



**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA
TEZİ**

**MAKSİLLADA KORTİKOTOMİLİ YA DA
KORTİKOTOMİSİZ YAPILAN HIZLI PALATAL
GENİŞLETMENİN DİŞSEL VE KEMİKSEL ETKİLERİNİN
ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİYLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

ORHAN KAZAN

AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2021



**MAKSİLLADA KORTİKOTOMİLİ YA DA KORTİKOTOMİSİZ YAPILAN
HIZLI PALATAL GENİŞLETMENİN DİŞSEL VE KEMİKSEL
ETKİLERİNİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİYLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Orhan KAZAN

**DOKTORA TEZİ
AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Orhan KAZAN

14/06/2021

MAKSİLLADA KORTİKOTOMİLİ YA DA KORTİKOTOMİSİZ YAPILAN HIZLI
PALATAL GENİŞLETMENİN DİŞSEL VE KEMİKSEL ETKİLERİNİN ÜÇ BOYUTLU
SONLU ELEMANLAR ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Doktora tezi)

Orhan KAZAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Transversal maksiller yetersizlik, birçok maloklüzyonun ana sebebidir. Ortopedik ve ortodontik kuvvetler preadölesan dönemde maksiller transversal yetersizliği düzeltmek için rutin olarak kullanılmaktadır. İskeletsel gelişimini tamamlamış hastalarda ise hızlı maksiller genişletme apareyleri tek başına yeterli olmamakta ve cerrahi olarak osteotomi yapılması gerekmektedir. Kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme ortodontik apareylerin maksillofasial kompleksteki istenmeyen etkilerini azaltmaktadır. Bu çalışma maksiller transversal yetersizliği olan hastalarda ortodontik tedavi amacı ile yapılan hızlı maksiller genişletme prosedürünün cerrahi desteksiz ya da destekli yapıldığında maksillada kortikal ve spongiyöz kemikte oluşan biyomekanik değişimlerin değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır. Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı arşivinden 19 yaşında, görüntü verilerinin isim kullanılmadan bilimsel çalışmalarda kullanımına dair onamı bulunan kadın hastanın KIBT (Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi) görüntüsü kullanılmıştır. Kodak 9300C Carestream Health Cooperation Cone-Beam BT görüntüleme sisteminden 0.5 mm tomografi kesitleri alınarak DICOM 3.0 formatında elde edilmiş ve 3B görüntü oluşturma programı MIMICS aktarılarak yeniden oluşturulmuştur. Yeni oluşturulan .stl format ALTAIR HYPERWORKS 2017 programı kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Çalışmamızda oluşturulan modeller, kortikotomi destekli ve kortikotomi desteksiz olmak üzere 2 gruba ayrılarak hızlı maksiller genişletme simüle edilmiştir. Her iki grup kendi içinde 1mm, 5mm, 7mm'lik deplasman uygulanarak üç alt gruba ayrılmış ve toplamda 6 adet çalışma modeli elde edilmiştir. Çalışmamızda 3B sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak kortikal ve spongiyöz kemikte oluşan Pmax (gerilme) ve Pmin (baskı) stresleri incelenmiş MPa (N/mm²) değeriyle hesaplanmıştır. Modellerdeki stres dağılımını nicel olarak analiz etmek için 12 renk içeren skaladan faydalanılmıştır. Kortikotomi destekli ve desteksiz yapılan modeller karşılaştırıldığında kortikal ve spongiyöz kemikte her üç deplasman miktarında da kortikotomi desteksiz yapılan hızlı maksiller genişletmede baskı ve gerilme streslerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 10101.01
Anahtar Kelimeler : Hızlı maksiller genişletme; Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletme; 3D Sonlu elemanlar analizi
Sayfa Adedi : 133
Danışman : Prof. Dr. İhsan Levent ARAL

A THREE-DIMENSIONAL (3D) FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR TYPES OF
RAPID PALATAL EXPANSION TECHNIQUES WITH OR WITHOUT MAXILLARY
CORTICOTOMY

(Ph. D. Thesis)

Orhan KAZAN

GAZI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF HEALTH SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

Transversal maxillary deficiency is the main cause of many malocclusions. Orthopedic and orthodontic forces are routinely used to correct maxillary transversal deficiency during preadolescence. In patients who have completed their skeletal development, rapid maxillary expansion appliances alone are not sufficient and surgical osteotomy is required. Corticotomy-assisted rapid maxillary expansion reduces the undesirable effects of orthodontic appliances on the maxillofacial complex. This study was conducted to evaluate the biomechanical changes in the cortical and cancellous bone of the maxilla when the rapid maxillary expansion procedure for orthodontic treatment in patients with maxillary transversal deficiency is performed without surgical or with surgical-assisted. In this study, CBCT (Cone-beam Computed Tomography) image of a 19-year-old female patient, who has consented to use the image data in scientific studies without using a name, was used from the archive of Gazi University Faculty of Dentistry, Department of Oral and Maxillofacial Radiology. 0.5 mm tomography sections were taken from the Kodak 9300C Carestream Health Cooperation Cone-Beam CT imaging system and obtained in DICOM 3.0 format and reconstructed by transferring the 3D imaging program MIMICS. Finite element model was created using the newly created .stl format ALTAIR HYPERWORKS 2017 program. The models created in our study were divided into two groups as corticotomy-assisted and corticotomy-unassisted, and rapid maxillary expansion was simulated. Both groups were divided into three subgroups by applying 1mm, 5mm and 7mm displacement, and a total of 6 working models were obtained. In our study, using 3D finite element analysis method, Pmax (stress) and Pmin (compression) stresses in cortical and cancellous bone were analyzed and calculated with MPa (N / mm²) value. A scale containing 12 colors was used to quantitatively analyze the stress distribution in the models. When corticotomy-assisted and corticotomy-unassisted models were compared, it was determined that compression and tensile stresses were higher in rapid maxillary expansion without surgical in all three displacement amounts in cortical and cancellous bone.

Science Code : 10101.01
Keywords : Rapid maxillary expansion; Surgically assisted rapid maxillary expansion; 3D Finite element analysis
Page Number : 133
Supervisor : Prof. Dr. İhsan Levent ARAL

TEŞEKKÜRLER

Doktora eğitimim boyunca bana destek olup, bilgi ve deneyimlerini benimle cömertçe paylaşan, bu süreçte beni motive eden değerli hocam ve doktora danışmanım Prof. Dr. İhsan Levent ARAL'a,

Doktora eğitimim boyunca engin mesleki bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, emeğini ve ilgisini benden esirgemeyip eğitimim ve gelişimimde büyük katkısı olan değerli hocalarım Prof. Dr. Erkan ERKMEN'e, Prof. Dr. Ziver Ergun YÜCEL'e ve Prof. Dr. Mustafa Sancar ATAÇ'a,

Çalışmam süresince destek ve yardımlarıyla yanımda olup, emek gösteren Prof. Dr. Mehmet Barış ŞİMŞEK'e ve Prof. Dr. Derviş YILMAZ'a,

Öğrencilik ve doktora eğitimim süresince bana yol gösteren desteklerini esirgemeyen kıymetli anabilim dalı hocalarıma,

Öğrencilik dönemimden beri kendime hep örnek olarak aldığım, bu mesleğe ilgi duymamda ve sevmemde büyük katkısı olan, her konuda bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak yolumu aydınlatan, bazen bir abi bazen de bir hoca gibi bana hep sevgiyle ve sabırla yaklaşan, çok sevdiğim manevi abim, değerli hocam Dr. Dt. Mehmet Emin TOPRAK'a,

Klinik deneyimlerini ve değerli bilgilerini benimle paylaşarak doktora eğitimime katkıda bulunan, bazen bir hoca bazen de bir abla olarak destek veren, değerli hocam Doç. Dr. Yeliz KILINÇ'a,

Hayatımın her anında koşulsuz sevgilerini ve desteklerini her zaman hissettiğim çok sevgili annem Şule KAZAN'a, babam Sebahattin KAZAN'a ve kardeşim Yasin KAZAN'a,

Üniversite hayatım ve devamı boyunca hep yanımda olan, iyi anımda kötü anımda bana her zaman destek olan hayat arkadaşım Hande SAĞLAM'a,

Başta Dt. Turan KAZAN, Dt. Özlem KAYA, Dt. Öykü GÜNDOĞDU ve Dt. Mert GÜNDOĞDU olmak üzere doktora hayatımda dostluklarından keyif aldığım sevgili tüm asistan arkadaşlarıma,

Çalışmamda modellerin bilgisayar ortamında hazırlanmasını sağlayan ve analizini yapan Ahmet KURT'a,

Sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜRLER	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Transversal Maksiller Yetersizlik	3
2.1.1. Transversal maksiller yetersizliğin etiyolojisi	3
2.1.2. Transversal maksiller yetersizlik teşhisi	5
2.1.3. Transversal maksiller yetersizliğin tedavisi	12
2.2. Hızlı Maksiller Genişletici	13
2.2.1. Hızlı maksiller genişletici endikasyonları	13
2.2.2 Hızlı maksiller genişletici kontrendikasyonları.....	14
2.2.3 Hızlı maksiller genişletici apereyleri	14
2.2.4. Hızlı maksiller genişletici uygulama zamanı.....	23
2.2.5. Hızlı maksiller genişleticinin dişsel ve iskeletsel etkileri.....	24
2.3. Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletici	25
2.3.1. Maksillanın Anatomisi	26
2.3.2. Kortikotomi sırasında uygulanan farklı osteotomi teknikleri.....	35

2.3.3. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede ortaya çıkabilecek komplikasyonlar	41
2.4. Cerrahi Desteksiz ve Destekli Yapılan Hızlı Maksiller Genişletmenin Maksillofasial Komplekse Etkileri.....	45
2.5. Biyomekanik	46
2.5.1. Biyomekanikte temel kavramlar.....	47
2.5.2. Kemik biyomekaniği	50
2.5. Stres Analiz Yöntemleri	57
2.5.1. Gerinim ölçer tekniği.....	57
2.5.2. Fotoelastik analiz tekniği.....	58
2.5.4. Kırılğan vernikle kaplama tekniği	59
2.5.5. Sonlu elemanlar analizi (SEA)	59
3. GEREÇ YÖNTEM	65
4. BULGULAR	71
4.1. KS ve KL Modellerinde Kortikal Kemikte Pmax Stresleri (Gerilim Stresleri) ...	71
4.2. KS ve KL Modellerinde Spongiyöz Kemikte Pmax Stresleri (Gerilim Stresleri)	75
4.3. KS ve KL Modellerinde Kortikal Kemikte Pmin Stresleri (Baskı Stresleri)	80
4.4. KS ve KL Modellerinde Spongiyöz Kemikte Pmin Stresleri (Baskı Stresleri) ...	84
5.TARTIŞMA	89
6. SONUÇLAR.....	109
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Eleman ve nod sayıları.....	68
Çizelge 3.2. Young modülü ve Poisson oranları.....	69



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. KS1, KS2, KS3, KL1, KL2, KL3 Modellerinde kortikal ve spongiyöz kemiklerdeki Pmax değerlerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.2. KS1, KS2, KS3, KL1, KL2, KL3 Modellerinde spongiyöz ve kortikal kemiklerdeki Pmin değerlerinin karşılaştırılması.....	88



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Betts ve arkadaşlarına göre anteroposterior grafide referans çizgileri	9
Resim 2.2. Optik lazer tarama.....	11
Resim 2.3. Stereofotogrametri	11
Resim 2.4. a) Wescott'un tasarladığı aparey b) Angell'in tasarladığı aparey	15
Resim 2.5. a) Derichsweiler tip genişletme apareyi b) Haas tip genişletme apareyi.....	16
Resim 2.6. a) Hyrax tip genişletme apareyi b) Isaacson tipi genişletme apareyi	17
Resim 2.7. a) Lee ve arkadaşlarının modifiye mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi b) Moon ve arkadaşlarının modifiye mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi.....	20
Resim 2.8. Mini implant destekli hibrit Hyrax genişletme apareyi	20
Resim 2.9. Dişsel ankrajı olmayan mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi...	21
Resim 2.10. Haas tip mukoza destekli mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi.....	22
Resim 2.11. a) Maksilla inferior görünümü; 1-insiziv foramen, 2-insiziv suture, 3-transversal palatinal suture, 4-interdental septum, 5-major palatinal foramen, 6-minör palatinal foramen, 7-ptyergoid çentik, 8-posterior nazal spina b) Maksilla orbital görünümü; 1-frontomaksillar suture, 2-nazomaksillar suture, 3-zigomatikomaksillar suture, 4- maksiller kemiğin süperior yüzeyi, 5-sfenoid kemik, 6-infraorbital fissür, 7-infraorbital foramen, 8- infraorbital oluk.....	28
Resim 2.12. a) maksilla ve mandibula lateralden görünümü; 1-infraorbital foramen, 2-insizör fossa, 3-kanin eminensi, 4-fossa kanina, 5-anterolateral ve posterolateral maksiller birleşim yüzeyi, 6-1.premolar diş, 7-tüber maksilla, 8-mental kabartı, 9- mental fossa, 10-mental foramen b)maksilla posterolateral görünümü; 1-tüber maksilla, 2-lateral pterygoid yüzey, 3- palatin kemiğin piramidal proçesi, 4-posterior süperior alveolar kanal, 5- pterygopalatin fossa, 6-anterior nazal spina.....	29
Resim 2.13. Trigeminal sinir ve dalları	32
Resim 2.14. a) Maksiller arter lateral görünüm b) maksiller arter medial görünüm	35
Resim 2.15. Yüz iskeletinde direnç alanlar	37
Resim 2.16. Lateral osteotomi	37
Resim 2.17. Lateral osteotomi	38

Resim	Sayfa
Resim 2.18. Palatal osteotomi.....	39
Resim 2.19. Pterygoid osteotomi	40
Resim 2.20. a) Le fort 1 osteotomisi b) nazal septum osteotomisi	41
Resim 2.21. Yük deformasyon eğrisi.....	54
Resim 2.22. a) çekme b) baskı c) makaslama	56
Resim 2.23. a) çizgisel eleman b) 2B eleman c) 3B eleman.....	62
Resim 3.1. a) Kortikotomi desteksiz model (KS) b) Kortikotomi destekli model (KL)	66
Resim 3.2. a) Kortikotomi desteksiz model (KS) b) Kortikotomi destekli model (KL)	66
Resim 3.3. Deplasman uygulama yönü.....	67
Resim 3.4. Hyrax tip hızlı maksiller genişletme simüle edilmiş model	67
Resim 3.5. a)KS ağ yapısı b)KL ağ yapısı.....	68
Resim 3.6. Modellerin uzaysal sabitlenmesi.....	70
Resim 4.1. Modellerin lateral görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	72
Resim 4.2. Modellerin medial görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	73
Resim 4.3. Modellerin dentoalveolar görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	74
Resim 4.4. Modellerin lateral görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	76
Resim 4.5. Modellerin medial görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	77
Resim 4.6. Modellerin dentoalveolar görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	78
Resim 4.7. Modellerin lateral görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	81
Resim 4.8. Modellerin medial görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	82
Resim 4.9. Modellerin dentoalveolar görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	83

Resim	Sayfa
Resim 4.10. Modellerin lateral görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	85
Resim 4.11. Modellerin medial görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	86
Resim 4.12. Modellerin dentoalveolar görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3.....	87



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklamalar

mm	Milimetre
mm²	Milimetrekare
µm	Nanometre
ml	Mililitre
cm	Santimetre
N	Newton
F	Kuvvet
M	Kütle
a	İvme
M	Moment
V	Poisson oranı
σ	Stres
MPa	Megapaskal

Kısaltmalar Açıklamalar

BT	Bilgisayarlı tomografi
KIBT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
MR	Magnetik rezonans görüntüleme
2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
SEA	Sonlu elemanlar analizi
Pmax	Gerilim, çekme stresi
Pmin	Baskı stresi

1. GİRİŞ

Genetik, çevresel faktörler, travma veya enfeksiyon gibi etkenler büyüme ve gelişim dönemlerinde çene, yüz bölgelerini etkileyerek asimetrik bir büyümeyle beraber dentofasiyal anomalilere sebep olabilmektedir[1, 2]. Maksillofasiyal bölgede ortaya çıkan anomalilerde transversal yön anomalilerinin teşhisi horizontal ve vertikal yön anomalilerine göre daha zor olmaktadır. Doğru tanı koyabilmek için tam bir klinik değerlendirmeye beraber model analizi, radyolojik ölçümlerden ve görüntülemelerden faydalanılmaktadır[3].

Transversal maksiller yetersizlik durumunda hastalar klinik olarak; tek veya çift taraflı posterior çapraz kapanış, dişlerde çapraşıklık, derin damak kubbesi, gülümsemede bukkal koridor oluşumu, anterior dişlerde çapraşıklık, nazal solunumda yetersizlik, ağız solunumu, çiğneme sırasında güçlük ve apne gibi semptomları gösterebilmektedirler[4-6]. Radyolojik teşhiste ise; anterior-posterior grafi, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), optik lazer ve stereofotogrametri gibi görüntüleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır[2, 7].

Transversal maksiller yetersizlik tedavisinde temel olarak ortodontik apareyler yardımı ile hızlı maksiller genişletme veya cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme şeklinde iki yöntem uygulanmaktadır. Tedaviye uygun yöntem seçiminde hastanın büyüme ve gelişim evresi önem arz etmektedir. Büyüme ve gelişimi devam eden hastalarda ortodontik apareyler ile yapılan hızlı maksiller genişletme genellikle yeterli olmaktadır. Bu tedavi yöntemi midpalatal süturun hareketlendirilerek maksillanın genişlemesi şeklinde uygulanmaktadır[8, 9]. İskeletsel büyümesi tamamlanmış bireylerde transversal maksiller yetersizliğin tedavisinde ek olarak cerrahi osteotomi tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle durumlarda cerrahi ve ortodontik prosedür multidisipliner bir yaklaşımla, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici uygulanmaktadır[3, 5].

İskeletsel gelişimin tamamlandığı yetişkin hastalar hızlı maksiller genişletme apereyleri ile tedavi edildiğinde; dişlerde bukkale devrilme, ekstrüzyon, alveolar kemikte ve dişlerde rezorpsiyon, fenestrasyonlar, palatal mukoza nekrozu gibi durumlar görülebilmektedir[6, 10-12].

Mekanik ve mühendislik alanlarında sık kullanılan, kompleks cisimlerin stres davranışını gerçeğe yakın yansıtan Sonlu elemanlar analizi (SEA); maksillaya ortodontik apareylerle ve

cerrahi sonrası uyguladığımız kompleks mekanik davranışların anlaşılmasında etkin bir yöntem olarak görülmektedir[13].

Bu çalışma maksiller transversal yetersizliği olan hastalarda ortodontik tedavi amacı ile yapılan hızlı maksiller genişletme prosedürünün cerrahi desteksiz ya da destekli yapıldığında maksillada kortikal ve spongiyöz kemikte oluşan biyomekanik değişimlerin değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Transversal Maksiller Yetersizlik

Transversal maksiller yetersizliğin tanımı ilk olarak Hipokrat tarafından yapılmış aradan binlerce yıl geçmesine rağmen 1800’lü yıllara kadar tedavisi bulunamamıştır. Maksillanın iskeletsel olarak ilk genişletmesini Angell gerçekleştirmiştir. Bir çocuk hastada üst premolar arasına yerleştirdiği vida vasıtasıyla 2 hafta sürecek şekilde ekspansiyon yapmış ve ortalama (0,64cm) genişletme elde etmiştir. Üst ön keser dişler arasında diastema oluşmuş ve bu genişlemenin iskeletsel olduğu kanısına varmıştır. O dönemki şartlarda maksiller arktaki genişleme radyolojik olarak teşhis edilememesine rağmen iskeletsel bir genişleme olarak kabul edilmiştir[14]. Midpalatal süturdaki açılma ilk olarak 1909 yılında radyolojik olarak gösterilmiştir[15].

Haas, 1961 yılında, hızlı üst çene genişletmesini 1. molar ve premolar dişlerini kapsayan damak bölgesinden akrilik parça ile desteklenen ve ortasında bir mini vida içeren bir aperey kullanarak gerçekleştirmiştir. Bunun adını akrilik bantlarla desteklenmiş palatal genişletme aparatı olarak belirtmiştir. Çalışma prensibi olarak damak mukozası ve dişlerden destek alacak şekilde planlanmıştır. Fakat damak mukozasında enflamasyona neden olduğu bildirilmiştir[16]. Haas’ın ilerleyen dönemlerde yaptığı çalışmalarda uyguladığı metodun, maksillanın transversal yetersizliğinde ve posterior çapraz kapanış tedavisinde etkili bir tedavi yöntemi olduğunu belirtmiştir[15, 17, 18].

2.1.1. Transversal maksiller yetersizliğin etiyolojisi

Maloklüzyonların etiyolojisinde genetik ve çevresel faktörler uzun yıllardır ortodonti konusunda bir tartışma konusu olmuştur. Maloklüzyonların genotipi ve fenotipi arasındaki ilişkilerin tanımlanması yeni bir tartışma konusu ortaya çıkarmıştır. Birçok genin ve çevresel faktörün, bir fenotip oluşumu sırasında etkili olduğu bildirilmiştir. Bu karmaşıklığa rağmen, maloklüzyonların etiyolojisinin bulunabilmesi için kraniyofasiyal büyümenin ve dişlerin gelişiminin altında yatan hücresel süreçlerin tam olarak anlaşılması gerekmektedir[19].

Proffit ve diğerkleri, 1990 yılında dentofasiyal deformite tedavisi için başvuran hastaların % 30'unda transversal maksiller yetersizlik olduğunu bildirmişlerdir[20]. Araştırmacılar maksiller transversal yetersizliğin etiyolojisinin genetik ve çevresel faktörler olmak üzere iki sebepten kaynaklandığını belirtmişlerdir[21].

Genetik faktörler

Maksillofasiyal bölgenin deformitelerinde kalıtım büyük rol oynamaktadır. 2019 yılında yüz şeklini etkileyen genlerle ilgili geniş çaplı yılları (1980-2019) kapsayan literatürlerin incelendiği çalışmada; kemik gelişimi (TGFB3, LTBP, IGF1, ENPP1, EVC ve EVC2), kıkırdak gelişimi (Matrilin-1 ve COI2A1), kas gelişimi (MYO1H ve DUSP6) ve diş morfogenezi (EDA, XEDAR ve BMP2) ile ilişkili genlerin çene ve diş bölgesindeki anomalilerin nedeni olabileceği bildirilmiştir[19].

Dudak damak yarıkları, hem genetik hemde ekzojen nedenlerden kaynaklanmaktadır. Farmakolojik olarak gebeliğin 5. ve 6. haftalarında yüz gelişimi sırasında bireyin fenitoine maruz kalması sonucu oluştuğunu ileri süren çalışmalar bulunmaktadır. Fenitoinin hamile sıçanlara uygulandığı hayvan deneyleri sonucu yarık dudağa neden olduğu gösterilmiştir[22]. Dudak damak yarığı ve üst çene hipoplazisinin çok görüldüğü Apert ve Crouzon sendromlarında, ebeveynin çocuğuna % 50'ye yakın oranda genetik olarak aktardığı bildirilmiştir[23, 24]. Araştırmacılar diş arklarının boyutu üzerine yaptıkları çalışmalarında genetik faktörlerin % 60'a yakın etkili olduğunu bildirmişlerdir[25].

Çevresel faktörler

Burun solunumu; çiğneme, yutma gibi dil ve dudakların kas hareketlerini etkileyerek yeterli yüz büyümesini ve kemik gelişimini uyarmaktadır. Adenoid hipertrofisi, rinit, nazal septum deviasyonu gibi durumlarda bireylerde ağız solunumu yaygın olarak görülebilmektedir. Ağız solunumu; mandibulanın posterior rotasyonuna, kafanın bütünüyle posteriora, hyoid kemiğin posteriorda ve dilin anteriorda konumlanması gibi postüral değişikliklere yol açabilmektedir. Bu tür postüral değişikliklerin dentofasiyal deformitelere sebep olabileceği bildirilmiştir[26-29]. Araştırmacılar ağız solunumu yapan bireylerin sıklıkla çenelerde deformite, maloklüzyon ve çenelerin yetersiz gelişimiyle karakterize uzun yüz sendromuna sebep olduğunu bildirmişlerdir[30, 31].

Larsson, 1987 yılında parmak emme gibi parafonksiyonel alışkanlıkların uzun süre uygulanması sonucu; dilin aşağıda konumlandığını ve özellikle kanin bölgesinde damak kubbesini desteklemeyeceğini belirtmiştir. Yanak kasları tarafından uygulanan basınç sonrası en fazla ağız köşelerinde lokalize olmak üzere alveolar kemik bu basınca maruz kalmakta ve bunun sonucunda V şekilli dar bir maksilla meydana gelebileceğini bildirmiştir. Alışkanlığın daimi dişlerin sürdüğü dönemde devam etmesiyle üst çenede kalıcı bir maloklüzyon oluşabileceğini belirtmiştir[32]. Proffit ve diğerleri 2018 yılındaki yazdıkları kitapta parafonksiyonel alışkanlıkların daimi dişlerin erüpsiyonundan önce bırakıldığında maloklüzyon oluşmayacağını bildirmişlerdir[33].

Ascanio ve diğerleri, 2010 yılında yaptıkları çalışmalarında nazal septum deviasyonu ve adenoid hipertrofisi bulunan bireylerde ağız solunumu sonucunda maksillada transversal yetersizlik olabileceğini belirtmişlerdir[34].

2.1.2. Transversal maksiller yetersizlik teşhisi

Kraniyofasiyal bölgenin vertikal ve horizontal boyutlarındaki yetersizliklerinin aksine, maksillar transversal yetersizliğin tanısının konulmasında zorlanılmaktadır. Bu durumu teşhis etmek için detaylı bir klinik değerlendirme, model analizi ve radyografik ölçümler önerilmiştir[35].

Üst çene darlığı maksillanın transversal yönde yetersizliğidir ve klinik olarak en sık karşılaşılan formu ise posterior çapraz kapanış olarak karşımıza çıkmaktadır. Kutin ve diğerleri, 1969 da ABD’de yaptıkları çalışmalarında % 7,7 oranında posterior çapraz kapanış teşhis etmişlerdir[36].

Avrupa yapılan çalışmalarda posterior çapraz kapanış görülme oranı % 4-23 arasında bildirilmiştir[37-39]. Ferro ve diğerleri 2016 yılında İtalya’da anaokulu ve ilkokula giden çocuklarda yaptıkları taramalarda posterior çapraz kapanış oranını % 3.7 olarak hesaplamışlardır. Cinsiyete göre değerlendirdiklerinde anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir[40]. Brezilya’da 2016 çocuğun oklüzyon muayenesini içeren çalışmada % 20.81 oranda posterior çapraz kapanış oranı bildirilmiştir[41]. Gelgör ve diğerleri, 2007 yılında 12/17 yaş arasında yaptıkları çalışmalarında posterior çapraz kapanışın oranını % 9.5 olarak bildirmişlerdir[42].

Haas, 1965 yılında yayınladığı makalesinde transversal maksiller yetersizliği gerçek ve relatif olmak üzere iki şekilde görülebileceğini bildirmiştir. Gerçek maksiller transversal yetersizliği; maksillanın dişlerle birlikte daralıp ve mandibulanın bukkale devrilmesi şeklinde tarif etmiştir. Relatif transversal yetersizliği ise üst yüz bölgesi kemiklerinin hepsinin orantılı olduğu halde mandibular kemiğin büyük olmasıyla oluştuğunu tanımlamıştır[15].

Transversal maksiller yetersizliğin klinik değerlendirilmesi

Dişsel ve iskeletsel transversal maksiller yetersizliğin klinik olarak ayırıcı tanısında 3 durum dikkate alınmaktadır;

- Posterior dişler tek ya da çift taraflı olarak posterior çapraz kapanışta ve bukkopalatinal olarak normal pozisyondaysa iskeletsel bir darlığın varlığından söz edilebilmektedir,
- Ark genişliği uyumsuzluğu olan ve birden fazla diş içeren posterior çapraz kapanış genellikle iskeletsel bir darlığı yansıtmaktadır,
- Maksillanın derin ve ‘‘V’’ şekilli bir palatinal durumu genellikle iskeletsel bir yetersizliğin göstergesi olabilmektedir[43, 44].

Araştırmacılar maksiller ark formu, gülme sırasında bukkal koridor görünürlüğü, ağız ya da burun solunumu yapıp yapmadığı ve oklüzyonun durumu transversal maksiller yetersizliklerin göstergesi olabileceğini belirtmişlerdir[45]. Jacobs ve diğerleri, 1980 yılında yaptıkları bir çalışmada, sagittal düzlemde maksilla ve mandibulanın oklüzal uyumsuzluğu sonucu hastada göreceli olarak transversal maksiller yetersizlik görülebileceğini bildirmişlerdir[46].

Transversal maksiller yetersizliğin teşhisinde model analizi

Ortodontik alçı modelleri, ortodontik tedavi sırasında diş boyutlarının yanı sıra dişler ve kemikler arası ilişkilerin değerlendirilmesinde rutin olarak kullanılmaktadır[47]. Bir hastanın üst ve alt dişlerinin alçı dökümlerine dayanan model analizleri, ortodontik teşhisin ayrılmaz bir parçası olmaktadır[48, 49].

Howes'un 1954 yılında tarif ettiği analiz şüpheli maksiller yetersizliklerin teşhisinde kullanılabilir. Bu analizde maksilladaki 1. molar dişleri arasındaki dişlerin meziyodistal uzunlukları toplamı fossa kanınalar arasındaki kemer uzunluğunun % 44'üne eşit olması gerektiğini belirtmiştir. Bu oran % 37'den az olduğunda diş çekimli bir tedavi ya da maksiller genişletme gerektiğini söylemiştir[2].

Staley ve diğerleri, 1985 yılında transversal uyumsuzlukları teşhisi için buldukları yöntemde üst 1. molar dişlerin meziyobukkal kasları arası mesafenin alt 1. molar dişlerin bukkal kasları arası mesafeden çıkarıldığında bulunan farkın ortalama erkek bireylerde +1.6 mm kadınlarda +1.2 mm olacağını söylemişler ve bu oranlar doğrultusunda genişletme planlamalarını bu farkı baz alarak yapılabileceğini bildirmişlerdir[50].

Jacobs ve diğerleri, 1980 yılında yaptıkları bir çalışmada, transversal yetersizliğin dental ya da iskeletsel kaynaklı olup olmadığını posterior çapraz kapanışta bulunan diş sayısına göre ayırt edilebileceğini belirtmişlerdir. İki ya da daha fazla diş çapraz kapanışta ise iskeletsel bir yetersizlikten söz edilebileceğini söylemişlerdir[46]. Steven ve diğerleri, 2005 yılında yaptıkları bir çalışmanın sonucunda, bahsedilen testin uygulaması kolay olsa da yanıltıcı olabileceğini belirtmişler. Posterior bölge dişler çapraz kapanışta olmasa bile ciddi iskeletsel bir darlığın olabileceğini dişlerin bukkopalatinal eğimlerinden dolayı yetersizliği maskeleyebileceğini belirtmişlerdir[51].

Thomas ve diğerleri, 1993 yılında yaptıkları bir çalışmada, modeller üzerinde transversal yetersizlikleri ölçmek için Ponti Linder-Harth ve Korkhaus indeksleri gibi birçok yöntem olduğunu belirtmişler. Fakat bu indekslerin tanı için rehber sunmuş olsa da popülasyonlar arası farklılık gösterdiklerinden tam güvenilir olmadığını belirtmişlerdir[52].

Transversal maksiller yetersizliğin radyolojik ve 3B değerlendirilmesi

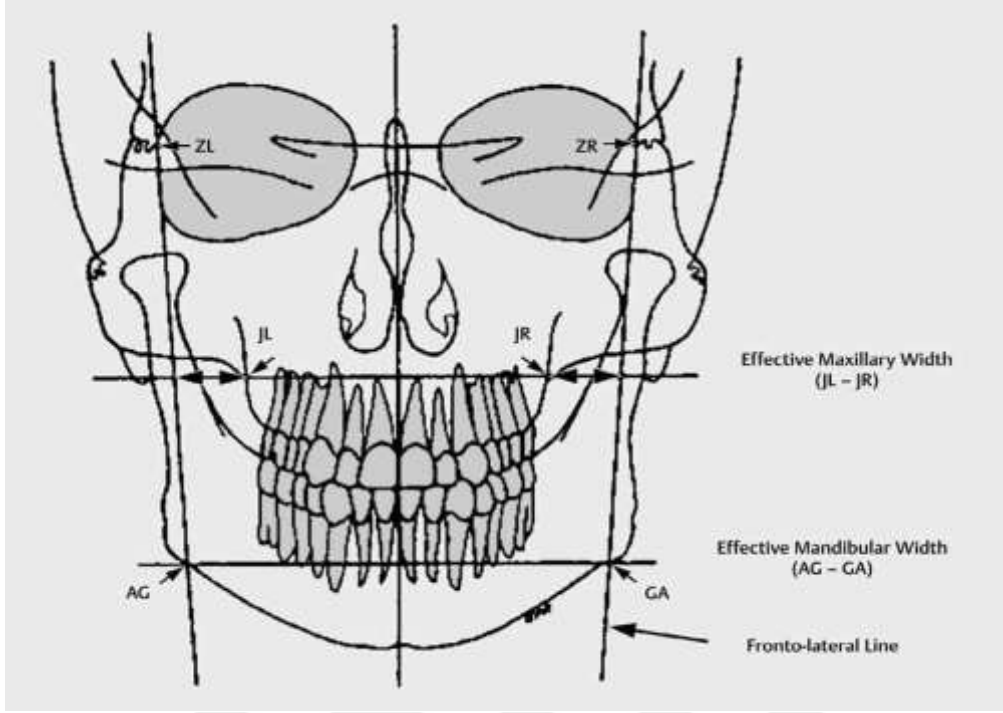
Anteroposterior radyografi

Anteroposterior radyografi; yüz ve dentoalveolar ve yüz asimetrisi, dental ve iskeletsel çapraz kapanışlar, fonksiyonel maksiller ve mandibular deplasmanların teşhisinde önemli rol oynamaktadır. Maksilla ve mandibulanın transversal genişlik ve pozisyonlarının

değerlendirilmesi, burun tabanı genişliğinin belirlenmesi, yüz asimetritlerinin analiz edilmesi açısından cerrahi ve ortodonti alanında sıkça kullanılmaktadır[2].

Betts ve diğerleri 1995 yılında transversal maksiller yetersizliğin tedavisinde ortodontik, cerrahi destekli veya desteksiz maksiller genişletme ihtiyacının belirlenebileceği kapsamlı bir değerlendirme yöntemi belirtmişlerdir. Analizlerinde 2 aşamalı bir yöntem kullanmışlardır[53];

- Maksillomandibular genişlik farkının değerlendirilmesi ile maksiller mandibular genişlikler arasındaki toplam iskelet tutarsızlığını belirleyerek ve eksikliğin tek taraflı mı yoksa çift taraflı mı olduğunun teşhisini yaptıklarını belirtmişlerdir. Sağ ve sol maksiller noktalar (JL ve JR) ile referans çizgileri (ZL – AG ve ZR – GA) arasındaki mesafe 10 ± 1.5 mm'den büyükse, maksillomandibular enine eksiklik mevcut olacağını ve tek taraflı veya çift taraflı iskelet yetersizlikleri sağ ve sol mesafeler karşılaştırılarak da tanımlanabileceğini belirtmişlerdir (Resim 2.1)[53],
- Maksillomandibular transversal diferansiyel indeks değerlendirilmesi ile gerçek ve beklenen maksillomandibular genişlik farkı arasındaki tutarsızlık belirlenebilmektedir. Ricketts, 1981 yılında, tarif edildiği gibi normal indeksten 5 mm'den daha büyük bir tutarsızlık, iskeletsel bir darlığın olduğunu belirtmekte ve iskeletsel bir genişletme gereksiniminin bir göstergesi olmaktadır. Maksillo-mandibular genişlik farkı AG – GA ve JL-JR arasındaki milimetre farkıdır (Resim 2.1). Ricketts normal bir durumda maksillomandibular genişlik farkının, 9 yaşında 14 mm, 11 yaşında 15,6 mm, 13 yaşında 17,2 mm, 15 yaşında 18,8 mm ve yetişkinlerde 19,8 mm olması gerektiğini belirtmiştir[53, 54].



Resim 2.1. Betts ve arkadaşlarına göre anteroposterior grafide referans çizgileri [53]

İki boyutlu (2B) görüntüleme, 3 boyutlu (3B) yapıların ve değişikliklerin değerlendirilmesinde sınırlamalara sahip olabilmektedir. 3B yapılar 2B görselleriyle değerlendirildiğinde çok fazla bilginin kaybolduğu belirtilmiştir. Son zamanlarda düşük radyasyonlu 3B görüntüleme teknolojisinin kullanılabilirliği ile tedavi sırasında ve sonrasında değişikliklerin daha doğru bir şekilde analiz edilmesi sağlanabilmektedir[55, 56].

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (Cone Beam Computerized Tomography-KIBT)

Geleneksel bilgisayarlı tomografi (BT) kullanılarak çeneleri ve dişleri oluşturan sert dokuların görüntülenmesi, yüksek radyasyon dozu, çözünürlük kalitesi ve maliyeti nedeniyle büyük ölçüde pratik olmamaktadır. KIBT'nin kullanımı, radyasyon miktarının azalmasına ve çözünürlüğün önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. KIBT'nin dişlerin ve çenelerin görüntülenmesi için uyarlanması ve iyileştirilmesi, günümüzde kullanışlı bir 3B teşhis aracı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır[57].

3B görüntüleme teknikleri, kraniyofasiyal bölgenin doğru bir şekilde görüntülenmesini sağlayan tanı araçlarıdır. Çenelerin çeşitli alanlarının uzamsal ilişkilerinin değerlendirilmesine izin vermektedir. KIBT ile klinisyen farklı seviyelerde istediği

bölgelerde 3B bir değerlendirme yapabileceği taramalar oluşturabilmektedir. Bu taramalar, klinisyenin tanıda etkenin doğru ve ayrıntılı bir analizini yapmasına yardımcı olabilmektedir[58].

Cerrahi planlaması gereken hastalarda 2B görüntüleme teknikleri planlama açısından yetersiz kaldığı için 3B radyolojik görüntüleme teknikleri daha popüler olabilmektedir. Yüz iskeletinin 3B görüntülenmesi, anatomik landmarkların işaretlenmesi, açılarının ve mesafelerin ölçülmesi, osteotomilerin simülasyonunun hazırlanması, kemiklerin yeniden konumlandırılması, 3B maksillofasiyal iskelet görüntüsü elde edebilme gibi birçok faydası bulunmaktadır[59]. Kesitler üç düzlemde de milimetrik kesitler halinde birleştirilerek 3B olarak görüntülenerek anatomik yapılar doğru analiz edilebilmektedir[60].

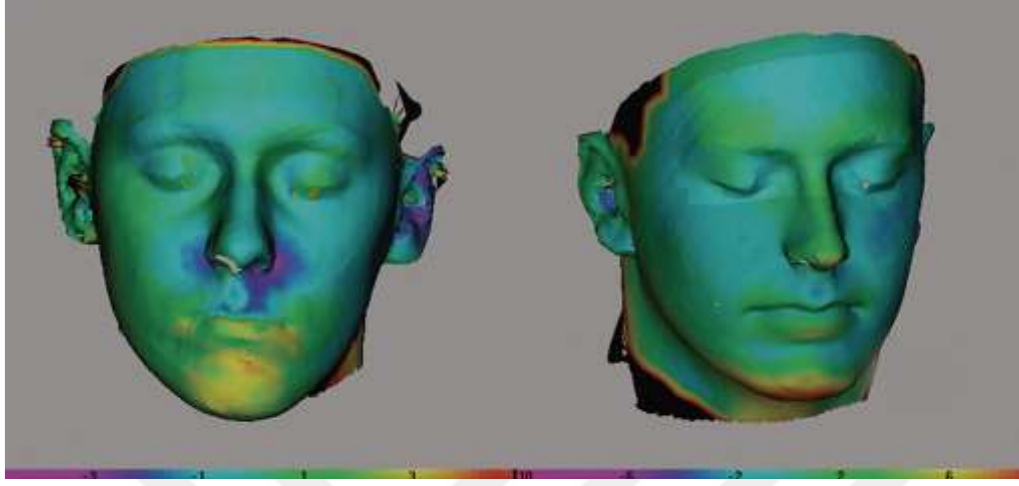
Hugo ve diğerleri 1981 yılında iskeletsel transversal yetersizlikleri ölçmek ve kemik kalitesini incelemek için tomografinin faydalı olacağını belirtmişlerdir[61]. Timms ve diğerleri 1982 yılında transversal maksiller yetersizliği olan 14 yaşındaki bir çocuğa uygulanan hızlı maksiller genişletici sonucu kemik kompleksindeki translasyon ve transformasyonu analiz etmek için tomografiyi kullanmışlardır[62].

Garib ve diğerleri 2006 yılında yaptıkları çalışmada hızlı maksiller genişletici kullanan hastaların tedavi sonrası periodontal durumlarını kontrol etmek için tedavi öncesi ve tedavi sonrası KIBT almışlardır. KIBT'nin dişlerin bukkal ve palatinal bölge alveol kemik rezorbsiyonlarını ölçmede faydalı olduğunu ve rutin olarak uygulanabileceğini belirtmişlerdir[63]. Ballanti ve diğerleri 2009 yılında hızlı maksiller genişleticinin KIBT görüntülerini inceleyerek hızlı maksiller genişletici kullanan hastalarda ankraj olarak kullanılan dişlerin kalıcı periodontal kemik kaybına uğramadığını belirtmişlerdir[64].

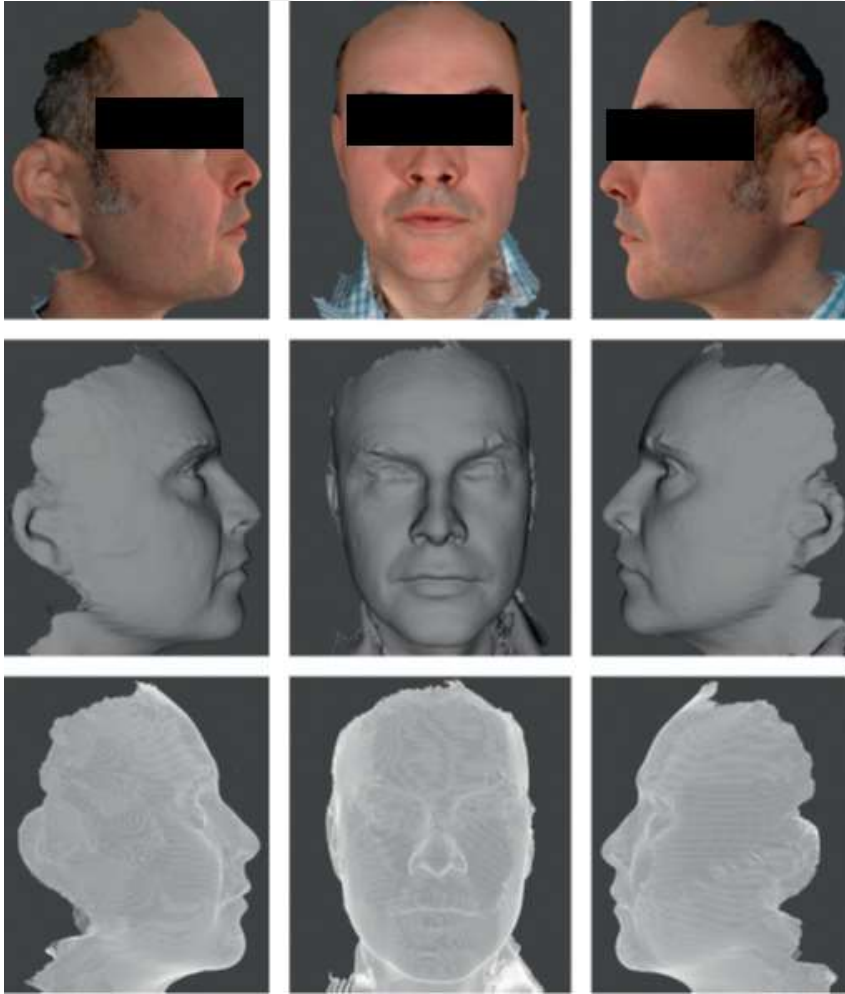
Optik lazer ve stereofotogrametri

Maksillofasiyal bölgenin yumuşak dokularının 3B görüntülerini oluşturmak için daha az invaziv teknikler geliştirilmiştir. Optik lazer taramada, lazerden belirli bir mesafede bir video kamera tarafından yakalanan ve 3B bir görüntü üreten bir lazer ışını kullanılmaktadır (Resim 2.2). Aynı zamanda yüz bölgesinin aynı anda birden fazla resmini çeken stereofotogrametri kullanılabilir. Stereofotogrametri çekmiş olduğu fotoğrafları kullanarak 3B bir model oluşturabilmektedir (Resim 2.3). Bu teknikler yüz bölgesi büyümesi ve yumuşak doku

değişiklerini incelemek, cerrahi ortodontik tedavilerin etkilerini araştırmak için kullanılabilmektedir[65].



Resim 2.2. Optik lazer tarama[65]



Resim 2.3. Stereofotogrametri[65]

2.1.3. Transversal maksiller yetersizliğin tedavisi

Transversal maksiller yetersizliği olan bireylerde maksilladaki mevcut darlığın genişletilmesi amaçlanmaktadır. Preadölesan dönemde olan çocuklarda nispeten daha düşük kuvvetler uygulayarak midpalatal süturun ayrılması ve iskeletsel genişleme kolaylıkla sağlanabilmektedir[66]. İlerleyen yaşla beraber midpalatal sütur kemikleşerek ayrılması için daha fazla kuvvete gerek duyulmaktadır. Kızlarda yaklaşık 16 yaşın üstünde ve erkeklerde 18 yaşın üzerinde cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme gerekmektedir. Ergenlik döneminde, eğer iskeletsel bir genişletme gerekli ise; ilk olarak günde 0.5-1 mm'lik bir genişletme yapılarak hızlı veya haftada yaklaşık 1mm'lik genişletme yapılarak yavaşça olacak şekilde iki farklı genişletme yapılabilir. Hızlı genişletmede vida 2-3 hafta boyunca günde 2 ya da 4 kez olacak şekilde çeyrek tur döndürülerek istenilen yetersizlik kompanse edildikten sonra 3-4 ay açılan süturun yeniden kemikleşmesi için beklenilmektedir. Bu şekilde yaklaşık 10 mm'ye kadar genişletme elde edilebilmektedir. Dokuların fizyolojik olarak adaptasyonuna izin verecek şekilde 0,25 mm'lik yavaş genişletmede ise kemik ve iskeletsel genişletme daha yavaş gerçekleşmektedir. Yavaş transversal genişletme daha çok karışık dişlenme öncesi dönemde daha etkili olabilmektedir[67].

Angell transversal maksiller genişletmenin; yavaş veya hızlı, çıkarılabilir veya sabit ortodontik apareyler ile gerçekleştirildiğini bildirmiştir. Yavaş genişletmenin esas olarak dentoalveolar genişlemeyi, hızlı genişletme ise hem iskeletsel hem de dentoalveolar genişletmeyi kapsadığını belirtmiştir. Hızlı maksiller genişletme cihazları ile sadece midpalatal süturun ayrılmakta kalmadığını aynı zamanda maksillanın komşuluğundaki maksillofasiyal süturların da etkilenebileceğini belirtmiştir[2].

Tedavi planlamasında hastaların medikal tıbbi durumunun tam olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Persson ve diğerleri 1977 yılında kadavra kafatasları üzerinde yaptıkları çalışmalarında, midpalatal süturun kemikleşmesinin çeşitli yaş gruplarında geniş farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Hızlı maksiller genişletmenin sütural açıklığa ve kraniyofasiyal yapıların mekanik kuvvetlere uyum sağlamasının maksillofasiyal bölgedeki kemiklerin esnekliğine bağlı olduğundan tedavi sonuçlarını etkileyecek tıbbi anamnezlerin göz ardı edilmemesi gerektiğini bildirmişlerdir[68]. Bazı metabolik hastalıkların sütur sinostozlarıyla (kemikleşme) ilişkili olduğu belirtilmiştir. Hiperparatiroidizm, hipofosfatazya, D vitaminine

dirençli raşitizm, mukopolisakkaridozlar ve mukolipidozlar gibi metabolik hastalıklar midpalatal sütür sinostozları görülebilmektedir. Genetik ve çevresel nedenler genç hastalarda bile sütürün uygulanan dış kuvvetlere yanıt vermesini etkileyebileceği için hastanın tıbbi geçmişinin tedavi planlamasında dikkate alınması gerekmektedir[69-72].

