur açıldıktan sonra iki günde bir çeyrek tur aktivasyonla yarı hızlı üst çene genişletmesi yapmışlardır [54].

Hızlı üst çene genişletmesi ise dişler ile üst çene alveolar yapılarına ortodontik diş hareketi limitlerini aşan kuvvetler uygulayarak ve daha çok ortopedik etki ile genişletilmesi olarak ifade edilebilir [55-57].

## **2.2. Hızlı Üst Çene Genişletmesi**

Hızlı üst çene genişletmesi, uzun yıllardan beri kabul gören median palatal sutura ağır ortopedik kuvvetlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilen, üst çenenin transversal boyutunu arttırmaya yönelik bir işlemdir [58]. Genişletme tedavisi yüz yılı aşkın süredir ortodontistler tarafından kullanılmasına rağmen, solunum fonksiyonunu arttırdığına dair olan inanç 20. yüzyılın başlarında popülaritesini önemli ölçüde arttırmıştır [57].

Hızlı üst çene genişletmesiyle dişlere ve alveolar yapılarla ortodontik diş hareketi limitlerini aşan kuvvetler uygulayarak, ortodontik diş hareketinin miktarını azaltmak ve ortopedik hareketin miktarını arttırmak hedeflenmektedir [6, 57, 59]. Hızlı üst çene genişletmesinde vidanın bir tek aktivasyonu ile 1,5-4,5 kg civarında kuvvet oluşmaktadır [55].

Bu kuvvet dişlere iletildiği zaman önce periodontal ligamentler sıkışır, daha sonra kuvvet alveol kemiğe aktarılır. Bunun sonucunda hem median palatal sutur açılır hem de dişlerde bukkal hareket görülür [22]. Bu yöntem genellikle günde 0,2-0,5 mm'lik bir aktivasyon ile yaklaşık 1-3 hafta boyunca uygulanır [14, 22, 60, 61].

### 2.2.1 Endikasyonları

- ✓ İskeletsel, dişsel veya fonksiyonel sebeplerle ortaya çıkmış olan ve maksiller darlık veya mandibuler genişlik nedeniyle oluşan tek veya çift taraflı posterior çapraz kapanış vakalarında [1, 14, 16, 21, 61, 62],
- ✓ Dudak-damak yarıklı hastalarda kollabe olmuş segmentleri genişletmek amacıyla [6, 21, 60],
- ✓ Nazal stenoza bağlı üst çene darlığı vakalarında burun solunumunu kolaylaştırmak amacıyla [16, 21, 56, 63, 64],
- ✓ Sınıf II ve Sınıf III vakalardaki sagittal uyumsuzluğun düzeltilmesi sonrasında posterior bölgede transversal yönde yetersizlik oluşacaksa [1, 60, 61, 65, 66],
- ✓ Süt ve karışık dişlenme dönemindeki tek taraflı fonksiyonel yan çapraz kapanışın ileri dönemde morfolojik çapraz kapanışa dönüşmesini önlemek amacıyla [29, 43, 67, 68],
- ✓ Hafif dereceli ön çapraz kapanış vakalarında, ön çapraz kapanışın düzeltilmesi amacıyla [14, 22, 61, 69],
- ✓ Hafif veya orta dereceli Sınıf II maloklüzyona sahip vakalarda Sınıf II ilişkinin spontan düzeltimi amacıyla [1, 56, 66],
- ✓ Üst çene yetersizliğine bağlı Sınıf III vakalarda yüz maskesine ek olarak sutural mobilizasyon oluşturması amacıyla [56, 70],
- ✓ Çapraz kapanış olmayan ve 3-6 mm arasında sınır miktarda çapraşıklığa sahip hastalarda yer kazanmak amacıyla [1, 6, 71-73],
- ✓ Üst çene darlığı vakalarında daha geniş bir gülümseme sağlamak için [1],
- ✓ Posterior dişlerin aksiyal eğimlerinin düzeltilmesi amacıyla üst çene genişletmesi yapılır [56].



## 2.2.2 Hızlı üst çene genişletmesinde zamanlama

Hızlı üst çene genişletmesinde zamanlama tedavinin başarıya ulaşmasını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Üst çenenin transversal yön uyumsuzluklarında tedavi zamanlaması hakkında literatürde çeşitli öneriler vardır.

Björk ve Skieller, yaptıkları implant çalışmasında 4-20 yaşları arasında üst çenede oluşan büyümeyi izlemişlerdir. Üst çenenin bu dönemde transversal yöndeki büyüme miktarının ortalama 6,5 mm olduğunu ve transversal ve sagittal yöndeki sutural büyümenin 17 yaşında tamamlandığını rapor etmişlerdir [74].

Melsen, 0-18 yaş arasındaki 33 erkek ve 27 kadın kadavrası üzerinde yaptığı histolojik ve radyografik çalışmada, median palatal suturun transversal yönde büyümesinin kızlarda 16, erkeklerde 18 yaşına kadar devam ettiğini belirtmiştir [75].

Persson ve Thilander, 15-35 yaşları arasındaki 24 insan kadavrası üzerinde yaptıkları çalışmada en erken kaynaşmayı 15 yaşındaki kız çocuğunun intermaksiller suturasının posteriorunda gözlemlerken, 27 yaşındaki kadının sutur kenarlarında hiçbir kaynaşma olmadığını gözlemlemişlerdir. Bireysel farklılıklara göre suturda füzyonun geç olabileceği ihtimaline karşılık hızlı üst çene genişletmesinin 25 yaşına kadar denenebileceğini söylemişlerdir [76]. Alpern ve Yurosko ise bu yaş sınırını kızlarda 18 erkeklerde 21 olarak tanımlamıştır [77].

Kinner ve ark. yaptıkları bir biyopsi çalışması sonucunda median palatal suturun tam füzyonunun 23 yaşından önce nadir olarak gözlendiğini, suturun anterior kısmının posterior kısmından daha az ossifiye olduğunu söylemişlerdir [78].

Artan yaşla birlikte hızlı üst çene genişletmesine gösterilen direncin arttığı hususunda görüşler vardır ve bu nedenle erken yaşta tedavi konusunda birçok yazar hemfikirdir [10, 11, 26, 48, 49, 79, 80].

Haas, süt ve karma dişlenme dönemlerinde yapılan genişletmenin daha stabil olduğunu belirtmiştir [21].

McNamara ve Brudon, sutur yapısına bağlı olarak, hızlı üst çene genişletmesinin genç hastalarda daha etkili, kolay ve sonuçlarının tahmin edilebilir olduğunu rapor etmiştir [71].

Bishara ve Staley, en uygun genişletme zamanınının 13-15 yaş öncesi olduğunu, daha yaşlı hastalarda genişletme yapmanın mümkün olabileceğini fakat sonuçların kalıcı olmayacağını ve relaps görülebileceğini belirtmiştir [6].

De Silva Filho ve ark.'nın süt ve karışık dişlenme döneminde 30 hastada lateral sefalometrik röntgenler üzerinde yaptıkları çalışmada, artan yaş ile birlikte üst çenenin diğer yüz kemikleri ile olan bağlantısının daha sıkı olacağını öne sürerek üst çene darlığının erken dönemde tedavi edilmesi gerektiğini ve böylece hastaların ağrıdan daha az şikayet edeceğini bildirmişlerdir [11].

Bacetti ve ark. hızlı üst çene genişletmesinin uzun dönem etkilerini inceledikleri çalışmalarında, pubertal büyüme atılımının hemen öncesinde tedavi edilen hastalarda transversal yönde oluşan iskeletsel etkinin daha belirgin olduğunu ve uzun dönemde daha kalıcı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [80].

Sarı ve ark. hızlı üst çene genişletmesinin karışık ve daimi dentisyon dönemindeki etkilerini karşılaştırmışlar ve erken yaşlarda oluşan ortopedik etkinin beklenenden az olduğunu ve hızlı üst çene genişletmesi için erken daimi dişlenme dönemine kadar beklemenin daha iyi bir alternatif olacağını söylemişlerdir [81].

Zimring ve Isaacson, artan yaş ve olgunlaşma ile fasiyal iskelet yapının üst çene genişletmesine karşı direncinin artacağını belirtmiştir [50]. Bazı araştırmacılar ilerleyen yaşlarda bu direnci azaltmak için median palatal suturda ve üst çene lateral duvarlarında osteotomiler yapılması gerektiği bildirilmiştir [6, 16].

### **2.2.3 Hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan apareyler**

Dar veya kollabe olmuş üst çene genişletmesinde ortodontik ve ortopedik etki elde etmek için diş destekli, doku destekli veya hem diş hem de doku destekli apareyler tasarlanmıştır [13]. Her hasta için uygun apareyin seçimi doğru tedavi planlaması için önemlidir.

Haas Apareyi: 1961 yılında Dr. Andrew Haas tarafından tanıtılan diş-doku destekli bir apareydir [14]. Bu aparey tasarımında üst birinci küçük ve büyük azı dişlere bant uygulamış ve median palatal sutur hizasında akrilik içerisine bir vida yerleştirmiştir. Bantlanan dişlere lehimlenen teller akrilik kısım içerisine uzanmaktadır. Genişletme kuvveti akrilik kısım

aracılığıyla sert damağa, bantlar aracılığıyla da dişlere iletilmektedir. Bu aparey ile elde edilen ortopedik etkinin ortodontik etkiden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür [14, 21]. Aynı zamanda, oluşan basınçla birlikte akrilik plağın yumuşak dokularda irritasyona sebep olduğunu ve yeterince hijyenik olmadığını rapor eden araştırmacılar da vardır [82].

Hyrax Apareyi: Biederman tarafından geliştirilen bir aparey olup, diş destekli bir apareydir. Haas apareyine göre daha hijyenik olduğu bildirilmiştir. Tamamen metalden meydana gelen aparey dişlere bantlar vasıtasıyla yapıştırılmaktadır. Metal yapının temizlenmesi kolay olduğu için daha az mukoza irritasyonu yaptığı düşünülmektedir [83]. Ayrıca konuşmaya minimal seviyede engel olan Hyrax apareyi klinisyenler tarafından en fazla tercih edilen hızlı üst çene genişletme apareyidir [84].

#### Hyrax Modifikasyonları:

Alessandri ve ark. hyrax vidasının birinci küçük azı ve büyük azı dişlere yapıştırılan bantların lingualine yerleştirilen slotlara takılıp çıkartılabilmesi ile farklılık taşıyan ‘disconnectable rapid palatal expander’ adını verdikleri bir aparey tanıtmışlardır [85]. Böylece şiddetli transversal yetmezliği olan hastalarda birden fazla vida gerekmesi durumunda kolayca çıkarılıp yenilenebilmektedir.

Schellino ve ark. arka kısımda açılmayı kısıtlayıp önde açılmayı sağlayan bir menteşesi olan ‘fan type’ vida tasarımını tanıtmışlardır [86].

Cozza ve ark. karma dişlenme dönemi için hyrax apareyini modifiye ederek süt azı dişlerden destek alan süt ikinci azı dişe bantlanmış ‘butterfly expander’ apareyini kullanmışlardır [87].

Lamparski ve ark. vidanın bir kolunu keserek diğer kolu azı diş bantlarına lehimli olacak şekilde iki bantlı genişletme apareyi olarak kullanmıştır [57].

Wichelhaus ve ark. Ni-Ti hızlı maksiller genişletme vidası (Hafızalı vida) olarak tanıtılan, sürekli kuvvet uygulamak için vida haznesinde Ni-Ti açık coil springler bulunduran molar ve premolar dişlerdeki bantlara lehimlenen hyrax vidasının bir modifikasyonu ile hızlı üst çene genişletmesi yapmışlardır [88].

Davidovitch vidanın her iki kollunu da üst birinci molar dişlerdeki bantlara lehimleyerek kuvveti direkt azı dişlere uygulayacak şekilde modifiye etmiştir [89].

Liou, iskeletsel sınıf III hastalarda kullanmak üzere fan type vidasını modifiye etmiştir. Tasarladığı çift menteşeli genişletme vidasından çıkan kolları üst birinci molar ve premolar bantlarına lehimledikten sonra üst anterior dişlerin palatinal bölgelerine kompozit aracılığıyla yapıştırmıştır [90].

Cap Splint Apareyi: 1981 yılında Timms tarafından tanıtılan diş destekli bu aparey üst santral dişler dışında tüm dişlerin oklüzal ve insizal kenarlarını örten krom-kobalt döküm plak ve bir vidadan oluşur [16]. Bu aparey zamanla modifiye edilerek döküm yerine akrilik plaktan yapılmaya başlanmıştır.

Rijit Akrilik Bonded Maksiller Genişletme Apareyi: 1973 yılında Cohen ve Silverman tarafından tanıtılan üst posterior dişleri akrilikle kaplayan ve ortasında vida bulunan diş destekli bir apareydir [91]. Posterior dişleri örten akrilik sayesinde, genişletme sırasında dişlerde daha az devrilme ve ekstrüzyon olduğu, bu nedenle daha iyi vertikal kontrol sağlandığı bildirilmiştir [92]. Mcnamara bu aparey ile oluşan posterior bite blok etkisinin anterior çapraz kapanışın düzeltilmesini kolaylaştıracağını bildirmiştir [93]. Reed ve ark. posterior dişleri ve palatinal yumuşak dokuyu kaplayan akrilik ile ortasında genişletme vidası bulunan diş-doku destekli bonded bir aparey kullanmışlardır [94]. İşeri ve Özsoy, Reed ve arkadaşının kullandığı apareye ek olarak üst keser dişlerin palatinallerine kadar akrilik kısmı uzanan bir başka apareyi kullanmışlar ve diş-doku destekli apareyler ile transversal yönde daha etkili sonuç alınacağını belirtmişlerdir [53]. Başçiftçi ve Karaman ise tüm dişlerin bukkal ve palatinal yüzeylerini kaplayan diş-doku destekli modifiye akrilik bonded apareyini kullanmışlardır. Genişletme için hyrax vidası kullanarak apareyin rijiditesinin arttığını belirtmişlerdir [63]. Doruk ve ark. tüm üst dişleri ve damağı kaplayan akrilik bonded apareyde, çevrildikçe vidanın arka bölümünde bulunan menteşenin etrafında dönerek anteriorda daha fazla genişletme yapan 'fan type' genişletme vidasını farklı dizaynla kullanmışlardır [95].

### **2.2.1 Hızlı üst çene genişletmesinin kraniofasiyal ve dentoalveolar yapılar üzerine etkilerini inceleyen klinik ve hayvan çalışmaları**

Hızlı üst çene genişletmesinin etkisi, kraniofasiyal sistemdeki kemiklerin birbirine suturlar aracılığı ile bağlı olmasından dolayı sadece üst çene ile sınırlı değildir [15]. Hızlı üst çene genişletmesiyle uygulanan kuvvet üst çene ile ilişkili olan yapıları harekete zorlar. Bunlar;

sfenoid, zigomatik, nazal, frontal, lakrimal, etmoid, vomer, palatinal kemikler ve nazal konkadır [16].

Starnbach ve ark.'nın Rhesus maymunları üzerinde yaptıkları çalışmada hızlı üst çene genişletmesinden sonra nazal sutur en fazla olmak üzere zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal suturda hücresele aktivitede artış gözlemlenmiştir [15].

Gardner ve Kronman, Rhesus maymunları üzerinde yaptıkları hızlı üst çene genişletmesinden sonra lambdoid, parietal, median palatal suturda ve hatta sfenookspital sinkondroziste ayrılmalar rapor etmişlerdir [96].

Kudlick, insan kuru kafatası üzerinde yaptığı bir çalışmada sfenoid kemik dışında doğrudan maksilla ile eklem yapan tüm kraniofasiyal kemiklerin etkilendiğini rapor etmiştir [97].

Üst çene ile komşu bazı yapılar hızlı üst çene genişletmesine karşı direnç gösterir. Yapılan çalışmalarda direncin sadece median palatal suturda değil, özellikle sfenoid ve zigomatik kemiklerin üst çeneyi çevreleyen yapılarından kaynaklandığı rapor edilmiştir [6, 17, 98].

Timms, hızlı üst çene genişletmesi sırasında üst çene kemiğinin suturlar aracılığıyla ilişkide bulunduğu kemiklerin yer değiştirebildiğini, zigomatik proseslerin genişletmeye bir miktar direnç gösterdiklerini bildirmiştir. Pterigoid plakların da genişletmeye karşı direnç oluştuğunu ve az miktarda eğildiğini özellikle kafa kaidesine yakın bölgelerde bu direncin en fazla olduğunu rapor etmiştir [59].

Wang ve ark. oniki kedi üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, iki grup oluşturmuş, çift menteşeli genişletme aparatını kullanarak bir haftalık hızlı üst çene genişletmesi ve beş haftalık Alt-RAMEC protokolünün suturlar üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Alt-RAMEC protokolüyle hızlı üst çene genişletmesine göre sagittal ve koronal yönlü suturlarda daha fazla açılma elde edildiği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda koronal yönlü suturlarda açılma miktarını arttırmak için Alt-RAMEC protokolünün 5 haftadan daha fazla gerçekleştirilmesi tavsiye edilmiştir [99].

Hızlı üst çene genişletmesi sonrası median palatal sutur açılması vertikal düzlemde, tepesi nazal bölgede, tabanı kesici dişler bölgesinde olacak şekilde üçgen biçimde olduğu rapor edilmiştir. Bu üçgenin tepesi fulkrum hattı olarak ifade edilmektedir. Bu noktanın yerini, İşeri

ve ark. orbitanın üst sınırı civarında, Jafari ve ark. frontonazal sutur civarında, Wertz ise frontomaksiller sutur civarında olduğunu söylemiştir [17, 61, 98]. Horizontal düzlemde ise geniş kısmı anterior nazal spinada, dar kısmı posterior nazal spinada olan ‘V’ şeklinde bir açılma gözlemlenmiştir [6, 22, 60, 89, 100-104]. Bu şekilde açılmanın, posterior bölgedeki anatomik yapıların daha fazla direnç göstermesinden dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Kanomi ve ark. üç boyutlu görüntüleme ile değerlendirdiği bir çalışmada, 8 yaşından küçük hastalarda median palatal suturda paralele yakın açılma tespit edilmiş ve artan yaşla birlikte triangular açılma olduğu bildirilmiştir [105]. Inoue, oklüzal radyografları değerlendirdiği çalışmasında median palatal suturun paralel biçimde ayrıldığını, bu ayrılmanın çoğunlukla kama şeklinde olduğunu belirtmiştir [106].

Hızlı üst çene genişletmesinden sonra üst çenenin öne ve aşağıya doğru saat yönünde rotasyon hareketi yaptığı birçok çalışmada bildirilmiştir [6, 22, 31, 59, 61, 96, 107, 108]. Ancak Da Silva Filho ve ark. süt ve karma dişlenme döneminde hızlı üst çene genişletmesi yaptığı bir çalışmada, 30 hastadan 11’inde SNA açısında azalma kaydetmiş, üst çenenin hem aşağı hem de geriye doğru hareket ettiğini gözlemlenmiştir [11, 71]. Sarver ve Johnston, Asanza ve ark. bonded ve banded iki apareyin etkilerinin karşılaştırıldığı çalışmalarında; bonded aparey ile üst çenenin sagittal yönde daha az öne hareketini rapor etmişlerdir [109, 110].

Biederman ve Chem, üst çenenin sagittal yöndeki hareketinin biyomekaniğini tanımlarken genişleme esnasında eğer sağ ve sol üst çene kemikleri için bir tek rotasyon merkezi oluşursa A noktasının geri gideceğini, buna karşın eğer iki ayrı rotasyon merkezi oluşursa A noktasının ileri gideceğini belirtmişlerdir [82].

Haas, aparey vidasının aktive edilmesiyle ortaya çıkan ilk tepkinin alveolar yapılardaki lateral eğilmeler olduğunu ve bunu median palatal suturanın açılmasının izlediğini bildirmiştir [14]. Hicks, yaptığı implant çalışmasında sağ ve sol alveolar proseslerin birbirlerine göre  $-1^\circ$  ile  $+8^\circ$  arasında laterale eğildiğini göstermiş ve ayrıca büyük azılar bölgesindeki ve sutural bölgedeki genişleme miktarının farklı olmasını alveolar proseslerin lateral eğilmesinin farklı olmasına bağlamıştır [48]. Hızlı üst çene genişletmesi ile birlikte alveolar proseslerde görülen lateral eğilme miktarı, genişletmede kullanılan apareyin tipi ile ilişkilendirilmiştir. Başçıftçi ve Karaman, Hyrax apareyi ile yapılan hızlı üst çene genişletmesinde diş doku destekli apareylerle yapılanaya göre daha fazla alveolar eğimlenme olduğunu bildirmişlerdir [111]. Oliveira ve ark. bu durumu diş doku destekli Haas apareyinin kuvvet vektörünün üst çenenin direnç merkezine

daha yakın olmasına bağlamışlardır [112]. Hızlı üst çene genişletmesi sonrasında alveolar proseslerin relaps fazında yumuşak doku direncine bağlı olarak dikleşme eğilimi göstermeleri nedeniyle, gerekenden 2-3 mm daha fazla genişletme önerilmiştir [22, 61].

Hızlı üst çene genişletmesinin üst posterior dişler üzerine etkisi bukkal tipping olarak beklenmektedir [6, 61, 112-114]. Dişlerde meydana gelen bu hareket hem alveol yapıların eğilmesine hem de posterior dişlerin bukkal yönde hareketine bağlanmıştır [115]. Üst posterior dişlerde bukkal tippingin yanı sıra ekstrüzyonun da gözlemlendiği bildirilmiştir [48, 114].

Hızlı üst çene genişletmesi sırasında median palatal suturun açılması sonucu maksiller santral kesiciler arasında diastema oluşur [6, 14, 22, 71, 82]. Genişletme sonrasında transseptal liflerin gerilmesine bağlı olarak, üst santral kesici dişlerin önce kronlarının daha sonra köklerinin birbirine doğru yaklaştığı ve diastemanın kendiliğinden kapandığı kabul edilmektedir [6, 14, 22, 60]. Araştırmacılar santral kesici dişler arasındaki diastemanın aktivasyon vidasının açılım miktarının yaklaşık yarısı kadar olduğunu fakat kesici dişler arasında oluşan bu diastemanın median palatal suturedaki açılmanın bir belirtisi olamayacağını bildirilmiştir [6, 14, 61]. Oluşan diastemanın yanı sıra, keserlerde ekstrüzyon ve dikleşme eğilimi de gözlemlenmiştir. Bishara ve Staley, kesici diş eksen eğimlerindeki azalmanın perioral kasların etkisiyle olduğunu düşünmektedir [6].

Hızlı üst çene genişletmesinden sonra median palatal sutureda oluşan genişlemenin tam tersi olacak şekilde üst molarlar arasında, kaninler arasından daha fazla genişlik artışı olduğu bildirilmiştir [22, 60, 61]. Da Silva Filho da bu bilgiyle uyumlu olarak intermolar mesafedeki artışın, interkanin mesafenin iki katı olduğunu göstermiştir [116]. Doruk ve ark.'nın yaptığı çalışmada, fan type apareyi ile hızlı üst çene genişletmesi sonucunda interkanin mesafedeki artışın, intermolar mesafenin yaklaşık üç katı şeklinde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır [95].

Hızlı üst çene genişletmesi sonucu burun tabanı ve palatal kubbenin genişlediği ve aşağı doğru indiği ve dolayısıyla palatal yüksekliğin azaldığı genel bir kanı olarak kabul edilmektedir [6, 14, 22, 60, 61]. Oliveira ve ark. Davis ve Kronman ise damak kubbesinin düzleştiğini ancak damak derinliğinde bir azalmanın olmadığını söylemişlerdir [112, 117]. Le Bret ise median palatal suturedaki hücreli proliferasyona bağlı olarak hızlı üst çene genişletmesi sonrasında damak derinliğinin 1,5 mm arttığını söylemiştir [118].

Birçok araştırmacı hızlı üst çene genişletmesi sonrası alveolar proseslerde lateral eğilmeler, üst molar dişlerde bukkal tipping ve ekstrüzyon sonucu mandibulanın aşağı ve geri

rotasyona uğradığını bildirmiştir [22, 60, 61]. Alt çenenin rotasyonuna bağlı olarak overjet, mandibuler düzlem açısı ve alt yüz yüksekliği artmaktadır [6, 61]. Bu sebepten dolayı bazı araştırmacılar hızlı üst çene genişletmesi sırasında vertikal kontrolü sağlamak için vertikal çenelik kullanımını önermişlerdir [111]. Hızlı üst çene genişletmesi sonrası mandibuler düzlem açısı ve yüz yüksekliğinde meydana gelen bu artışın pekiştirme sonrası azaldığını bildiren ve meydana gelen değişikliklerin kalıcı olmadığını belirten araştırmalar da vardır [119, 120].

Hızlı üst çene genişletmesinin mandibular ark genişliğinde artışa neden olabileceğini bildirilmiştir [14, 21, 22]. Mandibular ark genişliğinde meydana gelen bu artış üst molarlar arası mesafenin artması, dilin ağız tabanında yer alması ve buksinatör kasların alt çene dişleri üzerindeki etkisinin ortadan kalkmasıyla açıklanmaktadır [14, 22, 121]. Bazı araştırmacılar ise bu mesafenin değişmediğini veya değişim miktarının önemsiz olduğunu bildirmişlerdir [61, 66, 80].

Bu etkilerinin haricinde literatür incelendiğinde nazal hava yolu tıkanıklığının tedavisinde, üst çene darlığıyla birlikte orta kulak ve östaki tüpü ile ilişkili problemler nedeniyle geçici işitme kaybına sahip olan hastaların tedavisinde, üst hava yolundaki obstrüksiyona bağlı huzursuz uyuma sonucu oluşabilen nokturnal enürezisin tedavisinde hızlı üst çene genişletmesinin olumlu etkilerinin olduğu rapor edilmiştir [8, 122-125].

### **2.2.2 Hızlı üst çene genişletmesinin kraniofasial ve dentoalveolar yapılar üzerine etkilerini sonlu elemanlar analiz yöntemi ile inceleyen çalışmalar**

1998 yılında İşeri ve ark. hızlı üst çene genişletmesinin kraniofasial sistem üzerine biyomekanik etkilerini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle araştırmıştır. Bu çalışmada 12 yaşında erkek bireyin kafatasından elde edilen tomografi görüntülerinden yararlanılmıştır. Üst çene genişletmesiyle birlikte dentoalveolar yapılarda genişlemenin görüldüğü, nazal kavite genişliğinin nazal taban hizasında daha fazla olduğu, ancak nazal kavitenin üst ve arka bölgesinin hafifçe mediale hareket ettiği bildirilmiştir. Aynı zamanda parietal, frontal ve oksipital kemiklerde yer değiştirmenin gözlenmediği rapor edilmiştir. En yüksek stres seviyesi sfenoid kemiğin pterigoid plaklarının kranial kaideye yakın bölgelerinde görülürken, kanin ve molar dişler hizasında, inferior nazal kavitenin lateral duvarlarında, zigomatik ve nazal kemikte de yüksek stres seviyeleri rapor edilmiştir [17].



2003 yılında Jafari ve ark. 12 yaşında kadın bireyin kafatasından elde edilen tomografi görüntülerinden yararlanılarak yapılan çalışmada 10 mm'lik üst çene genişletmesi sonucu üst santral dişlerin 5.313 mm'lik lateral yer değiştirmesinden bahsedilmiştir. Pterigoid plakların inferior kısmının belirgin lateral hareketi tespit edilirken kafa tabanına yakın bölgelerde bu hareketin minimal düzeldiği rapor edilmiştir. Maksimum öne doğru yer değiştirme nazal kemiğin anteroinferior sınırında 1.077 mm olarak bulunmuştur. ANS ve A noktası aşağı yönde hareket etmiştir. En yüksek stres seviyeleri internazal, nazofrontal, nazomaksiller ve zigomatikofrontal suturlar etrafında görülmüştür [98].

2006 yılında Holberg ve ark. sfenoid, frontal, oksipital ve temporal kemiğin modellenerek yapıldığı çalışmada, genç ve yetişkin hastalarda hızlı üst çene genişletmesinin farkı değerlendirilmiştir. Bu farkı değerlendirmek için genç ve yetişkin hasta için farklı elastiklik modülleri kullanılmıştır. Genç hastada hızlı üst çene genişletmesinde orta seviyede stres dağılımları görülürken, yetişkin hastada pterigoid plakların lateral bükülmelerinin yanısıra, oval foramen, süperior orbital fissür gibi damar ve sinir yapılarına yakın bölgelerde yoğun stres birikimi görülmüştür [126].

2007 yılında Gautam ve ark. hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal yapılar üzerinde oluşturduğu stres dağılımını ve yer değiştirme miktarlarını incelemiştir. Çalışmada 7 yaşındaki bir bireyin kafatasından elde edilen tomografi görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgularda üst çenenin öne ve aşağı hareketi, pterigoid plakların lateral hareketi gözlenmiştir. Üst çenenin rotasyon merkezinin frontal düzlemde yaklaşık olarak süperior orbital fissür hizasında olduğunu söylemişlerdir. En fazla stres dağılımının frontomaksiller, nazomaksiller ve frontonazal sutular etrafında görüldüğünü rapor etmişlerdir [18].

2008 yılında Provatidis ve ark. yaptığı sonlu elemanlar analizi çalışmasında hızlı üst çene genişletmesi sonucunda maksilloakrimal, frontomaksiller, nazomaksiller, transvers palatin ve pterigomaksiller suturun etkilenmediğini, zygomatikomaksiller suturun ise ekspansiyon kuvvetlerinden etkilendiğini söylemişlerdir. Maksimum yer değiştirmeler ise, üst çenede sert damağın aşağısında santral kesiciden ikinci premolara olan bölgelerde gözlenmiştir [127].

2011 yılında Baldawa ve ark. yetişkin bireylerde hızlı üst çene genişletmesinin biyomekanik etkilerini değerlendirmiştir. Uygulanan kuvvet sadece intermaksiller suturda değil

sfenoid kemiğin gövdesi ve zigomatik kemiğin frontal proseslerinde etkili bulunmuş, pterigoid plaklarda lateral eğilmeler rapor edilmiştir [128].

2012 yılında Lee ve ark. farklı tipte kemik destekli apareylerin etkisini araştırmıştır. Çalışmasında 4 farklı modelleme yapmıştır: (tip 1) median palatal suturun 3 mm laterale yerleştirilmiş 4 mini vida destekli, (tip 2) palatal eğim üzerine yerleştirilmiş 4 mini vida destekli, (tip 3) 4 mini vida destekli geleneksel hyrax apareyi, (tip 4) geleneksel hyrax apareyine ek olarak cerrahi destekli. Bütün modellemelerde aşağıya doğru yer değiştirme hareketi gözlenmiştir. Tip 3'te en fazla transversal yer değiştirme bulunmuştur. Dentoalveolar yapıların rotasyon hareketi tip 1 ve 3'te daha fazla iken, tip 2 ve 4'te nispeten daha paralel hareket gözlenmiştir. Gerilme dağılımları tip 1 ve 3'te mini vida çevresinde yoğunlaşmışken, tip 2'de mini vida etrafında en az stres yoğunluğu ve bukkal eğilmeler olmadan alveol genişlemesi gözlenmiştir [129].

2013 yılında Ludwig ve ark. mini vida destekli hibrit hyrax apareyinin etkilerini incelemiştir. Çalışmada bir kadın hastadan genişletme öncesi ve sonrası olmak üzere iki defa tomografi alınmıştır. Genişletme sonrası alınan görüntü sonlu elemanlar analizi için referans olarak kullanılmıştır. Kullandıkları sonlu elemanlar metodunun klinik durumu uygun bir şekilde simule ettiği ve 2 mini vida ile desteklenen hibrit hyrax apareyinin nazomaksiller kompleksin direnç merkezine yakın kuvvet uyguladığı rapor edilmiştir [130].

