

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
ORTODONTİ DOKTORA PROGRAMI**

**FARKLI EKSPANSİYON APAREYLERİNİN VE CERRAHİ
KESİLERİN MAKSİLLER EKSPANSİYONA ETKİLERİNİN SONLU
ELEMENLAR ANALİZİYLE İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
ECE MERSAN ATEŞ**

DOKTORA TEZİ

ANKARA – 2024

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
ORTODONTİ DOKTORA PROGRAMI**

**FARKLI EKSPANSİYON APAREYLERİNİN VE CERRAHİ
KESİLERİN MAKSİLLER EKSPANSİYONA ETKİLERİNİN SONLU
ELEMENLAR ANALİZİYLE İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
ECE MERSAN ATEŞ**

DOKTORA TEZİ

**TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. HANDE PAMUKÇU**

ANKARA – 2024

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ortodonti Anabilim Dalı Ortodonti Doktora Programı çerçevesinde Dt. Ece Mersan ATEŞ tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 18/07/2024

Tez Adı: Farklı Ekspansiyon Apareylerinin ve Cerrahi Kesilerin Maksiller Ekspansiyona Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analiziyle İncelenmesi

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Dr. A. ... (Başkan, Ortodonti)	
Dr. B. ... (Üye, Ortodonti)	
Dr. C. ... (Üye, Ortodonti)	
Dr. D. ... (Üye, Ortodonti)	
Dr. E. ... (Üye, Ortodonti)	

ONAY

Enstitü Müdürü
Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 13/06/2024

Öğrencinin Adı, Soyadı: Ece Mersan ATEŞ

Öğrencinin Numarası: 22010132

Anabilim Dalı: Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Programı: Ortodonti Doktora Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı:

Tez Başlığı: Farklı Ekspansiyon Apareylerinin ve Cerrahi Kesilerin Maksiller Ekspansiyona Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analiziyle İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 66 sayfalık kısmına ilişkin, 13/06/2024 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %14'tür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:

ONAY

Tarih: ... / ... /

.....

İTHAF

Bu tezi, tüm başarılarımın perde arkasındaki mimarı ve hayata gözlerimi açtığım ilk
günden beri en büyük destekçim olan canım annem ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Tüm doktora eğitim sürecim boyunca her anımda bana destek olan, sadece akademik olarak değil hayatımdaki bütün önemli kararlarımda bana yol gösteren, araştırmayı ve öğrenmeyi bana sevdiren, en zorlandığım anlarda bana ışık olarak yolumu aydınlatan çok kıymetli danışman hocam

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, ortodonti doktoramın her anında bana yol gösteren çok değerli hocam ,

Asistanlığım süresince bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve kendisinden çok şey öğrendiğim Başkent Üniversitesi Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam

Tezim ve doktora eğitimi sürecimde tecrübesi ve çok kıymetli bilgileriyle bana destek olan sayın hocalarım Prof. Dr. Arman Çirpici, Prof. Dr. Nur D. ,

Katkılarını ve desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. ,

Tezimin araştırma aşamasında bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen çok kıymetli hocalarım Nur D. , Arman Çirpici, Dr. Ç. ,

En güzel anılarıma imza atan, tüm zorlukları birlikte aştığımız, bu 4 yılı güzel ve anlamlı kılan, her an desteklerini kalbimde hissettiğim, bu sürecin bana en güzel katkısı olan, çok kıymetli kıdem arkadaşlarım

Hem sosyal hayatta hem de eğitim sürecimizde birlikte çok güzel zamanlar geçirdiğimiz, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyeceklerini bildiğim tüm asistan arkadaşlarıma,

Benimle birlikte büyüyen ve her anımda benimle olan, iyisiyle kötüsüyle tüm kararlarımda sonsuz desteklerini hissettiğim, hayatımın sonuna kadar birlikte yürüyeceğimizi bildiğim güzel dostlarım

Her düştüğümde ellerimden sıkı sıkı tutan, bugünlerime gelmemi sağlayan, emeğini ve sevgisini kalbimin en derinlerinde hissettiğim, bu başarıyı ilmek ilmek dokuyan canım annem ve desteğini hep omzumda hissettiğim

Sonsuz teşekkür ederim...

ÖZET

Ece Mersan ATEŞ, Farklı Ekspansiyon Apareylerinin ve Cerrahi Kesilerin Maksiller Ekspansiyona Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analiziyle İncelenmesi, Başkent Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti Doktora Programı, Doktora Tezi, 2024.

Amaç: Ortodontide rapid maksiller ekspansiyon protokolü ile maksillada iskeletsel transversal darlığın tedavisi sağlanır, bu yöntem fizyolojik sınırı aşan bir kuvvet iletimi sayesinde midpalatal suturanın ayrımını sağlar. Erişkinlerde ekspansiyonun yan etkilerinden kaçınmak için rutinde cerrahi destekli rapid maksiller ekspansiyon (SARPE) protokolü uygulanmaktadır. Son yıllarda ise özellikle SARPE'ye alternatif bir protokol olarak mini vida destekli rapid maksiller ekspansiyon (MARPE) protokolü uygulanmaya başlamıştır. Bu çalışmanın amacı, farklı cerrahi tekniklerin ve üç farklı ekspansiyon apareyinin yetişkinlerde maksiller ekspansiyon üzerindeki etkisini, maksillada yer değiştirme ve çevre yapılar üzerindeki strese odaklanarak sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanarak değerlendirmektir.

Gereç ve yöntem: ANSYS yazılımı kullanılarak; MARPE, SARPE'de uygulanan farklı cerrahi yaklaşımlar ve üç farklı ekspansiyon apareyini karşılaştırmak için yedi FEA modeli oluşturulmuştur. Model I, cerrahi yapılmadan mini vidalar ile sadece kemikten destek alan MARPE ekspansiyon apareyidir. Model II, Model III ve Model IV, pterygomaksiller sutura (PMS) ayrımı yapılmadan oluşturulan SARPE modelleridir. Model V, Model VI ve Model VII ise PMS ayrımı olan SARPE modelleridir.

Bulgular: PMS ayrımı olmayan modellerde, ikinci molar diştten santral kesici dişe doğru z eksenine boyunca yer değiştirmede bir artış görülürken, PMS ayrımı olan modellerde tüm dişlerde eşit miktarda yer değiştirme bulunmuştur. Tüm modellerde, z eksenine boyunca yer değiştirme miktarı medial pterygoid çıkıntıda lateral pterygoid çıkıntıya göre daha fazla olmuştur. Stres analizine göre en yüksek stres, Model I'de gözlenmiştir.

Sonuç: MARPE modelinin mini vida bölgesinde stres değerleri belirgin bir şekilde daha yüksektir. Çeşitli ekspansiyon apareyi tasarımları, PMS ayrımı yapılan SARPE modellerinde birbirine çok yakın ve sifıra yakın stres seviyeleri göstermiştir. MARPE modeli maksillada transversal ve yukarı doğru bir rotasyon göstermiştir. PMS ayrımı yapılmayan SARPE modellerinde, maksillada 'V' şeklinde bir ekspansiyon modeli gözlenmiştir. Bunun aksine, PMS ayrımı yapılan modellerde maksillada paralel bir ekspansiyon modeli gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hızlı maksiller genişletme, Minivida destekli hızlı maksiller genişletme, Palatal genişletme teknikleri, Pterygomaksiller sutura, Sonlu elemanlar analizi

Bu tez çalışması Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu tarafından onaylanmış (Proje no: D-KA23/02) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir.



ABSTRACT

Ece Mersan ATEŞ, Investigation of the Effects of Different Expansion Appliances and Surgical Incisions on Maxillary Expansion by Finite Element Analysis, Baskent University, Health Sciences Institute, Orthodontics PhD Program, PhD Thesis, 2024.

Objective: In orthodontics, the rapid maxillary expansion protocol is used to treat skeletal transversal stenosis of the maxilla, which allows the separation of the midpalatal suture by means of a force transmission that exceeds the physiological limit. In adults, the surgically assisted rapid maxillary expansion (SARPE) protocol is routinely used to avoid the side effects of expansion. In recent years, the miniscrew-assisted rapid maxillary expansion (MARPE) protocol has been used as an alternative protocol to SARPE. The aim of this study was to evaluate the effects of different surgical techniques and three different expansion appliances on maxillary expansion in adults using finite element analysis (FEA), focusing on maxillary displacement and stress on surrounding structures.

Materials and methods: Seven models were created using ANSYS software to compare different surgical approaches to MARPE, SARPE, and three different expansion appliances. Model I is the MARPE expansion appliance, which is supported with miniscrews without surgical assistance. Model II, Model III and Model IV are SARPE models without pterygomaxillary suture (PMS) separation. Model V, Model VI and Model VII are SARPE models with PMS separation.

Results: In the models without PMS separation, there was an increase in displacement along the z-axis from the second molar to the central incisor, whereas in the models with PMS separation, an equal amount of displacement was found in all teeth. In all models, the amount of displacement along the z-axis was greater in the medial pterygoid process than in the lateral pterygoid process. According to the stress analysis, the highest stress was observed in Model I.

Conclusion: The stress values were significantly higher in the miniscrew region of the MARPE model. The various appliance designs showed near zero stress levels in the PMS separated SARPE models. The MARPE model showed a transversal and upward rotation of the maxilla. In SARPE models without PMS separation, a 'V' shaped expansion pattern was observed in the maxilla. In contrast, a parallel expansion pattern in the maxilla was observed in the models with PMS separation.

Keywords: Finite element analysis, Miniscrew assisted rapid maxillary expansion, Palatal expansion techniques, Pterygomaxillary suture, Rapid maxillary expansion

This study has been approved by the Başkent University Medical and Health Sciences Research Board (Project no: D-KA23/02) and funded by the Başkent University Research Fund.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Maksiller Transversal Darlık.....	4
2.1.1 Maksiller transversal darlık insidansı.....	4
2.1.2 Maksiller transversal darlığın etiyo lojisi.....	4
2.2. Rapid Maksiller Ekspansiyonun Endikasyonları.....	6
2.3. Maksiller Ekspansiyonda Yaş Faktörünün Değerlendirilmesi.....	6
2.4. Hızlı Maksiller Ekspansiyonda Kullanılan Apareyler.....	8
2.4.1. Diş destekli ekspansiyon apareyleri.....	8
2.4.1.1. Hyrax ekspansiyon apareyi.....	8
2.4.1.2. Modifiye hyrax apareyi.....	9
2.4.1.3. Rijit akrilik bonded ekspansiyon apareyi.....	10
2.4.1.4. Fan type ekspansiyon apareyi.....	11
2.4.2. Diş-doku destekli ekspansiyon apareyleri.....	12
2.4.2.1. Haas apareyi.....	12
2.4.3. Diş-kemik destekli (hibrit) ekspansiyon apareyleri.....	13
2.4.4. Kemik destekli ekspansiyon apareyleri.....	14
2.5. Cerrahi Destekli Rapid Maksiller Ekspansiyon (SARPE)	15
2.6. Cerrahi Destekli Maksiller Ekspansiyonda Kullanılan Farklı Cerrahi Teknikler.....	17
2.7. Mini Vida Destekli Hızlı Maksiller Ekspansiyon (MARPE).....	18
2.8. Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis-FEA).....	20
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	22
3.1. Sonlu elemanlar analizi modelinin oluşturulması.....	22
3.2. Sınır Koşulları.....	34
3.3. Sonlu Elemanlar Modeli.....	35

4. BULGULAR.....	37
4.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	37
4.2. X ve Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	38
4.3. Gerilme(Stres) Dağılımı.....	46
5. TARTIşMA.....	54
5.1.Amacın Değerlendirilmesi.....	54
5.2. Gereç ve Yöntemin Değerlendirilmesi.....	56
5.3. Bulguların Değerlendirilmesi.....	58
5.4. Çalışmanın Limitasyonları ve Klinik Öneriler.....	62
6. SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Sonlu eleman modeli malzeme özellikleri.....	25
Tablo 2: Modellerin karşılaştırmalı gösterimi.....	27
Tablo 3: Sonlu eleman modeli eleman ve düğüm sayısı, ağ boyutu, eleman tipi ve ortalama çarpıklık eleman kalitesi yakınsama değerleri.....	36
Tablo 4: Tüm modellerde maksiller ekspansiyonun 5 mm aktivasyonundan sonra yöne bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm).....	40
Tablo 5: Maksiller ekspansiyon aktivasyonunun 5 mm'sinden sonra değerlendirilen yapıların ortalama elemental stres (von Mises stresi ve birincil asal stres) dağılımı.....	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Hyrax Ekspansiyon Apareyi.....	9
Şekil 2: Modifiye Hyrax Ekspansiyon Apareyi.....	9
Şekil 3: Rijit Akrilik Bonded Ekspansiyon Apareyi.....	11
Şekil 4: Fan Type Ekspansiyon Apareyi.....	12
Şekil 5: Haas Ekspansiyon Apareyi.....	13
Şekil 6: Hibrit-Hyrax Ekspansiyon Apareyi.....	13
Şekil 7: Kemik Destekli Ekspansiyon Apareyi.....	15
Şekil 8: Kraniofasiyal yapı, diş, sutura, genişletme apareyi ve PDL simetri modeli.....	23
Şekil 9: Kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapıların simetrik bir modeli ve tüm modelin ağ yapısı. 10 düğümlü dört üçgen yüzlü (kuadratik tetrahedral) ve 20 düğümlü, altıgen (kuadratik hexahedral) ağ eleman tipine bölünmüş modelin frontal görünüşü.....	24
Şekil 10: Model-I; Hiçbir cerrahi osteotomi yapılmayan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplamda 5 mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla gösterilen).....	28
Şekil 11: Model-II; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5 mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.....	29
Şekil 12: Model-III; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, 2 mini vidalı diş-kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.....	30
Şekil 13: Model-IV; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, dijital diş destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.....	31
Şekil 14: Model-V; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.....	32
Şekil 15: Model-VI; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, 2 mini vidalı diş-kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.....	33
Şekil 16: Model-VII; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, dijital diş destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.....	34

Şekil 17: Model-I, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	42
Şekil 18: Model-II, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	43
Şekil 19: Model-III, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	43
Şekil 20: Model-IV, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	44
Şekil 21: Model-V, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	44
Şekil 22: Model-VI, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	45
Şekil 23: Model-VII, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal).....	45
Şekil 24: Model-I, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	50
Şekil 25: Model-II, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	50
Şekil 26: Model-III, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	51
Şekil 27: Model-IV, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	51
Şekil 28: Model-V, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	52
Şekil 29: Model-VI, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal).....	52
Şekil 30: Model-VII, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapıda ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)	53

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ark.	arkadaşları
ANS	anterior nazal spina
BT	bilgisayarlı tomografi
CBCT	cone beam computed tomography (konik ışınlı bilgisayarlı tomografi)
Ex, Ey, Ez	üç yönde elastik modülü
FEA	finite element analysis (sonlu elemanlar analizi)
Gxy, Gyz, Gxz	üç yönde kayma modülü
Inc	incorporated company (Anonim Şirketi)
MARPE	mini vida destekli hızlı maksiller genişletme
mm	milimetre
MPa	megapascal
MRI	magnetic resonance imaging (manyetik rezonans görüntüleme)
Ni-Ti	nikel titanyum
PDL	periodontal ligament
PMS	pterygomaksiller sutura
PNS	posterior nazal spina
RME	rapid maksiller ekspansiyon
SARPE	cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme
T0	tedavi başı
T1	tedavide aktif ekspansiyon sonu
T2	6 aylık pekiştirme sonrası apareyin çıkarıldığı zaman
TD	transpalatal distraktör

TME	temporomandibuler eklem
V_{xz}, V_{yz}, V_{zx}	üç yönde poisson oranı
.stl	standard triangle language
'e'	üstel
%	yüzde
°	derece
3D	3 dimensional (3 Boyutlu)
μ, α, D	malzeme parametresi



1.GİRİŞ

Ortodontide hızlı maksiller genişletme protokolü; maksiller dişlere, palatal kemik ve dentoalveolar yapılara transversal yönde uygulanan ve fizyolojik sınırları aşan bir kuvvet ile median palatal suturanın ayrılması ve maksillanın transversal yönde genişletilmesi işlemidir (1). Ekspansiyon için kullanılan ve sadece diştten destek alan apareylerin; posterior dişlerin bukkale devrilmesi (2), bukkal kemik kalınlığında ve bukkal krestal kemik seviyesinde kayıp (3), bukkal kök rezorpsiyonu (4) gibi bazı yan etkileri bulunmaktadır. Bu yan etkilerden kaçınmak için, palatal ekspansiyona genel anestezi altında LeFort I düzeyinde kısmi bir maksiller osteotomi eşlik edebilmektedir ve bu prosedür cerrahi destekli hızlı maksiller ekspansiyon (SARPE) olarak bilinir (5).

SARPE için farklı osteotomiler uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, mevcut literatürde minimum cerrahi teknik konusunda henüz bir fikir birliği oluşturulmamıştır ve cerrahların eğitim ve tercihlerine göre değişmektedir (6). Bu konu üzerinde farklı bakış açıları mevcut olup, bazıları sıralı pterygoid ve midpalatal osteotomileri ve ardından paramedian osteotomileri içeren tüm maksiller direnç alanlarının kapsamlı bir şekilde ayrılmasını savunmaktadır (7). Buna karşılık, diğer çalışmalar pterygomaksiller sutura (PMS) ayrımının gereksiz olduğunu savunmaktadır (8). Her iki tekniğin de iskeletsel ve dental değişimlerde küçük farklılıklarla birlikte, maksiller ekspansiyon elde etmek için güvenilir olduğu düşünülmektedir. PMS ayrımı yapılan SARPE, bütün posterior kemik direncini tamamen ortadan kaldırmaz, bunun yerine kemik hareketini kolaylaştırır. Bazı çalışmalar, bu tekniğin özellikle fazla ekspansiyon gerektiren şiddetli iskeletsel posterior çapraz kapanış vakalarında, posterior palatal bölgenin daha önemli ölçüde ekspansiyonunu desteklediğini öne sürmüştür (9). Bununla birlikte, SARPE bazı komplikasyonlara yol açabilmekte, ek zaman ve finansal maliyetlere neden olabilmektedir. PMS ayrımı yapılmadan SARPE ile minör komplikasyonların görülme sıklığında artış olduğu gösterilmiştir (%29,95'e karşı %16,87) (10). Sistematik bir derleme, PMS ayrımı ile SARPE'nin sonuçlarına ilişkin mevcut literatürde yeterli bilgi bulunmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, yazarlar bu alanda daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır (11).