2.2. Hızlı Maksiller Genişletici

Posterior çapraz kapanış ve transversal maksiller yetersizliği olan bireylerde üst çene arkının genişlemesi istenilmektedir. Preadölesan dönemde çocuklarda nispeten düşük kuvvetler uygulanarak maksiller süturun ayrılması ile iskeletsel genişleme elde edilebilmektedir[66].

İlerleyen yaşla birlikte sütür daha fazla kemikleşir ve midpalatal süturu ayırmak için daha fazla kuvvet uygulamak ya da cerrahi müdahale etmek gerekmektedir[67].

Ergenlik döneminde, iskeletsel genişletme gerekiyorsa; günde 0,5-1 mm'lik bir genişletme oranı ile hızlı veya haftada yaklaşık 1 mm'lik bir hızla yavaş genişletme yapılabilmektedir. Hızlı genişletme ile aparey vidası 2 ile 3 hafta boyunca günde 2-4 çeyrek tur aktif edilmekte ve daha sonra cihaz süturun kemikleşmesi için 3 ila 4 ay daha hasta ağzında bırakılmaktadır. Bu şekilde yaklaşık 10 mm'ye kadar genişleme elde edilebilmektedir. Genişletme sonrasında, dişler genişletilmiş pozisyonlarında tutulurken, maksilla birbirine doğru hareket etmekte, iskeletsel genişlemenin çoğu bu aşamada tekrar eski haline gelebilmektedir. Ramoglu ve diğerleri 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada iskeletsel ve dental genişletmenin bir arada yapıldığı durumlarda, dokuların daha iyi fizyolojik adaptasyonuna izin verdiği için, her gün 0,25 mm'lik yavaş ve kademeli bir genişlemenin oluşabilecek relapsı azalttığını belirtmişlerdir[67, 73].

2.2.1. Hızlı maksiller genişletici endikasyonları

Hızlı maksiller genişletici;

- Transversal maksiller yetersizlik sonucu tek taraflı ya da çift taraflı çapraz kapanışların tedavisinde,
- Dar bir maksilla varlığında kapanışı ve karanlık bukkal koridoru düzeltmek amacıyla,

- Maksilla ve mandibula uyumsuzluğunda; alt çene gelişiminin yetersiz olduğu ve posteriorda konumlandığı sınıf II durumlarda,
- Ortognatik cerrahiye hazırlık gerektiren durumlarda operasyon öncesi,
- Transversal maksiller yetersizliğe bağlı olarak nazal hava akışında azalma görülen hastalarda,
- Dudak damak yarıklı hastalarda maksillayı onarmak amacıyla,
- Diş çekimi endikasyonu olmayan dental olarak üst çene darlığı olan hastalarda yer kazanmak amacıyla hızlı maksiller genişleticiler kullanılmaktadır[74-77].

2.2.2 Hızlı maksiller genişletici kontrendikasyonları

Hızlı maksiller genişletici;

- Maksillofasiyal olarak aşırı iskeletsel asimetri durumlarında,
- Şiddetli iskeletsel açık kapanışı olan hastalarda,
- Maksiller tek bir dişin çapraz kapanışta bulunduğu durumlarda,
- Uygulanacak apareyi kooperasyondan dolayı takamayacak hastalarda kontendike olabilmektedir[74, 78, 79].

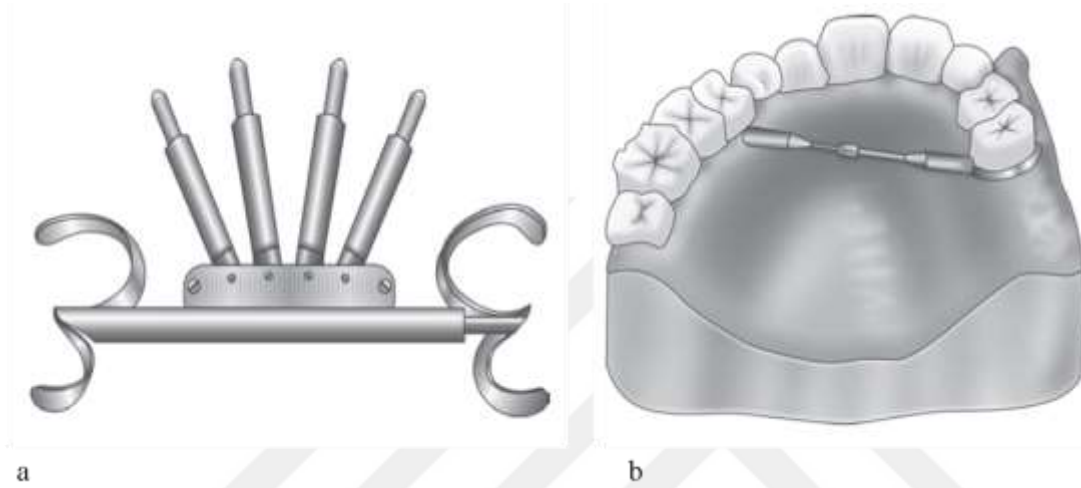
2.2.3 Hızlı maksiller genişletici apareyleri

Dişsel veya iskeletsel destek alan hızlı maksiller genişletici aparey çeşitleri

Timms ve diğerleri 1981 yılında, hızlı maksiller genişletmeyi; dişsel ve/veya iskeletsel destek alarak maksillanın transversal ekseninde laterale kuvvet uygulanarak istenilen boyutlara ulaşması için midpalatal suturen açılması işlemi olarak tanımlamıştır[80]. Hızlı maksiller genişleticiler dörtlü bir vida ya da aktif bir tel yardımıyla oluşturulmuş ortodontik genişletme apareyleridir. Apareyler ankrajını diştten (molar ve premolar dişler) ya da mukozadan (palatal alveolar mukoza) alabilmektedir. Cousley, 2020 yılında yaptığı bir çalışmada, maksiller genişletmede kullanılan tüm cihazlarla, dentoalveolar ve aynı zamanda iskeletsel genişletmenin amaçlandığını belirtmiştir[81].

Transversal maksiller yetersizliği olan bir hastada ilk olarak 1859 yılında maksiller kemiklere mekanik kuvvetler uygulanmıştır. 15 yaşındaki bir kızda çapraz kapanışı

düzeltilmek için teleskopik bir çubukla ayrılmış bir aparey kullanılmıştır. Bu apareye bir vida lehimlemiş ve damak genişlemesi için vidanın uzamasını sağlamıştır. Bir yıl sonra başka bir çalışmada, damak boyunca 2. premolarlar arasına dişli bir vida (Jackscrew tipi) yerleştirilerek benzer prosedür uygulanmıştır (Resim 2.4). Hastaya da vidayı çevirmesi için bir anahtar verilmiştir. Uygulama sonrası ikinci haftada santral kesici dişler arasında diestama gerçekleşmesiyle maksiller kemiklerin ayrıldığı tespit edilmiştir[2].



Resim 2.4. a) Wescott'un tasarladığı aparey b) Angell'in tasarladığı aparey[2]

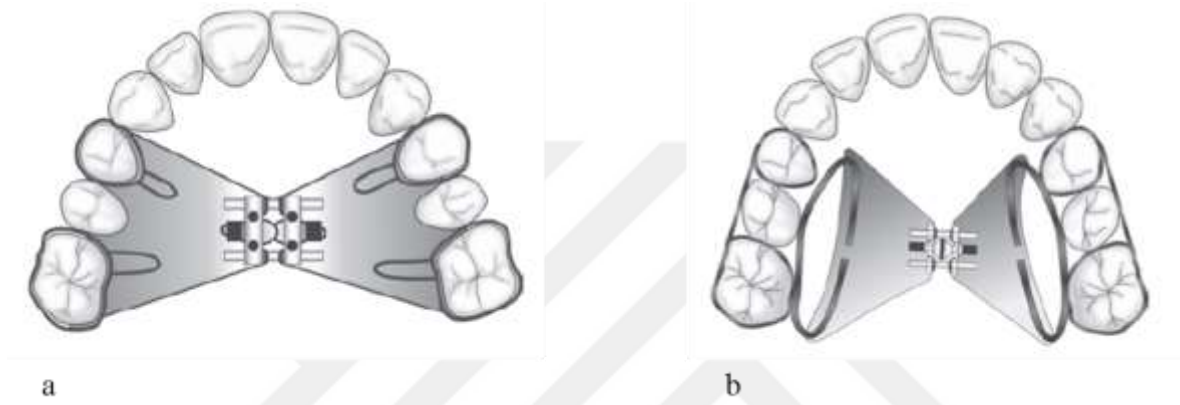
Goddard 1893 yılında yaptığı bir çalışmada maksiller genişletme protokolünü daha da standartize etmiştir. Cihazı 3 hafta boyunca günde 2 kez aktive ederek ve sonrasında kemik iyileşmesi için beklenmesi gerektiğini belirtmiştir. Yapılan çalışmada cihazda birinci küçükazı ve ikinci büyükazı dişler ankraj olarak kullanmıştır[2, 82].

Kingsley 1866 yılında yaptığı bir çalışmada transversal genişletmeye ek olarak kraniofasial iskeletsel deformitelerin de düzeltilmesi için ağız dışı aparey tasarlamıştır. Aparey kesici dişleri kapsayan bir çerçeveden ve çerçeveye ligatürlerle bağlanan bir başlıktan oluşmaktadır[83].

Diş destekli sabit hızlı maksiller genişletme cihazları hasta tarafından çıkarılamamaktadır. Bu cihazlar diş ve yumuşak dokudan destek alan ve sadece dişlerden destek alanlar olarak iki grupta incelenmektedirler[2],

- Diş ve doku destekli cihazlar; Derichweiler ve Haas tipi cihazlar
- Diş destekli cihazlar; Hyrax ve Isaacson tipi cihazlar

Derichsweiler tip genişletme cihazı, 1. premolar ve 1. molar dişlerini kapsayan bantlarla damak yüzeyine lehimlenmiş ve merkezinde kriko tarzı bir genişletme vidası içeren aparey şeklinde tasarlanmıştır. 1961 yılında Andrew Hass tarafından 1. premolar ve 1. molar dişleri üzerinde molar bantlardan oluşan aparey tasarlanmıştır. Palatal mukoza ile teması olan apareyin ortasına bir genişletme vidası eklenmiştir. Haas cihazı desteklemek için palatal kısma eklediği akrilik parçalarla sert damağın da genişletmeye katılarak dişsel devrilmelerin daha az olacağını belirtmiştir (Şekil 2.5)[2].



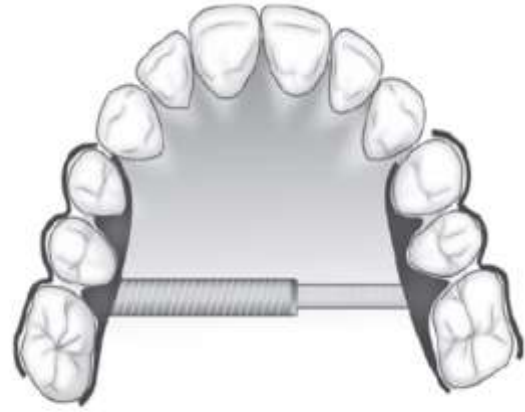
Resim 2.5. a) Derichsweiler tip genişletme apareyi b) Haas tip genişletme apareyi[2]

Hyrax tipi genişletme apareyi tamamen paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Bantları 1. premolar ve 1. molar dişlerine yerleştirilmektedir. Genişleme vidası damak konturuna yakın bir yerde bulunur ve sağlamlık için cihaza bukkal ve lingual teller eklenebilmektedir (Resim 2.6)[84].

Isaacson tipi genişletme cihazında akrilik kaplamalar bulunmamaktadır. Bantları 1. premolar, 2. premolar ve 1. molar dişlerini kapsamaktadır. Palatal bölgedeki parçası yay içerisinde sıkışan bir oluk içermektedir. Aparey takıldıktan sonra aktif olabilmektedir (Resim 2.6)[2].



a



b

Resim 2.6. a) Hyrax tip genişletme apareyi[84] b) Isaacson tipi genişletme apareyi[2]

Hızlı maksiller genişletme cihazları kriko vidasının bağlı olduğu maksiller arktaki değişen sayıda dişi kaplayan akrilik bir atelden oluşmaktadır. Atel, gümüş bakır alaşımından yapılmış bir döküm ya da polimetilmetakrilattan yapılmış bir akrilik splint olabilmektedir[2].

Mini implant destekli hızlı maksiller genişletici

Geleneksel cihazların dışında günümüzde palatine yerleştirilen mini implant destekli cihazlar daha avantajlı duruma gelmiştir. Direkt olarak palatinal kemikten ankraj aldığı için midpalatal suturen açılması daha kolay gerçekleşebilmektedir. Matsuyama ve diğerleri 2014 yılında SEA yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında 4 adet palatinal bölgeye mini implantların eklenmesinin; genişleme kuvvetlerini posterior ve zigomatik alanlara dağıtırken alveolar bölgelerdeki stresi azalttığını söylemişlerdir[85].

Cantarella ve diğerleri 2017 yılında KIBT görüntülerini değerlendirerek yaptıkları çalışmada mini implant uygulanarak yapılan hızlı maksiller genişletme sonrası midpalatal suturen % 71 oranında açıldığını belirtmişlerdir[86]. Lione ve diğerleri 2008 yılında yaptıkları çalışmada da diş kaynaklı maksiller genişletme uygulandığında midpalatal suturen % 43 oranında açıldığını belirtmişlerdir[87]. Çelenk ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları randomize kontrollü çalışmada ortalama 14 yaşında 40 hastaya uygulanan diş kaynaklı hızlı maksiller genişletici % 26 oranında, mini implant destekli maksiller genişletici de % 68 oranında midpalatal suturen açıklığı göstermiştir[88].

Lee ve diğerkleri 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada mini implant destekli hızlı maksiller genişleticiyle ilerleyen yaşta bile midpalatal suturede cerrahi gerekmeden genişletme elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Yetişkin cerrahi operasyonu kabul etmeyen hastada mini implant destekli maksiller genişletme uygulamışlar ve midpalatal suturen açıldığını göstermişlerdir[89]. Lee ve diğerkleri 2014 yılında SEA yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında maksillofasiyal bölgedeki stres alanlarını değerlendirerek yetişkin hastalarda cerrahiye gerek kalmadan midpalatal suturen ayrılabilceğini belirtmişlerdir [90].

Bazargani ve diğerkleri 2018 yılında, 40 hasta üzerinde yaptıkları randomize kontrollü çalışmada mini implant destekli maksiller genişletici cihazların geleneksel diş kaynaklı cihazlara göre midpalatal suture daha fazla açtığı ve nazal hava akışını daha çok rahatlattığını söylemişlerdir[91].

Yapılan retrospektif ve prospektif randomize kontrollü çalışmalarda geleneksel ve iskeletsel ankrajlı hızlı maksiller genişletici cihazlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında; iskeletsel ankrajlı mini implant kullanılan gruplarda dentoalveolar kompleksin daha az bukkal eğilme gösterdiği ve daha az alveolar bukkal kemik kaybı görüldüğü belirtilmiştir. Mini implant destekli maksiller genişleticilerin periodontal açıdan daha sağlıklı olduğunu ifade edilmiştir[92-94].

Mini implant destekli hızlı maksiller genişletici çeşitleri;

1. Hibrit hızlı maksiller genişletici
 - Mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi
 - Hibrit Hyrax apareyi
2. Dişsel ankrajı olmayan mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi
3. Haas tip mukoza destekli mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi[81]

Hibrit hızlı maksiller genişleticiler

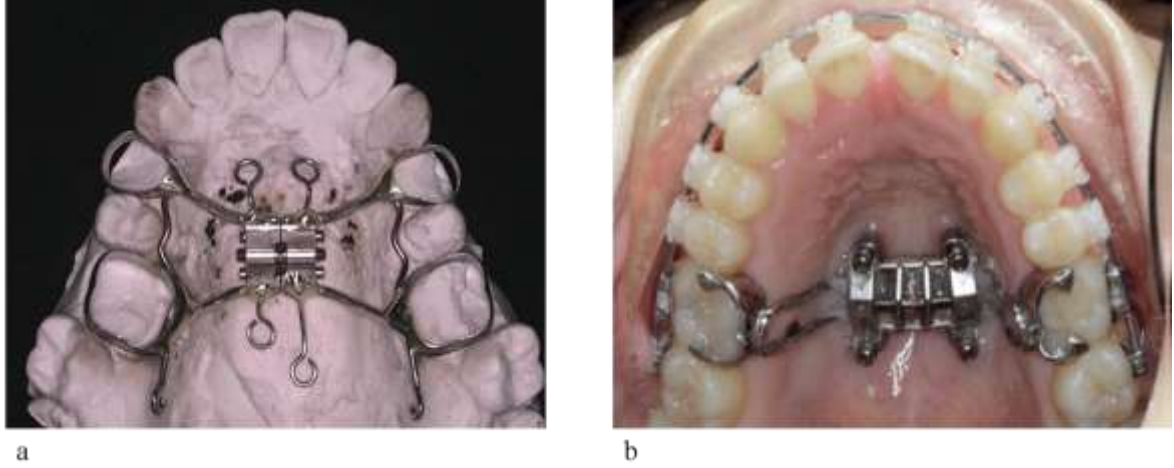
Bu apareyler ile midpalatal sutureya yakın iskeletsel ankrajların eklenmesi sonucunda, genişleme kuvvetleri midpalatal suturen hem anterior hem de posterior uzunluğu boyunca dişlerde daha az bukkal devrilme yaratarak dengeli kuvvet dağılımı sağlayabilmektedir[90].

Mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi

Bu aparey ilk olarak Lee ve diğerleri tarafından 2010 yılında Güney Kore’de tanıtılmıştır. Geleneksel bir hızlı maksiller genişleticinin metal çerçevesi modifiye edilmiş ve dört adet mini implant bağlanmıştır (Resim 2.7). Mini implantlar burun tabanı hizasında dikey olarak konumlandırılmıştır[89]. Seong ve diğerleri 2018 yılında SEA yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında bu cihazla sadece alveolar kemik, dişler ve mini implantların çevresinde yüksek kuvvetin yoğunlaşmak yerine genişleme kuvvetlerinin daha düzgün bir şekilde yayıldığını belirtmişlerdir[95].

Choi ve diğerleri 2016 yılında mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi ile 47 aylık takip süresi olan 20 genç yetişkinin (ortalama yaş 21) retrospektif bir çalışmasını bildirmişlerdir. Hastaların % 87’sinde postpubertal yaşlarına rağmen orta hat diasteması ve radyolojik olarak sütür açıklığı gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Takip süresince ortalama 2 mm iskeletsel 4 mm molar genişlemenin stabil olduğunu belirtmişlerdir[96]. Lim ve diğerleri 2017 yılında yaptıkları benzer çalışmada 24 genç erişkin hastada (ortalama yaş 22) maksiller transversal yetersizliği tedavi ettiklerini bildirmişler[97].

Moon ve diğerleri 2017 yılında bu cihazı modifiye etmişlerdir. İskeletsel etkilerini üst düzeye çıkarmak için implantlar biraz daha posteriora orta hatta yerleştirilmiş, Hyrax tip bir vida ve sadece 1. molar dişlere uzanan metal bantlar oluşturmuşlardır (Resim 2.7). Dişsel genişleme miktarını azaltmak için molarlara uzanan bağlantı kollarını esnek planlamışlardır. Yapmış oldukları bu modifiye apareyle; mini implant stabilitesini arttırarak, mini implant kırılmasını azaltmışlar ve transversal düzlemde daha paralel bir iskeletsel genişleme elde ettiklerini bildirmişlerdir[98].



Resim 2.7. a) Lee ve arkadaşlarının modifiye mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi b) Moon ve arkadaşlarının modifiye mini implant destekli hızlı maksiller genişletme apareyi

Mini implant destekli hibrit Hyrax genişletme apareyi

Wilmes ve diğerleri tarafından 2010 yılında tanıtılan bu cihaz 2 adet mini implanta hassas bir şekilde bağlanan molar bant içermektedir (Resim 2.8). Cihazı ilk tasarladıklarında erken sınıf 3 vakalarının düzeltilmesi için kullanmışlar fakat ilerleyen yaşlarda da genişletme elde edildiğini görünce yetişkin hastalarda da uygulanabileceğini söylemişlerdir[99].

Toklu ve diğerleri 2015 yılında 25 ergen hastada (ortalama yaş 14) yaptıkları çalışmalarında geleneksel hızlı maksiller genişletme apareyi ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda iki grup arasında iskeletsel olarak çok az fark olduğunu bildirmişlerdir. Bu cihazın midpalatal bölgelere erişiminin ciddi bir şekilde kısıtlandığı maksiller transversal yetersizliği olan hastalarda kullanımının uygun olacağını belirtmişlerdir[100].



Resim 2.8. Mini implant destekli hibrit Hyrax genişletme apareyi[100]

Dişsel ankraji olmayan mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi

Dişlerden bağımsız olarak aktive edilen bu aparey ile kuvvetlerin doğrudan maksillaya iletilmesi amaçlanmıştır. Dişlerin bukkale devrilmelerinin ortadan kaldırdığı belirtilmektedir. Dişlere bağlı bir cihaz olmadığı için bağımsız olarak dişlerde ortodontik tedavi yapılmasına da izin verebilmektedir. Araştırmacılar bu cihazla uygulanan kuvvetler sonrası maksiller molar dişlerin ortodontik olarak bağlı olmaması durumunda palatinele eğilme gösterebileceğini bildirmişlerdir[92, 94, 101].

Apareyin uygulanmasında her iki bölgeyede yerleştirilecek implantların birbirine paralel olması gerektiği ve en az 6 mm uzunlukta 2 mm çapta mini vidaların kullanılmasının faydalı olacağı belirtilmiştir. İmplantların lokalizasyonunun 1., 2. premolar dişlerinin ve 2. premolar, 1. molar dişlerinin kökleri arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Resim 2.9)[81].



Resim 2.9. Dişsel ankraji olmayan mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi[101]

Haas tip mukoza destekli mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi

Lee ve diğerleri 2014 yılında SEA yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında, apareye akrilik plakaların eklenmesinin, hibrit mini implantlı genişleticilerle karşılaştırıldığında trasnversal yönde genişletme hareketleri sonrası bukkal alveolar kemikte daha az stres alanları oluşturduğunu belirtmiştir[102].

Araştırmacılar Haas tipi akrilik plakanın dahil edilmesinin mini implantlar etrafında başlangıçta kemikte oluşan stres yoğunluğunu azalttığını ve bu nedenle alveolar kortikal desteğin zayıf olduğu özellikle genç hastalarda mini implant stabilitesini attırabileceğini

söylemişlerdir. SEA yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada hibrit mini implant destekli hızlı maksiller genişletici ve mini implant destekli Haas tipi genişletici karşılaştırılmıştır. Hibrit hızlı maksiller genişletici apareyde stres alanlarının mini implantlar etrafında toplanırken haas tipi apareyde daha düşük seviyelerde stres odakları olduğu belirtilmiştir[95].

Lin ve diğerleri 2015 yılında, tedavi öncesi KIBT taramaları yaparak midpalatal suturen kapandığı 28 hastada (ortalama yaş 18) retrospektif bir çalışma yapmışlardır. Hibrit mini implant destekli apareyler ile geleneksel hızlı maksiller genişleticilere göre 2 kat daha fazla iskeletsel genişleme elde edildiğini belirtmişlerdir. İskeletsel ankrajlı mini implant destekli cihazlarda dentoalveolar komplekste daha az bukkal kemik kaybı olduğunu bildirmişlerdir[94].

Mini implantlar üst 1. molar dişin mesial ve distaline olacak şekilde dentoalveolar palatinal mukozaya birbirine paralel yerleştirilmesi gerekmektedir. Kullanılan implantlar 9 mm uzunluğunda 1.5 mm çapında olması yeterli olmaktadır. Sütural direncin düşük olduğu genç hastalarda 2 mini implant üzerine bu aparey dizayn edilebilmektedir. Genişletici tasarımının seçimi genellikle hastanın yaşına ve damak genişliğine, derinliğine ve şekline bağlı olarak değişmektedir (Resim 2.10.) [81].



Resim 2.10. Haas tip mukoza destekli mini implantlı hızlı maksiller genişletme apareyi[81]

2.2.4. Hızlı maksiller genişletici uygulama zamanı

Ortodontik olarak değerlendirildiğinde maksillofasiyal suturelerin fizyolojik olarak kapanması önem arz etmektedir. Suturelarda ossifikasyon başlayınca maksiller kemiklerin ortopedik olarak düzeltilmesi zorlaşmaktadır. Persson ve diğerleri 1977 yılında, insan kadavraları üzerinde yaptıkları çalışmalarında midpalatal suturelerin çocukluk döneminden başlayarak 3. dekatlara kadar uzayacak şekilde kapanabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında 27 yaşındaki bir kadında kapanmamış bir midpalatal suture gözlemlerken 15 yaşında ki bir kız çocuğunda kapanmış olduğunu belirtmişlerdir. Midpalatal suturen 2-3. dekatlara kadar % 5 oranda kapanmadığını belirterek bu yaşlara kadar hızlı maksiller genişletme uygulanabileceğini söylemişlerdir[68].

Haas 1980 yılında yaptığı bir çalışmada, karışık dişlenme zamanında yapılacak hızlı maksiller genişletme uygulamasının relapsının az olacağını söylemiştir[18]. Wertz 1970 yılında yaptığı çalışmada ortalama yaş olarak 13-15 yaş arasında ve öncesinde yapılan tedaviler için daha kalıcı olacağını, ilerleyen yaşlarda uygulanan tedavilerde relaps oranının yüksek olduğunu belirtmiştir[103].

Sarı ve diğerleri 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında hızlı maksiller genişletmenin ortopedik etkilerinin karışık dişlenme öncesi yapıldığında istenilen sonuçların alınmadığını belirtmişlerdir. Transversal maksiller yetersizliklerin tedavisinde en güvenli yaş aralığının karışık dişlenme dönemi olduğunu belirtmişlerdir[104].

Carlson ve diğerleri 2016 yılında yayınladıkları vaka raporunda 19,5 yaşındaki bir hastanın cerrahi desteksiz mini implant ankrajlı hızlı maksiller genişletici kullanarak yapılan tedavisi sonucu midpalatal suturen ayrıldığını ve kraniyofasiyal yapıların da genişlediğini bildirmişlerdir[105].

Brunetto ve diğerleri 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada, cerrahi desteksiz mini implant ankrajlı maksiller genişletici kullanarak 22,5 yaşındaki bir kadının midpalatal suturenı açarak tedavisini tamamlamışlardır. Palatal suturen yüz büyümesi sonucunda tamamen kaynaştığını gösteren hiçbir kanıt olmadığını ve tedavinin ilerleyen yaşlarda da uygulanabileceğini belirtmişlerdir[106].

2.2.5. Hızlı maksiller genişleticinin dişsel ve iskeletsel etkileri

Hızlı maksiller genişleticiler, uyguladığı kuvvetlerle dişler ve iskeletsel yapılarda planlanan hareketleri sağlayabilmektedirler. Ortopedik kuvvetler sonucu midpalatal süturda aralanma meydana gelmektedir. Apareylerin uyguladığı kuvvetler sonucu başta destek dişler olmak üzere periodontal yapıda baskı oluşmakta ve dişlerde eğilme meydana gelebilmektedir. Maksilla sütünal açılmayla beraber hem anteriora hem de inferiora doğru rotasyon yapabilmektedir[16, 103].

Ekström ve diğerleri 1977 yılında, radyoizotip iyonlarla yaptıkları çalışmalarında midpalatal süturda elde edilen genişlemeden sonra 1 ay içerisinde ossifikasyonun başladığını ve sonrasında nispeten daha yavaş ilerlediğini söylemişlerdir. Relapsı azaltmak için istenilen yetersizlik giderildikten sonra beklenilecek sürede bu araştırmanın dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir[107].

İşeri ve diğerleri 1998 yılında, hızlı maksiller genişleticinin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki biyomekanik etkilerini incelemek için 3B sonlu elamanlar analizi yöntemi kullanmışlardır. Maksillar kanin ve molar diş bölgelerinde, alt burun boşluğunun lateral duvarında, zigomatik ve burun kemiklerinde ve pterygoid plakalarda yüksek stres alanları elde etmişlerdir[108].

Wertz 1970 yılında, hızlı maksiller genişletici uygulanması sonucu maksillanın anteriora ve inferiora rotasyonunun mandibulada posterior rotasyona neden olduğunu bildirmiştir[103]. Gyrson 1977 yılında hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda yaptığı çalışmaya göre tedavi öncesi ile sonrası arasında mandibulada kaninler arası ve molar dişler arasında ortalama 0.4 mm artış ölçmüştür[109].

KIBT kullanılarak hızlı maksiller genişletmenin nazal kavitedeki etkilerini araştırmak için yapılan çalışma sonuçlarına göre; burun boşluğunun tüm alanlarında hacimsel olarak artış gözlenmiş ve retansiyon süreci boyunca relaps gözükmediği belirtilmiştir[110].

Hızlı maksiller genişleticinin dişler üzerindeki değişikliklerini içeren bir çalışmaya göre Haas tip genişletme cihazının ortalama genişletme 7,58 mm yapıldığında; maksiller 1. premolar 8,39 mm, 1. molar 7,92 mm genişlediği ölçülmüştür. Arada oluşan farkın dişlerin bukkale devrilmesinden kaynaklı olduğunu belirtmişlerdir[111].

2.3. Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletici

Büyüme gelişim çağını tamamlamış, ileri maksiller hipoplazisi olan yetişkinlerde, hızlı maksiller genişletici apareyler kullanılarak transversal genişletme tek başına yeterli olmamaktadır. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme; maksiller yetersizliği gidermek için kısmi ortodonti ve kortikotomi ile birlikte maksillanın genişlemesini içeren bir distraksiyon osteogenezidir. Kortikotomi hatları; zigoma, midpalatal suture ve pterygoid plakaları içermektedir. Ortodontik apareyler ile iskeletsel ve dişsel ankrajlı genişletme yapılmaktadır. Transversal yönde maksillada önemli derecede genişletme sağlayan avantajlı bir teknik olmasına rağmen cerrahi müdahale gerektirmesi ve buna bağlı komplikasyonları içermesi dezavantajlarıdır[65].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme, transversal maksiller tutarsızlıkları düzeltmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir[35]. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici;

- Maksiller ark boyutunu arttırarak posterior çapraz kapanışı düzeltmek,
- Transversal yetersizliğin fazla olduğu ve ortognatik cerrahi planlanan hastalarda, ameliyat öncesi maksiller arkların boyutlarını arttırarak segmental maksillar osteotomi ile ilişkili artan riskleri ve uyumsuzlukları azaltmak,
- Dudak-damak yarıklarıyla ilişkili maksiller hipoplazileri düzeltmek,
- Gülümseme sırasında oluşan karanlık bukkal koridorları azaltmak,
- Hızlı maksiller genişletici kullanılarak midpalatal suture açılması başarısız olduğunda mevcut dirençleri aşabilmek için sıklıkla kullanılmaktadır[5, 112].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme için mutlak bir kontrendikasyon bulunmamaktadır. Kanama riskini bulunduğu koagülopatili hastalarda nispeten kontrendike olabilmektedir. Yaygın periodontal hastalığı ve ağız hijyeni çok kötü olan hastalarda cerrahi sonrası doğabilecek komplikasyonlar açısından dikkatli değerlendirme gerekmektedir[113].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme uygulamasında hastanın yaşı önem arz etmektedir. Literatürde bu konuda klinisyenler arasında fikir birliği bulunmamaktadır. Epker ve diğerleri 1980 yılında yaptıkları çalışmalarında, 16 yaşın üzerindeki hastalar için direkt cerrahi destekli bir genişletmenin faydalı olacağını belirtmişlerdir[114]. Timms ve diğerleri 1981 yılında yaptıkları bir çalışmada ise cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişleticinin 25

yaşına kadar olan hastalarda etkili bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir[115]. Mommaerts 1999 yılında yaptığı bir çalışmada, 12 yaşından küçükler için hızlı maksiller genişleticinin endike olduğunu ve 14 yaşın üzerindeki hastalar için, genişletmeye dirençli alanları serbest bırakmak için kortikotomilerle cerrahi olarak desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir[116]. Alpern ve diğerleri 1987 yılında yaptıkları bir çalışmada, 25 yaş üzeri erkeklerde ve 20 yaş üzeri kadınlarda cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmenin gerekli olduğunu belirtmişlerdir[12]. Hızlı maksiller genişleticinin tek başına yetişkin hastalarda uygulandığı zaman başarılı sonuçlar alındığını gösteren vakalar da literatürde bulunmaktadır[12, 117].

Ladewig ve diğerleri 2018 yılında yaptıkları çalışmaları sonucu cerrahi ve cerrahi desteksiz tedaviler arasında belli bir yaş aralığının endikasyon için kriter olmadığını belirtmişlerdir. Büyüme ve gelişimini tamamlamış bireylerde en iyi teşhisin KIBT'ye bakılarak konulabileceğini belirtmişlerdir[118].

2.3.1. Maksillanın Anatomisi

Maksilla

Maksilla fetal gelişimin son trimesterinde sutura intermaksilleris adı altında orta hatta birleşen 2 kemikten oluşmaktadır. Yüz bölgesinde mandibuladan sonra en büyük yüz kemiğidir ve mandibula hariç diğer yüz kemiklerinin hepsiyle birleşmektedir. Burun boşluğu tabanının, lateral duvarlarının ve orbita tabanının büyük bir bölümünü oluşturarak infratemporal, ptergopalatin fossalar ve alt orbital ve pterygomaksiler fissürleri sınırlamaktadır. Alveolar, infratemporal, orbital ve nasal olmak üzere 4 yüzeyden, zigomatik, frontal, alveolar ve palatin olmak üzere 4 proçesten oluşmuştur (Resim 2.11)[119].

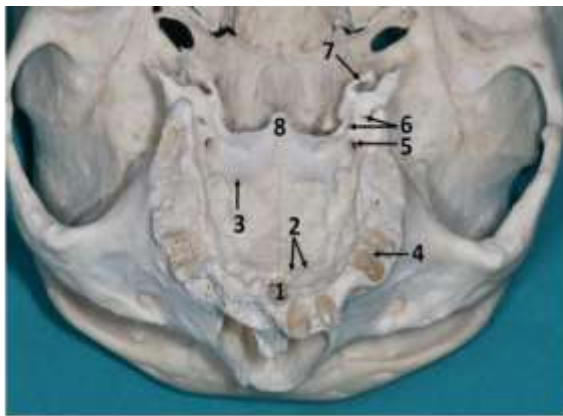
Alveolar yüzey, anteriordan bakıldığında santral dişlerin apeksleri hizasında bulunan sığ fossaya depresör septi kası yapışmaktadır. Hemen bu fossanın inferiorundaki alveolar kemik sınırına orbicularis oris kası ve nasalis kası bağlanmaktadır. Anteriordaki bu kesicilerin bulunduğu fossanın biraz daha distaline gidildiğinde kanin dişi apeksi hizasında fossa kanina bulunmaktadır. Buradaki fossaya da levator anguli oris kası yapışmaktadır. Fossa kaninanın üzerinde infraorbital foramen bulunmaktadır, damar ve sinir paketleri mevcuttur (Resim 2.11). Levator labii superior kası; infraorbital foramen ve levator anguli oris kasının üzerine

eklenmektedir. Ön yüzeyin medialinde de incisura nasalis adında çentik bulunmaktadır. Bu çentiğe nasalis ve depresör septi kasları yapışmaktadır[120, 121].

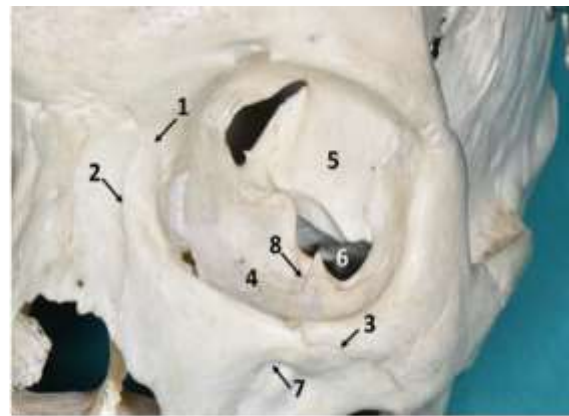
İnfratemporal yüzey içbükey ve maksillaya posterolateral olarak bakıldığında görülmektedir. Anterior yüzeyden 1. molar dişin apeksi hizasından yükselen bir sırt(jugular crest) ile ayrılmaktadır. İnfratemporal fossanın ön duvarını oluşturmaktadır. Bu fossada tüber maksilla, posterior alveolar damar ve sinir paketleri bulunmaktadır[120, 121].

Orbital yüzey pürüzsüz ve üçgen şeklindedir, orbita çukurunu oluşturmaktadır. Anterior olarak medial sınırı; lakrimal kemik, etmoid kemiğin orbital çıkıntısı ile birleşmektedir. Posterior olarak inferior orbital fissürün ön kenarını oluşturmaktadır. Sulcus infraorbitalis aracılığıyla foramen infraorbitalise açılmaktadır.[119-121].

Maksillanın zigomatik proçesi kalın ve kortikal yapıda bulunmaktadır. Anterior ve infratemporal yüzeylerin birleşiminden çıkıntı yaparak zigomatik kemikle birleşmektedir. Palatinal proçes kalın ve yatay konumda medial olarak uzanmaktadır. Nazal taban ve sert damağın büyük kısmını oluşturmaktadır. Burun septumunun oluşumuna katkıda bulunacak şekilde anteriora uzandıkça kalınlaşmaktadır. Inferior yüzeyi iç bükey ve düzensizdir. Sert damağın $\frac{3}{4}$ 'lük kısmını oluşturmaktadır. İntermaksiller suture, insiziv fossa ve insiziv foramenler bulunmaktadır. Frontal proces süperiora ve mediale doğru uzanmaktadır. Antero-medial olarak burun kemiği ile posterior olarak lakrimal kemik ile birleşmektedir. Alveolar proçes inferiora doğru uzanmakta ve maksiller dişleri taşımak için üzerinde diş köklerinin konumlanacağı soketleri bulunmaktadır. Buksinatör kas 1. molar diş hizasında bukkal yüzeye yapışmaktadır (Resim 2.11)[122].



a

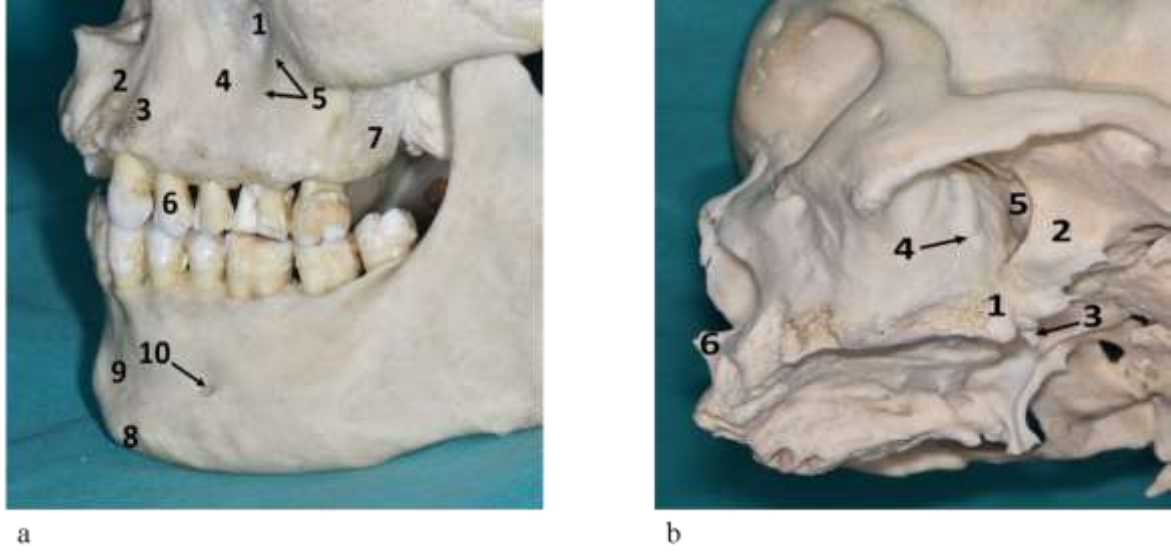


b

Resim 2.11. a) Maksilla inferior görünümü; 1-insiziv foramen, 2-insiziv suture, 3- transversal palatinal suture, 4-interdental septum, 5-major palatinal foramen, 6-minör palatinal foramen, 7-pterygoid çentik, 8-posterior nazal spina b) Maksilla orbital görünümü; 1-frontomaksillar suture, 2-nazomaksillar suture, 3-zigomatikomaksillar suture, 4- maksiller kemiğin süperior yüzeyi, 5-sfenoid kemik, 6-infraorbital fissür, 7-infraorbital foramen, 8- infraorbital oluk

Maksiller kemiğin gövdesi piramidal bir şekilde gözükmektedir. Piramit tepesi çıkıntı yaparak zigomatik kemik tabanına doğru devam etmektedir. Maksiller gövdenin tabanı (orta yüzey) burun boşluğunun lateral duvarına katkıda bulunmaktadır. Maksillanın medial yüzeyinin posterosüperior kısmı, maksiller sinüsü burun boşluğuna bağlayan büyük bir açıklığa (maksiller hiatus) sahiptir. Major palatin oluk, medial maksiller duvarın arka kenarı boyunca palatin kemiğin arka kenarına doğru inmektedir. Palatinal kemiğin vertikal laminasında başka bir major palatin oluşu mevcuttur. Bu iki kemik birbiriyle birleştiğinde, daha büyük damarlar ve sinir için bir kanal oluşturmaktadır. Lakrimal oluk, maksiller hiatusun önünde yer almaktadır. Lakrimal kemik ve burun konkası, maksilla ile birleştiğinde nazolakrimal kanal oluşmaktadır. Maksillanın üst sınırı orbita tabanının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Lakrimal, etmoid ve palatin kemik maksillanın orbital yüzeyinde birleşmektedir. Orbitanın altında nörovasküler paketi içeren infraorbital oluk bulunmaktadır. Maksiller gövdenin dış bükey posterolateral yüzeyi infratemporal fossanın ön duvarını oluşturmaktadır. Dudakların ve burnun hareketleri ile ilişkili depressor septi, nasalis ve levator anguli oris kasları anterior maksiller yüzeye yapışmaktadır Resim 2.11)[123].

Maksiller anterolateral malar yüzey, zigomatik çıkıntıdan birinci molar dişe inen kavisli bir çıkıntı ile posterolateral yüzeyden ayrılmaktadır. Malar yüzeyin medial kenarı, piriform açıklığın inferior ve lateral sınırlarını oluşturmaktadır. Anterolateral yüzeyde fossa kaninanın 6 mm süperiorunda infraorbital foramen bulunmaktadır. Fossa kanina, kanin dişi socketinin apeksinde lokalize çöküntüye denilmektedir (Resim 2.12)[124].



Resim 2.12. a) maksilla ve mandibula lateralden görünümü; 1-infraorbital foramen, 2-insizör fossa, 3-kanin eminensi, 4-fossa kanina, 5-anterolateral ve posterolateral maksiller birleşim yüzeyi, 6-1.premolar diş, 7-tüber maksilla, 8-mental kabartı, 9- mental fossa, 10-mental foramen b)maksilla posterolateral görünümü; 1-tüber maksilla, 2-lateral pterygoid yüzey, 3- palatin kemiğin piramidal proçesi, 4-posterior süperior alveolar kanal, 5- pterygopalatin fossa, 6-anterior nazal spina

Maksiller sinüs

Maksiller sinüs, 1651’de Nathaniel Highmore tarafından tanımlanmış ve Highmore Antrum adı almıştır. Ortalama hacmi 15 ml ile en büyük paranasal sinüstdür. İç yüzeyi, periosteuma bağlanan ve burun boşluğunun epiteline devam eden 1 mm kalınlığındaki yalancı çok katlı kolumnar epitel tabakası olan Schneiderian zarı ile kaplıdır. Maksiller sinüs boşluğu, tabanı ve tepesi maksiller gövdenin piramidiyle çakışan dört kenarlı bir piramidi andırmaktadır. Sinüsün boyutu ve morfolojisi komşuluğundaki boşlukların veya fossaların boyutuna bağlı değişmektedir. Pnömatizasyonun boyutu kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Örneğin, sinüs piramidinin apikal kısmı, maksilla veya hatta zigomatik kemiği kapsayabilmektedir. Boyutu ve şeklinde asimetri yaygın görülmekte ve daha büyük boyutlarda genellikle daha ince duvarlarla ilişkilendirilmektedir. Maksiller sinüs duvarları ile kafatasındaki bitişik boşluklardan ayrılmaktadır. Medial duvarın en belirgin özelliği, maksiller sinüsün kemikli burun boşluğu ile iletişim kurduğu Highmore antrumudur. Bu iki boşluk arasındaki geçiş etmoid kemiğin, inferior nazal konka ve palatin kemiğin dik plakası maksilla ile birleştiğinde önemli ölçüde daralmaktadır. Maksiller sinüsün çatısını orbital taban oluşturmaktadır. İnfraorbital kanaldan geçen infraorbital nörovasküler paket, maksiller

sinüsün çatısına gömülür ve bazı durumlarda maksiller boşluğa doğru çıkıntı yapmaktadır. Sinüs tabanı sert damağa göre daha aşağıda ve maksiller antrumdan çok daha inferiora lokalize konumlanmaktadır. Klinik olarak önemli anatomik varyasyonlardan biri, genellikle sinüs tabanından ortaya çıkan ve sinüsü bölmelere ayıran septanın varlığıdır. Septa prelevansı % 13-35,3 arasında değişmektedir. Anterior süperior alveolar kanal ve onun nörovasküler demeti, maksiller sinüsün anterior duvarından geçmektedir. Posterior süperior alveolar sinirin ve damarların alveolar kanal yoluyla iletimi de maksiller sinüsün arka duvarında lokalizedir[125, 126].

Palatin kemik

Palatin kemik; anteriorda maksilla ile posteriorda sfenoid kemiğin pterygoid proçesi arasında bulunmaktadır. Horizontal ve vertikal plakalardan oluşmaktadır. Horizontal plakaları ile maksiller kemiğin palatinal çıkıntıları birleşerek oluşmaktadır sert damağın oluşumuna katılmaktadır. Transversal suture birinci ve ikinci molar dişleri hizasında yer almaktadır. Foramen palatinum majus 3. molar diş hizasında ya da distalinde bulunmaktadır. Daha posteriorda ve lateralde tüber maksilla yer almaktadır. Palatinal kemiğin pirimidal proçesleri, sfenoid kemiğin ptergoid proçesleri ve maksilla ile birleşmektedir. Sfenoid kemikle maksilla arasında oluşan boşluğa pterygomaksiller fissür adı verilmektedir. Bu fissür süperiorda inferior orbital fissür ile devam ederek infratemporal fossa ve pterygopalatin fossayı birbirine bağlamaktadır (Resim 2.11, Resim 2.12)[119, 127, 128].

Maksiller bölgenin sinirleri

Orta ve alt yüz bölgelerinin çoğunun innervasyonunda trigeminal ve fasiyal kraniyal sinirlerin dalları görev almaktadır. Trigeminal sinir, kraniyal sinirlerin en büyüğü olup hem motor hem de duysal bileşenleri bulunmaktadır. Oftalmik, maksiller ve mandibular olmak üzere üç dal vermektedir. Maksiller ve oftalmik sinir bir duyu siniridir. Mandibular sinir ise hem duyu hem de motor sinirdir[123, 129].

Meningeal dal, foramen rotundumdan pterygopalatin fossaya geçmeden önce maksiller sinirin kraniyal kısmından başlamaktadır. Bu fossada parasempatik pterygopalatin ganglion, sfenopalatin siniri ile maksiller sinirin alt tarafına bağlanmaktadır. Maksiller sinir duyu lifleri pterygopalatin gangliyonu boyunca kesintisiz olarak devam eder ve pterygopalatin

ganglion dalları olarak adlandırılan orbital, nazal, palatin ve faringeal olmak üzere sinirlere ayrılmaktadır. Bu dallar hem trigeminal sinirin duyusal liflerini hem de yumuşak damaktan gelen tat liflerini ve mukozayı innerve eden postganglionik parasempatik lifleri taşımaktadır. Hem tat hem de parasempatik lifler fasiyal sinire aittir (Resim 2.13)[123, 130].