2013 yılında de Sousa Araugio ve ark. palatinadan farklı yüksekliklerdeki hyrax apareyinin dental tippinge olan etkisini araştırmışlardır. Hyrax apareyi maksiller molarların direnç merkezine göre üç farklı şekilde pozisyonlandırılmıştır. Aparey maksiller moların direnç merkezinden 10 mm aşağıda olacak şekilde konumlandırıldığında kronların bukkal tippingi görülürken köklerin lingual tipping hareketi yaptığı görülmüştür. Maksiller moların direnç merkezi hizasında konumlandırıldığında bu hareket eğilimi azalmıştır. Maksiller moların direnç merkezinden 10 mm yukarıda olacak şekilde konumlandırıldığında ise bu etki kronlar lingual, kökler bukkal tipping yapacak şekilde tersine dönmüştür [131].

2014 yılında Lee ve ark. cerrahi destekli olan ve olmayan mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesini incelemiştir. Çalışmada 5 model dizayn edilmiştir: (tip A) diş destekli hyrax apareyi, (tip B) kemik destekli genişletme apareyi, (tip C) kemik destekli genişletme apareyine ilaveten median palatal sutur seperasyonu, (tip D) tip C'ye ilaveten pterigomaksiller sutur seperasyonu, (tip E) tip D'ye ilaveten Lefort I osteotomisi. Çalışmanın sonuçlarına

bakıldığında, cerrahi içeren tip C, D ve E cerrahi olmayan tip A ve B'ye göre daha fazla transversal hareket göstermiştir. Genişleme miktarları tip A ve B'de posterior dişlerde daha fazla, ancak tip C, D ve E'de ise anterior dişlerde daha fazla bulunmuştur. Cerrahi içermeyen modeller median palatal suturda anterior bölgede posterior bölgeden daha fazla genişlemiş ve cerrahi içeren tiplere göre daha yüksek stres seviyeleri göstermiştir. İnfraorbital marjin, anterior ve posterior nazal spina, maksiller tüber bölgesi, pterigoid plak ve hamulusta en yüksek gerilme değerlerini Tip B göstermiştir [132].

2014 yılında Geramy ve ark. üst çene genişletmesinde sabit ve hareketli apearelerin etkilerini karşılaştırmıştır. Model olarak maksillanın molarları, çevresindeki periodonsiyumu ve alveolar kemiği içeren kısmi bir parçası kullanılmıştır. Peridontal ligamentteki stres dağılımı, palatal ve bukkal tüberküllerin vertikal hareketi değerlendirilmiştir. Hareketli apareyde destek dişin etrafındaki apikal ve kreteal peridontal liflerde, kortikal ve spongios kemikte sabit apareye göre daha yüksek stres seviyelerine rastlanmıştır. Molar dişlerin tüberküllerinin vertikal hareketi, hareketli apareyde daha fazla bulunmuştur [133].

2014 yılında Matsuyama ve ark. palatal derinlik, vida kolu şekli üzerindeki modifikasyonların ve mini vida desteğinin etkisini araştırmıştır. Çalışmada 9 adet modelleme üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı palatal yükseklikler arasında damak derinliğinin en fazla olduğu modelde dişlerin ve median palatal suturun minimal lateral yer değiştirmesi görülürken vida kollarında en fazla deformasyon görülmüştür. Çeşitli vida kolu modifikasyonlarında daha büyük çaplı vida koluna sahip modelde vida kollarında en az deformasyon görülmüştür. Sadece mini vida destekli modelde, mini vida destekli hyrax apareyinin bulunduğu modele göre hem dişlerin hem de median palatal suturun lateral hareketi daha az bulunmuştur [134].

2016 yılında Kumar ve ark. quad heliks ve nikel titanyum palatal expander-2 aygıtının karniyofasiyal yapılara olan etkilerini karşılaştırmıştır. En yüksek stres seviyeleri median palatal suturda ve frontozigomatik suturda bulunmuştur. Genel olarak quad heliks grubunda daha fazla olmak üzere iki grupta benzer stres dağılımları görülmüştür. Tek fark pterigomaksiller suturda quad heliks grubunda yüksek stres seviyeleri görülürken, nikel titanyum palatal expander-2 aygıtında aynı bölgede minimal stres seviyeleri bildirilmiştir [135].

### **2.3. Gerilme Analiz Metotları**

Ortodontik kuvvetlerin dişler, destek dokular ve kraniyofasiyal yapılar üzerindeki etkilerini inceleyen birçok analiz metodu bulunmaktadır [136]. Sıklıkla kullanılan yöntemler arasında aşağıdakiler sıralanabilir:

- ❖ Fotoelastik Kuvvet Analiz Yöntemi
- ❖ Denek Hayvan Çalışmaları
- ❖ Kırılgan Vernik Tekniği ile Kuvvet Analiz Yöntemi
- ❖ Gerinim Ölçerli Kuvvet Analiz Yöntemi
- ❖ Termografik Kuvvet Analizi
- ❖ Lazer Işını ile Kuvvet Analiz Yöntemi (Holografik interferometre)
- ❖ Sonlu Elemanlar Analizi

#### **2.3.1 Fotoelastik kuvvet analiz yöntemi**

Fotoelastik yöntem saydam cisimler içinden geçen polarize ışığın kırılmasıyla ortaya çıkan titreşimlerin ölçümüne dayanır. Geometrik şekilde olmayan cisimlerde kuvvetin akışını gözlemek için kullanılan gerilme analiz yöntemidir. Polarize ışık demeti, kuvvet uygulanmış fotoelastik bir materyalden geçerken materyali farklı hızlarda kat eden dikey titreşimlere dönüşür. Bu titreşimler, polariskop cihazı ile izlenerek gerilme bölgeleri tespit edilir. Bu metod donanımlı bir laboratuvar, özel hazırlanmış modeller ve ölçüm için özel bir ekipman gerektirmektedir [137].

#### **2.3.2 Denek hayvan çalışmaları**

Denek hayvan çalışmalarında canlı dokuların çeşitli uyaranlara cevaplarının incelenebilmesi, diğer metotlara göre avantaj oluşturmaktadır. Ancak tüm sonuçları insan dokularına uyumlandırmak ve insana ait destek dokuların gerçek cevabını öngörmek mümkün olmamaktadır [136].

### **2.3.3 Kırılğan vernik tekniği ile kuvvet analiz yöntemi**

Kırılğan vernikle kaplama tekniği, incelenecek olan model üzerine sürülen özel verniğin fırınlanmasından sonra kuvvet yüklenerek bölgede oluşan çatlakların yorumlanması esasına dayanır [138].

### **2.3.4 Gerinim ölçerli kuvvet analiz yöntemi**

Gerinim ölçerler, yük altındaki yapıların bünyesinde oluşan doğrusal şekil değişikliklerinin saptanmasında kullanılan ağıtlardır. Mekanik deformasyona maruz kaldığında iletkenin elektrik direncinin değişmesi prensibine dayanır. İn vivo veya in vitro şartlarda statik ve dinamik yüklemeler altında gerinme ile ilgili sonuçlar sağlar. Bu metotta incelenecek bölgelere gerilime duyarlı uçlar yerleştirilir. Bu yöntem, kalibre edilmiş elektriksel direnç elemanları yardımıyla gerilme altındaki boyutsal değişiklikleri inceler [139, 140].

### **2.3.5 Lazer ışını ile kuvvet analiz yöntemi (Holografik interferometre)**

Hologram, cisimlerin üç boyutlu görüntüsünü elde etmek için kullanılan, koharent ışık kaynağından çıkan iki ışının karşılıklı etkisiyle oluşturduğu mikroskobik girişim saçaklarının kaydedilmesi işlemidir. Holografide ışığın iki temel özelliği olan girişim ve kırınım olaylarından faydalanılır. Bu yöntemde ışık girişim saçaklarını uzaktan ölçen interferometri denilen alet kullanılır. Cisimler üzerindeki aralık ve yer değiştirme miktarını çıkardığı iki lazer ışın demeti ile ölçer. Gerinimler hakkında holografik görüntüde şekillenen saçakların değerlendirilmesi ile sonuca varılır [141].

### **2.3.6 Sonlu elemanlar analizi**

Sonlu elemanlar analizi farklı materyal özellikleri gösteren düzensiz geometriye sahip yapılara uygulanabilen, oluşan gerilmeleri ve yer değiştirmeleri detaylı bir şekilde ölçebilen sayısal bir gerilme analiz tekniğidir. Detaylı matematik modellemeye ve çok iyi bir analiz programına ihtiyaç duyar [136].

## 2.4. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometrideki yapıların bilgisayarda hesaplanması kolay, daha küçük ve basit alanlara (elemanlara) bölünerek dış kuvvetler altında şekil değişiminin ve gerilme dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılan sayısal bir yöntemdir [142, 143].

Sonlu elemanlar analizi ilk defa 1956'da uçak mühendisliğinde yapısal problemleri çözmek amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Daha sonraları ısı transferi, akışkanlar mekaniği, akustik, elektromanyetik analizler ve biyomekanik gibi birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde inşaat ve makine mühendisliği gibi mühendislik bölümlerinde sık olarak kullanılmaktadır. Bu analiz metodu ile gerilme, gerinim, yer değiştirme ve sıcaklık dağılımı gibi parametrelerin araştırıldığı sayısal problemler kabul edilebilir makul hata payı ile çözümlenir [144-146].

Diş Hekimliğinde sonlu elemanlar analizi ile ilgili yapılan ilk çalışma Ledley ve Huang'ın 1968 yılında yaptıkları araştırmadır. Bu çalışmada, matematik modeli oluşturulan bir dişe çeşitli yönlerde kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetlerin dişi destekleyen kemik dokusunda meydana getirdikleri gerilmeler değerlendirilmiştir [147].

Ortodontide ise sonlu elemanlar analizi 1971 yılında Davidian'ın üst orta kesici dişin teorik rotasyon merkezini bulmak için gerçekleştirdiği diş modeli ile başlamıştır. Bu çalışmada dişe uygulanan kuvvet sonucu periodonsiyumdaki mekanik cevap incelenmiş, rotasyon ve direnç merkezinin yerlerinin değişimi gözlenmiştir [148]. Günümüzde ise bu analiz metodu protetik tedavi, implantoloji, ortodonti ve restoratif diş hekimliği çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [144].

### 2.4.1 Sonlu elemanlar analizinin avantajları ve dezavantajları

Sonlu elemanlar analiz yönteminin avantajları:

- ❖ Isı transferi, manyetik alan, gerilme analizi gibi birçok alanda kullanılabilmesi
- ❖ Düzgün geometri göstermeyen ve farklı malzeme özelliklerine sahip yapılara uygulanıp gerçek yapıya çok yakın bir modelin hazırlanabilmesi
- ❖ Esnek ve karmaşık yapılarda, analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç vermesi

- ❖ Çeşitli katmanlardan oluşan objelerin, katmanların fiziksel özellikleri ve katmanlar arası birleşim özelliklerini yansıtacak şekilde modellenebilmesi
- ❖ Farklı yüzeyler arasındaki yapışma, sürtünme ve temasların gerçeğe yakın şekilde oluşturulabilmesi
- ❖ Gerilme, gerinme ve yer değiştirmelerin duyarlı bir şekilde hesaplanabilmesi
- ❖ Oluşturulan modelin geometrisi, sınır koşulları, yükleme yön ve miktarı gibi özellikleri değiştirilip, analizin gerektiği kadar tekrarlanabilmesi
- ❖ Prototip olarak denenmesi mümkün olmayan veya tehlikeli olan tasarımların simülasyonuna olanak sağlamasıdır [142, 143].

Tüm avantajlarına rağmen sonlu elemanlar analizinin araştırmacılar tarafından oluşturulan bir simülasyon olduğu unutulmamalıdır. Sonlu elemanlar analizinin, yeterli donanımına sahip bilgisayar gerektirmesi ve yazılım programlarının maliyetlerinin fazla olması, düzenli güncelleme ihtiyacı dezavantajlar arasındadır. Ayrıca, kompleks anatomik yapıların tamamının modellenmesi ya da tüm mekanik özelliklerinin analize eklenmesinin mümkün olmamasına bağlı olarak, gerçek durumu basitleştirmek için bazı ön kabuller yapılmasını (homojen, lineer, izotropik gibi) gerektirir. Malzeme özellikleri ve uygulanan kuvvetlerin sisteme yüklenmesi hususunda detaylı bilgi aktarımı gerektirmesi, analizlerin gerçekleşmesi için zamana ihtiyaç duyması gibi dezavantajlar da mevcuttur [144, 149].

Sonlu elemanlar analizinde, oluşturulan modellerin çözüme olanak sağlayacak sadelikte olup gereksiz ayrıntılar içermemesi, fakat gerçek yapıyı da tanımlayabilmesi gerekmektedir [143].

#### **2.4.2 Sonlu elemanlar analizi ile ilgili kavramlar**

##### ***Kuvvet***

Kuvvet, cisimlerin hareket durumlarını ve/veya şekillerini değiştirebilen vektörel bir büyüklüktür. Doğrultu, yön ve şiddet gibi özelliklere sahiptir [150-152].

Kuvvetin birimi; Newton (N), kilogram-kuvvet (kgf), gram-kuvvet (gf), ons (oz) veya dyne (dyn) cinsinden belirtilebilir. Mekanikte kullanılan kuvvetin birimi genelde Newton'dur ve  $N=kg.m/s^2$  olarak formüle edilmektedir. Ortodonti literatüründe ise kuvvetlerin büyüklükleri

genelde ‘gram-kuvvet’ (gf) cinsinden verilmekte fakat genellikle kütlenin birimini andıran şekilde ‘gram’ (gr) olarak kullanılmaktadır. 1 newton, 101,97 gram-force’a eşittir [153].

### **Gerilme (Stress)**

Bir cismin dışarıdan gelen kuvvetlere gösterdiği dirençtir. Gerilme, birim alana uygulanan kuvvete karşı oluşan tepki olarak tanımlanmaktadır. Bu tepki, kuvvetle eşit şiddette ve zıt yödedir [154].

Gerilme şu şekilde formüle edilmektedir:

$$\sigma \text{ (Stres, pascal)} = F_{\text{(newton)}} / A_{\text{(m}^2, \text{mm}^2)}$$

Genellikle gerilme birimi olarak Paskal terimi (1 Pa=1 N/m<sup>2</sup>) kullanılmaktadır [150]. Ancak diş hekimliği konusundaki araştırmalarda, incelenen boyutların milimetrik olması nedeniyle genellikle Mega paskal terimi (MPa veya N/mm<sup>2</sup>) tercih edilmektedir (1 MPa=106 Pa).

Uygulanan kuvvet tipine bağlı olarak 3 farklı tipte gerilme oluşabilmektedir. Bunlar; basma gerilmesi (compressive stress), çekme gerilmesi (tensile stress) ve kayma gerilmesi (shear stress) olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

**Basma gerilmesi:** Bir cisme aynı doğrultuda ve aynı yönde uygulanan iki kuvvet sonucu oluşan gerilmedir ve cismin moleküllerini birbirine yaklaştırma etkisine sebep olur.

**Çekme gerilmesi:** Bir cisme aynı doğrultuda fakat ters yönde uygulanan iki kuvvet sonucu oluşan gerilmedir ve cismin moleküllerini birbirinden ayrılmaya zorlar.

**Makaslama gerilmesi:** Bir cisme paralel olarak farklı seviyelerde karşılıklı ve zıt yönde uygulanan kuvvetler sonucu oluşan gerilmedir ve cismin moleküllerini birbiri üzerinde yüzeye paralel yönde kaymaya zorlar [155-157].

### **Asal Gerilme (Principal Stress)**

Bütün düzlemlerde makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve tüm gerilmelerin sadece alana dik yönde olan normal gerilmelerden oluştuğu gerilmeler asal gerilmeler (principal stress) adını alır. Asal gerilme; maksimum asal gerilme, ara asal gerilme ve minimum asal gerilme olarak üçe ayrılır. Ancak yük uygulanan cisimlerde genellikle tek tip gerilme yerine üç tip gerilmenin bir arada bulunduğu bileşik gerilme hali görülmektedir [150, 154, 158].



Basma ve çekme gerilmelerinin dağılımı asal gerilme dağılımına göre incelenir. Maksimum asal gerilmeler pozitif değerdir ve en yüksek çekme gerilmelerini ifade eder. Minimum asal gerilmeler negatif değerdir ve en yüksek basma gerilmelerini ifade eder. Analizde, bir düğüm noktasında hangi gerilme şekli daha büyük mutlak değere sahipse o gerilmenin etkisi belirgindir [150, 154, 158].

### ***Von Mises Gerilmesi (Von Mises Stress)***

Von Mises gerilmesi ‘yapının belirli bir bölümündeki iç enerji belirli bir değeri aşarsa, yapı bu noktada şekil değiştirecektir’ prensiplerinden elde edilmiş bir kriterdir [150]. Von Mises gerilmesi, çekilebilir materyallerde gerilme kriterinin belirlenmesinde kullanılır. İki veya üç boyutta oluşan asal gerilmeleri kombine ederek, tek yönde yüklenen materyalin çekme dayanıklılığını verir. Von Mises gerilmeleri ayrıca kırılma dayanıklılığının ölçülmesinde de kullanılır. Gerilme genel olarak üç boyutlu olarak ifade edilir. Von Mises gerilmeleri, germe kriterini değerlendirebilmek amacıyla, üç boyutlu ifadeyi bir skala üzerinde okunabilen tek bir pozitif sayı haline dönüştürür [150, 159, 160].

### ***Gerinim (Strain)***

Bir cisme kuvvet uygulandığında birim boyutta oluşan şekil değişimi olarak ifade edilir. Gerilme, büyüklüğü ve yönü olan bir kuvvet iken, gerinim bir büyüklüktür ve deformasyonun orijinal uzunluğa oranı olarak tanımlanmaktadır [145, 161].

$$\text{Birim uzama} = \text{Uzunluktaki Değişim} / \text{Orijinal Uzunluk}$$

### ***Elastiklik Sınırı***

Cismin belirli bir kuvvet karşısında plastik deformasyona uğramadan dayanabildiği maksimum gerilmedir. Cismin elastik özellik gösterdiği maksimum yük-esneme limiti olarak da tanımlanabilir [152].

### ***Elastiklik Modülü (Young Modülü)***

Hooke kanununa göre elastiklik modülü, cismin elastikiyet sınırları içerisinde dayanıklılığını yani gerilme/gerinim oranını gösteren bir katsayıdır [151]. Elastiklik modülü farklı materyaller için farklı değerler almaktadır. Bu değer arttıkça cismin deformasyona karşı gösterdiği direnç de artacaktır. Daha sert materyallerin iç dirençleri ve dolayısı ile elastiklik modülleri daha yüksektir [156]. Bu özellik mekanik özellikleri ile dolaylı bir ilişki içerisinde.

Doğrusal (linear) elastik materyallerde sabit bir elastiklik modülü söz konusu iken, doğrusal olmayan (nonlinear) elastik materyallerde zamana bağlı değişkenlik gösterir [162, 163].

### ***Poisson Oranı (Poisson's Ratio)***

Çekme veya basma kuvvetleri altındaki cisimlerin, elastiklik sınırları içinde, eninde meydana gelen birim boyut değişiminin boyundaki birim boyut değişimine oranıdır. Örneğin; bir cisme çekme kuvveti etki ettiğinde kuvvetin geldiği yönde boy uzaması, kuvvete dik olan diğer boyutlarda ise boy kısalması olur. Basma kuvvetleri altında ise cismin boyu kısılırken eni kalınlaşır [154].

$$\text{Poisson oranı} = \text{Endeki (lateral) birim uzama} / \text{Boydaki (aksiyal) birim uzama}$$

### ***İzotropik ve Homojen Cisim***

İzotropik cisim, kuvvet uygulandığında farklı doğrultularda aynı elastiklik özellikleri göstermektedir. Bu sebeple, gerilme-şekil değiştirme ilişkileri elastiklik modülü ve Poisson oranına bağlı olarak ifade edilmektedir [143, 161].

Homojen cisim, cismin elastiklik özelliklerinin her noktada aynı olduğu cisimdir. Bir cismin içinde maddenin cinsi ve yoğunluğu bakımından farklılık olmaması homojen yapıda olmasını ifade eder [154, 164, 165].

Birçok sonlu elemanlar çalışmasında farklı elastiklik modülüne ve Poisson oranına sahip cisim kendi içinde izotropik ve homojen olarak varsayılır.

### ***Eleman (Element)***

Sonlu elemanlar yönteminde analizi yapılacak model, eleman (element) olarak adlandırılan basit geometrik şekillere bölünür. Elemanlar geometrilerine (üçgen, paralel kenar, dörtgen), boyutlarına (tek boyutlu, iki boyutlu, dönelele elemanlar, üç boyutlu elemanlar), düğüm sayısına, düğüm sayısındaki bilinmeyenlere ve problemin özelliklerine göre (katı, kabuk, kiriş) sınıflandırılır [143, 161].

### ***Rijit Eleman***

Rijit elemanlar kuvveti ileten ama deformasyona uğramayan ve gerilme yüklenmeyen elemanlardır. Bağlandıkları düğümlerin arasındaki mesafeyi sabit tutmaya yararlar [143, 161].

### ***Düğüm (Node)***

Sonlu elemanlar yönteminde analizi yapılacak modeller ‘eleman’ olarak adlandırılan basit geometrik şekillere bölünür. Bu elemanlar köşe noktalarından birbirleriyle bağlanır ve bu noktalara düğüm denir. Elemanlar düğüm noktalarından bağlanılarak bütün yapı için yaklaşık bir denklem sistemi oluşturulur [143, 154, 158, 161].

### ***Sınır Koşulları (Boundary Conditions)***

Sınır koşulları, gerilmelerin ve yer değiştirmelerin sınır ifadelerini kapsar. Sınır koşulları cismin hangi bölgelerden sabit kabul edildiğine ve kuvvetlerin uygulanma noktalarına göre belirlenir [143, 154, 158, 161].

### **2.4.3 Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz basamakları**

Temel olarak üç ana başlık altında incelenir:

#### ***Hazırlık safhası***

***Problemin tanımlanması ve yapılacak analizin belirlenmesi:*** Bir problemin çözülebilmesi için ilk adım, problemin tanınmasıdır. Çözümünü istediğimiz problemi doğru olarak tanımlamamız, çözüm için en uygun yöntemi belirlemek ve doğru analiz sonuçları elde etmek açısından gereklidir [143, 161].

***Geometrik modelin oluşturulması:*** Analizde en önemli adımlardan biri modelleme aşamasıdır. Modellemenin mümkün olduğunca gerçeğe uygun şekilde yapılması elde edilen sonuçların doğruluğu ile orantılıdır [143, 161]. Bu süreçte üç boyutlu model, MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) ve BT (Bilgisayarlı Tomografi) görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılması, modellenmesi istenen cismin yüzey tarayıcıları ile taranıp bilgisayar ortamına aktarılması, üç boyutlu modelleme programları kullanılarak cismin çizilmesi yöntemleri ile oluşturulabilir [112, 166-169].

***Matematik modelin oluşturulması:*** Bu işlemde, analizi yapılacak olan model, boyutuna ve geometrisine uygun olarak elemanlara bölünerek ‘matematik model’ denilen bir ağ yapısına dönüştürülür. Ağ yapısının oluşturulması programlar tarafından otomatik olarak yapılabileceği gibi araştırmacının belirlediği kısıtlara göre de gerçekleştirilebilir [170]. Araştırılacak problemin boyutuna ve özelliklerine bağlı olarak, oluşturulacak ağ yapısında

farklı sayı ve tipte elemanlar kullanılmaktadır [170-172]. Kuvvet dağılımının hassas olarak ölçülebilmesi için mümkün olduğunca çok sayıda eleman kullanmak önemlidir [143]. Fakat bu durum çözülmesi gereken daha fazla denklem, daha büyük bilgisayar hafızaları ve daha fazla çalışma zamanı anlamına gelmektedir [170, 172]. Günümüzde ağ yapısının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılan üç boyutlu eleman tipleri; sekiz düğümlü, altı düğümlü, beş düğümlü ve dört düğümlüdür [145, 170-172]. Ağ yapısını oluşturan elemanların, modele uygun büyüklükte ve geometride olup, düzgün sıralanması analiz sonucunun gerçeğe yakınlığında önemli rol oynamaktadır [143].

***Malzeme özelliklerinin sisteme girilmesi:*** Bu adımda malzeme özellikleri belirlenerek sisteme girilir. Biyolojik yapının elastik özelliklerine ait bilgiler modele yansıtılır. Elastiklik modülü, Poisson oranı, yoğunluk, eğer uygulanabilirse genişleme, sürtünme, termal iletkenlik katsayısı, sönümleme etkisi, ısı, izotropik, ortotropik malzeme özelliği gibi materyale ait özellikler programa girilmektedir [145, 159, 173].

***Sınır koşullarının tanımlanması:*** Matematik model üzerindeki kuvvet uygulama noktaları ve sistemin serbestlik derecesi üzerinde etkili olan destek noktaları gibi faktörler sistemin sınır koşullarını oluşturur. Ağ yapısına sahip modelin, sınır koşullarının tanımlanması ile matematiksel model analize hazır hale gelmektedir [143].

### ***Çözüm işlemleri***

Analiz aşamasında, oluşturulmuş olan matematik modele istenilen düğüm noktalarından kuvvet uygulanması sonucu, ağ yapısını tanımlayan diğer düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler hesaplanmaktadır. Bu sayede bütün eleman denklemlerinin çözümlenmesi ile tüm modelde meydana gelen gerilme ve gerinim değerleri belirlenmektedir [143, 161].

### ***Sonuçların değerlendirilmesi***

Elde edilen verilerin değerlendirilebilmesi için analiz sonuçları tablolar, resimler veya grafikler aracılığı ile görselleştirilebilir. Tablolar veya grafikler ile ortaya koyulan sayısal değerler istenen noktalardaki, uzayın üç yönünde oluşan gerilme değerlerini ve yer değiştirmeleri vermektedir. Tüm modele ait animasyonlar ve farklı açılardan alınmış renk skalasına sahip görüntülerde, gerilme dağılımını ve yer değiştirmeleri görmek mümkün olmaktadır. Büyütülmüş görüntüler ve animasyonlarda aslında çok küçük değerler taşıyan yer değiştirmeler, eşit miktarda büyütülüp daha kolay anlaşılır hale gelmektedir [143].

Yapılan literatür taramasında üst çene genişletmesi ihtiyacına sahip genç adölesan bir hastada hyrax ekspansiyon vidası, fan type ekspansiyon vidası ve çift menteşeli ekspansiyon vidası ile yapılan genişletmenin kraniyofasiyal yapılar üzerinde oluşturdukları stres ve yer değiştirme miktarını sonlu elemanlar analizi ile değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu uzmanlık tez çalışmasının amacı, hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan üç farklı apareyin kraniyofasiyal sistem üzerine olan etkilerini sonlu elemanlar analizi ile incelemek ve karşılaştırmaktır.



### **3. GEREÇ VE YÖNTEM**

Bu çalışmada, Hyrax genişletme vidası, Fan type genişletme vidası ve Çift menteşeli genişletme vidasının etkilerini incelemek için genç adolesan dönemde bulunan ve transversal üst çene yetersizliğine sahip hasta tomografisi baz alınmıştır. Kafatası, suturlar, maksilla, dişler, periodontal ligament ve üst çene genişletme apareyleri üç boyutlu olarak modellenmiş ve sonlu elemanlar analizi ile simülasyonlar yapılmıştır. Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ve Medikaldizayn Sağlık ve Bilişim Dış Ticaret San. Ltd. Şti.'den ilgili bilgisayar yazılımlarının kullanımıyla ilgili hizmet alımına gidilmiştir (Bezmialem Vakıf Üniversitesi BAP, 9.2015/15).

#### **3.1. Geometrik Modelin Oluşturulması**

##### **3.1.1 Kraniyofasiyal sistemin modellenmesi**

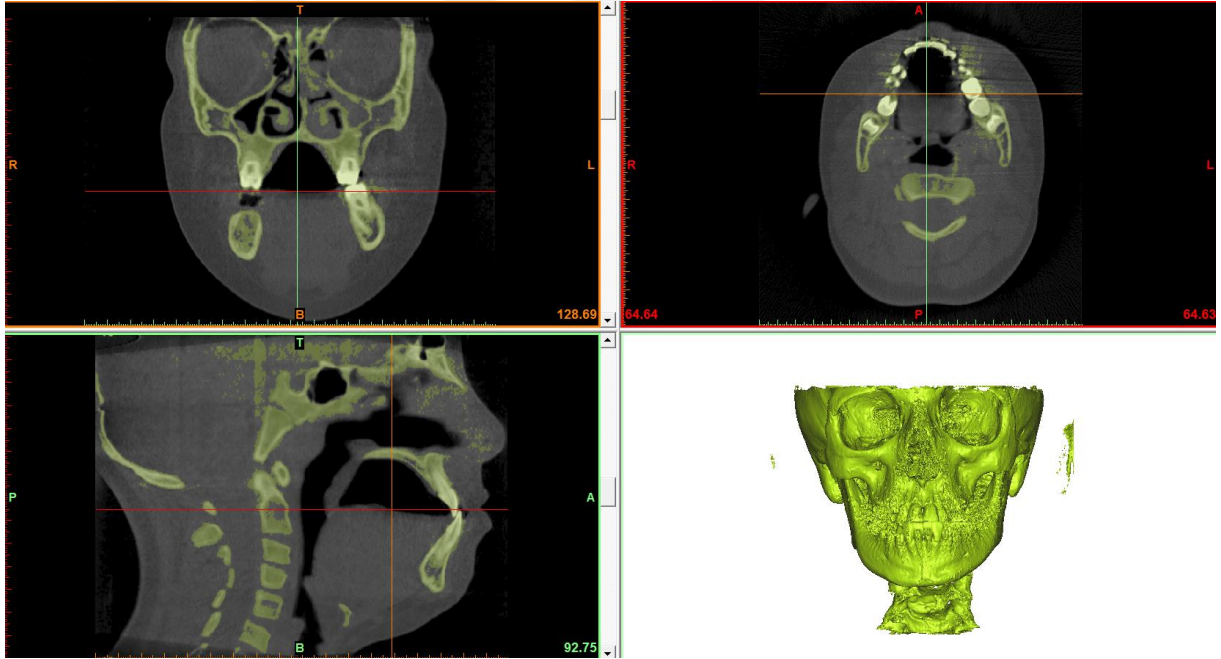
Bu çalışmada, modellemeye temel oluşturmak için üst çene genişletmesi ihtiyacı olan 12 yaşındaki erkek hastaya ait bilgisayarlı tomografi verileri kullanılmıştır. Bu veriler 0.29 mm kesit aralığıyla DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında alınmış üç boyutlu dental volümetrik tomografi (DVT) verileridir. DICOM formatında alınan görüntüler MIMICS versiyon 10.01 (Materialise's Interactive Medical Image Control System) programı kullanılarak işlenmiş, hastaya özel üç boyutlu sayısal model (nokta bulutu) elde edilmiştir.

Hounsfield unit (HU) değerleri; doku çeşidine ve yaşa bağlı olarak farklı limilerle tanımlanmıştır. Düşük HU değerleri ile yumuşak dokular (bağ dokusu, damar vb.), yüksek HU değerleri ile yoğun dokular (diş, kortikal kemik vb.) tanımlanır. Üç boyutlu sayısal model oluşturulurken ilk olarak kemik doku belirli HU değerleri aralığında seçilir. Belirli HU aralığının seçilerek kemik dokunun ayrıştırılmasına eşikleme (thresholding) denir. Eşikleme işleminden sonra, değerlendirmek istenen anatomik bölgenin DVT görüntü katmanları üzerinde ayrıştırılması (segmente edilmesi) gerekir. Segmente edilmiş kemik ünitelerinden üç boyutlu modeller oluşturulabilir [174].