Son yıllarda, mini vida destekli hızlı maksiller ekspansiyon (MARPE), SARPE'ye potansiyel bir alternatif olarak popülerlik kazanmıştır (12). Ortodontik mini vidaların kullanımı, dişler üzerindeki istenmeyen etkileri en aza indirirken iskeletsel maksiller

ekspansiyon sağlayabilen maksiller ekspansiyon apareylerinin farklı tasarımlarını kolaylaştırmıştır (13). Yakın zamanda yapılan bir çalışma, MARPE'nin maksillayı genişletmek için etkili bir tedavi yaklaşımı olduğunu, ortalama başarı oranının %92,5 olduğunu ve hem iskeletsel (2,33 mm) hem de dental (6,55 mm) transversal maksiller ekspansiyonu sağladığını göstermiştir. Bu sonuçlar, klinik olarak SARPE ile elde edilen ekspansiyona benzerdir (14). Ek olarak, nispeten kısa tedavi süresine rağmen MARPE'nin dental ve periodontal yan etkilere neden olabileceğine ve perioral yumuşak dokular üzerinde de yan etkisi olabileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır (15).

Palatal kemik; kök hareketlerine engel olmaması, yeterli kortikal kemik kalınlığına sahip oluşu ve gerektiği zaman tedavi planında biyomekanik değişikliklere izin vermesi nedeniyle en optimal mini vida yerleştirme alanı olarak görülmektedir (16). Yapılan araştırmalara göre palatal bölgede mini vida yerleşimi için en çok kullanılan alanlar, kanin-1. premolar ile 2. premolar-1. molar arasında palatal suturanın en az 3 mm laterali ve 3. ve 4. ruga seviyesidir. Kemik kalınlıkları bireylerde değişiklikler gösterse de anterior palatal bölge, damar sinir paketine uzak olması ve ince bir mukozaya sahip olması nedeniyle en sık tercih edilen alandır (17).

Literatürdeki çok sayıda çalışma, mekanik ortodontik hareketlerin simülasyonları sırasında kraniyofasiyal yapılar, dişler ve periodontal ligament (PDL) gibi dokular üzerindeki yer değiştirme ve stresi incelemek için sonlu elemanlar analizini (FEA) kullanmıştır (18-22). Bu yaklaşım, MARPE ve SARPE gibi prosedürlerin biyomekanik etkilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak tanıyarak, bu biyolojik dokulardaki stres ve deformasyon dağılımına ilişkin öngörüler sağlamaktadır. Bu öngörüler klinik pratiğe katkı sağlaması açısından değerli bilgilerdir. FEA, tedavilerin optimizasyonuna önemli ölçüde katkıda bulunarak daha iyi tedavi planlamasına yardımcı olup potansiyel olumsuz etkileri azaltmaktadır.

Bu gözlemler ışığında çalışmamızın amacı, farklı cerrahi tekniklerin (MARPE, PMS ayrımı yapılan/ PMS ayrımı yapılmayan SARPE) ve üç farklı ekspansiyon apareyinin (kemik destekli 4 vidalı ekspansiyon apareyi, diş-kemik destekli hibrit hyrax apareyi, diş destekli dijital tasarlanmış hyrax apareyi), maksiller darlığı olan yetişkin hastalarda maksiller ekspansiyon üzerindeki etkisini sonlu elemanlar analizi kullanarak değerlendirmektir. Bu çalışma aynı zamanda maksilladaki yer değiştirme miktarını ve çevre yapılara uygulanan stres miktarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmanın sıfır hipotezi, çeşitli cerrahi

tekniklerin ve farklı tipteki ekspansiyon apareylerinin maksiller ekspansiyon üzerindeki etkileri arasında fark olmayacaktır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Maksiller Transversal Darlık

Ortodontinin temel hedefi, stomatognatik sistemdeki düzensizlikleri tedavi ederek hastalara ideal fonksiyon ve estetik kazandırmaktır. Ortodontik problemler; sagittal, vertikal ve transversal yönde olabilir. Maksillanın transversal yetersizliği, tek veya çift taraflı posterior çapraz kapanışlara neden olmaktadır (23). Maksiller darlığın tedavisi Hipokrat'tan bu yana incelenmiştir, ancak 1861'de Angell'ın midpalatal suturayı ortopedik kuvvetlerle açmasıyla birlikte ortodontide yeni bir dönem başlamıştır (24,25). 1961'de Haas tarafından tanıtilen rapid maksiller ekspansiyon (RME) apareyi en yaygın kullanılan ortodontik tedavi aracı olmuştur (26). Sonraki yıllarda geliştirilen yeni RME apareyleri ve modifikasyonları, klinisyenlere çeşitli tedavi alternatifleri sunmuştur.

2.1.1 Maksiller Transversal Darlık İnsidansı

1963 ve 1970 yılları arasında Amerika'da yapılmış iki farklı epidemiyolojik çalışmada, posterior çapraz kapanış görülme sıklığı 6-11 yaşları arasında beyaz ırkta %4,9, siyah ırkta %5,3; 12-17 yaşları arasında ise beyaz ırkta %5,9, siyah ırkta %8 olarak bulunmuştur (27). Helm'in (28) Danimarkalı adölesanlarda yaptığı bir çalışmada ise bu oran, kızlarda %14, erkeklerde %9,4 olarak gözlenmiştir. Türk toplumunda ise çapraz kapanış görülme insidansı %2,7 olarak bulunmuştur (29).

Kutin ve Hawes (30), posterior çapraz kapanışın görülme sıklığını süt dentisyonda %8, karma dentisyonda ise %7,2 olarak rapor etmişlerdir. Hanson ve ark. (31), süt dentisyonda bu oranı %12 olarak belirlemişlerdir. Da Silva ve ark. (32), Brezilyalı çocuklarda bu oranın %18,2 olduğunu tespit etmişlerdir. Thilander ve ark. (33) ise, karma dentisyonda posterior çapraz kapanışın %8 ile %16 arasında olduğunu göstermişlerdir.

2.1.2 Maksiller Transversal Darlığın Etiyolojisi

Thilander ve ark., süt dentisyon döneminde genellikle unilateral çapraz kapanışın parmak emme alışkanlığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir (33). Proffit ise kronik nazal obstrüksiyon veya nazal enflamasyon sonucu gözlenen ağız solunumunun, mandibulanın

posterior rotasyonuna, dilin maksilla yerine mandibulada konumlanmasına ve bu durumun maksiller darlığa yol açabileceğini ifade etmiştir (27). Fonksiyonel çapraz kapanışın görülme sıklığı, süt ve karma dentisyon dönemlerinde daha fazladır. Bu durumda, istirahat pozisyonunda alt çene normal konumda iken, maksillada dental ark daha dar olduğu için mandibulanın kapanış sırasında laterale kaymasıyla, posterior çapraz kapanış oluşabilmektedir. Bu problemin tedavisi yapılmazsa, temporomandibular eklemden (TME) fonksiyonel kaymalara ve çenelerin asimetrik dentoalveolar gelişimine yol açabilmektedir (27).

Kutin ve Hawes (30), maksiller darlığın nedenleri arasında süt dişlerinin persiste kalması, prematür kontakların varlığı, çapraşıklık, parmak emme, dudak damak yarıkları ve diş/ark boyut uyumsuzluklarını göstermişlerdir. Harvold ve ark. (34), Rhesus maymunlarında yapılan bir çalışmada nazal bir tıkanıklık oluşturmuş ve bu durumun dar maksiller dental ark oluşumuna sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Linder-Aronson (35), nazal tıkanıklığı olan hastalarda maksiller darlığın yaygın olarak görüldüğünü, ancak erken müdahalelerle nazal solunumun normale dönebileceğini belirtmişlerdir.

Warren ve ark.'nın (36) yaptıkları bir çalışmanın sonuçlarına göre; adenoid yüz tipine sahip hastalarda, yüksek nazal rezistans nedeniyle ağız solunumu yaygın olarak görülmekte ve bu durum protrüze üst kesicilere, retrognatik mandibulaya, V şeklinde bir maksillaya, dar maksiller dental arka, zayıf ve kısa üst dudağa, ağız çevresindeki kasların zayıflamasına sebep olabilmektedir. Sonuç olarak, bu hastalarda istirahatte dudakların kapanamadığı görülmektedir.

Dental posterior çapraz kapanış, diş kavislerinin daralmaksızın dişlerin palatine doğru devrik olmasıyla karakterizedir ve bu durum tek bir dişi veya bir diş grubunu kapsayabilir (27,37). Dental posterior çapraz kapanış genellikle lokal faktörler sebebiyle ortaya çıkar. İskeletsel posterior çapraz kapanışta ise, maksilla ve mandibula arasındaki transversal uyumsuzluk çoğunlukla maksillanın tek veya çift taraflı olarak iskeletsel olarak daralmasından kaynaklanır. Maksillanın normal gelişimi ve mandibulanın fazla gelişimi de posterior çapraz kapanışa sebep olabilir (27,38). Literatürde, maksiller darlığın; Binder sendromu, dudak-damak yarıkları, akondroplazi gibi sendromlarla da ilişkili olabileceği de gösterilmiştir (38).

2.2. Rapid Maksiller Ekspansiyonun Endikasyonları

Rapid maksiller ekspansiyonun (RME) endikasyonlarını inceleyecek olursak;

-RME, transversal yönde posteriorda unilateral ya da bilateral crossbite bulunan hastalarda tedavi için uygun bir yöntemdir. Çapraz kapanış tüm dişleri kapsayabileceği gibi bir grup dişte de görülebilir (1,39,40).

-Üst çenesi kollabe olan dudak damak yarığı bulunan hastalarda da RME önerilmektedir (37,41).

-Orta şiddetli dişsel çapraşıklık bulunan hastalarda, çekim yapılmayacak olan sınır durumlarda ark genişliğini artırabilmek amacıyla uygulanabilmektedir (38,42,43).

-Gülüş sırasında karanlık bukkal koridorları geniş olan ve bu durumun gülüş estetiğini bozduğu düşünülen durumlarda, tedavinin çekimli ya da çekimsiz olmasına bakmaksızın maksiller ekspansiyon yapılabileceği belirtilmektedir. Maksillada kanin dişler arasındaki mesafenin artışıyla birlikte karanlık bukkal koridorların ortadan kalkacağı ve daha estetik bir gülüş oluşacağı belirtilmektedir (23).

-RME, fonksiyonel ortopedik tedavilere hazırlık veya ortognatik cerrahiye hazırlık aşamasında uygulanabilmektedir (44)

-Yüz maskesi kullanımı öncesi maksilladaki sutural sistemin hareketlendirilmesi ve bu şekilde yüz maskesinin maksilla üzerine ortopedik etkisinin artırılması için uygulanabilmektedir (44-46).

-Kondiler pozisyonun asimetric olduğu durumlarda, RME ile elde edilen iskeletsel yanıtın posterior dişleri normal okluzyona yönlendirme etkisinden faydalanmak için kullanılabilmektedir (47).

-Sınıf II veya Sınıf III maloklüzyonu bulunan hastalarda anteroposterior düzeltim sağlandıktan sonra posterior bölgede doğru olmayan bir bukkolingual ilişki oluşacaksa bu durumu önceden öngörerek RME uygulanabilmektedir (39,48).

-Sınıf II maloklüzyonlarda doğru bir yaşta müdahale edilen durumlarda erken dönemde yapılan RME sonrası mandibulanın serbestleşerek anteriora hareketi ile hafif ya da orta şiddette Sınıf II maloklüzyonların düzeltilebileceği görülmüştür (23).

2.3. Maksiller Ekspansiyonda Yaş Faktörünün Değerlendirilmesi

Björk ve Skieller'in (49) yaptıkları implant çalışmasında, median palatal suturadaki büyüme yetişkin döneme kadar sürmektedir. Sutural maturasyonun tamamlanma yaşı

ortalama olarak 17'dir. Baccetti ve ark. (50), pubertal büyüme en yüksek seviyeye ulaşmadan önce yapılan rapid maksiller ekspansiyon ile hem maksillada hem de çevre yapılarda iskeletsel düzeydeki transversal ekspansiyonun daha fazla olacağını belirtmişlerdir ve pubertal atılımdan sonra yapılan ekspansiyonda etkinin iskeletsel etkiden dental etkiye kayacağını göstermişlerdir. Sarı ve ark. (51), RME'nin karma ve daimi dentisyon dönemindeki etkilerini karşılaştırmışlar ve erken yaşlarda oluşan ortopedik etkinin beklenenin altında kaldığını, RME tedavisi için erken daimi dentisyon dönemine kadar beklemenin daha iyi bir seçenek olacağını belirtmişlerdir.

Bishara ve Staley (38), optimal maksiller ekspansiyon zamanlamasının 13-15 yaş öncesi olduğunu belirtmiş, daha büyük yaştaki hastalarda da maksiller ekspansiyonun mümkün olabileceğini fakat sonuçların tahmin edilebilir ve stabil olmayacağını bildirmişlerdir. Wertz (39), yaş büyüdükçe iskeletsel komponentlerin rijiditesinin artacağını ve bu yüzden ortopedik etkinin azalacağını belirtmiştir.

Zimring ve Isaacson (52), hızlı maksiller ekspansiyon sonucu oluşan kuvvetleri inceledikleri araştırmalarının sonucu olarak, artan yaş ve olgunlaşma ile fasiyal iskeletsel yapının ekspansiyona karşı direncinin artacağını belirtmişlerdir. İskeletsel olarak sutural maturasyonu tamamlanmış hastalarda yapılan RME işlemi, destek alınan dişlerde lateral tippinge, periodontal ligamentte sıkışmaya, bukkal kemikte fenestrasyona, ekstrüzyona, bukkal kök rezorpsiyonuna, palatal doku nekrozuna, alveolar kemikte eğilmeye, midpalatal suturada yetersiz açılmaya, ağrıya ve ekspansiyonun yetersiz stabilizasyonu gibi istenmeyen yan etkilere sebep olabilmektedir (52-55). Bu yüzden hastanın yaşı; pek çok yazar ve klinisyen tarafından posterior çapraz kapanışın tedavisinde RME'ye karşı cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinin (SARPE) ayırt edici temel bir kaidesi olarak görülmektedir. Epker ve Wolford (56) 16 yaşından büyük olan hastalarda, Mossaz ve ark. (57) ise 20 yaşından büyük hastalarda RME işlemi ile cerrahi desteğin de tedaviye eklenmesini tavsiye etmişlerdir. Alpern ve Yurosko (55) ise, cerrahi destek için cinsiyetin de bir seçim kriteri olduğunu, 25 yaşından büyük erkek hastalarda ve 20 yaşından büyük kadın hastalarda SARPE uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir.

2.4. Rapid Maksiller Ekspansiyonda Kullanılan Apareyler

2.4.1. Diş Destekli Ekspansiyon Apareyleri

2.4.1.1. Hyrax Ekspansiyon Apareyi

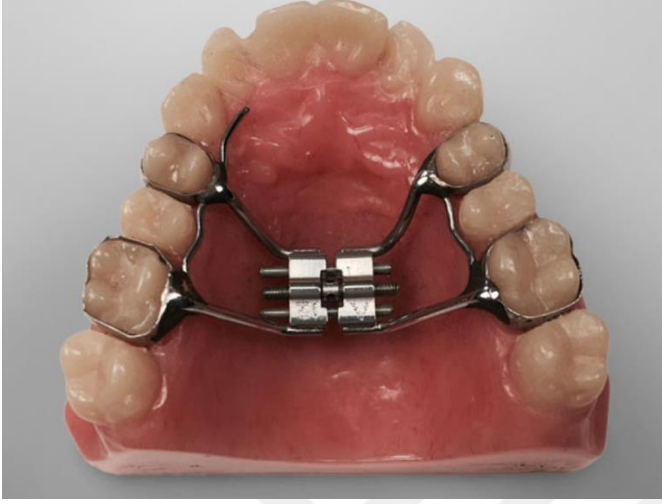
1968 yılında William Biedarman tarafından geliştirilen ve ‘Hygenic Rapid Expander’ sözcüklerinin kısaltılmış hali olan Hyrax apareyi, sadece diştten destek alan bir apareydir (Şekil 1). Metalden oluşan apareyin tasarımında palatal bölgede yer alan vidanın kollarının konturlara uyacak şekilde bükümü sağlanmaktadır ve aparey hastanın dişlerine uygun bantlar ile üst birinci premolar ve birinci molar dişlere simante edilmektedir. Tamamen metalden oluştuğu için akrilik kullanılan aparey tasarımlarına göre daha az mukozal doku irritasyonuna sebep olmakla birlikte çok daha hijyeniktir (58).

Zamanla bu apareyin tasarımında farklı değişiklikler yapılmıştır. Cozza ve ark. (59), karma dentisyon döneminde “butterfly expander” ismini verdikleri aparey olan süt ikinci molar dişlerden destek alan bantlanmış bir hyrax aparey modifikasyonunu kullanmışlardır. Bonetti ve ark. (60), şiddetli maksiller iskeletsel darlığı bulunan hastalarda birden fazla vida ve cerrahi destek gerektiğinde kolayca çıkarılıp yenilenebilmesini sağlayan ‘disconnectable rapid palatal expander’ adını verdikleri bir aparey üretmişlerdir. Bu apareyin tasarımında birinci premolar ve birinci molar dişlere simante edilen bantların palatinalinde takılıp çıkartılmasını sağlayan özel slotlar vardır. Bu slotlar sayesinde aparey istendiğinde takılıp çıkarılabilmektedir.