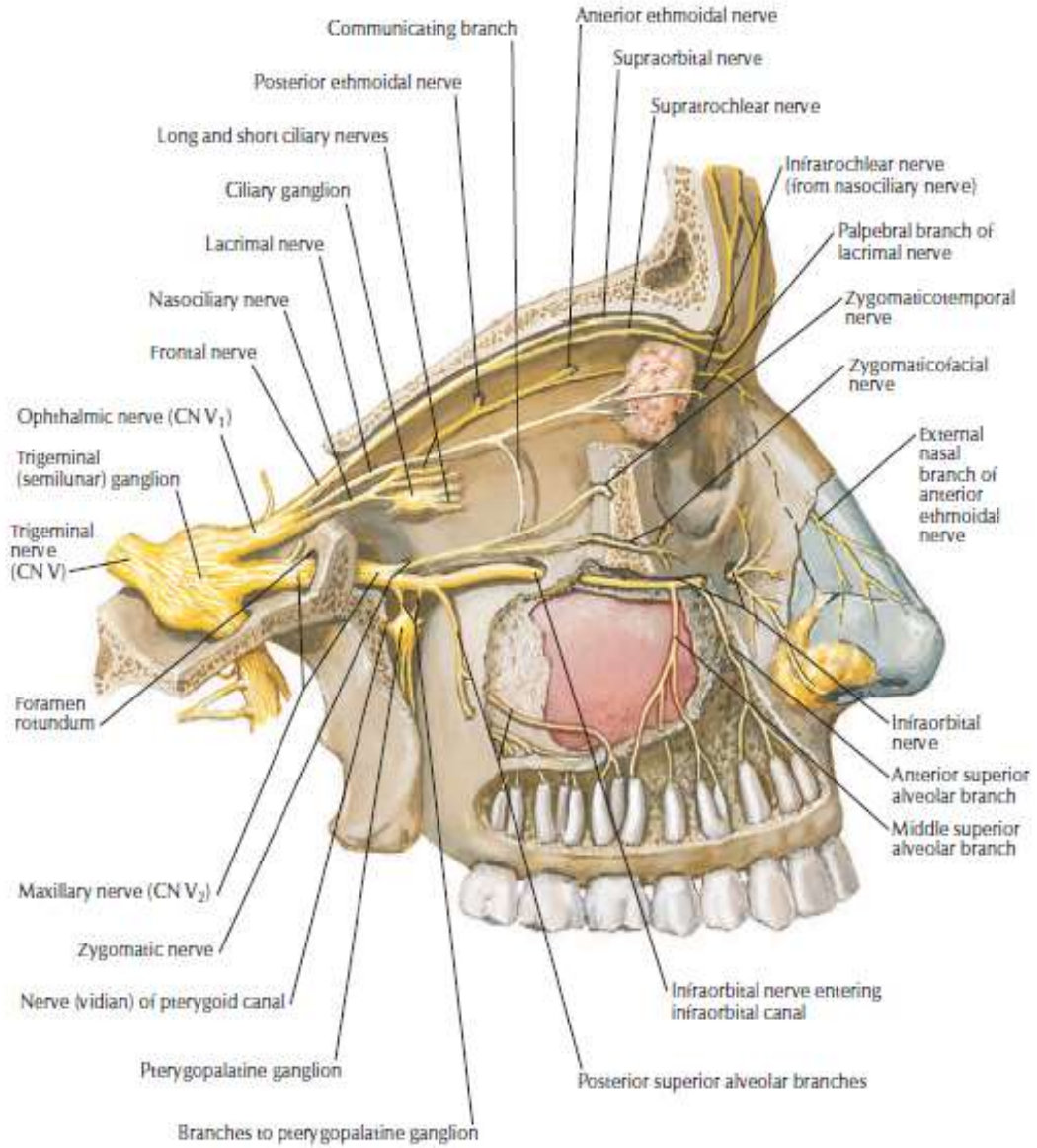
Pterygopalatin ganglionun orbital dalları, orbitanın iç yüzeyinin yanı sıra hem sfenoid hem de etmoid sinüslerin internal yapılarını ve mukozasını innerve etmektedir. Maksillanın nazal dallarının en uzun ve en büyüğü olan nazopalatin sinir, sfenopalatin foramen yoluyla burun boşluğuna girer, nazal septumun lateral yüzeyinin mukozasının altına geçerek nazopalatin veya insiziv kanala ulaşmaktadır. Kanalin üst kısmında, sol ve sağ nazopalatin sinirleri, sırasıyla ön ve arka foramenlerden ayrı ayrı veya ortak foramenlerden birlikte geçmektedir. Nazopalatin sinir, üst keser dişlerin damak dokusunu innerve etmektedir (Resim 2.13)[131].

Palatin siniri, büyük ve küçük palatin sinirlere dallanmaktadır. Büyük palatin siniri, palatin kanalından aşağı iner, daha büyük palatin foramenleri geçer ve kemik dokusu ile mukoza arasındaki bir düzlemde sert damağa dallanmaktadır. Daha küçük palatin siniri, palatin kanalını kaplar ve daha küçük palatin foramenlerinden ortaya çıkmaktadır (Resim 2.13) [123].

Zigomatik sinir, sırasıyla temporal bölgenin derisini ve yanak çıkıntısını sağlayan zigomatikotemporal ve zygomatikofasiyal dallara ayrılmaktadır. Posterior superior alveolar sinir, maksiller sinirden pterygopalatin fossada ayrılarak maksiller gövdede düzensiz olarak dağılmış bir dizi foraminaya girmektedir. Maksiller sinüs için duyusal bir besleme sağlayan dallar, mukoza ile kemik dokusu arasında yer almaktadır. Posterior alveolar kanallara inen diğer dallar, alveolar pleksusun arka kısmını oluşturup ve üst molar dişleri innerve etmektedir (Resim 2.13) [132].

Pterygopalatin fossadaki dallara ayrıldıktan sonra, maksiller sinir infraorbital fissürden orbitaya geçmektedir. İnfraorbital oluk ve kanala yerleştikten sonra infraorbital sinir adını almaktadır. İnfraorbital sinir tarafından verilen dallar, sırasıyla lateral ve anterior maksiller duvarların kanallarına inen medial ve anterior superior alveolar sinirlerdir. Medial superior alveolar sinir, küçük azı dişleri besler ve kısmen alveolar pleksusun orta kısmını besler. Anterior superior alveolar sinir, infraorbital kanalın arka kısmından kendi kanalına girer ve kesici dişlere ve kanin dişlerine doğru inmektedir. Bu dişleri besleyen alveolar pleksusun ön

kısmını oluşturup burun boşluğunun tabanına nazal dallar vermektedir. İnfraorbital sinirin terminal kısmı, maksilla ön yüzeyinde infraorbital foramenlerden çıkar ve sağladıkları alanların adını taşıyan inferior palpebral, internal ve eksternal nazal dallara ayrılmaktadır (Resim 2.13) [123, 133].



Resim 2.13. Trigeminal sinir ve dalları[134]

Maksiller bölgenin arterleri ve venleri

Ağız boşluğunun arterlerinin büyük çoğunluğu eksternal karotisten kaynaklanmaktadır. Bunlar süperior tiroid, lingual, fasiyal, posterior aurikular, oksipital, assending faringeal, maksiller ve süperfasiyal temporal arterlerdir. Lingual, fasiyal ve maksiller arterler doğrudan ağız boşluğunun beslenmesini sağlamaktadırlar (Resim 2.14)[123].

Lingual arter, karotis üçgeninde ya doğrudan dış karotitten ya da popülasyonun yaklaşık % 20'sinde ortak linguofasiyal gövdeden kaynaklanmaktadır. Süperior tiroid arteriyle birlikte nadiren ortak bir tirolingual gövde oluşturmaktadır. Lingual arterin proksimal kısmı, hipoglossal sinir tarafından lateral olarak çaprazlanan yükselen bir halka oluşturmaktadır. Arter daha sonra öne doğru ilerleyip ve mylohyoid kasın medial yüzeyi boyunca, genioglossus kası arasında seyretmektedir. Lingual arterin (derin lingual arter) terminal kısmı, dilin ventral yüzeyi boyunca ucuna doğru ilerlemektedir. Suprahyoid dal, lingual arterin proksimal kısmından kaynaklanmaktadır. Suprahyoid kasların beslenmesini sağlamaktadır. Suplingual arter, hyoglossus kasının ön kenarındaki lingual arterden ayrılmaktadır. Bu dal, sublingual bezin medial yüzeyinde bulunup, bezi ve ağız tabanının mukozasını beslemektedir (Resim 2.14) [135].

Lingual arter, hyoglossus kasını geçtiğinde, dilin posteriorunu ve orofarinksin bitişik kısmını beslemek için bir ya da üç dorsal arter dala ayrılmaktadır. Sublingual ve submental arterler karşılıklı birbirleriyle anastomoz yapmaktadırlar[135].

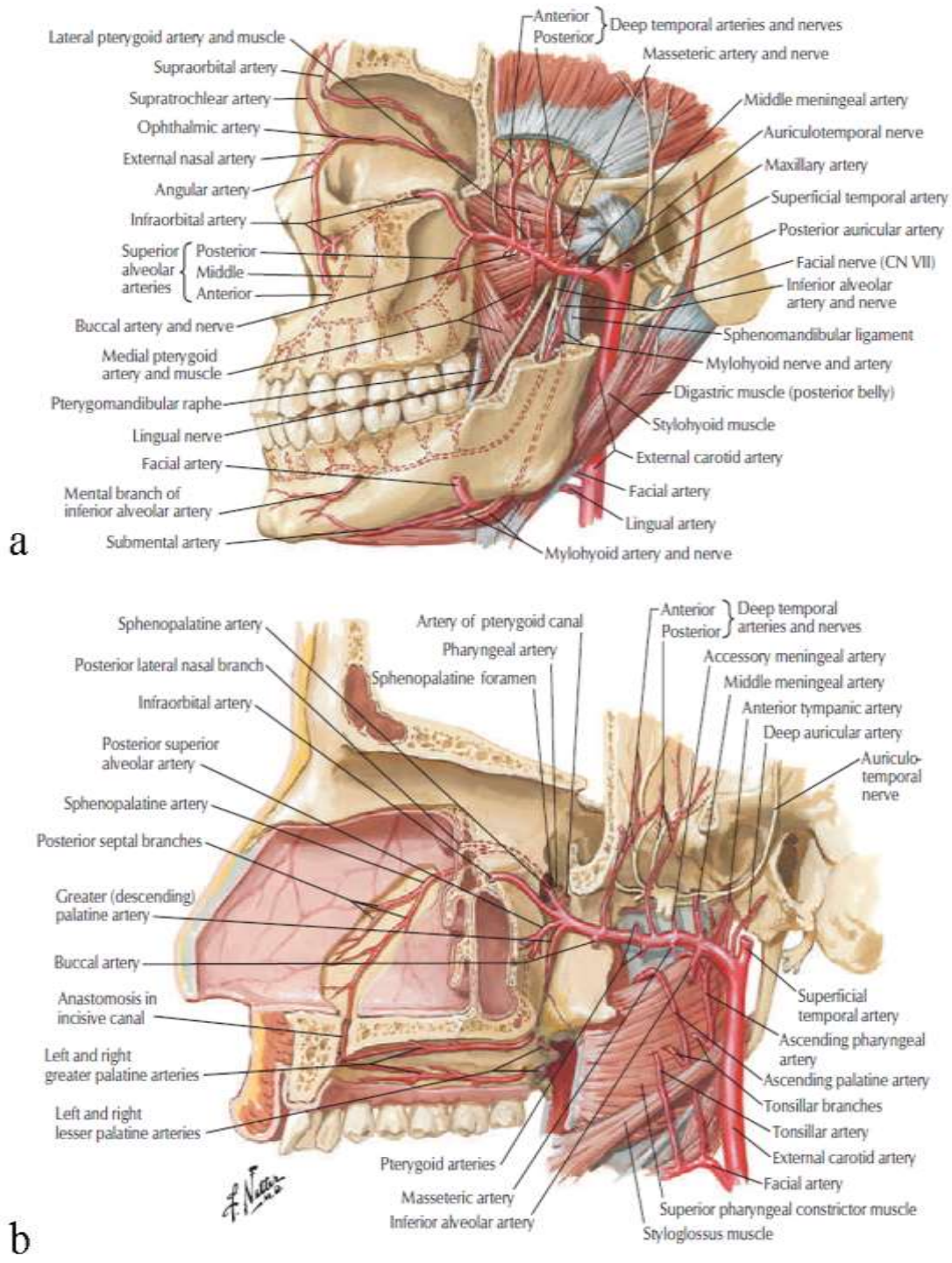
Fasiyal arter digastrik kasın posterior lateralden lokalize bulunmaktadır. Bu arter sadece medial olarak mandibula açısına geçer ve ardından submandibuler bezi kesmektedir. Fasiyal arter submandibular üçgene girer, masseter kasın ataşmanının ön tarafında mandibular gövdenin alt sınırının altından geçip ve nazolabial oluğa doğru anterosuperior yönde devam etmektedir. Burada fasiyal arter, burnun yan sınırına ulaşıncaya kadar çok karakteristik kıvrımlı bir seyir izlemektedir. Fasiyal arterinin gözün medial açısına yaklaşan uzak kısmı “angular” arter olarak adlandırılmaktadır (Resim 2.14)[136].

Eksternal karotid arter, parotis bezi içinde terminal dallarına, maksiller ve yüzeyel temporal arterlere ayrılmaktadır. Embriyolojik olarak maksiller arter, dış karotid arterin bir devamıdır. Maksiller arterin seyri genel olarak anterior, superior ve medial olmaktadır. Maksiller arterin en proksimal kısmı sfenomandibular bağ ile mandibular ramus arasında bulunmaktadır. Maksiller arterin infratemporal fossadaki diğer yapılarla ilişkisi değişkenlik göstermektedir.

Lateral pterygoid kasın lateral veya medialinde lokalize bulunabilmektedir. İnferior alveolar sinirin medialinde (çoğu zaman) ya da lateralinde bulunmaktadır. Maksiller arter daha sonra lateral pterygoid kasının iki başı arasından geçerek ve pterygomaksillar fissür yoluyla pterygopalatin fossaya girmektedir. Maksiller arterin sayısız dalı arasında, direkt intraoral bölge ile ilgili olanlar; inferior alveolar, bukkal, posterior süperior alveolar, infraorbital ve büyük palatin arterleridir. Aynı isimdeki trigeminal sinirin dallarının seyrini takip etmektedirler (Resim 2.14)[137].

Sfenopalatin arter, sfenopalatin forameninden geçen maksiller arterin direkt devamıdır. Burun boşluğunda lokalizedir ve lateral dallarını burun konkasının posterioruna vermektedir. Lateral arterler ayrıca maksiller, frontal, etmoid ve sfenoidal sinüslerin beslemesine katkıda bulunmaktadır. Sfenopalatin arterin posterior septal dalı, nazal septumun posterosuperiorundan anteroinferior köşesine çapraz olarak uzanır ve büyük palatin arterin terminal dalı ile anastomoz yaptığı kanala girmektedir (Resim 2.14)[123, 138].

Alt ve üst çenelerin venleri, esas olarak ilgili arterlerin ve sinirlerin seyrini takip ederek nörovasküler paketleri oluşturmaktadır[123].



Resim 2.14. a) Maksiller arter lateral görünüm b) Maksiller arter medial görünüm[134]

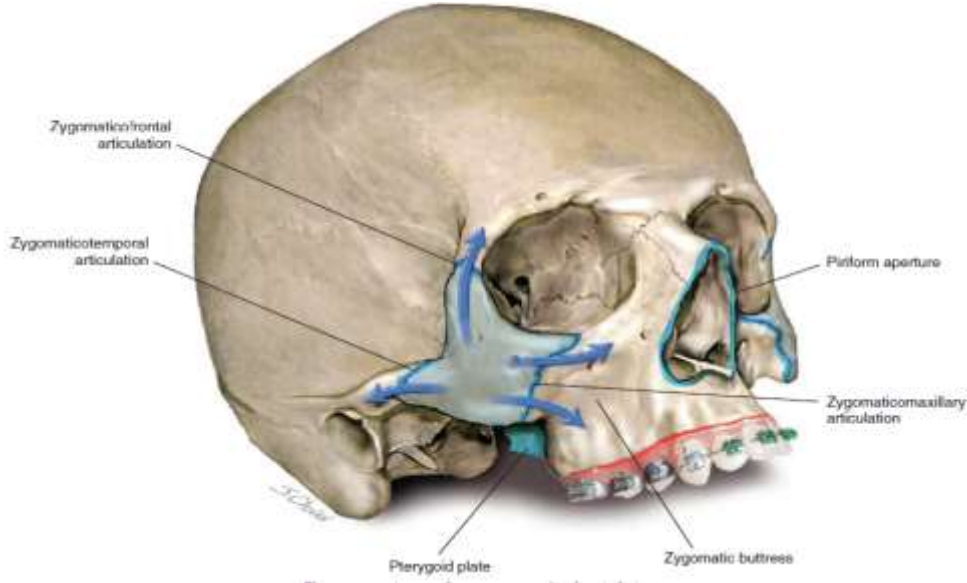
2.3.2. Kortikotomi sırasında uygulanan farklı osteotomi teknikleri

Ortodontik cihaz kullanılarak midpalatal suturen açılarak transversal yönde maksillanın genişleme prosedürü ilk olarak Angell tarafından 1860 yılında, bir asırdan daha fazla süre önce tanımlanmıştır[14]. Prosedür tanımlandığında herkes tarafından kabul görmese de

sonrasında Issacson, Haas maksiller transversal yetersizliği tedavi etmek için direnç noktalarının sadece midpalatinal strun değil aynı zamanda zigomatik kemik, ptergoid plakalarında direnç oluşturduğunu belirtmişlerdir[15, 139]. Yüz iskeletindeki direnç alanlarının tanımlanması, ortodontik genişletme cihazları kullanımı ile maksillayı genişletmek için çeşitli maksiller osteotomilerin gelişmesini sağlamıştır (Resim 2.15.). Brown tarafından 1938 yılında, midpalatal strun cerrahi olarak ayrılması tekniği tanımlanmıştır[140]. Steinhauer 1972 yılında, genişletici aperey kullanmadan osteotomi boşluğuna iliak krest kemik grefti yerleştirilerek bir teknik bildirmiştir[141].

Bazı araştırmacılar maksiller strların ve direnç alanlarının tamamen ayrılmasını savunurken bazıları ptergoid kırıklarını ve komplikasyonları önlemek için sadece ptergomaksiller ayırmayı tavsiye etmişlerdir. Eğer ptergoid plakaların ve nazal septumda cerrahi osteotomiye karar verilmişse, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmenin intravenöz sedasyon altında yapılmasının olası komplikasyonları önlemek açısından daha güvenli olduğunu belirtmişlerdir[142]. Maksiller segmentlerin hareketliliğini ve simetrik genişletmeyi sağlamak için, orta hat ve lateral osteotomilere ek olarak iki paramedian palatal osteotominin kullanılmasını öneren araştırmacılar bulunmaktadır[143].

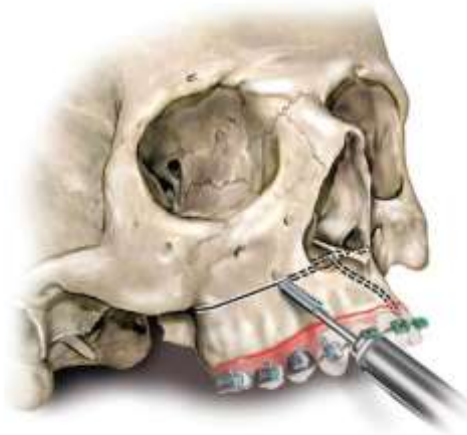
Genel olarak yetişkinlerde maksiller genişletme sağlamak için minimum prosedürün ne olduğunu dair fikir birliği tam olarak belirtilmemiştir. Cerrahin eğitimi ve tercihine bağlı olarak cerrahi modifikasyonlar kullanılmaktadır[144].



Resim 2.15. Yüz iskeletinde direnç alanları[113]

Lateral osteotomi tekniği

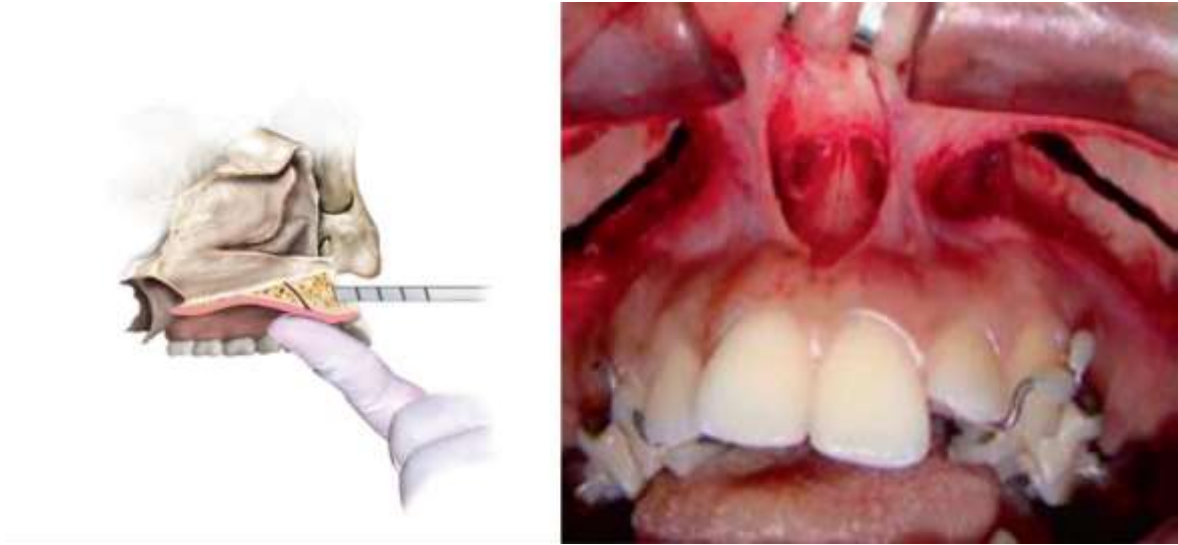
Kortikotomi öncesi anestezi olarak lokal infiltrasyon anesteziğine ek olarak tüber ve infraorbital sinir blokları yapılmaktadır. Mukogingival birleşimden 5-7 mm üzerinde lokalize olacak şekilde mukoperiosteal horizontal insizyon yapılmaktadır. İnsizyon hattı anteriorda kanin dişe kadar posteriorda 1. molar dişe kadar uzanmaktadır. Pterygomaksillar boşluğa ve piriform bölgesine subperiosteal diseksiyon yapılarak ulaşılmaktadır. Dişlerin apekslerinden en az 7 mm süperiorunda olacak şekilde apertura piriformisten maksiller tüber bölgesine kadar osteotomi gerçekleştirilmektedir (Resim 2.16) [113].



Resim 2.16. Lateral osteotomi [113]

Midline osteotomi tekniği

Lokal infiltratif anestezi sonrası orta hatta vertikal insizyon yapılarak mukoperiosteal flep kaldırılmaktadır. İnsizyon sınırları mukogingival birleşimden 5 mm üzerinden başlayarak anterior nazal spinaya kadar uzanmaktadır. Osteotomi düz ince bir osteotom ile gerçekleştirilmektedir. Maksiller segmentlerin tamamen hareketlendiği osteotomi hattına yerleştirilen osteotomun hafif rotasyonu sayesinde gözlenebilmektedir (Resim 2.17)[113].



Resim 2.17. Lateral osteotomi [113]

Palatal osteotomi tekniği

İnsiziv palatinal kanalın posteriorunda kalacak şekilde sert damakta orta hatta insizyon yapılarak Cottle elavatörü ile damak mukozası kaldırılmaktadır. Sonrasında sert damak posteriorundan başlayarak midpalatal suturen 2 mm laterallerinde paramedian osteotomiler yapılarak bu iki osteotomi insiziv kanalın posteriorunda birleştirilmektedir (Resim 2.18) [113].



Resim 2.18. Palatal osteotomi [113]

Pterygoid osteotomi tekniği

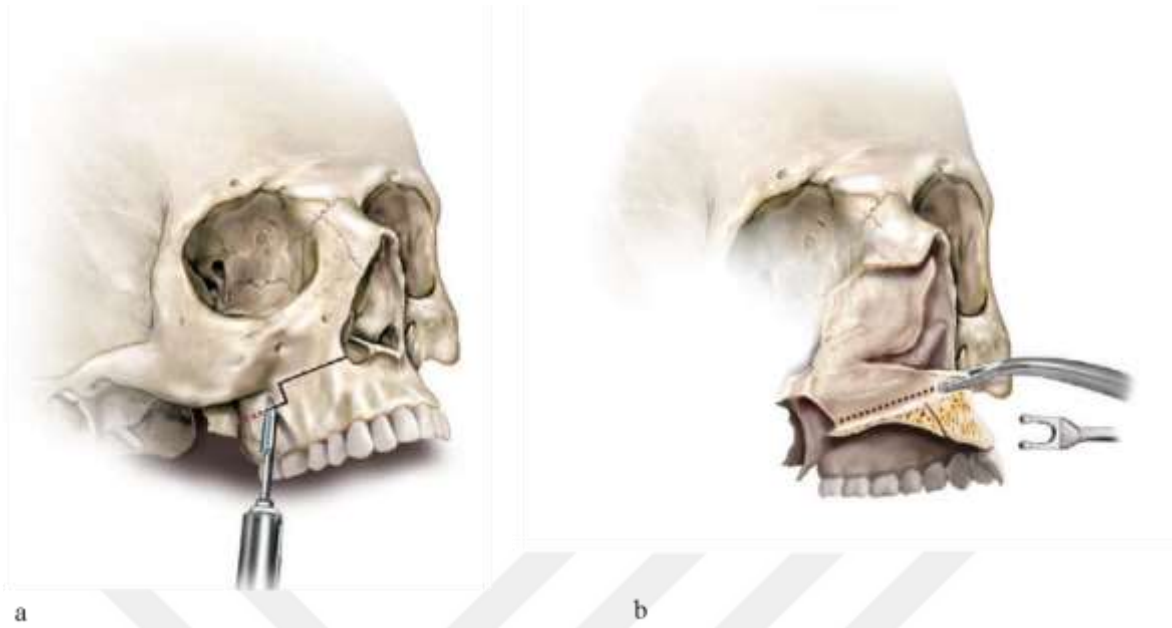
Mukogingival birleşimden 5-7 mm üzerinde lokalize olacak şekilde mukoperiosteal horizontal insizyon yapılmaktadır. İnsizyon hattı anteriorda kanin dişe kadar posteriorda 1. molar dişine kadar uzanmaktadır. Pterygomaksillar boşluğa subperiosteal insizyon yapılarak ulaşılmakta ve açılı bir osteotom kullanılarak osteotomi gerçekleştirilmektedir. Damar sinir paketleri açısından osteotomi sırasında dikkatli olunması gereken bir bölgedir (Resim 2.19) [145].



Resim 2.19. Pterygoid osteotomi [113]

Yüksek seviye le fort 1 osteotomi tekniği

Maksillada mukogingival birleşimin 5-7 mm üzerinden birinci molar dişleri arasında insizyon gerçekleştirilir. Zigomatikomaksiller bölge ve piriform kenarı subperiosteal diseksiyonla rahatlatılmaktadır. Operasyon sonrası iyileşme için diseksiyon sırasında mukogingival hat mümkün olduğunca korunması gerekmektedir. Osteotomi hattı diş köklerinin en az 5 mm süperiorundan geçecek şekilde planlanmalıdır (Resim 2.20). Osteotomi piezo cerrahi ile elmas uçlu frezler ya da ağız içi testereleler yardımı ile yapılabilir. Kesi sırasında palatinal bölgeye olası bir hasar vermemek için dikkatli olunması gerekmektedir. Spina nazalis anterior bölgesinde kıkırdak doku elevatör yardımıyla ayrıldıktan sonra nazal ekartörlerle nazal mukozada künt diseksiyon yapılmaktadır. Pterygoid proseslerin osteotomisinde kesi hattına oturtulan pterygoid osteotomlar ile dikkatli bir osteotomi gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Septal osteotom ile vomer ile nazal septumun osteotomisi gerçekleştirildikten sonra maksillanın çenenin mobilizasyonu sağlanır ve posterior maksillaya erişilmektedir (Resim 2.20)[113, 146, 147].



Resim 2.20. a) Le fort 1 osteotomisi b) nazal septum osteotomisi [113]

Osteotomi teknikleri yapıldıktan sonra kanama kontrolleri yapılarak kesi bölgeleri 3/0 ya da 4/0 ipek veya rezorbe olabilen sutureler ile kapatılmaktadır. Maksiller ekspansiyon apareyi fiks edilerek iki tam tur aktifleştirilip çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. Ön keser dişler arasında diastema görüldüğünde apareyin aktif olduğu anlaşılarak operasyon bitirilmektedir[113].

2.3.3. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede ortaya çıkabilecek komplikasyonlar

- İntraoperatif veya postoperatif hemoraji
- Periodontal problemler
- Kök rezorpsiyonu
- Maksiller sinir dallarında yaralanma
- Enfeksiyon
- Ağrı
- Dişlerde vitalite kaybı
- Maksiller sinüste sinüzit
- Orbital problemler
- Nazal problemler
- Dişlerin ekstrüzyonu

- Asimetrik genişleme
- Palatal dokularda ülserasyon, nekroz

Maksiller segmentlerin yeterli mobilizasyonu, simetrik kemik genişletmesinin sağlanması için önem arz etmektedir. Operasyon sırasında cihaz aktivasyonu yapılarak segmentler muhakkak kontrol edilmelidir, aksi taktirde yeniden bir cerrahi operasyon gerekebilmektedir. Maksiller santral dişler arasındaki orta hat kesilerinde interdental septanın ince olduğu veya dişlerin köklerindeki anatomik yapısal değişiklikler durumunda radyolojik olarak mesafeler iyi değerlendirilmeli ve osteotomi için kullanılacak osteotominin en ince kalınlıkta olması gerekmektedir. Asimetrik ve yetersiz genişletmenin en sık görülen cerrahi komplikasyon olduğu (%13.3), dişeti çekilmesin dişsel olarak en sık gözlenen komplikasyon olduğu (%8.3) bildirilmiştir[113, 148].

Yüksek seviyeli bir Le fort 1 osteotomisinde pterygoid plakaların ayrılması planlanmışsa işlem sonucunda istenmeyen fraktürlerin oluşabileceği bildirilmiştir. Bu kırıklar maksiller tüber ve pterygoid arasında istenmeyen ayrılma, maksiller sinüsün dorsal kısmı boyunca eğit bir kırık ve pterygoidlerin üzerinde yüksek ve neredeyse horizontal kırık şeklinde oluşabilmektedir[149].

Pterygoid plakaların maksilladan ayrılması sırasında osteotomun konumlandırılması önem arz etmektedir. En yaygın kanama kaynakları maksiller arterin terminal dalları, özellikle posterior süperior alveolar arter ve pterygoid venöz pleksusta meydana gelmektedir. Palatinal arter osteotomi hattına ortalama erkeklerde 35 mm kadınlarda 30 mm uzaklıkta bulunmaktadır[53]. Lanigan ve diğerleri 1993 yılında yaptıkları kadavra çalışmalarında operasyon sonrası hemoraji ve sinir yaralanmalarının osteotomi sırasında meydana gelen istenmeyen kırıklar sonucunda olduğunu belirtmişlerdir. Bu tarz komplikasyonları en aza indirmek için osteotom yerine mikrosalınım yapan testerelerin kullanılmasının daha güvenilir olduğunu söylemişlerdir[150].

Li ve diğerleri 1995 yılında yayınladıkları vaka raporuna göre; transversal maksiller yetersizliği olan 34 yaşındaki bir kadında bilateral segmental maksiller osteotomiler ve genişletme apareyi ameliyatı sonrasında hastanın uyanması esnasında göz bantları çıkarılırken sol göz kapağının ödemli ve gözünün proptozisli olduğu görülmüştür. Hastaya oftalmoloji konsültasyonu yapılmış ve hastada retrobullar kanama sonucunda orbital

kompartman sendoromu teşhisi konulmuştur. Yazarlar kanamanın sebebinin maksiller segmentlerin eksik mobilizasyonu ya da genişletme cihazının kullanımı sırasında maksiller segmente aşırı kuvvet uygulaması sonucu oluşabileceğini bildirmişlerdir. Bu gibi hemorajik durumlarda çok dikkatli davranılması gerektiğini teşhisinin geç yapılması halinde kalıcı görme kayıplarının yaşanabileceğini bildirmişlerdir[151].

Dergin ve diğerleri 2015 yılında yayınladıkları çalışmalarında; cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici uyguladıkları 60 hastanın sadece % 20'sinde burun kanaması meydana geldiğini bildirmişlerdir. Bu hastalardan 9 tanesi postoperatif 1. gün, 1 tanesi bir hafta sonra burun kanaması ve 2 hasta postoperatif 8. günde kanama görüldüğünü bildirmişlerdir[152]. Mehra ve diğerleri 1999 yılında sundukları vaka raporunda operasyon sonrası 12. günde kanama olabileceğini bildirmişlerdir. Hastada intraoperatif ve postoperatif 12. güne kadar herhangi bir hemorajik durumla karşılaşmadığını belirtmişlerdir. Epitaksis ile 12 gün acil servise başvuran hastanın muayenesi sonucu arteriyel bir kanama olduğu tespit edilmiş ve yoğun bakım ünitesinde kanaması kontrol altına alınmıştır. Kanamanın sebebinin osteotomi hattında ki keskin kemik sınırlarından kaynaklanmış, apereyin aktif edilmesiyle palatinal arteri keskin kenarının zedelemiş olduğu belirtilmiştir[153].

Mordenfield ve diğerleri 1999 yılında yaptıkları çalışmalarında ortalama yaşları 28,4 yıl olan 20 hasta üzerinde le fort 1 sonrası orta hat osteotomisi yaptıkları ve ortalama 38 ay takibini yaptıkları hastaların santral dişlerinin vitalitesini kontrol etmişlerdir. En az 12 aylık takip sonrasında %11 santral dişte elektrikli uyaran testine yanıt alamamışlardır. Orta hat kesileri sonrası periodontal ve pulpal olarak komplikasyonlar olabileceğini belirtmişlerdir[154].

Williams ve diğerleri 2012 yılında, 120 hasta üzerinde yaptıkları çalışmalarında operasyon sonrası 2. ayda 18 hastada ve bunların % 75'i santral dişte lokalize dişeti çekilmesi gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda bu hastaların % 5,83'ünde periodontal kemik kaybı bildirmişlerdir[148].

Lehman ve diğerleri 1990 yılında 56 hasta üzerinde yaptıkları çalışmalarında apereyden kaynaklı % 5,4'ünde palatal bölgede ülserasyon ve % 1,8'inde basınca bağlı doku nekrozu bildirmişlerdir[155]. Alpern ve diğerleri 1987 yılında, 35 hastada yaptıkları çalışmalarında 3 hastada yumuşak doku nekrozu geliştiğini bildirmişlerdir[12].

Dergin ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında maksiller osteotomilerden sonra kulak çınlaması şeklinde işitsel problemlerden bahsetmişlerdir. Bildirdikleri vaka raporunda 1 hastada operasyon sonrası kulak çınlaması problemi görülmüş ve herhangi bir müdahale gerektirmeden geçtiğini belirtmişlerdir[152].

Lanigan ve diğerleri 2002 yılında, okülomotor parastezi ile ilgili bir vaka raporu yayınlamışlardır. Maksiller yetersizliği olan 19 yaşındaki hastada operatör ameliyatını yaptıktan sonra cihaz aktivasyonunu 2 çeyrek tur yerine 8 çeyrek tur çevirmesiyle yaklaşık 2 mm orta hat diasteması oluşturmuştur. Hasta ertesi sabah sol gözünde bulanık ve çift görme şikayeti ile başvurunca alınan tomografi sonrası maksiller sinüsün posterior bölgesini ve sfenoid kemiğin sol taraf gövdesini içeren bir fraktürün olduğu tespit edilmiştir. Kırık fragmanların yer değiştirmesi optik kanala zarar verdiği teşhis edilmiştir. Hastaya yüksek doz kortikosteroid uygulanarak acil tedavisine başlanıldığını ve hastanın şikayetlerinin 4 ay içinde tamamen düzeldiğini bildirmişlerdir[156].

Dergin ve diğerleri 2015 yılında 60 hasta üzerinde yaptıkları çalışmalarında 11 hastada infraorbital sinir ve dallarının parastezisini bildirilmişlerdir. Bu hastalardan 8 tanesi 1 haftadan kısa süren bir parestezi, 4 tanesinde diş ve dudaklarda parastezi bildirmiştir. Araştırmacılar hematoma ve operasyon sırasında yumuşak dokuların çekiştirilmesiyle geliştiğini düşünmüşler ve 2 hafta sonra tüm hastalarda semptomların geçtiğini bildirmişlerdir[152].

Carvalho ve diğerleri 2019 yılında cerrahi destekli maksiller genişletme komplikasyonlarını inceledikleri sistematik derlemede; 851 tane operasyon yapılan hastanın 187'sinde (% 21,97) komplikasyon oluştuğunu bildirmişlerdir. Bunların arasında en sık görülen komplikasyonlar epitaksis, ağrı, asimetrik genişleme ve yetersiz genişleme şeklinde bulmuşlardır[157].

Çakarer ve diğerleri 2017 yılında, ptergomaksiller osteotomi yapmaksızın maksiller genişletme uyguladıkları ve 6 aylık takip ettikleri 40 hastada % 20 oranında komplikasyon bildirmişlerdir. Oluşan komplikasyonlar; sinir hasarları, maksiller sinüs enfeksiyonu, epitaksis, fistülizasyon şeklinde belirtmişlerdir[158].

2.4. Cerrahi Desteksiz ve Destekli Yapılan Hızlı Maksiller Genişletmenin Maksillofasiyal Komplekse Etkileri

Transversal yetersizliklerin hızlı maksiller genişletici ve cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici kullanılarak tedavi edilen hastalarda; Chung ve diğerleri 2004 yılında yaptıkları çalışmalarında sagittal düzlemde maksillanın istatistiksel olarak anlamlı bir ileri kayması olduğunu ve mandibulanın aşağı ve geri yönde posterior rotasyon yaptığını bildirmişlerdir. Yine aynı çalışmada palatal düzlemin neredeyse paralel bir şekilde inferiora yer değiştirdiğini tespit etmişlerdir[111].

Tedavi öncesi ve sonrası yapılan radyolojik ölçümlerde interorbital, maksiller ve nazal genişliklerin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Dişlerde ise intermolar genişlik, alveolar devrilme ve molar devrilme arttığı gözlemlenmiştir.[159]. 2003 yılında yapılan bir çalışmada cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme sonucunda; 1. premolar ve 1. molar dişlerinde meziyobukkal rotasyon, bukkal devrilme olduğu gözlemlenmiştir. Tedavi sonrası ortaya çıkan posterior grup dişlerin bukkal devrilme etkisine karşı genişletmenin bir miktar fazla yapılması gerektiğini araştırmacılar tarafından önerilmiştir[160]. Hızlı maksiller genişletici tedavisi sonrası 1. yılında mandibular ark boyutundaki dolaylı etkileri incelenen 33 hastada; mandibular intermolar mesafe, mandibular açılanma ve mandibular santral diş açılanması arttığı ölçülmüştür. Araştırmacılar hızlı maksiller genişletme protokolünün mandibular 1. molar ve mandibular kesici dişler üzerinde dolaylı genişletici etkilerinin olduğunu belirtmişlerdir[161].

Doruk ve diğerleri 2004 yılında, hızlı maksiller genişletici ile tedavi ettikleri hastalarda akustik rinometri kullanarak nazal hava yolu direncini değerlendikleri çalışmalarında nazal hava yolu direncinin önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Hastaların kişisel değerlendirmelerine göre % 59'unun nazal solunumun rahatladıklarını ifade ettiklerini belirtmişlerdir[162]. Gordon ve diğerleri 2009 yılında yaptıkları sistematik derlemeye göre nazal boyutlarda artışlar bildirilmesine rağmen, nazal hacimde çok fazla bir değişiklik gözlemlenmediğini belirtmişlerdir[163].

İskeletsel sınıf 3 maloklüzyonu olan 18 hastada (11 kız, 7 erkek ortalama yaş 10,9 yıl) hızlı maksiller genişletici uygulanan ve tedavi edilmeyen kontrol grubuna (9 kız, 8 erkek ortalama yaş 10,9) çalışmada tedavi öncesi ve sonrası lateral sefalometrik grafiler benzer zaman

aralıklarında izlenmiş ve analiz edilmiştir. Tedavi ve kontrol grupları karşılaştırıldığında, üst hava yolu ölçümleri ve nazofaringeal alanın genişlediği ölçülmüştür[164].

Çocukluk dönemindeki maloklüzyonun çiğneme fonksiyonunu olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir. Bu durum maksillofasiyal kompleksin gelişimini yönlendirmektedir. Araştırmacılar maloklüzyonu bulunan hastalarda yüzey elektromiyografisi kullanarak, masseter ve temporalis anterior kasların üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Tedavi öncesi, hızlı palatal genişletme uygulanırken ve tedaviden 3 ay sonra yaptıkları ölçümlerde kasların aktivitelerinde iyileşmeleri tespit etmişlerdir[165]. Halozotenis ve diğerleri 1994 yılında, 5 mm'den fazla bimaksiller darlığı olan ve hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda bukkal kasların maksiller ark üzerindeki basınçlarını incelemişlerdir. Tedavi sırasında ve tedavi sonrası 3. ayı karşılaştırdıklarında kasların uygulamış oldukları basınçların çok az miktarda azaldığı ölçmüşlerdir. Tedavi sonrası relapsta bukkal kas komponentlerinin etkili olabileceğini belirtmişlerdir[166].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede apereyler tarafından iletilen kuvvetler periodontal dokularda ve alveolar kemikte rezorpsiyona yol açabilmektedir. KIBT kullanılarak değerlendirilen hastalarda; alveolar kemik kalınlığında azalma, palatal kemik kalındığında artma, kanin ve posterior grup dişlerde bukkal alveolar krest seviyelerinde rezorpsiyon olduğu bildirilmiştir[167].

2.5. Biyomekanik

Biyomekanik, genel mekanik alanının bir alt dalı olup insan vücudunda mekanik streslere hücrelerden tüm organlara kadar uygulayıp, yanıtını inceleyen alandır[168].

Mekanik kendi içerisinde birçok dala ayrılmakla birlikte biyomekanikle en çok alakadar; katı cisim, deforme cisim ve sıvı mekaniğidir. Katı cisim mekaniğinde analizi yapılan cisimin deformasyona uğramadığı kabul edilmektedir. Deforme cisim mekaniğinde uygulanan kuvvet karşısında maddenin davranışı araştırılmaktadır. Sıvı mekaniği ise sıvıdaki kuvvetler ile ilişkili durumlar incelenmektedir[169].

Katı cisim mekaniği statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Statik; hareket etmeyen katı nesnelerin üzerine etki eden kuvvetleri inceleyen mekanik alanıdır. Dinamik

ise hareket eden katı nesneleri incelemektedir. Kinematik ve kinetik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kinematik; yalnızca hareketi inceleyen özel bir dinamik dalıdır. Kinetik ise nesnelere etki eden kuvvetleri ve sonuçta ortaya çıkan hareketleri incelemektedir[169].

2.5.1. Biyomekanikte temel kavramlar

Madde; uzayda yer kaplayan, hacmi ve kütlesi olan tanecikli yapılara madde denilmektedir[170].

Cisim; maddenin şekil almış haline cisim adı verilmektedir[170].

Katı cisim; kuvvetler karşısında şekil değişimi oluşmuyorsa katı cisim olarak adlandırılmaktadır[170].

Kütle; cismin herhangi bir kuvvet tarafından ivmelenmeye karşı gösterdiği dirence denilmektedir[170].

Eylemsizlik; cisimlerin hareket durumlarını koruma eğilimlerini ifade etmektedir[170].

Kuvvet; bir cismin mevcut durumunu değiştiren ya da değiştirmeye çalışan vektörel bir etkidir. Birimi Newton(N)'dur ve $F(\text{kuvvet})=m(\text{kütle}) \cdot a(\text{ivme})$ şeklinde belirtilmektedir[170].

Moment(M); bir kuvvetin eksen etrafında dönme ya da döndürmeye etkisidir. Bir kuvvetin momenti; kuvvetin kendisinin ve kuvvetin bulunduğu düzleme dik olan uzaklığının çarpımına eşitliğini ifade etmektedir[170].

Eylemsizlik momenti; cismin rotasyonel hareketini engellemeye yönelik momente karşı koyma yeteneğini belirtmektedir[170].

Polar eylemsizlik momenti; cismin yüzey şeklinin değişmesine karşı gösterdiği direncin yüzeydeki eksenlere göre tanımlanmış hali olarak tanımlanmaktadır[170].

Tork; dönme momenti olarak da bilinmektedir. Bir kuvvetin nesnenin ekseninde, dayanak noktasında ya da çevresinde dönme eğilimi olarak adlandırılmaktadır[170].

Mekanik denge; Bir katı cismin üzerine etkileyen bileşke kuvvetlerin vektörlerinin sıfır olmasını ifade etmektedir[170].

Şekil değiştirme; cisme uygulanan kuvvet sonucu cisimde oluşan lokal değişimine deformasyon adı verilmektedir[170].

Elastisite; cisme uygulanan kuvvetlerin kaldırılması sonrasında kendi boyut ve şeklini koruyabilmesi özelliğini ifade etmektedir[170].

Elastik şekil değiştirme; dış kuvvetlerin kaldırılması sonrası tamamen eski haline dönen şekil değiştirmelerine elastik şekil değiştirme denilmektedir[170].

Plastik şekil değiştirme; dış kuvvetlerin kaldırılması sonrası tamamen eski haline dönmeyen şekil değiştirmelerine plastik şekil değiştirme denilmektedir[170].

Sertlik; cismin yapısında deformasyona neden olabilecek kuvvet miktarını ifade etmektedir[170].

Viskoelastisite; deforme olmuş cismin hem viskoz hemde elastik özellikte olması halini ifade etmektedir[170].

Sünme; cisme uygulanan sabit yük karşısında zamanla cisimde şekil değiştirmelere görülebilir bu duruma sünme denilmektedir. Şekil değişimleri sabit olduğunda yüz zamanla azalmaktadır buna da gevşeme denilmektedir[170].

Akma; uygulanan yükler karşısında cisim önce deformasyona uğrayıp ve sonrasında kopması duruma akma denilmektedir[170].

Kırılma; uygulanan yükler karşısında cismin deformasyon göstermeden direkt kopması durumunu ifade etmektedir[170].

Homojen cisim; fiziksel özelliklerinin cismin her noktasında aynı olduğu cisimleri ifade etmektedir[170].

İzotrop cisim; fiziksel özelliklerinin doğrultu boyunca değişmediği cisimleri ifade etmektedir[170].

Anizotrop cisim; doğrultuyla ilişkili özelliği olmayan cisimlere denilmektedir[170].

Poisson oranı; bir cisme yük uygulandığında yükün uygulandığı yönde uzamaya çalışmaktadır. Uzamadan kaynaklı yanal daralma da meydana gelecektir. Fakat bu şekil değişimi sonrası cismin hacmi aynı kalmaktadır. Her cismin kendine özgün poisson oranı bulunmaktadır ve yanal değişim eksenel değişimle sabit bir ilişki göstermektedir[171].

Poisson Oranı (ν) = Lateral Strain / Aksiyal Strain

Elastiklik modülü (young modülü); cisme uygulanan gerilmeler üzerine cisimde meydana gelen şekil değişiminin uygulanan gerilmeler kaldırıldıktan sonra cismin eski şekline dönme özelliğini ifade eden değerdir. Birimi kg/mm^2 'dır[171].

Esneklik Katsayısı = Gerilim/Gerinim

Elastik sınır; cismin geri dönüşümü olmayan şekil değiştirmeye başlayacağı gerilmeyi ifade etmektedir[171].

Stres(gerilim); cisme uygulanan dış kuvvetlere cismin direncini ifade eder. Birimi N/mm^2 'dır. Cisme uygulanan kuvvet birim alana aksiyel geliyorsa normal stres, makaslama kuvveti uyguluyorsa makaslama stresi olarak belirtilmektedir. Normal stresler baskı ve çekme kuvveti olarak ikiye ayrılmaktadır. Stresin birimi paskaldır fakat genellikle megapaskal kullanılmaktadır ($\text{Pa}=\text{N/m}^2$, $1\text{MPa}=10.6\text{Pa}$)[172].

Stres (σ) = Kuvvet (F) / Alan = N/mm^2

Çekme stresi; cisme aynı düzlemde fakat zıt yönlerde uygulanan kuvvetler sonucu cismin moleküllerini birbirinden ayırmaya çalışan stresi ifade etmektedir[172].

Baskı stresi; cisme aynı düzlemde zıt yönlerde uygulanan kuvvetler sonucu cismin moleküllerini sıkıştırmaya çalışan stresi ifade etmektedir[172].

Makaslama stresi; cisme farklı düzlemde zıt yönde uygulanan kuvvetler sonucu molekülleri yüzeye paralel ya da ters yönde kaymaya zorlayan stresi belirtmektedir[172].