**Tablo 1.** Analizler için baz alınan Hounsfield unit (HU) değerleri [174]

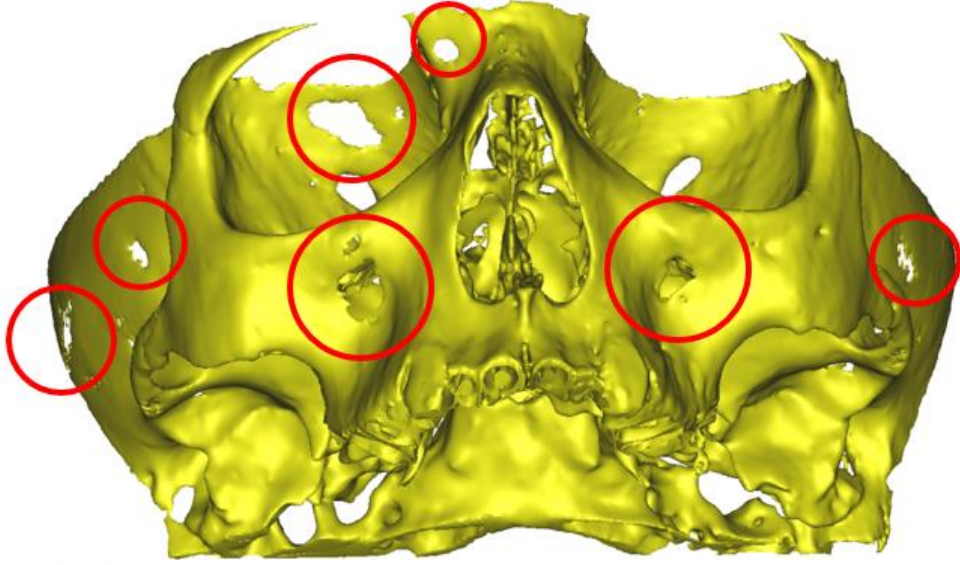
DOKU	ALT HU DEĞERİ	ÜST HU DEĞERİ
Kortikal kemik	226	1200
Spongioz kemik	41	225
Diş	1200	3071

Çalışmamızda öncelikle DICOM verileri MIMICS programına aktarılmış ve çalışma projesi oluşturulmuştur. Yukarıda tanımlanan aralıktaki HU değerlerine göre nokta bulutu halinde yapılandırılmıştır (Resim 1) [174, 175].

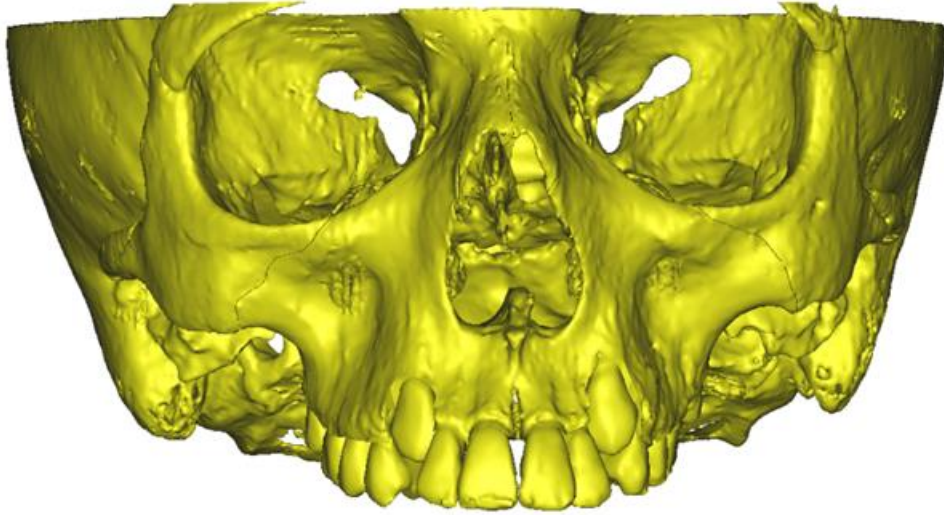


**Resim 1.** DICOM verilerinin MIMICS versiyon 10.01 programı ile görüntülenmesi

Görüntülerde bulunan artefaktlar ve yansımalar 0.29 mm'lik kesitlerde tek tek temizlenmiştir. Artefaktların temizlenmesinden sonra vertebraları ve mandibulayı içeren modeller total modelden çıkarılmıştır. Böylelikle maksilla ve çevresindeki kraniyofasiyal yapıları içeren esas çalışma modeli elde edilmiştir. Kemik yüzeyinde var olan yalancı defektler hastanın sahip olduğu anatomik kemik yapısına uygun olacak şekilde katman katman tamamlanmıştır (Resim 2,3) [176, 177].



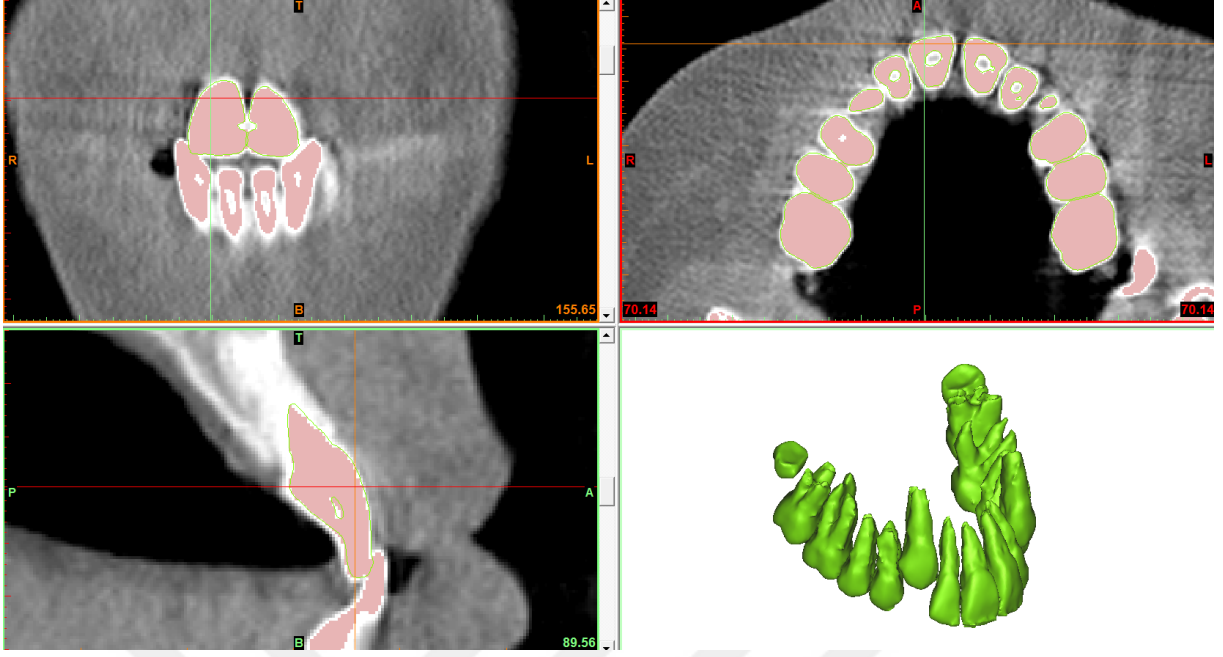
**Resim 2.** Kemik yüzeyinde görülen yalancı defektler



**Resim 3.** MIMICS yazılımıyla defektlerin kemik dokusuyla tamamlanması

Dişler 1200-3071 HU değerleri seçilerek yapılandırılmıştır. Koronal, sagittal ve aksiyal kesitlerde dişler anatomik sınırlarına göre segmente edilmiştir. Daha sonra dişler üzerindeki artefaktlar temizlenmiş ve her bir diş diğerinden ayrılarak maksilladaki tüm dişler ayrı ayrı modellenmiştir (Resim 4) [132, 134, 174].





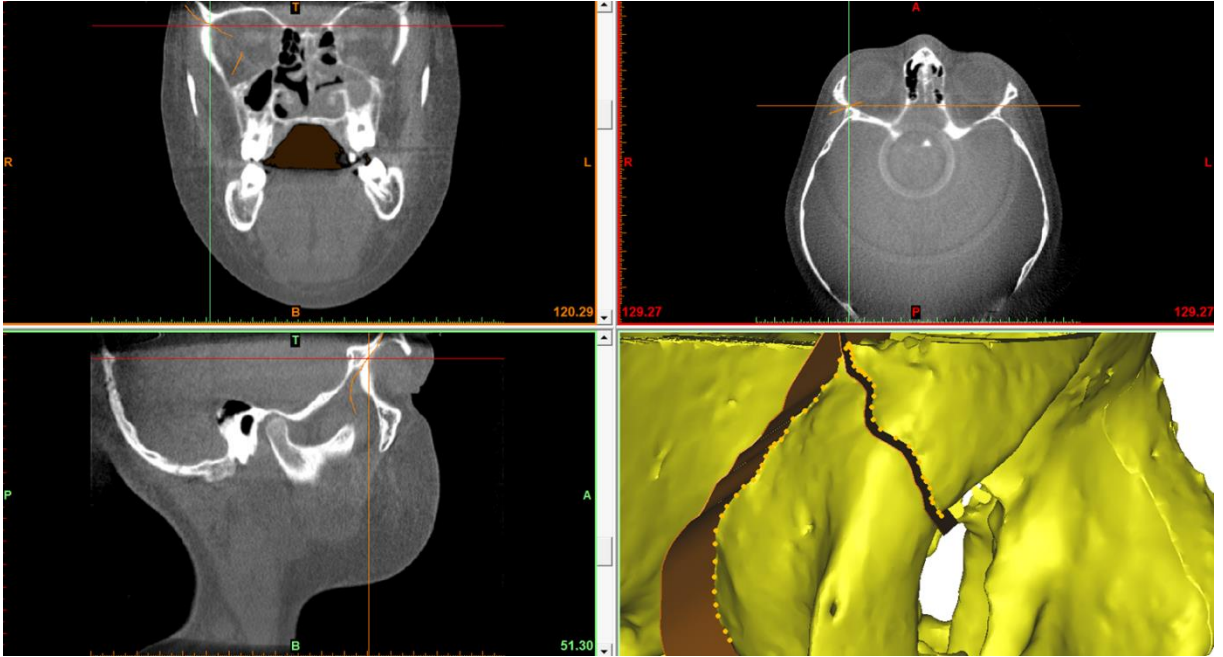
**Resim 4.** Dişlerin modellenmesi

Periodontal ligament (PDL) yapılandırılırken genel olarak literatürde geçen 0,25-0,30 mm'lik kalınlık baz alınmıştır. Öncelikle dişlerin etrafına tüm bölgelerde 0,30 mm kalınlık verilmiş ve bu şekilde bir model oluşturulmuştur. Bu üç boyutlu modelden sadece dişleri içeren model çıkartılarak PDL modeli elde edilmiştir. Daha sonra kole bölgelerinin 1-2 mm apikalinden geçen hatta göre kesilerek tüm dişlerin PDL modeli elde edilmiştir (Resim 5) [132, 134].

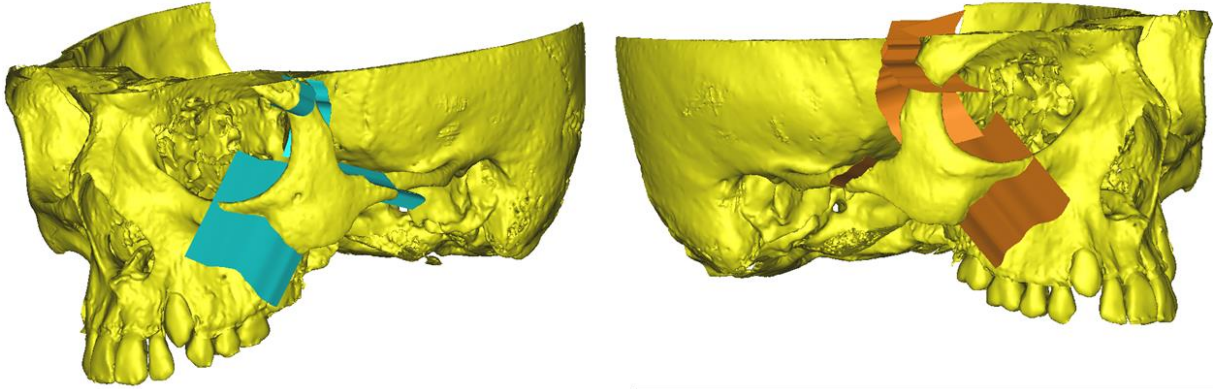


**Resim 5.** PDL'nin modellenmesi

Kraniyofasiyal sutur bölgeleri oluşturulurken koronal, sagittal ve aksiyal kesitlerde görünen sutur sınırları belirlenmiş ve kesi hatları oluşturulmuştur. (Resim 6,7) [18, 132, 176].

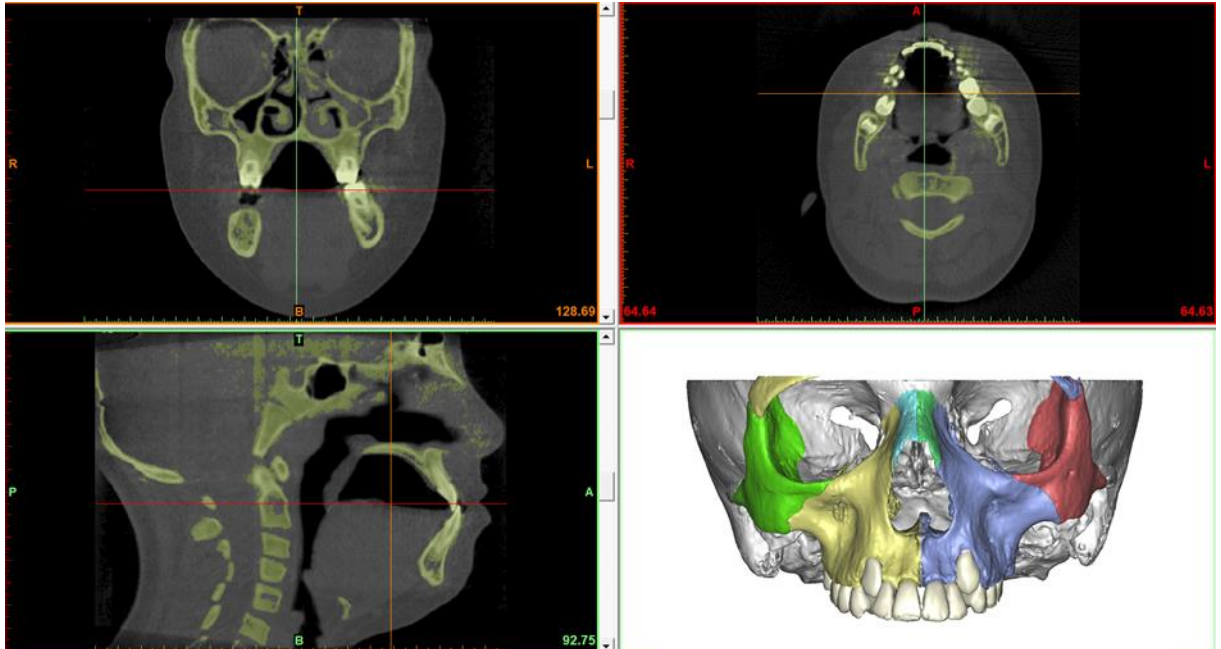


**Resim 6.** Kraniyofasiyal suturların modellenmesi



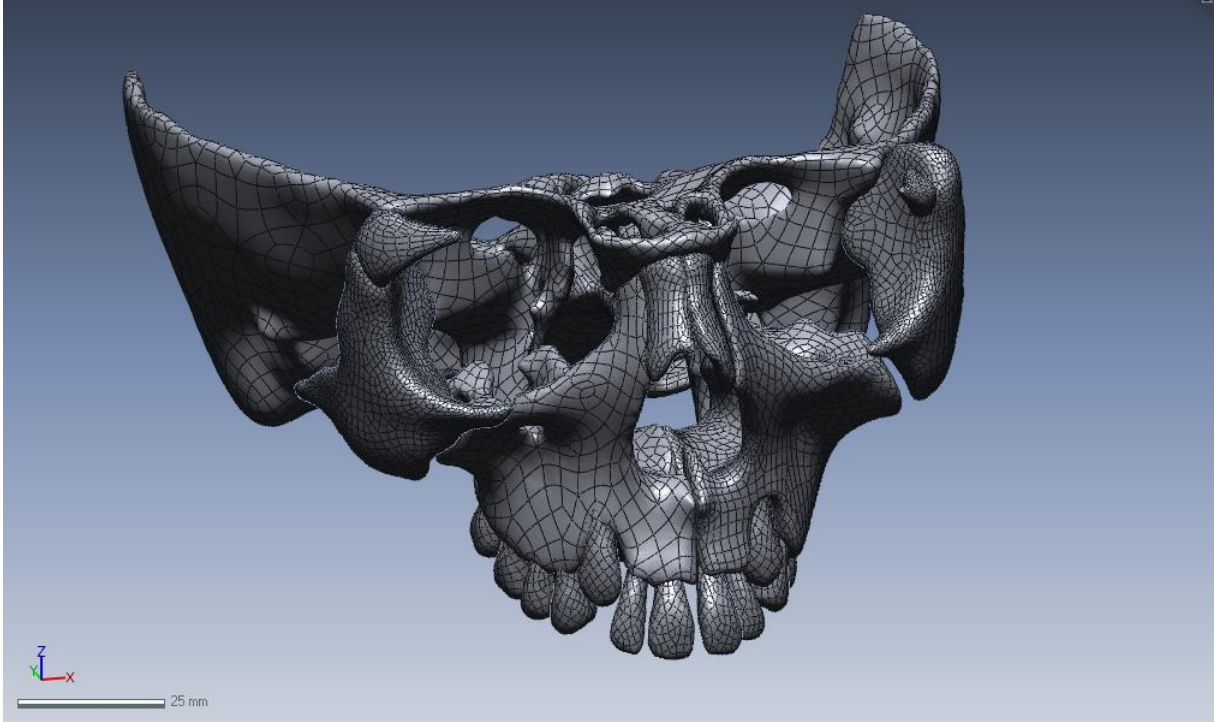
**Resim 7.** Kraniofasial sutulara göre kemik dokunun segmentasyonu

Kraniofasial sutulara göre kemik dokusunun segmentasyonu ile birlikte maksiller, nazal, zigomatik kemikler oluşturulmuştur. Yapılandırılan ve ayrı ayrı segmente edilen tüm anatomik bölümler .stl dosyasına dönüştürülmüştür (Resim 8).



**Resim 8.** MIMICS yazılımında segmentasyonu tamamlanmış anatomik üniteler

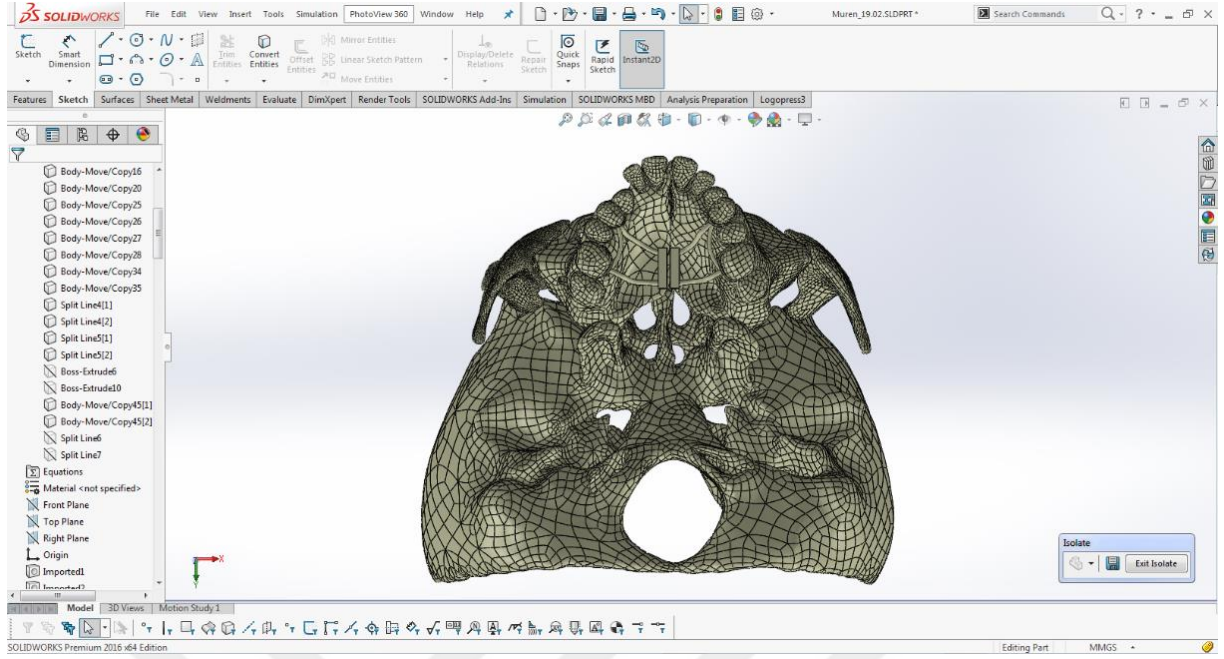
Geometrik modellerin oluşturulması sırasında Geomagic Design X (Rock Hill, ABD) ve SolidWorks 2016 (Waltham, Massachusetts, ABD) yazılımlarından yararlanılmıştır. Bu yazılımlar aracılığıyla yüzey ağ yapıları oluşturulmuş, bu ağ yapısı üzerindeki çakışmalar, düzensizlikler, pürüzlülükler ve delikler gibi istenmeyen kısımlar düzenlemiş ve sonlu elemanlar analizi için gerekli olan katı modeller oluşturulmuştur (Resim 9).



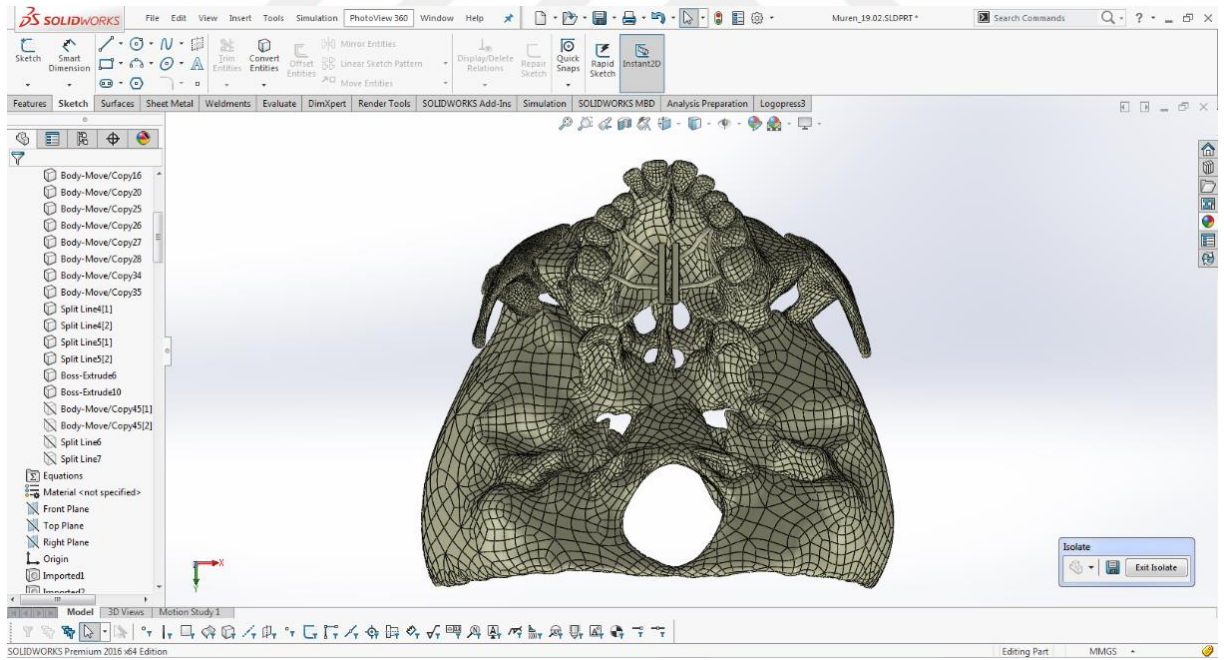
**Resim 9.** Hastaya ait modelin Geomagic Design X yazılımı ile düzenlenmesi

### 3.1.2 Karşılaştırılan apareylerin modellenmesi

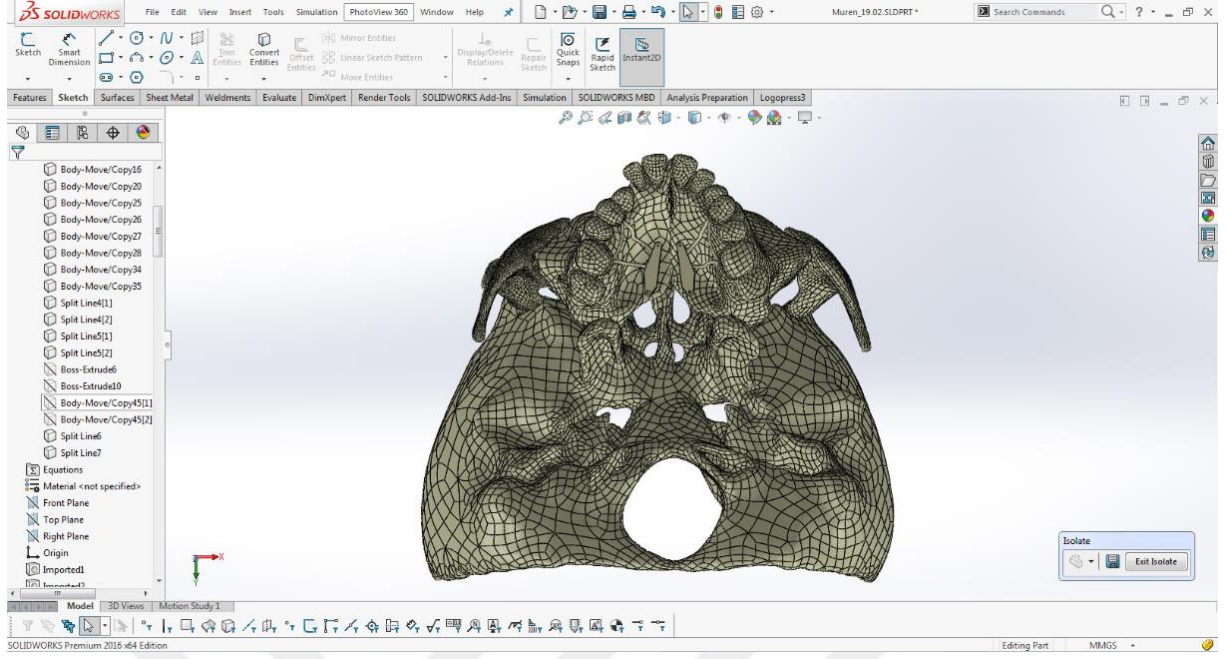
Çalışmamızda kullanılacak olan apareyler hyrax (Leone, Floransa, İtalya), fan type (Leone, Floransa, İtalya) ve çift menteşeli (Bestdent, Kaoshiung, Tayvan) genişletme vidası içeren hızlı üst çene genişletme apareyleridir. Apareyler dijital kumpas yardımıyla orijinal boyutlarına uygun olacak şekilde SolidWorks 2016 yazılımı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir (Resim 10, 11, 12).



Resim 10. Hyrax genişletme apareyi

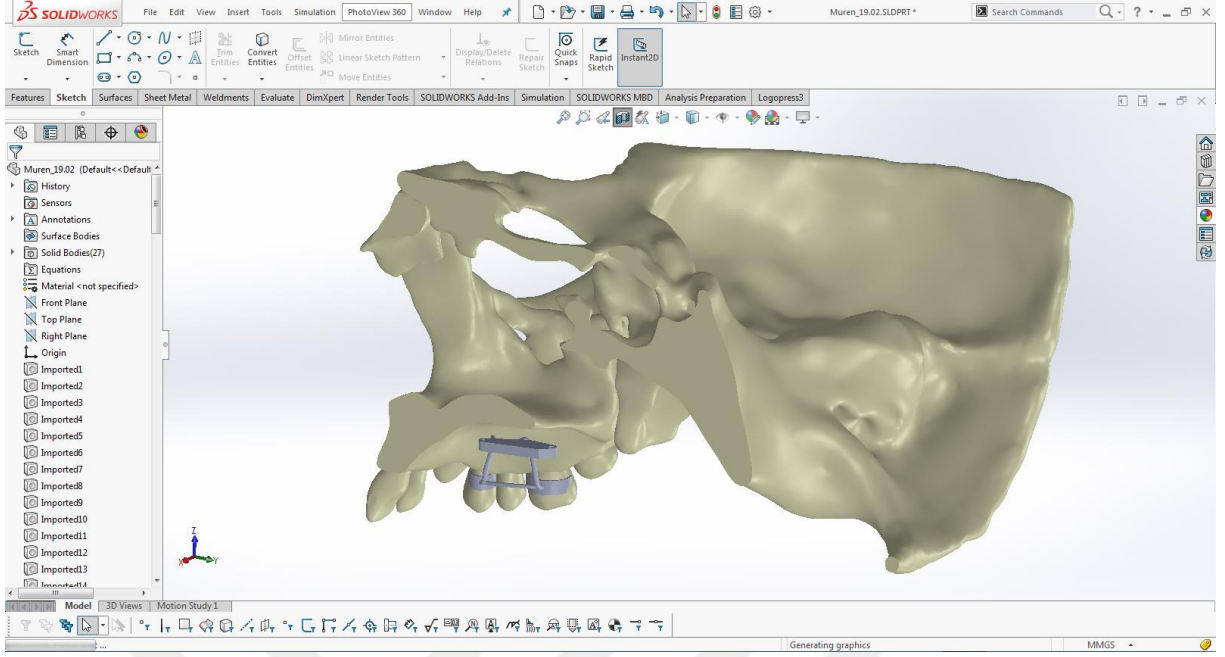


Resim 11. Fan type genişletme apareyi



**Resim 12.** Çift menteşeli genişletme aпараты

Aparty vidalarının yerleşimlerini belirlemek ve konumlarını standardize edebilmek amacıyla vidaların median palatal sutura, oklüzal düzleme ve damak kubbesine mümkün olduğunca paralel olacak şekilde konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Her üç vida da oklüzal seviye olarak aynı konumda olmak kaydıyla damak kubbesinin izin verdiği ölçüde derine yerleştirilmiştir (Resim 13).