Lamparski ve ark. (61), vidanın premolarlara uzanan kollarının kesilmesi ve sadece birinci molarlardan destek alan lehimli iki bantlı genişletme aparey tasarımını önermiştir. Bu aparey tasarımında kuvvet direkt molar dişlere uygulanacak şekilde modifiye edilmiştir, günümüzde sıklıkla bu aparey tasarımı kullanılmaktadır. Wichelhaus ve ark. (62), premolar ve molar dişlerdeki bantlara lehimlenen hyrax vidasının haznesinde sürekli bir kuvvet uygulanmasını sağlayan Ni-Ti açık coil springler bulunduran ‘Ni Ti hızlı maksiller ekspansiyon apareyi’ adını verdikleri hyrax modifikasyonunu üretmişlerdir.

Hafif orta dereceli maksiller transversal darlığı olan olan geç karışık ve erken daimi dentisyon döneminde Hyrax, daha şiddetli darlığı olan erken daimi dentisyon veya orta

dereceli darlığı olan geç dönem adolesanlarda ise Haas apareyinin daha uygun olduğu belirtilmiştir. Aparey tercihi yaparken ankraj gereksinimi ve hastanın yaşı mutlaka dikkate alınmalıdır. Literatürde geleneksel Hyrax aparey tasarımının üst anterior ve alt dişlerde daha etkili olduğu gösterilmiştir (23).



Şekil 1. Hyrax Ekspansiyon Apareyi

2.4.1.2. Modifiye Hyrax Apareyi

Hyrax apareyine, hastada vertikal yön kontrolünü sağlayabilmek için, posterior bölgede dişlerin okluzal, bukkal ve palatal yüzeylerini kaplayacak şekilde akrilik ilave edilerek elde edilen bir aparey tasarımıdır (63,64) (Şekil 2).



Şekil 2. Modifiye Hyrax Ekspansiyon Apareyi

2.4.1.3. Rijit Akrilik Bonded Ekspansiyon Apareyi

Cohen ve Silverman (65) tarafından, 1973 yılında tanıtılan akrilik bonded ekspansiyon apareyi tasarımı, premolarlar arasına konan bir vida ve posterior dişlerin tüm yüzeyleri akrilikle kaplı olan “Mc Namara Tipi” olarak da adlandırılan diş destekli bir ekspansiyon apareyidir (Şekil 3).

Akrilik cap splintli apareyin avantajları arasında; iskeletsel etkinin artması, rijit bir aparey tasarımı olması, posterior bite block etkisi ile anteriordaki çapraz kapanışın daha kolay düzeltilebilmesine olanak sağlaması, mandibulanın posterior rotasyonunu azaltması, yapımının kolay olması, dişlerde daha az tipping ve ekstrüzyona neden olması, vertikal kontrolü artırması, dişlerde daha az kök rezorbsiyonuna sebep olması, apareyin tasarımı dolayısıyla alt çene serbestleştiği için temporomandibular eklemden oluşabilecek travmayı minimize etmesi, interdijitasyonun kalkması ile mandibulanın da spontan ekspansiyon olabildiğini sağlaması, farklı vida sistemleri ile kolayca uygulanabilir olması sayılabilirken; en büyük dezavantajları ise hijyen problemi, çıkarıldığında diş etlerinde ödem, diş eti çekilmesi, koku, kızarıklık, kanamaya sebep olması ve hastanın yemek yerken yaşadığı konfor problemleridir (66-72).

Asanza ve ark. (73), banded ve bonded ekspansiyon apareylerinin karşılaştırıldığı çalışmalarında bonded apareyde sagittal yönde maksillanın ileri yönde daha az hareketi, yüzün vertikal yöndeki kontrolünün daha iyi sağlanmasının yanında posterior dişlerdeki tipping miktarı ve simetrik genişletme açısından fark olmadığını belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonucundan farklı olarak, Memikoğlu ve ark. (74) ise bantlı grupta bonded gruba göre posterior dişlerde daha az devrilme olduğunu, overbite’ın daha fazla azaldığını ve iskeletsel yanıtın daha az olduğunu göstermişlerdir.

Literatürde akrilik cap splint aparey tasarımına ait farklı modifikasyonlar bulunmaktadır. İşeri ve Özsoy (75), üst keser dişlerin palatinallerine kadar akrilik kısmı uzanan başka bir aparey tasarımını kullanmışlar ve diş-doku destekli apareyler ile transversal yönde daha iyi sonuç alınacağını göstermişlerdir. Başçıftçi ve Karaman (76) ise, bütün dişlerin palatinal ve bukkal yüzeylerini kaplayan diş ve doku destekli modifiye akrilik bonded apareyini kullanmayı önermişlerdir. Ekspansiyon için hyrax vidası kullanarak apareyin rijiditesinin ve sağlamlığının arttığını belirtmişlerdir.

Orhan ve ark. (77), yaptıkları modifikasyonda tüm dişlerin yüzeyini akrilik ile kaplamayı önermişlerdir. Palatal mukozada akrilik padler dokudan destek aldığı için hem doku hem de diş destekli olarak nitelendirilmektedir. Anteriorda akrilik olması midline diastemanın dudak basıncıyla zamanla kapanmasını durdurmaktadır. Bu durumun Sınıf III vakalarda overjetin korunması açısından faydalı olabileceği savunulmuştur. Bu apareyin bir başka avantajı ise tüm dişlerden destek alması ve bu yüzden daha az kök rezorpsiyonuna sebep olmasıdır. Ancak tüm palatal mukozanın ve dişlerin akrilik ile kaplı olması ağız hijyenin sağlanmasını oldukça zorlaştırmaktadır.



Şekil 3. Rijit Akrilik Bonded Ekspansiyon Apareyi

2.4.1.4. Fan Type Ekspansiyon Apareyi

Fan type rapid maksiller ekspansiyon apareyi, Schellino ve ark. (78) tarafından tanıtılmıştır. Bu apareyin tasarımı "Ragno" ismini verdikleri bir vida yardımıyla maksillanın posterior bölgesinde açılmayı kısıtlayan ve maksillanın sadece anterior bölgesinde açılmayı sağlayan bir tasarımıdır (Şekil 4).

Doruk ve ark. (79), tüm maksiller dişleri ve palatinal bölgeyi kaplayan akrilik bonded ekspansiyon apareyinde, apareyin her aktivasyonunda vidanın posterior kısmında bulunan menteşenin etrafında dönmesiyle anteriorda daha çok ekspansiyon sağlayan 'fan type' ekspansiyon vidasını farklı bir tasarımla kullanmışlardır. Bu çalışmada fan type ekspansiyon

apareyinde klasik hızlı üst çene genişletme apareylerine göre anterior dişler arası mesafede daha fazla artma ve maksiller keser dişlerde labiale tipping olduğu gösterilmiştir.

Liou (80), fan type vidasını modifiye ederek iskeletsel Sınıf III hastalarda kullanmıştır. Bu modifikasyonda çift menteşeli ekspansiyon vidasından çıkan kollar birinci premolar ve üst birinci molar bantlarına lehimlenir ve sonrasında üst anterior dişlerin palatinal bölgelerine kompozit ile yapıştırılır.



Şekil 4. Fan Type Ekspansiyon Apareyi

2.4.2. Diş-Doku Destekli Ekspansiyon Apareyleri

2.4.2.1. Haas apareyi

Andrew Haas tarafından 1961 yılında geliştirilen aparey tasarımında palatinal bölgenin sağ ve sol yan duvarlarında akrilik padler ve üst birinci premolar ve birinci molarlardaki bantlar bukkal ve palatinalden barlar ile birbirine bağlıdır (Şekil 5). Bu şekilde hem diş hem de dokudan destek alınarak daha fazla ortopedik hareket, dişlerde daha az tipping ve sutural açılma olması beklenmektedir (26). Bu apareyin dezavantajı hijyenik olmayışı ve yumuşak doku irritasyonlarıdır (40). Cozzani ve ark. (81), Haas apareyine benzer olan karma dentisyon döneminde süt ikinci molarları bantlayarak ve süt kaninleri bantlamadan modifiye ederek kullanmışlardır.

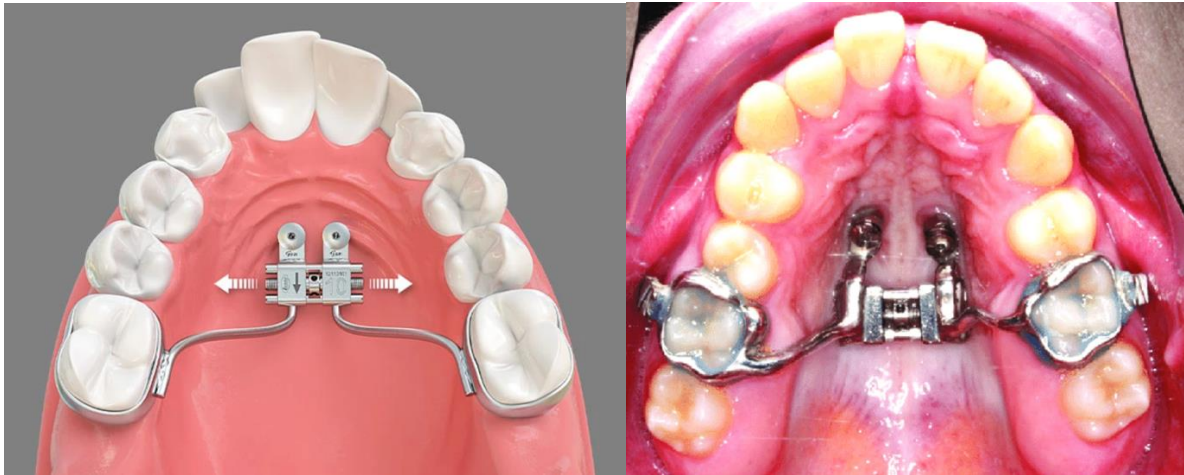


Şekil 5. Haas Ekspansiyon Apareyi

2.4.3. Diş-Kemik Destekli (Hibrit) Ekspansiyon Apareyleri

Hem diş hem de kemikten destek alan hibrit hyrax apareyinin ortaya çıkış amacı; yeterli dişsel desteği olmayan vakalarda birinci molar dişler ile ankraj amaçlı anterior palatinal bölgeye yerleştirilen iki mini vidadan destek alarak rapid maksiller ekspansiyon sağlanmasıdır (82) (Şekil 6).

Hibrit apareylerde vakanın ihtiyacına göre çeşitli modifikasyonlar yapılabilmektedir. Yüz maskesi planlanan hastalarda kullanılarak başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir (83). Nienkemper ve ark. (84), yüz maskesi ve hibrit hyrax uyguladığı vakalarda kemik desteği alınmasından dolayı istenmeyen dental etkilerin önlendiğini ve etkili bir ortopedik etki sağlandığını göstermişlerdir. Garib ve ark. hibrit aparey ile geleneksel apareyleri karşılaştırdığı çalışmada hibrit apareyde daha az bukkal tipping olduğunu bulmuştur (85).



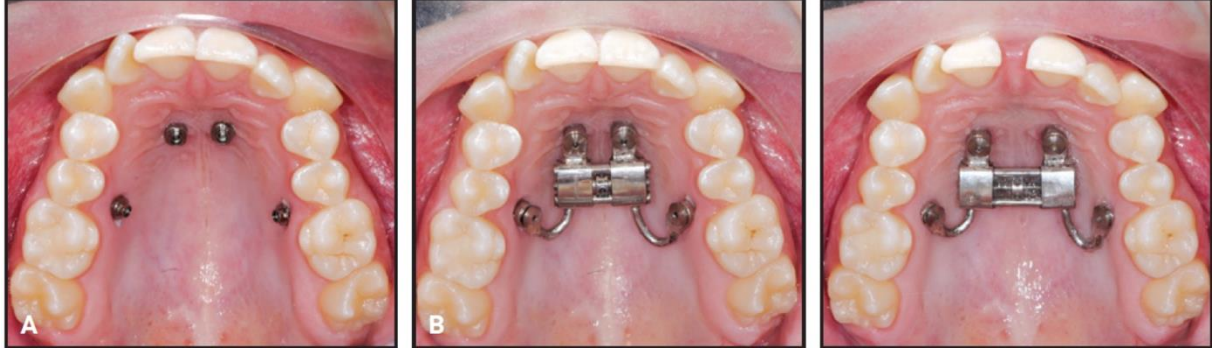
Şekil 6. Hibrit-Hyrax Ekspansiyon Apareyi

2.4.4. Kemik Destekli Ekspansiyon Apareyleri

Mommaerts (86) tarafından 1999 yılında “Transpalatal Distraktör (TD)” adını verdikleri aygıt tasarımı ile kuvveti direk kemiğe iletilmesini sağlayan iskeletsel ankraj destekli maksiller genişletme apareyini literatüre tanıtmışlardır. Daha sonra Zahl ve Gerlach (87) tarafından kullanılmış ve ortodonti pratiğinde kullanımı genişlemeye başlamıştır. Harzer ve ark. (5,88), 2004 ve 2006 yıllarında yaptıkları iki farklı çalışmalarında mini plaklar yerine daha az invaziv olan onplant ve dental implant gibi iskeletsel ankraj apareylerini kullanmışlardır (Şekil 7). Uygulanan apareylerin İngilizce ifadesi ‘Minisrew assisted rapid palatal expansion (MARPE)’ şeklinde olduğu için bu tez çalışmasında minivida destekli hızlı üst çene genişletmesi ifade edilirken MARPE kısaltmasının kullanılması tercih edilmiştir. MARPE yöntemi ortodonti pratiğinde son yıllarda popülerleşmeye başlamıştır (89).

Kemik destekli apareyler sayesinde dişlerde vitalite kaybı, kök rezorpsiyonu, ekstrüzyon, tipping, dehisens ve fenestrasyon gibi yan etkiler elimine edilmektedir (90). Günümüzde iskeletsel ankraj destekli maksiller ekspansiyon apareylerinin tasarımlarında farklı tipte, lokasyonda ve sayıda mini vidalar kullanılarak ve diş desteği de eklenerek birçok modifikasyonlar uygulanmış ve kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır (91).

Erişkin hastalarda midpalatal suturanın kalsifikasyonu ve kraniyofasiyal suturaların yaş ilerledikçe maturasyonunun artması sebebiyle kemik destekli aparey tasarımları uygulandığında bile sutural ayrılmaya karşı direnç gelişebilmektedir (92). Özellikle büyüme ve gelişim döneminin sonundaki ve cerrahi işleme karşı isteksiz olan hastalarda midpalatal suturada kortikoponksiyon destekli MARPE uygulaması geliştirilmiştir. Suzuki ve ark. yapmış oldukları çalışmada maksillanın ekspansiyon prosedüründe midpalatal suturada kortikoponksiyon ve vida aktivasyonu yaptıkları olgu raporunda konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerinden elde edilen iskeletsel sonuçlar şu şekildedir; midpalatal suturada premolar arasında 3,14 mm ve molar arasında 2,06 mm ayrılma, premolar bazal kemik bölgesinde 4,3 mm ve molar bazal kemik bölgesinde 3,03 mm artma, kortikal kemik genişliğinde premolarlar bölgesinde 4,43 mm ve molar bölgesinde 3,1 mm artış görülmesi ile birlikte 1,2° diş tippingi ile minimal dental değişiklikler olduğu görülmüştür (93).



Şekil 7. Kemik Destekli Ekspansiyon Apareyi

2.5. Cerrahi Destekli Rapid Maksiller Ekspansiyon (SARPE)

Betts ve ark. (94,95), erişkin hastalarda maksiller ekspansiyon kararı verilirken istenen maksiller ekspansiyon miktarının önemli bir nokta olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde bilindiği üzere, 5 mm'den daha az transversal uyumsuzluklar sadece ortodontik veya ortopedik kuvvetlerle kamufle edebilmektedir. Fakat bu transversal problem 5 mm'den daha fazla ise cerrahi destek gerekmektedir. Cerrahi destekli maksiller ekspansiyon için hem segmental osteotomi hem de SARPE yöntemi kullanılabilmesine rağmen, 8 mm'den daha fazla ekspansiyon istendiğinde segmental osteotominin yetersiz olabileceği literatürde bildirilmiştir (96).

Mandibular dentisyon, arkların uyumunun sağlanmasına, gerekli ekspansiyon miktarının belirlenmesine ve sıkı bir interdişitasyon ile ekspansiyon sonrası nüksün önlenmesini sağlamak için ameliyat öncesi ortodontik tedavi aşamasında mutlaka dekompanse edilmelidir. SARPE uygulaması sırasında ameliyattan önce apareyin hastaya yerleştirilmesi ve ameliyat esnasında aktivasyonu önerilmektedir. Kemik destekli bir ekspansiyon apareyi kullanılacaksa maksillada osteotomiler yapıldıktan sonra ameliyat esnasında da bu aparey yerleştirilebilmektedir. Ameliyat sonrasında kallus oluşumunun tamamlanabilmesi için 5-7 günlük bir latent periyot gerekmektedir. Hastanın yaşı göz önüne alınarak uygulanacak ekspansiyon miktarı günde 0,25 ile 1 mm arasında değişebilmektedir (53). Ameliyattan sonra istenen düzelme görülene kadar ekspansiyona devam edilir ve son olarak, relapsın olmaması için iyi bir kemik maturasyonunun sağlanabilmesi adına apareyin yerinde olduğu bir konsolidasyon aşaması gereklidir. Bu süre klinisyenin tercihinine göre 8-20 hafta arasında değişebilmektedir (97).