Asal stres; makaslama stresinin sıfır kabul edildiği düzlemlerde ki maximum ve minimum streslerdir. Maksimum, ara ve minimum asal stres olmak üzere 3 tiptir. Biyomekanik alanında kemik kırılğan olarak kabul edildiğinden mekanik davranışlarında asal stresler kullanılmaktadır. Asal stresler maksimum ve minimum olarak ikiye ayrılmaktadır. P_{max} (gerilim, çekme stresi, pozitif), P_{min} (baskı, negatif) kuvvetlerinin ifadesinde yararlanılmaktadır[172, 173].

Von mises stresi; cismin yüke maruz kaldığında plastik şekil değişimine uğramaya başladığı andaki değeri belirtmektedir[172].

Saint venan kanunu; cisme uygulanan kuvvet noktasından uzaklaştıkça şekil değiştirmeler ve gerilmeler daha düzgün yayıldığını ifade eden kanundur[172].

Hooke kanunu; cismin şekil değişimine ve buna neden olan stresle arasında doğru orantı olduğunu açıklayan kanundur. Lineer elastik cisimler bu kanuna uymaktadır. Cismin elastik sınırı aşılmadığı sürece birçok cisim bu kanuna uymaktadır[172].

2.5.2. Kemik biyomekaniği

Kemik yapısı

Kemik; hücreler ve liflerden oluşan özel bir bağ dokusudur. Diğer bağ dokularından farklı olarak, hücre dışı bileşenleri mineralleştirdiği için kemik sertlik kazanmaktadır. Bu yapısı vücuttaki mekanik destek rolünü yerine getirmek için ideal hale getirmektedir. Kemik; yerçekimi kuvvetine karşı koyarak vücuda destek sağlar, hayati iç organları korumak için özel boşluklar oluşturur ve diğer kemiklerle bağlantılarıyla hareketin gerçekleşmesine izin veren kaslar için bağlantı yerleri sağlamaktadır. Bu mekanik rolleri yerine getirmek için kemiğin deformasyona direnmesi için sert aynı zamanda enerjiyi absorbe etmek için esnek olması gerekmektedir[174].

Kemik; yalnızca kalsifiye kemik matriksi ve kemik hücrelerinden değil, aynı zamanda oranları bireyler arası değişiklik gösterebilen nonosseöz hücreler, kan damarları, sinir lifleri

ve kemik iliğinden oluşmaktadır. Vücudun farklı bölgelerinde, kemikler uzun tübüler bölümler (uzun kemikler), bilaminer plakalar (yassı kemikler) veya kısa düzensiz prizmatik yapılar (kısa kemikler) olarak üç şekilde görülebilmektedir. Uzun kemikler, periferik veya apendiküler iskelette, yani kollarda, kaburgalarda ve klavikulalarda mevcuttur; yassı kemikler tipik olarak kafatası, kürek kemiği ve pelviste bulunur ve eksenel iskeletteki kısa kemikler omurlar, sternum, carpus vb. bölgelerde bulunmaktadır[174].

Kemiğin yapısına bakıldığında her bölgede benzer özellikler gösterdiği düşünülse oldukça heterojen bir yapıya sahiptir. Kalsifiye kemik matrisi iki bileşen içermektedir; organik matris ve mineral maddedir[175].

Organik Matris

Kemiğin organik matrisi esas olarak, tüm matrisin % 90'ından fazlasını oluşturan tip I kollajen fibrillerinden oluşur ve kalan % 10 kollajen olmayan proteinler, proteoglikanlar ve fosfolipitleri içermektedir[176].

Kolajen fibriller, sarmal bir konfigürasyonda düzenlenmiş üç polipeptit zincirinden oluşan ipliksi moleküllerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu zincirler, çeşitli amino asit dizilerini içerebilir, böylece moleküller çeşitlilik gösterebilir. Tip I kollajen, fibrillerden (ortalama çap 78 nm) oluşmaktadır. Moleküller, elektron mikroskobu altında incelendiğinde fibrillere karakteristik bir periyodik bantlama (yaklaşık 66,8 nm'lik tekrarlayan eksenel periyot) verecek şekilde bir araya getirildiği görülmektedir. Moleküller, fibrillerin gerilme mukavemeti ve mineralizasyonu için gerekli olan intra- ve intermoleküler çapraz bağlarla sabitlenmektedir[177-179].

Kemiğin kollajenöz olmayan bileşenleri arasında kollajenöz olmayan proteinler, proteoglikanlar, fosfolipitler, glikoproteinler ve fosfoproteinler bulunmaktadır. Kollajen olmayan proteinlerin (osteopontin, osteonektin, kemik sialoprotein) dağılımı ve miktarları kemik tipleri ve bulundukları kemik matriksi bölgelerine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Proteoglikanlar, kalsifikasyon sürecinin inhibitörleri veya destekleyicileri olarak rolleri halen tartışılmalı da düzenleyici bir etkiye sahip olabilmektedirler[180-182].

Mineral madde

Kemiğin mineral maddesi kalsiyum fosfat hidroksiapatittir. Morfolojik olarak, kemiğin inorganik maddesi ışık mikroskobu altında homojen görünür, elektron mikroskobu altında karakteristik kristallere ayrıştırılabilmektedir. Şekilleri, boyutları ve organik bileşenlerle ilişkileri konusunda tam bir fikir birliği bulunmamaktadır[182, 183].

Kemik tipleri

Kompakt (sert, kortikal) kemik

Tüm kemiklerin dış kısımlarını ve uzun kemiklerin diyafizlerini oluşturmaktadırlar. Havers kanalları ve çevresinde kemik lamellerinin oluşturduğu osteonlar bulunmaktadır. Walkman kanalları aracılığıyla periostla ve birbirleri ile bağlanmaktadır. Walkman kanallarının çevresinde lameller bulunmamaktadır[184].

Spongiyöz (yumuşak, kanselöz) kemik

Süngerimsi veya trabeküler kemik; yassı ve kısa kemiklerin medullasında, uzun kemiklerinde epifiz ve metafizinde bulunmaktadır. Kemik trabekülleri kendi aralarında anastomoz yaparak süngerimsi kemiği oluşturmaktadırlar. Trabeküller arası boşluklarda kemik iliği bulunmaktadır. Spongiyöz kemik Havers ve Walkman kanalları bulundurmamaktadır[185].

Kemik hücreleri

Osteoblast

Mezenşimal progenitörlerden türeyen osteoblastlar, kemik matriksini sentezleyen hücrelerdir. Kemik yüzeyinde epitel benzeri bir yapı oluştururlar ve konneksin adı verilen boşluk bağlantılarıyla birbirlerine bağlanmaktadır. Osteoblastlar kemik organik matrisini salgılar ve hücre dışında kalsifiye olurlar. Kemik matrisinin oluşumu ile kalsifikasyon arasındaki zamansal olarak gecikmesinin bir sonucu olarak, osteoblastların altında mineralize edilmemiş osteoid tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka kemik matris oluşum hızı azaldığında kalınlık olarak azalmaktadır[186].

Osteositler

Osteoblastlar kemik matriksi sentezlemeyi durdurup kemik içerisine gömüldüğünde osteosit adını almaktadırlar. Kemik içerisinde en fazla bulunan hücredir. Aralarında lakünalar adı verilen boşluklar bulunmaktadır. Kemik canlılığı için osteositlerin bulunması gerekmektedir. Osteositler, kemik sıvısının hemostazında ve mekanik etkilere yanıt olarak kemiğin adaptasyonunda rol oynamaktadırlar [186].

Osteoklastlar

Osteoklastlar hematopoietik kökenlidir ve kemik rezorpsiyonunda görev almaktadırlar. Osteoklastlar genellikle kortikal veya trabeküler kemiğin yüzeyinde, Howship lakünası olarak adlandırılan boşluklarda bulunan büyük tek ya da çok çekirdekli bulunabilen hücrelerdir. Yeni oluşacak osteonların vasküler kanallarını eriterek kemiğin yeniden şekillenmesinde görev almaktadırlar[186, 187].

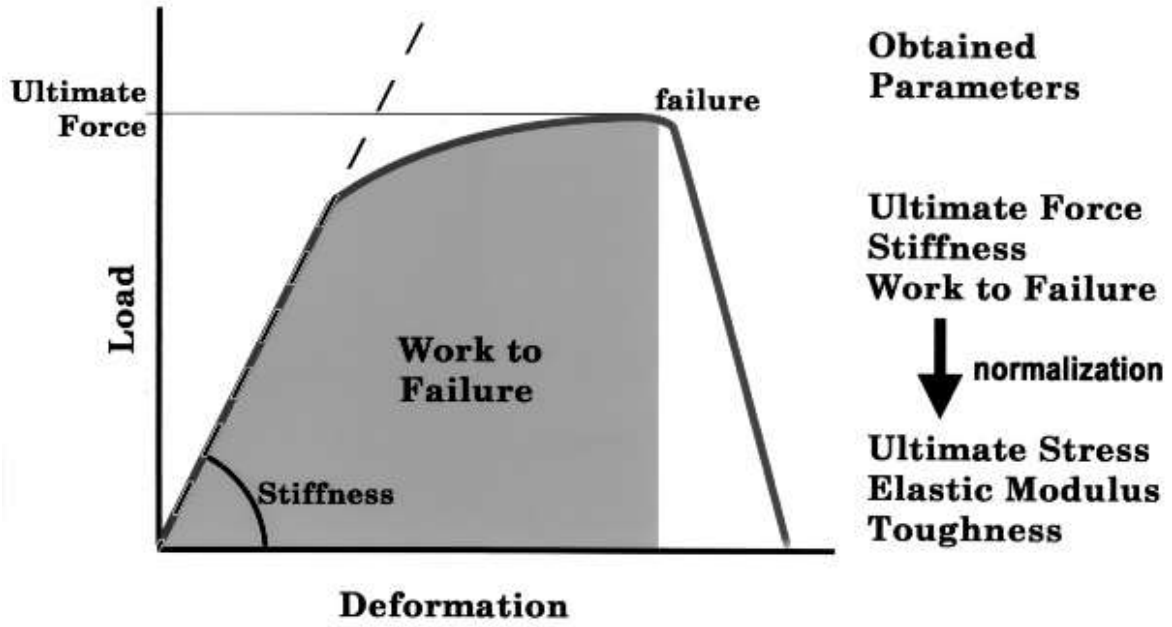
Kemiğin Biyomekanik Özellikleri

Kemiğin gücü ve kırılmaya karşı direnci, kemiğin şekline ve özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Kemik dokusu, yaşla beraber oranları değişen mineral ve kollajen yapılar içermektedir. Mineral bileşenler dokuya güç ve sertlik vermekte fakat artan mineralizasyon seviyelerinde doku daha kırılğan hale gelebilmektedir. Kemiğin kollajen fazı daha yumuşak olmakta ve belli bir seviyeye kadar gerilme sertliği sağlayabilmekte olup kemik dokunun genel dayanıklılığını etkilemede daha büyük rol oynamaktadır[188].

Kemiğin biyomekanik davranışları; kemiğin mekanik ve yapısal özelliklerinin beraber değerlendirilmesiyle daha net anlaşılabilmektedir. Maksimum kırılma, maksimum deformasyon, sertlik ve kırılmaya kadar depolanan enerji kemiğin yapısal özelliklerini belirtmektedir. Maksimum dayanım, maksimum gerginlik, esneklik katsayısı ve dayanıklılık kemiğin mekanik özelliklerini ifade etmektedir[189].

Mekanik test dayanımı yük deformasyon eğrisi ile değerlendirilebilmektedir. Eğrinin doğrusal kısım başlangıcı elastisite ile ilişkili olup yük ortadan kaldırıldığında tekrar eski haline dönebilmektedir. Yapının şeklini bozacak şekilde yük uygulandığında plastisite

başlamaktadır. Plastisite sonrası yapı tekrar eski haline dönememektedir. Yük uygulaması devam ederse kırılma meydana gelebilmektedir (Şekil 2.1)[188].



Resim 2.21. Yük deformasyon eğrisi[190]

Genel olarak kemik dokusunun mineralizasyonunu değiştirerek kemiğin mekanik özelliklerinin etkileyen, osteomalazi veya osteopetrozis gibi birçok kemik hastalığı kırılma riskinde arttırmaktadır. Doku mineralizasyonunda değişiklik olmaksızın kollajen kusuru sonucuda olan hastalıkların benzer şekilde kırılma riskini arttırabilmektedir[191].

Kollajen matrisindeki değişikliklerinde tek başına kırılma riskini arttırabileceğine dair çok sayıda kanıt bulunmaktadır. Tip 1 kollajenin alfa1 protein zincirini kodlayan COL1A1 genindeki bir polimorfizm ile düşük kemik mineral yoğunluğundan bağımsız olarak artan kırılma riski arasında doğrudan bağlantı olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır[192].

Trabeküler ve kortikal kemikte kemiğin biyomekanik özellikleri farklılıklar göstermektedir. Kortikal kemikte; mineral yoğunluğu ve kemik mineral içeriğinin dışında, kortikal kemiğin çeşitli diğer özellikleri, kemiğin kırılmaya karşı direncine katkıda bulunmaktadır. Kemik korteksinin kalınlığı ve kortikal enine kesit alanı mekanik olarak sağlamlığını göstermektedir. Ancak kortikal gözeneklilik, kristallik veya mikro çatlakların varlığı gibi mikro yapısal özelliklerde kemiğin mekanik sağlamlığına katkıda bulunmaktadır. Özellikle mikro çatlaklar sadece kortikal kemik dokusunu zayıflatmakla kalmaz, aynı zamanda enerji

dağıtımını için etkili bir mekanizma sağlamaktadır. Kortikal kemiğin mekanik özellikleri arasında kemiğe uygulanan yükün hızı arttığında elastisite modülü ve kırılma direncide artmaktadır. Kortikal kemik ayrıca kompresyonda gerilime göre daha güçlüdür[193].

Trabeküler kemik; kemik iliği ile dolu birbirine bağlı gözeneklerden oluşan bir ağ şeklinde bulunmaktadır. Trabeküler doku, trabekül adı verilen küçük çubuklar ve plakalardan oluşan kafes oluşturmaktadır. Trabeküler kemik, önemli ölçüde heterojenliğe sahip karmaşık bir malzemedir. Anatomik bölgelerdeki mekanik özellikleri yaşlanma ile büyük ölçüde değişmektedir. Trabeküler kemik hem modül hem de güç açısından anizotropiktir özelliktedir. Trabeküler kemikteki gözenek sayısı arttıkça, basınç dayanımının daha anizotropik hale gelmektedir[194, 195].

Kemiğin yükleme modellerinde biyomekanik davranışı

Çekme

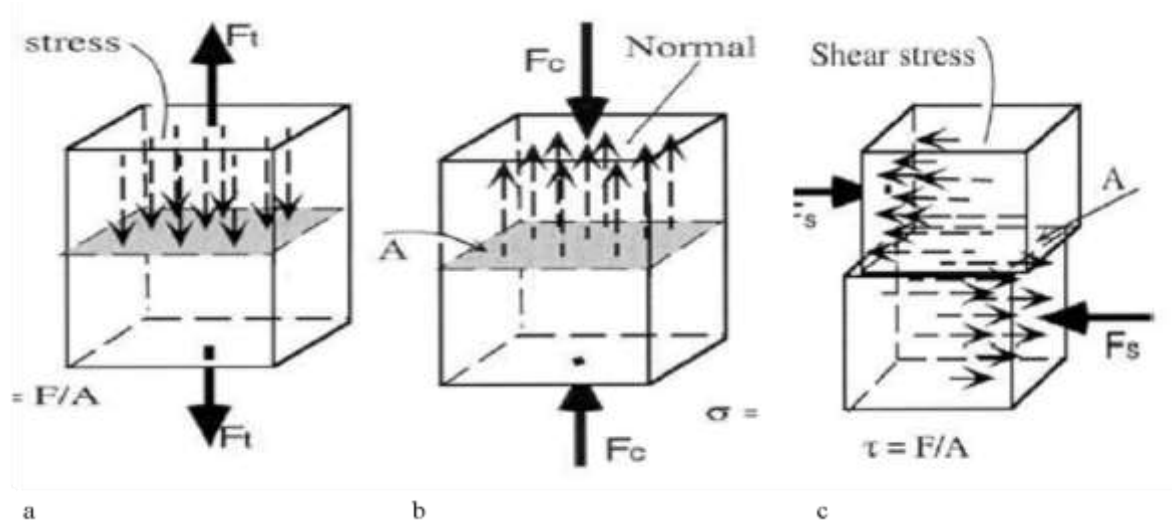
Çekme yapıya aynı büyüklükte ters yönde uygulanan kuvvetleri ifade etmektedir. Çekme yüklemesi uygulanan yapı uzayarak daralmaktadır (Resim 2.21)[189].

Baskı

Baskı yapıya aynı büyüklükte ve ters yöndeki kuvvetlerin yapının yüzeyi yönünde uygulanmasını ifade etmektedir. Baskı yüklemesi uygulanan yapı genişleyerek kısalmaktadır (Resim 2.21)[189].

Makaslama

Makaslama sırasında yapıya paralel kuvvetler uygulanmaktadır. Makaslama yapı açısı olarak internal deformasyona uğramaktadır. Kortikal kemik baskıda 190 MPa ve çekmede 70 MPa değerlerinde streslere dayanabilmektedir. Trabeküler kemik baskıda 50 MPa ve çekmede 8 MPa değerlerinde streslere dayanabilmektedir (Resim 2.21)[189].



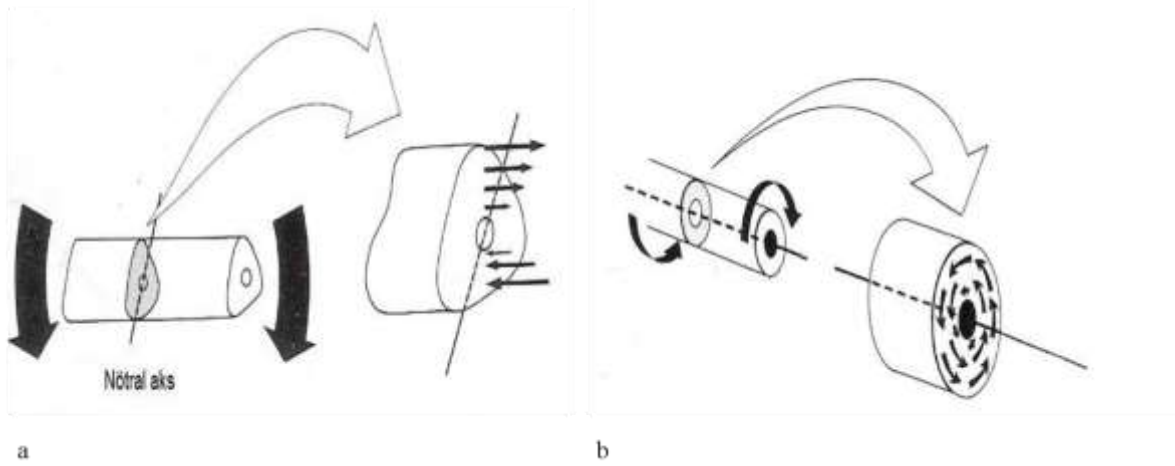
Resim 2.22. a) çekme b) baskı c) makaslama[189]

Bükülme

Kemiğe gelen bükülme kuvvetleri karşısında kemiğin dış yüzeyinde bulunan osteonlarda gerilme, iç yüzeyindekilerde ise sıkışma meydana gelmektedir. Kemik merkezi eğik bir form almakta ve baskı, çekme stresleri oluşmaktadır. Kemiğin orta hattında (nötral aks) bir tarafında baskı oluşurken diğer tarafında çekme stresleri oluşmakta ve nötral aks boyunca hiçbir stres oluşmamaktadır. Kemik yapısı asimetrik olduğundan stresler hiçbir zaman eşit dağıtılmamaktadır[196].

Burulma

Burulma esnasında yapıda bir aks çevresinde dönme oluşmaktadır. Burulmada makaslama stresleri yapının her yerinde etkili olacaktır. Burulmada stresler nötral aksa paralel olarak gözlemlenmektedir[196].



Resim 2.22. a) bükülme b) burulma[190]

2.5. Stres Analiz Yöntemleri

Diş hekimliğinde tedavilerde birçok materyal kullanılmaktadır. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin, ağız içi ortamda gelecek kuvvetler karşısında ki mukavemetlerinin tespiti zor olmaktadır. Bu yüzden cansız modeller ile materyallerin stres ve gerilimlerinin ölçülüp tedavi planlamasında kullanılması birçok avantaj içermektedir. Diş hekimliğinde; gerinim ölçer tekniği, fotoelastik analiz tekniği, holografik interferometre analiz tekniği, kırılğan vernikle kaplama tekniği ve SEA yöntemleri stres analizde kullanılmaktadır[197]:

2.5.1. Gerinim ölçer tekniği

Gerinim ölçer tekniği mekanik, akustik ve elektronik farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Gerinim ölçerler doğrusal boyut değişikliklerine karşı son derece hassastır. Bulundurduğu gösterge sayesinde; bir alt tabakaya bağlandığında, alt tabakadaki doğrusal boyut değişiklikleri göstergeye verimli bir şekilde aktarılır ve kolayca ölçülür. Gerinim ölçerler, genişlemeyi büzülme kadar kolay kaydettikleri için simetriktir ve genel olarak göstergenin performans özellikleri, pozitif ve negatif doğrusal değişime eşit derecede uygulanabilmektedir. Bu simetri, özellikle doğrulamada yararlıdır çünkü alçı ürünleri gibi malzemelerin toplu genişlemesinin ölçülmesi, polimerik malzemelerin büzülmesinden çok daha kolaydır ve doğru belgelenebilmektedir. Ayrıca, geleneksel yöntemlerle yığın genişemesinin ölçümü, aynı numune üzerinde bir gerinim ölçer ile eşzamanlı ölçüm ile yapılabilir[198].

Gerinim ölçerler, hafif deformasyon altında akımlarında oluşturulan direnci değiştiren küçük elektrik dirençleridirler[199]. Yakalanan elektrik sinyali, bir veri toplama panosuna gönderilip, dijital bir sinyale dönüştürülüp ve bilgisayar tarafından okunmaktadır. Göstergeler, strese maruz kalan herhangi bir nesnenin deformasyonunu tam olarak kaydedebilmektedirler[200]. Gerinim ölçerler protezler, implantlar ve dişlerdeki stresi hem in vivo hem de in vitro değerlendirmek için kullanılabilirler[201, 202].

2.5.2. Fotoelastik analiz tekniği

Fotoelastik stres analiz tekniği diş hekimliğinde 1949'da Noona tarafından tanıtılmıştır. O zamandan beri bu yöntem restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır[203].

Fotoelastik analiz tekniği, strese deformasyona maruz kalındığında farklı renk değişimini görülen kırılma indekslerinde renksiz plastik malzemelerin optik özelliğine dayanmaktadır[204].

Fotoelastik analiz yöntemi, oral yapılar gibi karmaşık yapılardaki gerilmeleri görselleştirme ve tüm modeldeki gerilim kalıplarını gözlemleyerek, araştırmacının stres büyüklüğünü lokalize etmesine ve ölçmesine izin vermesi en büyük avantajını oluşturmaktadır[205].

Fotoelastisite, düzlem gerilme analizi için stress-optik etkiye dayanmaktadır. Teknikte bir transmisyon dairesel polariskop, bir ışık kaynağı, iki polarizasyon plakası ve bir çeyrek dalga plakası kullanılmaktadır. Çift kırılma prensibiyle çalışmaktadır. Yükleme prosedürleri başlatılmadan önce, model hazırlama sırasında herhangi bir gerilimin oluşup oluşmadığını belirlemek için modeller polariskop içine yerleştirilmektedir. Sonrasında yükleme kuvvetleri uygulanarak materyaldeki kritik stres bölgelerinin tespiti yapılabilmektedir[206].

Fotoelastisite ayrıca bazı sınırlamalar getirmektedir. Dikkate alınması gereken diğer bir faktör, fotoelastik malzemenin direnç sınırını aşmayan, uygulanan dış kuvvetin sınırındır; bu, sonucu değiştirebilir veya maddi kopmaya neden olabilmektedir. Deney modellerini imal etmek için kullanılan reçinenin kemik dokusuna benzer bir esneklik modülü olmasına rağmen, kortikal ve trabeküler kemikler arasında yük tarafından indüklenen stresin büyüklüğünü değiştiren hiçbir farklılaşma mümkün olmamaktadır[207, 208].

2.5.3. Holografik İnterferometre Analiz Tekniği

Holografik interferometri, analitik modellerin geliştirilmesini sağlamıştır. Lazer kullanılarak yapının 3B görüntüsü holografik olarak kaydedilmektedir. Yapıda meydana gelen deformasyonlar hassas olarak tespit edilip ışık saçakları şekline görülmektedir[209].

2.5.4. Kırılğan vernikle kaplama tekniği

Yapıya uygulanan yük karşısındaki deformasyonunu değerlendirmek için kullanılan kolay uygulanabilir tekniktir. Yapı yüzeyine ince bir tabaka şeklinde vernik uygulaması yapıldıktan sonra kuruması beklenip yük uygulaması dik olacak şekilde yapılmaktadır. Oluşan çatlakların doğrultusu, uzunluğu ve sıklığı incelenerek deformasyon hakkında bilgi vermektedir. Diğer tekniklere göre ucuz olmasının yanı sıra hassas ölçümlerde çok güvenilir değildir[210].

2.5.5. Sonlu elemanlar analizi (SEA)

İlk olarak 1940'ların sonlarında, uçak mühendisleri jet motorunun icadı ve daha yüksek hızlarla ilişkili daha büyük yüklere dayanmak için uçak gövdesi gibi yapıların analiziyle uğraştıkları süre zarfında ortaya çıkmıştır. Mühendisler modern bilgisayarlardan yararlanmadan, aynı zamanda topluca esneklik yöntemi olarak bilinen, bilinmeyenlerin kuvvetleri ve bilinenlerin yer değıştirmelerinin olduğu matris kuvvet analizi yöntemleri geliştirmişlerdir. Sonlu eleman terimi ilk olarak 1960 yılında Clough tarafından düzlem gerilme analizi bağlamında kullanılmıştır ve o zamandan beri yaygın olarak kullanılmaktadır[211, 212].

SEA yöntemi, çok büyük matrisler üzerinde gerekli işlemler nedeniyle hesaplama açısından zorlukları bulunmaktadır. İlk yıllarda uygulamalar, o zamanlar mühendislik analizinde kullanılmak üzere çok güçlü, yüksek hızlı araçlar olarak kabul edilen ana bilgisayarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1960'larda, ABD'nin uzay keşif programı ile bağlantılı olarak, sonlu elemanlar yazılım kodu Nastran geliştirilmiştir. Nastran, yüzbinlerce düğüm alanı ve değışken hesaplarına sahip olan ilk büyük sonlu eleman yazılım kodu olmaktadır. Nastran'ın geliştirilmesinden bu yana geçen yıllarda, SEA için birçok ticari yazılım paketi tanıtılmıştır. Bunlar arasında ansys, algor ve cosmos/m bulunmaktadır. Günümüzün

hesaplama ortamında, bu paketlerin çoğu, statik ve dinamik yapısal analiz, ısı transferi, sıvı akışı, elektromanyetik ve sismik tepkideki büyük sorunlara çözümler elde etmek için masaüstü bilgisayarlarda ve mühendislik iş istasyonlarında kullanılabilmektedir[212].

SEA; biyolojik araştırmalarda biyomekanik analizler için önemli araştırma aracıdır. Karmaşık yapıları modellemek ve mekanik özelliklerini analiz etmek için nihai bir yöntemdir. SEA, artık biyomekanik ve mekanik kuvvetlerin biyolojik sistemler üzerindeki etkisini incelemek için invaziv olmayan ve mükemmel bir araç olarak kabul görmüştür. Üst üste binen yapıların görselleştirilmesini ve anatomik kraniyofasiyal yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda teorik olarak ölçülebilen gerilme noktaları da atayabildiğinden, uygulanan bir kuvvetin konumunu, büyüklüğünü ve yönünü belirlemeye izin vermektedir. Ayrıca, analiz edilen materyallerin fiziksel özelliklerini etkilemediği için kolaylıkla tekrarlanabilmektedir[213].

SEA temelde, herhangi bir geometrinin yapılarındaki gerilmeleri ve deformasyonları analiz etmek için sayısal bir yöntemdir. Yapı, düğümler aracılığıyla bağlanan "sonlu elemanlar" olarak ayrılmıştır. Öğelerin türü, düzeni ve toplam sayısı sonuçların doğruluğunu etkilemektedir. İzlenen adımlar genellikle bir SEA modeli oluşturmaktır, ardından uygun malzeme özellikleri, yükleme ve sınır koşullarının belirlenmesi, böylece istenen ayarların doğru bir şekilde simüle edilebilmesi sağlanmaktadır[214].

SEA diş hekimliğinde 1970'li yıllara yakın tarihte kullanılmaya başlanılmıştır. Ağız içi ve ağız dışı bölgelerde ilk zamanlarda modelleme geometrisi, yük, sınırlar ve malzeme özellikleri ile ilgili çeşitli basitleştirilmiş varsayımlar yapılmaktaydı. Bu tür varsayımlar kaçınılmaz olarak analitik sonuçları etkilemektedir. İnsan vücudunda, implantın prognozu veya rejeneratif tedavi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kemik kalitesi, miktarı ve şekli açısından bireysel farklılıklar vardır. Son zamanlarda, dijital görüntüleme sistemlerinin (BT ve MR) ilerlemesiyle, kemik geometrisi ve özelliklerinin bireysel spesifik verilerini bir SEA modeline ekstrapole etmek mümkün hale gelmiştir. BT ve MR, kemik ve implant yapısını mikro düzeyde 3B olarak görüntüler kemik morfolojisi ve kalitesi bireyler arasında farklılık gösterdiği için bu hastaya özel biyolojik verilere dayalı SEA modeli oluşturulmaktadır. Böylece, çok doğru anatomik modeller oluşturulabilir ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir[215].

SEA yöntemi diş hekimliğinde; dental materyallerin incelenmesi, oral ve maksillofasiyal cerrahide cerrahi teknik ve mekanik yöntemlerin uygulanması, ortodontide diş hareketleri ve ortodontik apareylerin uygulanması ve uygulama sonrası etkilerinin incelenmesinde, endodontide kök kanalları, kök kanal dolguları ve bu dişlerin tedavilerinin incelenmesinde ve dental restorasyonlarda günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır[216].

SEA yönteminde doğru sonuçlar elde edebilmek için; stres dağılımı modelleme geometrisi, malzeme özellikleri, sınır koşulları iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Daha doğru stres tahminleri elde etmek için kemik geometrisini daha gerçekçi modellemek için gelişmiş dijital görüntüleme tekniklerinden faydalanılmaktadır. Malzemenin anizotropik ve homojen olmayan yapısı ve sınır koşulları, model oluştururken dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir[213].

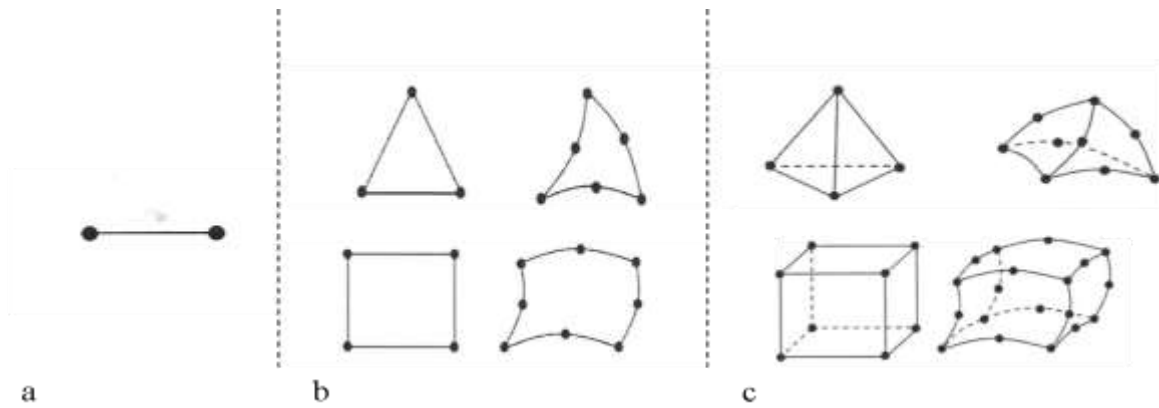
SEA modellemesinin ilk adımı, bilgisayarda ilgilenilen geometriyi temsil etmektir yani inceleyeceğimiz yapıyı bilgisayar ortamına doğru bir şekilde aktarabilmektir. 2B ve 3B birçok SEA modelleri oluşturularak çalışmalar yapılmaktadır. Son zamanlarda dijital görüntülemelerin gelişmesiyle anatomik olarak doğru modellerin geliştirilmesi için daha verimli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar görüntü verilerindeki 2B-3B bilgilerin doğrudan dönüşümü için özel yazılım uygulamasını içermektedir. SEA ağlarına BT görüntüleme ile ölçülen kemik yoğunluğu değerlerinden bazı malzeme özelliklerinin otomatik olarak dahil edilmeside mümkündür. Bu, kemik sisteminin geometrisinin daha hassas bir şekilde modellenmesine izin vermektedir. Günümüzde hastalar için bireysel dijital tekniklere dayalı oluşturulmuş SEA modelleri sıradan hale gelmiştir[213, 217].

Malzeme özellikleri, bir yapıdaki gerilme ve gerinim dağılımını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu özellikler SEA yönteminde izotropik, enine izotropik, ortotropik ve anizotropik olarak modellenebilmektedir. İzotropik bir malzemede özellikler tüm yönlerde aynıdır; bu nedenle, yalnızca 2 bağımsız malzeme sabiti mevcuttur. Bir anizotropik malzeme, farklı yönlerde ölçüldüğünde farklı özelliklere sahiptir. Anizotropinin derecesine (enine izotropik, ortotropik) bağlı olarak birçok malzeme sabiti bulunmaktadır. Bildirilen araştırmaların çoğunda, malzemelerin homojen ve doğrusal olduğu ve young modülü ve poisson oranının 2 malzeme sabiti ile karakterize edilen elastik malzeme davranışına sahip oldukları varsayılmaktadır. İlk SEA çalışmaları trabeküler kemik paterni belirleyemedikleri için göz ardı etmişlerdir. Her iki kemik türü de basit bir şekilde doğrusal, homojen ve

izotropik malzemeler olarak kabul edip modellemelerini bu şekilde oluşturmuşlardır. Sonraki çalışmalarda kemiğin bu homojen olmayan, anizotropik, kompozit yapısı, gerilim ile karşılaştırıldığında kemik kompresyonda test edildiğinde nihai gerilme ve elastisite modülü için farklı değerlere sahip olduğu kabul edilerek daha doğru sonuçlar elde edilmiştir[218, 219].

Mandibulayı modelleyen çoğu SEA çalışması, sınır koşullarını sabit olarak kabul etmektedir. Zhou ve diğerleri 1999 yılında, aksiyal taranmış BT görüntü verilerinden daha gerçekçi bir 3B SEA mandibula modeli geliştirmişlerdir. Temporamandibular eklem ve kas ligamanlarını gerçeğe yakın simüle etmişlerdir. Sınır koşullarının doğru ayarlanmasının modelin taklidinin ve doğruluğunu geliştirdiği sonucuna varmışlardır[220].

SEA modelinin düğüm ve eleman sayısı ne kadar fazla ise doğruluğu o kadar yüksek olmaktadır[221]. SEA yöntemi programlarında çizgisel ve katı olmak üzere elemanlar kullanılmaktadır. Çizgisel elemanlar iki veya daha fazla düğümden oluşmaktadırlar. Katı elemanlar düz yüzey geometrisine sahip 2B ve 3B olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 2B elemanlar sabit bir kalınlığa sahip düz elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Üç ya da dört köşe içerip köşe sayıları kadar düğümleri bulunmaktadır. Kuvvet uygulanacağı zaman sadece yüzey bölgesine uygulanmaktadır. 3B elemanlar ise 3B geometri içeren dört ya da altı yüzeye sahip elemanlardır (Resim 2.23). Düz kenar ve köşe düğümleri içermektedirler[222].



Resim 2.23. a) çizgisel eleman b) 2B eleman c) 3B eleman[223]

Stres analizi için SEA ile yapılan bir çalışmada tipik olarak aşağıdaki adımları içermektedir;

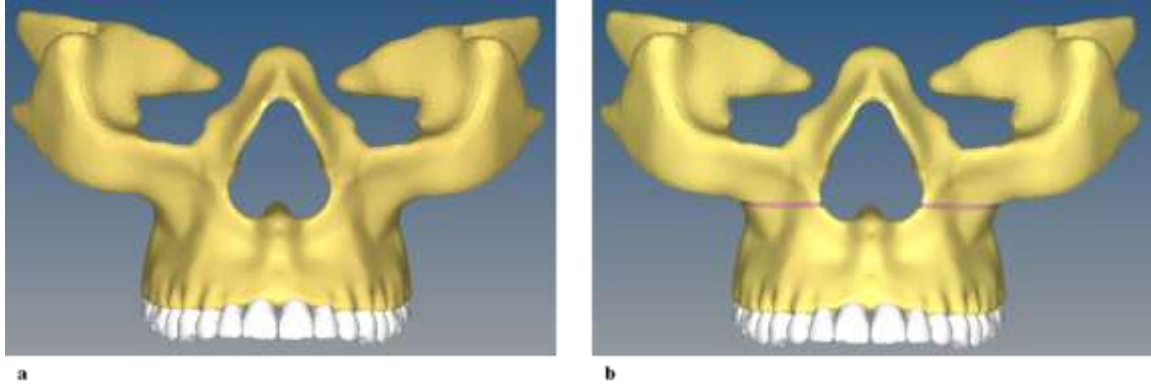
- Değerlendirilmesi gereken fiziksel bir sorunu temsil eden bir modelin geliştirilmesi ve bu model doğrudan SEA bilgisayar programında veya bilgisayar destekli tasarım yazılımı kullanılarak geometrik model elde edilmektedir,
- Yapının sonlu elemana bölünmesi diye adlandırılan ağ oluşturma programları, kullanıcının bu işi yapmasına yardımcı olmaktadır. Ne kadar fazla sayıda eleman varsa analiz daha doğru sonuçlar vermektedir. Elemanlar tek, 2B veya 3B şekillerde olabilmektedirler. Yapının sonlu eleman modelini elde etmek için elemanlar bir araya getirilmektedir. Elemanların birbirlerine bağlandıkları yerlere düğüm (nod) tüm yapıya ise ağ (mesh) adı verilmektedir,
- Elemanın özelliklerinin formülasyonu ile tüm eleman deformasyon durumlarıyla ilişkili düğüm yüklerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir,
- Planlanan yüklerin uygulanması yapılmaktadır. Düğümlerdeki yer değiştirme belirlenerek eşzamanlı doğrusal cebirsel denklemler çözülür. Asal gerilimler, eksensel gerilimler, yer değiştirme değerleri, deformasyon değerleri ya da eşdeğer gerilimler elde edilebilmektedir,
- Düğümsel yer değiştirmeden ve eleman yer değiştirme alan enterpolasyonundan eleman gerinimlerinin hesaplanması ve son olarak şekil değiştirmelerden kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması yapılmaktadır. Son olarak işlemciler olarak adlandırılan çıktı yorumlama programları, kullanıcının çıktıyı sıralamasına ve grafik biçiminde görüntülemesine yardımcı olmaktadır[224].

3. GEREÇ YÖNTEM

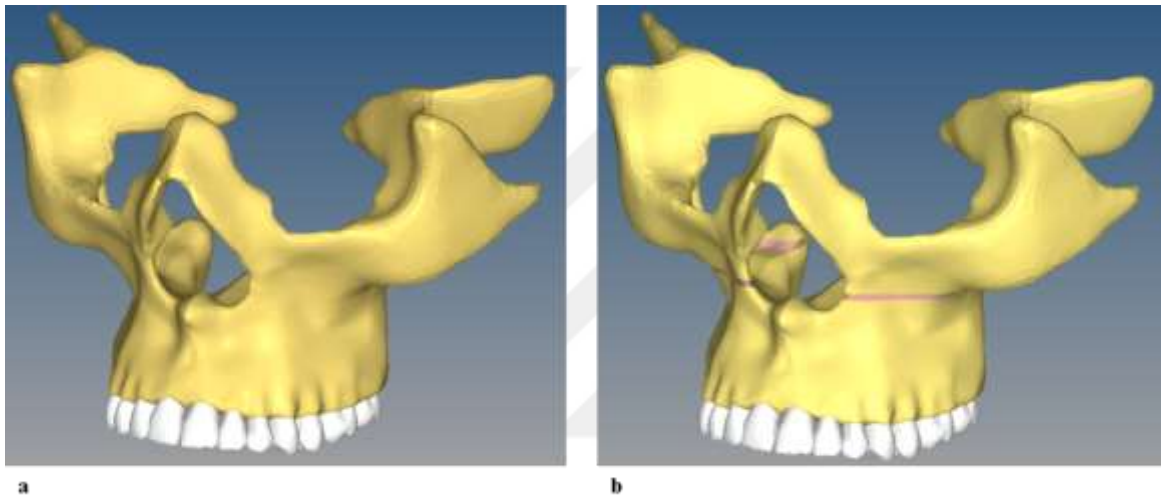
Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı arşivinden 19 yaşındaki, görüntü verilerinin isim kullanılmadan bilimsel çalışmalarda kullanımına dair onamı bulunan kadın hastanın KIBT görüntüsü kullanılmıştır. Kodak 9300C Carestream Health Cooperation Cone-Beam BT (Eastman Kodak Company, Rochester, New York, USA) görüntüleme sisteminden 0.5 mm tomografi kesitleri alınarak DICOM 3.0 formatında elde edilmiş ve üç boyutlu görüntü oluşturma programı MIMICS aktarılarak yeniden oluşturulmuştur. Yeni oluşturulan .stl format ALTAIR HYPERWORKS 2017 (Altair Engineering, Troy, Michigan, USA) programı kullanılarak kraniyomaksiller alanı içeren sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Model ABAQUS 6.14 (Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI, USA) versiyonu kullanılarak çözümleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Hyrax tip (Dentaurum, Germany) ortodontik aparey ve vidaların modellenmesi Catia V5R18(Dassault Systems, France) programıyla yapılmıştır. Apareyin fiksasyonunda kullanılan vidaların modelleri W.Lorenz'in (Walter Lorenz Surgical, USA) fiziksel özelliklerini kullanılarak oluşturulup 2 mm çapta titanyum vidalar şeklinde hazırlanmıştır.

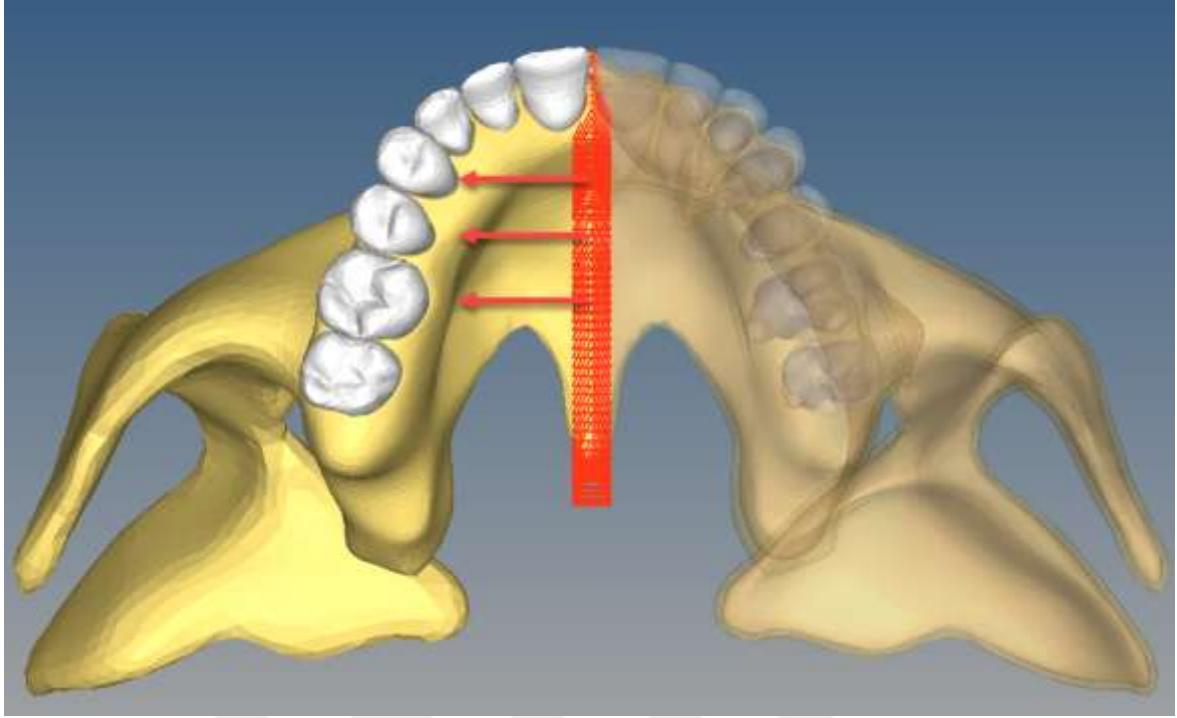
Çalışmamızda oluşturulan modeller, kortikotomi destekli (KL) ve kortikotomi desteksiz (KS) olmak üzere 2 gruba ayrılarak hızlı maksiller genişletme simüle edilmiştir (Resim 3.1, Resim 3.2, Resim 3.4). Her iki grup kendi içinde 1mm, 5mm, 7mm'lik hareketlendirme miktarlarına karşılık gelecek şekilde toplam üç alt gruba ayrılmıştır. Böylelikle KL1, KL2, KL3, KS1, KS2, KS3 şeklinde 6 çalışma modeli elde edilmiştir. KL modellerde osteotomi hattı dişlerin apeksleri üzerinden 7 mm olacak şekilde apertura piriformisten pterygomaksiller birleşime kadar düz bir şekilde simüle edilmiştir.