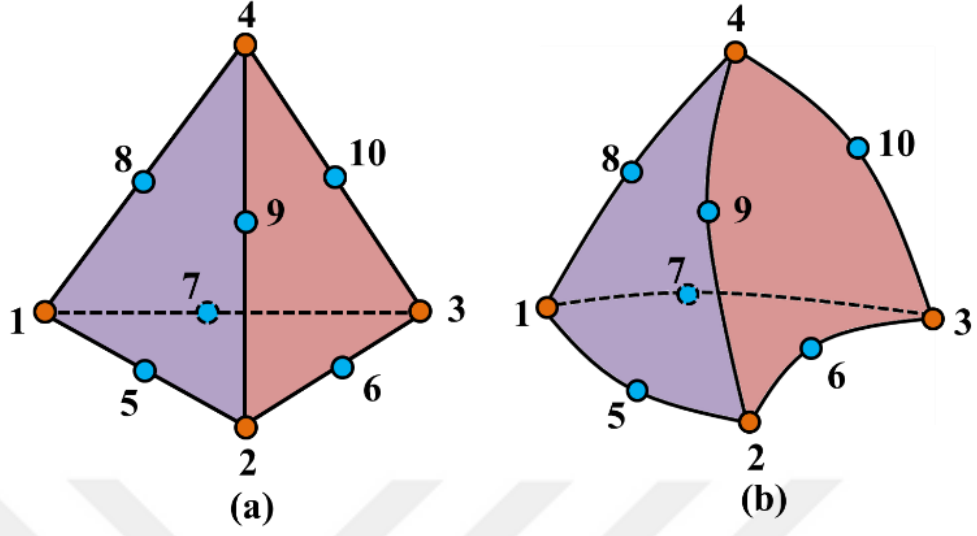
**Resim 13.** SolidWorks programında vida konumlarının düzenlenmesi

Geometrik modellemesi tamamlanan apareyler stl dosyasına dönüştürülerek analizde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

### 3.2. Matematik Modelin Oluşturulması

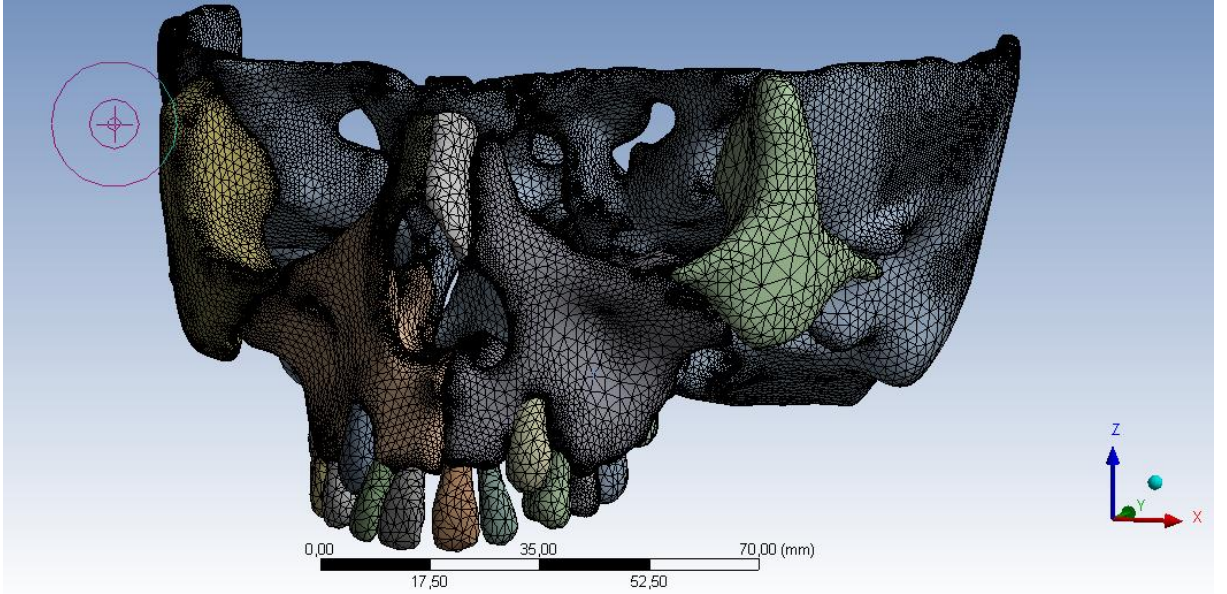
Geomagic Design X ve SolidWorks 2016 yazılımı kullanılarak düzenlemesi tamamlanan anatomik üniteler ve genişletme apareylerinin .stl dosyaları sonlu elemanlar analiz programı olan ANSYS Versiyon 17.0 (Canonsburg, Penisilvanya, ABD) yazılımına aktarılmıştır. Daha önceden oluşturulan yüzey elemanları, bu program kullanılarak üç boyutlu hacim elemanlarına dönüştürülmüştür.

Sonlu elemanlar modeli 10 düğüm noktalı tetrahedral (kuadratik tetrahedron) elemanlardan oluşturulmuştur. Bu eleman köşelerde 4, kenarlarda 6 olmak üzere toplam 10 düğüm noktası içermektedir ve her bir düğüm noktasında üç olmak üzere toplamda 30 serbestlik derecesine sahiptir. 10 düğümlü tetrahedral elemanların kenarları ve yüzeyleri deformasyon öncesi ve sonrası bükülebilmektedir. Bu eleman tipi düzensiz geometrilere sahip yapıların modellenmesi için uygundur. Bu eleman tipiyle kavisli yüzeyler ve kenarlara sahip yapılar daha kolay temsil edilebilmekte ve elde edilen sonuçların doğruluğu yüksektir [18].



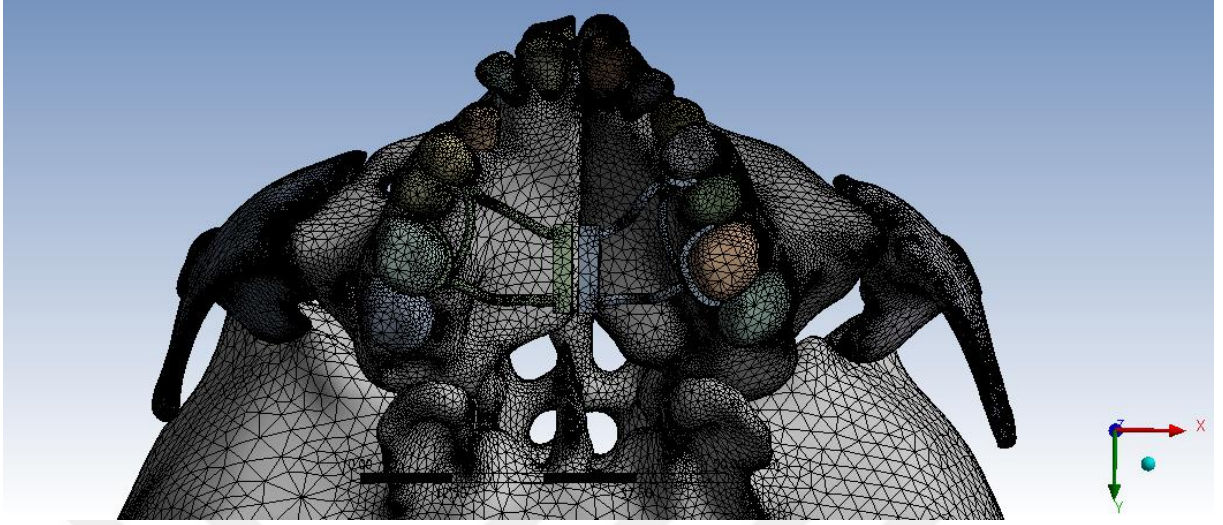
Şekil 1. 10 düğüm noktalı tetrahedral eleman. (a) deformasyon öncesi, (b) deformasyon sonrası

Bu çalışmada analizi yapılacak kafatası modellerinde yaklaşık 1800000 eleman ve 2750000 düğüm noktası bulunmaktadır. Ağ yapıları oluşturulmuş modelin üç boyutlu görüntüleri Resim 14 ve 15'te gösterilmektedir.



Resim 14. Ağ yapısı tamamlanmış sonlu elemanlar modeli





**Resim 15.** Ağ yapısı tamamlanmış hyrax genişletme apareyi

### 3.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

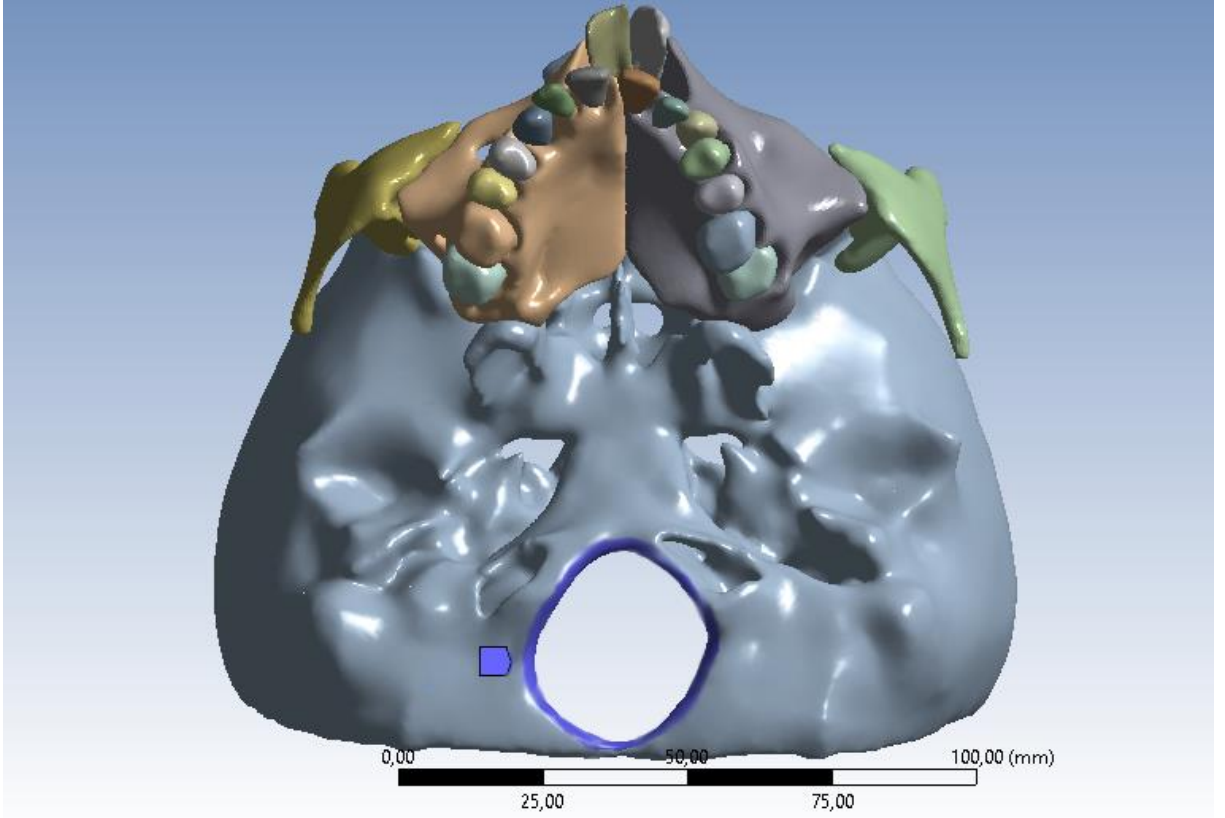
Modellenen bu yapılara ait sabit değerler literatürden alınmıştır. Daha önceki benzer çalışmalarda olduğu gibi tüm yapılar izotropik, homojen ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir. [17, 127-129, 134, 177, 178] Analizde kullanılacak olan malzeme özellikleri tabloda verilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan elastisite modülleri ve Poisson oranları

	<b>Young Modülü (MPa)</b>	<b>Poisson Oranı</b>	<b>Literatür</b>
Kortikal kemik	13700	0,3	[130, 179-181]
Spongioz kemik	1370	0,3	[182-184]
Sutur	10	0,49	[185, 186]
Diş	20290	0,3	[180]
PDL	0,68	0,49	[187, 188]
Paslanmaz çelik	210000	0,3	[130]

### 3.4. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Sınır koşulu olarak foramen magnum bölgesi tanımlanmıştır. Hızlı üst çene genişletmesi simülasyonunda bu bölgelerde bulunan düğüm noktaları x, y ve z eksenlerinde translasyon ve rotasyon hareketi engellenecek şekilde yani sabit olarak kabul edilmiştir.



**Resim 16.** Foramen magnumun sınır koşulu olarak tanımlanması

Aynı zamanda sağ ve sol maksiller kemiğin ekspansiyon kuvvetleri karşında lateral yönde serbestçe hareket edebilmesi için, vertikal eksene göre simetrik iki parçasının birbirine bağlı olmadığını kabul eden sınır şartı uygulanmıştır [17, 18, 98, 128].

### 3.5. Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Tanımlanması

Hızlı üst çene genişletmesi x ekseninde (transversal) 0,2 mm ve 5 mm olacak şekilde ayrı ayrı tanımlanmıştır. 0,2 mm'lik genişletme miktarı klinik olarak ilk vida aktivasyonunu

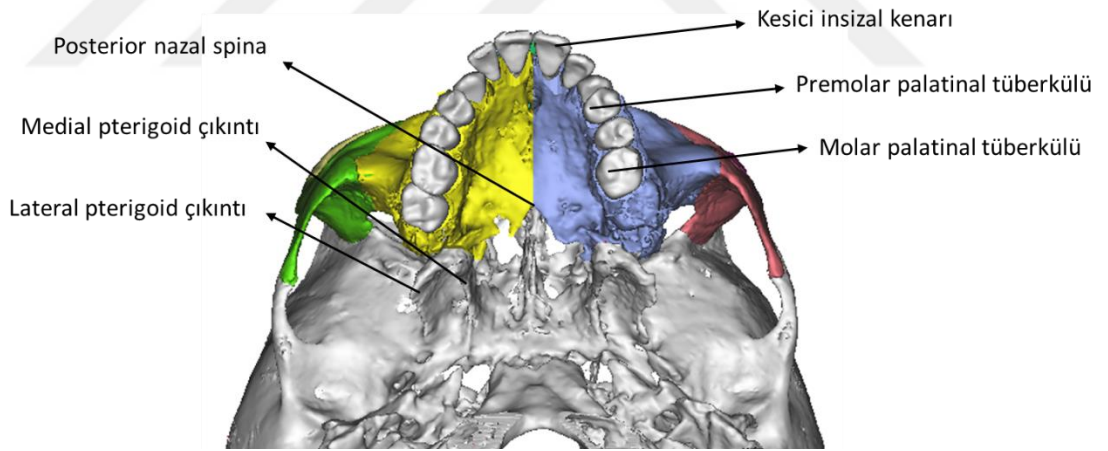
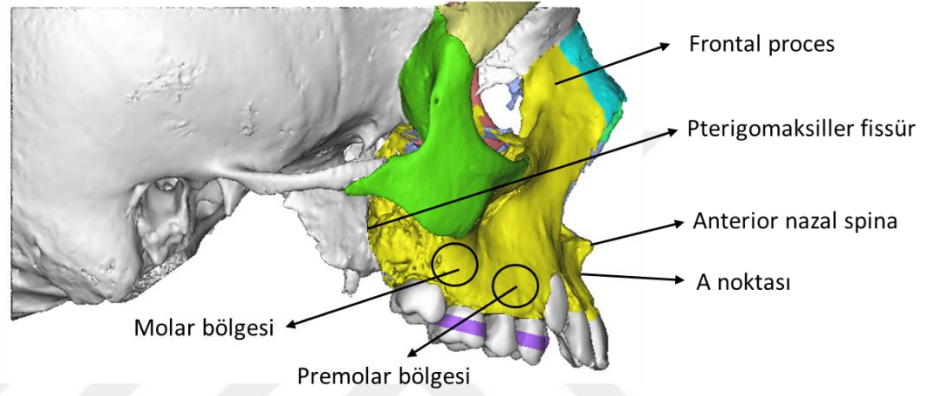
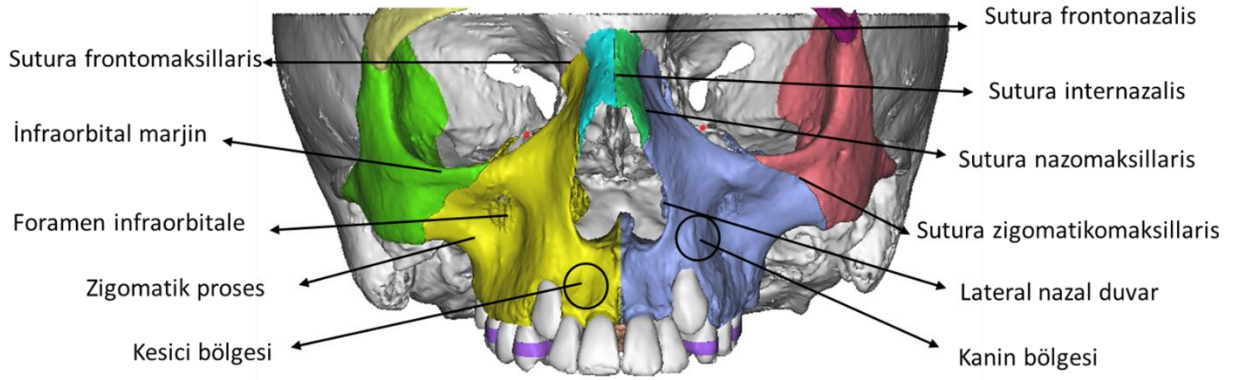
simüle etmek amacıyla tanımlanmış ve araştırılacak bölgelerdeki gerilmelere bakılmıştır. Gerilmeler von Mises gerilmesi olarak ölçülmüş ve farklı gerilme değerleri renk skalası ile gösterilmiştir. 5 mm'lik genişletme miktarı sonucunda ise yer değiştirme miktarları incelenmiştir. Yer değiştirme dağılımı x (transversal), y (anteroposterior) ve z (vertikal) eksenleri üzerinde ölçülmüştür.

### 3.6. Araştırılan Anatomik Bölgeler

Üst çenenin çevre kemikler ile yaptığı suture bölgeleri başta olmak üzere orta yüz bölgesindeki diğer suturlarda, dentoalveolar ve dental bölgelerde değerlendirmeler yapılmıştır. Modellerde tüm sağ ve sol simetrik yapılar için ortalama değerler baz alınmıştır. Değerlendirilmesi yapılan anatomik bölgeler resim 17'de gösterilmiştir.

1. Sutura internazalis: Sutura internazalisin orta noktası
2. Sutura frontonazalis: Sutura frontonazalisin orta noktası
3. Sutura frontomaksillaris: Sutura frontomaksillarisin orta noktası
4. Sutura nazomaksilaris: Sutura nazomaksilaris'in orta noktası
5. Frontal proses: Maksillanın yukarı doğru uzanan frontal kemikle bağlantı yaptığı çıkıntısı
6. Sutura Zigomatikomaksillaris: Sutura zigomatikomaksillarisin orta noktası
7. İnfraorbital marjin: Göz çukurunun alt kenarının orta noktası
8. Foramen infraorbitale: İnfraorbital foramenin alt noktası
9. Zigomatik proses: Maksillanın zigomatik kemik ile bağlantı yapan dış yan çıkıntısının alt noktası
10. Lateral nazal duvar: Apertura priformisin oluşturduğu eğrinin en konveks seviyesinin uç noktası
11. ANS noktası: Spina nazalisin anteriordaki çıkıntısı
12. A noktası: Anterior nazal spina ile alveol kreti arasındaki konkavitenin en derin noktası
13. PNS noktası: Spina nazalisin posteriordaki çıkıntısı
14. Pterigomaksiller fissür: Maksiller kemik ve sfenoid kemiğin pterigoid laminalarının arasındaki yarığın alt noktası

15. Medial pterigoid plak (inferior): Sfenoid kemiğin medial pterigoid plaklarının serbest alt noktası
16. Medial pterigoid plak (süperior): Sfenoid kemiğin medial pterigoid plaklarının kraniyal tabana yakın üst noktası
17. Lateral pterigoid plak (inferior): Sfenoid kemiğin medial pterigoid plaklarının serbest alt noktası
18. Lateral pterigoid plak (süperior): Sfenoid kemiğin lateral pterigoid plaklarının kraniyal tabana yakın üst noktası
19. Kesici bölgesi: Santral ve lateral kesici dişlerin apeksleri hizasındaki labial alveolar kemik bölgesi
20. Kanin bölgesi: Kanin dişin apeksi hizasındaki bukkal alveolar kemik bölgesi
21. Premolar bölgesi: Birinci ve ikinci premolar dişlerin apeksleri hizasındaki bukkal alveolar kemik bölgesi
22. Molar bölgesi: Birinci ve ikinci molar dişlerin apeksleri hizasındaki bukkal alveolar kemik bölgesi
23. Kesici insizal kenarı: Santral kesici dişin insizal kenarının orta noktası
24. Premolar palatinal tüberkülü: Birinci premolar dişin palatinal tüberkül tepesi
25. Molar palatinal tüberkülü: Birinci molar dişin palatinal tüberkül tepesi



**Resim 17.** Çalışmada araştırılan anatomik bölgeler

## 4. BULGULAR

Bu çalışmada üst çene genişletmesi ihtiyacı olan bir hastada hyrax vidası, fan type vidası ve çift menteşeli ekspansiyon vidası ile yapılan hızlı üst çene genişletmesi simüle edilerek, sonlu eleman modelleri üzerinde bu apareylerin etkileri karşılaştırılmıştır. Hızlı üst çene genişletmesiyle 0,2 mm'lik genişletme sonucu von Mises gerilmeleri, 5 mm'lik genişletme sonucu x, y, z eksenlerinde yer değiştirme dağılımları değerlendirilmiştir.

### 4.1. Hyrax Vidasına Ait Bulgular

Hyrax vidası ile yapılan 0,2 mm'lik genişletme sonucu von Mises gerilmeleri ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Hyrax genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Von Mises (MPa)
Sutura İnternazalis	0,07	-0,26	-1,3	1,12
Sutura Frontonazalis	0,05	-0,36	-1,19	1,27
Sutura Frontomaksillaris	0,02	-0,27	-1,05	2,63
Sutura Nazomaksillaris	-0,03	-0,23	-1,15	2,51
Frontal proses	-0,14	-0,2	-0,97	1,55
Sutura Zigomatikomaksillaris	-0,58	0,2	-0,19	6,39
İnfracorbital marjin	-0,5	0,12	-0,23	0,07
Foramen infraorbitale	-0,64	0,1	-0,5	1,24
Zigomatik proses	-0,76	0,34	-0,18	1,97
Lateral nazal duvar	-0,75	-0,13	-1,04	1,2
ANS noktası	-1,24	-0,2	-1,34	0
A noktası	-1,38	-0,1	-1,28	0,01
PNS noktası	-0,63	-0,25	-1,11	0,04
Pterigomaksiller fissür	-0,38	0,25	-0,11	4,86
Medial pterigoid (inferior)	-0,47	0,17	-0,26	0,18
Medial pterigoid (süperior)	-0,05	-0,05	-0,21	3,19
Lateral pterigoid (inferior)	-0,43	0,23	-0,07	0,18
Lateral pterigoid (süperior)	-0,16	0,11	-0,08	2,52
Kesici bölgesi	-1,5	0	-1,21	0
Kanin bölgesi	-1,13	0,04	-0,91	0,45
Premolar bölgesi	-1,3	0,33	-0,56	0,29
Molar bölgesi	-0,96	0,41	-0,23	0,88
Kesici insizal kenarı	-2,01	0,16	-1,33	0
Premolar palatinal tüberkülü	-1,67	0,36	-0,82	0,06
Molar palatinal tüberkülü	-1,55	0,37	-0,53	0,26

#### 4.1.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular

##### *Transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı*

Hyrax vidasına ait transversal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 3 ve Resim 18'de verilmiştir. Tabloda transversal yön için yer alan negatif değerler genişlemeyi, pozitif değerler ise daralmayı ifade etmektedir.

Transversal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde frontal açıdan bakıldığında tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede, oklüzal açıdan bakıldığında median palatal suturda, anteriorda daha fazla posteriorda daha az olmak üzere 'V' şeklinde bir açılma gözlenmiştir.

Anterior yapıların lateral yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha fazla bulunmuştur. Benzer olarak inferior yapılarda süperior yapılara göre daha fazla lateral yer değiştirme görülmüştür.

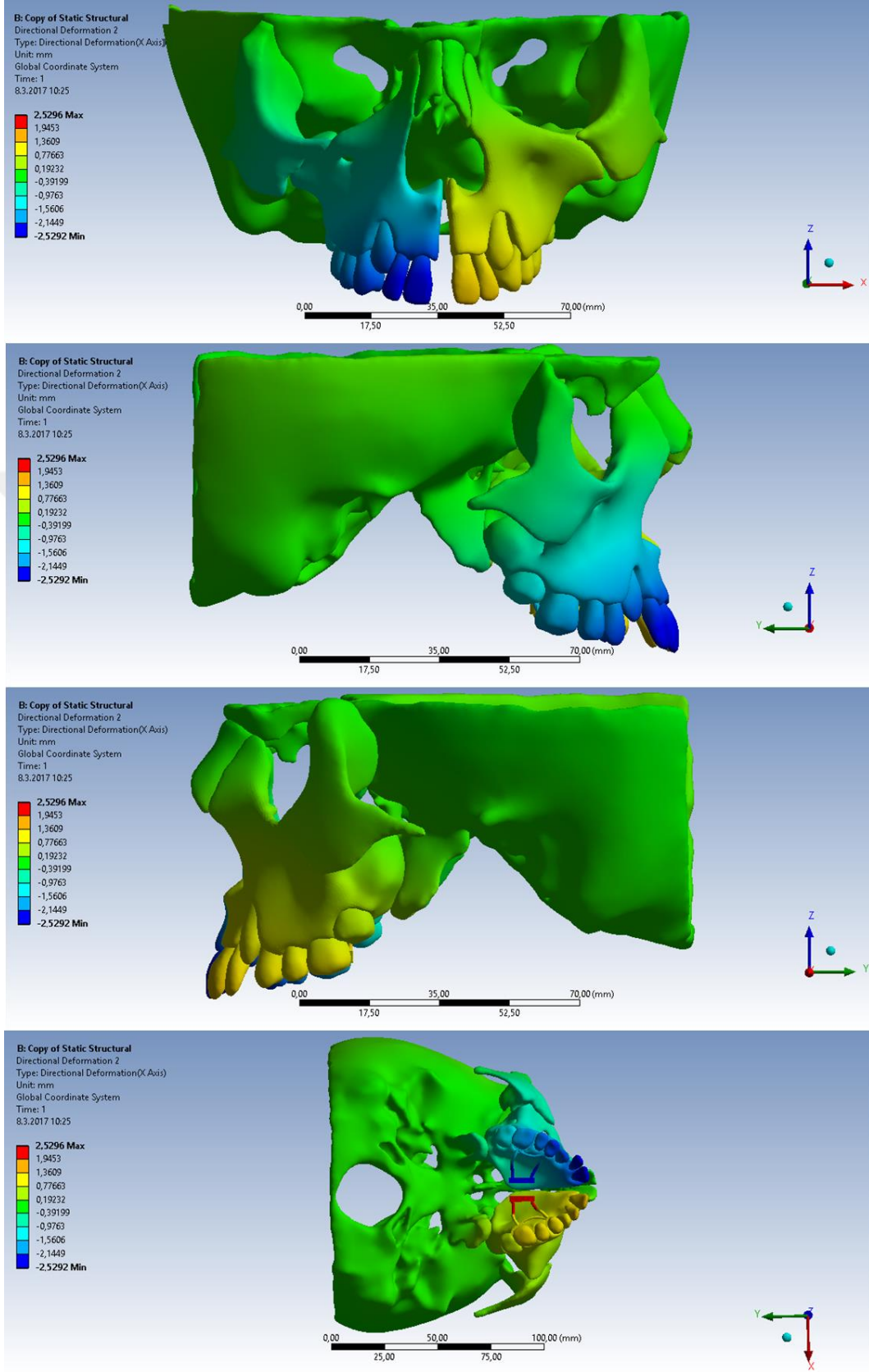
En fazla lateral yer değiştirme miktarı kesici insizal bölgesinde (2,01 mm) olmuştur. Premolar ve molar palatinal tüberkülleri, kesici diş alveolar kemik bölgesi, A noktası, ANS noktasında da lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulunmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 0,75 mm lateral yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Medial ve lateral pterigoid plakların inferior kısımları belirgin şekilde (0,47 mm -0,43 mm) lateral yönde yer değiştirirken, proseslerin kraniyal tabana daha yakın bölgelerinde daha az (0,05 mm-0,16 mm) lateral yer değiştirme gözlenmiştir.

Nazal bölgeye yakın yapılarda (sutura internazalis, sutura frontonazalis, sutura frontomaksillaris) minimal düzeyde (0,07 mm-0,05 mm-0,02 mm) daralma yani medial yönde hareket gözlenmiştir. Sutura nazomaksillaris ve frontal proste ise minimal düzeyde (0,03 mm-0,14) genişleme gözlenmiştir.





**Resim 18.** Hyrax genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı

### ***Antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı***

Hyrax vidasına ait sagittal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 3 ve Resim 19'da verilmiştir. Tabloda antero-posterior düzlem için yer alan negatif değerler anterior yönde hareketi, pozitif değerler ise posterior yönde hareketi ifade etmektedir.

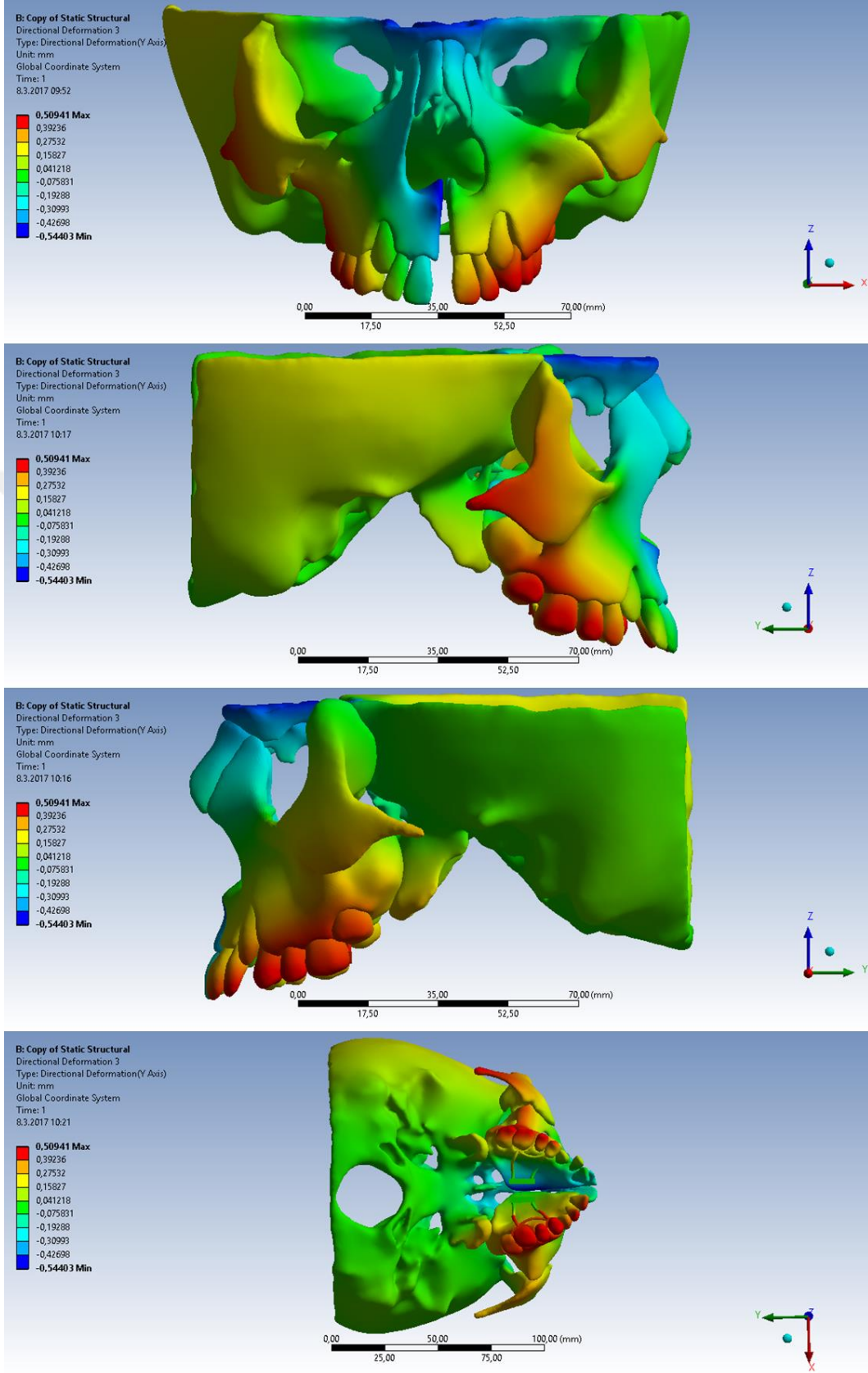
Antero-posterior yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapılar anterior yönde yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgedeki yapılar posterior yönde yer değiştirme eğilimi göstermiştir.

En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar (nazal bölgeye yakın yapılar) sutura internazalis (0,26 mm) , sutura frontonazalis (0,36 mm), sutura frontomaksillaris (0,27 mm), sutura nazomaksillaris (0,23 mm), frontal proses (0,2 mm) , ANS noktası (0,2 mm) , PNS noktası (0,25 mm) olmuştur.

En fazla posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise zigomatik proses (0,34 mm), premolar ve molar diş alveolar kemik bölgesi (0,33 mm, 0,41 mm) premolar ve molar diş palatinal tüberkülü (0,36 mm, 0,37 mm) olmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 0,13 mm anterior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Medial pterigoid plakların kraniyal tabana yakın olan bölgesi ile kesici ve kanin diş alveolar kemik bölgesinde görülen yer değiştirmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.