Çoğu klinisyen ameliyat esnasında apareyin aktivasyonunun yapılmasını önermiştir. Yapılan bu aktivasyon, maksillanın direnç merkezlerini zayıflatıp midpalatal suturanın ayrılmasını daha kolay bir hale getirmektedir. Literatürdeki bir diğer fikir, midpalatal suturanın insiziv kanalın anteriorundaki kısmı yaş ilerledikçe kapandığı için ameliyat öncesi apareyin genişletilmesidir. Bu şekilde sutural maksiller ayrımının kolaylaştırabileceği görüşü savunulmaktadır (98). Latent periyot sonrasında apareyin aktive edilme miktarı 0,25 ve 1 mm arasında değişebilmektedir ve ekspansiyon hızı çok fazla olduğunda suturadaki kollajen liflerin birbiriyle olan kontağı kaybedilebilir ve bu durum yeni kemiğin büyümesinin durmasına ve sonuç olarak suturada problemlili bir kaynamaya sebep olabilmektedir. Bunun aksine, çok yavaş uygulanan bir distraksiyon işlemi de kemikte istenen uzamayı engelleyip erken bir konsolidasyon riskini beraberinde getirmektedir (97).

Literatürde SARPE'nin endikasyonları; posterior çapraz kapanışı düzeltmek, maksiller arkın uzunluğunu arttırmak, çekim yapılmayan durumlarda dişler için yeterli yeri sağlamak, geniş bukkal koridorları azaltmak, dudak-damak yarığı ile ilişkili maksiller darlığı ortadan kaldırmak ve ortopedik maksiller ekspansiyonun başarısız olduğunda sutural direnci ortadan kaldırmak şeklinde sıralanabilir (99,100). SARPE uygulamasının yapılabilmesi için hastadan alınan el bilek filmi veya sefalometrik film üzerinden servikal vertebra maturasyonu değerlendirmesi ile büyümenin tamamlanıp tamamlanmadığı kontrol edilmelidir. Hasta yetişkin olsa bile ortodontik problemi gidermek için 5 mm'den daha az ekspansiyon gerekiyorsa bu durumda cerrahiye gerek duyulmamaktadır. SARPE'nin komplikasyon oranı net belirli olmasa da literatürdeki makalelerde vakaların %1 ile %50'sinde, komplikasyon oluşabileceği gösterilmiştir (10). %2,47'lik oran ile burun kanaması ve %2'lik oran ile postoperatif ağrı en sık görülen minör komplikasyonlardır. Asimetrik ekspansiyon (%38,45) ve hatalı ekspansiyon (%84,44) ise en çok görülen majör komplikasyonlardır (101).

Chamberland ve ark. (102) yaptıkları çalışmada SARPE ile %53 dental, %47 iskeletsel ekspansiyon bulmuşlardır. SARPE ile birinci molar dişlerde ortalama maksimum ekspansiyon miktarı $7,48 \pm 1,39$ mm ve postoperatif ortodontik tedavide ortalama relaps miktarı $2,22 \pm 1,39$ mm olarak belirtilmiştir. Ayrıca çalışmanın sonucuna göre, segmental Le Fort 1 osteotomisi veya SARPE prosedürünün seçiminde transversal ekspansiyonun stabilitesinden daha çok maksiller iskeletsel darlığın şiddetli olduğu durumlarda tek aşamalı segmental

osteotominin riskine göre karar verilmesi gerektiği gösterilmiştir. Bortolotti ve ark. (103), SARPE'nin dental ve iskeletsel etkilerini inceledikleri çalışmalarında, etkinin temel olarak molar ve premolarlardaki diş hareketlerinden kaynaklandığı göstermişlerdir.

Kayalar ve ark. (104), yaptıkları bir çalışmada iskeletsel transversal maksiller darlığı olan 10 hastada hibrit-hyrax apareyi ve 10 hastada hyrax apareyi kullanmışlardır. CBCT görüntüleri SARPE'den önce T0 aşamasında, aktif ekspansiyon fazının sonunda T1 aşamasında ve 6 aylık pekiştirme döneminden sonra aparey çıkarılırken T2 aşamasında alınmıştır. Her iki grupta da V şeklinde sutural ekspansiyon görülmüş ve tedavi ile elde edilmiş iskeletsel etkilerin pekiştirme periyodunda da sabit kaldığı izlenmiştir.

2.6. Cerrahi Destekli Maksiller Ekspansiyonda Kullanılan Farklı Cerrahi Teknikler

SARPE tekniğinin aşamalarına bakıldığında, insizyon iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Birinci yöntem çift taraflı olacak şekilde mukogingival birleşimin 5 mm üzerinden maksiller kanin ve maksiller birinci molar dişler arasından yapılan insizyon ve bu insizyonu takip edecek şekilde orta hatta midpalatal osteotominin yapılabilmesi için gereken V şeklinde insizyondur. İkinci yöntem ise Le Fort 1 osteotomilerinde yapıldığı gibi maksiller birinci molar dişler arasında mukogingival birleşimin 5 mm üzerinde olan tek bir horizontal insizyondur (105,106).

Apertura piriformisin yan kenarından burun mukozası ve nazal septum serbestleştirilir. Sonrasında apertura piriformisin kenarlarından pterygomaksiller fissüre kadar diş köklerinin 5 mm üzerinden okluzal düzleme paralel olacak şekilde lateral maksilla osteotomisi yapılır. Bunu takiben anterior nazal spinadan posterior nazal spinaya doğru vertikal şekilde uzanan bir midpalatal sutura osteotomisi gerçekleştirilir ve bu şekilde midpalatal sutura serbestleşmiş olur. Pterygomaksiller boşluğa subperiosteal insizyon yapılarak ulaşılır ve açılı bir osteotom ile pterygomaksiller çıkıntının osteotomisi uygulanır. Maksillanın simetrik açılımı değerlendirilir ve ekspansiyon apareyi 1-1.5 mm açılarak kontrol sağlanır ve sonrasında alar tabanı kapatacak şekilde yumuşak doku kapatılması sağlanır (105,106).

Eğer hastada unilateral posterior çapraz kapanış varsa lateral osteotomi tek tarafta yapılarak diğer taraftan destek alınabilir. Bu yöntemde kesi yapılmayan taraf ankraj olarak kullanılmış olur (57).

Anatomik olarak sfenoid kemiğin pterygoid çıkıntısı maksillaya bağlıdır ve bu bağlantı pterygomaksiller sutura (PMS) serbestleştirilmediğinde maksillada gerilim ve strese sebep olabilmektedir. Maksiller ekspansiyon sırasında direncin ve gerilimin azaltılması için bazı çalışmalar, PMS'in serbestleştirilmesinin önemli olduğunu savunmaktadırlar (19,107). PMS'nin serbestleştirildiği durumda kraniyofasiyal çevre yapılar üzerindeki gerilimin daha az olması, ekspansiyon sonrası relaps riskini de azaltan bir faktör olarak görülmektedir (19). Ancak bu işlem midpalatal ve lateral maksiller osteotomilere göre daha invazivdir, cerrahi travmanın minimize edilebilmesi için uygulanmamasının daha uygun olduğunu da savunan araştırmacılar bulunmaktadır (108). Bazı çalışmalarda, yirmi yaş öncesi bireylerde PMS'de tam bir birleşme olmadığı ve bu yaştan altındaki bireylerde bu bölgenin osteotomisinin de gerekli olmadığı yönünde bulgular sunulmuştur (109). SARPE sırasında PMS serbestleştirilmesi ile karşılaşılabilecek komplikasyon risklerinde de artış gösterilmiştir. Komplikasyon riskinin görece olarak daha az olduğu düşünülen yaklaşım ise PMS serbestleştirilmeksizin, bilateral lateral duvar ve midpalatal sutura osteotomisinin uygulandığı SARPE cerrahisidir (108,110).

2.7. Mini Vida Destekli Hızlı Maksiller Ekspansiyon (MARPE)

Mini vidalar minimum invaziv bir teknik olmaları ve normal dental implantlara göre daha düşük maliyetleri sebebiyle ortodonti alanında son 20 yılda geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Mini vida destekli hızlı maksiller ekspansiyon (MARPE), rapid maksiller ekspansiyonun basit bir modifikasyonudur. Bu yöntem ile mini vidalar sayesinde dişleri tek başına ankraj olarak kullanmadan maksillanın ekspansiyonu sağlanır. Bu yeni konsept, geleneksel rapid maksiller ekspansiyonun istenmeyen yan etkilerini ve SARPE'nin getirdiği morbidite riskini ve masrafları ortadan kaldırabilmektedir (111).

Kuvvetlerin direkt olarak kemiğe iletilmesi ile, tedavinin ortopedik etkilerinin artırılmasının istendiği, posterior dişlerin yetersiz sayıda olduğu ve ankraj alınacak diş olmayan durumlarda veya periodontal problemler mevcudiyetinde kemik destekli apareylerin kullanımının daha avantajlı olduğu bildirilmektedir (112). Bu apareylerin geleneksel ekspansiyon apareylerine göre daha hijyenik olduğu ve aparey ağızdayken de sabit tedaviye başlanabilme seçeneği sunduğundan tedavi süresini kısalttığı da literatürde gösterilmiştir (104).

2007 yılında Ludwig ve ark. (113), ‘Hibrit Hyrax’ ismini verdikleri apareyi tanıtarak, diş ve kemik ankrajının birlikte kullanılması fikrini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, apareyin özellikle karma dentisyon gibi yeterli dişsel desteğin bulunmadığı durumlarda, anterior palatinal bölgede iki tane mini vida ile kullanılabileceğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, apareyi aynı zamanda maksiller retrognatisi bulunan hastalarda maksiller ilerletme tedavisinde de kullanmışlardır (83). Nienkemper ve ark. (84), hibrit hyrax apareyini yüz maskesi ile kullanmış ve bu sayede istenmeyen dental etkilerin elimine edildiğini bulmuşlardır.

Wilmes ve ark. (12), anterior palatinal bölgeye uygulanan, 1,5 mm veya 2 mm çapında ve 9 mm veya 11 mm uzunluğunda vidalardan oluşan bir mini vida sistemi geliştirmiş ve adını “Benefit Sistemi” olarak koymuşlardır. Araştırmacılar, mini vidanın başına uyumlu çeşitli amaçlar için kullanılabilecek 4 farklı başlık ile maksillada molar mezializasyonu, molar distalizasyonu, indirekt ankraj ile gömülü kanin sürdürülmesi ve molar dişlerden de destek alarak hibrit hyrax apareyi ile maksiller ekspansiyon yaptıklarını çeşitli yayınlarda bildirmişlerdir (12,114).

Ludwig ve ark. (115), yaptıkları çalışmaların sonucunda mini vidanın yerleştirildiği bölgede bulunan kemik miktarının, mini vidanın stabilitesinde en önemli nokta olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, CBCT kullanarak palatinal uygulamalar için en uygun kemik miktarı bulunan bölgeyi araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda insiziv foramen ve midpalatal sutura olmak üzere iki farklı referans bölgesi belirlemişler, bu bölgelere göre insiziv foramenin 3-4 mm palatinali ve midpalatal suturanın 3 mm distalindeki kesişim bölgesini kemiğin en fazla bulunduğu alan olarak tanımlamışlardır. Mini vida uygulaması açısından midpalatal sutura bölgesi kemik miktarı olarak uygun gibi görünüyorsa da suturanın hattı kemik kalınlığı olarak yüksek standart sapma göstermekte ve bu bölge araştırmacılar tarafından desteklenmemektedir (115). Bernhart ve ark. (116), 22 hasta üzerinde yaptıkları bir çalışmada, midpalatal suturanın kalınlığını 2,95 mm olarak bulmuşlar ve mini vida yerleşimi için en uygun bölgeyi insiziv foramenin 6-9 mm palatinali ve suturun 3-6 mm laterali şeklinde göstermişlerdir. King ve ark. (117) ise 138 hasta üzerinde palatinal kemik kalınlıklarını araştırmış ve mini vida uygulaması için en uygun bölgenin insiziv foramenin 4 mm palatinali ve midpalatal suturun 3 mm distali olduğunu göstermişlerdir.

2.8. Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis-FEA)

Sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemi farklı materyaller barındıran ve düzensiz bir geometriye sahip olan yapıların bilgisayar ortamında hesaplanması daha kolay, küçük ve daha basit elementlere bölünerek, kuvvet ile gerilme dağılımının ve şekil değişiminin belirlenebilmesi için kullanılan sayısal bir kuvvet analiz yöntemidir (118).

FEA yöntemi, ilk kez 1956 senesinde havacılık ve uzay mühendisliği alanında yapısal problemleri çözebilmek için kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra; ısı transferinin incelenmesi, statik analizlerin yapılması, akışkanlar mekaniği, elektromanyetik analizlerin yapılması gibi birçok farklı durumda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde makine ve inşaat mühendisliği başta olmak üzere genel olarak mühendislik bölümlerinin çoğunda sıklıkla kullanılmaktadır (119-121).

Ledley ve Huang'ın (122) 1968 senesinde yaptıkları bir araştırma ile FEA, diş hekimliği alanında ilk kez kullanılmıştır. Bu çalışma ile diş modeline farklı yönlerde gelen kuvvetler uygulanmış ve kuvvet ile dişin çevresindeki kemik dokusunda meydana gelen stresler değerlendirilmiştir. Davidian'ın (123) 1971 senesinde yaptığı bir çalışmada ise FEA ortodonti alanında ilk kez kullanılmıştır. Bu çalışmada, üst santral keser dişin teorik rotasyon merkezinin bulunması için diş modeli oluşturulmuş, dişe uygulanan kuvvetin sonucunda periodonsiyumda oluşan mekanik cevap gözlenmiş, rotasyon ve direnç merkezinin yerlerinin değişimi incelenmiştir.

FEA analizinin yapılacağı model küçük ve basit geometrik parçalara ayrılmaktadır. Bu küçük geometrik şekiller element olarak isimlendirilir. Elementler birbirleriyle köşelerinden noktalarla birleştirilir. Bu noktalar node (düğüm) olarak isimlendirilir. Böylece elemanlar düğümlerle birbirlerine bağlanarak bütün olarak yapı içinde bir denklem sistemi oluşturulmaktadır. Kuvvet dağılımının daha net bir şekilde ölçülebilmesi ve gerçeğe daha yakın veriler elde edilebilmesi için modelin olabildiğince fazla sayıda elemente bölünmesi büyük önem taşımaktadır (119,120,124,125).

Von Mises gerilmesi çekilebilir materyallerde gerilme kriterinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde plastik deformasyonun başlangıç değeri olarak da tanımlanmaktadır. FEA yönteminde von Mises gerilme değerleri, bir cisme bir kuvvet uygulandığında oluşan gerilmenin dağılımı ve bu kuvvetin yoğunlaştığı yerler hakkında

değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır. Von Mises gerilmeleri üç boyutta oluşan asal gerilmelerin kombine edilmesiyle hesaplanmaktadır (126,127).

Asal gerilme, tüm düzlemlerde makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve bütün gerilmelerin sadece alana dik gelecek yönde olan normal gerilmelerden oluştuğu gerilmeler olarak tanımlanmaktadır. Asal gerilmeler üç gruba ayrılır; bunlar minimum asal gerilme, ara asal gerilme ve maksimum asal gerilmedir. Ancak kuvvet uygulanan materyallerde tek tip bir gerilme değil, üç gerilmenin de birlikte gözlemlendiği bileşik gerilme hali bulunmaktadır (128,129). Çekme ve basma gerilmelerinin nasıl dağıldığı, asal gerilme dağılımına göre belirlenir. Maksimum asal gerilmeler pozitif değerde olup en fazla olan çekme gerilmelerini gösterirken, minimum asal gerilmeler negatif değerde olup, en fazla olan basma gerilmelerini göstermektedir (128,129).

Elde edilecek veri ve bulguların doğruluğu modellemenin gerçeğe uygun şekilde yapılmasına bağlı olduğu için geometrik model oluşturulması analizin en önemli aşamasıdır. Geometrik modelleme için bilgisayar destekli tasarım programları kullanılmaktadır. FEA’da kullanılan model, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinin bilgisayara aktarılması, modellenecek materyalin tarayıcılar aracılığıyla bilgisayara aktarılması ve üç boyutlu modelleme programları kullanılarak manuel modelleme yapılması yöntemleriyle oluşturulabilmektedir (130).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, farklı cerrahi tekniklerin (MARPE, PMS ayrımı yapılan/ PMS ayrımı yapılmayan SARPE) ve üç farklı ekspansiyon apareyinin (kemik destekli dört vidalı ekspansiyon apareyi, diş-kemik destekli hibrit hyrax apareyi, diş destekli dijital tasarlanmış hyrax apareyi), maksiller darlığı olan yetişkin hastalarda maksiller ekspansiyon üzerindeki etkisini sonlu elemanlar analizi kullanarak değerlendirmektir. Bu çalışmada aynı zamanda maksilladaki yer değiştirme miktarı ve kraniyofasiyal yapılara uygulanan stres miktarının da değerlendirmesi amaçlanmıştır.