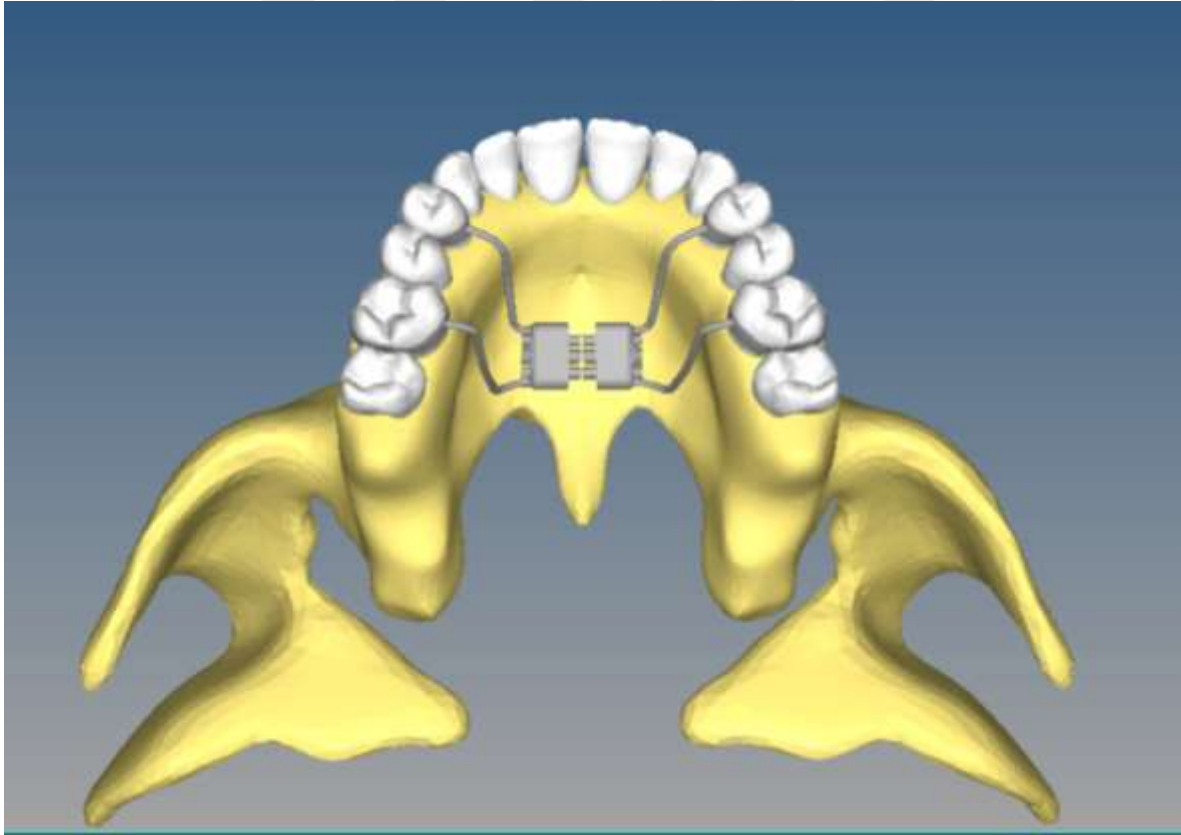
Resim 3.1. a) Kortikotomi desteksiz model (KS) b) Kortikotomi destekli model (KL)



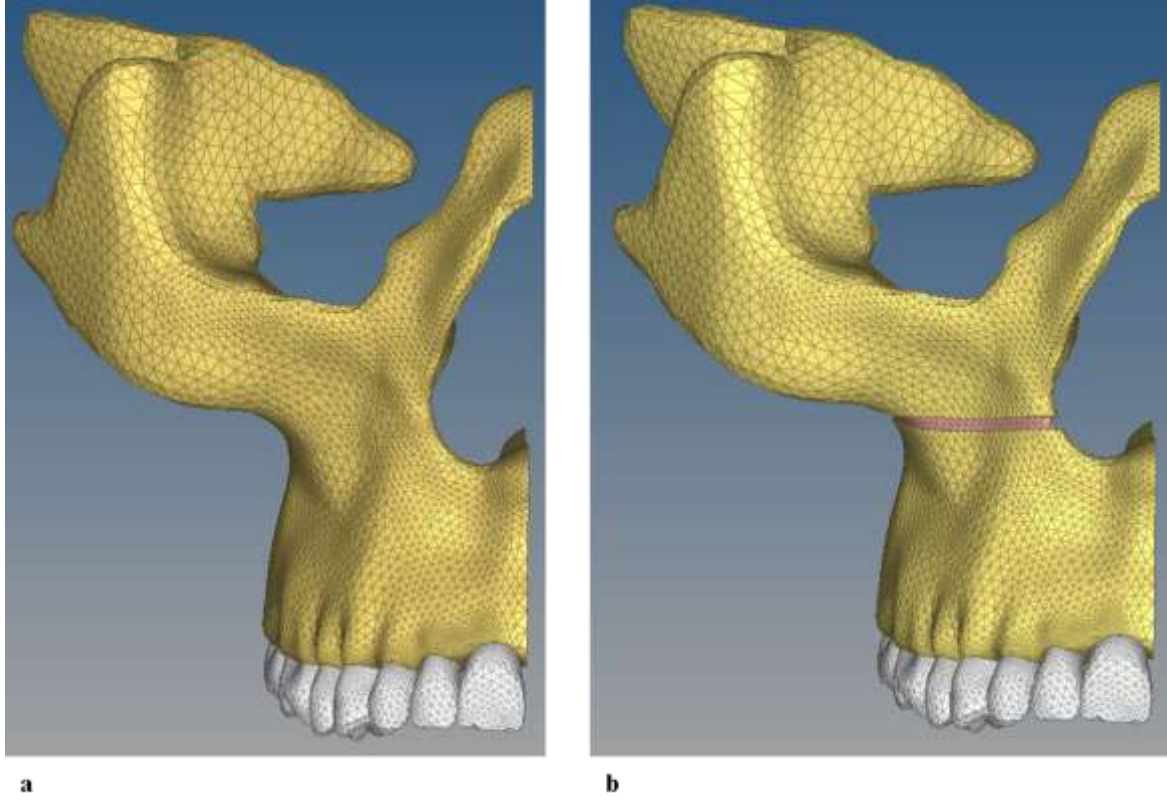
Resim 3.2. a) Kortikotomi desteksiz model (KS) b) Kortikotomi destekli model (KL)



Resim 3.3. Deplasman uygulama yönü



Resim 3.4. Hyrax tip hızlı maksiller genişletme simüle edilmiş model



Resim 3.5. a)KS ağ yapısı b)KL ağ yapısı

Bu çalışmadaki modellerde gerçeğe yakın olması için çok sayıda nod ve eleman kullanılmıştır. Tetrahedral tipte eleman kullanılmıştır (Resim 3.5.). Kullanılan eleman ve nod sayılarının yeterli geçerlilikte olduğunu test etmek için KL3 modelde Pmax streslerinde Convergence analizi yapılmıştır. Kortikotomi destekli ve kortikotomi desteksiz modellerde kullanılan final nod ve eleman sayıları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir .

Çizelge 3.1. Eleman ve nod sayıları

MODEL	KORTİKOTOMİ DESTEKSİZ	KORTİKOTOMİ DESTEKLİ
NOD SAYISI	58353	59964
ELEMAN SAYISI	280754	285750

Maksillanın kortikal ve spongiyöz kemik yapıları ile kullanılan fiksatif materyallerin mekanik özellikleri izotropik, homojen ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir. Analizde kullanılan materyallerin Young modülü ve Poisson oranları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

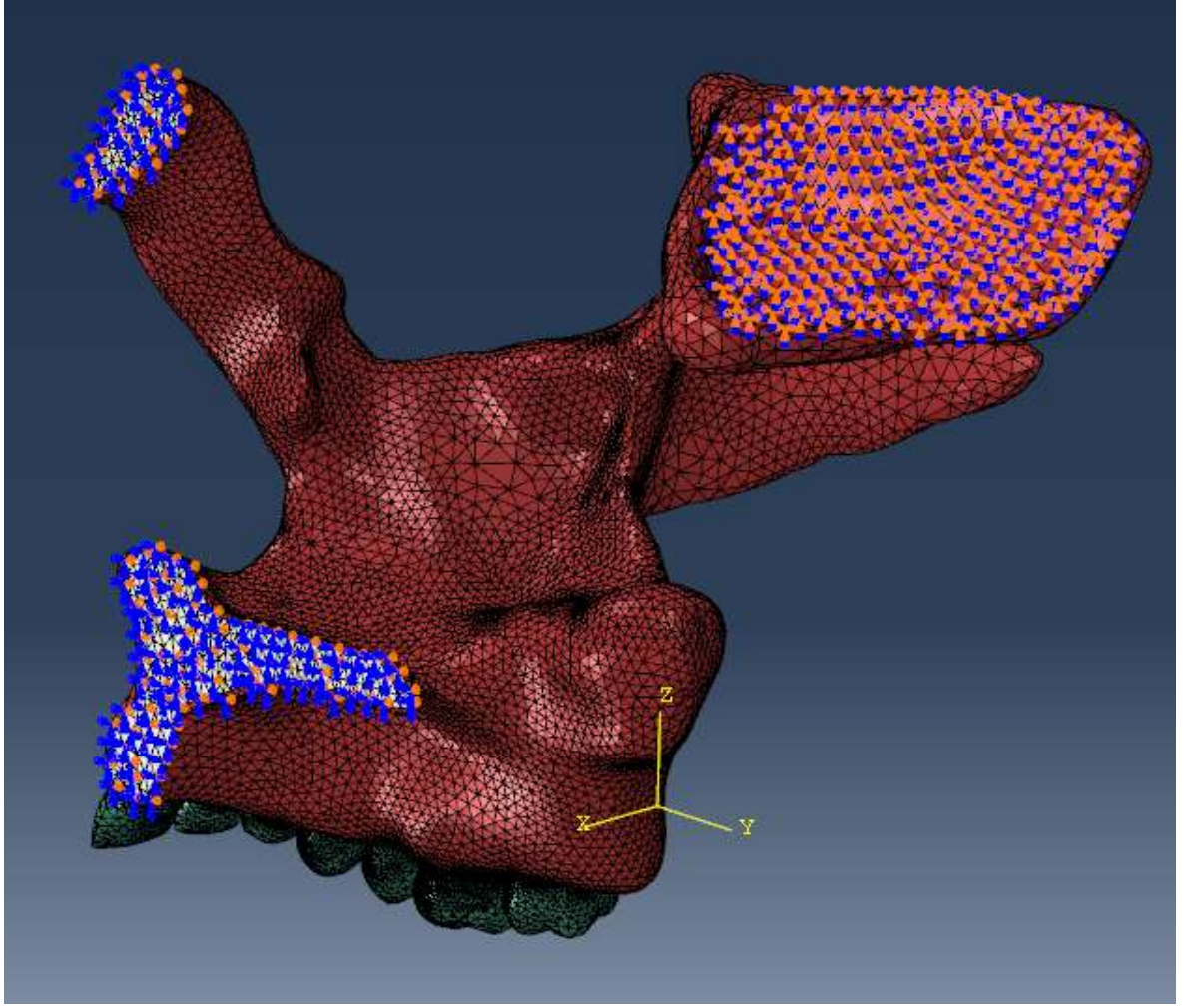
Çizelge 3.2. Young modülü ve Poisson oranları

	Young Modülü	Poisson Oranı
Kortikal Kemik	14.8	0.3
Spongiyöz Kemik	1.85	0.3 _s
Diş	20.7	0.3
Titanyum	105	0.33

Biyomekanik alanında kemik kırılğan olarak kabul edildiğinden mekanik davranışlarında asal stresler kullanılmaktadır. Asal stresler maksimum ve minimum olarak ikiye ayrılmaktadır. Pmax (gerilim, çekme stresi, pozitif), Pmin (baskı, negatif) kuvvetlerinin ifadesinde yararlanılmaktadır[173].

Çalışmamızda kemiğin kortikal ve spongiöz bölgelerinde oluşan Pmax ve Pmin stresleri üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmiş MPa (N/mm²) değeriyle hesaplanmıştır. Modellerdeki stres dağılımını nicel olarak analiz etmek için 12 renk içeren skaladan faydalanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan modeller uzaysal olarak normal konumlarında X, Y ve Z eksenlerinde rotasyon ve deplasmanı engellenecek şekilde sabitlenmiştir (Resim 3.6.).



Resim 3.6. Modellerin uzaysal sabitlenmesi

4. BULGULAR

4.1. KS ve KL Modellerinde Kortikal Kemikte Pmax Stresleri (Gerilim Stresleri)

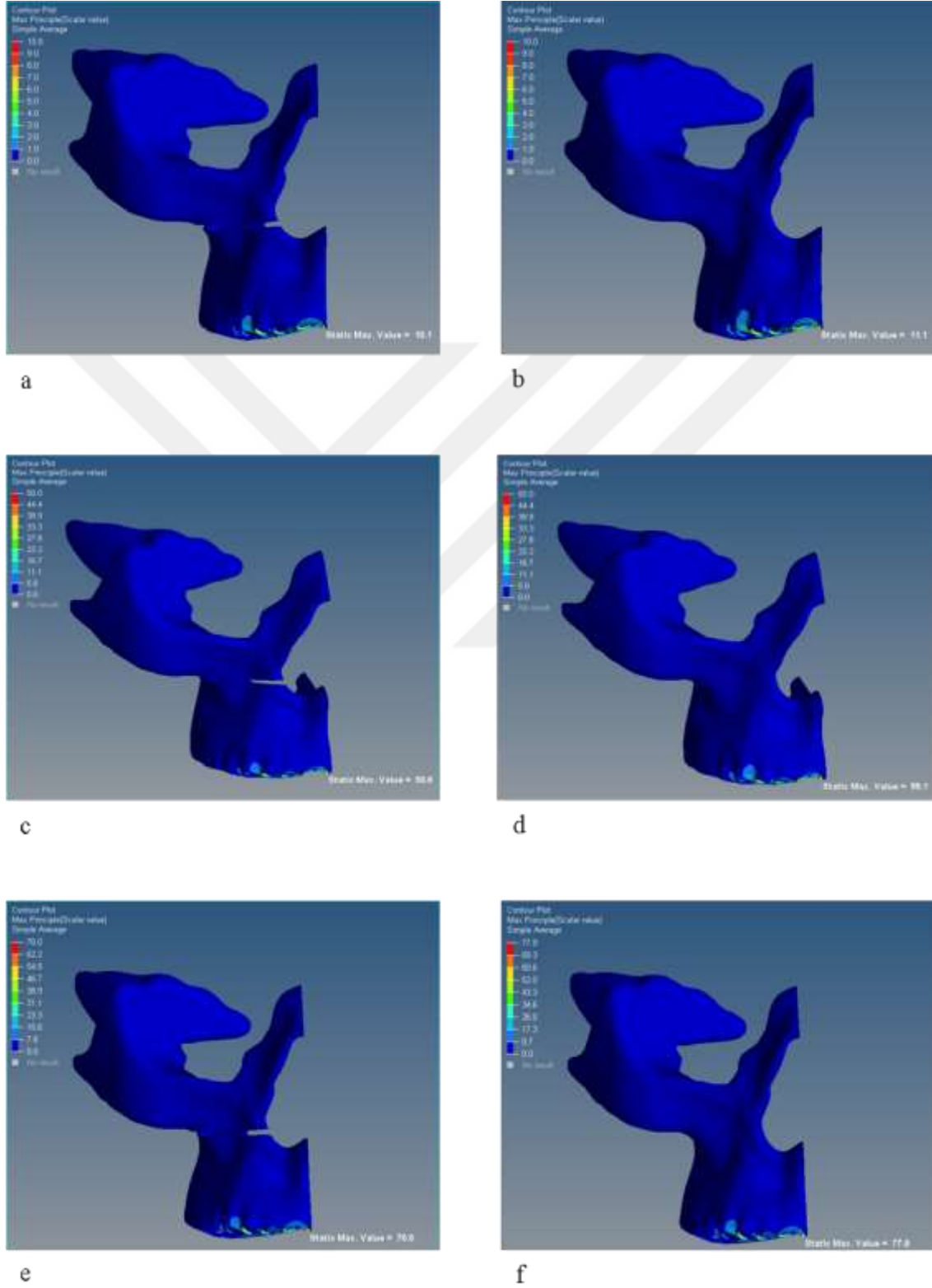
Kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KS1 modelinde 1 mm'lik, KS2 modelinde 5 mm'lik, KS3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında kortikal kemikte en yüksek Pmax değerleri sırasıyla 11.1 MPa, 56.1 MPa ve 77.9 MPa elde edilmiştir. Kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uygulanan KL1 modelinde 1 mm'lik, KL2 modelinde 5 mm'lik ve KL3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında kortikal kemikte en yüksek Pmax değerleri sırasıyla 10.1 MPa, 50.6 MPa ve 70 MPa elde edilmiştir (Resim 4.1.).

KS1, KS2 ve KS3 modellerinde kortikal kemikte 1. ve 2. premolar dişlerinin alveolar kretlerinin bukkale bakan bölgelerinde stres alanları tespit edilmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte 1. ve 2. premolar dişlerinin alveolar kretlerinin bukkale bakan bölgelerinde stres alanları tespit edilmiştir (Resim 4.1.).

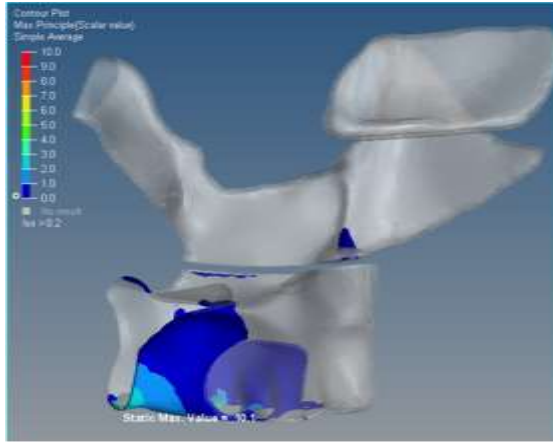
KS1, KS2 ve KS3 modellerinde kortikal kemikte apertura piriformisin lateral kenarı, pterygomaksiller birleşimin alt kısmı, maksiller kemiğin orbital yüzü ve palatinal proçesin 1/3'lük ön kısmında geniş stres alanları gözlemlenmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte apertura piriformisin lateralinde osteotomi hattının altında kalan bölgede, pterygomaksiller birleşimin alt kısmında, maksiller kemiğin orbital yüzünde ve palatinal proçesin 1/3'lük ön kısmında stres alanları gözlemlenmiştir (Resim 4.2.).

KS1, KS2 ve KS3 modellerinde kortikal kemikte Pmax streslerinin en çok lokalize olduğu yer santral dişlerin interdental septumunun olduğu tespit edilmiştir. KS1, KS2 ve KS3 modellerinde santral dişlerden 1.molar dişlerine kadar olan interdental septumlarda azalan seviyelerde Pmax stres alanları görülmüştür. Maksillanın palatinal proçesinin anterior 1/3'lük kısmını içeren bölgede dişlerin alveolar kretlerinden midpalatal suture doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir (Resim 4.3.). KL1, KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte Pmax streslerinin en yüksek olduğu lokalizasyonun santral dişlerin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir (Resim 4.1.). Santral dişlerden 2.premolar dişlerine kadar olan interdental septumlarda KL1, KL2 ve KL3 modellerinde Pmax stres alanları görülmüştür.

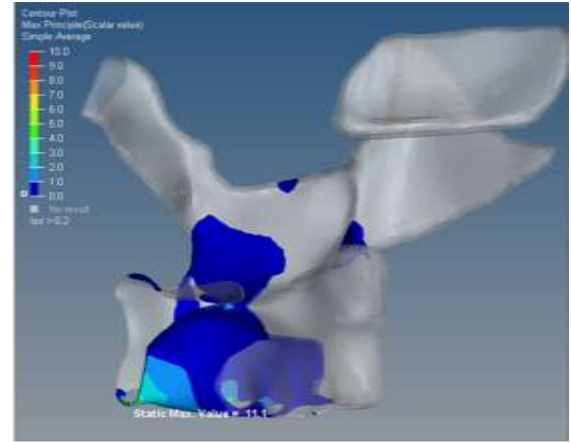
Maksillanın palatinal proçesinin anterior 1/3'lük kısmını içeren bölgede dişlerin alveolar kretlerinden midpalatal sûtura doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir (Resim 4.3.).



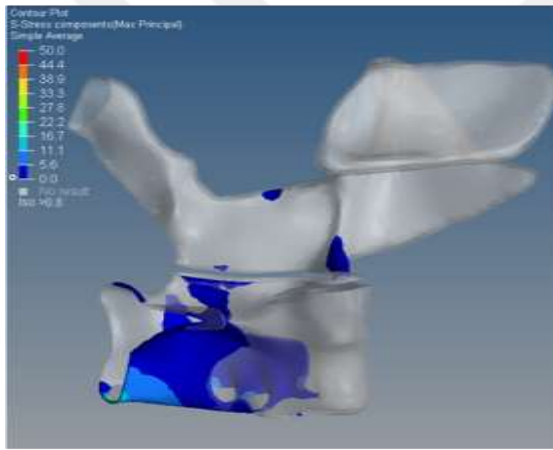
Resim 4.1. Modellerin lateral görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



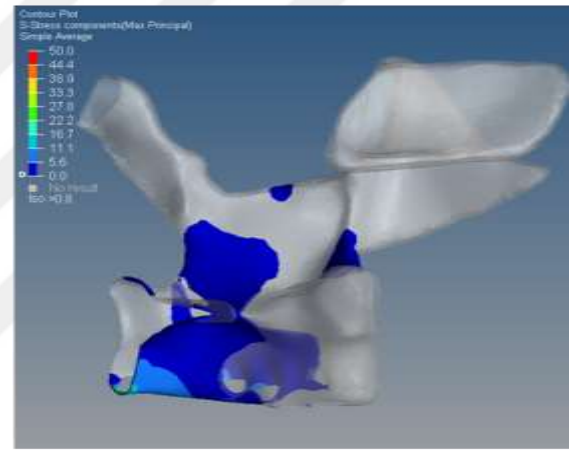
a



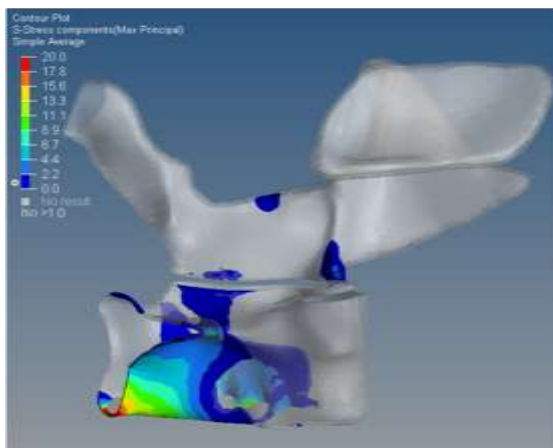
b



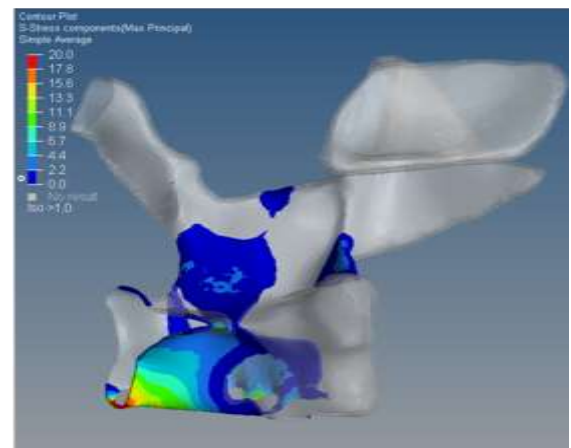
c



d

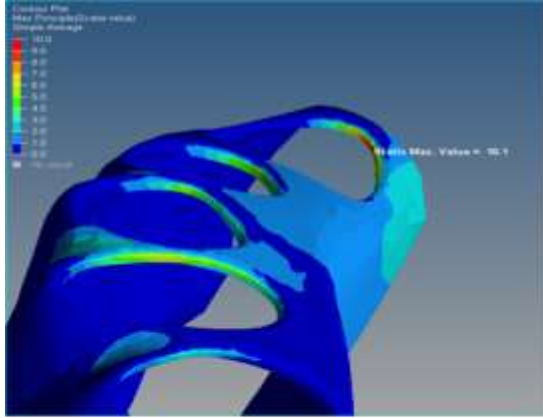


e

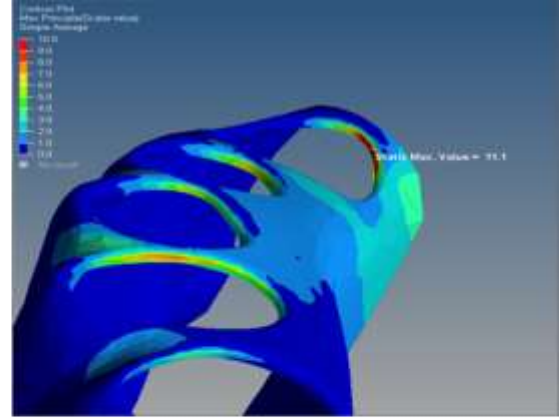


f

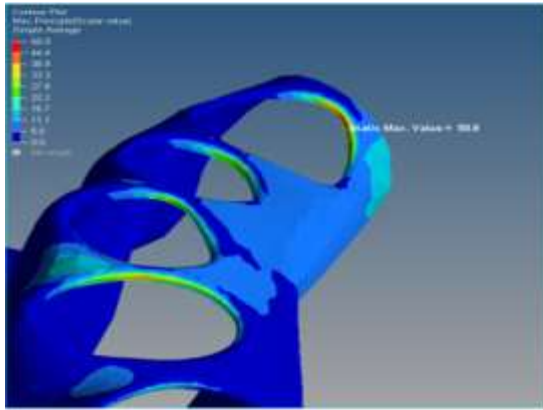
Resim 4.2. Modellerin medial görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



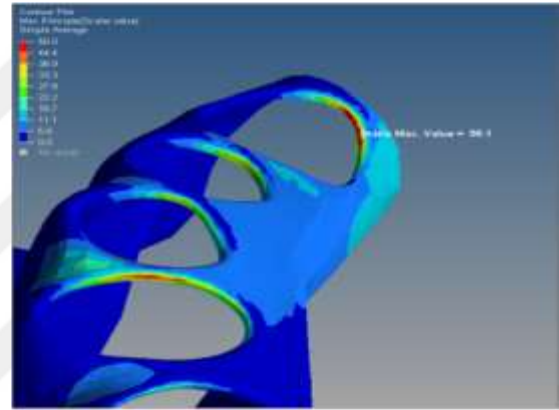
a



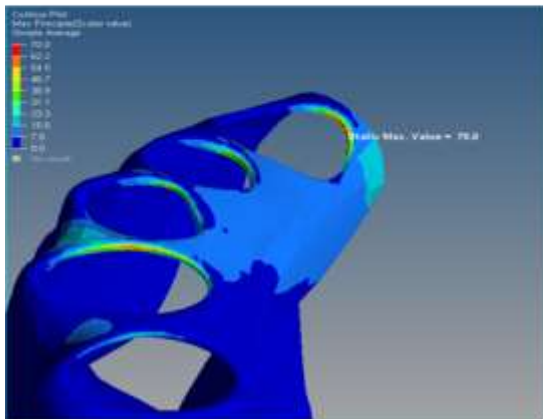
b



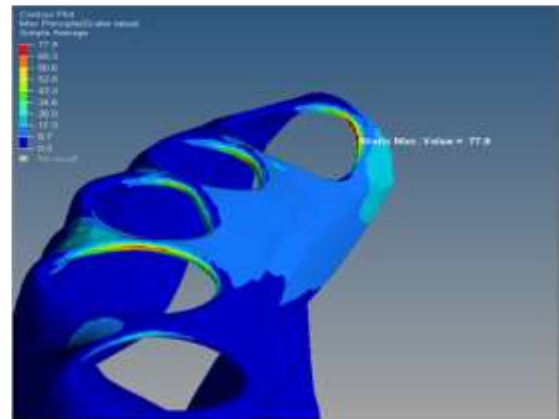
c



d



e



f

Resim 4.3. Modellerin dentoalveolar görünümünde kortikal kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3

4.2. KS ve KL Modellerinde Spongiyöz Kemikte Pmax Stresleri (Gerilim Stresleri)

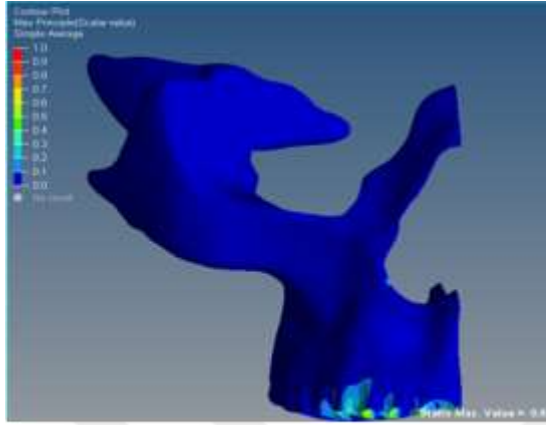
Kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KS1 modelinde 1 mm'lik, KS2 modelinde 5 mm'lik, KS3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında spongiyöz kemikte en yüksek Pmax değerleri sırasıyla 1 MPa, 5.2 MPa ve 7.3 MPa bulguları elde edilmiştir. Kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uygulanan KL1 modelinde 1 mm'lik, KL2 modelinde 5 mm'lik ve KL3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında spongiyöz kemikte en yüksek max değerleri sırasıyla 0.8 MPa, 4.3 MPa ve 6 MPa elde edilmiştir (Resim 4.4).

KS1, KS2 ve KS3 modellerinde spongiyöz kemikte lateral dişlerden 1.molar dişlerine kadar alveolar kretlerinin bukkale bakan bölgelerinde stres alanları tespit edilmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde spongiyöz kemikte santral diştten 1.molar dişine kadar alveolar kretlerinin bukkale bakan bölgelerinde stres alanları tespit edilmiştir. KS1, KS2, KS3, KL1, KL2 ve KL3 modellerinde en yoğun stres alanı kanin dişinin bukkali olarak gözlemlenmiştir (Resim 4.4).

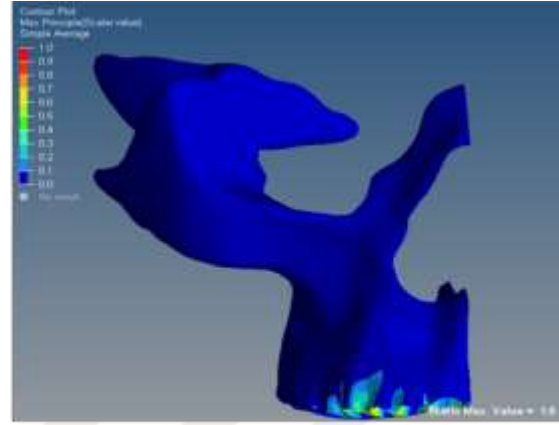
KS1, KS2 ve KS3 modellerinde spongiyöz kemikte maksillanın palatinal proçesinin anterior 1/3'lük bölümünde ve pterygomaksiller birleşimin alt kısmında stres alanları gözlemlenmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde spongiyöz kemikte maksillanın palatinal proçesinin anterior 1/3'lük bölümünde, pterygomaksiller birleşimin alt kısmında ve apertura piriformisin lateralinde osteotomi hattında dar bir bölgede stres alanlarının olduğu gözlemlenmiştir (Resim 4.5).

KS1, KS2 ve KS3 modellerinde spongiyöz kemikte Pmax streslerinin en çok lokalize olduğu yer santral ve lateral dişlerin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. KS1, KS2 ve KS3 modellerinde santral, kanin ve 1.molar dişlerinin interdental septumlarında Pmax stres alanları görülmüştür. Maksillanın palatinal proçesinin anterior 1/3'lük kısmını içeren bölgede dişlerin palatinal alveolar kretlerinden midpalatal suture doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde spongiyöz kemikte Pmax streslerinin en çok lokalize olduğu yer santral dişlerin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. Santral, kanin ve 1. ve 2. premolar dişlerinin interdental septumlarında KL1, KL2 ve KL3 modellerinde Pmax stres alanları görülmüştür. Maksillanın palatinal proçesinin anterior

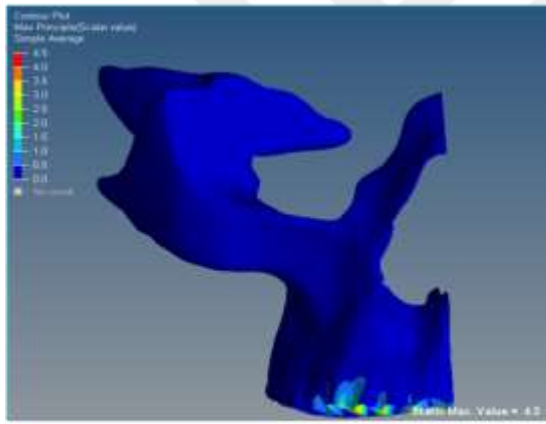
1/3'lük kısmını içeren bölgede dişlerin palatinal alveolar kretlerinden midpalatal suture doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir (Resim 4.6).



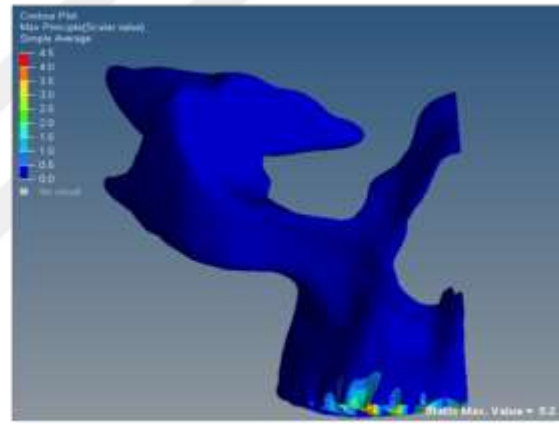
a



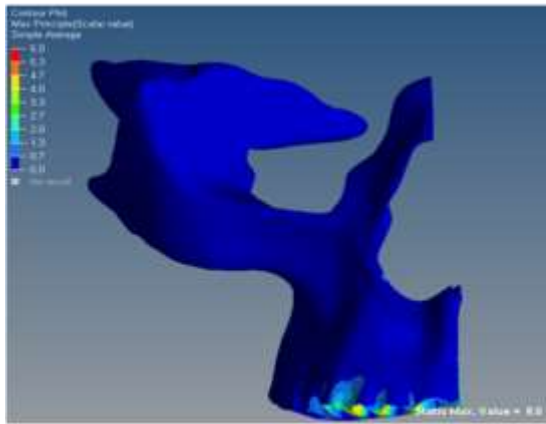
b



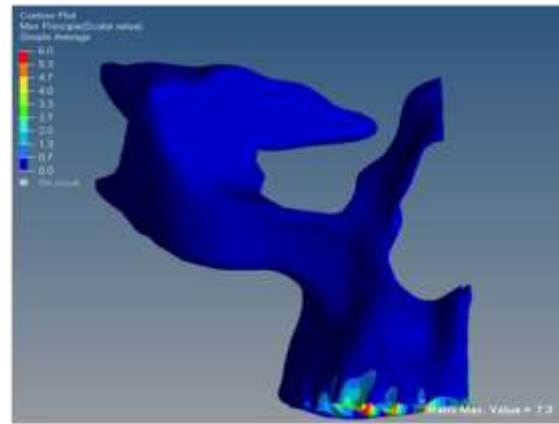
c



d

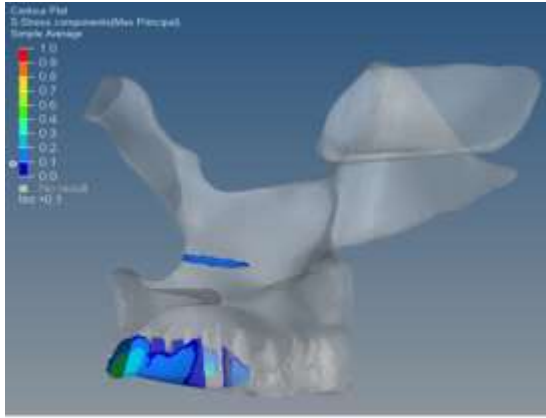


e

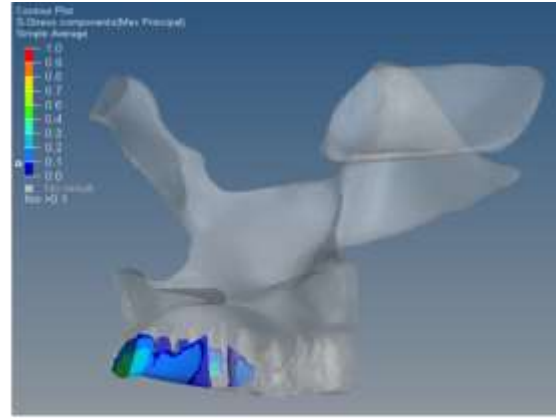


f

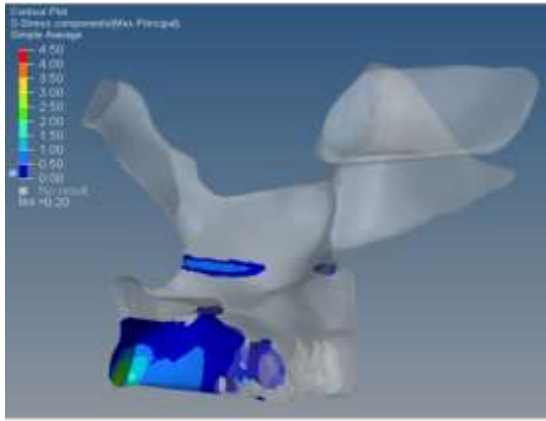
Resim 4.4. Modellerin lateral görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



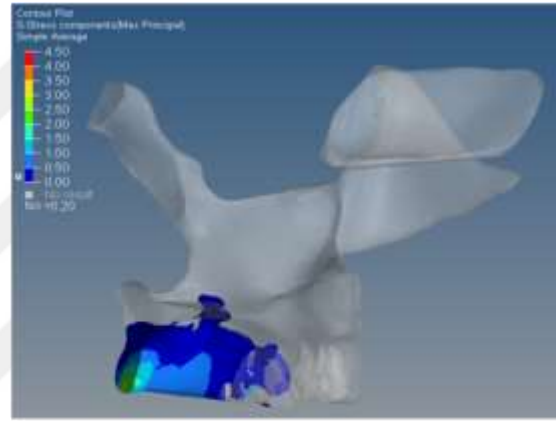
a



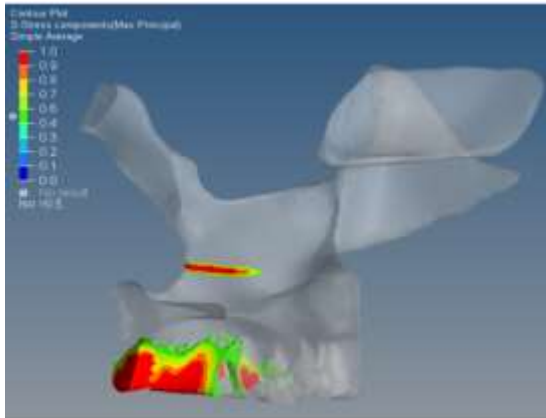
b



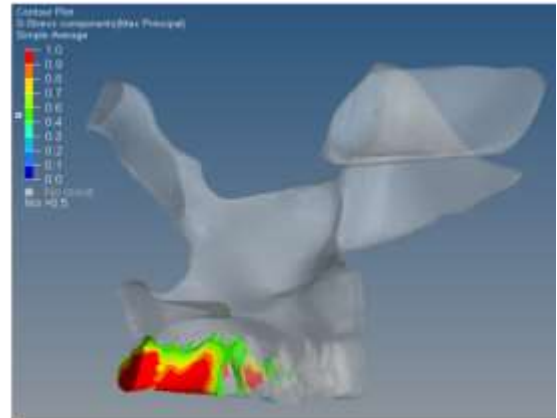
c



d

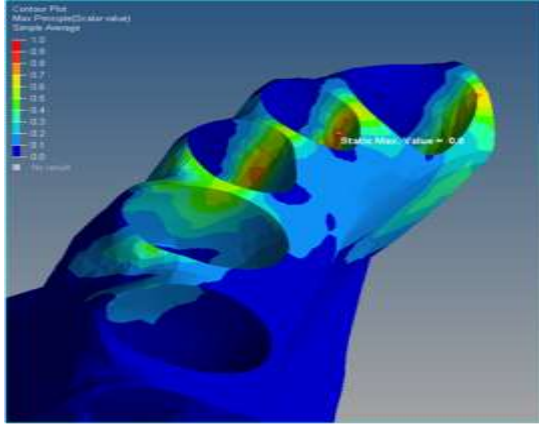


e

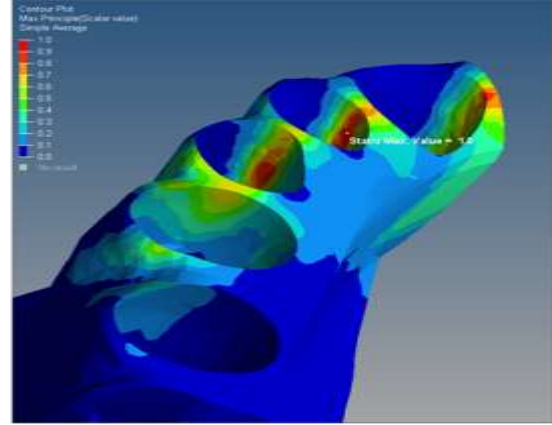


f

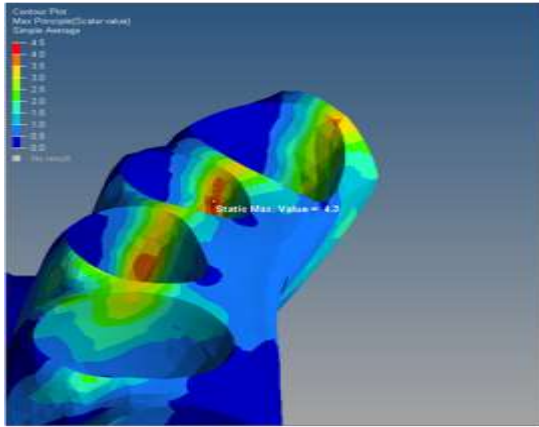
Resim 4.5. Modellerin medial görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



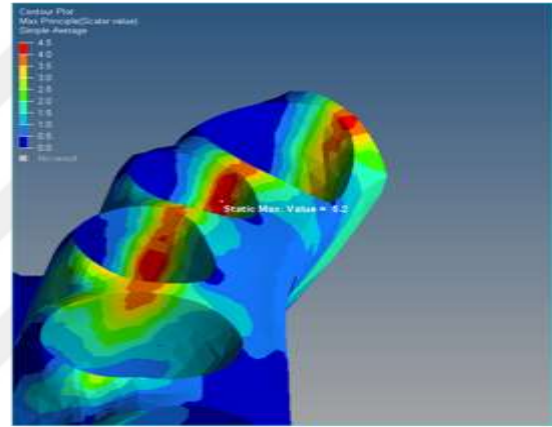
a



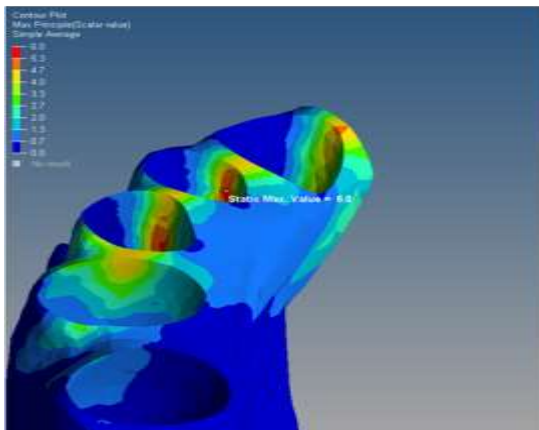
b



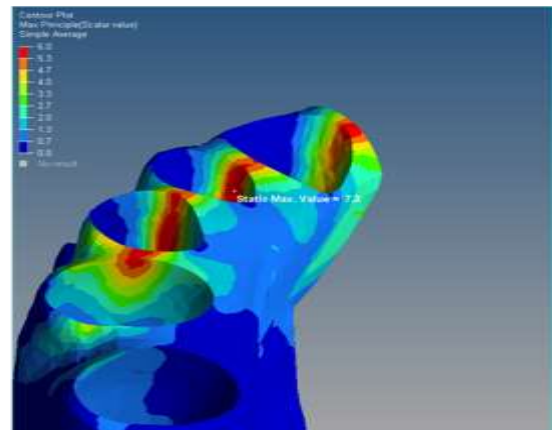
c



d

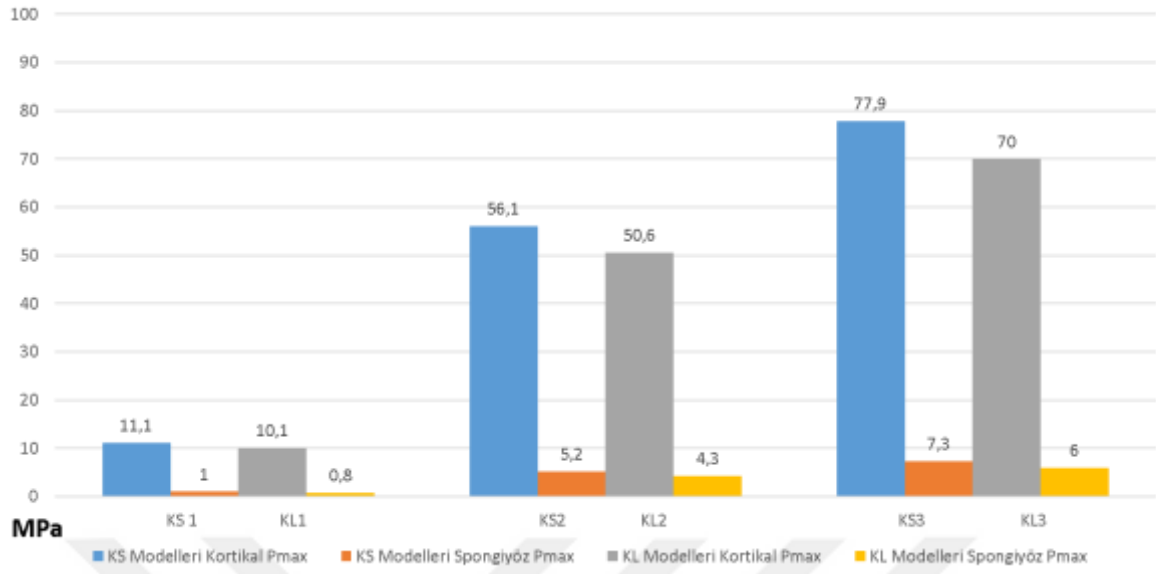


e



f

Resim 4.6. Modellerin dentoalveolar görünümünde spongiyöz kemikte Pmax stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



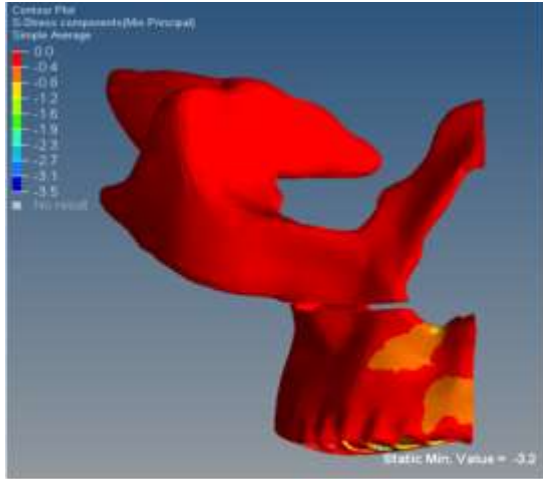
Şekil 4.1. KS1, KS2, KS3, KL1, KL2, KL3 Modellerinde kortikal ve spongiyöz kemiklerdeki Pmax değerlerinin karşılaştırılması

4.3. KS ve KL Modellerinde Kortikal Kemikte Pmin Stresleri (Baskı Stresleri)

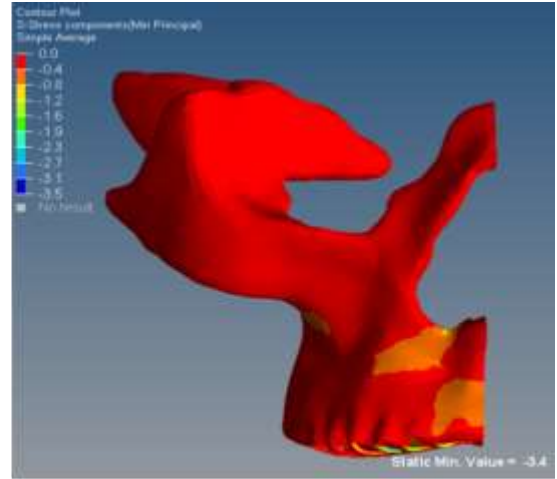
Kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KS1 modelinde 1 mm'lik, KS2 modelinde 5 mm'lik, KS3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında kortikal kemikte en yüksek Pmin değerleri sırasıyla 3.4 MPa, 15.4 MPa ve 19.5 MPa elde edilmiştir. Kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KL1 modelinde 1 mm'lik, KL2 modelinde 5 mm'lik, KL3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında kortikal kemikte en yüksek Pmin değerleri sırasıyla 3.2 MPa, 14.1 MPa ve 18.6 MPa elde edilmiştir (Resim 4.7).

KS2 ve KS3 modellerinde kortikal kemikte anterior nazal spinanın lateralinde, 1. premolar ve 1. Molar dişlerinin hizasında palatinal kemikte ve maxillanın frontal procesisinin lateralinde nazolakrimal olukta Pmin stresleri gözlemlenmiştir. KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte anterior nazal spinanın lateralinde Pmin stres alanları izlenmiştir. KL3 modelinde pterygomaksiller birleşimin anteriorunda kortikotomi hattının altında Pmin stres alanları gözlemlenmiştir (Resim 4.8).

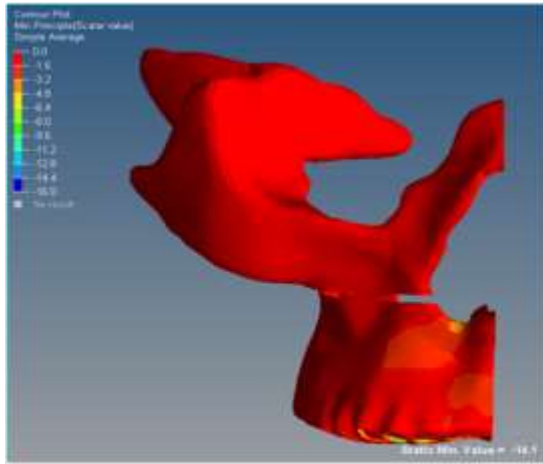
KS1, KS2 ve KS3 modellerinde kortikal kemikte Pmin streslerinin en çok lokalize olduğu yer kanin ve 1. premolar dişlerinin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. KS2 ve KS3 modellerinde santral, lateral, kanin, 1. ve 2. premolar, 1. molar dişlerinin interdental septumlarında Pmin stres alanları izlenmiştir. Ayrıca kanin ve 1. premolar dişlerinin interdental septumlarından midpalatal suture doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte Pmin streslerinin en çok lokalize olduğu yer kanin ve 1. premolar dişlerinin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. KL2 ve KL3 modellerinde santral, lateral, kanin, 1. ve 2. premolar, 1. molar dişlerinin interdental septumlarında Pmin stres alanları izlenmiştir. Ayrıca kanin ve 1. premolar dişlerinin palatinal interdental septumlarından midpalatal suture doğru stres yayılımı gözlemlenmiştir (Resim 4.9).