**Resim 19.** Hyrax genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı

### ***Vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı***

Hyrax vidasına ait vertikal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 3 ve Resim 20’de verilmiştir. Tabloda vertikal düzlem için yer alan negatif değerler inferior yönde hareketi, pozitif değerler ise süperior yönde hareketi ifade etmektedir.

Vertikal yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapılar inferior yönde daha fazla yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgedeki yapılar inferior yönde daha az yer değiştirme eğilimi göstermiştir. Benzer şekilde anterior bölgede yer alan yapılar inferior yönde daha fazla yer değiştirme eğilimi gösterirken, posterior bölgede yer alan yapılar inferior yönde daha az yer değiştirme eğilimi göstermiştir.

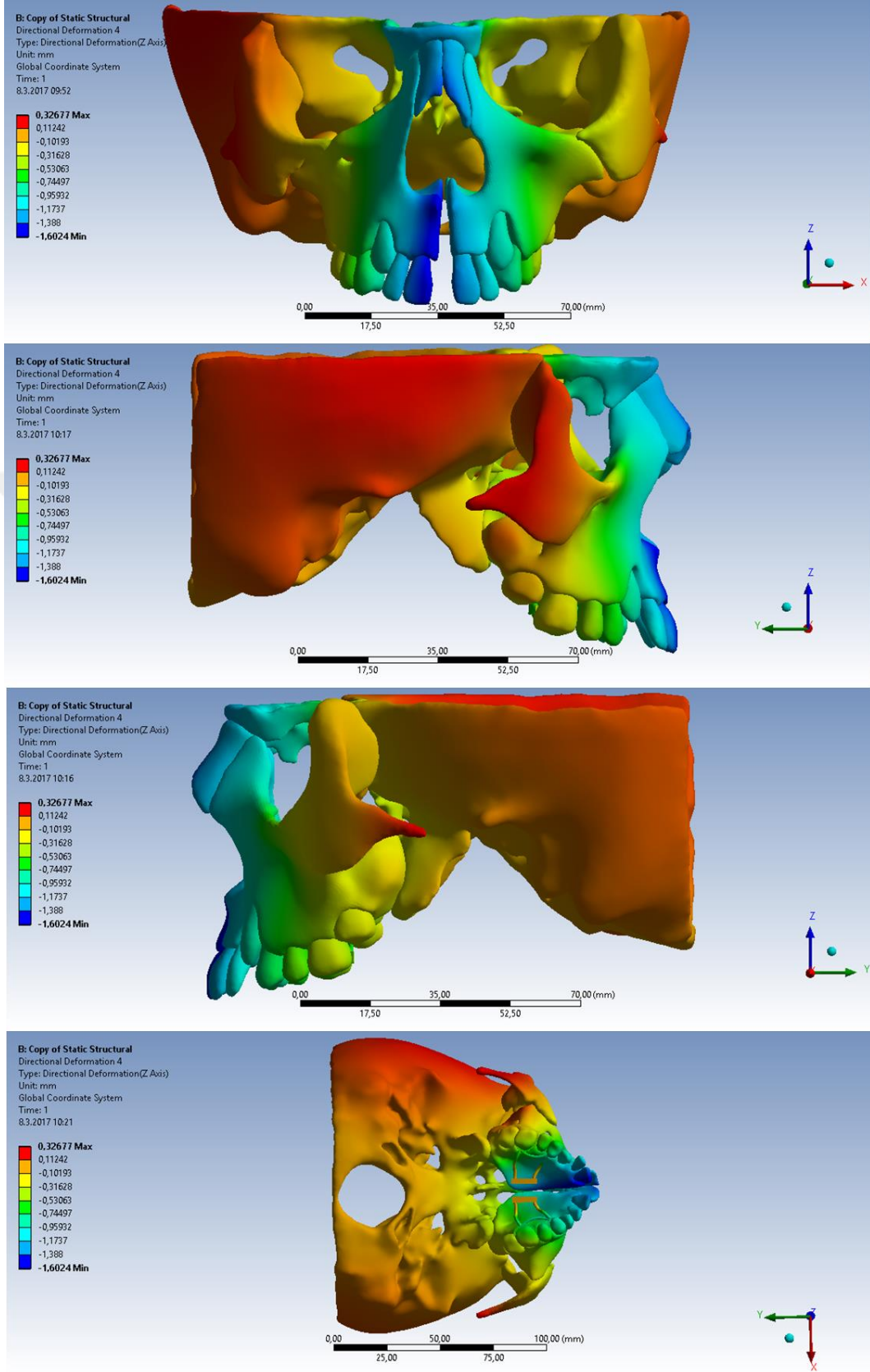
En fazla inferior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ANS noktası (1,34 mm), PNS noktası (1,11 mm), A noktası (1,28 mm) olmuştur. Kesici diş alveolar kemik bölgesi ve insizal kenarında, nazal bölgeye yakın yapılarda da (sutura internazalis, sutura frontanazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris) inferior yönde fazla miktarda hareket gözlenmiştir.

Lateral nazal duvarlarda 1,04 mm inferior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Dentoalveolar ve dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gidildikçe azalan miktarlarda inferior yönde hareket gözlenmiştir. Kesici diş alveolar kemik bölgesinde 1,21 mm inferior yönde hareket gözlenirken, molar diş alveolar kemik bölgesinde 0,23 mm inferior yönde hareket gözlenmiştir.

Sutura zigomatikomaksillaris, infraorbital marjin, foramen infraorbitale, zigomatik proses, pterigomaksiller fissür ve medial pterigoid plak bölgesinde hafif derecede (~0,2 mm) inferior yönde hareket gözlenmiştir.

Lateral pterigoid plakta görülen yer değişimi ihmal edilebilecek düzeydedir.



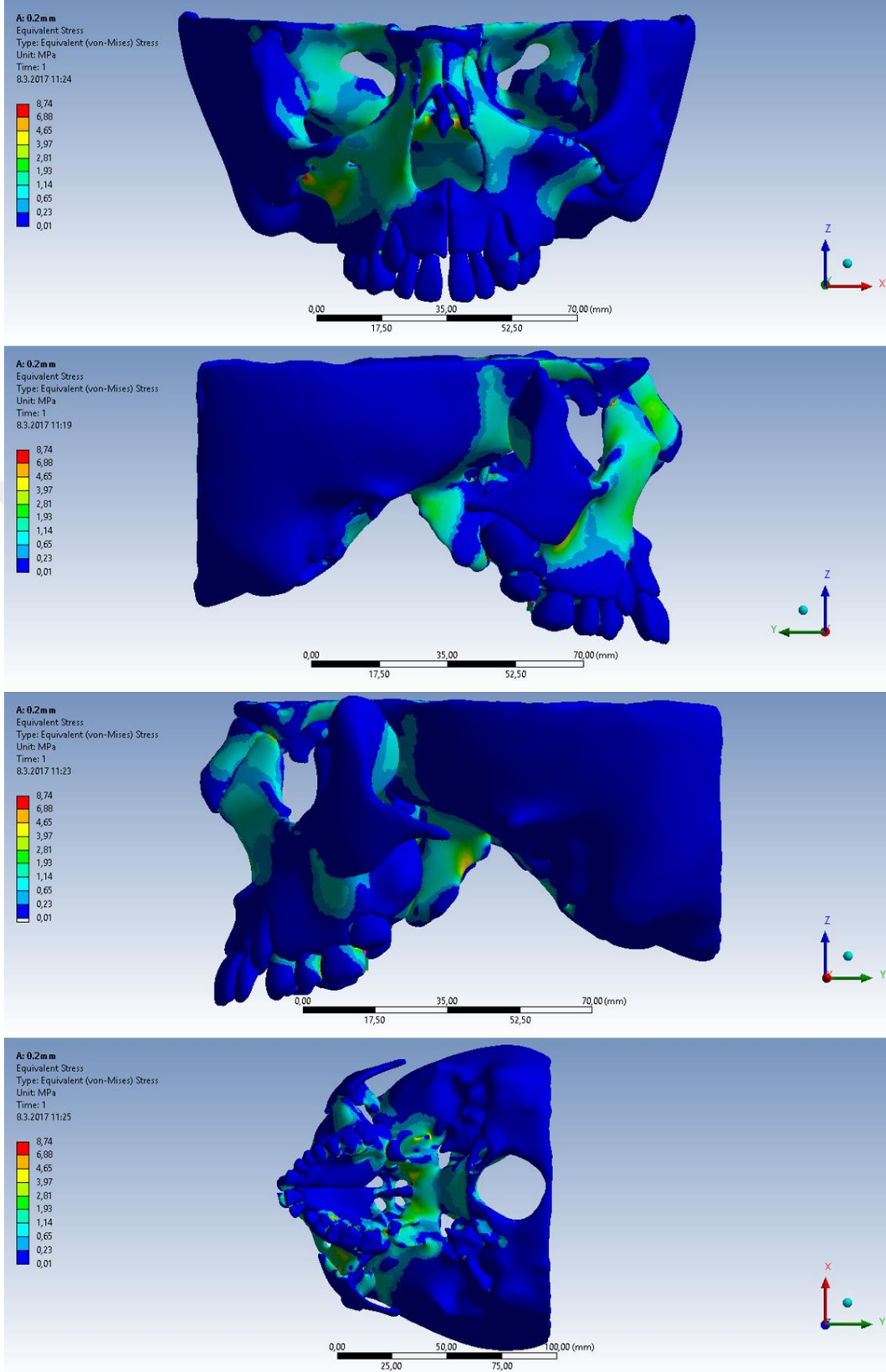
Resim 20. Hyrax genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değıştirme dağılımı

#### 4.1.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular

Von Mises gerilmeleri Tablo 3 ve Resim 21’de gösterilmiştir. Maksimum von Mises gerilmeleri sutura zigomatikomaksillaris (6,39 MPa) bölgesinde gözlenmiştir. Pterigomaksiller fissür (4,86 MPa), medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri (3,19 MPa, 2,52 MPa), sutura frontomaksillaris (2,63 MPa) ve sutura nazomaksillaris (2,51 MPa) bölgelerinde de belirgin stres artışları gözlenmiştir.

Dentoalveolar kemik bölgeleri değerlendirildiğinde maksimum gerilmeler molar diş alveolar kemik bölgesidir. Dental bölgelerde oluşan gerilmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.





**Resim 21.** Hyrax genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı

## 4.2. Fan Type Vidasına Ait Bulgular

Fan type vidası ile yapılan 0,2 mm'lik genişletme sonucu von Mises gerilmeleri ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Fan type genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Von Mises
Sutura İnternazalis	0,05	0	-0,61	1,72
Sutura Frontonazalis	0,05	-0,07	-0,52	1,57
Sutura Frontomaksillaris	0	-0,03	-0,43	2,17
Sutura Nazomaksillaris	-0,07	-0,02	-0,45	2,07
Frontal proses	-0,21	-0,03	-0,3	0,53
Sutura Zigomatikomaksillaris	-0,54	0,28	0,21	4,31
İnfraorbital marjin	-0,5	0,22	0,18	0,01
Foramen infraorbitale	-0,62	0,13	-0,01	0,74
Zigomatik proses	-0,67	0,29	0,17	0,92
Lateral nazal duvar	-0,79	-0,1	-0,33	0,87
ANS noktası	-1,13	-0,24	-0,59	0
A noktası	-1,23	-0,18	-0,53	0
PNS noktası	-0,55	-0,26	-0,49	0,01
Pterigomaksiller fissür	-0,31	0,16	0,15	3,66
Medial pterigoid (inferior)	-0,36	0,05	0,01	0,05
Medial pterigoid (süperior)	-0,06	-0,05	0	1,49
Lateral pterigoid (inferior)	-0,32	0,12	0,14	0,1
Lateral pterigoid (süperior)	-0,16	0,09	0,12	1,39
Kesici bölgesi	-1,32	-0,14	-0,48	0
Kanin bölgesi	-1	-0,02	-0,26	0,63
Premolar bölgesi	-1,07	0,19	-0,04	0,37
Molar bölgesi	-0,78	0,29	0,14	0,23
Kesici insizal kenarı	-1,8	-0,08	-0,54	0
Premolar palatinal tüberkülü	-1,31	0,1	-0,16	0,11
Molar palatinal tüberkülü	-0,84	0,26	-0,03	0,19



#### 4.2.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular

##### *Transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı*

Fan type vidasına ait transversal yönde gözlenen yer değişimleri Tablo 4 ve Resim 22'de bildirilmiştir. Tabloda transversal düzlem için yer alan negatif değerler genişlemeyi, pozitif değerler ise daralmayı ifade etmektedir.

Transversal yönde yer değişimleri değerlendirildiğinde frontal açıdan bakıldığında tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede, oklüzal açıdan bakıldığında median palatal suturda, anteriorda daha fazla posteriorda daha az olmak üzere 'V' şeklinde bir açılma gözlenmiştir.

Anterior yapıların lateral yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha fazla bulunmuştur. Benzer olarak inferior yapılarda süperior yapılara göre daha fazla lateral yer değiştirme görülmüştür.

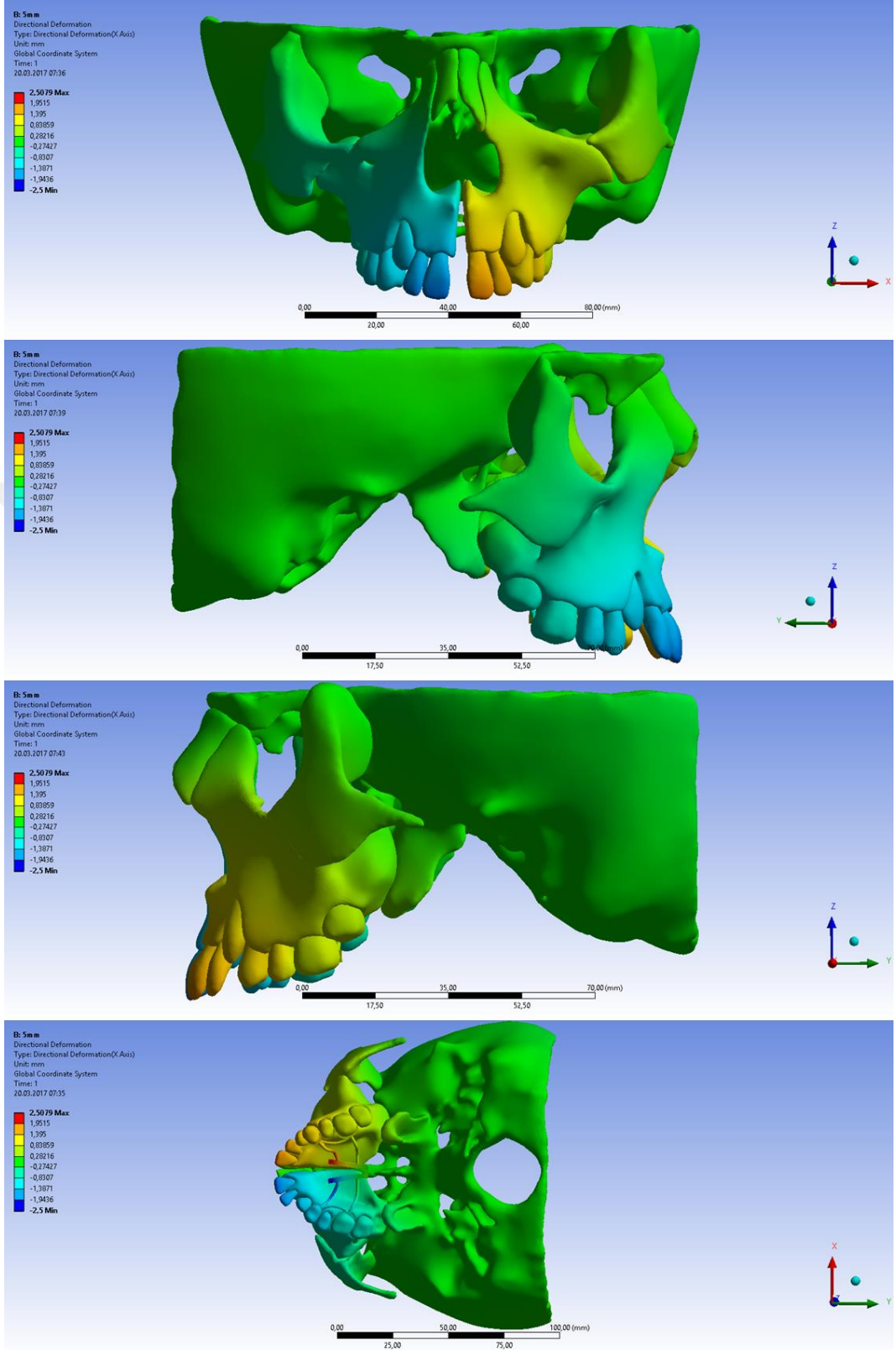
En fazla lateral yer değiştirme miktarı kesici insizal bölgesinde (1,8 mm) olmuştur. Premolar palatinal tüberkülü, kesici diş alveolar kemik bölgesi, A noktası, ANS noktasında da lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulunmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 0,79 mm lateral yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Medial ve lateral pterigoid proseslerin inferior kısımları belirgin şekilde (0,36 mm-0,32 mm) lateral yönde yer değiştirirken, proseslerin daha sert olduğu kranial tabana yakın bölgelerde minimum (0,06 mm, 0,16 mm) lateral yer değiştirme gözlenmiştir.

Nazal bölgeye yakın yapılarda (sutura internazalis, sutura frontonazalis) ihmal edilebilecek düzeyde daralma gözlenmiştir.

Dentoalveolar ve dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gidildikçe azalan miktarlarda lateral yönde hareket gözlenmiştir.



Resim 22. Fan type genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı

### ***Antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağulumu***

Fan type vidasına ait sagital yönde gözlenen yer değişimleri Tablo 4 ve Resim 23'te verilmiştir. Tabloda antero-posterior düzlem için yer alan negatif değerler anterior yönde hareketi, pozitif değerler ise posterior yönde hareketi ifade etmektedir.

Antero-posterior yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapılar anterior yönde yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgedeki yapılar posterior yönde yer değiştirme eğilimi göstermiştir.

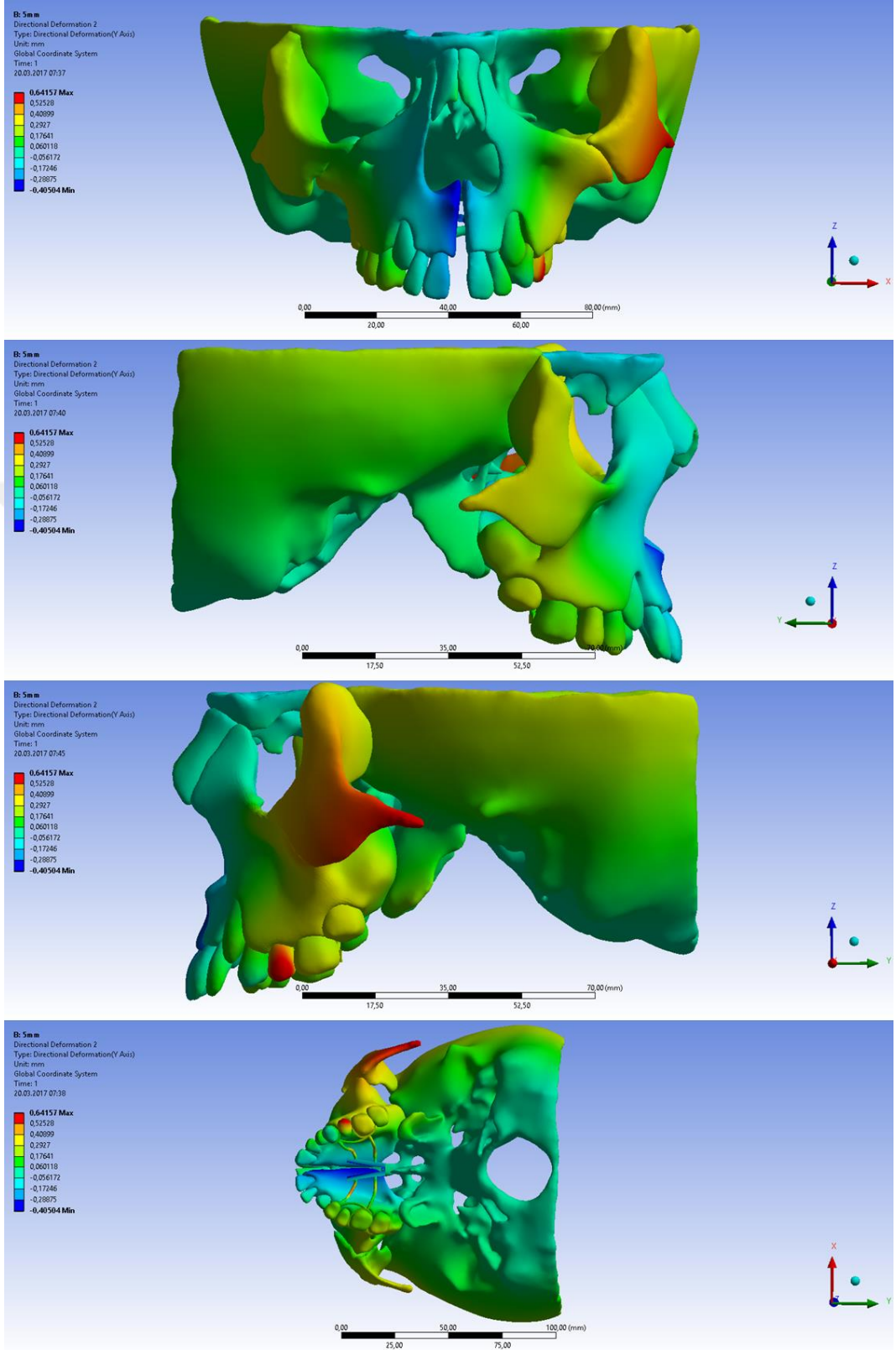
En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ANS noktası (0,24 mm), PNS noktası (0,26 mm), A noktası (0,18 mm) olmuştur.

En fazla posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise zigomatik proses (0,29 mm), sutura zigomatikomaksillaris (0,28 mm), infraorbital marjin (0,22 mm), molar diş alveolar kemik bölgesi (0,29 mm) ve molar diş palatinal tüberkülü (0,26 mm) olmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 0,1 mm anterior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Nazal bölgeye yakın yapılarda (sutura frontonazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris, frontal proses) ihmal edilebilecek düzeyde anterior yönde hareket gözlenmiştir.

Medial pterigoid plakların kraniyal tabana yakın süperior kısmı minimal düzeyde (0,05 mm) anterior yönde hareket ederken, inferior kısmı minimal düzeyde (0,05 mm) posterior yönde yer değiştirmiştir. Fakat bu yer değiştirmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.



**Resim 23.** Fan type genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı

### ***Vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı***

Fan type vidasına ait vertikal yönde gözlenen yer değişimleri Tablo 4 ve Resim 24'te verilmiştir. Tabloda vertikal düzlem için yer alan negatif değerler inferior yönde hareketi, pozitif değerler ise süperior yönde hareketi ifade etmektedir.

Vertikal yönde yer değişimleri genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapıların inferior yönde, lateral bölgedeki yapıların süperior yönde yer değiştirme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir.

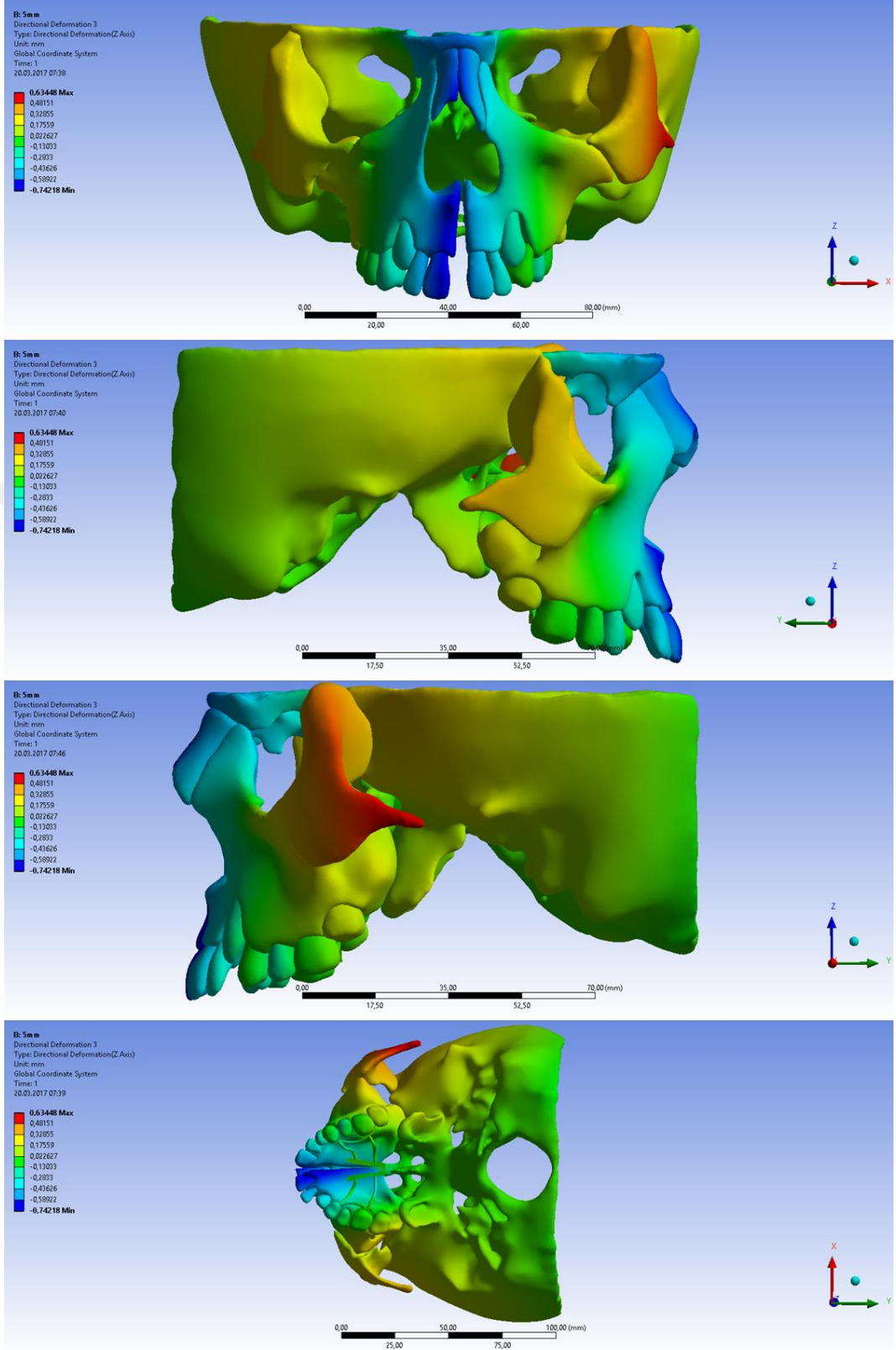
En fazla inferior yönde yer değiştirme gösteren yapılar nazal bölgeye yakın yapılar (sutura internazalis, sutura frontonazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris) olmuştur. Ayrıca, ANS noktası (0,59 mm), PNS noktası (0,49 mm), A noktası (0,53 mm), kesici diş alveolar kemik bölgesi (0,48 mm) ve kesici diş insizal kenarında (0,54 mm) da inferior yönde fazla hareket gözlenmiştir.

Lateral nazal duvarlarda 0,33 mm inferior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

En fazla süperior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise sutura zigomatikomaksillaris (0,21 mm), infraorbital marjin (0,18 mm) zigomatik proses (0,17 mm) olmuştur.

Lateral pterygoid plaklar minimal düzeyde (0,14 mm-0,12 mm) süperior yönde yer değiştirirken, medial pterygoid plaklar ihmal edilebilecek düzeyde yer değiştirmiştir.

Dentoalveolar ve dental bölgelere bakıldığında molar diş alveolar kemik bölgesi hariç anteriordan posteriora doğru gidildikçe inferior yönde hareket miktarı azalmaktadır. Kesici diş alveolar kemik bölgesinde 0,48 mm inferior yönde hareket gözlenirken, molar diş alveolar kemik bölgesinde 0,14 mm süperior yönde hareket gözlenmiştir.



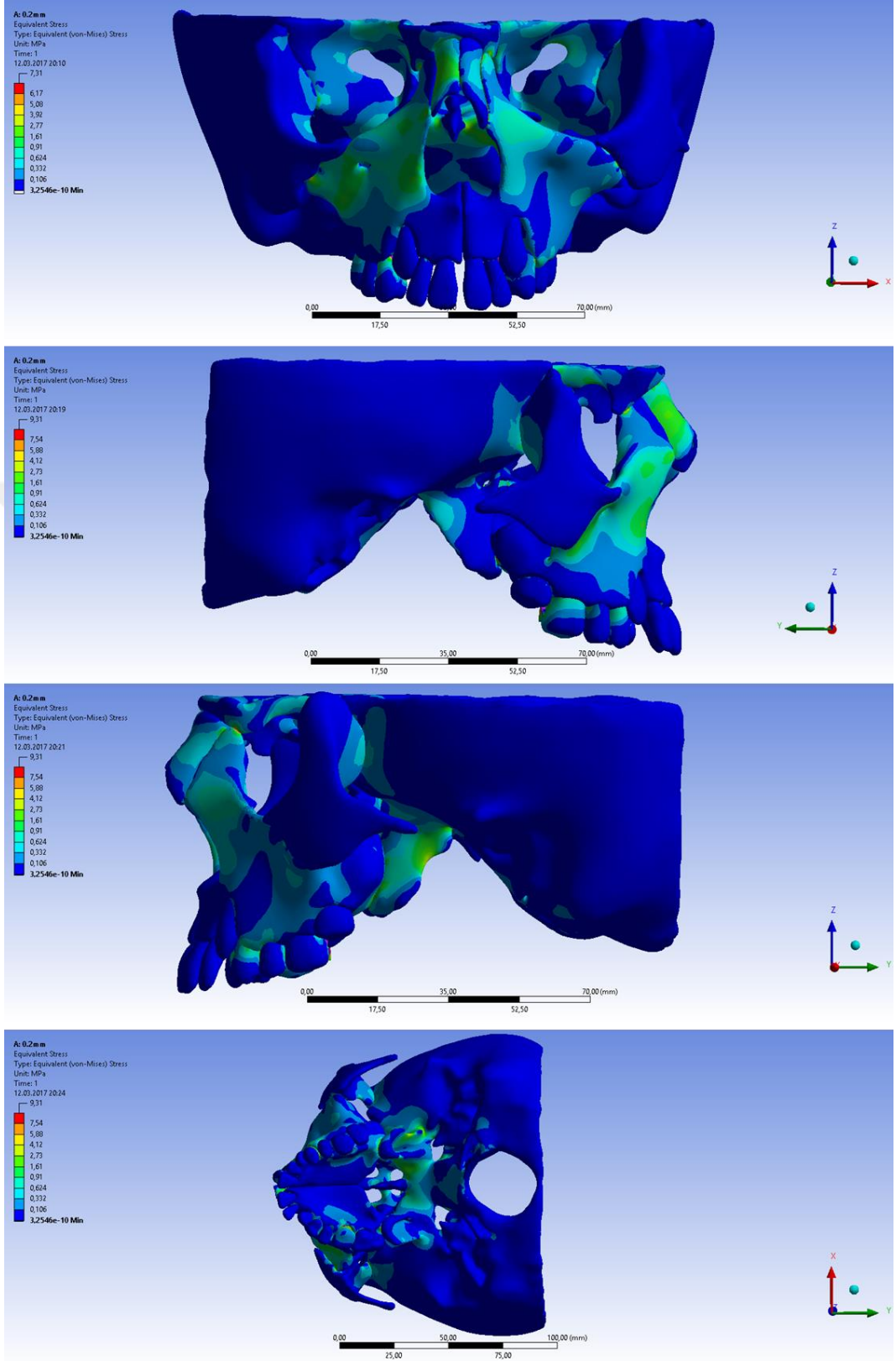
**Resim 24.** Fan type genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı

#### 4.2.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular

Von Mises gerilmeleri Tablo 4 ve Resim 25'te gösterilmiştir. Maksimum von Mises gerilmeleri sutura zigomatikomaksillaris (4,31 MPa) bölgesinde gözlenmiştir. Pterigomaksiller fissür (3,66 MPa), sutura frontomaksillaris (2,17 MPa) ve sutura nazomaksillaris (2,07 MPa), sutura frontonazalis (1,57 MPa), medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgelerinde de (1,49 MPa, 1,39 MPa) belirgin stres artışları gözlenmiştir.