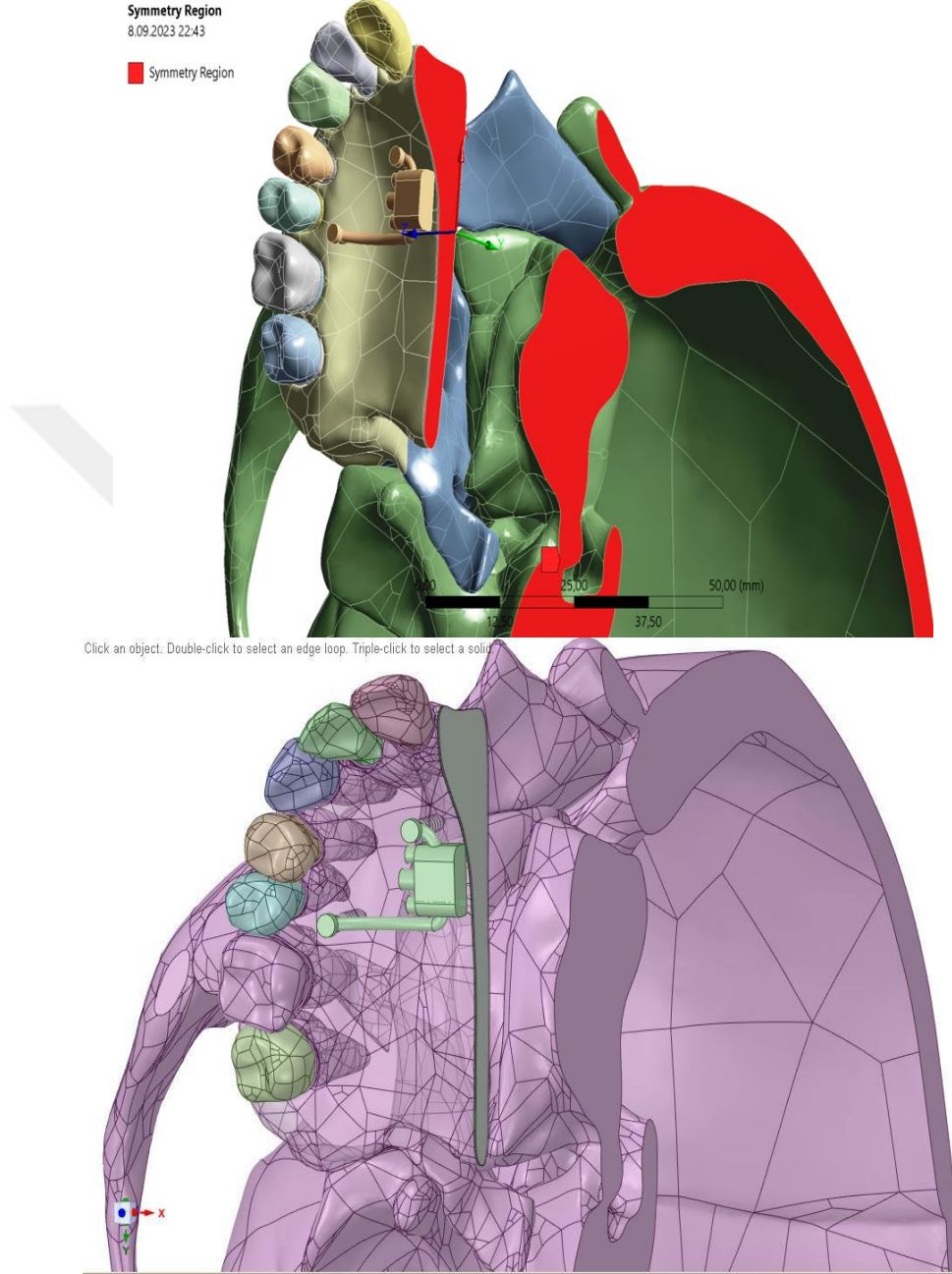
Sonlu elemanlar analizi çalışması olarak planlanan bu araştırma Başkent Üniversitesi Tıp ve Sağlık Bilimleri Araştırma Kurulu ve Etik Kurulu tarafınca onaylanmıştır (Proje no: D-KA23/02) ve Başkent Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

3.1. Sonlu elemanlar analizi modelinin oluşturulması

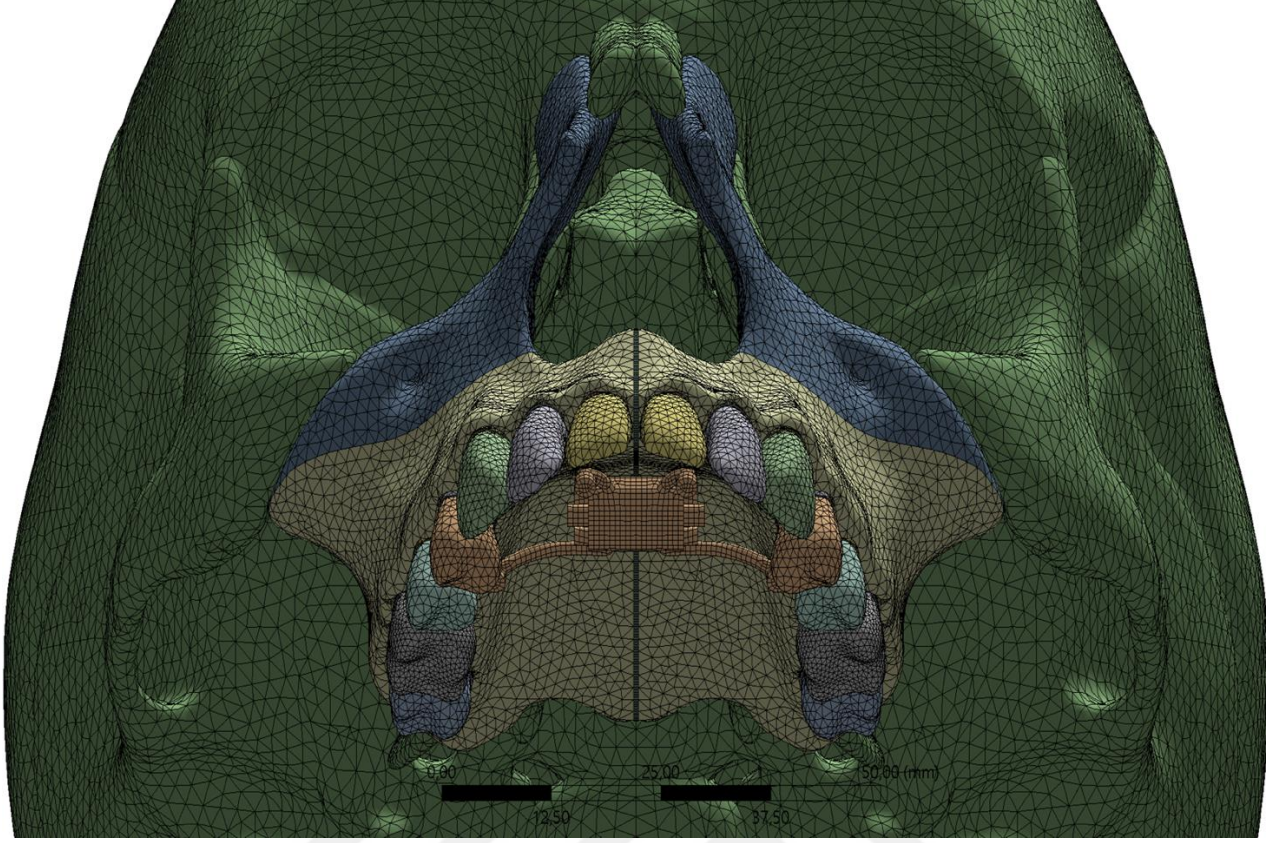
Yetişkin bir erkek kafatasının (MRI) anatomik modeli, açık kaynaklı BodyParts3D projesinin bir parçası olarak .stl formatında indirilmiştir (131). Frontal, parietal, sfenoid, etmoid, nazal, lakrimal, zigomatik ve oksipital kemikleri içeren kafatası kemikleri, .stl formatında ANSYS Workbench 19.3 (ANSYS Inc., Houston, PA, ABD) yazılımı kullanılarak aynı koordinat sistemine entegre edilmiş ve genel kafatası kemik modeli oluşturulmuştur.

FEA modeli, kafatası yapılarının kapsamlı bir şekilde incelenebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için önceki kafatası kemiği modelleriyle benzer şekilde hazırlanmıştır ve diğer çalışmalardan farklı olarak mini vida yivleri modellenerek de bu tez çalışmasına dahil edilmiştir (7,21,22). Genel bir kafatası kemiği modeli oluşturulduktan sonra periodontal ligament (0,2 mm) ve midpalatal sutura (0,25 mm), sırasıyla diş ve maksilla geometrisine bağlı olarak ofset komutu kullanılarak modellenmiştir. Maksilla, midpalatal sutura (tek bir model için), diş ve periodontal ligament (PDL); bağımsız olarak genel modele dahil edilmiştir (Şekil 8 ve 9). ANSYS SpaceClaim yazılımı, üç tip ekspansiyon apareyi ve mini vida tasarlamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada modellenen aparey tipleri; kemik destekli, diş-kemik destekli ve dijital olarak tasarlanmış diş destekli ekspansiyon apareyleridir. Standardizasyonu sağlamak için tüm mini vida destekli modellerde aynı uzunluk ve çapta (1,6 mm çapında; 12 mm uzunluğunda) mini vidalar kullanılmıştır (21). Tasarlanan ekspansiyon apareyleri ve mini vidalar modellere dahil edilmiştir (Şekil 9). Kortikal kemik, süngerimsi kemik ve PDL anizotropik materyaller olarak kabul edilmiştir. Buna karşılık, diş, midpalatal

sutura ve paslanmaz çeliğin homojen ve izotropik olduğu varsayılmıştır (7,21,22). PDL'yi tanımlamak için hiper-elastik bir malzeme modeli (üçüncü dereceden Ogden) kullanılmıştır. Her bir bileşen için malzeme özellikleri Tablo I'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 8. Kraniyofasiyal yapı, diş, sutura, genişletme apareyi ve PDL simetri modeli



Şekil 9. Kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapıların simetrik bir modeli ve tüm modelin ağ yapısı. 10 düğümlü dört üçgen yüzlü (kuadratik tetrahedral) ve 20 düğümlü, altıgen (kuadratik hexahedral) ağ eleman tipine bölünmüş modelin frontal görünüşü.

Tablo I. Sonlu eleman modeli malzeme özellikleri

Malzeme Özelliği (MPa)	Elastik Modülü	Poisson Oranı	Kayma Modülü
Kortikal Üst Çene kemiği	Ex:12000	Vxy: 0,18	Gxy: 3600
	Ey: 11640	Vyz: 0,40	Gyz: 5400
	Ez: 15600	Vxz: 0,30	Gxz: 4100
Kortikal Kafatası kemiği	Ex: 12580	Vxy: 0,48	Gxy: 4400
	Ey: 13600	Vyz: 0,24	Gyz: 6700
	Ez: 21200	Vxz: 0,32	Gxz: 4900
Süngerimsi kemik	Ex:1448	Vxy: 0,32	Gxy: 434
	Ey: 1448	Vyz: 0,05	Gyz: 68
	Ez: 210	Vxz: 0,05	Gxz: 68
Periodontal Ligament	μ_1 : - 3420,83	μ_2 : 1434,35	μ_3 : - 5,56E-04
	α_1 : - 0,506	α_2 : - 0,134	α_3 : 13,708
	D ₁ : 0 MPa ⁻¹	D ₂ : 0 MPa ⁻¹	D ₃ : 0 MPa ⁻¹
Diş	19890	0,31	
Midpalatal Sutura	0,69	0,45	
Genişletme Aparenti (Paslanmaz çelik)	193000	0,35	

MPa: Megapascal

Ex, Ey, Ez: Üç yönde elastik modülü

Vxz, Vyz, Vxy: Üç yönde poisson oranı

Gxy, Gyz, Gxz: Üç yönde kayma modülü

μ , α , D: Malzeme parametresi

FEA için, Şekil 8'de gösterildiği gibi kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapıların simetrik bir modeli oluşturulmuştur. FEA senaryo sonuçlarını karşılaştırmak için yedi farklı FEA modeli oluşturulmuştur. Modeller, kullanılan ekspansiyon apareyinin türüne, cerrahi desteğin varlığına ve PMS ayrımlı veya PMS ayrımı yapılmayan SARPE prosedürüne göre oluşturulmuştur (Tablo II).

-Model I'de, herhangi bir cerrahi destek olmaksızın, kemik destekli apareyin mini vidaları 3. ruga seviyesinde median suturanın 3 mm distaline ve 2. premolar ve 1. molar dişlerin kökleri arasında alveolar kretten 6 mm uzağa yerleştirilmiştir (Şekil 10, Tablo II).

-Model II'de, PMS ayrımı olmaksızın median ve lateral osteotomiler yapılmıştır. Ekspansiyon apareyinin minividaları Model-I'de olduğu gibi aynı bölgeye yerleştirilmiştir (Şekil 11, Tablo II).

-Model III'te, median ve lateral osteotomiler PMS ayrımı olmadan gerçekleştirilmiştir. Ekspansiyon apareyi minividası median suturanın 3 mm distaline, 3. ruganın hizasına yerleştirilmiştir. Birinci molar diş üzerine bir molar bant yerleştirilmiş ve modifiye bir hibrit Hyrax apareyi oluşturulmuştur (Şekil 12, Tablo II).

-Model IV'te, median ve lateral osteotomiler PMS ayrımı olmadan gerçekleştirilmiştir. Dijital olarak tasarlanmış diş destekli bir model oluşturulmuş ve 1. molar, 2. molar, 1. premolar ve 2. premolar dişleri kapsayan 1 mm kalınlığında paslanmaz çelik döküm özellikte merkezde konumlandırılmış bir Hyrax genişletme vidası kullanılmıştır (Şekil 13, Tablo II).

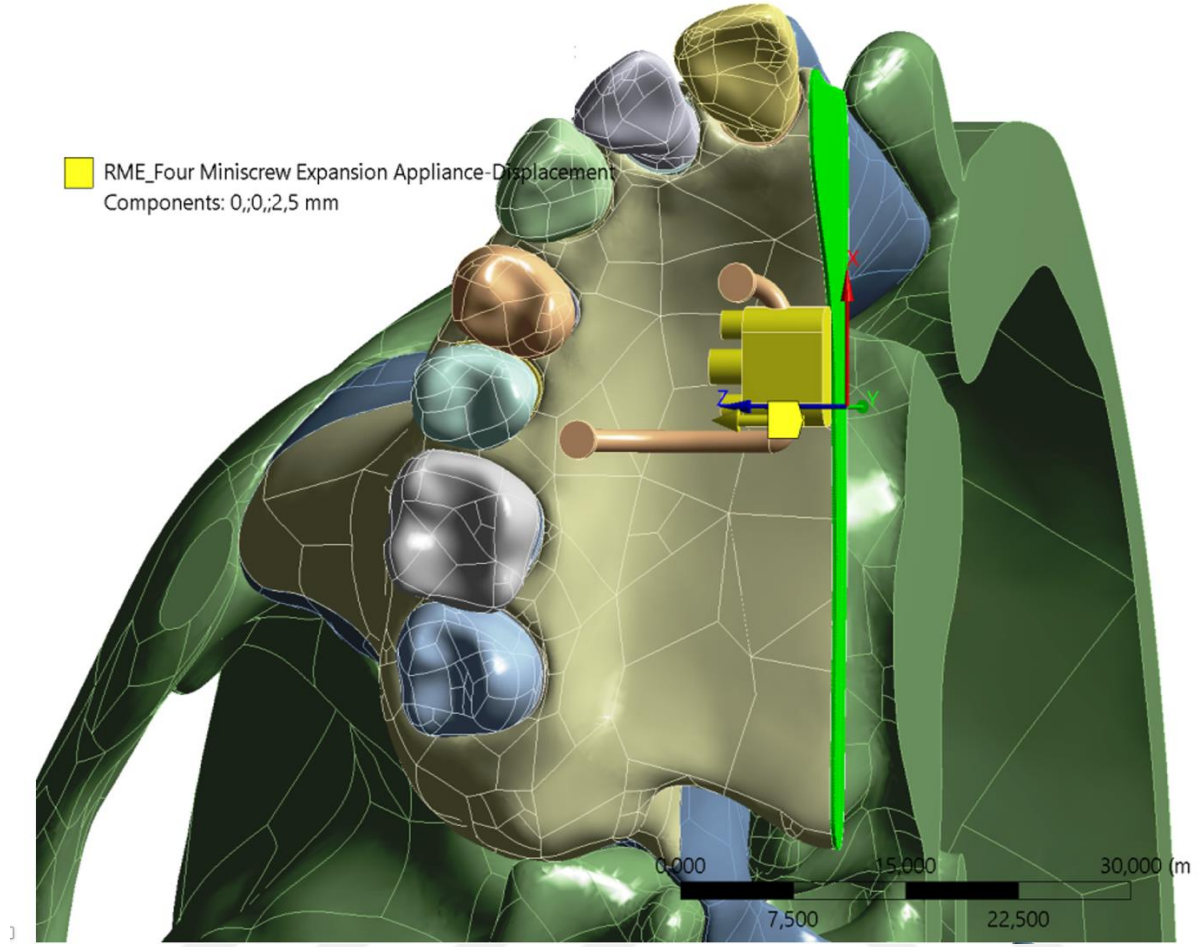
-Model V'te median, lateral osteotomiler ve cerrahi teknik olarak PMS ayrımı gerçekleştirilmiştir. Ekspansiyon apareyinin dört minividası Model I'de olduğu gibi aynı bölgeye yerleştirilmiştir (Şekil 14, Tablo II).

-Model VI'da median, lateral osteotomiler ve PMS ayrımı gerçekleştirilmiştir. Model III'e benzer şekilde hibrit bir Hyrax ekspansiyon apareyi modeli oluşturulmuştur (Şekil 15, Tablo II).