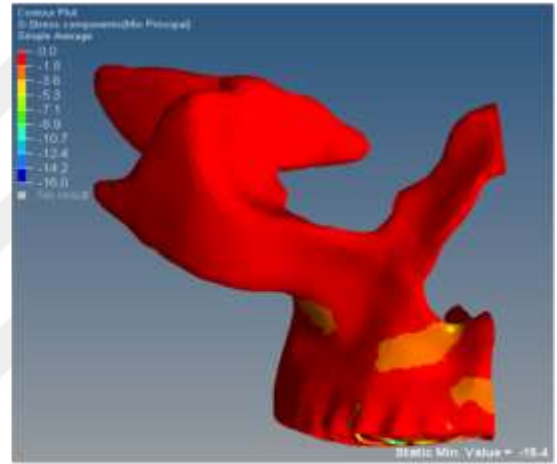
a



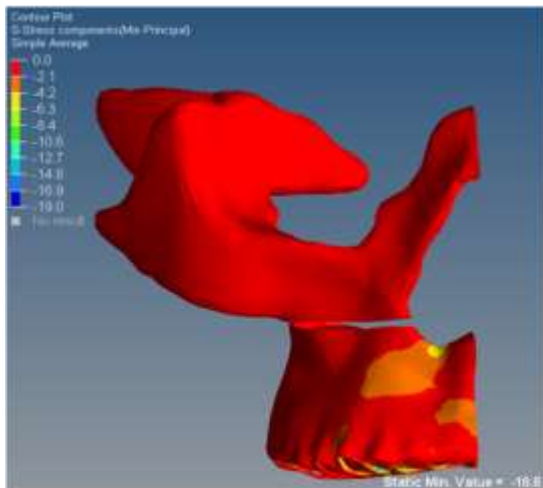
b



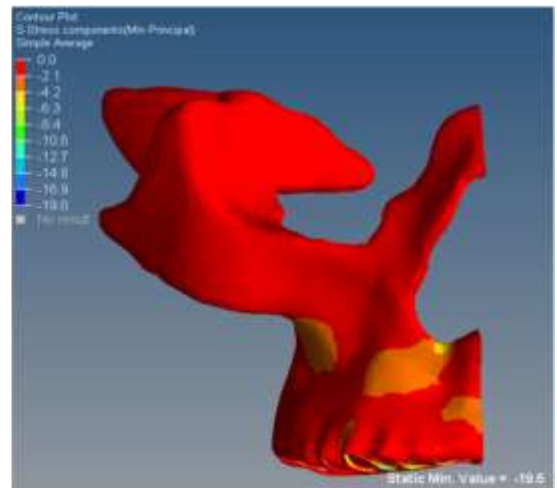
c



d

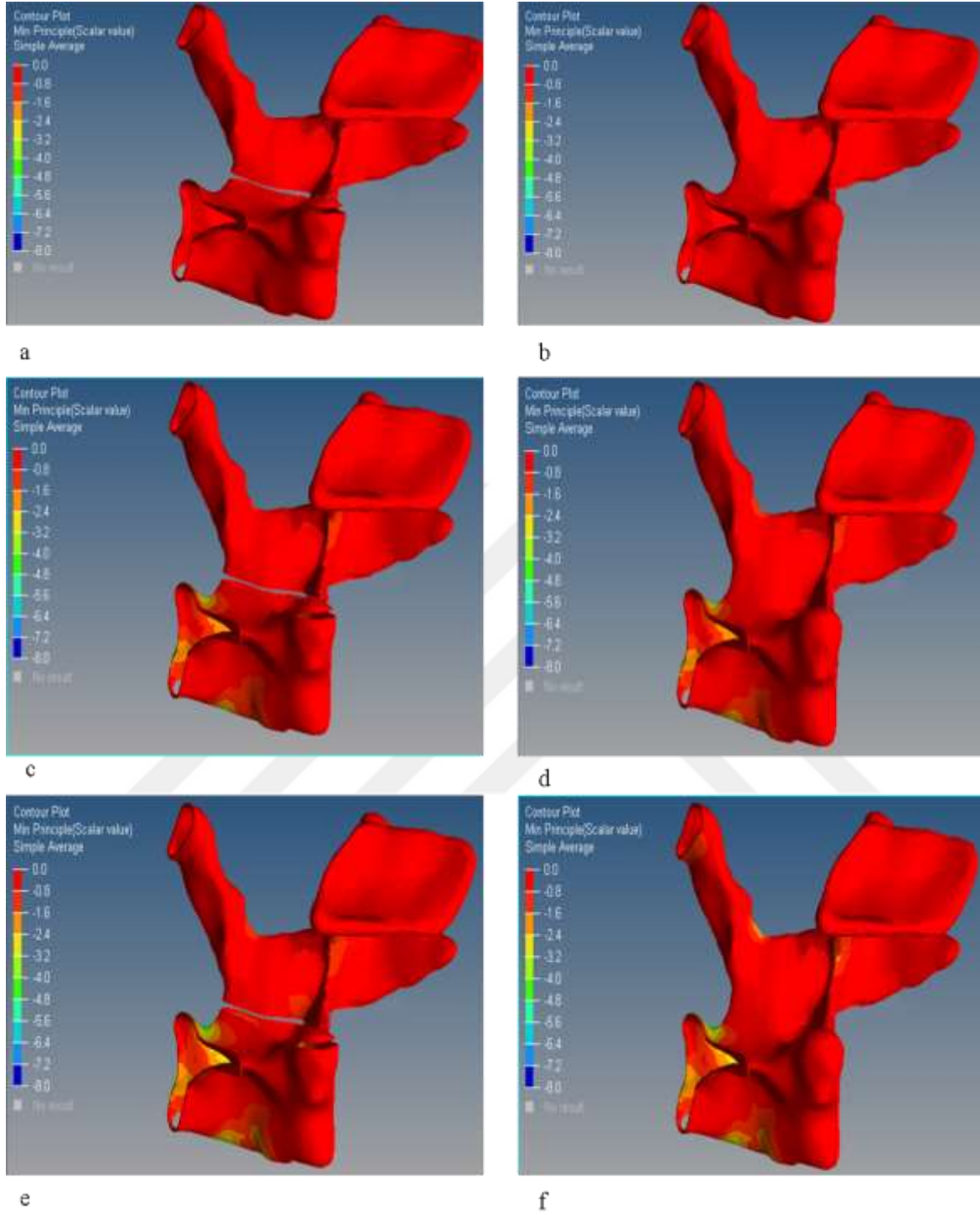


e

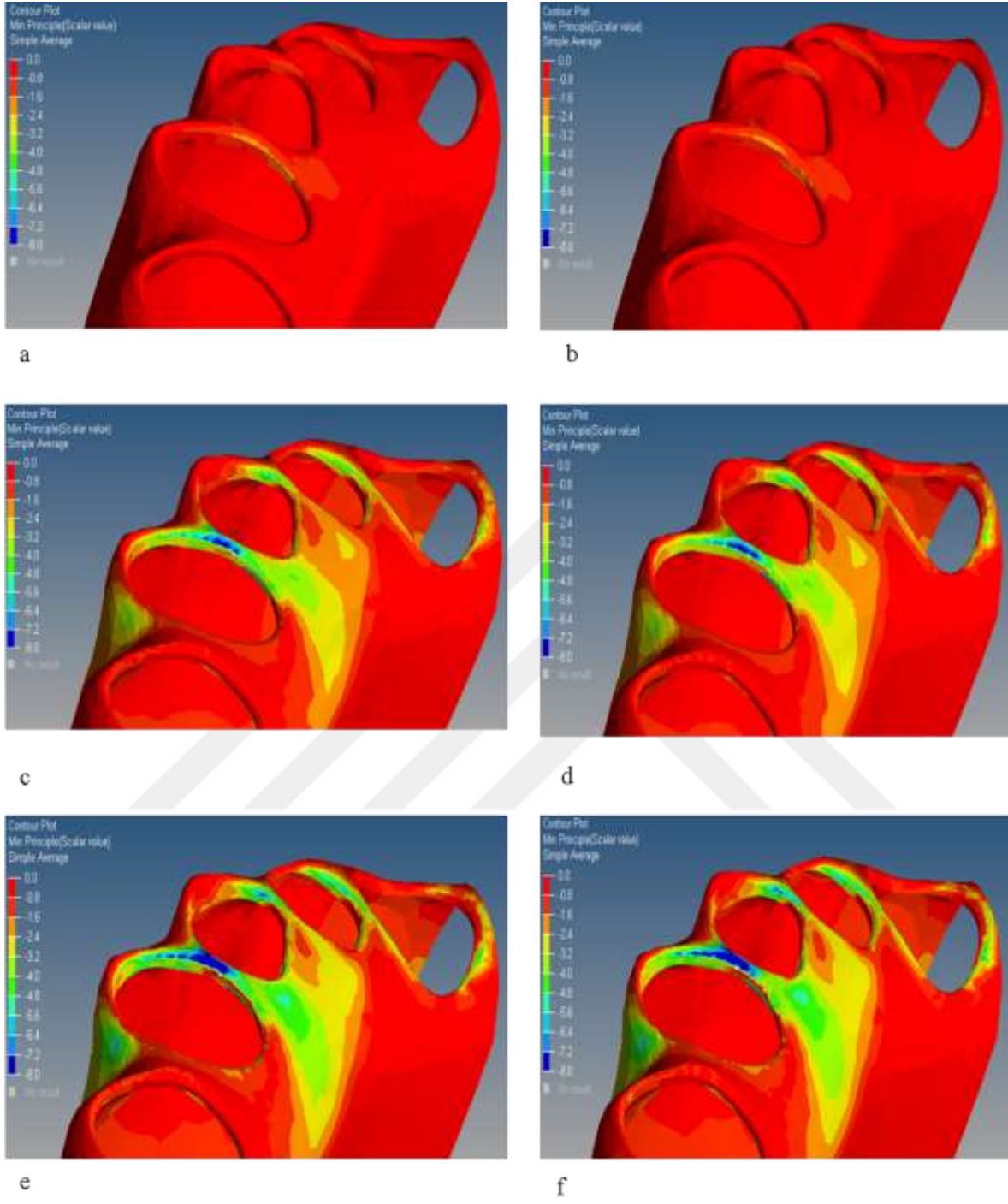


f

Resim 4.7. Modellerin lateral görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



Resim 4.8. Modellerin medial görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



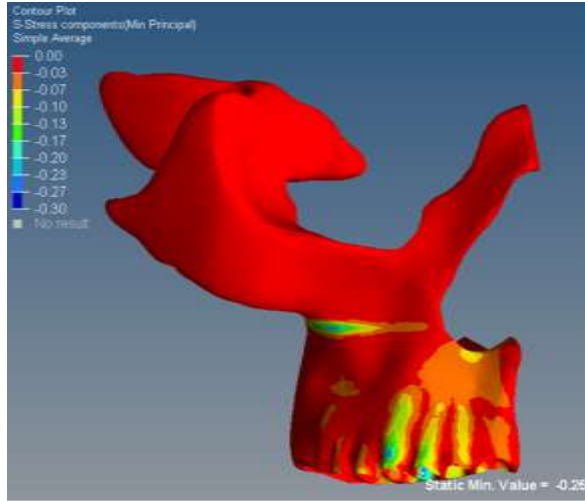
Resim 4.9. Modellerin dentoalveolar görünümünde kortikal kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3

4.4. KS ve KL Modellerinde Spongiyöz Kemikte Pmin Stresleri (Baskı Stresleri)

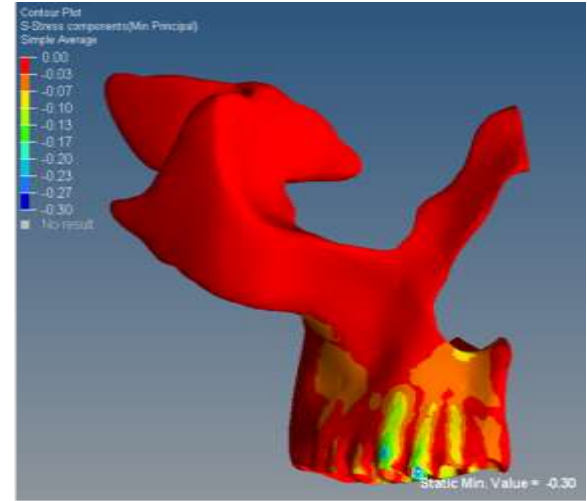
Kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KS1 modelinde 1 mm'lik, KS2 modelinde 5 mm'lik, KS3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında spongiyöz kemikte en yüksek Pmin değerleri sırasıyla 0.3 MPa, 1.4 MPa ve 1.8 MPa bulguları elde edilmiştir. Kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uygulanan modellerde KL1 modelinde 1 mm'lik, KL2 modelinde 5 mm'lik, KL3 modelinde 7 mm'lik deplasman uygulandığında spongiyöz kemikte en yüksek Pmin değerleri sırasıyla 0.25 MPa, 1.1 MPa ve 1.6 MPa elde edilmiştir (Resim 4.10).

KS2 ve KS3 modellerinde spongiyöz kemikte anterior nazal spinanın lateralinde, lateral, 1. ve 2. premolar ve 1. Molar dişlerinin hizasında palatinal kemikte ve maksiller sinüsün posteriorunda Pmin stresleri gözlemlenmiştir. KL2 ve KL3 modellerinde kortikal kemikte anterior nazal spinanın lateralinde, lateral, 1. ve 2. premolar ve 1. Molar dişlerinin hizasında palatinal kemikte ve pterygomaksiller birleşimin anteriorunda kortikotomi hattında Pmin stres alanları gözlemlenmiştir (Resim 4.11).

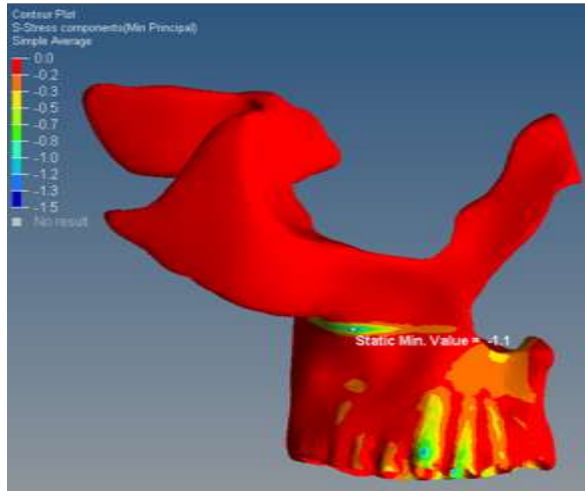
KS1, KS2 ve KS3 modellerinde spongiyöz kemikte Pmin streslerinin en çok lokalize olduğu yer kanin ve 1. premolar dişlerinin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. KS2 ve KS3 modellerinde lateral, kanin, 1. ve 2. premolar dişlerinin interdental septumlarında geniş Pmin stres alanları izlenmiştir. KS2 ve KS3 modellerinde santral, lateral, kanin, 1. ve 2. Premolar dişlerin palatinalinden midpalatal suture doğru stres yayılımları gözlemlenmektedir. KL1, KL2 ve KL3 modellerinde spongiyöz kemikte Pmin streslerinin en çok lokalize olduğu yer kanin ve 1. premolar dişlerinin interdental septumu olduğu tespit edilmiştir. KL2 ve KL3 modellerinde santral, lateral, kanin, 1. ve 2. premolar 1. molar dişlerinin interdental septumlarında geniş Pmin stres alanları izlenmiştir. Lateral, kanin, 1. ve 2. premolar, 1. molar dişlerin alveolar kretlerinden midpalatal suture uzanan ve santral dişin apeksi hizasında lokalize Pmin stres alanları gözlemlenmiştir (Resim 4.12).



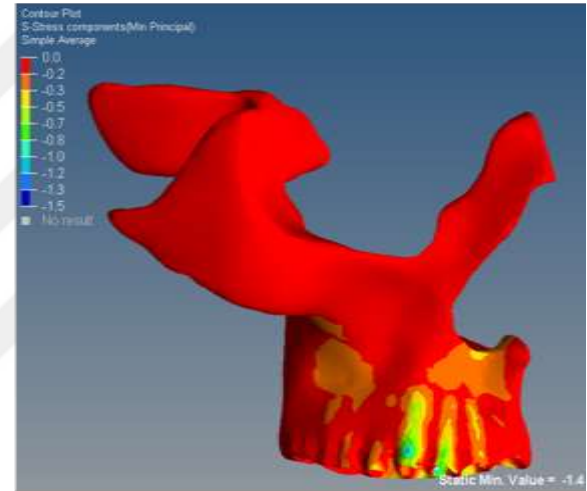
a



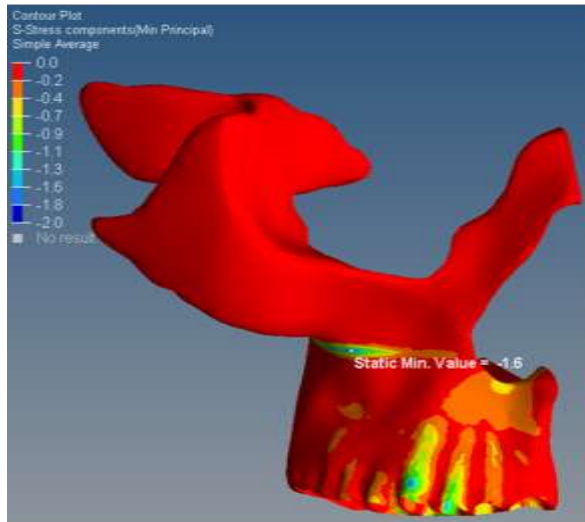
b



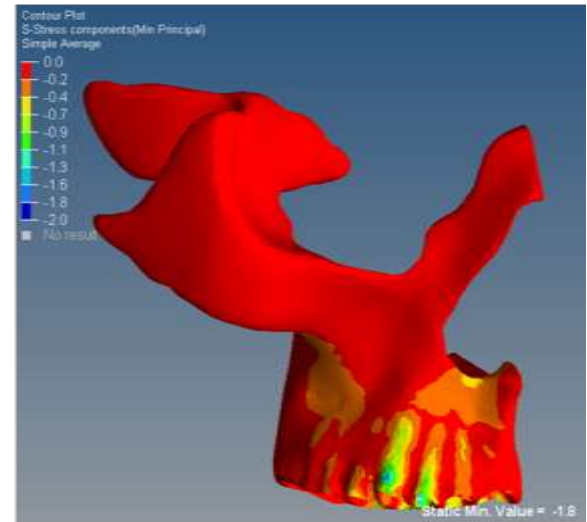
c



d

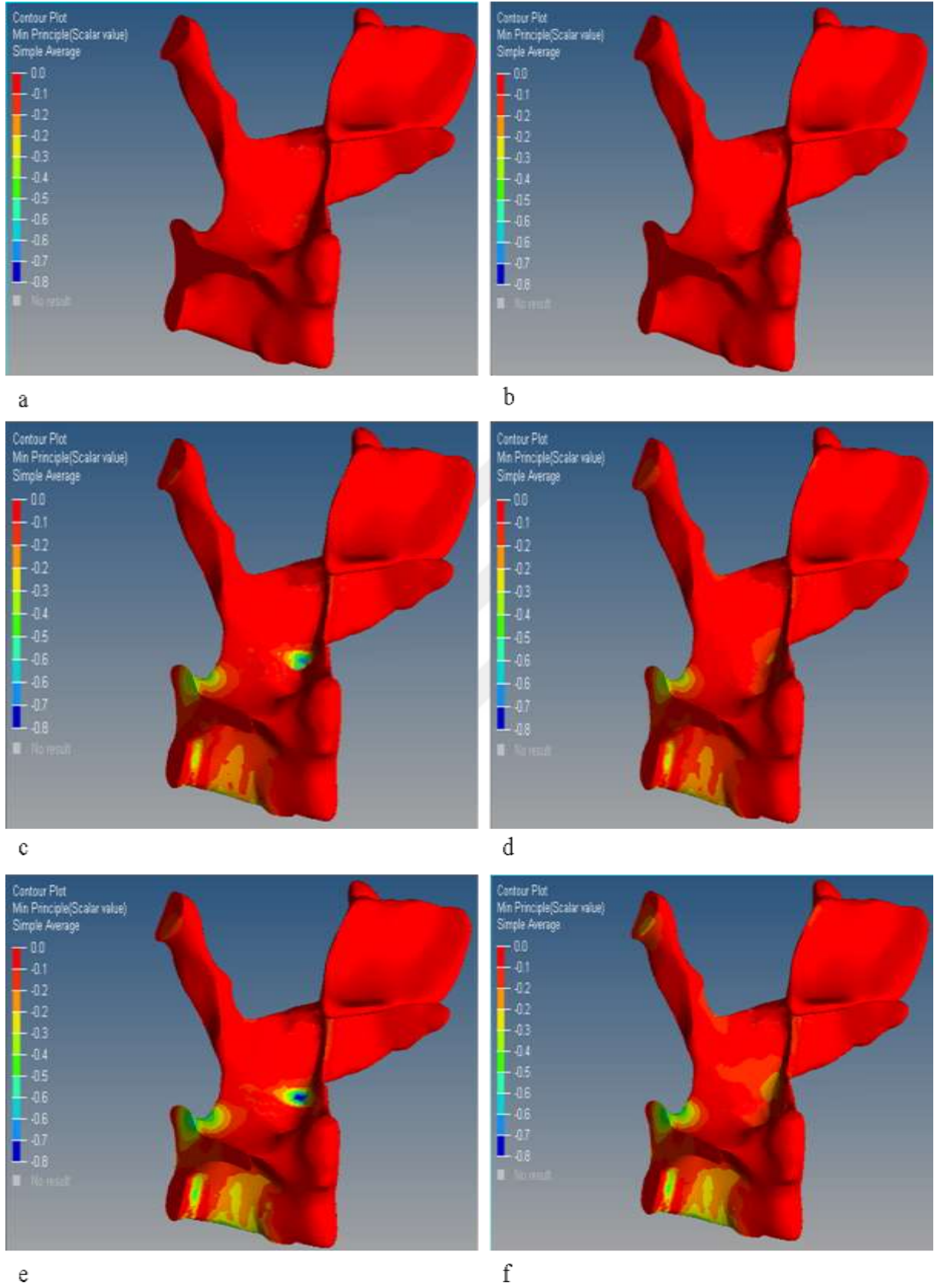


e

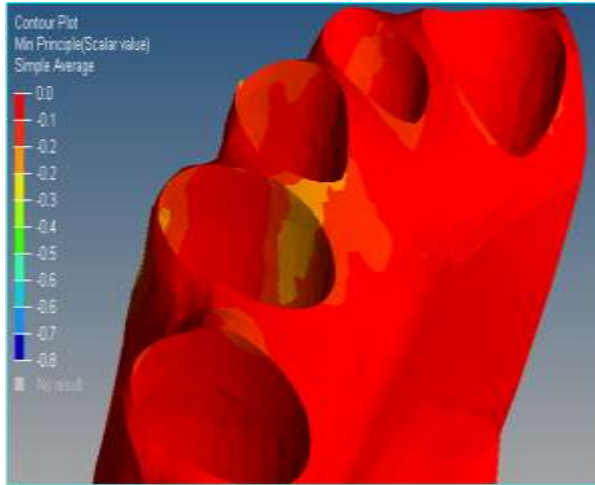


f

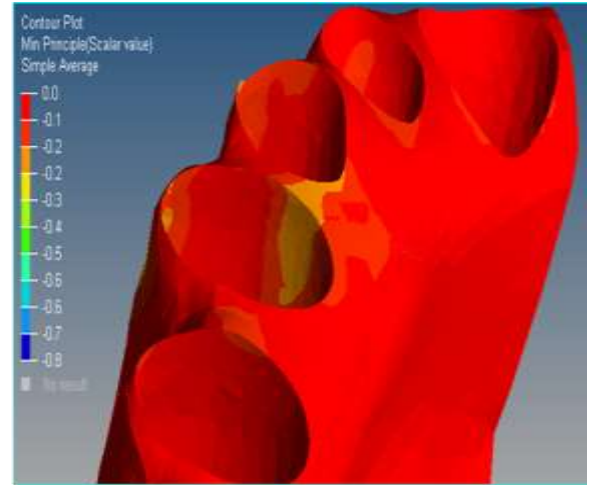
Resim 4.10. Modellerin lateral görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



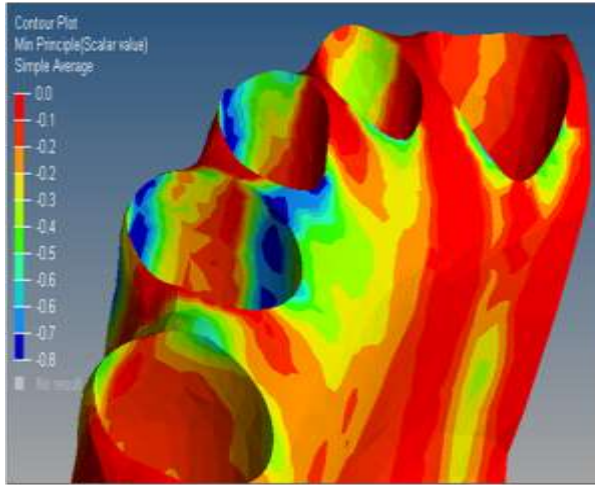
Resim 4.11. Modellerin medial görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



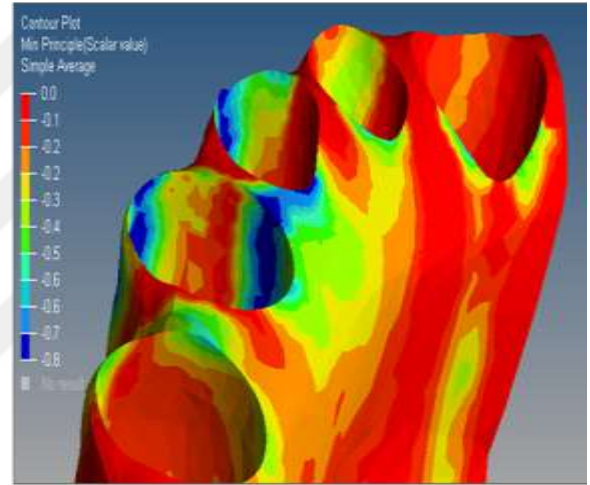
a



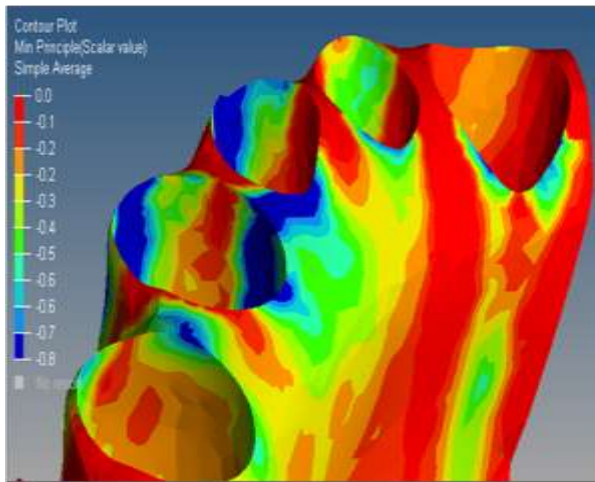
b



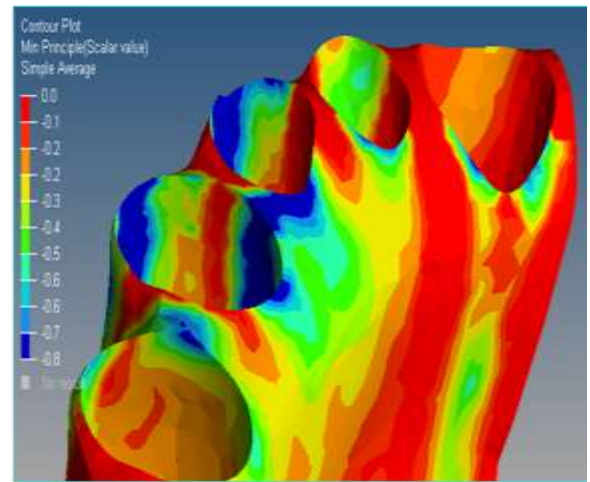
c



d

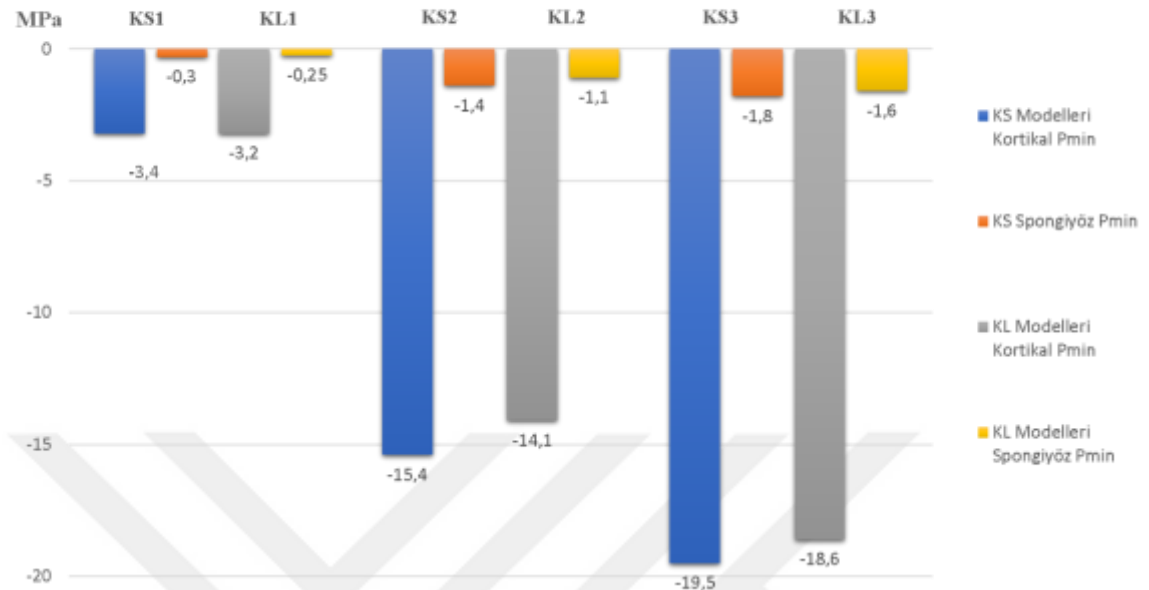


e



f

Resim 4.12. Modellerin dentoalveolar görünümünde spongiyöz kemikte Pmin stresleri
a)KL1, b)KS1, c)KL2, d)KS2, e)KL3, f)KS3



Şekil 4.2. KS1, KS2, KS3, KL1, KL2, KL3 Modellerinde spongiyöz ve kortikal kemiklerdeki Pmin değerlerinin karşılaştırılması

5.TARTIŞMA

Transversal maksiller yetersizlik, preadölesan dönemde ilk dişlenme zamanında teşhisi yapıp tedavi edilebilen transversal yönde en yaygın görülen maloklüzyondur. Maksillofasiyal yapılarda transversal yönde büyüme ve gelişim, anteroposterior ve vertikal yönde büyüme ve gelişimden daha erken yaşlarda tamamlanmaktadır. Transversal yetersizliğin teşhisi ve tedavisinin erken yaşlarda tamamlanması gerekmektedir[225]. Maksiller transversal yetersizlikler; doğuştan, travmatik, gelişimsel veya iyatrojenik nedenlerden oluşmaktadır. Maksiller transversal yetersizliğin en sık görülen gelişimsel nedeni anterior açık ve posterior çapraz kapanışla beraber ortaya çıkan uzun süreli parmak emmesi sonucu oluşmaktadır [226]. Transversal maksiller yetersizliğin düzeltilmesi bireye fonksiyonel ve estetik faydalar sağlamaktadır. Maksilla ve mandibulanın oklüzyonunun sağlanması, dişsel ve iskeletsel stabiliteye katkıda bulunmaktadır. Maksiller transversal genişletme sonrasında hastalarda artırılmış maksiller genişlik, estetik açıdan bukkal koridordaki karanlık alanıda azaltmaktadır[53, 227].

Üst çene darlığı maksillanın transversal yönde gelişim yetersizliğidir ve klinik olarak en sık posterior çapraz kapanışla birlikte görülmektedir. Görülme sıklığına bakıldığında 1969 yılında Kutin ve Hawes'in ABD'de 3-9 yaş arası 515 çocuğu dahil ettikleri çalışmalarında %7,7 oranında posterior çapraz kapanış teşhis etmişlerdir[36]. 1973'te Thilander ve diğerleri 1973 yılında, İsveç'te okul çağındaki 6398 çocuğu muayene ettikleri çalışmalarında posterior çapraz kapanış oranını %10,7 anterior açık kapanışı %3,6 olarak bildirmişlerdir[38]. Proffit ve diğerleri 1996 yılında, ortognatik cerrahi gereksinimi olan hastaların % 30'unun transversal maksiller yetersizlik gösterdiğini bildirmişlerdir[228]. Gelgör ve diğerleri 2007 yılında, Türkiye'de 12/17 yaş arası 2329 gençte(ortalama yaş 14,6) yaptıkları çalışmalarında posterior çapraz kapanışın oranı %9.5 olarak bildirmişlerdir[42]. Ferro ve diğerleri 2016 yılında İtalya'da anaokulu ve ilkokula giden 7364 çocuktan rastgele seçilen 2603 çocukta yaptıkları taramalarda posterior çapraz kapanış oranını % 3.7 olarak hesaplamışlar ve cinsiyetsel olarak anlamlı bir fark bulamadıklarını belirtmişlerdir. Buldukları oranın Avrupa ve ABD'ye göre oldukça düşük çıktığını bildirmişlerdir[40].

Literatürde bildirilen vaka çalışmaları incelendiğinde transversal maksiller yetersizlik görülme sıklığı kıtalara göre farklılıklar gösterse de küçümsenecek kadar düşük oranlarda değildir. Sık görülen bir maloklüzyon olduğu için tedavisinde günümüze kadar birçok farklı

tedavi yöntemi kullanılmıştır. Bu deformite genellikle cerrahi ve cerrahi desteksiz ortodontik tedaviler ile düzeltilebilmektedir. Cerrahi desteksiz seçenekler arasında yavaş genişletme yapan ortodontik apareyler ve hızlı maksiller genişletici ortodontik apareyler kullanılmaktadır. Transversal maksiller yetersizlikte büyüme gelişim çağını tamamlamış hastalarda ortodontik apareyler ile gerçekleştirilen tedaviler tek başına yeterli olmamakta ve genellikle cerrahi destekli müdahaleler gerekmektedir. Çalışmamızda öngörülebilir ve stabil sonuçlar elde etmek için kortikotomili ya da kortikotomisiz en iyi tedavi seçeneğini bulmayı amaçladık.

Transversal maksiller yetersizliği düzeltmek için ilk ortodontik maksiller genişletme vakası, 1860 yılında 14 yaşındaki bir kız çocuğunda bukkalde lokalize bir kanin dişine yer yaratmak amacıyla bir damak vidası kullanan Angell tarafından uygulanmıştır[14]. 1960 yılında Haas, 18 yaşından sonra, midpalatal sütür ossifikasyonunun tamamlanması nedeniyle distraksiyon kuvvetleriyle midpalatal süturu açmanın başarısız olacağını bildirmiştir. İlerleyen yaşlarda, cerrahi desteksiz ortodontik apareylerle genişletme; maksillofasiyal komplekste şiddetli ağrıya, süturların ossifikasyonu nedeniyle cihazın etkinleşmemesine, dişlerde devrilme ve ekstrüzyona, alveolar kemiğin bükülmesine, apareyin altında kalan damak dokusunda basınç nekrozu oluşmasına neden olmaktadır. Bu yöntemle elde edilen genişletmenin daha sonra % 30 ile % 50 kadarı relaps nedeniyle kaybedilmektedir[229]. Isaacson ve diğerleri 1964 yılında yaptıkları bir çalışmada, ilerleyen yaşla beraber midpalatal sütür ve maksillanın komşuluğundaki pterygopalatin, zigomatikomaksiller, nazomaksiller ve frontomaksiller süturların cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici uygulanan ortodontik apareyle mobilize olmakta yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında 5 damak yarığı olan maksiller transversal yetersizliği olan hastada hızlı maksiller genişletme apareyi kullanmışlardır. Çalışmalarındaki hastalardan 22 yaşındaki bir erkekte maksillada transversal yönde genişleme meydana gelmediğini bildirmişler. Orta hatta yarık damakta midpalatal süturun büyük bir kısmının bulunmadığı durumda bile genişletme elde edemeyişlerinin sebebinin midpalatal süturun ossifikasyonunun dışında farklı direnç alanlarının olabileceğini belirtmişler[230]. Timms ve diğerleri 1981 yılında midpalatal süturun ossifikasyonu ile ilgili histolojik çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında yaptıkları 9 hastanın analizine dayanarak maksiller darlığı olan 25 yaşından küçük hastalarda cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici apareyle tedavi edilebileceğini bildirmişlerdir[115].

Günümüze kadar bildirilen çalışmalar incelendiğinde ilerleyen yaşlarda cerrahi destekli ya da cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme tedavilerinde hangi tedavi yönteminin seçileceğine dair yeterli bilgi bulunmamaktadır. Biz de transversal maksiller yetersizliğin tedavisinde kullanılan cerrahi destekli ya da desteksiz hızlı maksiller genişletici aperey ile maksillofasiyal komplekste oluşan stresleri 3B SEA değerlendirerek en güvenilir yöntemi bulmayı amaçladık. Yapmış olduğumuz çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme yaptığımız modellerde daha az Pmax ve Pmin stresleri oluştuğunu bulduk. Kortikotomisiz yapılan hızlı maksiller genişletme modellerinde maksillofasiyal komplekste; maksiller sinüs, processus frontalis, facies orbitalis, processus zygomaticus, incisura nazalis bölgelerine yayılan geniş stres alanları tespit ettik.

Persson ve diğerleri 1977 yılında, midpalatal süturun ossifikasyonunu incelemek için 15/35 yaş arası 24 kadavra üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, midpalatal süturların ossifikasyonunun genel anlamda yaklaşık aynı yaşta başladığı, ancak kraniyal süturların ossifikasyonu gibi aynı hızla ilerlemediği bildirmişlerdir. Bireyler arası büyük farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarındaki deneklerin %17'sinde ossifikasyon tespit etmişlerdir. Ossifikasyon izlenmeyen en yaşlı kadavra 27 yaşında ve en erken ossifikasyon ise 15 yaşındaki kadvrada gözlemlemişler. Ayrıca midpalatal süturun ossifikasyonunun ilk olarak posterior bölgeden başladığını bildirmişlerdir[68]. Wehrbein ve diğerleri 2001 yılında yaşları 18-38 arasında olan 10 genç erişkinde yaptıkları midpalatal süturun radyolojik ve histolojik değerlendirmesinde, sütur morfolojisi ve ortalama sütur genişliği karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçları önceki yapılan çalışmalar ile benzer olacak şekilde yaş grupları arasında farklılıklar olmadığını göstermiştir[231]. Knaup ve diğerleri 2004 yılında, midpalatal sütur bölgesindeki ortalama sütur genişliğini ve kemikleşmiş doku oranını kadvralar üzerinde incelemişlerdir. Yaşa bağlı morfolojik farklılıkları kaydettikleri farklı yaşlardan (18-63 yaş) 22 kadavra çalışması yapmışlardır. Midpalatal süturun ön, orta ve arka bölgelerinden 3 farklı noktadan aldıkları parçaları histolojik olarak incelemişlerdir. Histolojik incelemelerin sonuçlarına göre; midpalatal süturdaki en erken ossifikasyon 21 yaşındaki bir kadvrada, ossifikasyonunu tamamlamamış en yaşlı midpalatal süturunda 54 yaşındaki kadvrada olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda genç grupta (≤ 25 yaş) sütur genişliği $211.20 \mu\text{m}$ iken yaşlı grupta (≥ 26 yaş) $161.16 \mu\text{m}$ olarak ölçmüşlerdir. En önemli bulgular arasında tüm hastalarda histolojik inceleme yaptıkları bölgelerde ossifikasyon değerlerinin çok düşük olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada % 15'ten fazla ossifikasyona sahip tek bir sütur bölgesi görülmemiştir. 63 yaşına kadar olan

yaşlı kişilerde ortalama ossifikasyon sadece % 3.11 görülmüştür. Araştırmacılar yaş grupları arasında ossifikasyon parametresi açısından önemli bir farklılık olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, araştırmacılar genç yaş grubundaki bireylerin (≤ 25 yaş) % 100'ünde cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme apareyleri ile yapılan genişletmenin başarılı olması gerektiğini bildirmişler. Aynı zamanda daha büyük yaş grubunun (≥ 26 yaş) % 77,3'ünde, ossifikasyon derecesinin en belirgin olduğu bölgede (posterior) % 5'in altında bulunmuş ve cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme apareyleri ile bu yaş grubundaki bireylerde de başarılı olması gerektiği sonucuna varmışlardır[232]. Yapılan bu çalışmalara rağmen, araştırmacıların klinik deneyimleri, ilerleyen yaşta, midpalatal süturdaki ossifikasyon miktarı az olsada cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletmenin genellikle zor olduğunu göstermektedir[67, 103, 230, 233].

Biz de yapmış olduğumuz çalışmada 19 yaşındaki yetişkin bir hastanın KIBT verilerini kullanarak 3B SEA modeli oluşturduk. Kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme yaptığımız modelde kortikotomi destekli modele göre transversal yönde deplasman miktarı arttıkça daha fazla stres alanları elde ettik. Pmax ve Pmin streslerinin yüksek çıkmasının ilerleyen yaşla beraber maksiller süturların ossifikasyonları ile maksiller kemiğin sertliğinin artmasının ayrılmaya karşı direnç alanları oluşturmamasından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Brown 1938 yılında yaptığı bir çalışmada, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda midpalatal süturun osteotomisinin yapılmasının genişletmeye yardımcı olacağını bildirmiştir[234]. Köle 1959 yılında, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda ortodontik tedaviyi kolaylaştırmak ve hızlandırmak için çeşitli kortikotomi tekniklerini açıklamıştır. Lateral maksiller osteotomilerle beraber transpalatal bir genişletme cihazı 8 hafta boyunca başarıyla uygulamıştır. Ortodonti alanındaki gelişmelere rağmen çok sayıda yetişkin (16 yaş üzeri) hastada cerrahi desteksiz tedavinin mümkün olmadığını belirtmiştir. Maksiller kortikotomi yapıldığında kortikal tabakadaki direnç kırılacağı için dişlerin daha kolay hareket edeceğini ifade etmişlerdir. Kortikotomi desteki yapılan hızlı maksiller genişletmelerde tedavi sürelerinin ve relapsların azaldığını belirtmiştir.[235]. Converse ve diğerleri 1969 yılında, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmelerde 3 farklı osteotomi tekniğini anlatmışlardır. Bu osteotomi teknikleri; kemik gövdesinin tüm kalınlığı boyunca yapılan osteotomi, sadece dentoalveolar bölümü içeren osteotomi ve kortikal osteotomilerdir. Kortikal osteotomi dişlerin apeksleri üzerinden kemiğin korteksinden yapıldığı için, kemiğin ortodontik kuvvetlere karşı direncini zayıflatarak dentoalveolar

segmentin daha hızlı yer değiştirmesine olanak sağladığını belirtmişlerdir[236]. Steinhäuser 1972 yılında, maksiller ark formu ve maksiller transversal yetersizliğin düzeltilmesinde maksillaya segmental cerrahi yaklaşımın kullanımını önermişlerdir. Anterior maksiller osteotominin ve maksiller genişletmenin önceki tanımlamalarından farklı olarak, operasyon sırasında ön veya total maksiller segmentlerde midpalatal osteotomi kullanmışlardır[237]. MacIntosh 1974 yılında, transversal maksiller yetersizliği olan hastada midpalatal osteotomi ile birlikte hızlı maksiller genişletici apleyle tedavi gerçekleştirmiştir [238].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde maksiller segmentin mobilizasyonu için farklı osteotomi teknikleri anlatılmıştır. Günümüzde transversal maksiller yetersizliğin tedavisinde ortodontik aplelerin kullanılmasıyla genişletme elde edilemediği durumlarda hastaların tedavilerinin yarıda bırakılması söz konusu değildir. Maksillofasiyal bölgenin anatomisine yetkin olarak komplikasyon sınırlarını bildiğimiz durumlarda kullandığımız osteotomi tekniklerinin hepsi güvenlidir. Biz de yapmış olduğumuz çalışmada dişlere ve maksillofasiyal bölgede bulunan damar sinir paketlerine güvenli bir şekilde yaklaşmak için en az komplikasyon yaşayacağımız lateral osteotomi tekniğiyle modelleme yaptık. Yapmış olduğumuz kortikotomi destekli modellerde klinik olarak cerrahi sahada uyguladığımız gibi dişlerin apekslerinin 5-7 mm süperiorundan geçecek şekilde osteotomi hattını oluşturduk. Çalışmamız sonuçlarını incelediğimizde, kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uyguladığımız modellerde oluşan stresler lateral osteotomi tekniğinin güvenli sınırlar içinde yer aldığını göstermiştir.

Haas 1970 yılında yayınladığı çalışmada, hızlı maksiller genişletme sırasında maksillanın aşağı ve ileri hareketinin maksillofasiyal suturelardan kaynaklandığını belirtmiştir. Hızlı maksiller genişletme apleyi ile tedavi edilen hastalarının yarısının zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal suture bölgelerinde basınç hissettiğini belirtmiştir. Transversal yönde deplasman sırasında, üst çenenin paralel şekilde değil devrilme şeklinde ayrılmasının nedeninin zigomatikomaksiller suturedan kaynaklandığını söylemiştir[229]. Lines 1975 yılında, 3 hastada palatal ve lateral osteotomileri kombine bir şekilde aynı operasyonda uygulamıştır. Yetişkin hastalarda genişlemeye karşı birincil direnç noktasının zigomatik suturelar olduğunu belirtmiştir[239]. Kennedy ve diğerleri 1976 yılında, maymunlar üzerinde yaptıkları çalışmalarında, genişlemeye karşı en büyük direncin zigomatikomaksiller suture bölgesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aynı çalışma sonuçlarına göre,

pterygomaksiller sütur ikinci bir direnç bölgesi olarak araştırmacılar tarafından bildirilmiştir[240].

Bizim de çalışmamızın modellerinde transversal yönde deplasman miktarı arttıkça hem kortikotomi destekli hem de kortikotomi desteksiz modellerimizde; zigomatikomaksiller, pterygopalatin ve frontomaksiller sütur bölgelerinde stresler oluştuğu grlmştır. Kortikotomi destekli modellerde bu bölgelerde oluşan stresler daha lokal alanda ve daha düşük değerlerde bulunmuştur. Kortikotomisiz modellerde bu sütur bölgeleri ve çevresinde daha geniş alanlara lokalize şekilde stresler oluşmuş ve stres değerleri kortikotomili modellere göre daha fazla olarak tespit edilmiştir. Bulmuş olduğumuz sonuçlar literatür bilgilerini doğrular nitelikte olup kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme yapıldığında maksillofasiyal komplekste oluşan stresler ve istenmeyen yan etkilerin azaldığı tespit edilmiştir. Kortikotomi destekli ve desteksiz tüm modellerde maksiller keser diş bölgeleri Pmax streslerinin en fazla bulunduğu yerler olmuştur. Bunun sebebinin transversal yönde uygulanan deplasmanla maksillanın açılması sırasında posteriora doğru rotasyon yapmaya çalıştığını düşünmekteyiz.

Merrill ve diğerleri 1976 yılında, interdental osteotomi yaptıkları 65 hastada sadece 4 hastada periodontal kemik kaybı yaşadıklarını belirtmişler. Araştırmacılar bzu 4 hastada da görülen kemik kaybında birbirine yakın konumlanan diş köklerinden kaynaklanmış olduğunu açıklamışlardır[241]. Dorfman ve diğerleri 1979 yılında, maksiller ve mandibular segmental osteotomileri takiben kemik krestal değişikliklerini değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. 22 osteotomi bölgesi olan 10 hasta ameliyattan önce ve 6 ay sonra değerlendirilmiştir. Parametre olarak plak, dişeti indeksleri ile birlikte periodontal sond ölçümleri kullanılmıştır. Osteotomi hattında birbirine yakın dişleri bulunan 2 hasta dışında, araştırma süresi boyunca hiçbir hastada önemli kemik krestal seviyesi değişiklikleri görülmemiştir. İnterdental osteotomilerin interproksimal kemik ykseklıği üzerinde olumsuz etkileri olmadığı sonucuna varmışlardır[242]. Schultes ve diğerleri 1998 yılında ortognatik cerrahide interdental osteotomilerle ilişkili periodontal hastalık açısından çalışma yapmışlardır. alışmaları sonuçlarına göre osteotomi bölgelerine yakın dişlerde meydana gelen % 15.3 kemik rezorpsiyonunun osteotominin neden olduğu periodonsiyum travmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir[243].