Dentoalveolar kemik bölgeleri değerlendirildiğinde maksimum gerilmeler kanin diş alveolar kemik bölgesidir. Dental bölgelerde oluşan gerilmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.





**Resim 25.** Fan type genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı



### 4.3. Çift Menteşeli Genişletme Vidasına Ait Bulgular

Çift menteşeli genişletme vidası ile yapılan 0,2 mm'lik genişletme sonucu von Mises gerilmeleri ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değişim dağılımlarına ait bulgular Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Çift menteşeli genişletme vidasına ait yer değiştirme ve gerilme bulguları

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Von Mises (MPa)
Sutura İnternazalis	-0,01	0,03	-0,47	2,23
Sutura Frontonazalis	0,06	-0,01	-0,34	1,59
Sutura Frontomaksillaris	-0,04	0,02	-0,24	2,36
Sutura Nazomaksillaris	-0,16	-0,01	-0,28	2,16
Frontal proses	-0,31	-0,03	-0,08	0,58
Sutura Zigomatikomaksillaris	-0,73	0,15	0,47	4,46
İnfraorbital marjin	-0,71	0,22	0,46	0,33
Foramen infraorbitale	-0,82	0,04	0,22	1,88
Zigomatik proses	-0,87	0,21	0,4	2,13
Lateral nazal duvar	-1,08	-0,22	-0,13	1,22
ANS noktası	-1,44	-0,44	-0,39	0
A noktası	-1,54	-0,38	-0,32	0
PNS noktası	-0,73	-0,47	-0,37	0,05
Pterigomaksiller fissür	-0,46	0,08	0,3	4,26
Medial pterigoid (inferior)	-0,5	-0,08	0,09	0,11
Medial pterigoid (süperior)	-0,1	-0,01	0,02	2,54
Lateral pterigoid (inferior)	-0,46	0,02	0,25	0,12
Lateral pterigoid (süperior)	-0,22	0,04	0,19	2
Kesici bölgesi	-1,75	-0,4	-0,34	0
Kanin bölgesi	-1,29	-0,17	-0,04	0,71
Premolar bölgesi	-1,39	0,04	0,19	0,44
Molar bölgesi	-1,02	0,18	0,35	0,53
Kesici insizal kenarı	-2,21	-0,41	-0,31	0
Premolar palatinal tüberkülü	-1,72	-0,12	-0,04	0,13
Molar palatinal tüberkülü	-1,35	0	0,11	0,19

### 4.3.1 Yer değiştirme dağılımına ait bulgular

#### *Transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı*

Çift menteşeli genişletme vidasına ait transversal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 5 ve Resim 26'da verilmiştir. Tabloda transversal düzlem için yer alan negatif değerler genişlemeyi, pozitif değerler ise daralmayı ifade etmektedir.

Transversal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde frontal açıdan bakıldığında tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede, oklüzal açıdan bakıldığında median palatal suturda, anteriorda daha fazla posteriorda daha az olmak üzere 'V' şeklinde bir açılma gözlenmiştir.

Anterior yapıların lateral yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha fazla bulunmuştur. Benzer olarak inferior yapılarda süperior yapılara göre daha fazla lateral yer değiştirme görülmüştür.

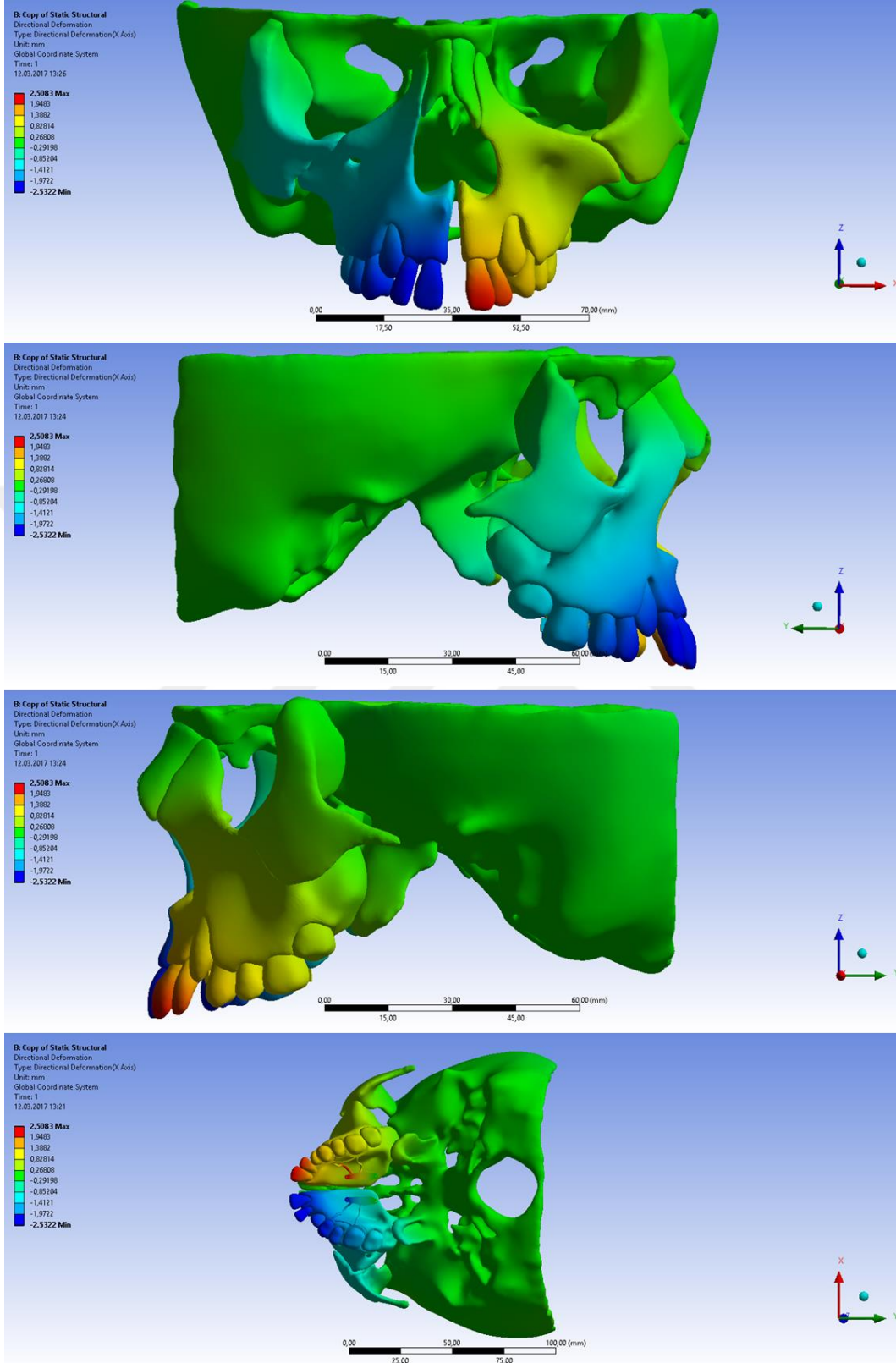
En fazla lateral yer değiştirme miktarı kesici insizal bölgesinde (2,21 mm) olmuştur. Premolar palatinal tüberkülü, kesici diş alveolar kemik bölgesi, A noktası, ANS noktasında da lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulunmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 1,08 mm lateral yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Medial ve lateral pterigoid plakların inferior kısımları belirgin şekilde (0,5 mm -0,46 mm) lateral yönde yer değiştirirken, proseslerin daha sert olduğu kraniyal tabana yakın bölgelerde minimum (0,1 mm, 0,22 mm) lateral yer değiştirme gözlenmiştir.

Nazal bölgeye yakın yapılarda (sutura internazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris) ihmal edilebilecek düzeyde genişleme gözlenirken, sutura frontonazaliste ise ihmal edilebilecek düzeyde daralma gözlenmiştir.

Dentoalveolar ve dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gidildikçe azalan miktarlarda lateral yönde hareket gözlenmiştir.



**Resim 26.** Çift menteşeli genişletme vidasına ait transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı

### *Antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağulumu*

Çift menteşeli genişletme vidasına ait sagittal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 5 ve Resim 27’de verilmiştir. Tabloda antero-posterior düzlem için yer alan negatif değerler anterior yönde hareketi, pozitif değerler ise posterior yönde hareketi ifade etmektedir.

Antero-posterior yönde yer değişimleri genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapılar anterior yönde yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgedeki yapılar posterior yönde yer değiştirme eğilimi göstermiştir.

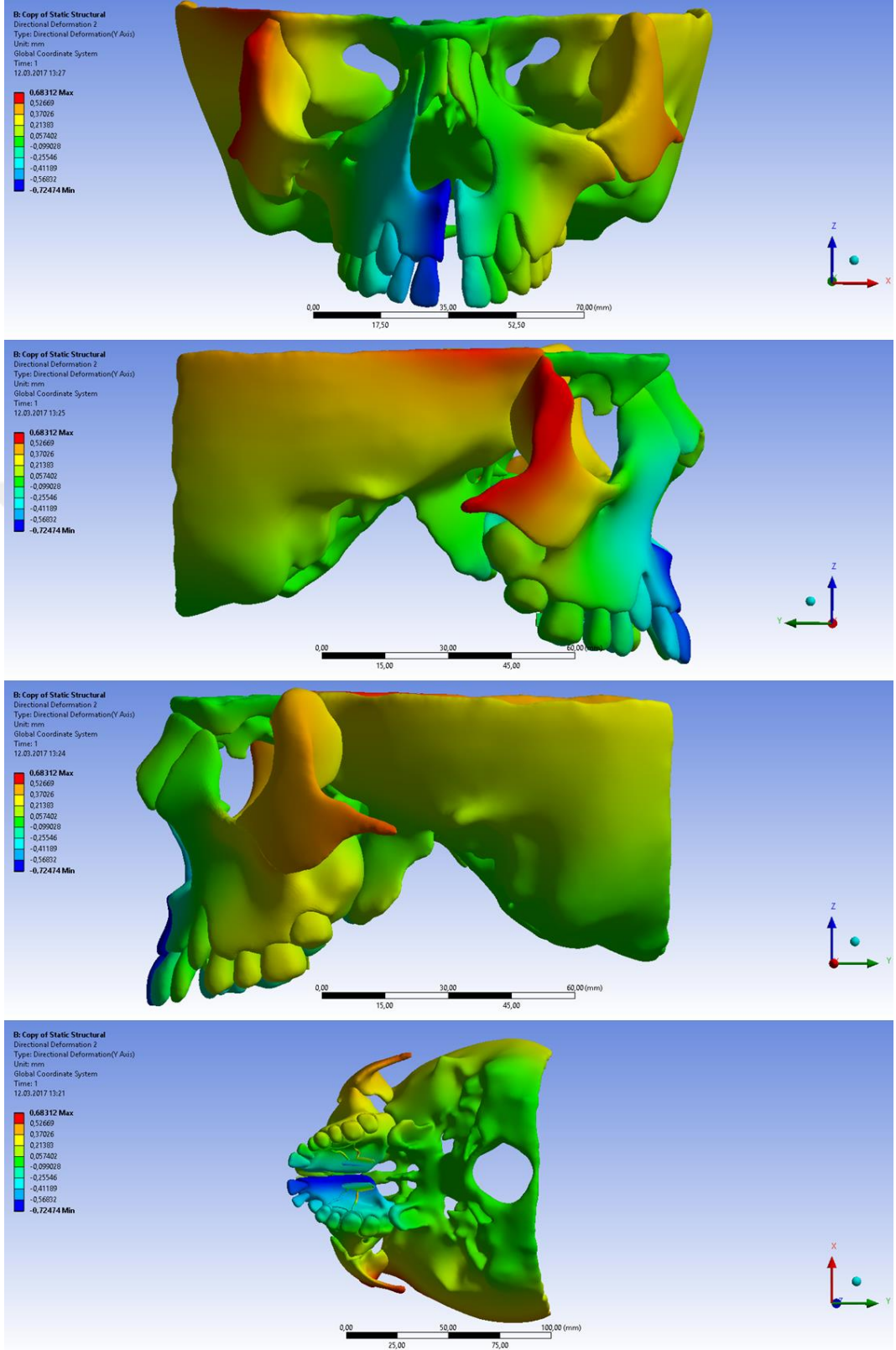
En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ANS noktası (0,44 mm), PNS noktası (0,47 mm), A noktası (0,38 mm), kesici diş alveolar kemik bölgesi (0,4 mm) ve kesici diş insizal kenarı (0,41 mm) olmuştur.

En fazla posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise zigomatik proses (0,21 mm), infraorbital marjin (0,22 mm) ve molar diş alveolar kemik bölgesi (0,18 mm) olmuştur.

Lateral nazal duvarlarda ise 0,22 mm anterior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

Nazal bölgeye yakın yapılarda (sutura internazalis, sutura frontonazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris, frontal proses) ihmal edilebilecek düzeyde hareket gözlenmiştir.

Medial pterigoid plak minimal düzeyde (0,08 mm-0,01 mm) anterior yönde hareket ederken, lateral pterigoid plak minimal düzeyde (0,02 mm-0,04 mm) posterior yönde yer değişirmiştir. Fakat bu yer değiştirmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.



**Resim 27.** Çift menteşeli genişletme vidasına ait antero-posterior düzlemde yer değiştirme dağılımı

### ***Vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı***

Çift menteşeli genişletme vidasına ait vertikal yönde gözlenen yer değişimleri Tablo 5 ve Resim 28'de verilmiştir. Tabloda vertikal düzlem için yer alan negatif değerler inferior yönde hareketi, pozitif değerler ise süperior yönde hareketi ifade etmektedir.

Vertikal yönde yer değişimleri genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın yapılar inferior yönde yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgedeki yapılar süperior yönde yer değiştirme eğilimi göstermiştir. Benzer şekilde anterior bölgede yer alan yapılar inferior yönde daha fazla yer değiştirme eğilimi gösterirken, posterior bölgede yer alan yapılar süperior yönde yer değiştirme eğilimi göstermiştir.

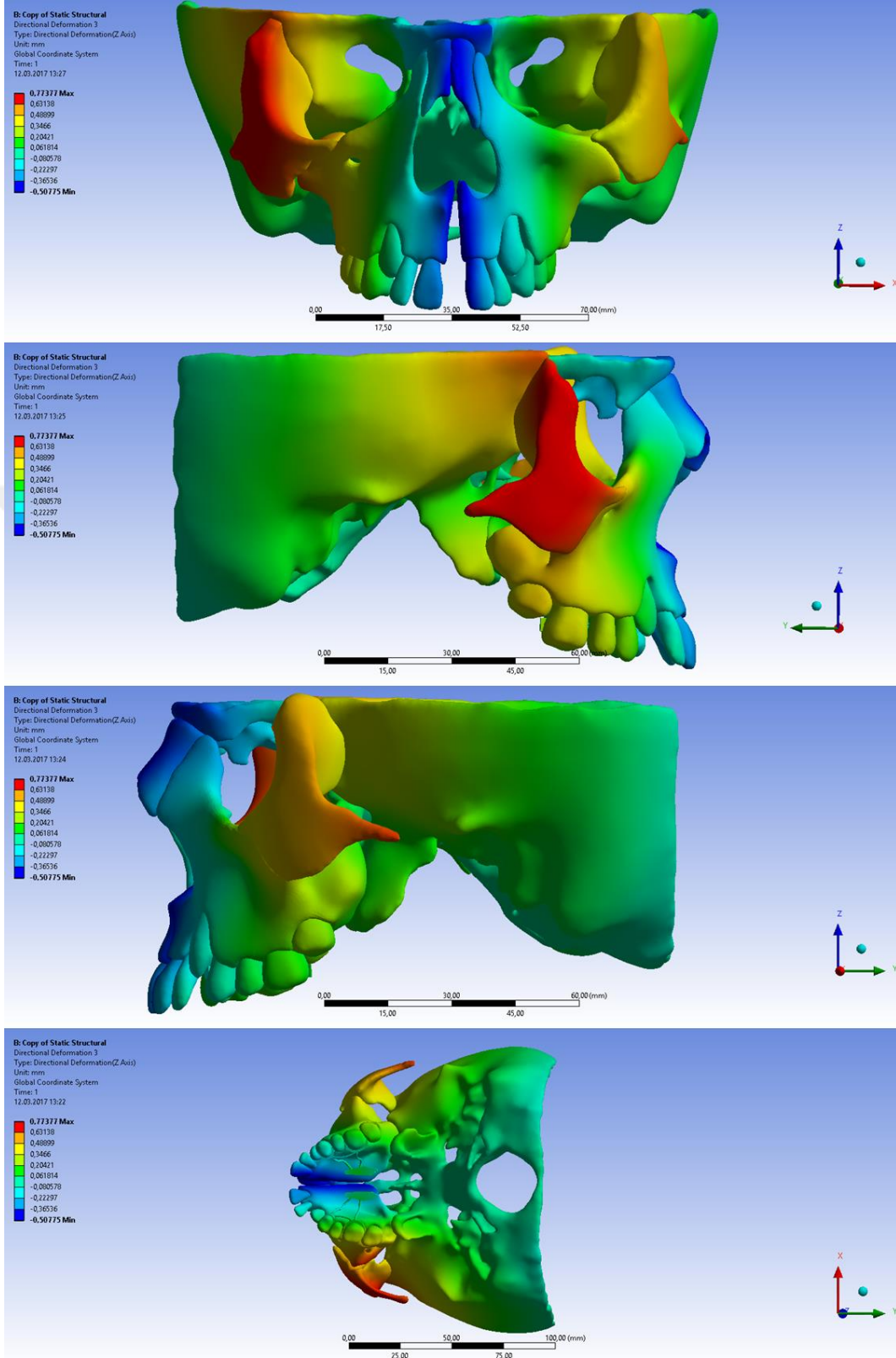
En fazla inferior yönde yer değiştirme gösteren yapılar nazal bölgeye yakın yapılar (sutura internazalis, sutura frontonazalis, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris) olmuştur. ANS noktası (0,39 mm), PNS noktası (0,37 mm), A noktasında (0,32 mm) inferior yönde fazla hareket gözlenmiştir.

Lateral nazal duvarlarda 0,13 mm inferior yönde yer değiştirme gözlenmiştir.

En fazla süperior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise sutura zigomatikomaksillaris (0,47 mm), infraorbital marjini (0,46 mm) zigomatik proses (0,4 mm) molar diş alveolar kemik bölgesi (0,35 mm) olmuştur.

Lateral pterigoid plak minimal düzeyde (0,25 mm-0,19 mm) süperior yönde yer değiştirirken, medial pterigoid plak ihmal edilebilecek düzeyde süperior yönde yer değişirmiştir.

Dentoalveolar ve dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gidildikçe inferior yönde görülen yer değiştirmeler, süperior yönde yer değiştirmelere dönüşmüştür. Kesici diş alveolar kemik bölgesinde 0,34 mm inferior yönde hareket gözlenirken, molar diş alveolar kemik bölgesinde 0,35 mm süperior yönde hareket gözlenmiştir.



**Resim 28.** Çift menteşeli genişletme vidasına ait vertikal düzlemde yer değiştirme dağılımı

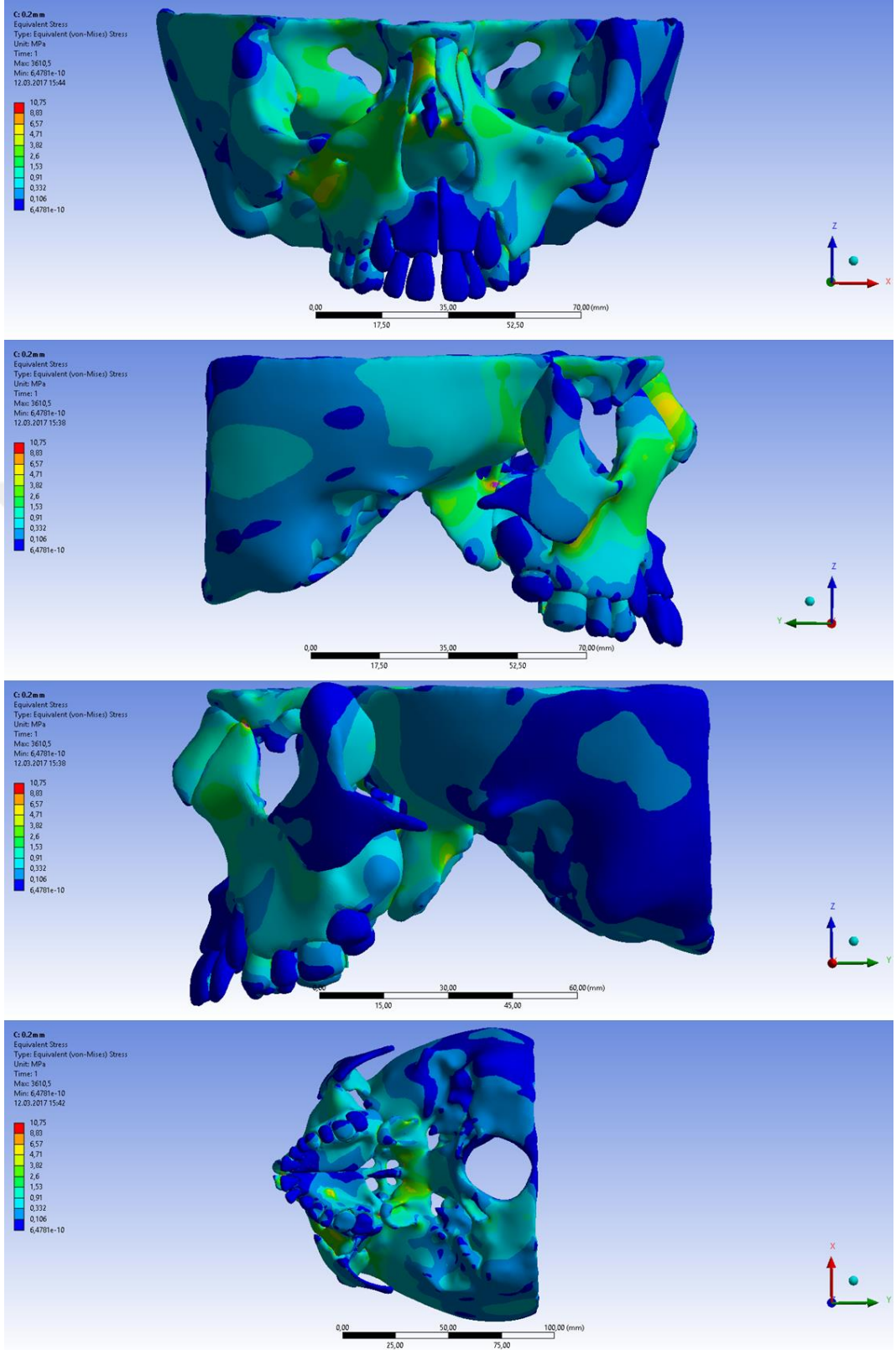
#### 4.3.2 Von Mises gerilme dağılımına ait bulgular

Von Mises gerilmeleri Tablo 5 ve Resim 29’da gösterilmiştir. Maksimum von Mises gerilmeleri sutura zigomatikomaksillaris (4,46 MPa) ve pterigomaksiller fissür (4,26 MPa) bölgelerinde gözlenmiştir. Medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri (2,54 MPa, 2 MPa), sutura frontomaksillaris (2,36 MPa), sutura internazalis (2,23 MPa), sutura nazomaksillaris (2,16 MPa), zigomatik proses (2,13 MPa), bölgelerinde de belirgin stres artışları gözlenmiştir.

Dentoalveolar kemik bölgeleri değerlendirildiğinde maksimum gerilmeler kanin diş alveolar kemik bölgesidir. Dental bölgelerde oluşan gerilmeler ihmal edilebilecek düzeydedir.







**Resim 29.** Çift menteşeli genişletme vidasına ait von Mises gerilme dağılımı

## 5. TARTIŞMA

Hızlı üst çene genişletmesi ortodontik tedavide genel olarak, çapraz kapanış düzeltiminde, ark boyunun arttırılmasında, posterior dişlerin aksiyal inklinasyonun düzeltiminde, Sınıf II maloklüzyonun spontan düzeltiminde, fonksiyonel çene ortopedisi veya ortognatik cerrahiye hazırlık aşamasında, üst çene sutural sistemin mobilizasyonunda, dudak damak yarıklı bireylerde, nazal rezistansın azaltılmasında ve gülümsemenin genişletilmesinde kullanılmaktadır [20].

Hızlı üst çene genişletmesinin iskeletsel ve dental dokular üzerindeki etkileri hayvan çalışmaları ve klinik araştırmalar yoluyla kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır [14, 22, 59-61, 116, 121]. Hızlı üst çene genişletmesi esnasında dentoalveolar bölge, median palatal sutur, zigomatikomaksiller buttress ve sirkummaksiller suturların oluşturduğu anatomik dirençten söz edilmektedir [15, 22, 189]. Chaconas ve Caputo, genişletme kuvvetlerine karşı en büyük direncin median palatal sutur değil, zigomatik ve sfenoid kemiklerle bağlantılarında olduğunu söylemiştir [190]. Kudlick, sfenoid kemiğin pterigoid plaklarının hızlı üst çene genişletmesine karşı en büyük direnç kaynağı olduğunu bildirmiştir [191].

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometrik cisimlerin şeklinin ve fiziksel özelliklerinin bilgisayar ortamında oluşturulduğu matematiksel bir yöntemdir [128]. Son yıllarda, çeşitli yapısal mekanik problemleri çözmek için sonlu elemanlar analizi güçlü bir araştırma aracı olarak ortodontide kullanılmaktadır [17, 98]. Bu araştırma yönteminin sağlık alanında önemli bir avantajı, hayvanları veya insanları deneysel prosedürlerin olumsuz etkilerine maruz bırakmadan farklı tedavi yaklaşımlarını taklit etme ve tedavi sonuçlarını inceleyebilme olasılığıdır [131, 192]. Sonlu elemanlar analizi ile diş, alveol kemiği, periodontal ligament ve kraniyofasiyal kemikler simüle edilebilir, bu yapıların malzeme özellikleri oral ortama uygun şekilde atanabilir, klinik olarak uygulanan ortodontik kuvvet sistemleri taklit edilebilir ve kraniyofasiyal sistemde herhangi bir noktada yaşanan stres ve yer değiştirme miktarı teorik olarak ölçülebilir [98].

Hızlı üst çene genişletmesinin dişler ve kraniyofasiyal kemikler üzerindeki etkilerini analiz etmek için sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı birçok çalışma vardır [17, 18, 98, 126-130, 134]. Fakat bu çalışmalardan hiçbiri hyrax ekspansiyon vidası, fan type ekspansiyon vidası ve çift menteşeli ekspansiyon vidası ile yapılan genişletmenin kraniyofasiyal yapılar

üzerindeki etkisini değerlendirmemiştir. Bu alışma, hızlı üst çene genişletmesinde kullanılan bu üç farklı apareyin aynı kraniyofasiyal sistem üzerine olan etkilerini sonlu elemanlar analizi ile incelemeyi amaçlamıştır.

## **5.1. Gereç ve Yöntemin Tartışması**

### **5.1.1 Eleman tipinin tartışması**

İşeri ve ark, 1998 yılında hızlı üst çene genişletmesinin etkisini değerlendirdikleri çalışmada sonlu elemanlar modelinde eleman tipi olarak dörtgen ve üçgensel kabuk elemanlar kullanmıştır [17]. Benzer şekilde Jafari ve ark. yaptıkları çalışmada aynı eleman tipini kullanmışlardır [98].

Lee, kemik destekli hızlı üst çene genişletme apareylerini karşılaştırdığı çalışmasında sonlu elemanlar modeli olarak tetrahedral elemanları kullanmıştır [129].

Gautam ve ark. 2007 yılında 7 yaşındaki bir kafatasına ait tomografi verilerini kullandığı çalışmada hızlı üst çene genişletmesinin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada 10 düğüm noktalı tetrahedral eleman yapısına sahip SOLID 92 eleman tipi kullanılmıştır [18]. Aynı yıl Holberg ve ark. cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinin etkisini değerlendirdikleri çalışmada eleman tipi olarak 10 düğüm noktasına sahip tetrahedral yapılı SOLID 187 eleman tipini kullanmıştır [193]. Benzer şekilde 2013 yılında Assis ve ark. cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinin ankraj dişlerdeki etkisini araştırdığı çalışmada 10 düğüm noktalı tetrahedral eleman tipini kullanmıştır [194].

Bu çalışmada sonlu eleman modelini oluşturmada 10 düğüm noktalı tetrahedral eleman tipi kullanılmıştır. Bu eleman tipi, düzensiz geometriye sahip yapıların modellenmesi için uygun olması, kraniyofasiyal sistemde değişken kemik kalınlıklarının iyi bir şekilde temsil edilmesi, daha iyi gerilme iletilebilirliği ve eğilme deformasyonları vermesi sebebiyle tercih edilmiştir [18].

### **5.1.2 Eleman sayısının tartışması**

1998 yılında İşeri ve ark.'nın tam kafatasını modellediği çalışmada 2349 eleman ve 2147 düğüm noktası, benzer şekilde 2003 yılında Jafari ve ark.'nın yaptığı çalışmada 6951 eleman ve 7357 düğüm noktası kullanılmıştır [17, 98]. Bu eleman sayılarının kraniyal tabanı

ayrıntılı şekilde tanımlayamayacağını söyleyen Holberg ve ark. 2006 yılında kafatasının parsiyel modellemesini yapmıştır. Frontal, oksipital, temporal ve sfenoid kemikleri modelleyerek yaptıkları çalışmada 41556 eleman kullanmıştır. Bu çalışma ile ilk kez, insan kranial tabanındaki ince anatomik yapılarda oluşan gerilmelerin değerlendirilebildiğini söylemiştir [126].

Gautam ve ark.'nın 7 yaşına ait tam kafatasının modellendiği çalışmada 108799 eleman ve 193633 düğüm noktası kullanılmıştır. Artmış eleman sayısı ve düğüm noktasıyla önceki çalışmalara nazaran kafatasının daha iyi temsil edildiğini söylemiştir [18].

Tanaka 2016 yılında yüz maskesinin etkisini incelediği çalışmasında üst çene ve dişleri modellemiştir. Sonlu elemanlar modelinde 573726 eleman ve 1133497 düğüm noktası kullanmıştır [195].

Bu çalışmada DVT görüntülerinden elde edilen sonlu elemanlar modelinde yaklaşık 1800000 eleman ve 2750000 düğüm noktası kullanılmıştır. Bu çalışmadaki düğüm ve eleman sayıları benzer çalışmalara kıyasla oldukça yüksektir. Sonlu eleman modeli ne kadar çok detaylandırılır ve kapsamlı hale getirilirse, analiz sonuçları daha hassas ve daha gerçekçi olmaktadır [196].

### **5.1.3 Malzeme özelliklerinin tartışması**

Sonlu elemanlar analizinde modellenen yapıların malzeme özelliklerinin bilinmesi analizlerin doğruluğu açısından önem taşımaktadır. Kalsifiye biyolojik dokuların modellenmesi, izotropik ve homojen olmayan özelliklerinden dolayı zor bir görevdir. Yaş, cinsiyet ve mineral içeriği gibi faktörlere bağlı olması nedeniyle değişkenlik göstermektedir [171].