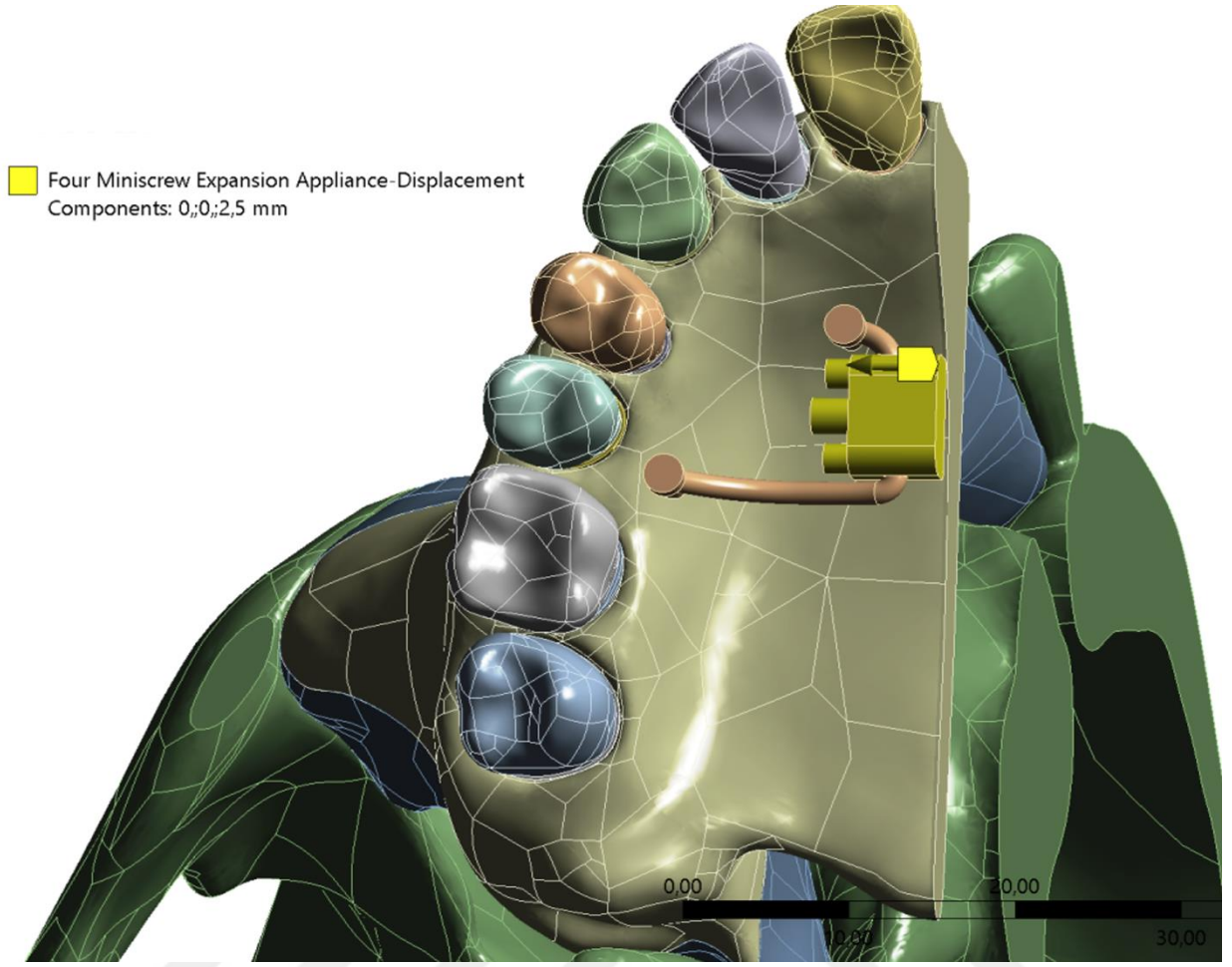
-Model VII'de median, lateral osteotomiler ve PMS ayrımı uygulanmıştır. Model I'e benzer şekilde dijital olarak tasarlanmış diş destekli bir ekspansiyon apareyi modeli oluşturulmuştur (Şekil 16, Tablo II).

Tablo II. Modellerin karşılaştırmalı gösterimi

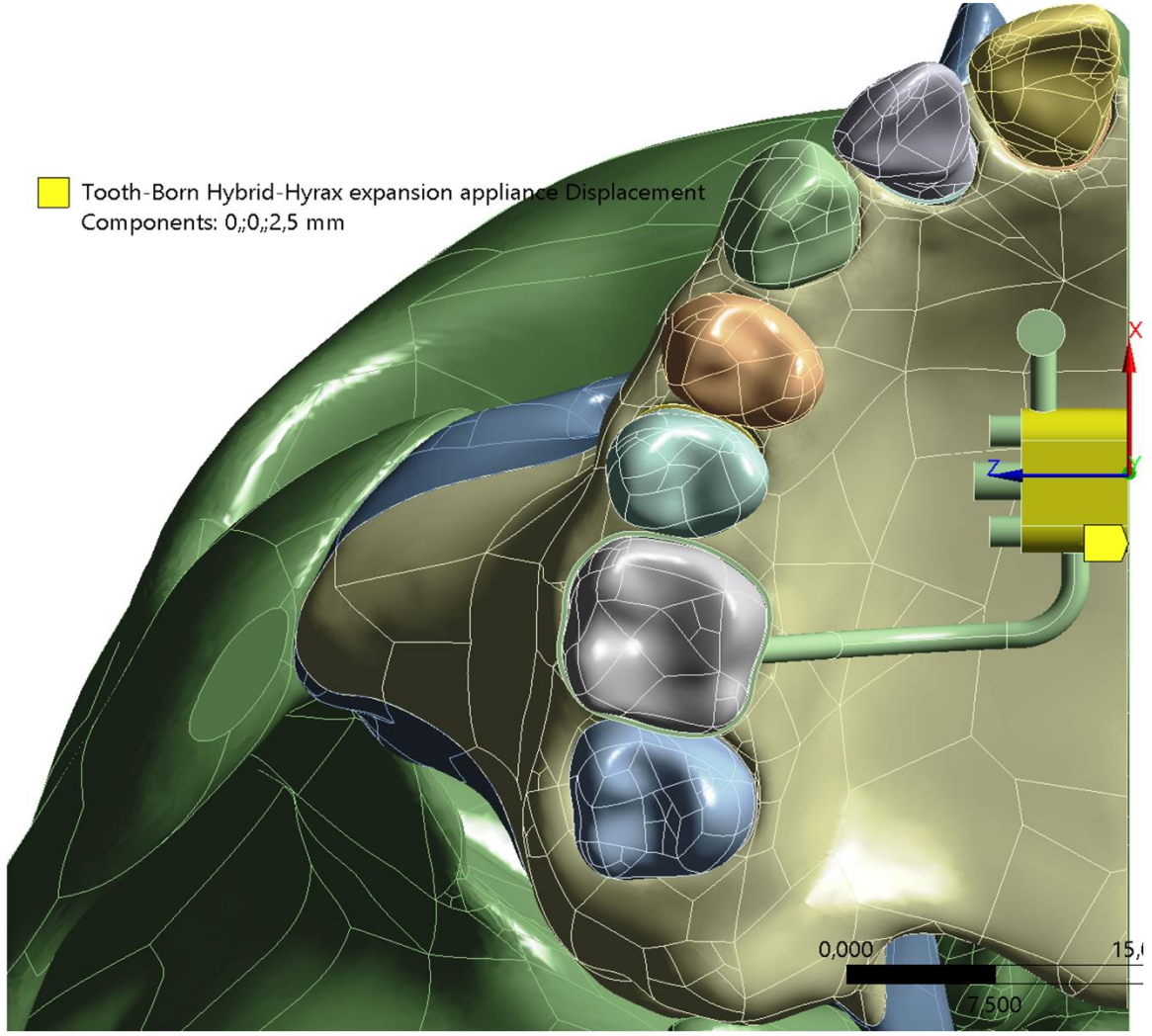
	Aparey tipi	SARPE ya da MARPE	Pterygomaksiller Sutura Ayrımı
Model I	Kemik destekli	MARPE	-
Model II	Kemik destekli	SARPE	-
Model III	Hibrit Hyrax	SARPE	-
Model IV	Diş destekli dijital	SARPE	-
Model V	Kemik destekli	SARPE	+
Model VI	Hibrit Hyrax	SARPE	+
Model VII	Diş destekli dijital	SARPE	+



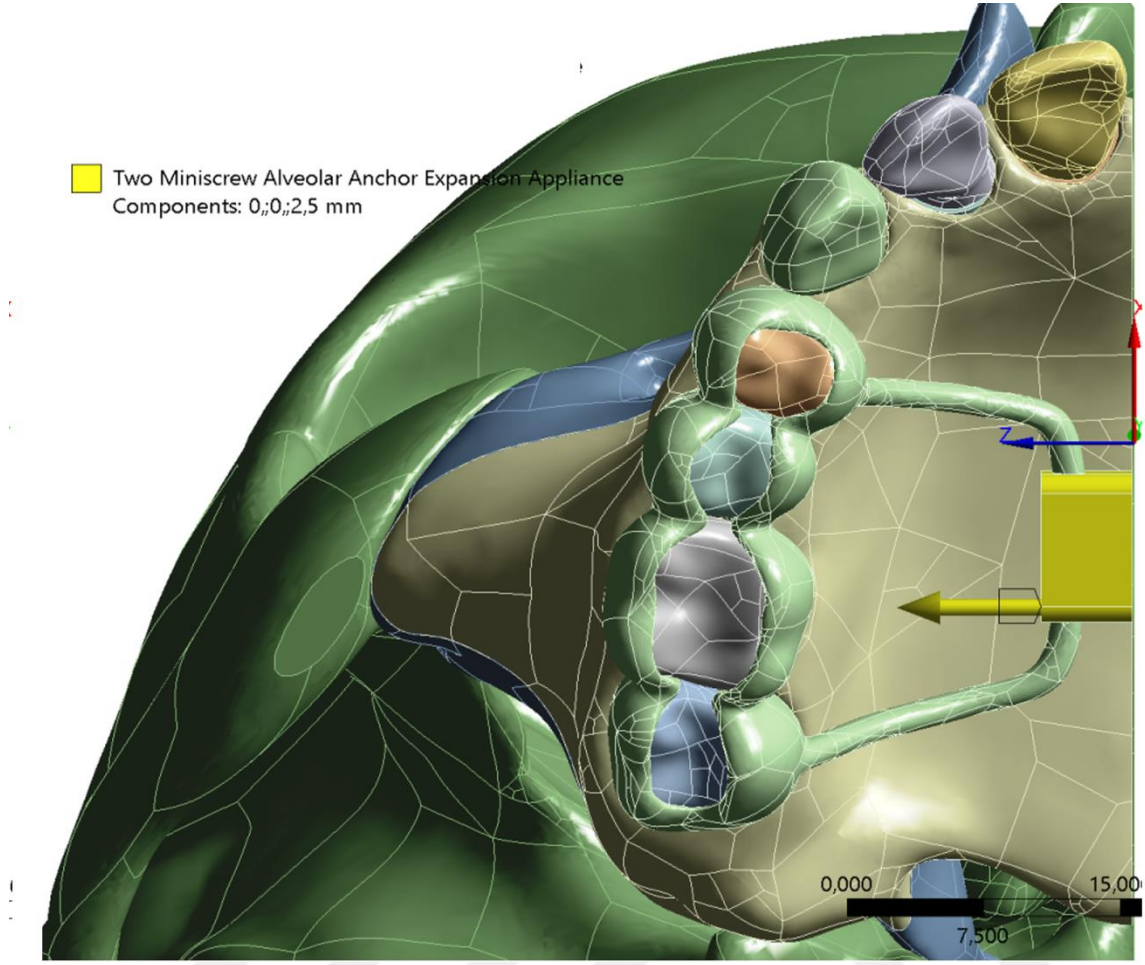
Şekil 10. Model I; Hiçbir cerrahi osteotomi yapılmayan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplamda 5 mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla gösterilen).



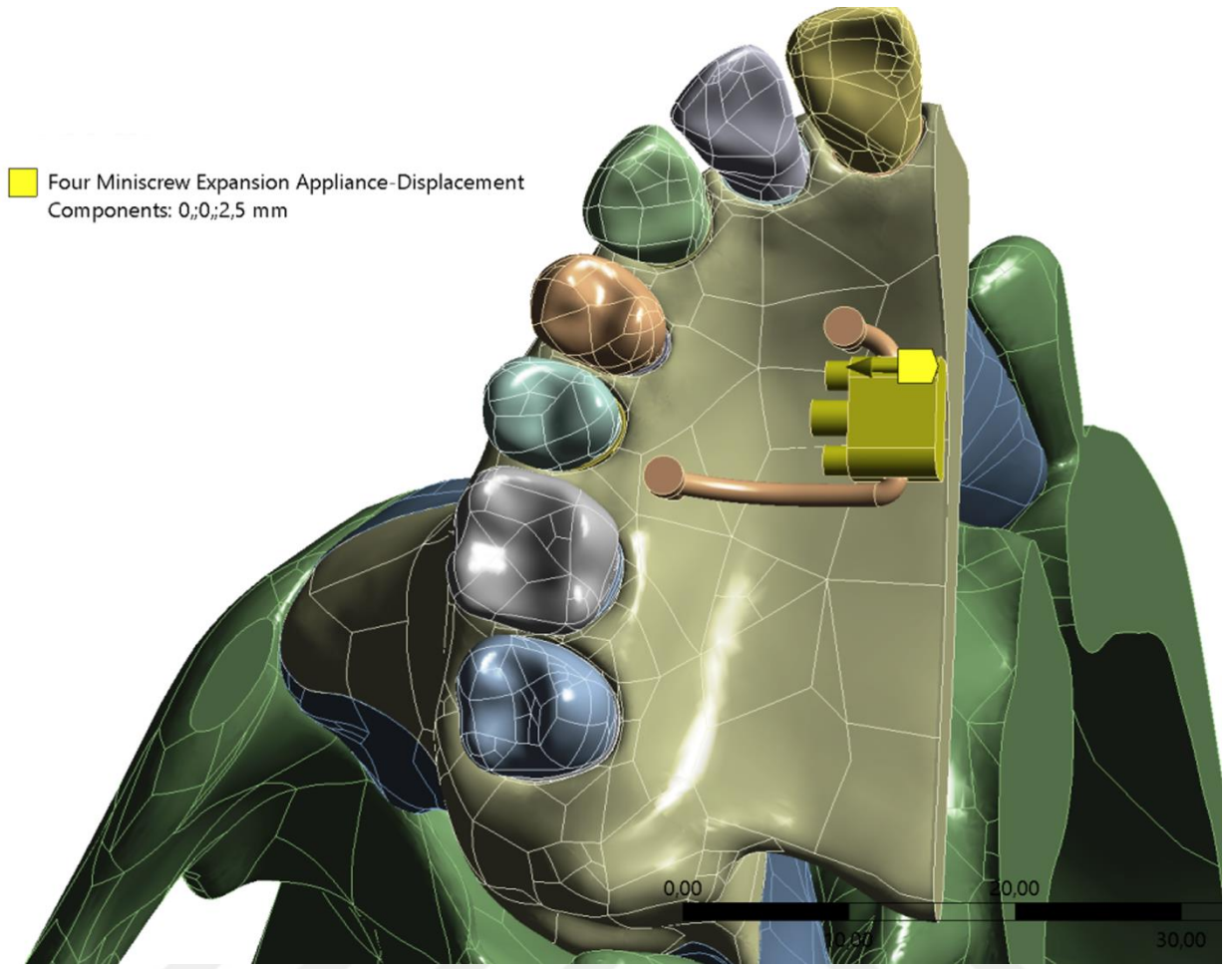
Şekil 11: Model II; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5 mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.



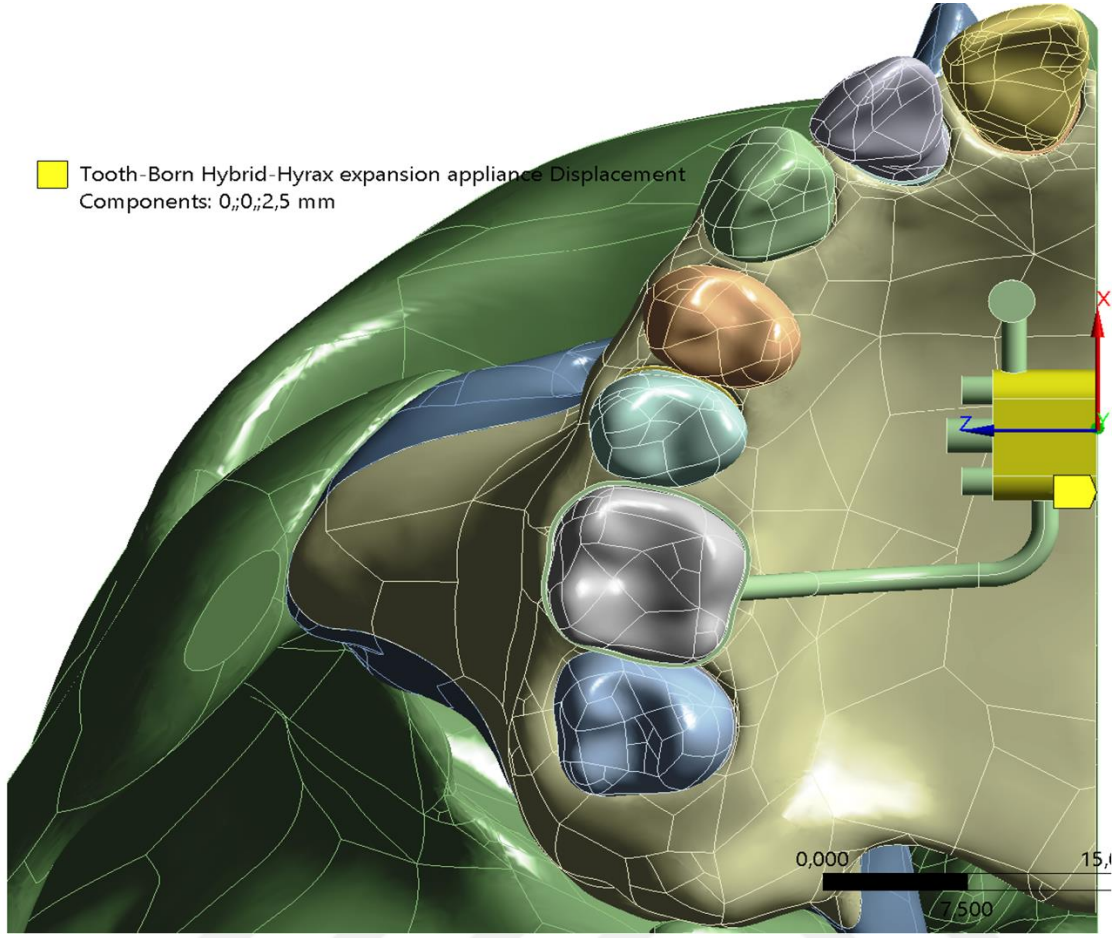
Şekil 12: Model III; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, 2 mini vidalı diş-kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.