Osteotomilerin başarısı, mobilize segmentlerin kanlanmasıyla bağlıdır. Mobilize segmentin endosteal kan ile beslenmesi, osteotomi sırasında engellenmektedir. Mobilize segmentin canlılığı osteotomi sonrası yalnızca periosteal kan akışına bağlıdır. Bu yüzden yapmış olduğumuz cerrahi operasyonun başarısı için periodontal dokuların korunması önem arz etmektedir. Çalışmamız modellerinde kullandığımız lateral osteotomi tekniği ve klinik uygulamada flep tasarımı sayesinde periodontal olarak güvenlidir. Lateral osteotominin klinik uygulamasında kullanılan flep dizaynında mukogingival birleşimin 5-7 mm süperiorunda kalacak şekilde kanin dişi ile 1. büyük azı dişi arasında kalan horizontal bir kesi yapılmaktadır. Bu teknikle periodontal dokular zarar görmemektedir. Ayrıca operasyon sonrası dentoosseöz yapıların beslenmesini engellenmeyerek sağlıklı bir iyileşme görülmektedir.

Glassman ve diğerleri 1984 yılında, maksiller transversal yetersizliklerin tedavisinde 16 hastada pterygomaksiller ve midpalatal osteotomi kullanmadan sadece lateral maksiller osteotomi ile birlikte bir hyrax genişletme aпараты kullanmışlardır. Tedavi sonrası hastaları aпаратыni çıkardıktan 2 yıl sonra olmak üzere toplamda 5 yıl süreyle takip etmişlerdir. Çalışmaları sonuçlarında midpalatal ve pterygomaksiller osteotomi yapılmadan da 16 hastada istenilen başarıyı elde ettiklerini bildirmişler ve hiçbir hastada relaps oluşmamıştır[244].

Literatür incelendiğinde lateral maksiller osteotomi destekli hızlı maksiller genişletme minimum morbidite ve postoperatif komplikasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Biz de yapmış olduğumuz kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme modellerinde sadece lateral maksiller osteotomiyi simüle ettik. Klinik şartlarda lateral maksiller osteotomi tekniği hem uygulama kolaylığı hemde komplikasyonlarının düşük olması açısından güvenilirdir. Klinik olarak değerlendirildiğinde diğer osteotomi tekniklerine göre operasyon olarak daha kısa süreli bir işlem olmaktadır. Bu şekilde hastalar için genel anestezi ya da sedasyonun olası riskleri minimuma indirilip ekstra operasyon maliyeti düşürülmektedir.

Turvey 1985 yılında, segmental Le Fort I osteotomilerinin transversal maksiller yetersizliği tedavi etmek için tercih edilen cerrahi osteotomi olması gerektiğini fikrini öne sürmüştür. 3 ile 13 mm arasında değişen transversal ve sagittal yönde yetersizliği olan 104 hastanın (ortalama yaş 24.7) hepsini segmental Le Fort I osteotomisi ile başarılı bir şekilde tedavi etmiştir. Tedavi ettikleri hastaların sadece 3 tanesinde transversal maksiller yetersizliği

bulunduğu için tedavi edilmiştir diğer 101 hastada hem sagittal yönde hemde transversal yönde kombine yetersizlikleri bulunmaktadır. Le Fort I osteotomisi yaptıkları hastaları 4 ay ile 7 yıl süreyle takibini yapmışlar ve tedavinin sonuçlarının başarılı olduğunu bildirmişlerdir [245].

Sagittal ve transversal yönde yetersizliklerin aynı anda tedavi edilmesi gerektiği durumlarda Le Fort I osteotomisi güvenli bir tedavi yöntemi olmaktadır. Fakat tek başına maksiller transversal yetersizlik durumlarında lateral maksiller osteotomi Le Fort I osteotomisi olmaksızın yeterli olabilmektedir. Le Fort I osteotomisi her ne kadar başarılı bir tedavi seçeneği olsa da genel anestezi gerektirmesi, osteotomi hatlarının geniş olması, maliyetinin yüksek ve postoperatif iyileşme süresinin uzun olması gibi birçok dezavantajları içermektedir.

Transversal maksiller yetersizlikte genişletme yapmak için diş ankrajlı, iskeletsel ankrajlı veya hibrit (diş-iskeletsel ankraj) cihazlar kullanılabilmektedir[225]. Harzer ve diğerleri 2006 yılında, diş ankrajlı cihazların, transversal genişletme sırasında diş, periodontal ve kemik dokusuna gelen kuvvet nedeniyle dezavantajları bulunduğunu belirtmişler. Bu dezavantajların; dişlerde bukkale devrilme, köklerin açığa çıkması, periodontal problemler ve maksilla palatal segmentlerin dışa doğru dönmesi şeklinde olabileceğini belirtmişlerdir. İskeletsel ankrajlı genişleticilerin dişsel ankrajlı cihazların olası bu yan etkileri azaltabilen minimal invaziv etkili avantajların olduğunu söylemişlerdir. İskeletsel mini implant ankrajlı yöntemin aynı zamanda; fonasyon ve dil için daha fazla alan yarattığını, genişleme sırasında sağ ve sol maksillar segmentlerin paralel hareket ettirdiğini ve optimal oklüzyon için stabil olduğunu söylemişlerdir[246]. Landes ve diğerleri 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında, 3B dental modeller kullanarak iskeletsel ve dişsel ankrajlı hızlı maksiller genişletici uygulamaları sonucunda 20.5 ay kontrollü karşılaştırmalarında; iki grup arasında önemli bir fark bulamamışlar ancak iskeletsel ankrajlı apareylerde daha fazla transversal maksiller genişletme gerçekleştiğini bildirmişlerdir[247]. Zandi ve diğerleri 2014 yılında, Nada ve diğerleri 2012 yılında, KIBT üzerindeki 3B araştırmalarında, diş ve iskeletsel ankrajlı cihazların maksillofasiyal kompleks üzerinde benzer etkilere sahip olduğunu ve düşük komplikasyon oranları ile ilişkili olduğunu göstermiştir[248, 249]. Kayalar ve diğerleri 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda hibrit ve diş kaynaklı cihazların etkilerini KIBT verileri kullanarak karşılaştırmışlar. 20 hastadan rastgele 2 grup oluşturmuşlar ve bu hastaların hepsine 14 gün sürede toplam 7mm

genişletme uygulayıp 6 ay sonra tekrar ölçüm yapmışlardır. Çalışmaları sonuçlarına göre hibrit cihazlar, damakta mini implant yerleştirme ihtiyacı nedeniyle ek adımlar gerektirse de, daha az devrilme ve özellikle premolarlar bölgesinde daha az alveolar kemik ve diş rezorpsiyonuna neden olduğundan daha güvenli olduğunu belirtmişler[250]. Möhlhenrich ve diğeri 2017 yılında farklı ortodontik aparey çeşitlerinin maksillofasiyal kompleksteki streslerini inceleyen sonlu elemanlar analizi yöntemi çalışmalarına göre; iskeletsel ankrajlı genişleticiler, transversal maksiller eksikliklerin düzeltilmesinde daha kullanışlı olduğı belirtilmiştir[251]. Ploder ve diğeri 2021 yılında, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda kullanılan dişsel, iskeletsel ve mini implant ankrajlı ortodontik apareylerin karşılaştırmalarında nüks ve komplikasyon oranını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında 54 hastada 1 yıl sonra en çok nüks 1.44 ± 1.01 mm dişsel ankrajlı apareyde, en az 0.27 ± 1.63 mm mini implant destekli apareyde görölmüştür[252]. Hartono ve diğeri 2018 yılında dişsel ve iskeletsel ankrajlı hızlı maksiller genişleticilerin 3B SEA yöntemiyle stres dağılımları incelemişlerdir. Mini implant destekli hızlı maksiller genişleticiler ile yapılan modellerde 1.molar ve 1. premolar dişin palatinal alveolar kemiğinde, palatinal süturda ve zigomatik süturda hem görsel hem de istatistiksel olarak daha az stres olduğunu belirtmişlerdir[253].

Literatürdeki dişsel ve iskeletsel ankrajlı hızlı maksiller genişletici apareylerin karşılaştırılması incelendiğinde iskeletsel ankrajlı apareylerin daha avantajlı olduğı görölmüştür. Dişlerin bukkale devrilmemesi, maksiller segmentlerin birbirine paralel genişlemesi, daha fazla maksiller genişleme ve istenmeyen kuvvetleri elimine etmesi gibi birçok avantajlarından dolayı biz de yapmış olduğumuz çalışmada iskeletsel ankrajlı mini implant destekli hyrax tip hızlı maksiller genişletici apareyle modellerimizi oluşturarak oluşan stresleri değerlendirdik.

Nada ve diğeri 2012 yılında KIBT verilerini kullanarak iskeletsel ve dişsel ankrajlı hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda randomize kontrollü çalışmaları sonuçlarına göre; kuvvetin doğrudan kemik aracılığıyla iletilmesi daha fazla iskeletsel genişleme sağladığını ve istenilmeyen diş hareketlerini önlediğini bildirmişlerdir. Yazarlar aynı zamanda her iki genişletmede anterior maksiller bölgede posteriora yer değiştirme ve yeniden şekillenme olduğunu belirtmişlerdir. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmeyi takiben maksillanın anterior alveolar bölgesindeki değişimi bildiren ilk vaka olduklarını söylemişlerdir. Anterior maksiller bölgedeki yeniden şekillenmenin sebebinin, dental ark formundaki değişikliklere

ve oluşturulan orta hat boşluğunu kapatmak için yeniden şekillenmeyle bağlantılı olduğunu bildirmişlerdir. Posterior maksiller bölgedeki ortalama yüzey değişikliklerinin genişlemeden 22 ay sonraki kontrollerinde diş kaynaklı ve iskelet kaynaklı cihazlarda benzer bulmuşlardır. [254].

Çalışmamız bulgularında kortikotomi destekli ve desteksiz tüm modellerde P_{max} ve P_{min} streslerin maximum olduğu yerler çoğunlukla maxiller anterior bölgeler olduğu görülmüştür. Kortikotomi destekli ve desteksiz modellerde anterior maksillada oluşan stresler karşılaştırıldığında kortikotomi destekli yapılan modellerde daha düşük P_{max} ve P_{min} stresleri olduğu görülmüştür. Maksillaya uygulanan deplasman sonrasında transversal yönde maksilla genişleyeceği için anterior maksillada stres odakları oluşması olasıdır.

SEA; biyolojik çalışmalarda biyomekanik analizler için önemli bir araştırma aracıdır. SEA, biyomekanik ve mekanik kuvvetlerin biyolojik sistemler üzerindeki etkisini incelemek için invaziv olmayan mükemmel bir araç olarak kabul görmüştür. Üst üste binen yapıların görselleştirilmesi yapılarak anatomik kraniyofasiyal yapıların biyomekanik davranışları incelenebilmektedir. Aynı zamanda teorik olarak ölçülebilen gerilme noktaları da atayabildiğinden; uygulanan bir kuvvetin konumunu, büyüklüğünü ve yönünü belirlemeye izin vermektedir. Ayrıca, analiz edilen materyallerin fiziksel özelliklerini etkilemediği için kolaylıkla tekrarlanabilir olması da önemli avantajları arasındadır[213, 255]. SEA yöntemi, diş hekimliğinde yerleşmiş ve önemli bir araştırma aracıdır. SEA son zamanlarda hızlı maksiller genişletmenin dişler ve maksillofasiyal kemikler üzerindeki etkilerini analiz etmek için sıklıkla kullanılmaktadır[256-258]. Wong ve diğerleri 2010 yılında SEA yöntemi yapılmış hastaları incelediklerinde SEA başarılı sonuçlarının olduğunu belirtmişler. Hayvan deneyleri açısından etik onay ihtiyacını ortadan kaldıran iyi bir alternatif tedavi yöntemi olduğunu bildirmişlerdir[259].

Çalışmamızda; in vivo çalışmalar yapmanın etik onay alma konusunda zorlukları, klinik uygulamaların olası komplikasyon riskleri, insan ve hayvan hakları, zaman, maliyet gibi birçok dezavantajından dolayı 3B SEA analizi yöntemini tercih ettik. SEA yöntemi ile oluşturulan modellerde uygulamış olduğumuz deneyler sınırsızca tekrarlanabilmekte, modeller ihtiyaca göre değiştirilebilmekte ya da yenilenebilmektedir. Günümüzde bilimsel alanda yapılan klinik ve deneysel hayvan çalışmalarının hem etik onay alma açısından hem de çalışma zorluğu açısından birçok dezavantajı bulunmaktadır. SEA yönteminin gerçeğe

yakın sonuçlar vermesi ve uygulama açısından kolaylıkları göz önünde bulundurulduğunda iyi bir çalışma yöntemi tercihi olduğu kanısındayız.

SEA yönteminin diş hekimliğinde ilk olarak kullanılmaya başladığı zamanlarda, modelleme geometrisi, yük, sınırlar ve malzeme özellikleri ile ilgili çeşitli basitleştirilmiş varsayımlar yapılmıştır. Bu tür varsayımlar kaçınılmaz olarak analitik sonuçları etkilemiştir. İnsan vücudunda, kemik kalitesi, miktarı ve şekli açısından bireysel farklılıklar bulunmaktadır. Son zamanlarda, dijital görüntüleme sistemlerinin (KIBT ve MR) ilerlemesiyle kemik, yumuşak doku geometrisi ve özellikleri gibi kişiye özel verilerin bir SEA modeline aktarılması daha kolay olmuştur. Kemik morfolojisi ve kalitesi bireyler arasında farklılık gösterdiği için bu hastaya özel biyolojik verilere dayalı SEA modeli üretilmesini sağlamıştır. Bu gelişmeler sayesinde, gerçeğe yakın anatomik modeller oluşturulabilmekte ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir[215, 260, 261]. De Vree ve diğerleri 1983 yılında yaptıkları bir çalışmada, restorasyonu yapılmış dişlerde fotoeleastik ve SEA yöntemini karşılaştırmışlar. Diş yapılarındaki stresleri belirtmek için SEA yöntemi daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir[262]. 1987 yılında İsmail ve arkadaşları blade implantlarda 2B ve 3B SEA karşılaştırdıkları çalışmalarında 3B model oluşturma süreci ve maliyet açısından dezavantajı olsa da sonuçların güvenilirliği açısından avantajlı olduğunu belirtmişlerdir[263]. İplikçioğlu ve diğerleri 2003 yılında bir implant üzerinde doğrusal olmayan SEA ile in vitro gerinim ölçer analizini karşılaştırdıkları çalışmalarında her iki yöntemde vertikal yönde uygulanan kuvvetler sonrasında oluşan streslerin benzer uyum göstermiş olsada horizontal yönde uygulanan kuvvetlerde sonlu elemanlar analizi yöntemi daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir[264]. Şimşek ve diğerleri 2006 yılında mandibulada yerleştirilen kemik içi implantların etrafında oluşan stresleri inceledikleri 3B SEA çalışmalarında kullandıkları modellerde kompleks olan mandibular kemiği ve implant tasarımlarını ve malzemelerin mekanik özelliklerini aktararak simüle etmişlerdir[265]. Lee ve diğerleri 2009 yılında, 3B SEA'nin karmaşık kraniyofasiyal yapıları analiz etmek için geçerli bir yöntem olduğunu bildirmişler. SEA yönteminin, klinik ortodontik kuvvetlerin simülasyonunda biyomekanik değişkenlerin 3B şekilde incelenmesinde kolaylık sağladığını belirtmişlerdir[257]. Szwedowski ve diğerleri 2010 yılında, kraniyofasiyal yapıların biyomekanik davranışlarını tam olarak açıklamak için SEA yöntemini kadavra modellerini kullanarak karşılaştırmışlar. Kadavralar üzerinde kemiğin yapısını ve kasların karakterizasyonunu bilgisayar ortamında SEA modeline aktararak doğru bir model oluşturmuşlardır. Oluşturdıkları modelin gerinim ölçer testleriyle uyumlu olduğunu

belirtmişler. SEA yönteminin daha fazla klinik değerlendirme ile desteklenmesi gerektiğini bildirmişlerdir[266]. SEA yöntemi ile gerçeğe yakın modeller elde edilsede belirli sınırları bulunmaktadır. SEA klinik durumların olduğu gibi aktarılmasının mümkün olmadığı in vitro çalışmalardır. Oluşturulan modellerde testi yapılacak malzemenin biyomekanik özelliklerine göre ağ yapısı oluşturulmaktadır. Gerilme analizi genellikle statik yük altında yapılmakta ve malzemelerin mekanik özellikleri, gerçekte böyle olmasa da izotropik ve doğrusal olarak elastik olarak belirlenebilmektedir. Bilgisayar ortamına malzemenin biyomekanik davranışları tam olarak aktarılmadığında yanlış sonuçlar elde edilebilmektedir[267].

Biz de hızlı maksiller genişletmede kortikotomi destekli ve kortikotomi desteksiz modellere deplasman uygulanınca oluşan stresleri incelemek için 3B SEA yöntemi kullanarak 6 adet model oluşturduk. Stres analizi yöntemleri arasında hem iskeletsel hemde dişsel yapıların deplasmanında daha doğru sonuçlar elde etmek için diğer yöntemlere göre avantajı olan 3B SEA yöntemini seçtik. Oluşturduğumuz modellerde maksillanın biyomekanik özelliklerini mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir şekilde yansıtip, sınır koşullarını koruyarak doğru sonuçlar elde etmeyi amaçladık.

Doblere ve diğerleri 2004 yılında, gerçeğe yakın SEA modellemesinde, KIBT görüntüsü verilerinin kortikal ve spongiyöz kemikten oluşan model geometrisi için gerektiğini belirtmişler. Kemiğin mekanik özelliklerin heterojen dağılımını modellemek için farklı uygulamalar kullanılarak değerlendirme yapmışlardır. Araştırmacılar kemiğin tüm anizotropik yapısını güncel tekniklerle ölçmenin mümkün olmadığından genellikle modellerin izotropik davranışı dikkate alınarak oluşturulduğunu söylemişlerdir[268]. Han ve diğerleri 2009 yılında, plastik bir kafatası modelini 3B bir tarayıcı kullanarak taratıp SEA modeli oluşturmuşlar cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme sonrası; stres ve yer değiştirmeye bakmışlardır[256]. Lee ve diğerleri 2014 yılında 3B SEA yöntemini kullanarak oluşturdukları modellerde cerrahi destekli ya da cerrahi desteksiz iskeletsel ankrajlı hızlı maksiller genişletici uyguladıkları çalışmalarında, kadavra kafatasını taratıp model olarak kullanmışlar ve kraniyofasiyal yapılar üzerinde oluşan stresi incelemişlerdir[90]. Han ve Lee'nin yapmış oldukları çalışmalarda kemik bir birim olarak incelenip dişler, alveolar kemik, periodontal dokular homojen ve izotropik kabul edilmiştir[90, 256]. Möhlhenrich ve diğerleri 2017 yılında bir insan kafatasının bilgisayarlı tomografi verileriyle 6 adet farklı cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme tekniği uygulamaları için SEA yöntemini simüle ederek maksillofasiyal bölgedeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar 3B SEA modeli

hazırlarken kortikal ve spongiyöz kemiği ayrı ayrı segmentlere ayırarak değerlendirmişlerdir. Bu SEA modelindeki kortikal ve spongiyöz kemik yapılarının daha hassas görüntülenmesine izin vermiş ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etmelerini sağlamıştır[251].

Bizim de yaptığımız çalışmada kullandığımız model önceki çalışmalarda kullanılan modellerden daha geçerli ve güvenilir bilgi vermek açısından üniversitemize başvuran bir hastanın tomografi verileri taranarak elde edilmiştir. Her bir nod için ayrı kemik değişkenleri hesapladığımız çok sayıda element kullandık. Çalışmamızda simülasyonu yaptığımız maksiller kemik dokusu homojen ve izotropik kabul edilmiştir. Modellerimizde maksilla kortikal ve spongiyöz kemik için poisson ve young oranları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Gelecekte maksillofasiyal yapının tam reaksiyonunu değerlendirmek için SEA yöntemiyle yapılan modellerde yumuşak dokuların ve kasların kuvvet döngülerinin modele aktarılmasının güvenilir sonuçlar elde etme açısından önemli olacağını düşünmekteyiz.

Sato ve diğerleri 1999 yılında, implant biyomekaniğinde kemik trabeküllerinin 3B SEA modeli üzerindeki çalışmalarında SEA modelinin doğruluğu eleman boyutunun küçültülmesiyle orantılı olduğunu belirtmişlerdir. Eleman boyutunun küçülmesiyle nod ve eleman sayılarının artacağını belirtmişlerdir. Eleman boyutunun küçültülmesinin dezavantajı olarak bilgisayar belleği ve hesaplama süresini uzayabileceğini söylemişlerdir [269]. Değerliyurt ve diğerleri 2010 yılında, tasarımları farklı implantların peri-implant bölgelerinde stres dağılımını 3B SEA yöntemiyle incelemişler. Modeldeki stres ve yer değiştirmelerin modeli oluşturan düğüm noktalarıyla birbirlerine bağlandığını belirtmişlerdir. 3B SEA yönteminin doğruluğu, matematiksel modeldeki düğüm ve eleman sayılarının sayısı ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir[221, 270].

Çalışmamızda kullandığımız 3B SEA modellerinde stresleri gerçeğe daha yakın elde edebilmek için en düşük eleman sayısı 280754 ve en düşük düğüm sayısı 58353 olarak uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarının doğruluğu ile modellerin doğruluğu orantılı olmaktadır. Eleman boyutlarını küçültülerek daha gerçekçi sonuçlar almayı amaçladık.

Literatür bilgileri incelendiğinde yetişkinlerde cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletmenin başarılı olabileceği konusunda net bir fikir birliği yoktur[89, 96, 271, 272]. Genel olarak bu konuda araştırmacılar, yetişkin hastalarda bu tür genişletmenin artık

mümkün olmadığını ve cerrahi olarak osteotomilerle desteklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir[21, 273-275]. Handelman 1997 yılında yetişkin 5 hastada cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici aparey ile yaptığı çalışmalarında başarılı sonuçlar aldığını bildirerek cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletmeyi savunmuştur[271]. Northway ve diğerleri 1997 yılında, 37 hastaya bukkal kortikotomi yaparak hızlı maksiller genişletme ve kontrol grubu için 5 hastaya cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulamışlardır. Hastalardan tedavi öncesi, tedavi sırasında ve tedavi sonrasında ölçü alarak dental modeller elde etmişler. Çalışmaları sonuçlarına göre yetişkinlerde cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda tedavi sonuçlarının kabul edilebilir ve stabil olduğunu gözlemlemişler. Ayrıca maksiller darlığın düzeltildiğini, dişlerde devrilmenin stabil ve kontrollü olduğunu belirtmişlerdir[276]. Garrett ve diğerleri 2008 yılında, 30 hastanın (ortalama yaş 13.8) KIBT verilerini inceleyerek cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici aparey (Hyrax tip) sonrası oluşan iskeletsel genişleme ve dişsel devrilmeleri değerlendirmişler. Çalışmalarının sonuçlarında KIBT'nin hızlı maksiller genişletme tedavisi sonrası maksillofasiyal yapılardaki değişiklikleri göstermekte etkili bir görüntüleme yöntemi olduğunu belirtmişler. Tedavi sonrasında hastalarda anterior maksillada midpalatal suture genişlemesi olduğunu tespit etmişler. Transversal yönde iskeletsel genişleme anterior maksilladan posteriora doğru azalmış ve dişsel genişlemelerde ise anteriordan posteriora doğru artmış olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda yazarlar bu çalışma sonucunda burun tabanında istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğunu belirterek bu artışın burun solunumunu rahatlatacağını belirtmişlerdir[277]. Kartalian ve diğerleri 2010 yılında yayınladıkları çalışmalarında, cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici (Hyrax tip) uygulanan 25 transversal maksiller yetersizliği bulunan hasta ve 25 kontrol grubunu (ortalama yaş 12,8) tedavi öncesi ve sonrası (ortalama 17,9 ay) KIBT ile kontrol etmişlerdir. Cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici uyguladıkları hastalarda tedavi sonrası ortalama burun tabanında 2,08 mm, sert damakta 2,25 mm, diş seviyesinde ise 5,4 mm'lik genişleme elde etmişlerdir. Maksilla tabanı ve alveolar genişleme tedavi sonrası hasta grubunda kontrol grubundan ortalama 2,5 mm daha fazla bulunmuştur[278].

Biz de yapmış olduğumuz çalışmada yetişkin bir hasta KIBT görüntülerinden elde ettiğimiz modellerde kortikotomi destekli ya da kortikotomi desteksiz yapılan hızlı maksiller genişletme için 1,5,7 mm olacak şekilde 3 farklı deplasman uygulaması sonrası maksillofasiyal komplekste oluşan stresleri inceledik. Kortikotomi destekli yaptığımız modellerde sadece lateral osteotomi kullandık. Kortikotomi destekli hızlı maksiller

genişletme yaptığımız modellerde deplasman miktarı artmasıyla Pmax ve Pmin streslerinin arttığını fakat kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uyguladığımız modellerde daha fazla Pmax ve Pmin stresleri gözlemledik. Ayrıca kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletici uyguladığımız modellerdeki stres alanları yoğunluğu kortikotomi desteksiz hızlı maksiller genişletme uyguladığımız modellere göre daha dar alanlarda gözlemlenmiştir. Çalışmamızın sonuçlarının mevcut literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Latham 1971 yılında embriyonik yaşamda 6. haftadan 15. yıla kadar değişen 28 örnekle histolojik incelemelere dayanarak midpalatal süturun premaksiller ve maksiller kısımlarının ilk oluşumunu ve sonraki gelişimini araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda süturun gelişimsel yapılarını, üç faklı büyüme paterni ile ilişkilendirmiştir. İlk olarak fetal yaşamda 16 haftaya kadar başlangıçta tamamen sütünal tipte bir büyüme, sütur büyümesinin 16 haftasından yaklaşık 1-2 yaşına kadar tüm damağın yeniden şekillenmesi ile birlikte sütur büyümesi ve son olarak sütur büyümesi olmaksızın devam eden palatal yeniden şekillenme şeklinde olduğunu belirtmiştir[279]. Guyen ve diğerleri 2007 yılında, 43 kadın, 57 erkek olmak üzere 100 hastada ortalama yaş 43,68 KIBT kesitlerini inceledikleri çalışmalarının sonuçlarına göre midpalatal sütur sadece % 13'ünde tamamen ossifikasyonunu tamamlamış olduğunu bulmuşlar[280]. Guyen ve diğerleri 2008 yılında, 70 yaş üzeri 20 tane insan kadavrasında (11 erkek, 9 kadın) yaşlılarda midpalatal süturun radyolojik ve histolojik incelemelerine dayalı çalışmalarında, midpalatal süturun anterior üçte birlik kısmının ossifiye posterior üçte birlik kısmında hyalin dejenarasyonuna bağlı bağ dokusundan oluştuğunu tespit etmişlerdir[281]. Mir ve diğerleri 2016 yılında 49 yaşında erkek ve 54 yaşında kadın hastanın KIBT incelemeleri sonrasında anterior ve orta üçte birlik kısımlarında midpalatal süturun ossifikasyonunu tamamlamadığını posteior üçte birlik kısımda ossifikasyonun gerçekteğini gözlemlemişlerdir[282]. Bu tür çalışmalar, midpalatal süturun, kendisine uygulanan sabit mekanik çiğneme kuvvetleri nedeniyle tam ossifikasyona ulaşamayan tek kranial sütur olabileceği teorisini desteklemektedir[280-282].

Literatür bilgileri incelendiğinde midpalatal süturun ossifikasyonunun tam olarak ne zaman gerçekteğine dair bir fikir birliği sağlanmamıştır. Midpalatal süturun geniş yaş aralıklarında farklı ossifikasyonlar göstermekte olduğu görülmüştür. Biz de çalışmamızda kortikotomi desteki hızlı maksiller genişletici uyguladığımız 3B SEA modellerinde, sadece lateral ostetomi uyguladık. Çalışmamızın verileri lateral osteotomi uygulandığında

maksillofasiyal komplekste oluşan stresler değerlendirildiğinde transversal maksiller yetersizliğin tedavisinde cerrahi desteksiz modellere göre başarılı olabileceğini gösterdi.

Garib ve diğerleri 2006 yılında cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici uyguladıklarında tedavi sonrası periodontal etkilerini araştırdıkları çalışmalarında dişsel ankraj alan apareylerde bukkal alveolar kemiklerde rezorpsiyonlar tespit etmişlerdir[63]. Mekanik kuvvetler, mini implantlar tarafından damağa dağıtıldıkça, dişler ve destekleyici yapılar üzerindeki gerilim azalmakta bu da dişeti çekilmesi ve bukkal kemik kaybı gibi yan etkileri azaltabilmektedir[63, 283]. MacGinnis ve diğerleri 2014 yılında cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici ve mini implant destekli hızlı maksiller genişleticileri karşılaştırdıkları SEA yöntemiyle stres dağılımını incelemişlerdir. Çalışmaları sonuçlarına göre cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletici apareyle oluşan stres dağılımı zigomatikomaksiller, nazomaksiller ve pterygomaksiller bölgede mini implant destekli hızlı maksiller genişletici kullanılanlara göre daha yüksek oranda olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar mini implant destekli hızlı maksiller genişleticilerin ossifikasyonunu tamamlamış süturlarda da etkili bir yöntem olacağını belirtmişlerdir[283]. Lin ve diğerleri 2015 yılında 28 hasta üzerinde (ortalama yaş 18,1) cerrahi desteksiz mini implant destekli ve hızlı maksiller genişleticilerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Mini implant destekli hızlı maksiller genişleticilerin iskeletsel ankrajlı olduklarından daha fazla transversal yönde genişletme sağladıklarını ve daha az alveolar bükülme, dişlerde devrilme, vertikal alveolar kemik kaybının görüldüğünü belirtmişlerdir[94]. Choi ve diğerleri 2016 yılında 69 yetişkin hastada (ortalama yaşları 20,9) mini implant destekli hızlı maksiller genişletici ile başarılı bir şekilde tedavi ettiklerini bildirmişler[96]. Mini implant destekli hızlı maksiller genişletme etkisi temelde ortopediktir, çünkü kuvvetler doğrudan kemiğe uygulanmaktadır. Cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletmede, ortodontik etkiler (bukkal devrilme) nedeniyle tedavi sonrası genellikle relaps görülebilmektedir[277, 284]. Brunetto ve diğerleri 2017 yılında yayınladıkları vaka raporunda cerrahi desteksiz mini implant destekli hızlı maksiller genişletici (Hyrax tip) uyguladıkları 22,5 yaşındaki yetişkin kadın hastada iskeletsel genişleme elde ettiklerini bildirmişlerdir[106].

Literatür incelendiğinde mini implant destekli cihazların iskeletsel ankrajlarından dolayı cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişleticelerde görülen; dişlerde devrilme, bukkal kemikte rezorpsiyon ve genişletmede yetersizlik gibi durumlarda başarılı olduğu görüşmüştür. Aynı zamanda yayınlanan çalışmalara göre yetişkin hastalarda da cerrahi desteksiz uygulanan

mini implant destekli hızlı maksiller genişletmenin kabul edilebilir stabil sonuçlar verdiğini bildirilmiştir. Ancak literatürde bildirilen vakalardaki hastaların yaşları ileri yaşlarda olmadığı görülmüştür. İlerleyen yaşlardada uygulanarak daha fazla çalışma ile desteklenmesinin tedavi protokolü olarak seçilmesinde daha doğru olacağı kanısındayız.

Carvalho ve diğerleri 2020 yılında cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda işlem sırasında ya da sonrasında komplikasyonları içeren sistematik derleme yapmışlardır. Oluşan komplikasyonlar; periodontal dişeti problemleri, operasyon sırasında ve sonrasında hemoraji, diş köklerinde rezorpsiyonlar, dişlerde vitalite kaybı, sinir hasarları, sinüzit, orbital ve nazal problemler, işitme kayıpları, diş kayıpları, asimetrik genişleme ya da yetersiz genişleme, palatinal dokularda ülserasyon ve nekroz gibi durumlar görüldüğünü belirtmişlerdir[157]. Verlinden ve diğerleri 2011 yılında kortikotomi destekli hızlı maksiller genişletme uyguladıkları hastalarda yaptıkları çalışmada 73 hastada (27 erkek 46 kadın) 5 tanesinde asimetrik genişleme gerçekleşmiş ve tekrar ek bir cerrahi prosedür uygulamışlardır. Hızlı maksiller genişletici aparey olarak transpalatal distraksiyon osteogenezisi kullanmışlardır[285]. 2012 yılında Williams ve diğerleri 2012 yılında, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yapılan hastalarda oluşan komplikasyonları inceledikleri retrospektif kohort çalışmalarında; çalışmaya dahil edilen 120 hastada % 13,3 oranda yetersiz ve asimetrik genişleme görülmüş. Bu hastaların % 37,5'i ekstra cerrahi işlem yapılmaksızın kendiliğinden düzelmiş 10 hastada sadece maksiller segmental osteotomi gerekmiştir[148]. Pereira ve diğerleri 2018 yılında, bilateral çapraz kapanışı olan 90 hastada (ortalama yaş 26.1) Le fort 1 ve pterygomaksiller osteotomi içeren hızlı maksiller genişletici uyguladıkları çalışmalarında 16 hastada (% 17.8) asimetrik olarak genişleme geliştiğini bildirmişlerdir. Tüm hastalarda minimum transversal maksiller yetersizlik 5mm olarak belirtilmiştir. Yazarlar asimetrik genişlemenin genişletme miktarı artmasıyla ortaya çıktığını belirtmişlerdir[286].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede asimetrik genişleme majör komplikasyonlar olsa da düşük riskli bir prosedür olduğu sonucuna varmak mümkündür. Yetişkin hastalarda cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme öngörülebilir sonuçları olan güvenli bir tekniktir.

Carmen ve diğerleri 2000 yılında maksiller transversal yetersizliği olan hastalarda uygulanan cerrahi destekli ve cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme sonrası hastaların periodontal durumu değerlendirmişlerdir. Her iki tedavide maksiller genişletme gerçekleşmiş ancak

premolar/molar dişlerin dişeti çekilmesi cerrahi desteksiz yapılan hızlı maksiller genişletmede cerrahi destekli yapılandan 2 kat daha fazla görülmüştür[287]. Williams ve diğerleri 2012 yılında, cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme uygulanan 120 hastada retrospektif kohort çalışmalarında 18'inde (% 15) 34 diş kapsayan dental ve periodontal sorunlarla karşılaştıklarını bildirmişlerdir. Bunlar arasında; 5 hastada interdental osteotomun düz bir şekilde yapılmamasından kaynaklı santral kesici dişte renk değişikliği, çoğunluğu operasyon sonrası 2 ay sonra görülen apareyin temas ettiği dişlerde görülen 12 vakada dişeti çekilmesi ve 7 hastada santral kesici dişte periodontal kemik kaybı izlenmiştir[148]. Sygouros ve diğerleri 2014 yılında cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede kullanılan farklı osteotomi tekniklerinin maksillofasiyal yapılardaki etkilerini değerlendirmek için tedavi edilmiş 20 hastanın (ortalama yaş 18.8) tedavi öncesi ve sonrası KIBT görüntülerini incelemişler. Periodontal olarak risk içeren hasta gruplarında pterygomaksiller osteotominin yapılmasının olası periodontal problemleri elimine etmek için güvenli olduğunu belirtmişler[145]. Verquin ve diğerleri 2017 yılında cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda kısa vadede görülen komplikasyonları inceledikleri 55 hastada retrospektif kohort çalışmalarında 5 hastada dental periodontal problemler oluştuğunu bildirmişlerdir. Bunlar; 1 hastada santral kesici dişte renk değişikliği, 2 hastada postoperatif ilk haftada santral kesici dişlerde mobilite ve 2 hastada apikal kök rezorpsiyonu görüldüğünü bildirmişlerdir[288].

Literatür incelendiğinde cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme uygulamalarında cerrahi desteksiz yapılan genişletmelere oranla daha az periodontal problemler oluştuğu görülmüştür. Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletici uygulanan hastalarda görülen dişsel periodontal komplikasyonların oranı az olsa da tedavi sonrasında hekim ve hasta için can sıkıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Mevcut literatürde görülen periodontal komplikasyonlar incelendiğinde yüksek oranda midline osteotomi (interdental osteotomi) sonrası santral keser dişlerde görülmüş. İkinci sıklıkla da ortodontik apareyin ankraj aldığı dişlerde görülmektedir. Biz yapmış olduğumuz 3B SEA modellerinde kortikotomi olarak sadece lateral osteotomi tekniğini kullandık. Çalışmamızın verilerine göre cerrahi destekli modellerde dişler arası bölgelerde santral, lateral keser ve kanin dişleri arası spongiyöz kemikte Pmax ve Pmin streslerin lokalize olduğunu ve bu streslerin cerrahi desteksiz modellere göre daha düşük olduğunu tespit ettik. Klinik olarak olası midline osteotomi gerekli olan hastalarda komplikasyonları dikkate alarak osteotominin planlanması gerektiğini düşünmekteyiz.

Hayward ve diğerleri 1980 yılında Le Fort I osteotomisi sırasında hemorajide, maksiller arter ve terminal dalları, sfenopalatin ve palatin arterlerinin önemli olduğunu bildirmişlerdir. Aynı zamanda diğer büyük damarlar arasında pterygoid venöz pleksus ve iç karotid arterinde dikkate alınması gerektiğini söylemişlerdir[289]. Newhouse ve diğerleri 1982 yılında, Le Fort I osteotomisi sırasında internal karotis arter hasarını sonrası hemoraji olduğunu bildirmişlerdir[290]. Dergin ve diğerleri 2015 yılında cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme yaptıkları 60 hastayı takip ettikleri çalışmalarında hastaların % 20'sinde burun kanaması gözlemlenmiştir. Bunlardan % 75'i postoperatif operasyon günü, 1 hastada ilk hafta ve 2 hastada da ilk haftadan sonra başlayan geç kanama olduğunu belirtmişlerdir. [152].

Cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme, yetişkin hastalarda maksiller transvers yetersizliğin düzeltilmesinde yaygın olarak kullanılan ve etkili bir prosedürdür. Yetişkin hastalarda hızlı maksiller genişletmeyi sağlayabilmek için birçok osteotomi tekniği vardır ve sıklıkla kullanılmaktadır. Bu osteotomi teknikleri doğru bir planlama ile alanında uzman cerrahlar tarafından dikkatli bir cerrahi teknikle yapılırsa morbidite minimum olmaktadır. Literatürde bildirilen hemorajik komplikasyonların çoğu Le fort 1 ve ptergomaksiller ayırmayı içeren osteotomilerde gözlemlenmiştir. Literatürde bildirilen komplikasyonlar incelendiğinde komplikasyonları elimine etmek için tedavinin dikkatli planlaması, yürütülmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Bizim çalışmamızda 3B SEA modellerinde kullandığımız lateral osteotomi tekniği klinik şartlarda uygulanması sırasında olası komplikasyonlar açısından diğer osteotomi tekniklerine göre daha güvenlidir.

Nowak ve diğerleri 2021 yılında yaptıkları 3B SEA çalışmasında cerrahi destekli hızlı maksiller genişletmede yüz iskeletindeki stres dağılımlarını ve yer değiştirmelerinde dişsel ve iskeletsel ankrajlı cihazları karşılaştırmışlardır. SEA modelini maksiller yetersizliği olan 32 yaşındaki kadının BT verilerini kullanarak oluşturmuşlardır. Osteotomi tekniklerine göre 6 farklı model oluşturup hem dişsel hem iskeletsel ankrajlı şekilde değerlendirerek çalışmalarında toplam 12 model incelemişlerdir. Model 1 cerrahisiz, model 2 midpalatal osteotomi, model 3 lateral osteotomi, model 4 Lefort 1 osteotomisi, model 5 lateral ve midpalatal osteotomi, model 6 midpalatal ve Lefort 1 osteotomisi şeklinde oluşturmuşlardır. Çalışmaları sonuçlarına model 5 ve model 2'de frontal kemiğe kadar uzanan geniş stres alanları oluştuğunu gözlemlenmiştir. Cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme uygulamasında dişsel ve iskeletsel ankrajlı cihazların hepsinde tüm yüz iskeletinde Pmax ve

Pmin stresleri artmış bulunmuştur. Dişsel ve iskeletsel ankrajlı cihazların karşılaştırılmasında maksillanın osteotomili modelleriyle iskeletsel ankrajlı cihazların daha fazla genişletme uyguladığını gözlemlemişlerdir. Osteotomi tekniklerinin karşılaştırılmasında yüz iskeletinde en az stres bölgelerinin lefort 1 osteotomisi ve midpalatal osteotominin birlikte yapıldığı iskeletsel ankrajlı apareyde olduğunu belirtmişlerdir[291].

SEA, maksiller genişletme apareylerinin kraniyofasiyal kompleks üzerinde etkilerini araştırmak için geçerli bir yöntemdir. Bizim yapmış olduğumuz çalışmada kullandığımız modeller sadece maksiller kemiği kapsadığı için yüz iskeletindeki stres alanları hakkında genel bir değerlendirme yapamadık. Fakat cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme yaptığımız modellerde daha geniş alanlarda yüksek değerlerde Pmax ve Pmin stresleri elde edildi.

Ulusoy ve diğerleri 2018 yılında, tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisinde tek tarafa lateral osteotomi yaparak 3B SEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında tek taraflı posterior çapraz kapanışı olan yetişkin bir hastanın KIBT verilerini kullanarak 3B SEA modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalarının bulguları incelendiğinde lateral osteotomi yapılan tarafta osteotomi hattının üzerinde kalan alanlardaki streslerin osteotomi yapılmayan tarafla karşılaştırıldığında azaldığı görülmüştür[292].

Bizim çalışmamızın sonuçlarında da literatürle uyumlu olacak şekilde; lateral osteotomi uyguladığımız modellerde osteotomi hattının üzerinde biriken streslerin az olduğu görüldü. Cerrahi desteksiz hızlı maksiller genişletme yapılan modellerde daha fazla stres alanları tespit edildi.

6. SONUÇLAR

Kortikotomi destekli ve desteksiz modellerde gerilim stresleri açısından karşılaştırıldığında kortikal ve spongiyöz kemikte kortikotomi desteksiz modellerde daha yüksek gerilim stresleri olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm modeller baskı stresleri açısından karşılaştırıldığında kortikal ve spongiyöz kemikte kortikotomi desteksiz modellerde daha yüksek baskı stresleri olduğu bulgulanmıştır.

Tüm modeller değerlendirildiğinde deplasman miktarının artmasıyla her iki grupta da baskı ve gerilim streslerinin arttığı izlenmiştir. Deplasman miktarının artışı kemikte gerilim ve kompresif stresleri arttırmaktadır.

Kortikotomi desteksiz yapılan hızlı maksiller genişletme modellerinde; ptergomaksiller, zigomatikomaksiller, apertura piriformiste lokalize geniş alanlarda baskı ve gerilim stresleri oluşmuştur.

3D SEA maksillofasiyal bölgenin kolaylıkla modellemesinin yapıldığı ve bu bölgede oluşan streslerin gerçeğe yakın bir şekilde değerlendirilebildiği etkili bir yöntemdir.

Sonuç olarak kortikotomi destekli yapılan hızlı maksiller genişletme maksillofasiyal komplekste daha düşük baskı ve gerilim stresleri elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Lye, K.W. (2008). Effect of orthognathic surgery on the posterior airway space (PAS). *Ann Acad Med Singapore*, 37(8), 677-82.
2. Phulari, B.S. (2013). *History of orthodontics*. (First edition). India. JP Medical Ltd, 45-68
3. Suri, L., and Taneja, P. (2008). Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(2), 290-302.
4. L'tanya, J. B., White Jr, R. P., Proffit, W. R., Turvey, and T. A. (1997). Segmental LeFort I osteotomy for management of transverse maxillary deficiency. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(7), 728-731..
5. Koudstaal, M. J., Poort, L., Van der Wal, K., Wolvius, E., Prahl-Andersen, B., and Schulten, A. (2005). Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34(7), 709-714.
6. De Freitas, R., Gonçalves, A., Moniz, N., and Maciel, F. (2008). Surgically assisted maxillary expansion in adults: prospective study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37(9), 797-804.
7. Cobourne, M. T., and DiBiase, A. T. (2015). *Handbook of Orthodontics E-Book*.(First edition). England: Elsevier Health Sciences,1-31
8. Altug Atac, A. T., Karasu, H. A., and Aytac, D. (2006). Surgically assisted rapid maxillary expansion compared with orthopedic rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*, 76(3), 353-359.
9. Greenbaum, K. R., and Zachrisson, B. U. (1982). The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *American Journal of Orthodontics*, 81(1), 12-21.
10. Byloff, F.K., and Mossaz, C. F. (2004). Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*, 26(4), 403-409.
11. Barber, A.F., and Sims, M. (1981). Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *American Journal of Orthodontics*, 79(6), 630-652.
12. Alpern, M. C., and Yurosko, J. J. (1987). Rapid palatal expansion in adults: with and without surgery. *The Angle Orthodontist* 57(3), 245-263.
13. Yu, H. S., Baik, H. S., Sung, S. J., Kim, K. D., and Cho, Y. S. (2007). Three-dimensional finite-element analysis of maxillary protraction with and without rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*, 29(2), 118-125.

14. Angell, D. (1860). Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dent. Cosmos*, 1, 540-544.
15. Haas, A.J. (1965). The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist*, 35(3), 200-217.
16. Haas, A.J. (1961). Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist*, 31(2), 73-90.
17. Haas, A.J. (1970). Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 57(3), 219-255.
18. Haas, A. (1980). Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *The Angle Orthodontist*, 50(3), 189-217.
19. Schwartz, E., Mortazavi, M., and Tolarova, M. M. (2019). Face-Shape Genes Influencing Malocclusion.
20. Proffit, W., and Phillips, C. (1990). Who seeks surgical-orthodontic treatment? *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 5(3), 153-160.
21. Bishara, S. E., and Staley, R. N. (1987). Maxillary expansion: clinical implications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 91(1), 3-14.
22. Webster, W. S., Howe, A. M., Abela, D., and Oakes, D. J. (2006). The relationship between cleft lip, maxillary hypoplasia, hypoxia and phenytoin. *Current Pharmaceutical Design*, 12(12), 1431-1448.
23. Tyagi, S., Kumar, S., and Singla, M. (2010). Etiology, symptoms and treatment of apert syndrome, a congenital disorder: an overview. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(3), 1-7.
24. Wilkie, A. O., Slaney, S. F., Oldridge, M., Poole, M. D., Ashworth, G. J., Hockley, A. D., Hayward, R. D., David, D. J., Pulleyn, L. J., and Rutland, P. (1995). Apert syndrome results from localized mutations of FGFR2 and is allelic with Crouzon syndrome. *Nature Genetics*, 9(2), 165-172.
25. Cassidy, K. M., Harris, E. F., Tolley, E. A., and Keim, R. G. (1998). Genetic influence on dental arch form in orthodontic patients. *The Angle Orthodontist*, 68(5), 445-454.
26. Faria, P. T. M., Ruellas, A. C. d. O., Matsumoto, M. A. N., Anselmo-Lima, W. T., and Pereira, F. C. (2002). Dentofacial morphology of mouth breathing children. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 129-132.
27. Warren, D. (1990). Effect of airway obstruction upon facial growth. *Otolaryngologic Clinics of North America*. 23(4), 699-712.
28. Tourne, L. P., and Schweiger, J. (1996). Immediate postural responses to total nasal obstruction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 110(6), 606-611.