Sonlu elemanlar analizi ile yapılan çalışmalardaki önemli bir dezavantaj, insana ait dokuların tanımlanması amacıyla büyük değişkenlikler gösterebilen birtakım faktörlerin sabit olarak kabul edilmesi zorunluluğudur [197]. Üst ve alt çeneye ait kemiklerin elastik özelliklerinin tam olarak bilinmemesi nedeniyle birçok sonlu elemanlar analizi çalışmasında, modellenen yapıların izotropik, homojen ve lineer elastik malzeme davranışına sahip olduğu varsayımı yapılmıştır [145, 171, 197]. Bununla birlikte, gerçekte homojen ve izotropik olmayan yapıların bu şekilde kabul edilmesi ağız içinde karşılaşılan gerçekçi durumları incelemek söz konusu olduğunda tartışmalıdır [146]. Bu nedenle, sonlu elemanlar analiz yönteminin doğal

limitasyonları göz önünde bulundurulmalıdır [197]. Öte yandan, yapısal biyomekanik araştırmalarında kemik, fizyolojik olarak normal yüklerin karşısındaki özelliklerine dayanarak lineer elastik bir materyal olarak ele alınmaktadır [170].

Klinik olarak aynı hasta üzerinde üç farklı apareyle yapılan genişletmenin etkisini değerlendirmek mümkün değildir. Her ne kadar sonlu elemanlar analizi ile biyolojik dokuların cevabı kesin olarak simüle edilemese de, çalışmamızın sonuçları klinikte rehber olması ve ön bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada modellenen yapılarının fiziksel özellikleri daha önceki benzer çalışmalarda olduğu gibi izotropik, homojen ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir [17, 127-129, 134, 177, 178]. Modellenen bu yapılara ait sabit değerler Tablo 3'te verilmiştir [130, 179-188].

#### **5.1.4 Sınır koşullarının tartışması**

Literatürde sonlu elemanlar analiz yönteminin kullanıldığı ve çeşitli durumlarda kraniyofasiyal sistemde oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin değerlendirildiği çalışmalarda, kafatasına uygulanan sınır koşulları foramen magnum bölgesinde, sıfır yer değiştirme ve rotasyon olarak tanımlanmıştır [17, 18, 127, 129, 135, 176, 193, 198].

Bu çalışmada sınır koşulları literatüre uygun olarak foramen magnum bölgesinde bulunan düğüm noktaları sabit olarak kabul edilmiştir.

## **5.2. Bulguların Tartışması**

### **5.2.1 Yer değiştirme dağılımının tartışması**

Transversal yönde yer değiştirmeler kıyaslandığında her üç apareyde antero-posterior ve süpero-inferior yönde kama şeklinde açıklık gözlenmiştir. Anterior yapıların lateral yer değiştirmesi, posterior yapılara kıyasla daha belirgin bulunmuştur. Benzer şekilde, inferior bölgedeki açıklık süperior bölgelerdeki açıklıktan daha fazladır. Sonuçlarımız, açıklığın tabanının dikey düzlemde ağız tarafında ve horizontal düzlemde önde konumlandığını bildiren daha önceki çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur [17, 18, 61, 98, 199]. Birçok çalışma, antero-posterior yönde kama şeklinde açılmasının nedeninin sfenoid kemiği maksiller kemiklerle bağlayan pterigomaksiller bağlantı olduğunu rapor etmiştir [55, 61, 190, 199, 200]. Genel olarak, incelenen anatomik yapılarda görülen genişleme miktarları kıyaslandığında molar diş

palatinal tüberkülü hariç en çok genişlemenin çift menteşeli apareyde olduğu, bunu sırasıyla hyrax ve fan type'ın takip ettiği görülmüştür.

Hızlı üst çene genişletmesiyle birlikte maksillanın aşağı ve öne doğru hareketi birçok çalışma tarafından bildirilmiştir [17, 18, 61, 96, 98]. Sicher hızlı üst çene genişletmesiyle meydana gelen maksillanın aşağı ve öne doğru hareketini maksillokranial suturların yönlendirdiğini söylemiştir [201]. Wertz, maksillopalatin kompleksin pterigoid plaklardan ayrılmasının A noktasının ve tüm maksillanın ileri hareketinin önemli bir etkeni olabileceğine inanmaktadır [61]. Melsen ve Melsen, hızlı üst çene genişlemesi sırasında pterigomaksiller bağlantının karşılıklı kemik yüzeylerinin sıkı artikülasyonu nedeniyle açılmasını beklemediğini bildirmiştir [199]. Gardner ve Kronman ise anterior maksiller yer değiştirme ile sfenooksipital sinkondrosizin açılmasını ilişkilendirmiştir [96]. Diğer taraftan Da Silva Filho ve ark, maksilla'nın daha çok aşağı doğru yer değiştirdiğini, kayda değer bir anterior hareket olmadığını rapor etmişlerdir [11]. Çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde, A noktasının, ANS ve PNS noktalarının her üç apareyde de aşağı ve ileri doğru hareket ettiği bulunmuştur. Bu sonuç daha önceki çalışmaların bulgularıyla benzerdir [17, 18, 61, 96, 98]. Maksillanın aşağı yönde yer değiştirmesi hyrax apareyinde diğer apareylere kıyasla daha fazla bulunurken, maksillanın ileri doğru yer değiştirmesi çift menteşeli apareyde diğer apareylere kıyasla daha fazla bulunmuştur.

Liou, çift menteşeli genişletme apareyinin maksiller tüber bölgesinde rotasyon merkezi oluşturarak bu bölgelerde daha az kemik rezorpsiyonu ile maksillanın belirgin anterior hareketi ile birlikte genişleme sağladığını söylemiştir. Hyrax ve çift menteşeli genişletme apareylerini karşılaştırdığı hayvan çalışmasında, maksillanın öne hareketini hyrax apareyinde 1,6 mm, çift menteşeli genişletme apareyinde ise 2,8 mm olarak raporlamıştır [202]. Bu nedenle, maksillanın öne doğru yer değiştirmesi açısından, çift menteşeli genişletme apareyini, büyümesi devam eden iskeletsel Sınıf III hastada veya dudak damak yarıklı bir hastada hipoplastik maksillanın tedavisi için diğer hızlı üst çene genişletme aygıtlarından daha üstün tutmuştur [203]. Öte yandan çift menteşeli genişletme apareyi ile 9 hafta boyunca uygulandığı Alt-RAMEC prosedürünün hava yoluna, sert ve yumuşak dokulara olan etkilerini üç boyutlu görüntüleme teknikleri ile inceleyen Yılmaz ve Küçükkeleş, A noktasının hafif (0,89 mm) öne geldiğini bildirmişlerdir. Aynı zamanda bu yöntemin retrognatik maksillaya sahip hastalarda tek başına bir tedavi yöntemi olamayacağını söylemiştir [204]. Bizim çalışmamızda da A noktasının anterior yer değiştirmesi çift menteşeli genişletme apareyinde diğer apareylere göre fazla, ancak minimal düzeyde (0,38 mm) bulunmuştur.

Çörekçi ve Göyenc yaptıkları klinik çalışmada tüm dişlerin akrilikle kaplandığı hyrax ve fan type apareylerinin etkilerini karşılaştırmıştır. Her iki grupta da maksillanın aşağı ve ileri hareketini rapor etmiştir. Nazal kavite genişliğinin ve maksiller genişliklerin hyrax grubunda daha fazla arttığını, fan type grubunda üst kesici dişlerin belirgin şekilde labial tipping yaptıklarını, interkanin mesafenin her iki grupta da benzer olduğunu ancak intermolar mesafenin hyrax grubunda belirgin şekilde arttığını rapor etmişlerdir. Bu bulgulara ek olarak Doruk ve ark. hyrax grubunda üst kesicilerin palatal tipping yaptığını ve her iki apareyinde vertikal boyutlarda artışa neden olduğunu fakat fan type apareyinde posterior dişlerin tippinginin azalmasıyla birlikte bu etkinin daha az görüldüğünü bildirmiştir [95, 205]. Yavuz ve ark. bantlı hyrax ve fan type apareylerinin etkisini değerlendirdiği çalışmasında her iki grubun da vertikal boyutlarda artışa neden olduğunu fakat gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığını belirtmiştir [206].

Vertikal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde hyrax apareyinde incelenen tüm yapıların inferior yönde hareketi gözlenmiştir. Bu apareyde genel itibariyle orta hatta yakın yapılar inferior yönde daha fazla yer değiştirirken, lateral yapılar inferior yönde daha az yer değiştirmiştir. Fan type ve çift menteşeli apareyler de ise genel olarak birbirlerine benzer yönlere yer değiştirme eğilimi göstermiştir. Bu apareylerde genel itibariyle orta hatta yakın yapılar inferior yönde yer değiştirirken, lateral yapılar süperior yönde yer değiştirmiştir. Vertikal yönde yer değiştirme bulguları ışığında, hızlı üst çene genişletmesinde çift menteşeli ve fan type apareyinin hyrax apareyine göre vertikal kontrol sağlamada daha avantajlı olduğu söylenebilir. Fakat hızlı üst çene genişletmesi sonrası vertikal boyutlardaki bu artışın pekiştirme sonrası azaldığını bildiren ve meydana gelen değişikliklerin kalıcı olmadığını belirten araştırmalar da vardır [119, 120].

Hyrax ve fan type apareyleri için, ANS noktasının PNS noktasından daha fazla inferior yer değiştirme gösterdiği ve maksillanın saat yönünde rotasyon yaptığı gözlenmiştir. Fakat çift menteşeli aparey için böyle bir rotasyon gözlenmemiştir. Benzer şekilde, İşeri ve Gautam hızlı üst çene genişletmesinin etkisiyle maksillanın posterior rotasyonunu rapor ederken, Jafari maksillanın anterior rotasyonundan bahsetmiştir [17, 18, 98]. Maksillanın çeşitli derecelerde anterior veya posterior rotasyonundan söz eden çalışmalar vardır [14, 22, 61].

Her üç aparey için nazal bölgeye yakın yapılarda ihmal edilebilecek düzeyde transversal yer değiştirmeler gözlenmiştir. Bu hareketin yönü genel olarak hyrax ve fan type

apareyinde medial yönde iken, çift menteşeli apareyde lateral yönde olmuştur. Antero posterior yönde değerlendirildiğinde fan type ve çift menteşeli apareyde görülen hareket miktarları ihmal edilebilecek düzeydeyken, hyrax apareyinde hafif (~0,3 mm) anterior yönde yer değiştirme gözlenmiştir. Bu yapılarda en fazla hyrax apareyinde olmak üzere her üç apareyde inferior yönde yer değiştirmeler gözlenmiştir.

Pavlin ve Vukicevic hızlı üst çene genişletmesi sonrası nazal bölgeye yakın yapıların medial yönde yer değiştirdiğini rapor etmiştir [207]. Jain ve Gautam yaptıkları farklı sonlu elemanlar çalışmasında nazal kemiğin medial, anterior, inferior yönde yer değiştirdiğini söylemiştir [18, 208]. Bu çalışmaların bulguları hyrax grubumuzun sonuçlarıyla uyumludur. İleri nazal kemiğin medial, posterior ve inferior yönde yer değiştirdiğini rapor ederken, Jafari lateral, posterior ve inferior yönde yer değiştirdiğini rapor etmiştir [17, 98]. Çoğu araştırmacının rapor ettiği nazal kemiklerin medial yer değiştirmesi, burun bölgesinde kompresyona neden olabilir ve bu durum hızlı üst çene genişlemesi sırasında nazal bölgede sıkça görülen ağrıyı ve basıncı açıklar.

Lateral nazal duvarlar her üç apareyde de lateral, inferior ve anterior yönde yer değiştirmiştir. En fazla inferior yöndeki hareket hyrax apareyinde gözlenirken, en fazla anterior yöndeki hareket çift menteşeli apareyde gözlenmiştir. Lateral nazal duvarların bu hareketi palatal düzleminin inferior yöndeki hareketi ile birlikte burun boşluğunun artmasını sağlayacak ve nazal hava yolu direncini azaltacaktır [209, 210]. Bu sonuç, daha önceki çalışmalarla uyum içindedir [14, 17, 18, 22, 98].

Her üç apareyde benzer şekilde lateral ve medial pterigoid plaklar lateral eğilme göstermiştir; inferior kısımları süperior kısımdan daha fazla yer değiştirmiştir. Bu bulgu, daha önceki çalışmaların bulguları ile uyumludur [17, 18, 61, 98] ve pterigoid plakaların daha sert olduğu kafatası tabanına yakın kısımların bükülmeye karşı daha dirençli olması ile açıklanabilir [59]. Medial ve lateral pterigoid plakların anteroposterior yönde hareketi genel olarak değerlendirildiğinde hyrax ve fan type apareyinde posterior yönde yer değiştirmeler gözlenirken, çift menteşeli apareyde gözlenen yer değiştirme miktarları ihmal edilebilecek düzeydedir.

Dental bölgelerde görülen genişleme miktarı dikkate alındığında posterior bölgede hyrax apareyinde görülen genişleme miktarı diğer apareylere oranla daha fazla olmuştur. Bu



durumun hyrax apareyinde posterior bölgede hareketi kısıtlayan bir menteşe eksenini olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dentoalveoler kemik bölgeleri ve dental bölgeler değerlendirildiğinde hyrax apareyinde görülen yer değiştirmeler posterior yöndedir. Fan type apareyinde, bazı bölgelerde minimal anterior yönde hareket gözlenirken, çift menteşeli apareyde anterior yönde görülen yer değiştirme miktarları diğerlerine göre daha fazladır.

### 5.2.2 Von Mises gerilme dağılımının tartışması

Çalışmamızda yapılan sonlu elemanlar analizinin lineer olması nedeniyle von Mises gerilmelerinin değerlendirilmesinde, aşırı gerilme değerlerinin oluşabileceği ve klinik olarak hastada biyolojik iyileşme sürecinin varlığı düşünülerek, vidaların 0,2 mm'lik ilk aktivasyonu sonucunda oluşan gerilme sonuçları değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda hızlı üst çene genişletmesine karşı direncin sadece median palatal suturda değil, özellikle sfenoid ve zigomatik kemiklerin üst çeneyi çevreleyen yapılarından kaynaklandığı rapor edilmiştir [5, 16, 100].

1998 yılında İşeri ve ark. hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal sistem üzerine biyomekanik etkilerini araştırmıştır. 10 mm'lik üst çene genişletmesi sonucu en yüksek stres seviyesi sfenoid kemiğin pterigoid plaklarında kafa tabanına yakın bölgelerde görülürken, kanin ve molar dişler hizasında, inferior nazal kavitenin lateral duvarlarında, zigomatik ve nazal kemikte de yüksek stres seviyeleri rapor edilmiştir [17]. 2003 yılında Jafari ve ark. ise 10 mm'lik üst çene genişletmesi sonucu en yüksek stres seviyelerini internazal, nazofrontal, nazomaksiller ve zigomatikofrontal suturlar etrafında rapor etmiştir [98]. Benzer şekilde Gautam ve ark. 10 mm'lik üst çene genişletmesi sonucu en fazla stres dağılımının frontomaksiller, nazomaksiller ve frontonazal sutular etrafında görüldüğünü rapor etmişlerdir [18].

Çalışmamızda 0,2 mm'lik genişletme sonucu oluşan kraniyofasiyal bölgelere ait von Mises gerilmeleri değerlendirildiğinde, en yüksek gerilmeler her üç apareyde de sutura zigomatikomaksillaris bölgesinde gözlenmiştir (hyrax-6,39 MPa, fan type-4,31 MPa, çift menteşeli-4,46 MPa). Pterigomaksiller fissür, medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri, sutura frontomaksillaris, sutura nazomaksillaris bölgelerinde de artmış

miktarda stres dağılımı gözlenmiştir. Bu yapılardaki stres dağılımları genel olarak değerlendirildiğinde azdan çoğa olacak şekilde sırasıyla fan type, çift menteşeli ve hyrax genişletme vidasına aittir.

2008 yılında Provatidis ve ark. yaptığı sonlu elemanlar analizi çalışmasında hızlı üst çene genişletmesi sonucunda maksillolakrimal, frontomaksiller, nazomaksiller, transvers palatin ve pterigomaksiller suturun etkilenmediğini, zigomatikomaksiller suturun ise ekspansiyon kuvvetlerinden etkilendiğini söylemişlerdir [127].

Çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde, Matsuyama ve ark. palatal derinlik, vida kolu şekli üzerindeki modifikasyonların ve mini vida desteğinin etkisini araştırdığı çalışmada 0,2 mm'lik hızlı üst çene genişletmesinde en yüksek stres alanlarını zigomatik proses, pterigomaksiller fissür ve tüber maksilla bölgesinde bulmuştur [134]. Lee ve ark. yaptığı çalışmada diş destekli hyrax apareyinde 0,5 mm'lik genişletme sonucu en yüksek stress seviyeleri zigomatikomaksiller suturda bulunmuştur [132]. MacGinnis ve ark, 800 gr kuvvet uygulayarak elde ettikleri 5 mm hızlı üst çene genişletmesine zigomatikomaksiller sutur, zigomatik proses, lateral pterigoid plak, palatal kemikte yoğun stres alanları bildirmiştir [176].

Timms, hızlı üst çene genişletmesi sırasında üst çene kemiğinin suturlar aracılığıyla ilişkide bulunduğu kemiklerin yer değiştirebildiğini, zigomatik proseslerin genişletmeye bir miktar direnç gösterdiklerini bildirmiştir. Pterigoid plakların da genişletmeye karşı direnç oluştuğunu ve az miktarda eğildiğini özellikle kafa kaidesine yakın bölgelerde bu direncin en fazla olduğunu rapor etmiştir [59]. Çalışmamızda her üç apareye ait gerilmeler medial ve lateral pterigoid plaklar için değerlendirildiğinde, her üç grupta da plakların daha sert olduğu kranial tabana yakın bölgelerde belirgin stres artışı görülürken, plakların inferior kısımlarında stres artışı görülmemiştir.

Hızlı üst çene genişletmesi sırasında ortaya çıkan kuvvetlerin nazal, sfenoid ve zigomatik bölgelerde oluşturduğu etkilerle hastalarda baş dönmesi, burun köprüsünde, göz altlarında ve elmacık kemikleri civarında basınç ve gerilme hissi meydana gelebileceği bildirilmiştir [60]. Çalışmamızda ortaya çıkan yoğun stres alanları ile hastalarda meydana gelen bu basınç hissi korelasyon göstermektedir.

Çalışmamızda dentoalveolar kemik bölgelerine ait von Mises gerilmeleri değerlendirildiğinde, hyrax genişletme vidasına ait maksimum gerilmeler molar diş alveolar kemik bölgesinde görülürken, fan type ve çift menteşeli genişletme vidasına ait maksimum

gerilmeler kanin diş alveoler kemik bölgesinde bulunmuştur. Bu durumun fan type ve çift menteşeli genişletme vidasının lateral yönde anterior bölgedeki etkisinin posteior bölgedeki etkisine oranla göreceli olarak daha fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünölmüştür. İşeri, Baldawa ve Bhad, hızlı üst çene genişletmesinin etkisinin değerlendirdikleri çalışmada kanin ve molar diş alveoler kemik bölgesinde diğer alveoler kemik bölgelerine göre yüksek stres alanları bulmuştur [17, 128]. Bu bulgu çalışmamızla kısmen uyum içindedir. Hyrax genişletme vidasında kanin diş alveoler kemik bölgesinde gerilmelerin çok az oluşunun sonlu elemanlar modelindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünölmektedir. Çalışmamızda maksiller darlığa sahip hasta seçimine bağlı olarak kanin dişlerin infrapozisyonda yer almasının bu sonucu etkileyebileceği de dikkate alınmalıdır.

Çalışmamızda her üç grupta da dental bölgelerde oluşan gerilmeler ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu durumun, yani her üç apareyin de diş destekli olmasına rağmen dental bölgelerde belirgin stres artışı görölmemesinin nedeninin sağ ve sol maksiller kemiğin ekspansiyon kuvvetleri karşında lateral yönde serbestçe hareket edebilmesi için uygulanan sınır şartından ileri geldiği düşünölmektedir. Benzer sebepten dolayı yine her üç apareyde A noktası, ANS ve PNS noktalarında da görölen gerilmeler ihmal edilebilecek düzeydedir. İşeri, Baldawa ve Bhad yaptıkları çalışmada benzer olarak üst santral kesici insizal kenarı ve molar diş tüberkül tepesinde, palatinal kemikte ve palatinal kemiğin anterior bölgesinde, oldukça düşük stres alanları bulmuştur. Hızlı üst çene genişletmesinin etkisinin değerlendirildiği bu çalışmalarda, çalışmamızdakine benzer şekilde maksillanın iki parçasının birbirine bağlı olmadığı ve lateral yönde serbestçe hareket edebilmeleri için sutural birleşimin olmadığı varsayılmıştır [17, 128].

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; hyrax, fan type ve çift menteşeli genişletme apareylerinin kraniyofasiyal ve dentoalveolar yapılarda oluşturduğu yer değiştirme ve gerilme dağılımları üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Her üç apareyde de maksiller genişleme kama şeklinde meydana gelmiştir.

Transversal yönde posteriora en fazla genişleme hyrax apareyinde olurken, anteriora çift menteşeli apareyde olmuştur. Üst çenenin öne doğru daraldığı vakalarda fan type ve çift menteşeli genişletme apareyi anterior çapraşıklığın çözülmesinde fayda sağlayabileceği düşünülebilir.

Lateral nazal duvarlar her üç apareyde de lateral, inferior ve anterior yönde yer değiştirmiştir. Benzer şekilde lateral ve medial pterigoid plaklar lateral eğilme göstermiştir.

Her üç apareyde de maksilla aşağı ve ileri doğru hareket etmiştir. Maksillanın aşağı yönde yer değiştirmesi hyrax apareyinde diğer apareylere kıyasla daha fazla bulunurken, maksillanın ileri doğru yer değiştirmesi çift menteşeli apareyde diğer apareylere kıyasla daha fazla bulunmuştur. Bu durumda çift menteşeli genişletme apareyinin hafif Sınıf III maloklüzyonların düzeltimine katkı sağlayabileceği düşünülebilir. Fakat maksillanın sagittal yöndeki yer değiştirme miktarları göz önünde bulundurulduğunda maloklüzyonların düzeltimi için her üç apareyinde tek başına bir tedavi yöntemi olamayacağı unutulmamalıdır.

Hyrax ve fan type apareylerinde maksillanın posterior rotasyonu gözlenirken, çift menteşeli apareyde paralel hareket gözlenmiştir.

Vertikal yönde yer değişimleri değerlendirildiğinde hyrax apareyinde incelenen tüm yapıların inferior yönde hareketi gözlenmiştir. Bu bulgular ışığında, hızlı üst çene genişletmesinde çift menteşeli ve fan type apareyinin hyrax apareyine göre vertikal kontrol sağlamada daha avantajlı olduğu düşünülebilir.

Dental bölgeler değerlendirildiğinde hyrax apareyinde görülen yer değiştirmeler posterior yöndedir. Fan type apareyinde, bazı bölgelerde minimal anterior yönde hareket gözlenirken, çift menteşeli apareyde anterior yönde görülen yer değiştirme miktarları diğerlerine göre daha fazladır. Dental yapılarda görülen bu yer değişimleri göz önünde bulundurulduğunda hyrax apareyinin dental Sınıf II maloklüzyonların, çift menteşeli apareyin

ise dental Sınıf III maloklüzyonların kamufraj tedavisinde yardımcı olarak rol alabileceği düşünülebilir.

En yüksek gerilmeler her üç apareyde de sutura zigomatikomaksillaris bölgesinde gözlenmiştir. Pterigomaksiller fissür, medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri, nazal bölgeye yakın yapılarda da fazla miktarda stres artışı gözlenmiştir. Bu yapılar genel olarak değerlendirildiğinde gerilme dağılımları en yüksek hyrax genişletme apareyinde görülürken, en düşük fan type genişletme apareyinde bulunmuştur.

Yetişkin hastalarda üst çene genişletmesinin verimliliğini arttırmak ve kemikte meydana gelebilecek mikro çatlaklar gibi olası komplikasyonları önlemek amacıyla cerrahi destekli bilateral pterigomaksiller ve zigomatik buttress osteotomileri uygulanabilir.

Sonlu elemanlar analizinin en önemli avantajı, canlı dokular üzerinde ölçüm yapmanın mümkün olmadığı alanlarda durumu simüle ederek gidişatı matematiksel olarak gözlemlemeye imkan tanınmasıdır. Buna rağmen sonlu elemanlar analizinin araştırmacılar tarafından oluşturulan bir suni bir durum olduğu ve bazı kısıtlamaları olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmada, anizotropik veriler mevcut olmadığı için materyallerin izotropik özelliklere sahip oldukları ve zamandan bağımsız oldukları varsayımı yapılmıştır. Gerçekte kemik zamana bağlı anizotropik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle modelde zamana bağlı değişikliğe izin veren ve viskoelastik malzeme özelliklerinin kullanıldığı çalışmalara ihtiyaç vardır. Aynı zamanda çalışmamız 12 yaşındaki bir hastanın model geometrisine sahip olduğu için sonuçlar yalnızca benzer kraniyofasiyal yapıya sahip hastalar için geçerlidir.

Klinik olarak hastada gerekli olan genişletme ihtiyacına göre 5 mm'den daha fazla genişletme yapılabilir. Bu durumda ortaya çıkacak değerler bu çalışmada verilenlerden daha farklı olacaktır. Bu nedenle çalışmada yer alan veriler, tüm klinik durumlar için baz alınmamalıdır.

Çalışmamızda yer değiştirme ve gerilme dağılımlarını değerlendirmek amacıyla tüm sağ ve sol simetrik yapıların ortalama değerleri baz alınmıştır. Ortalama değerlerin alınmasıyla sağ ve sol simetrik yapılar arasındaki farklılıklar göz ardı edilmiştir. Fakat sonuç görsellerindeki renk dağılımından da anlaşılacağı gibi sağ ve sol yapılar için gerilme ve yer değiştirme değerleri her zaman aynı miktarda ve yönde olmamıştır.

Yapılan analizlerin hesaplanmasını basitleştirmek için çiğneme ve yüz kasları, ligamanlar ve fasyalar gibi yumuşak dokuların modellenmesi yapılmamıştır. Fakat hızlı üst çene genişletmesi sırasında kraniyofasiyal ve dentoalveolar yapıların yer değiştirme ve gerilme dağılımını etkileyecek şekilde rol alabilirler. Bu sebeple yumuşak dokuların biyomekanik davranışları daha ayrıntılı araştırılmalıdır ve bu yumuşak dokuların uzun vadeli stabiliteyi etkileyebileceği unutulmamalıdır.

Tüm bu limitasyonlarına rağmen sonlu elemanlar analizi hızlı üst çene genişletmesinin sonuçlarını tahmin etmede güvenilir bir yöntemdir ve sonuçları klinikte rehber olarak kullanılabilir.



## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Bolu/Mudurnu'da doğdum. İlköğretimimi Dumlupınar İlköğretim Okulu'nda tamamladım. Bolu Fen Lisesi'nde dört yıllık lise eğitimim ardından 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'ne girmeye hak kazandım ve 2009 yılında aynı fakülteden mezun oldum. 2012 yılında Diş Hekimliğinde Uzmanlık Sınavı ile Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda uzmanlık programına başladım. Hala aynı anabilim dalında uzmanlık öğrencisi olarak görev yapmaktayım.



## KAYNAKLAR

1. McNamara, J.A., Maxillary transverse deficiency. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2000. 117(5): p. 567-570.
2. Proffit, W.R., H.W. Fields Jr, and D.M. Sarver, *Contemporary orthodontics*. 2014: Elsevier Health Sciences.
3. Graber, L.W., R.L. Vanarsdall Jr, and K.W. Vig, *Orthodontics: current principles and techniques*. 2011: Elsevier Health Sciences.
4. Bishara, S.E., P.S. Burkey, and J.G. Kharouf, Dental and facial asymmetries: a review. *The Angle orthodontist*, 1994. 64(2): p. 89-98.
5. Howe, R.P., J.A. McNamara, and K.A. O'Connor, An examination of dental crowding and its relationship to tooth size and arch dimension. *American journal of orthodontics*, 1983. 83(5): p. 363-373.
6. Bishara, S.E. and R.N. Staley, Maxillary expansion: clinical implications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1987. 91(1): p. 3-14.
7. Kuroi, J. and L. Berglund, Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *The European Journal of Orthodontics*, 1992. 14(3): p. 173-179.
8. Hartgerink, D.V., et al., The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1987. 92(5): p. 381-389.
9. Marshall, S.D., K.A. Southard, and T.E. Southard. Early transverse treatment. in *Seminars in Orthodontics*. 2005. Elsevier.
10. Dutra, A.L.T., et al., Assessment of treatment for functional posterior cross-bites in patients at the deciduous dentition phase. *Brazilian dental journal*, 2004. 15(1): p. 54-58.
11. de Silva Fo, O.G., C.V. Boas, and L.F. Capelozza, Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1991. 100(2): p. 171-179.
12. Angell, E., Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dental Cosmos*, 1860. 1(1): p. 540-4.
13. Frank, S.W. and G.A. Engel, The effects of maxillary quad-helix appliance expansion on cephalometric measurements in growing orthodontic patients. *American journal of orthodontics*, 1982. 81(5): p. 378-389.
14. Haas, A.J., Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist*, 1961. 31(2): p. 73-90.
15. Stambach, H., et al., Facioskeletal And Dental Changes Resulting From Rapid Maxillary Expansion\*. *The Angle Orthodontist*, 1966. 36(2): p. 152-164.
16. Timms, D.J., Rapid maxillary expansion. 1981: Eur Orthodontic Soc.



17. Işeri, H., et al., Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *The European Journal of Orthodontics*, 1998. 20(4): p. 347-356.
18. Gautam, P., A. Valiathan, and R. Adhikari, Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2007. 132(1): p. 5. e1-5. e11.
19. Knop, L., et al., Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental press journal of orthodontics*, 2015. 20(2): p. 119-125.
20. Doruk, C. and D.A.A. Bicakci, Rapid Maksiller Ekspansiyon.
21. Haas, A., Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *The Angle orthodontist*, 1980. 50(3): p. 189-217.
22. Haas, A.J., The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *The Angle orthodontist*, 1965. 35(3): p. 200-217.
23. Andrews, L.F., The six keys to normal occlusion. *American journal of orthodontics*, 1972. 62(3): p. 296-309.
24. M, Ü., Ortodonti, anomaliler, sefalometri, etiyoloji, büyüme ve gelişim, tanı. TC Yeditepe Üniversitesi Yayınları, 2000(2).
25. McDonald, R.E. and D.R. Avery, *Dentistry for the Child and Adolescent*. Vol. 323024505. ISBN.
26. Kutin, G. and R.R. Hawes, Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *American journal of orthodontics*, 1969. 56(5): p. 491-504.
27. Moyers, R., *Handbook of Orthodontics for the Student and General Practitioner* Year Book Medical Publishers Inc. 1973, Chicago.
28. Lux, C.J., et al., Transverse development of the craniofacial skeleton and dentition between 7 and 15 years of age—a longitudinal postero-anterior cephalometric study. *The European Journal of Orthodontics*, 2004. 26(1): p. 31-42.
29. Pinto, A.S., et al., Morphological and positional asymmetries of young children with functional unilateral posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2001. 120(5): p. 513-520.
30. Gelgör, I., A. Karaman, and E. Ercan, Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *Eur J Dent*, 2007. 1(3): p. 125-131.
31. Isaacson, R.J. and T.D. Murphy, Some Effects Of Rapid Maxillary Expansion In Cleft Lip And Palate Patients. *The Angle Orthodontist*, 1964. 34(3): p. 143-154.
32. Wang, Y., et al., Comparative study of maxillary growth and occlusal outcome after autogenous rib grafting in complete cleft palate defect. *Journal of Craniofacial surgery*, 2006. 17(1): p. 68-79.
33. Harvold, E.P., et al., Primate experiments on oral respiration. *American journal of orthodontics*, 1981. 79(4): p. 359-372.
34. Behlfelt, K., et al., Dentition in children with enlarged tonsils compared to control children. *The European Journal of Orthodontics*, 1989. 11(4): p. 416-429.