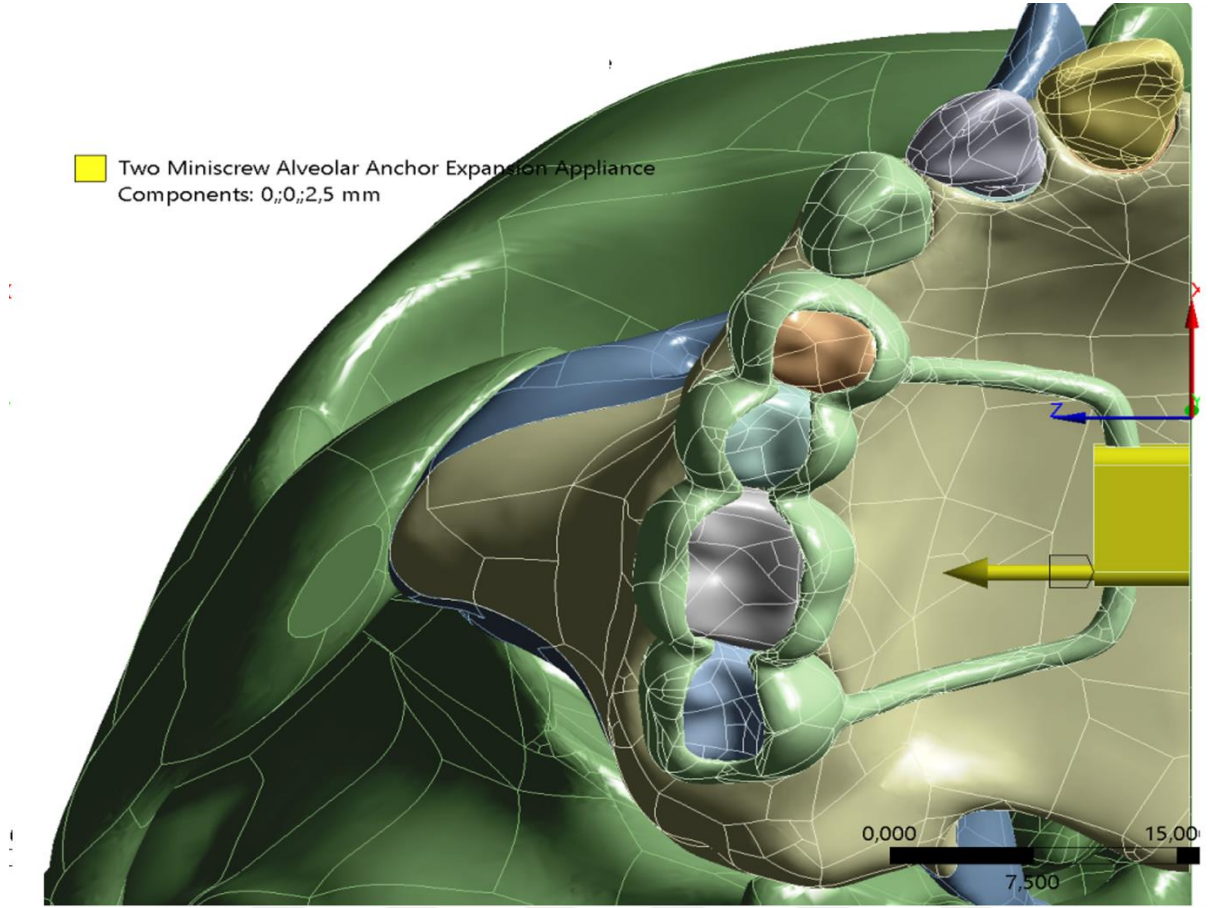
Şekil 13: Model IV; median ve lateral osteotomi yapılan fakat pterygomaksiller sutura ayrımı yapılmayan, dijital diş destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi (sarı okla) gösterimi.



Şekil 14: Model V; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, 4 mini vida kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.



Şekil 15: Model VI; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, 2 mini vidalı diş-kemik destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.



Şekil 16: Model VII; median ve lateral osteotomi ile pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan, dijital diş destekli model ve transversal yönde genişletme apareyinin 2,5 mm (toplam 5mm) yer değiştirme hareketi gösterimi.

3.2 Sınır Koşulları

Koordinatlar, x eksenini olarak ön-arka eksen, y eksenini olarak uzunlamasına veya dikey eksen ve z eksenini olarak enine eksen kullanılarak tanımlanmıştır. Her bir deformasyon durumu ve stres değeri farklı bir renk skalası bandı kullanılarak gösterilmektedir. Modellerde temel von Mises gerilme değerleri megapascal (MPa) cinsinden, yer değiştirme değerleri ise mm cinsinden ölçülmüştür. Yer değiştirme ve von Mises gerilme dağılımını değerlendirmek için geçici yapısal analiz (dinamik analiz) kullanılmıştır. Geometrik doğrusal olmayan teori, doğrusal olmayan temas teorisi ve doğrusal olmayan malzeme yöntemleri dikkate alınmıştır. Yer değiştirme ve stres değerleri ANSYS Workbench yazılımında tüm modellerde aynı eleman üzerinde bir prob kullanılarak ölçülmüştür.

Foramen magnum orijin olarak kullanılmak üzere sabitlenmiştir (18). Yer değiştirme hareketi mini vidalar aracılığıyla maksillaya iletilmiş ve ekspansiyon vidası tüm modellerde 0,25 mm olarak etkinleştirilmiştir. Simetrik FEA modelinde, z eksenı boyunca 5 mm'lik bir harekete eşdeğer olan 2,5 mm'lik bir enine yer değiştirme oluşturulmuştur. Sonuçlar, klinik koşulları temsil eden bir senaryoyu simüle eden toplam 5 mm'lik bir aktivasyonun ardından ölçülmüştür.

Tüm modellerde, lateral osteotomi ile ayrılmış maksiller yüzeyler arasında sürtünmesiz bir temas tanımlanmıştır. Maksilla ile dişler, PDL ve ekspansiyon apareyinin vidaları arasında yapıştırılmış temalar kurulmuştur. Bunlar tek bir ünite olarak işlev görüp, yüzeyler ve kenarlar arasında kayma veya ayrılmaya izin verilmemiştir. PMS ayrımı yapılan modellerde (maksilla ve sfenoid kemik arasında), temas eden yüzeyler arasında sürtünme teması tanımlanmıştır (sürtünme katsayısı 0,3). Temas eden yüzeylerin ve kenarların ayrılmasına veya kaymasına izin verilmiştir.

Maksilla için rotasyon miktarı, kafatasının simetrik düzlemine ilişkin anterior nazal spina (ANS) ile posterior nazal spina (PNS) noktaları arasındaki düğümlerden geçen çizgi boyunca açısal değişiklikler gözlemlenerek ölçülmüştür.

3.3 Sonlu Elemanlar Modeli

Simetrik model hazırlanırken; kafatası kemikleri 1,8 mm, maksilla 1,3 mm, periodontal ligament 0,6 mm ve dişler 1 mm boyutlarında elemanlara bölünmüştür. Elemanlar 10 düğümlü, kuadratik dört yüzlü tiptedir. Ekspansiyon apareyi ve mini vida 0,6 mm'ye, midpalatal sutura 0,3 mm'ye ve 20 düğümlü, kuadratik hexahedral ağ elemanlarına bölünmüştür. Simetrik model toplam 2387008 düğüm ve 1572363 elemana ayrılmıştır (Şekil 9).

Eleman, düğüm ve ağ boyutu değerleri tüm modeller için yaklaşık olarak aynıdır ve ortalama ağ çarpıklığı eleman kalitesi yakınsama değeri mükemmeldir (0,25) (Tablo III). Önceki FEA çalışmaları, ANSYS yazılımı tarafından belirlenen çarpık ağ metrik spektrumunun kalitesini gösteren değer aralığını (mükemmel-kabul edilemez) göstermiştir (7,21,22). Tablo III, modellerin tüm bileşenleri için eleman ve düğüm sayısını, ağ boyutu değerlerini ve eleman kalitesi yakınsama aralığını göstermektedir. Mesh yakınsama işlemi; maksilla ve sfenoid kemiğin temas yüzeyleri, mini vida, birinci molar dişin gövdesi ve ankraj vidasının maksillaya yerleştiği bölge üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mesh eleman boyutu sfenoid kemiğin temas yüzeyinde 1,3 mm, maksilla temas yüzeyinde 1 mm ve birinci molar dişte 0,8

mm olarak belirlenmiştir. Mini vidanın maksiller kemiğe oturduğu bölgedeki yiv yüzeyleri 0,1 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo III. Sonlu eleman modeli eleman ve düğüm sayısı, ağ boyutu, eleman tipi ve ortalama çarpıklık eleman kalitesi yakınsama değerleri.

	Ortalama ağ çarpıklık yakınsama değeri	Nod sayısı	Element sayısı	Mesh boyutu (mm)	Mesh Element Tipi
Kafatası	0,15	1691902	1158657	1,8	Tetrahedral
Maksilla (alt kısım)	0,28	237689	162577	1,3	Tetrahedral
Maksilla (üst kısım)	0,15	104642	71184	1,3	Tetrahedral
Periodontal ligament(PDL)	0,40	95057	47053	0,6	Tetrahedral
Sutura	0,1	38637	6752	0,3	Hex dominant
Diş	0,45	159921	106775	1	Tetrahedral
Diş-Kemik destekli (hybrid-hyrax) ekspansiyon apareyi	0,63	34744	11014	0,6	Hexahedral
Diş destekli (Digital) ekspansiyon apareyi	0,67	59485	21461	0,6	Hexahedral
Kemik destekli ekspansiyon apareyi	0,63	59160	19365	0,6	Hexahedral

4. BULGULAR

4.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Bu çalışmanın sıfır hipotezi reddedilmiştir çünkü farklı tipteki ekspansiyon apareylerinin ve çeşitli cerrahi tekniklerin maksiller ekspansiyon üzerindeki etkileri arasında fark bulunmaktadır.

Model I hariç PMS ayrımı olmayan tüm modellerde , en büyük yer değiştirme miktarı santral kesici dişler seviyesinde meydana gelmiştir ve kesici dişlerin transversal yer değiştirmesi posterior dişlerinkinden daha fazla olmuştur.

Santral kesici dişlerdeki en büyük transversal yer değiştirme sırasıyla Model II (3,50 mm), Model IV (3,34 mm) ve Model III'te (3,31 mm) benzer iken Model I'de 3,24 mm ölçülmüştür. Minimum yer değiştirme değeri olan 2,50 mm, Model V, VI ve VII'de eşit bulunmuştur. Bu modellerde, transversal yer değiştirme tüm dişler arasında eşittir. (Tablo IV, Şekil 17-23).

Model I'de lateral kesici dişte ölçülen yer değiştirme miktarı (3,35 mm), santral kesici dişte ölçülen miktara (3,24 mm) göre daha büyüktür. İkinci molar dişte transversal yönde en büyük yer değiştirme Model V, VI, VII'de (2,50 mm) ve en küçük yer değiştirme Model III'de (1,44 mm) ölçülmüştür. Bunu sırasıyla Model I (1,916 mm), Model IV (1,914mm), Model II (1,667 mm) izlemiştir (Tablo IV, Şekil 17-23).

ANS'de en büyük yer değiştirme değeri sırasıyla Model II (2,95 mm), Model III (2,71 mm), Model V, VI, VII (2,50 mm) ve Model IV (2,15 mm) için ölçülmüş; en küçük yer değiştirme ise Model I (1,78 mm) için bulunmuştur. PNS'de transversal yönde en yüksek yer değiştirme değeri Model V, VI, VII'de (2,50 mm), en düşük yer değiştirme değeri ise Model III'te (0,79 mm) ölçülmüştür (Tablo IV, Şekil 17-23).

PMS ayrımı olmayan modellerde, ikinci molar diştten santral kesici dişe doğru z eksenini boyunca yer değiştirmede bir artış görülürken, PMS ayrımı olan modellerde tüm dişlerde eşit miktarda yer değiştirme bulunmuştur (Tablo IV, Şekil 17-23).

Tüm modellerde, z eksenini boyunca yer değiştirme miktarı medial pterygoid çıkıntıda lateral pterygoid çıkıntıya göre daha fazla olmuştur. Medial pterygoid çıkıntısının z eksenini için en büyük yer değiştirmesi Model I'de (0,80 mm) ölçölürken, en küçük yer değiştirmesi PMS ayrımı yapılan modellerde yaklaşık sıfır olarak (Model V, VI, VII) bulunmuştur. Sırasıyla Model II ve Model IV'de (0,385 mm) eşit, Model III'de (0,281 mm) daha az olarak izlenmiştir (Tablo IV, şekil 17-23).

Lateral pterygoid çıkıntıda z eksenini için (transversal yönde) ölçölün yer değiştirme miktarının en küçük değeri pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan modellerde eşit ve yaklaşık olarak sıfır ve en büyük değeri Model I'de (0,66 mm) bulunmuştur. Sırasıyla Model IV (0,27 mm) ve Model II'de (0,20 mm) yaklaşık olarak eşit ve Model III'de daha az (0,15 mm) bulunmuştur (Tablo IV, şekil 17-23).

PMS ayrımı yapılmayan modellerin ANS ve PNS noktalarında ölçölün yer değiştirme miktarı incelendiğinde, maksillada "V şeklinde" bir ekspansiyon paternini gözlenmiş ve bu patern Model II ve Model III'te daha belirgin olmuştur. PMS ayrımı yapılan modellerde ise maksillada paralel bir ekspansiyon paternini gözlenmiştir (Tablo IV, şekil 17-23).

Model I hariç tüm modellerde frontomaksiller sutura, zigomatikomaksiller sutura, frontozigomatik sutura ve zigomatik ark anatomik bölgelerinde z eksenini için ölçölün (transversal yönde) yer değiştirme değeri yaklaşık olarak sıfırdır. Model I'de ölçölün yer değiştirme miktarı sırasıyla büyükten küçüğe doğru z eksenini için (transversal yönde) zigomatikomaksiller suturada (0,922 mm), medial pterygoid çıkıntıda (0,802 mm) ve lateral pterygoid çıkıntıda (0,661 mm), zigomatik arkta (0,553 mm), frontozigomatik suturada (0,108) ve frontomaksiller suturada (0,006 mm) ölçölümüştur (Tablo IV, şekil 17-23).

4.2. X ve Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Tüm modellerde x eksenini için yer değiştirme miktarı negatif değer olarak ölçölümüştur. Lateral pterygoid çıkıntıda ölçölün değer medial pterygoid çıkıntıda ölçölün değerden daha büyüktür. Modeller arasında büyükten küçüğe doğru ölçölün PNS ve ANS değerleri sırasıyla, Model IV'de (-0,113 mm, -0,162 mm), Model I'de (-0,160 mm, -0,185 mm), Model III'de (-0,234 mm, -0,370 mm) ve Model II'de (-0,259 mm, -0,438 mm) bulunmuştur (Tablo IV).

Y eksenini için Model II, Model III ve Model IV’de lateral pterygoid çıkıntıda ölçülen yer değiştirme miktarı medial pterygoid çıkıntıda ölçülen değere göre daha büyüktür ve Model I için ise medial pterygoid çıkıntıda ölçülen yer değiştirme miktarı, lateral pterygoid çıkıntıda ölçülen değerden daha büyüktür (Tablo IV).

Medial pterygoid çıkıntıda y eksenini için ölçülen yer değiştirme miktarı Model I’de (0,696 mm) en büyük değer ve Model IV’de (0,174 mm) en küçük değer olarak ölçülmüştür. Lateral pterygoid çıkıntıda y eksenini için yer değiştirme miktarı büyükten küçüğe doğru sırasıyla Model I’de (0,519 mm), Model II’de (0,353 mm), Model III’de (0,263 mm) ve Model IV’de (0,189 mm) ölçülmüştür (Tablo IV).

Pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan modeller hariç tüm modellerde, x eksenini için PNS’de ölçülen yer değiştirme miktarı ANS değerine göre daha büyüktür. En büyük PNS yer değiştirme değeri sırasıyla; Model III’de (0,446 mm), Model II’de (0,399 mm), Model I’de (0,310 mm), Model IV’de (0,230 mm) ölçülmüştür. En büyük ANS yer değiştirme değeri Model III’de (0,372 mm) ve en küçük Model I’de (0,199 mm) ölçülmüştür (Tablo IV).

Pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan modeller hariç tüm modellerde, y ekseninde ANS ve PNS için yer değiştirme miktarı negatif değer olarak ölçülmüştür. Model I’de y ekseninde ölçülen ANS’deki yer değiştirme değeri PNS’den daha büyükken, Model II, Model III ve Model IV’de bu durum tam tersi olarak bulunmuştur (Tablo IV).

ANS için yer değiştirme miktarı büyükten küçüğe doğru sırasıyla Model I’de (-0,092 mm), Model II’de (-0,167 mm), Model III’de (-0,473 mm) ve Model IV’de (-1,856 mm) ölçülmüştür. PNS için yer değiştirme miktarı büyükten küçüğe doğru sırasıyla Model II’de (-0,098 mm), Model III’de (-0,155 mm), Model I’de (-0,271 mm) ve Model IV’de (-0,945 mm) ölçülmüştür (Tablo IV).

Pterygomaksiller sutura ayrımı yapılan Model V, VI, VII’de x ve y ekseninde anatomik bölgelerde ölçülen yer değiştirme miktarı sıfır olarak bulunmuştur. Tüm modellerde frontomaksiller sutura, zigomatikomaksiller sutura, frontozigomatik sutura, zigomatik ark, medial pterygoid çıkıntı ve lateral pterygoid çıkıntıda ölçülen x yönünde oluşan yer değiştirme değerleri negatif, y ve z yönünde oluşan yer değiştirme değerleri pozitif değer olarak ölçülmüştür (Tablo IV).