29. Subtelny, J.D. (1980). Oral respiration: facial maldevelopment and corrective dentofacial orthopedics. *The Angle Orthodontist*, 50(3), 147-164.
30. Linder-Aronson, S., Woodside, D., Hellsing, E., and Emerson, W. (1993). Normalization of incisor position after adenoidectomy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 103(5), 412-427.
31. Paul, J., and Nanda, R. S. (1973). Effect of mouth breathing on dental occlusion. *The Angle Orthodontist*, 43(2), 201-206.
32. Larsson, E. (1987). The effect of finger-sucking on the occlusion: a review. *The European Journal of Orthodontics*, 9(1), 279-282.
33. Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B., and Sarver, D. M. (2018). *Contemporary orthodontics-e-book*.(Sixth edition). USA: Elsevier Health Sciences, 107-134
34. D'Ascanio, L., Lancione, C., Pompa, G., Rebuffini, E., Mansi, N., and Manzini, M. (2010). Craniofacial growth in children with nasal septum deviation: a cephalometric comparative study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 74(10), 1180-1183.
35. Suria, L., and Tanejab, P. (2008). Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133, 290-302.
36. Kutin, G., and Hawes, R. R. (1969). Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *American Journal of Orthodontics*, 56(5), 491-504.
37. Foster, T., and Hamilton, M. C. (1969). Occlusion in the primary dentition. Study of children at 2 and one-half to 3 years of age. *British Dental Journal*, 126(2), 76.
38. Thilander, B., and Myrberg, N. (1973). The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *European Journal of Oral Sciences*, 81(1), 12-20.
39. Dimberg, L., Lennartsson, B., Söderfeldt, B., and Bondemark, L. (2013). Malocclusions in children at 3 and 7 years of age: a longitudinal study. *The European Journal of Orthodontics*, 35(1), 131-137.
40. Ferro, R., Besostri, A., Olivieri, A., Quinzi, V., and Scibetta, D. (2016). Prevalence of cross-bite in a sample of Italian preschoolers. *European Journal of Pediatric Dentistry*, 17(4), 307-309.
41. da Silva Filho, O. G., Santamaria Jr, M., and Filho, L. C. (2007). Epidemiology of posterior crossbite in the primary dentition. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 32(1), 73-78.
42. Gelgör, İ. E., Karaman, İ. A., and Ercan, E. (2007). Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *European Journal of Dentistry*, 1(03), 125-131.
43. Rakosi, T., Graber, T. M., and Alexander, W. (2010). *Orthodontic and dentofacial orthopedic treatment*.(First edition). Germany: Thieme, 155-176

44. Moyers, R.E. (1988). *Handbook of orthodontics*.(Fourth edition). Germany:Year Book Medical Publishers,127-144
45. Bishara, S. E., Burkey, P. S., and Kharouf, J. G. (1994). Dental and facial asymmetries: a review. *The Angle Orthodontist*, 64(2), 89-98.
46. Jacobs, J. D., Bell, W. H., Williams, C. E., and Kennedy III, J. W. (1980). Control of the transverse dimension with surgery and orthodontics. *American Journal of Orthodontics*, 77(3), 284-306.
47. Bootvong, K., Liu, Z., McGrath, C., Hägg, U., Wong, R. W., Bendeus, M., and Yeung, S. (2010). Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. *The European Journal of Orthodontics*, 32(5), 589-595.
48. Koretsi, V., Tingelhoff, L., Proff, P., and Kirschneck, C. (2018). Intra-observer reliability and agreement of manual and digital orthodontic model analysis. *European Journal of Orthodontics*, 40(1), 52-57.
49. Bell, A., Ayoub, A., and Siebert, P. (2003). Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models. *Journal of Orthodontics*, 30(3), 219-223.
50. Staley, R. N., Stuntz, W. R., and Peterson, L. C. (1985). A comparison of arch widths in adults with normal occlusion and adults with Class II, Division 1 malocclusion. *American Journal of Orthodontics*, 88(2), 163-169.
51. Steven, D. and Marshall, A. (2005). Early Transverse Treatment. *Semin Orthod*, 11, 130-139.
52. Thomas, R., Irmtrud, J., and Graber, T. (1993). Color atlas of dental medicine: Orthodontic diagnosis. New York: Thime, 182-189.
53. Betts, N., Vanarsdall, R., Barber, H., Higgins-Barber, K., and Fonseca, R. (1995). Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 10(2), 75-96.
54. Ricketts, R.M. (1981). Perspectives in the clinical application of cephalometrics: the first fifty years. *The Angle Orthodontist*, 51(2), 115-150.
55. Lagravère, M. O., Hansen, L., Harzer, W., and Major, P. W. (2006). Plane orientation for standardization in 3-dimensional cephalometric analysis with computerized tomography imaging. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(5), 601-604.
56. Berkowitz, S. (1999). A multicenter retrospective 3D study of serial complete unilateral cleft lip and palate and complete bilateral cleft lip and palate casts to evaluate treatment: part 1—the participating institutions and research aims. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 36(5), 413-424.

57. Mozzo, P., Procacci, C., Tacconi, A., Martini, P. T., and Andreis, I. B. (1998). A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology*, 8(9), 1558-1564.
58. Macchi, A., Carrafiello, G., Cacciafesta, V., and Norcini, A. (2006). Three-dimensional digital modeling and setup. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(5), 605-610.
59. Troulis, M., Everett, P., Seldin, E., Kikinis, R., and Kaban, L. (2002). Development of a three-dimensional treatment planning system based on computed tomographic data. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 31(4), 349-357.
60. Arai, Y., Tammisalo, E., Iwai, K., Hashimoto, K., and Shinoda, K. (1999). Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofacial Radiology*, 28(4), 245-248.
61. Hugo, A., Preston, C., and Reis, P. (1981). A simple and reproducible technique for the use of computed tomography in orthodontics. *The European Journal of Orthodontics*, 3(2), 121-124.
62. Timms, D., Preston, C., and Daly, P. (1982). A computed tomographic assessment of maxillary movement induced by rapid expansion—a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*, 4(2), 123-127.
63. Garib, D. G., Henriques, J. F. C., Janson, G., de Freitas, M. R., and Fernandes, A. Y. (2006). Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(6), 749-758.
64. Ballanti, F., Lione, R., Fanucci, E., Franchi, L., Baccetti, and T., Cozza, P. (2009). Immediate and post-retention effects of rapid maxillary expansion investigated by computed tomography in growing patients. *The Angle Orthodontist*, 79(1), 24-29.
65. Cobourne, M.T., and DiBiase A.T. (2015). *Handbook of Orthodontics E-Book*. (First edition). England: Elsevier Health Sciences, 1-31.
66. Chaconas, S. J., and Levy, J. A. A. (1977). Orthopedic and orthodontic applications of the quad-helix appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 72(4), 422-428.
67. Melsen, B. (1975). Palatal growth studied on human autopsy material: a histologic microradiographic study. *American Journal of Orthodontics*, 68(1), 42-54.
68. Persson, M., and Thilander, B. (1977). Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American Journal of Orthodontics*, 72(1), 42-52.
69. Alden, T. D., Lin, K. Y., and Jane, J. A. (1999). Mechanisms of premature closure of cranial sutures. *Child's Nervous System*, 15(11-12), 670-675.
70. Hirano, A., Akita, S., and Fujii, T. (1995). Craniofacial deformities associated with juvenile hyperthyroidism. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 32(4), 328-333.

71. Carlsen, N., Krasilnikoff, P., and Eiken, M. (1984). Premature cranial synostosis in X-linked hypophosphatemic rickets: possible precipitation by 1-alpha-OH-cholecalciferol intoxication. *Acta Pædiatrica*, 73(1), 149-154.
72. Cohen Jr, M.M. (1993). Sutural biology and the correlates of craniosynostosis. *American Journal of Medical Genetics*, 47(5), 581-616.
73. Ramoglu, S. I., and Sari, Z. (2010). Maxillary expansion in the mixed dentition: rapid or semi-rapid? *The European Journal of Orthodontics*, 32(1), 11-18.
74. Sperber, G.H. (2018). Orthodontic therapy: Fundamental treatment concepts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(4), 611.
75. Millett, D. T., and Welbury, R. (2000). *Orthodontics and paediatric dentistry*. (First edition). England: Elsevier Health Sciences, 56-72
76. Mossaz-Joëlsion, K., Mossaz, and C. F. (1992). Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *The European Journal of Orthodontics*, 14(2), 110-116.
77. Mossaz-Joëlsion, K., and Mossaz, C. F. (1989). Slow maxillary expansion: a comparison between banded and bonded appliances. *The European Journal of Orthodontics*, 11(1), 67-76.
78. Majourau, A., and Nanda, R. (1994). Biomechanical basis of vertical dimension control during rapid palatal expansion therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 106(3), 322-328.
79. Silverstein, K., and Quinn, P. D. (1997). Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(7), 725-727.
80. Timms, D. (1981). *Rapid Palatal Expansion*, Ed. Timms DJ, Chicago: Quintessence Publishing Co.
81. Cousley, R. (2020). *The orthodontic mini-implant clinical handbook*. (Second edition). USA: John Wiley & Sons, 173-176
82. Goddard, C. (1893). Separation of the superior maxilla at the symphysis. *Dental Cosmos*, 35(9), 880-882.
83. Kingsley, N.W. (1866). *Congenital Cleft Palate: Paper Read Before the New York Academy of Medicine*. (First edition). USA: New York Print. Company, 112.
84. Weissheimer, A., de Menezes, L. M., Mezomo, M., Dias, D. M., de Lima, E. M. S., and Rizzatto, S. M. D. (2011). Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(3), 366-376.
85. Matsuyama, Y., Motoyoshi, M., Tsurumachi, N., and Shimizu, N. (2015). Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *European Journal of Orthodontics*, 37(2), 188-193.

86. Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Mallya, S. M., Moschik, C., Pan, H. C., Miller, J., and Moon, W. (2017). Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Progress in Orthodontics*, 18(1), 34.
87. Lione, R., Ballanti, F., Franchi, L., Baccetti, T., and Cozza, P. (2008). 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*, 134(3), 389-392.
88. Celenk-Koca, T., Erdinc, A. E., Hazar, S., Harris, L., English, J. D., and Akyalcin, S. (2018). Evaluation of miniscrew-supported rapid maxillary expansion in adolescents: a prospective randomized clinical trial. *The Angle Orthodontist*, 88(6), 702-709.
89. Lee, K.J., Park, Y.C., Park, J.-Y., and Hwang, W.S. (2010). Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(6), 137(6), 830-839.
90. Lee, S. C., Park, J. H., Bayome, M., Kim, K. B., Araujo, E. A., and Kook, Y.A. (2014). 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*, 145(5), 638-648.
91. Bazargani, F., Magnuson, A., and Ludwig, B. (2018). Effects on nasal airflow and resistance using two different RME appliances: a randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*, 40(3), 281-284.
92. Celenk-Koca, T., Erdinc, A. E., Hazar, S., Harris, L. J. D., and Akyalcin, S. (2018). Evaluation of miniscrew-supported rapid maxillary expansion in adolescents. *The Angle Orthodontics*, 88(6), 702-709
93. Yılmaz, A., Arman-Özçirpıcı, A., Erken, S., and Polat-Özsoy, Ö. (2015). Comparison of short-term effects of mini-implant-supported maxillary expansion appliance with two conventional expansion protocols. *European Journal of Orthodontics*, 37(5), 556-564.
94. Lin, L., Ahn, H.W., Kim, S.J., Moon, S.C., Kim, S.H., and Nelson, G. (2015). Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *The Angle Orthodontist*, 85(2), 253-262.
95. Seong, E.H., Choi, S.H., Kim, H.J., Yu, H.S., Park, Y.C., and Lee, K.J. (2018). Evaluation of the effects of miniscrew incorporation in palatal expanders for young adults using finite element analysis. *The Korean Journal of orthodontics*, 48(2), 81-89.
96. Choi, S.H., Shi, K.K., Cha, J.Y., Park, Y.C., and Lee, K.J. (2016). Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *The Angle Orthodontist*, 86(5), 713-720.

97. Lim, H.M., Park, Y.C., Lee, K.J., Kim, K.H., and Choi, Y. J. (2017). Stability of dental, alveolar, and skeletal changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion. *The Korean Journal of Orthodontics*, 47(5), 313-322.
98. Lee, R. J., Moon, and W., Hong, C. (2017). Effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on bone-borne palatal expansion using finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151(5), 887-897.
99. Wilmes, B., Nienkemper, M., and Drescher, D. (2010). Application and effectiveness of a mini-implant-and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World Journal of Orthodontics*, 11(4), 323-30.
100. Toklu, M. G., Germec-Cakan, D., and Tozlu, M. (2015). Periodontal, dentoalveolar, and skeletal effects of tooth-borne and tooth-bone-borne expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(1), 97-109.
101. Canan, S., and Şenışık, N. E. (2017). Comparison of the treatment effects of different rapid maxillary expansion devices on the maxilla and the mandible. Part 1: Evaluation of dentoalveolar changes. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151(6), 1125-1138.
102. Lee, H. K., Bayome, M., Ahn, C. S., Kim, S.-H., Kim, K. B., Mo, S.-S., and Kook, Y. A. (2014). Stress distribution and displacement by different bone-borne palatal expanders with micro-implants: a three-dimensional finite-element analysis. *European Journal of Orthodontics*, 36(5), 531-540.
103. Wertz, R.A. (1970). Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American Journal of Orthodontics*, 58(1), 41-66.
104. Sari, Z., Uysal, T., Usumez, S., and Basciftci, F. A. (2003). Rapid maxillary expansion. Is it better in the mixed or in the permanent dentition? *The Angle Orthodontist*, 73(6), 654-661.
105. Carlson, C., Sung, J., McComb, R. W., Machado, A. W., and Moon, W. (2016). Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(5), 716-728.
106. Brunetto, D. P., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., and Moon, W. (2017). Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental Press Journal of Orthodontics*, 22(1), 110-125.
107. Ekström, C., Henrikson, C. O., and Jensen, R. (1977). Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *American Journal of Orthodontics*, 71(4), 449-455.
108. Işeri, H., Tekkaya, A. E., Öztan, Ö., and Bilgic, S. (1998). Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *The European Journal of Orthodontics*, 20(4), 347-356.

109. Gryson, J. A. (1977). Changes in mandibular interdental distance concurrent with rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*, 47(3), 186-192.
110. Palaisa, J., Ngan, P., Martin, C., and Razmus, T. (2007). Use of conventional tomography to evaluate changes in the nasal cavity with rapid palatal expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(4), 458-466.
111. Chung, C.-H., and Font, B. (2004). Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimensions after rapid palatal expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 126(5), 569-575.
112. Woods, M., Wiesenfeld, D., and Probert, T. (1997). Surgically-assisted maxillary expansion. *Australian Dental Journal*, 42(1), 38-42.
113. Kademani, D., and Tiwana, P. (2015). *Atlas of oral and maxillofacial surgery*. (First edition). Germany: Elsevier Health Sciences, 264-272.
114. Epker, B. N., and Wolford, L. M. (1980). *Dentofacial deformities: surgical orthodontic correction*. (First edition). USA: CV Mosby, 142-149.
115. Timms, D., and Vero, D. (1981). The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *British Journal of Oral Surgery*, 19(3), 180-196.
116. Mommaerts, M. (1999). Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37(4), 268-272.
117. Capellozza, L. F., Cardoso, J. N., and Ursi, W. (1996). Non-surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *The International journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 11(1), 57-66.
118. de Miranda Ladewig, V., Capellozza-Filho, L., Almeida-Pedrin, R. R., Guedes, F. P., de Almeida Cardoso, M., and Conti, A. C. F. (2018). Tomographic evaluation of the maturation stage of the midpalatal suture in postadolescents. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 153(6), 818-824.
119. D'Antoni, A. V. (2016). Gray's Anatomy, the Anatomical Basis of Clinical Practice. *Clinical Anatomy*, 29(2), 264-265.
120. Paulsen, F., Böckers, T. M., Waschke, J., Winkler, S., Dalkowski, K., Mair, J., and Klebe, S. (2018). *Sobotta Anatomy Textbook: English Edition with Latin Nomenclature*. (First edition). England: Elsevier Health Sciences, 358-367.
121. Gosling, J. A., Harris, P. F., Humpherson, J. R., Whitmore, I., and Willan, P. L. (2016). *Human Anatomy, Color Atlas and Textbook E-Book*. (Sixth edition). USA: Elsevier Health Sciences, 56-57.
122. Singh, I. (2011). *Textbook of Anatomy: Volume 3: Head and Neck, Central Nervous System*. (Third edition). England: Wife Goes On, 256.
123. Artzi, Z. (2020). *Bone Augmentation by Anatomical Region: Techniques and Decision-making*. (First edition). USA: John Wiley & Sons, 15-94.

124. Aggarwal, A., Kaur, H., Gupta, T., Tubbs, R. S., Sahni, D., Batra, Y., and Sondekoppam, R. V. (2015). Anatomical study of the infraorbital foramen: a basis for successful infraorbital nerve block. *Clinical Anatomy*, 28(6), 753-760.
125. Lantos, J., Pearlman, A., Gupta, A., Chazen, J., Zimmerman, R., Shatzkes, D., and Phillips, C. (2016). Protrusion of the infraorbital nerve into the maxillary sinus on CT: prevalence, proposed grading method, and suggested clinical implications. *American Journal of Neuroradiology*, 37(2), 349-353.
126. Maestre Ferrín, L., Galán Gil, S., Rubio Serrano, M., Peñarrocha Diago, M., and Penarrocha Oltra, D. (2010). Maxillary sinus septa: a systematic review. *Medicine Oral Patologia*, 15(2), 18.
127. Chrcanovic, B. R., and Custódio, A. L. (2010). Anatomical variation in the position of the greater palatine foramen. *Journal of Oral Science*, 52(1), 109-113.
128. Dave, M. R., Yagain, V. K., and Anadkat, S. (2013). A study of the anatomical variations in the position of the greater palatine foramen in adult human skulls and its clinical significance. *International Journal of Morphology*, 31(2), 578.
129. Bathla, G., and Hegde, A. (2013). The trigeminal nerve: an illustrated review of its imaging anatomy and pathology. *Clinical Radiology*, 68(2), 203-213.
130. Sepahdari, A. R., and Mong, S. (2013). Skull base CT: normative values for size and symmetry of the facial nerve canal, foramen ovale, pterygoid canal, and foramen rotundum. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(1), 19-24.
131. Ruskell, G. (1970). The orbital branches of the pterygopalatine ganglion and their relationship with internal carotid nerve branches in primates. *Journal of Anatomy*, 106(2), 323.
132. Alghoul, M., Bitik, O., McBride, J., and Zins, J. E. (2013). Relationship of the zygomatic facial nerve to the retaining ligaments of the face: the Sub-SMAS danger zone. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 131(2), 245e-252e.
133. Von Arx, T., and Lozanoff, S. (2015). Anterior superior alveolar nerve (ASAN). *Swiss Dental Journal*, 125(11), 1202-1209.
134. Netter, F. H. (2014). *Atlas of human anatomy, Professional Edition E-Book: including NetterReference. com Access with full downloadable image Bank*. (Seventh edition). USA: Elsevier Health Sciences, 367.
135. Homze, E. J., Harn, S. D., and Bavitz, B. J. (1997). Extraoral ligation of the lingual artery: an anatomic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 83(3), 321-324.
136. Nakajima, H., Imanishi, N., and Aiso, S. (2002). Facial artery in the upper lip and nose: anatomy and a clinical application. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 109(3), 855-862.
137. Zümre, Ö., Salbacak, A., Çiçekcibaşı, A. E., Tuncer, I., and Seker, M. (2005). Investigation of the bifurcation level of the common carotid artery and variations of

- the branches of the external carotid artery in human fetuses. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 187(4), 361-369.
138. Lee, H. Y., Kim, H. U., Kim, S. S., Son, E. J., Kim, J. W., Cho, N. H., Kim, K. S., Lee, J. G., Chung, I. H., and Yoon, J. H. (2002). Surgical anatomy of the sphenopalatine artery in lateral nasal wall. *The Laryngoscope*, 112(10), 1813-1818.
 139. Isaacson, R. J., Wood, J. L., and Ingram, A. H. (1964). Forces produced by rapid maxillary expansion: I. Design of the force measuring system. *The Angle Orthodontist*, 34(4), 256-260.
 140. Brown, G.V.I. (1938). *The surgery of oral and facial diseases and malformations: their diagnosis and treatment including plastic surgical reconstruction*. Lea & Febiger.
 141. Steinhäuser, E. (1972). Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *Journal of Oral Surgery*, 30(6), 413.
 142. Bays, R. A., and Greco, J. M. (1992). Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(2), 110-113.
 143. Bierenbroodspot, F., Wering, P., Kuijpers-Jagtman, and A., Stoelinga, P. (2002). Surgically assisted rapid maxillary expansion: a retrospective study. *Nederlands Tijdschrift Voor Tandheelkunde*, 109(8), 299-302.
 144. Pogrel, M., Kaban, L., Vargervik, K., and Baumrind, S. (1992). Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 7(1), 37-41.
 145. Sygouros, A., Motro, M., Ugurlu, F., and Acar, A. (2014). Surgically assisted rapid maxillary expansion: cone-beam computed tomography evaluation of different surgical techniques and their effects on the maxillary dentoskeletal complex. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(6), 748-757.
 146. Bennett, M. A., and Wolford, L. M. (1985). The maxillary step osteotomy and Steinmann pin stabilization. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43(4), 307-311.
 147. Esen, A., Dolanmaz, E., and Dolanmaz, D. (2019). Evaluation of stress distribution in critical anatomic regions following the Le Fort I osteotomy by three-dimensional finite element analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 47(3), 431-437.
 148. Williams, B. J., Currimbhoy, S., Silva, A., and O'Ryan, F. S. (2012). Complications following surgically assisted rapid palatal expansion: a retrospective cohort study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(10), 2394-2402.
 149. Wikkeling, O., and Koppendraaier, J. (1973). In vitro studies on lines of osteotomy in the pterygoid region. *Journal of Maxillofacial Surgery*, 1(1), 209-212.
 150. Lanigan, D. T., and Guest, P. (1993). Alternative approaches to pterygomaxillary separation. *International journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 22(3), 131-138.

151. Li, K. K., Meara, J. G., and Rubin, P. A. (1995). Orbital compartment syndrome following orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 53(8), 964-968.
152. Dergin, G., Aktop, S., Varol, A., Ugurlu, F., and Garip, H. (2015). Complications related to surgically assisted rapid palatal expansion. *Oral surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 119(6), 601-607.
153. Mehra, P., Cottrell, D. A., Caiazzo, A., and Lincoln, R. (1999). Life-threatening, delayed epistaxis after surgically assisted rapid palatal expansion: a case report. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 57(2), 201-204.
154. Mordenfeld, A., and Andersson, L. (1999). Periodontal and pulpal condition of the central incisors after midline osteotomy of the maxilla. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 57(5), 523-529.
155. Lehman, J. J., and Haas, A. (1990). Surgical-orthodontic correction of transverse maxillary deficiency. *Dental Clinics of North America*, 34(2), 385-395.
156. Lanigan, D. T., and Mintz, S. M. (2002). Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(1), 104-110.
157. Carvalho, P., Moura, L., Trento, G., Holzinger, D., Gabrielli, M., Gabrielli, M., and Pereira Filho, V. (2020). Surgically assisted rapid maxillary expansion: a systematic review of complications. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(3), 325-332.
158. Cakarar, S., Keskin, B., Isler, S., Cansiz, E., Uzun, A., and Keskin, C. (2017). Complications associated with surgically assisted rapid palatal expansion without pterygomaxillary separation. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 118(5), 279-282.
159. Ciambotti, C., Ngan, P., Durkee, M., Kohli, K., and Kim, H. (2001). A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 119(1), 11-20.
160. Chung, C. H., and Goldman, A. M. (2003). Dental tipping and rotation immediately after surgically assisted rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*, 25(4), 353-358.
161. Ugolini, A., Doldo, T., Ghislanzoni, L. T. H., Mapelli, A., Giorgetti, R., and Sforza, C. (2016). Rapid palatal expansion effects on mandibular transverse dimensions in unilateral posterior crossbite patients: a three-dimensional digital imaging study. *Progress in Orthodontics*, 17(1), 1-7.
162. Doruk, C., Sökücü, O., Sezer, H., and Canbay, E. I. (2004). Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *The European Journal of Orthodontics*, 26(4), 397-401.

163. Gordon, J. M., Rosenblatt, M., Witmans, M., Carey, J. P., Heo, G., Major, P. W., and Flores-Mir, C. (2009). Rapid palatal expansion effects on nasal airway dimensions as measured by acoustic rhinometry: a systematic review. *The Angle Orthodontist*, 79(5), 1000-1007.
164. Kilinc, A. S., Arslan, S. G., Kama, J. D., Özer, T., and Dari, O. (2008). Effects on the sagittal pharyngeal dimensions of protraction and rapid palatal expansion in Class III malocclusion subjects. *The European Journal of Orthodontics*, 30(1), 61-66.
165. Spolaor, F., Mason, M., De Stefani, A., Bruno, G., Surace, O., Guiotto, A., Gracco, A., and Sawacha, Z. (2020). Effects of rapid palatal expansion on chewing biomechanics in children with malocclusion: A surface electromyography study. *Sensors*, 20(7), 2086.
166. Halazonetis, D. J., Katsavrias, E., and Spyropoulos, M. N. (1994). Changes in cheek pressure following rapid maxillary expansion. *The European Journal of Orthodontics*, 16(4), 16(4), 295-300.
167. Gauthier, C., Voyer, R., Paquette, M., Rompré, P., and Papadakis, A. (2011). Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(4), S117-S128.
168. Miles, A., and Gheduzzi, S. (2012). Basic biomechanics and biomaterials. *Surgery (Oxford)*, 30(2), 86-91.
169. Verkerke, G. J., and Lee, T. C. (2008). Basic biomechanics. *Technol Health Care*, 16(3), 219-21.
170. Bayvas, M. Ş. (1978). *Genel Mekanik*. (Yedinci baskı). Türkiye: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 41-69.
171. Deniz, K. (2011). *Mandibula angulus kırıklarında farklı kırık tiplerinin pitanyum plak ve vida Fiksasyonunun stabilitesine etkisinin sonlu elemanlar analiziyle incelenmesi*. Doktora Tezi, Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 58-59.
172. Sağesen, L. (2000). *İçi boş silindir (hollow cylinder) implant destekli overdenture'larda iki üst yapı türünün kemikteki gerilme dağılımına etkileri*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 47-48.
173. Kestane, R., Yurttutan, E., ve Keskin, A. (2016). Farklı şekillerde yapılan marjinal mandibulektomilerin postoperatif kırık riski açısından sonlu eleman analizi ile değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(1), 3.
174. Bibb, R. (2016). *Woodhead Publishing Series in Biomaterials. J Advances in Polyurethane Biomaterials*. (First edition). Canada: Elsevier, 51-52.
175. An, Y. H., and Draughn, R. A. (1999). *Mechanical testing of bone and the bone-implant interface*. (First edition). USA: CRC press, 24-58.

176. Glimcher, M.J. (1976). *Composition, structure, and organization of bone and other mineralized tissues and the mechanism of calcification*. Handbook of physiology: endocrinology. (First edition). USA:Springer, 563-577.
177. Chapman, J.A. and D.J. Hulmes (1984). *Electron microscopy of the collagen fibril*, in *Ultrastructure of the connective tissue matrix*.(First edition). USA: Springer,1-33.
178. Veis, A. and B. Sabsay (1987). *The collagen of mineralized matrices*. Bone and mineral research.(First edition). USA: Elsevier, 5-15.
179. Slavkin, H. C., and Price, P. A. (1992). *Chemistry and Biology of Mineralized Tissues: Proceedings of the Fourth International Conference on the Chemistry and Biology of Mineralized Tissues*. (First edition). USA: Elsevier, 298-307.
180. Bonucci, E., and Silvestrini, G. (1996). Ultrastructure of the organic matrix of embryonic avian bone after en bloc reaction with various electron-dense 'stains'. *Cells Tissues Organs*, 156(1), 22-33.
181. Gorski, J. P. (1998). Is all bone the same? Distinctive distributions and properties of non-collagenous matrix proteins in lamellar vs. woven bone imply the existence of different underlying osteogenic mechanisms. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 9(2), 201-223.
182. Butler, W. T. (1984). Matrix macromolecules of bone and dentin. *Collagen and Related Research*, 4(4), 297-307.
183. Höhling, H., Kreilos, R., Neubauer, G., and Boyde, A. (1971). Electron microscopy and electron microscopical measurements of collagen mineralization in hard tissues. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, 122(1), 36-52.
184. Gardner, E. (1971). Osteogenesis in the human embryo and fetus. *The Biochemistry and Physiology of Bone*, 3(1), 77-118.
185. Aaron, J. E., Makins, N. B., and Sagreiya, K. (1987). The microanatomy of trabecular bone loss in normal aging men and women. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 2(1), 260-271.
186. Fleisch, H. (2000). *Bisphosphonates in bone disease: from the laboratory to the patient*. (Fourth edition). England: Elsevier, 156-159.
187. Roodman, G. D. (1999). Cell biology of the osteoclast. *Experimental Hematology*, 27(8), 1229-1241.
188. Burr, D. (2002). The contribution of the organic matrix to bone's material properties. *Bone*, 31(1), 8-11.
189. An, Y.H., Barfield, W.R., and Draughn, R.A. (2000). *Basic concepts of mechanical property measurement and bone biomechanics*. (First edition). USA: CRC, 34-35.
190. Nordin, M. and Frankel, V.H. (2001). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. (Fourth edition). USA: Lippincott Williams & Wilkins, 97-98.

191. Hui, S. L., Slemenda, C. W., and Johnston, C. C. (1988). Age and bone mass as predictors of fracture in a prospective study. *The Journal of Clinical Investigation*, 81(6), 1804-1809.
192. Mann, V., Hobson, E. E., Li, B., Stewart, T. L., Grant, S. F., Robins, S. P., Aspden, R. M., and Ralston, S. H. (2001). A COL1A1 Sp1 binding site polymorphism predisposes to osteoporotic fracture by affecting bone density and quality. *The Journal of Clinical Investigation*, 107(7), 899-907.
193. Augat, P., and Schorlemmer, S. (2006). The role of cortical bone and its microstructure in bone strength. *Age and Ageing*, 35(2), 27-31.
194. Keaveny, T. M., Morgan, E. F., Niebur, G. L., and Yeh, O. C. (2001). Biomechanics of trabecular bone. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 3(1), 307-333.
195. Kutz, M. (2009). *Biomedical Engineering and Design Handbook*. (Second edition). USA: McGraw-Hill Education, 147-159.
196. Hughes, S., and McCarthy, I. D. (1998). *Sciences basic to orthopaedics*. (First edition). USA: WB Saunders, 32-45.
197. Ramoğlu, S., and Oğuz, O. (2014). Finite element methods in dentistry. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 24(3), 175-180.
198. Sakaguchi, R., Sasik, C., Bunczak, M., and Douglas, W. H. (1991). Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *Journal of Dentistry*, 19(5), 312-316.
199. Karl, M., Taylor, T. D., Wichmann, M. G., and Heckmann, S. M. (2006). In vivo stress behavior in cemented and screw-retained five-unit implant FPDs. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 15(1), 20-24.
200. Duyck, J., Van Oostenvyck, H., Vander Sloten, J., De Cooman, M., Puers, R., and Naert, I. (2000). Influence of prosthesis material on the loading of implants that support a fixed partial prosthesis: in vivo study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2(2), 100-109.
201. Glantz, P. O., Rangert, B., Svensson, A., Stafford, G., Arnvidarson, B., Randow, K., Lindén, U., and Hultén, J. (1993). On clinical loading of osseointegrated implants. A methodological and clinical study. *Clinical Oral Implants Research*, 4(2), 99-105.
202. Wang, R., and Welsch, G. (1995). Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 74(5), 521-530.
203. Sevimay, M., Turhan, F., Kiliçarslan, M., and Eskitascioglu, G. (2005). Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(3), 227-234.
204. Dally, J. W., Riley, W. F., and Kobayashi, A. (1978). Experimental stress analysis. *Journal of Applied Mechanics*, 45(4), 968-969.

205. Megson, T. H. G. (2019). *Structural and stress analysis*. (Fourth edition). England: Butterworth-Heinemann, 147.
206. Abass, S. J., Abdul-Alhussain, N. A., and Hassan, J. A. Photoelastic and finite element stress analysis of human teeth. *Journal of Engineering Tecnology*, 1(6), 2-3.
207. Ochiai, K. T., Ozawa, S., Caputo, A. A., and Nishimura, R. D. (2003). Photoelastic stress analysis of implant-tooth connected prostheses with segmented and nonsegmented abutments. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 89(5), 495-502.
208. Da Silva, E. F., Pellizzer, E. P., Quinelli Mazaro, J. V., and Garcia Júnior, I. R. (2010). Influence of the Connector and Implant Design on the Implant–Tooth-Connected Prostheses. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 12(3), 254-262.
209. Yamamoto, M., Miura, H., Okada, D., Komada, W., and Masuoka, D. (2009). Photoelastic stress analysis of different post and core restoration methods. *Dental Materials Journal*, 28(2), 204-211.
210. Rives, T., Rawnsley, K., and Petit, J. P. (1994). Analogue simulation of natural orthogonal joint set formation in brittle varnish. *Journal of Structural Geology*, 16(3), 419-429.
211. Clough, R.W. (1960). *The finite element method in plane stress analysis*. (First edition). USA: Oxford, 8-9.
212. V Hutton, D. (2003). *Fundamentals of finite element analysis*. (Third edition). USA: McGraw-Hill Education, 458-459.
213. Trivedi, S. (2014). Finite element analysis: A boon to dentistry. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 4(3), 200-203.
214. Van Staden, R., Guan, H., and Loo, Y. C. (2006). Application of the finite element method in dental implant research. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 9(4), 257-270.
215. Geng, J. P., Tan, K. B., and Liu, G. R. (2001). Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(6), 585-598.
216. Mackerle, J. (2004). Finite element modelling and simulations in dentistry: a bibliography 1990–2003. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 7(5), 277-303.
217. Keyak, J., Meagher, J., Skinner, H., and Mote Jr, C. (1990). Automated three-dimensional finite element modelling of bone: a new method. *Journal of Biomedical Engineering*, 12(5), 389-397.
218. Cowin, S. C. (2001). *Bone mechanics handbook*. (Second edition). USA: CRC press, 236-247.

219. Rice, J., Cowin, S., and Bowman, J. (1988). On the dependence of the elasticity and strength of cancellous bone on apparent density. *Journal of Biomechanics*, 21(2), 155-168.
220. Zhou, X., Zhao, Z., Zhao, M., and Fan, Y. (1999). The boundary design of mandibular model by means of the three-dimensional finite element method. *West China Journal of Stomatology*, 17(1), 29-32.
221. Degerliyurt, K., Simsek, B., Erkmen, E., and Eser, A. (2010). Effects of different fixture geometries on the stress distribution in mandibular peri-implant structures: a 3-dimensional finite element analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 110(2), 1-11.
222. Budynas, R. G., Nisbett, J. K., and Tangchaichit, K. (2005). *Shigley's mechanical engineering design*. (First edition). New York: McGraw Hill 154-456.
223. Mac Donald, B.J. (2007). *Practical stress analysis with finite elements*. (Second edition). England: Glasnevin publishing, 123-127.
224. Assunção, W. G., Barão, V. A. R., Tabata, L. F., Gomes, E. A., Delben, J. A., and dos Santos, P. H. (2009). Biomechanics studies in dentistry: bioengineering applied in oral implantology. *Journal of Craniofacial Surgery*, 20(4), 1173-1177.
225. Peterson, L. J. (2012). *Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery*. (Third edition). USA: Medicine & Health Science Books, 365.
226. Vandersea, B. A., Ruvo, A. T., and Frost, D. E. (2007). Maxillary transverse deficiency—surgical alternatives to management. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 19(3), 351-368.
227. Fonseca, R.J. (2017). *Oral and Maxillofacial Surgery-E-Book*. (Seventh edition). USA: Elsevier Health Sciences, 267.
228. Proffit, W., Turvey, T., and Phillips, C. (1996). Orthognathic surgery: a hierarchy of stability. *The International journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 11(3), 191-204.
229. Haas, A.J. (1970). Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American Journal of Orthodontics*, 57(3), 219-255.
230. Isaacson, R.J., and Ingram, A.H. (1964). Forces produced by rapid maxillary expansion: II. Forces present during treatment. *The Angle Orthodontist*, 34(4), 261-270.
231. Wehrbein, H., and Yildizhan, F. (2001). The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *The European Journal of Orthodontics*, 23(2), 105-114.
232. Knaup, B., Yildizhan, F., and Wehrbein, H. (2004). Age-related changes in the midpalatal suture. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 65(6), 467-474.

233. Kokich, V. G. (1976). Age changes in the human frontozygomatic suture from 20 to 95 years. *American Journal of Orthodontics*, 69(4), 411-430.
234. Van Ingen Brown, G. (1938). *The Surgery of Oral and Facial Diseases and Malformations: Their Diagnosis and Treatment: Including Plastic Surgical Reconstruction*. (First edition). USA: Pima County Medical Society, 12.
235. Köle, H. (1959). Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 12(5), 515-529.
236. Converse, J. M., and Horowitz, S. L. (1969). The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *American Journal of Orthodontics*, 55(3), 217-243.
237. Steinhäuser, E. (1972). Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *Journal of Oral Surgery*, 30(6), 413-422.
238. MacIntosh, R. B. (1974). Total mandibular alveolar osteotomy: encouraging experiences with an infrequently indicated procedure. *Journal of Maxillofacial Surgery*, 2, 210-218.
239. Lines, P. A. (1975). Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *American Journal of Orthodontics*, 67(1), 44-56.
240. Kennedy III, J. W., Bell, W. H., Kimbrough, O., and James, W. B. (1976). Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics*, 70(2), 123-137.
241. Merrill, R., and Pedersen, G. (1976). Interdental osteotomy for immediate repositioning of dental-osseous elements. *Journal of Oral Surgery*, 34(2), 118-125.
242. Dorfman, H. S., and Turvey, T. A. (1979). Alterations in osseous crestal height following interdental osteotomies. *Oral Surgery, Oral Medicine*, 48(2), 120-125.
243. Schultes, G., Gaggl, A., and Karcher, H. (1998). Periodontal disease associated with interdental osteotomies after orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 56(4), 414-417.
244. Glassman, A. S., Nahigian, S. J., Medway, J. M., and Aronowitz, H. I. (1984). Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *American Journal of Orthodontics*, 86(3), 207-213.
245. Turvey, T. A. (1985). Maxillary expansion: a surgical technique based on surgical-orthodontic treatment objectives and anatomical considerations. *Journal of Maxillofacial Surgery*, 13, 51-58.
246. Harzer, W., Schneider, M., Gedrange, T., and Tausche, E. (2006). Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 64(8), 1313-1317.
247. Landes, C. A., Laudemann, K., Schübel, F., Petruchin, O., Mack, M., Kopp, S., and Sader, R. A. (2009). Comparison of tooth-and bone-borne devices in surgically

- assisted rapid maxillary expansion by three-dimensional computed tomography monitoring: transverse dental and skeletal maxillary expansion, segmental inclination, dental tipping, and vestibular bone resorption. *Journal of Craniofacial Surgery*, 20(4), 1132-1141.
248. Zandi, M., Miresmaeili, A., and Heidari, A. (2014). Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42(7), 1190-1195.
 249. Nada, R. M., Fudalej, P. S., Maal, T. J., Bergé, S. J., Mostafa, Y. A., and Kuijpers-Jagtman, A. M. (2012). Three-dimensional prospective evaluation of tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(8), 757-762.
 250. Kayalar, E., Schauseil, M., Kuvat, S. V., Emekli, U., and Fıratlı, S. (2016). Comparison of tooth-borne and hybrid devices in surgically assisted rapid maxillary expansion: a randomized clinical cone-beam computed tomography study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(3), 285-293.
 251. Möhlhenrich, S., Modabber, A., Kniha, K., Peters, F., Steiner, T., Hölzle, F., Fritz, U., and Raith, S. (2017). Simulation of three surgical techniques combined with two different bone-borne forces for surgically assisted rapid palatal expansion of the maxillofacial complex: a finite element analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(10), 1306-1314.
 252. Ploder, O., Winsauer, H., Juengling, K., Grill, F., Bissinger, O., Wolff, K. D., and Kolk, A. (2021). Is There a Significant Difference in Relapse and Complication Rate of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion Using Tooth-Borne, Bone-Borne, and Orthodontic Mini-Implant-Borne Appliances? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 79(1), 213-224.
 253. Hartono, N., Soegiharto, B. M., and Widayati, R. (2018). The difference of stress distribution of maxillary expansion using rapid maxillary expander (RME) and maxillary skeletal expander a finite element analysis. *Progress in Orthodontics*, 19(1), 1-10.
 254. Nada, R. M., Fudalej, P. S., Maal, T. J., Bergé, S. J., Mostafa, Y. A., and Kuijpers-Jagtman, A. M. (2012). Three-dimensional prospective evaluation of tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(8), 757-762.
 255. Natali, A. N. (2003). *Dental biomechanics*. (First edition). USA: CRC Press, 58.
 256. Han, U. A., Kim, Y., and Park, J. U. (2009). Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 37(3), 145-154.
 257. Lee, H., Ting, K., Nelson, M., Sun, N., and Sung, S. J. (2009). Maxillary expansion in customized finite element method models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136(3), 367-374.

258. Provatidis, C., Georgiopoulos, B., Kotinas, A., and McDonald, J. (2008). Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo/in vitro and finite element studies. *The European Journal of Orthodontics*, 30(5), 437-448.
259. Wong, R., Tideman, H., Kin, L., and Merckx, M. (2010). Biomechanics of mandibular reconstruction: a review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 39(4), 313-319.
260. Lu, S., Li, T., Zhang, Y., Lu, C., Sun, Y., Zhang, J., and Xu, D. (2013). Biomechanical optimization of the diameter of distraction screw in distraction implant by three-dimensional finite element analysis. *Computers in Biology and Medicine*, 43(11), 1949-1954.
261. Pessoa, R. S., Muraru, L., Júnior, E. M., Vaz, L. G., Sloten, J. V., Duyck, J., and Jaecques, S. V. (2010). Influence of implant connection type on the biomechanical environment of immediately placed implants—CT-based nonlinear, three-dimensional finite element analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 12(3), 219-234.
262. De Vree, J., Peters, M., and Plasschaert, A. (1983). A comparison of photoelastic and finite element stress analysis in restored tooth structures. *Journal of Oral Rehabilitation*, 10(6), 505-517.
263. Ismail, Y., Pahountis, L., and Fleming, J. (1987). Comparison of two-dimensional and three-dimensional finite element analysis of a blade implant. *The International Journal of Oral Implantology*, 4(2), 25-31.
264. İplikçioğlu, H., Akca, K., Cehreli, M. C., and Şahin, S. (2003). Comparison of non-linear finite element stress analysis with in vitro strain gauge measurements on a Morse taper implant. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 18(2) 24.
265. Şimşek, B., Erkmen, E., Yilmaz, D., and Eser, A. (2006). Effects of different inter-implant distances on the stress distribution around endosseous implants in posterior mandible: a 3D finite element analysis. *Medical Engineering & Physics*, 28(3), 199-213.
266. Szwedowski, T. D., Whyne, C. M., and Fialkov, J. A. (2010). Toward characterization of craniofacial biomechanics. *Journal of Craniofacial Surgery*, 21(1), 202-207.
267. Stokes, I. A., Chegini, S., Ferguson, S. J., Gardner-Morse, M. G., Iatridis, J. C., and Laible, J. P. (2010). Limitation of finite element analysis of poroelastic behavior of biological tissues undergoing rapid loading. *Annals of Biomedical Engineering*, 38(5), 1780-1788.
268. Doblare, M., Garcia, J., and Gomez, M. (2004). Modelling bone tissue fracture and healing: a review. *Engineering Fracture Mechanics*, 71(13-14), 1809-1840.

269. Sato, Y., Teixeira, E., Tsuga, K., and Shindoi, N. (1999). The effectiveness of a new algorithm on a three-dimensional finite element model construction of bone trabeculae in implant biomechanics. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26(8), 640-643.
270. Van Zyl, P. P., Grundling, N. L., Jooste, C. H., and Terblanche, E. (1995). Three-dimensional finite element model of a human mandible incorporating six osseointegrated implants for stress analysis of mandibular cantilever prostheses. *The International Journal of Oral Maxillofacial Implants*, 10(1), 51-57.
271. Handelman, C. S. (1997). Nonsurgical rapid maxillary alveolar expansion in adults: a clinical evaluation. *The Angle Orthodontist*, 67(4), 291-308.
272. Handelman, C. (2011). Palatal expansion in adults: the nonsurgical approach. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140(4), 462.
273. Proffit, W., Fields, R., Ackerman, J., Sinclair, P., Thomas, P., and Camilla Tulloch, J. (1993). *Contemporary Orthodontics*. (Third edition). USA: Mosby-Year Book, 54.
274. McNamara, J. A., and Brudon, W. L. (1993). *Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition*. (First edition). USA: Needham Press, 156.
275. McNamara, J. A. (2000). Maxillary transverse deficiency. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 117(5), 567-570.
276. Northway, W. M., and Meade, J. B. (1997). Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. *The Angle Orthodontist*, 67(4), 309-320.
277. Garrett, B. J., Caruso, J. M., Rungcharassaeng, K., Farrage, J. R., Kim, J. S., and Taylor, G. D. (2008). Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(1), 8. e1-8. e11.
278. Kartalian, A., Gohl, E., Adamian, M., and Enciso, R. (2010). Cone-beam computerized tomography evaluation of the maxillary dentoskeletal complex after rapid palatal expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 138(4), 486-492.
279. Latham, R. (1971). The development, structure and growth pattern of the human mid-palatal suture. *Journal of Anatomy*, 108(1), 31.
280. N'Guyen, T., Gorse, F. C., and Vacher, C. (2007). Anatomical modifications of the mid palatal suture during ageing: a radiographic study. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 29(3), 253-259.
281. N'Guyen, T., Ayral, X., and Vacher, C. (2008). Radiographic and microscopic anatomy of the mid-palatal suture in the elderly. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 30(1), 65-68.
282. Mir, K., Mir, A. P. B., Mir, M. P. B., and Haghanifar, S. (2016). A unique functional craniofacial suture that may normally never ossify: A cone-beam computed tomography-based report of two cases. *Indian Journal of Dentistry*, 7(1), 48.

283. MacGinnis, M., Chu, H., Youssef, G., Wu, K. W., Machado, A. W., and Moon, W. (2014). The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex—a finite element method (FEM) analysis. *Progress in orthodontics*, 15(1), 1-15.
284. Basdra, E. K., Zöller, J., and Komposch, G. (1995). Surgically assisted rapid palatal expansion. *Journal of Clinical Orthodontics*, 29(12), 762-766.
285. Verlinden, C. R., Gooris, P. G., and Becking, A. G. (2011). Complications in transpalatal distraction osteogenesis: a retrospective clinical study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(3), 899-905.
286. Pereira, M. D., Koga, A. F., Prado, G. P. R., and Ferreira, L. M. (2018). Complications from surgically assisted rapid maxillary expansion with Haas and Hyrax expanders. *Journal of Craniofacial Surgery*, 29(2), 275-278.
287. Carmen, M., Marcella, P., Giuseppe, C., and Roberto, A. (2000). Periodontal evaluation in patients undergoing maxillary expansion. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 11(5), 491-494.
288. Verquin, M., Daems, L., and Politis, C. (2017). Short-term complications after surgically assisted rapid palatal expansion: a retrospective cohort study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(3), 303-308.
289. Hayward, J., R. Walker, G. Poulton, and W. Bell (1980). Asymmetric mandibular excess, in Surgical correction of dentofacial deformities. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 72(3), 947-953.
290. Newhouse, R. F., Schow, S. R., Kraut, R. A., and Price, J. C. (1982). Life-threatening hemorrhage from a Le Fort I osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 40(2), 117-119.
291. Nowak, R., Olejnik, A., Gerber, H., Frątczak, R., and Zawislak, E. (2021). Comparison of Tooth-and Bone-Borne Appliances on the Stress Distributions and Displacement Patterns in the Facial Skeleton in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion—A Finite Element Analysis (FEA) Study. *Materials*, 14(5), 1152.
292. Ulusoy, Ç., and Dogan, M. (2018). A new method for the treatment of unilateral posterior cross-bite: a three-dimensional finite element stress analysis study. *Progress in Orthodontics*, 19(1), 1-9.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAZAN, Orhan

Uyruğu : T.C.

Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet yılı
Doktora	Gazi Üniversitesi/Diş Hekimliği Fakóltesi/Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/Diş Hekimliği Fakóltesi	2016
Lise	Kırşehir Kaman Anadolu Lisesi	2010

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2016-Halen	Gazi Üniversitesi/Diş Hekimliği Fakóltesi	Doktora

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

1. Toprak ME, Kazan O. Uyuşuk Çene Sendromu veya Malign Mental Nöropati; Klinik Bulgular ve Prognoz Değerlendirmesi. Osmangazi Tıp Dergisi.42(5):226-8
2. Hamed Noury Rad Davaji, Kübra Öztürk, Orhan Kazan, Özlem Gerginok, Sevil Kahraman, Ertan Ali Delilbaşı. 'Eaect Of Radiotherapy On Temporomandibular Joint: A Case Report.' 24th ánternational ScientiÖc Congress of Turkish Association of Oral and Maxillofacial Surgery, Bodrum, Turkey, 2017
3. TOPRAK M. E. , POLAT S. , KAZAN O. An Alternative Solution to Advanced Surgeries for Rehabilitation of Bilateral Maxillary Lateral Agenesis Narrow Diameter ámplants TAOMS 26th ánternational ScientiÖc Congress, Girne, Kıbrıs (Kktc), 28 Nisan - 02 Mayıs 2019
4. Akademisyen yayınevi tarafından Güncel Ağız Diş ve Çene Cerrahisi adlı kitapta Dr. Dt. Mehmet Emin Toprak ile beraber yazdığımız "Çene Ve Yüz Bölgesini Etkileyen Kemik Hastalıkları" kitap bölümümüz Mayıs 2020 yılında yayınlanmıştır.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..