35. Ülgen, M., İ. Üniversitesi, and D.H. Fakültesi, Ortodontik tedavi prensipleri. 1986: Dicle Üniversitesi.
36. Odont, E.L., Sucking, chewing, and feeding habits and the development of crossbite: a longitudinal study of girls from birth to 3 years of age. *The Angle orthodontist*, 2001. 71(2): p. 116-119.
37. Larsson, E., The effect of dummy-sucking on the occlusion: a review. *The European Journal of Orthodontics*, 1986. 8(2): p. 127-130.
38. Suri, L. and P. Taneja, Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 133(2): p. 290-302.
39. Betts, N., et al., Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*, 1994. 10(2): p. 75-96.
40. Ricketts, R.M., Perspectives in the clinical application of cephalometrics: the first fifty years. *The Angle orthodontist*, 1981. 51(2): p. 115-150.
41. Macchi, A., et al., Three-dimensional digital modeling and setup. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2006. 129(5): p. 605-610.
42. Staley, R.N., W.R. Stuntz, and L.C. Peterson, A comparison of arch widths in adults with normal occlusion and adults with Class II, Division 1 malocclusion. *American journal of orthodontics*, 1985. 88(2): p. 163-169.
43. Thilander, B., S. Wahlund, and B. Lennartsson, The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *The European Journal of Orthodontics*, 1984. 6(1): p. 25-34.
44. Lindner, A., Longitudinal study on the effect of early interceptive treatment in 4-year-old children with unilateral cross-bite. *European Journal of Oral Sciences*, 1989. 97(5): p. 432-438.
45. Erdiñç, A.E., T. Ugur, and E. Erbay, A comparison of different treatment techniques for posterior crossbite in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1999. 116(3): p. 287-300.
46. Herold, J.S., Maxillary expansion: a retrospective study of three methods of expansion and their long-term sequelae. *British journal of orthodontics*, 1989. 16(3): p. 195-200.
47. Lagravere, M.O., P.W. Major, and C. Flores-Mir, Skeletal and dental changes with fixed slow maxillary expansion treatment: a systematic review. *The Journal of the American Dental Association*, 2005. 136(2): p. 194-199.
48. Hicks, E.P., Slow maxillary expansion: a clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *American journal of orthodontics*, 1978. 73(2): p. 121-141.
49. Bell, R.A., A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *American journal of orthodontics*, 1982. 81(1): p. 32-37.
50. Zimring, J.F. and R.J. Isaacson, Forces produced by rapid maxillary expansion: III. Forces present during retention. *The Angle orthodontist*, 1965. 35(3): p. 178-186.

51. Mew, J., Semi-rapid maxillary expansion. *British dental journal*, 1977. 143(9): p. 301-306.
52. Sandikçiolu, M. and S. Hazar, Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1997. 111(3): p. 321-327.
53. İseri, H. and S. Özsoy, Semirapid maxillary expansion-a study of long-term transverse effects in older adolescents and adults. *The Angle orthodontist*, 2004. 74(1): p. 71-78.
54. Ramoglu, S.I. and Z. Sari, Maxillary expansion in the mixed dentition: rapid or semi-rapid? *The European Journal of Orthodontics*, 2009: p. cjp057.
55. Isaacson, R.J. and A.H. Ingram, Forces produced by rapid maxillary expansion: II. Forces present during treatment. *The Angle Orthodontist*, 1964. 34(4): p. 261-270.
56. Kocadereli, I., Rapid Maksiller Ekspansiyon. *Turkish Journal of Orthodontics*, 1996. 9(1): p. 138-142.
57. Lamparski, D.G., et al., Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 123(3): p. 321-328.
58. Lines, P.A., Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *American journal of orthodontics*, 1975. 67(1): p. 44-56.
59. Timms, D.J., A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics*, 1980. 77(5): p. 500-507.
60. Haas, A.J., Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American journal of orthodontics*, 1970. 57(3): p. 219-255.
61. Wertz, R.A., Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American journal of orthodontics*, 1970. 58(1): p. 41-66.
62. Christie, T. and P. Ruedemann, Rapid separation of the mid-palatal suture. *JPO: the journal of practical orthodontics*, 1967. 1(1): p. 19-21.
63. Başçiftçi, F., et al., Prevalence of orthodontic malocclusions in Konya region school children. *Turkish Journal of Orthodontics*, 2002. 15: p. 92-98.
64. Bicakci, A.A., et al., Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing. *The Angle orthodontist*, 2005. 75(1): p. 1-6.
65. Franchi, L. and T. Baccetti, Transverse maxillary deficiency in Class II and Class III malocclusions: a cephalometric and morphometric study on postero-anterior films. *Orthodontics & craniofacial research*, 2005. 8(1): p. 21-28.
66. Lima, A.C., et al., Spontaneous mandibular arch response after rapid palatal expansion: a long-term study on Class I malocclusion. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2004. 126(5): p. 576-582.
67. Thilander, B. and B. Lennartsson, A study of children with unilateral posterior crossbite, treated and untreated, in the deciduous dentition occlusal and skeletal characteristics of significance in predicting the long-term outcome. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2002. 63(5): p. 371-383.

68. Van Keulen, C., G. Martens, and L. Dermaut, Unilateral posterior crossbite and chin deviation: is there a correlation? *The European Journal of Orthodontics*, 2004. 26(3): p. 283-288.
69. Spolyar, J.L., The design, fabrication, and use of a full-coverage bonded rapid maxillary expansion appliance. *American journal of orthodontics*, 1984. 86(2): p. 136-145.
70. Baccetti, T., et al., Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1998. 113(3): p. 333-343.
71. McNamara, J.A., W.L. Brudon, and V.G. Kokich, *Orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2001: Needham Press.
72. Gianelly, A.A., Rapid palatal expansion in the absence of crossbites: added value? *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2003. 124(4): p. 362-365.
73. McNamara, J.A., Early intervention in the transverse dimension: is it worth the effort? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2002. 121(6): p. 572-574.
74. Björk, A. and V. Skieller, Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery*, 1974. 8(1-2): p. 26-33.
75. Melsen, B., Palatal growth studied on human autopsy material: a histologic microradiographic study. *American journal of orthodontics*, 1975. 68(1): p. 42-54.
76. Persson, M. and B. Thilander, Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American journal of orthodontics*, 1977. 72(1): p. 42-52.
77. Alpern, M.C. and J.J. Yurosko, Rapid palatal expansion in adults: with and without surgery. *The Angle orthodontist*, 1987. 57(3): p. 245-263.
78. Kinner, F. and K.D. Schlegel, The anatomic basics for palatal implants in orthodontics. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 2002. 17(2): p. 133-139.
79. Angelieri, F., et al., Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. 144(5): p. 759-769.
80. Baccetti, T., et al., Treatment timing for rapid maxillary expansion. *The Angle orthodontist*, 2001. 71(5): p. 343-350.
81. Sari, Z., et al., Rapid maxillary expansion. Is it better in the mixed or in the permanent dentition? *The Angle orthodontist*, 2003. 73(6): p. 654-661.
82. Biederman, W., Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion. *American journal of orthodontics*, 1973. 63(1): p. 47-55.
83. Biederman, W., A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics*, 1968. 2(2): p. 67-70.
84. Schuster, G., I. Borel-Scherf, and P.M. Schopf, Frequency of and complications in the use of RPE appliances—results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2005. 66(2): p. 148-161.

85. Alessandri, B.G., I. Marini, and R. Rizzi, Disconnectable rapid palatal expander. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 1996. 30(6): p. 334.
86. Schellino, E., REM: la vite ragno secondo Schellino e Modica. *Boll Interm Orthod. Leone*, 1996. 55: p. 36-39.
87. Cozza, P., A. Giancotti, and A. Petrosino, Butterfly expander for use in the mixed dentition. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 1999. 33(10): p. 583.
88. Wichelhaus, A., M. Geserick, and J. Ball, A new nickel titanium rapid maxillary expansion screw. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 2004. 38(12): p. 677-80; quiz 671-2.
89. Davidovitch, M., et al., Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2-versus 4-band appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2005. 127(4): p. 483-492.
90. Liou, E., Toothborne orthopedic maxillary protraction in Class III patients. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 2005. 39(2): p. 68-75.
91. Cohen, M. and E. Silverman, A new and simple palate splitting device. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 1973. 7(6): p. 368-369.
92. Agarwal, A. and R. Mathur, Maxillary expansion. *J Clin PediatR Dent*, 2010. 3(3): p. 139-146.
93. McNamara Jr, J.A., An orthopedic approach to the treatment of Class III malocclusion in young patients. *Journal of clinical orthodontics: JCO*, 1987. 21(9): p. 598-608.
94. Reed, N., J. Ghosh, and R.S. Nanda, Comparison of treatment outcomes with banded and bonded RPE appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1999. 116(1): p. 31-40.
95. Doruk, C., et al., A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *The Angle orthodontist*, 2004. 74(2): p. 184-194.
96. Gardner, G.E. and J.H. Kronman, Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey. *American journal of orthodontics*, 1971. 59(2): p. 146-155.
97. Kudlick, E., A study utilizing direct human skulls as models to determine how bones of the craniofacial complex are displaced under the influence of midpalatal expansion Master's thesis. Rutherford, NJ: Fairleigh Dickinson University, 1973.
98. Jafari, A., K.S. Shetty, and M. Kumar, Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces-a three-dimensional FEM study. *The Angle orthodontist*, 2003. 73(1): p. 12-20.
99. Wang, Y.-C., P.M. Chang, and E.J.-W. Liou, Opening of circumaxillary sutures by alternate rapid maxillary expansions and constrictions. *The Angle Orthodontist*, 2009. 79(2): p. 230-234.
100. Weissheimer, A., et al., Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2011. 140(3): p. 366-376.

101. Tausche, E., et al., Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: a pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2007. 131(4): p. S92-S99.
102. Pangrazio-Kulbersh, V., et al., CBCT assessment of alveolar buccal bone level after RME. *The Angle Orthodontist*, 2012. 83(1): p. 110-116.
103. Lione, R., et al., Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2008. 134(3): p. 389-392.
104. Garrett, B.J., et al., Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2008. 134(1): p. 8. e1-8. e11.
105. Kanomi, R., et al., CBCT of skeletal changes following rapid maxillary expansion to increase arch-length with a development-dependent bonded or banded appliance. *The Angle Orthodontist*, 2013. 83(5): p. 851-857.
106. Inoue, N., et al., Radiographic observation of rapid expansion of human maxilla. *The Bulletin of Tokyo Medical and Dental University*, 1970. 17(3): p. 249-261.
107. Ekström, C., C.O. Henrikson, and R. Jensen, Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *American journal of orthodontics*, 1977. 71(4): p. 449-455.
108. Krebs, A. Midpalatal suture expansion studies by the implant method over a seven-year period. in *Report of the Congress. European Orthodontic Society*. 1964.
109. Sarver, D.M. and M.W. Johnston, Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1989. 95(6): p. 462-466.
110. Asanza, S., G.J. Cisneros, and L.G. Nieberg, Comparison of Hyrax and bonded expansion appliances. *The Angle orthodontist*, 1997. 67(1): p. 15-22.
111. Basciftci, F. and A. Karaman, Effects of a modified acrylic bonded rapid maxillary expansion appliance and vertical chin cap on dentofacial structures. *The Angle orthodontist*, 2002. 72(1): p. 61-71.
112. Oliveira, N.L., et al., Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2004. 126(3): p. 354-362.
113. Cotton, L.A., Slow maxillary expansion: skeletal versus dental response to low magnitude force in *Macaca mulatta*. *American Journal of Orthodontics*, 1978. 73(1): p. 1-23.
114. Lagravère, M.O., et al., Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2010. 137(3): p. 304. e1-304. e12.
115. Byrum, A.G., Evaluation of anterior-posterior and vertical skeletal change vs. dental change in rapid palatal expansion cases as studied by lateral cephalograms. *American journal of orthodontics*, 1971. 60(4): p. 419.

116. da Silva Filho, O.G., L.A. do Prado Montes, and L.F. Torelly, Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1995. 107(3): p. 268-275.
117. Davis, W.M. and J.H. Kronman, Anatomical Changes Induced by Splitting of the Midpalatal Suture\*. *The Angle Orthodontist*, 1969. 39(2): p. 126-132.
118. Lebret, L.M., Changes in the palatal vault resulting from expansion. *The Angle Orthodontist*, 1965. 35(2): p. 97-105.
119. Velázquez, P., E. Benito, and L.A. Bravo, Rapid maxillary expansion. A study of the long-term effects. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1996. 109(4): p. 361-367.
120. Lagravere, M.O., P.W. Major, and C. Flores-Mir, Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *The Angle orthodontist*, 2005. 75(6): p. 1046-1052.
121. Adkins, M.D., R.S. Nanda, and G.F. Currier, Arch perimeter changes on rapid palatal expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1990. 97(3): p. 194-199.
122. Kiliç, N. and H. Oktay, Effects of rapid maxillary expansion on nasal breathing and some naso-respiratory and breathing problems in growing children: a literature review. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 2008. 72(11): p. 1595-1601.
123. Timms, D.J., Rapid maxillary expansion in the treatment of nocturnal enuresis. *The Angle Orthodontist*, 1990. 60(3): p. 229-233.
124. Usumez, S., et al., Effect of rapid maxillary expansion on nocturnal enuresis. *The Angle orthodontist*, 2003. 73(5): p. 532-538.
125. Laptook, T., Conductive hearing loss and rapid maxillary expansion: Report of a case. *American journal of orthodontics*, 1981. 80(3): p. 325-331.
126. Holberg, C. and I. Rudzki-Janson, Stresses at the cranial base induced by rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*, 2006. 76(4): p. 543-550.
127. Provatidis, C., et al., Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo/in vitro and finite element studies. *The European Journal of Orthodontics*, 2008. 30(5): p. 437-448.
128. Baldawa, R.S. and W.A. Bhad, Stress distribution analysis during an intermaxillary dysjunction: A 3-D FEM study of an adult human skull. *Annals of maxillofacial surgery*, 2011. 1(1): p. 19.
129. Lee, H.K., et al., Stress distribution and displacement by different bone-borne palatal expanders with micro-implants: a three-dimensional finite-element analysis. *The European Journal of Orthodontics*, 2012: p. cjs063.
130. Ludwig, B., et al., Application of a new viscoelastic finite element method model and analysis of miniscrew-supported hybrid hyrax treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. 143(3): p. 426-435.

131. de Sousa Araugio, R.M., et al., Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: a study with finite elements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. 143(2): p. 221-227.
132. Lee, S.C., et al., Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2014. 145(5): p. 638-648.
133. Geramy, A. and A.S. Shahroudi, Fixed versus Removable Appliance for Palatal Expansion; A 3D Analysis Using the Finite Element Method. *Journal of Dentistry of Tehran University of Medical Sciences*, 2014. 11(1): p. 75-84.
134. Matsuyama, Y., et al., Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *The European Journal of Orthodontics*, 2014: p. cju033.
135. Kumar, A., H. Ghafoor, and A. Khanam, A comparison of three-dimensional stress distribution and displacement of naso-maxillary complex on application of forces using quad-helix and nickel titanium palatal expander 2 (NPE2): a FEM study. *Progress in orthodontics*, 2016. 17(1): p. 1-9.
136. Geramy, A., Initial stress produced in the periodontal membrane by orthodontic loads in the presence of varying loss of alveolar bone: a three-dimensional finite element analysis. *European Journal of orthodontics*, 2002. 24(1): p. 21-34.
137. Mahler, D. and F. Peyton, Photoelasticity as a research technique for analyzing stresses in dental structures. *Journal of Dental Research*, 1955. 34(6): p. 831-838.
138. Dally, J.W., W.F. Riley, and A. Kobayashi, Experimental stress analysis. *Journal of Applied Mechanics*, 1978. 45: p. 968.
139. Caputo, A.A. and J.P. Standlee, *Biomechanics in clinical dentistry*. 1987: Quintessence Publishing (IL).
140. Hancı M., B.E., Arpacı A., ed. *Biyomekanik*. 2000, Logos yayıncılık: İstanbul.
141. Burstone, C.J. and R.J. Pryputniewicz, Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *American journal of orthodontics*, 1980. 77(4): p. 396-409.
142. Tjr., H., *The Infinite Element Method*. 1987, New Jersey:Prentice-Hall.
143. Moaveni, S., *Finite element analysis: theory and application with ANSYS*. 2003: Pearson Education India.
144. Ramoğlu, S. and O. Ozan, *Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi*. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2014. 9(9).
145. Geng, J.-P., K.B. Tan, and G.-R. Liu, Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2001. 85(6): p. 585-598.
146. Wakabayashi, N., et al., Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *Journal of dentistry*, 2008. 36(7): p. 463-471.
147. Ledley, R.S. and H.K. Huang, Linear model of tooth displacement by applied forces. *Journal of dental research*, 1968. 47(3): p. 427-432.



148. Davidian, E.J., Use of a computer model to study the force distribution on the root of the maxillary central incisor. *American journal of orthodontics*, 1971. 59(6): p. 581-588.
149. Holmgren, E.P., et al., Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis—a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *Journal of Oral Implantology*, 1998. 24(2): p. 80-88.
150. Inan, M., *Cisimlerin Mukavemeti*, IT Ü Yayınları, 6. 1988, Baskı.
151. Tosun, Y., *Sabit ortodontik apareylerin biyomekanik prensipleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi, 1999: p. 6-7.
152. Nanda, R., *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. 2005: Elsevier Health Sciences.
153. Mow, V.C. and R. Huiskes, *Basic orthopaedic biomechanics & mechano-biology*. 2005: Lippincott Williams & Wilkins.
154. Kutz, M., *Mechanical engineers' handbook*. 1998: Wiley.
155. Skinner, E.W. and R.W. Phillips, *The science of dental materials*. 1960: WB Saunders company.
156. Craig, R.G., F.A. Peyton, and K. Asgar, *Restorative dental materials*. 1975: Mosby.
157. Greener, E.H., J.K. Harcourt, and E.P. Lautenschlager, *Materials science in dentistry*. 1972: Williams & Wilkins.
158. Marghitu, D.B., *Mechanical engineer's handbook*. 2001: academic press.
159. Cattaneo, P., M. Dalstra, and B. Melsen, The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *Journal of dental research*, 2005. 84(5): p. 428-433.
160. Gallas, M., et al., Three-dimensional numerical simulation of dental implants as orthodontic anchorage. *The European Journal of Orthodontics*, 2005. 27(1): p. 12-16.
161. Hughes, T.J., *The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis*. 2012: Courier Corporation.
162. Shaw, A., G. Sameshima, and H. Vu, Mechanical stress generated by orthodontic forces on apical root cementum: a finite element model. *Orthodontics & craniofacial research*, 2004. 7(2): p. 98-107.
163. Yoshida, N., et al., Experimental evaluation of initial tooth displacement, center of resistance, and center of rotation under the influence of an orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2001. 120(2): p. 190-197.
164. Özkaya, N., et al., *Fundamentals of biomechanics: equilibrium, motion, and deformation*. 2012: Springer Science & Business Media.
165. Schlenker, B.R., *Introduction to materials science*. 1974: J. Wiley.
166. Chen, F., et al., Anchorage effect of palatal implants under various forces: A finite element study. *orthodontic waves*, 2006. 65(1): p. 1-8.

167. Ismail, S.F., J. Moss, and R. Hennessy, Three-dimensional assessment of the effects of extraction and nonextraction orthodontic treatment on the face. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2002. 121(3): p. 244-256.
168. Jeon, P.D., P.K. Turley, and K. Ting, Three-dimensional finite element analysis of stress in the periodontal ligament of the maxillary first molar with simulated bone loss. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2001. 119(5): p. 498-504.
169. Kusnoto, B. and C.A. Evans, Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2002. 122(4): p. 342-348.
170. Richmond, B.G., et al., Finite element analysis in functional morphology. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 2005. 283(2): p. 259-274.
171. Koriath, T. and A. Versluis, Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 1997. 8(1): p. 90-104.
172. Van Staden, R.C., H. Guan, and Y.-C. Loo, Application of the finite element method in dental implant research. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 2006. 9(4): p. 257-270.
173. Shetty, P., A. Hegde, and K. Rai, Finite Element Method—An Effective Research Tool for Dentistry. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 2010. 34(3): p. 281-285.
174. Medetalibeyoğlu, F., et al., Mini Vida Yerleştirilmiş Manbidulada Kortikal Kemik Kalınlığına Bağlı Olarak Gerilmelerin İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2012. 16(3).
175. Lee, H., et al., Biomechanical effects of maxillary expansion on a patient with cleft palate: A finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2016. 150(2): p. 313-323.
176. MacGinnis, M., et al., The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (marpe) on the nasomaxillary complex—a finite element method (FEM) analysis. *Progress in orthodontics*, 2014. 15(1): p. 52.
177. Boryor, A., et al., Stress distribution and displacement analysis during an intermaxillary disjunction—a three-dimensional FEM study of a human skull. *Journal of biomechanics*, 2008. 41(2): p. 376-382.
178. Boryor, A., et al., In-vitro results of rapid maxillary expansion on adults compared with finite element simulations. *Journal of biomechanics*, 2010. 43(7): p. 1237-1242.
179. Tanne, K., et al., An evaluation of the biomechanical response of the tooth and periodontium to orthodontic forces in adolescent and adult subjects. *Journal of Orthodontics*, 1998. 25(2): p. 109-115.
180. Gupta, A., et al., Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a 3-dimensional finite element method study. Part 1. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2009. 135(6): p. 737-748.

181. Tanne, K., et al., Biomechanical effect of anteriorly directed extraoral forces on the craniofacial complex: a study using the finite element method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1989. 95(3): p. 200-207.
182. Vásquez, M., et al., Initial stress differences between sliding and sectional mechanics with an endosseous implant as anchorage: a 3-dimensional finite element analysis. *The Angle Orthodontist*, 2001. 71(4): p. 247-256.
183. Hong, H.R., et al., Effect of implant position, angulation, and attachment height on peri-implant bone stress associated with mandibular two-implant overdentures: a finite element analysis. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 2012. 27(5).
184. Barbier, L., et al., Finite element analysis of non-axial versus axial loading of oral implants in the mandible of the dog. *Journal of oral rehabilitation*, 1998. 25(11): p. 847-858.
185. Wang, D., et al., Biomechanical analysis of rapid maxillary expansion in the UCLP patient. *Medical engineering & physics*, 2009. 31(3): p. 409-417.
186. Henderson, J.H., M.T. Longaker, and D.R. Carter, Sutural bone deposition rate and strain magnitude during cranial development. *Bone*, 2004. 34(2): p. 271-280.
187. Jeon, P.D., et al., Analysis of stress in the periodontium of the maxillary first molar with a three-dimensional finite element model. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1999. 115(3): p. 267-274.
188. Lee, H., et al., Maxillary expansion in customized finite element method models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2009. 136(3): p. 367-374.
189. Cross, D.L. and J.P. McDonald, Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study. *The European Journal of Orthodontics*, 2000. 22(5): p. 519-528.
190. Chaconas, S.J. and A.A. Caputo, Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *American journal of orthodontics*, 1982. 82(6): p. 492-501.
191. Kudlick, E., A study utilizing direct human skulls as models to determine how bones of the craniofacial complex are displaced under the influence of midpalatal expansion. Rutherford, NJ: Fairleigh Dickinson University, 1973.
192. Gomes de Oliveira, S., et al., Tooth displacement due to occlusal contacts: a three-dimensional finite element study. *Journal of oral rehabilitation*, 2006. 33(12): p. 874-880.
193. Holberg, C., S. Steinhäuser, and I. Rudzki, Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2007. 132(6): p. 776-782.
194. De Assis, D., et al., Finite element analysis of stress distribution in anchor teeth in surgically assisted rapid palatal expansion. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2013. 42(9): p. 1093-1099.
195. Tanaka, O.M., et al., Stresses in the midpalatal suture in the maxillary protraction therapy: a 3D finite element analysis. *Progress in orthodontics*, 2016. 17(1): p. 1.

196. Holberg, C., et al., Biomechanical analysis of maxillary expansion in CLP patients. *The Angle orthodontist*, 2007. 77(2): p. 280-287.
197. Akça, K. and H. İplikçioğlu, Finite element stress analysis of the influence of staggered versus straight placement of dental implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 2001. 16(5).
198. Holberg, C., S. Steinhäuser, and I. Rudzki-Janson, Rapid maxillary expansion in adults: cranial stress reduction depending on the extent of surgery. *The European Journal of Orthodontics*, 2007. 29(1): p. 31-36.
199. Melsen, B. and F. Melsen, The postnatal development of the palatomaxillary region studied on human autopsy material. *American journal of orthodontics*, 1982. 82(4): p. 329-342.
200. Isaacson, R., J. Wood, and A. Ingram, Forces produced by rapid maxillary expansion. Part I. Design of the force measuring system. *Angle Orthod*, 1964. 34: p. 256-260.
201. Sicher, H., *Oral anatomy*. 1965: CV Mosby Company.
202. Huang, C., et al., Maxillary displacement after rapid maxillary expansions: An animal study. *J. Taiwan Assoc. Orthod.*, Taipei, 2008. 20(2): p. 19-31.
203. EJ., L., Interview. *Rev Dent Press Ortodon Ortop Facial*, 2009. 14(5).
204. Yilmaz, B.S. and N. Kucukkeles, Skeletal, soft tissue, and airway changes following the alternate maxillary expansions and constrictions protocol. *The Angle Orthodontist*, 2014. 85(1): p. 117-126.
205. Çörekçi, B. and Y.B. Göyenc, Dentofacial changes from fan-type rapid maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion in early mixed dentition: A prospective clinical trial. *The Angle Orthodontist*, 2013. 83(5): p. 842-850.
206. Yavuz İ., A.N., Konvansiyonel ve Fan Tipi Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Dentoalveolar Yapılar Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması Atatürk Üniv. Diş Hek. Fak. Derg., 2006. 16(1): p. 1-7.
207. Pavlin, D. and D. Vukicevic, Mechanical reactions of facial skeleton to maxillary expansion determined by laser holography. *American journal of orthodontics*, 1984. 85(6): p. 498-507.
208. Jain, V., et al., Comparison and evaluation of stresses generated by rapid maxillary expansion and the implant-supported rapid maxillary expansion on the craniofacial structures using finite element method of stress analysis. *Progress in Orthodontics*, 2017. 18(1): p. 3.
209. Wertz, R.A., Changes in nasal airflow incident to rapid maxillary expansion. *The Angle orthodontist*, 1968. 38(1): p. 1-11.
210. Hershey, H.G., B.L. Stewart, and D.W. Warren, Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics*, 1976. 69(3): p. 274-284.



T.C.  
BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 71306642-050.01.04-  
Konu : Etik Kurul Kararı

Sayın Doç.Dr. Sabri İlhan RAMOĞLU  
Ortodonti Anabilim Dalı - Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı

09.09.2015 tarihinde yapılan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu toplantısında "Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Kullanılan Üç Farklı Apeayin Kraniyofasiyal Sistem Üzerine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi" başlıklı başvurunuz değerlendirilmiş olup karar yazısı ektedir.  
Bilgilerinize.

Prof.Dr. Reha ERKOÇ  
Başkan

EK :  
Karar yazısı (3 sayfa)

15/09/2015 Mem. : M.İNCE  
15/09/2015 Mem. : A.KUTLU IŞIK

**Mevcut Elektronik İmzalar**

REHA ERKOÇ (Klinik Araştırmalar Etik Kurulu - Başkan) 15/09/2015 20:13

Bezmialem Vakıf Üniversitesi Adnan Menderes Bulvarı (Vatan  
Caddesi) Fatih / İstanbul  
Tel: 0 (212) 523 22 88  
E-Posta: info@bezmialem.edu.tr

Ayrıntılı bilgi için irtibat: Merve İnce  
Faks: 0 (212) 533 23 26  
Elektronik ağ: www.bezmialem.edu.tr

Bu belge 5070 sayılı Elektronik İmza Kanununun 5. Maddesi gereğince güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

**BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU (2011-KAEK-42) KARAR FORMU**

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Kullanılan Üç Farklı Apeayın Kraniofasiyal Sistem Üzerine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	

09.09.2015

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
	AÇIK ADRESİ:	Adnan Menderes Bulvarı Vatan caddesi 34093 Fatih/İstanbul
	TELEFON	(0212) 523 22 88 - 1028
	FAKS	(0212) 533 23 26
	E-POSTA	etikkurulu@bezmialcem.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Doç. Dr. Sabri İlhan RAMOĞLU			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Ortodonti			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi			
	VARSA İDARI SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI	-			
	DESTEKLEYİCİ	Bezmialem Vakıf Üniversitesi BAP Birimi' ne başvuru yapılacaktır.			
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	-			
	ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 2	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 3	<input type="checkbox"/>		
		FAZ 4	<input type="checkbox"/>		
Gözlemsel ilaç çalışması		<input type="checkbox"/>			
Tıbbi cihaz klinik araştırması		<input type="checkbox"/>			
İn vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları		<input type="checkbox"/>			
İlaç dışı klinik araştırma (akademik amaçlı / uzmanlık tezi)		<input checked="" type="checkbox"/>	Güvenilirlik, Etklilik		
DİĞER İSE BELİRTİNİZ					
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>	

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	01.09.2015	1	Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	-	-	Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>

Etik Kurul Başkanı  
Prof. Dr. Reha ERKÖÇ

Sayfa 1 / 3

BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU (2011-KAEK-42) KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI		Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Kullanılan Üç Farklı Apeayın Kraniyofasiyal Sistem Üzerine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi	
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU			
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı		Açıklama
	SİGORTA	<input type="checkbox"/>	
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	<input checked="" type="checkbox"/>	
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	<input type="checkbox"/>	
	İLAN	<input type="checkbox"/>	
	YILLIK BİLDİRİM	<input type="checkbox"/>	
	SONUÇ RAPORU	<input type="checkbox"/>	
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	<input type="checkbox"/>	
DİĞER:	<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sorumlu araştırmacı ve yardımcı araştırmacıya ait özgeçmiş formları</li> <li>- Çalışmanın Helsinki Bildirgesi, İKU/İLU'ya uygun yürütüleceğine dair taahhütname</li> <li>- Araştırma ile ilgili yayınlar</li> </ul>	
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 17 / 18	Tarih: 09.09.2015	
	<p>Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmacının/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmacının/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.</p> <p>İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.</p>		

Etik Kurul Başkanı  
Prof. Dr. Reha BRKÖC

Sayfa 2 / 3

**BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU (2011-KAEK-42) KARAR FORMU**

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Kullanılan Üç Farklı Apeayın Kraniofasiyal Sistem Üzerine Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	
<b>BEZMİALEM VAKIF ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU</b>	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr. Reha ERKOÇ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım *		İmza
			E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Reha ERKOÇ	İç Hastalıkları	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Orhan ÖZTURAN	Kulak Burun ve Boğaz Hastalıkları	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Faruk ÖKTEM	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Özcan KARAMAN	İç Hastalıkları	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Prof. Dr. Adem KIRIŞ	Radyoloji	Mehmet Akif Ersoy G.K.D.C Eğitim Araştırma Hastanesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Ahmet MIHMANLI	Ağız-Diş ve Çene Cerrahisi	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Hayrullah KÖSE	Biyofizik	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Doç. Dr. Ertuğrul KAYA	Tıbbi Farmakoloji	Düzce Üniversitesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Yrd. Doç. Dr. Ömer UYSAL	Bioistatistik ve Tıp Bilişimi	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Yrd. Doç. Dr. İbrahim TOPÇU	Deontoloji ve Tıp Tarihi	Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Mehmet AKHOROZ	Emekli	Kurum Dışı	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	
Avukat Aybüke EKİCİ	Hukuk	Bezmialem Vakıf Üniversitesi	E <input type="checkbox"/>	K <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	

\* :Toplantıda Bulunma

**Karar:**  Onaylandı  Reddedildi

Sayfa 3 / 3

Etik Kurul Başkanı  
Prof. Dr. Reha ERKOÇ