Tablo IV. Tüm modellerde maksiller ekspansiyonun 5 mm aktivasyonundan sonra yöne bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)

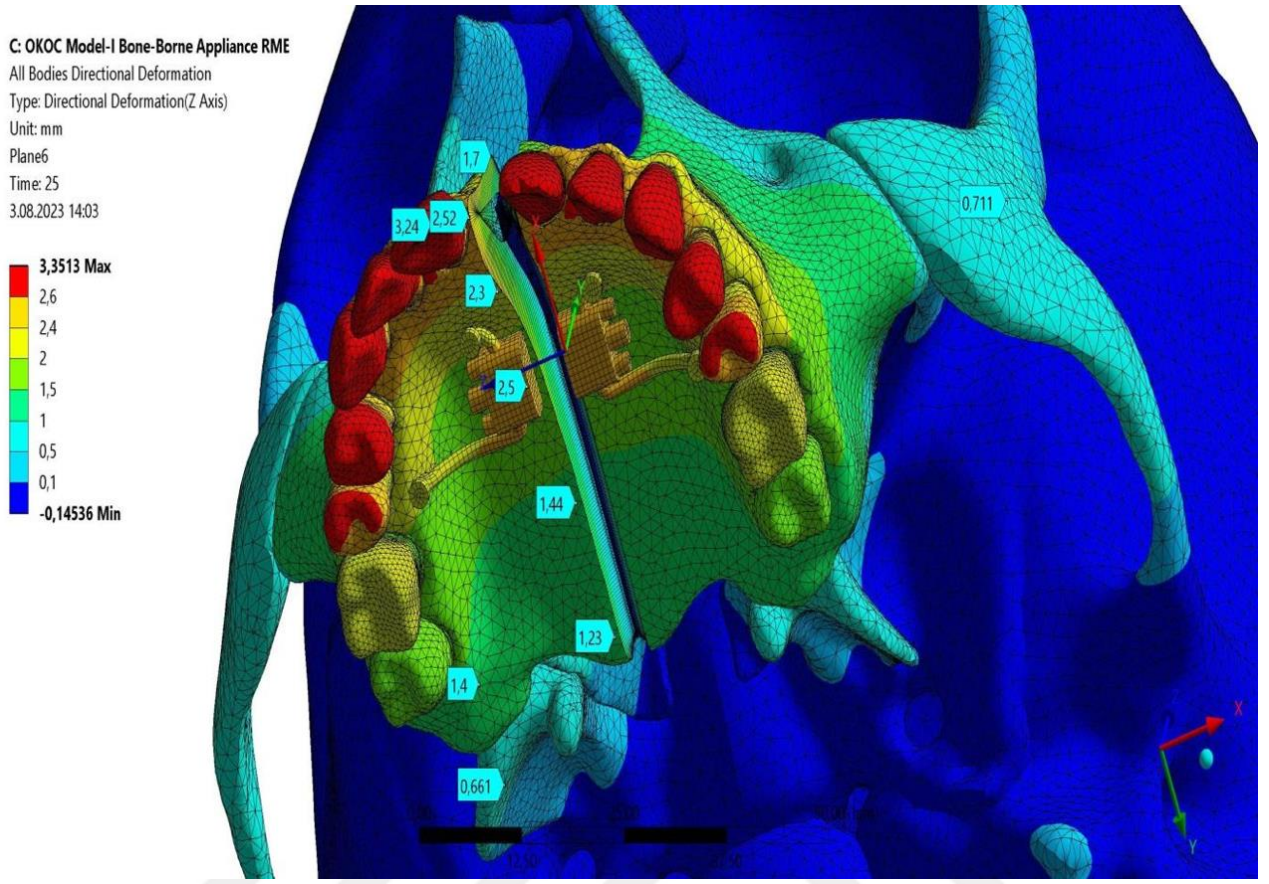
	Model I			Model II			Model III			Model IV		
Anatomik yapı	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Santral Kesici	0,503	0,407	3,240	0,178	-0,087	3,509	0,232	-0,355	3,318	0,090	-1,576	3,344
Lateral Kesici	0,455	0,804	3,350	-0,028	0,031	3,381	0,043	-0,242	3,199	-0,008	-1,219	3,268
Kanin	0,369	1,090	3,190	-0,264	0,146	3,149	-0,189	-0,092	2,964	-0,125	-0,853	3,043
1.premolar	0,309	1,156	2,929	-0,384	0,233	2,806	-0,317	-0,009	2,598	-0,195	-0,550	2,734
2.premolar	0,261	1,179	2,690	-0,547	0,311	2,535	-0,484	0,098	2,295	-0,323	-0,291	2,542
1.molar	0,106	1,135	2,354	-0,508	0,398	2,212	-0,450	0,216	2,030	-0,293	0,005	2,312
2.molar	0,028	1,032	1,916	-0,435	0,411	1,667	-0,369	0,246	1,440	-0,209	0,165	1,914
ANS	0,199	-0,092	1,784	0,304	-0,167	2,950	0,372	-0,473	2,710	0,203	-1,856	2,150
PNS	0,310	-0,271	1,230	0,399	-0,098	0,983	0,446	-0,155	0,798	0,230	-0,945	1,080
Frontomaksiller sutura	-0,426	0,740	0,006	-0,261	0,399	0,000	-0,169	0,231	0,003	-0,085	0,195	0,000
Zigomatikomaksiller sutura	-0,293	1,469	0,922	-0,087	0,047	0,058	-0,070	0,264	0,048	0,069	0,286	0,095
Frontozigomatik sutura	-0,720	1,134	0,108	-0,282	0,399	0,011	-0,179	0,229	0,007	-0,127	0,211	0,017
Zigomatik ark	-0,461	0,772	0,553	-0,128	0,273	0,031	-0,097	0,151	0,028	-0,048	0,105	-0,002
Medial Pterygoid Çıkıntı	-0,185	0,696	0,802	-0,438	0,341	0,385	-0,370	0,206	0,281	-0,162	0,174	0,385
Lateral Pterygoid Çıkıntı	-0,160	0,519	0,661	-0,259	0,353	0,202	-0,234	0,263	0,156	-0,113	0,189	0,274
Rotasyon ve Tipping açısı	1,04°	-3,58°	-0,87°	0,10°	1,65°	-2,8°	0,44°	1,91°	-2,76°	1,29°	1,96°	-1,66°

Tablo IV devamı. Tüm modellerde maksiller ekspansiyonun 5 mm aktivasyonundan sonra yöne bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)

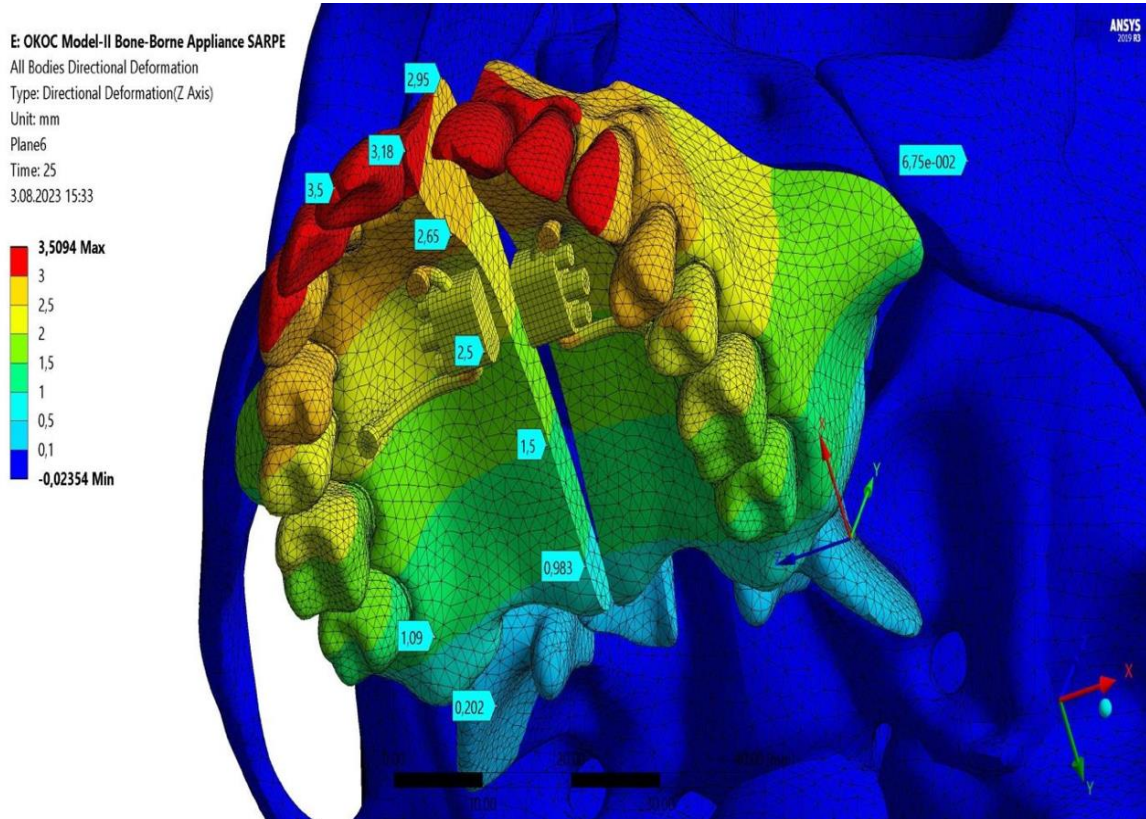
	Model V			Model VI			Model VII		
Anatomik yapı	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Santral Kesici	0,0001	0,0000	2,500	0,0000	0,0000	2,500	-0,0000	0,0001	2,500
Lateral Kesici	-0,0000	-0,0000	2,500	0,0000	0,0000	2,500	-0,0000	0,0000	2,500
Kanin	-0,0003	-0,0000	2,500	0,0000	0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500
1.premolar	-0,0004	-0,0000	2,500	0,0000	0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500
2.premolar	-0,0006	-0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500
1.molar	-0,0005	-0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500
2.molar	-0,0006	-0,0000	2,500	0,0000	-0,0000	2,500	0,0000	0,0001	2,500
ANS	0,0002	0,0000	2,500	-0,0000	0,0000	2,500	-0,0000	0,0001	2,500
PNS	0,0002	0,0000	2,500	-0,0000	-0,0000	2,500	-0,0000	0,0000	2,500
Frontomaksiller sutura	-0,0000	0,0000	1,8e-9	0,0000	-0,0000	1,9e-7	-0,0000	0,0000	1,2e-6
Zigomatikomaksiller sutura	0,0000	0,0000	1,6e-6	0,0000	0,0000	1,6e-5	0,0000	0,0000	3,5e-6
Frontozigomatik sutura	-0,0000	0,0000	5,1e-8	-0,0000	-0,0000	1,1e-6	-0,0000	0,0000	8,5e-8
Zigomatik ark	-0,0000	0,0000	3,3e-7	0,0000	-0,0000	-1,3e-6	-0,0000	0,0000	5,1e-7
Medial Pterygoid Çıkıntı	0,0000	0,0000	-1,8e-7	0,0001	0,0000	1,8e-5	0,0000	0,0000	2,1e-6
Lateral Pterygoid Çıkıntı	0,0000	0,0000	-9,6e-8	0,0000	-0,0000	-1,9e-5	0,0000	0,0000	9,9e-7
Rotasyon ve Tipping açısı	-5,8e ⁻⁵ °	-1e ⁻³ °	-2,5e ⁻³ °	1,6e ⁻⁴ °	-4,1e ⁻⁴ °	6,4e ⁻⁴ °	-1,9e ⁻⁶ °	-8,8e ⁻⁵ °	5,2e ⁻⁵ °

x, x eksen (ön-arka); y, y eksen (uzunlamasına veya dikey); z, z eksen (enine boyutlar). Pozitif (+) değerler ileriye, dışa veya yukarıya doğru yer değiştirmeyi, negatif (-) değerler ise geriye, içe veya aşağıya doğru yer değiştirmeyi göstermektedir.

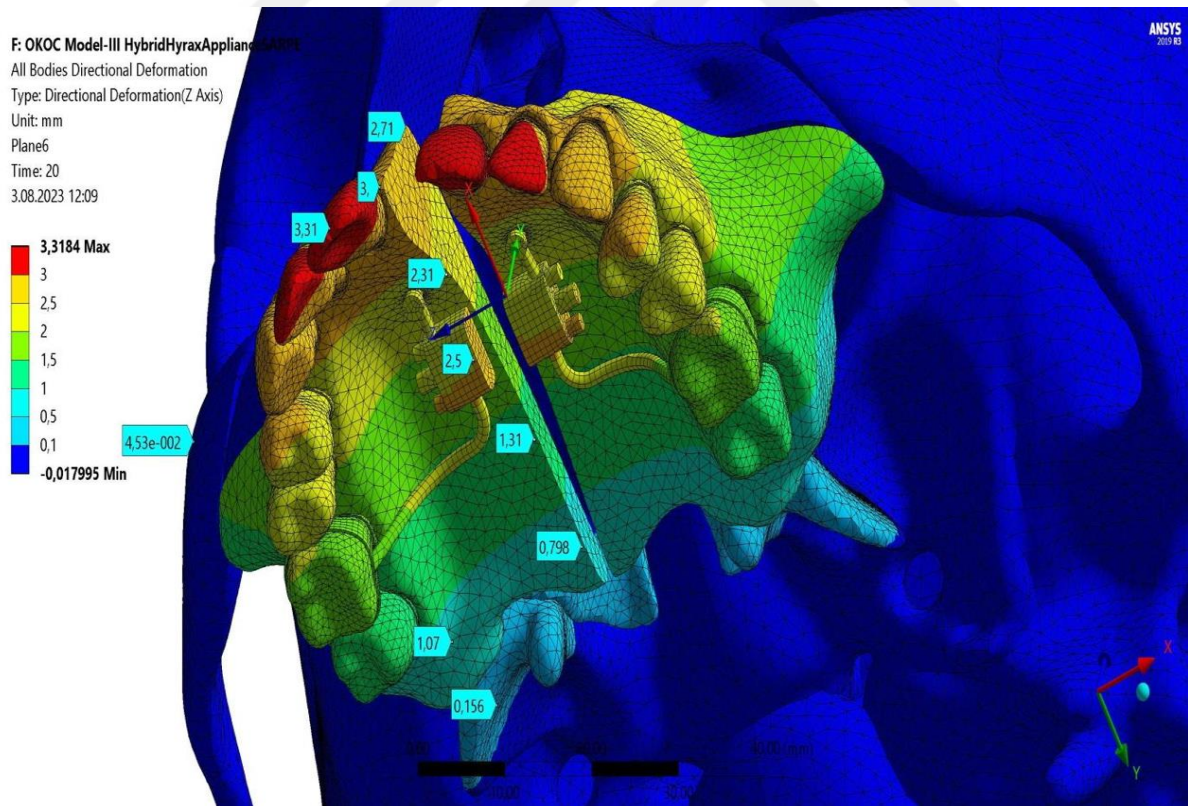
Tüm modellerde median ve lateral osteotomiler pterygomaksiller sutura ayrımı olmadan yapılmıştır. 'e': Üstel. 'e', bir sayının bir güce/ponansa yükseltilmiş bir taban olarak temsilini ifade eder. 10'un kuvveti negatif veya pozitif (-/+) sayı olarak ifade edilir.



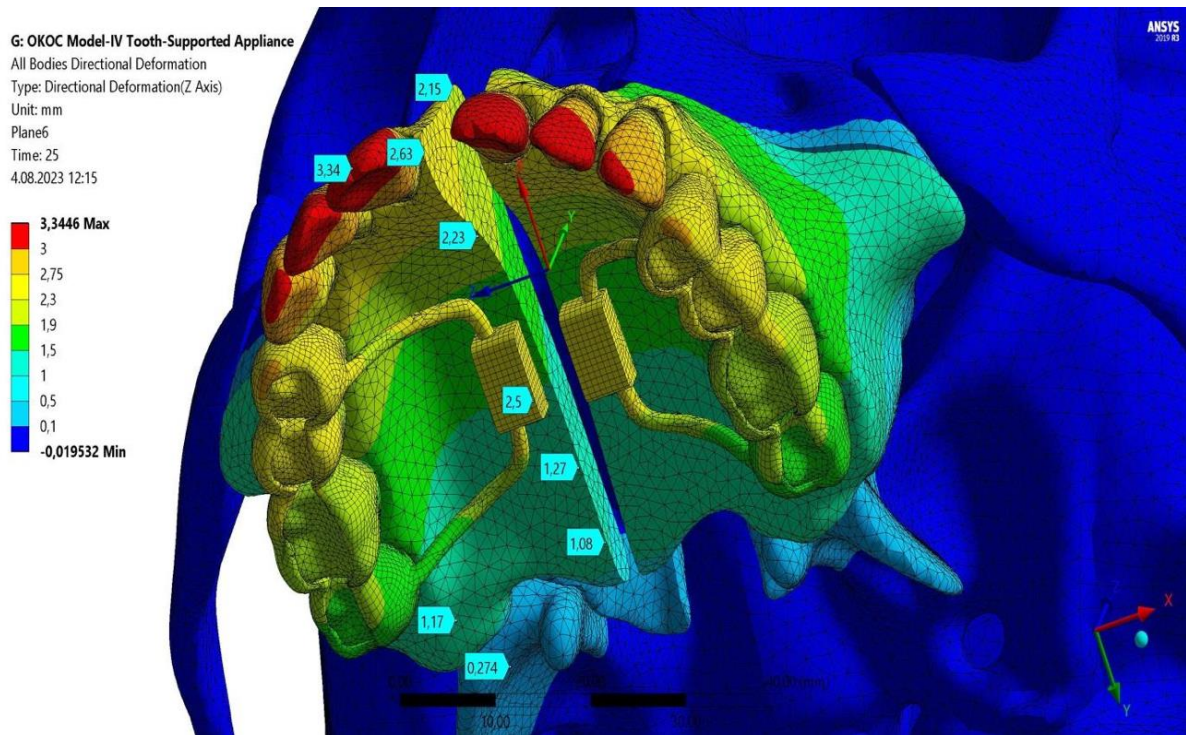
Şekil 17: Model I, z ekseninde (transversal yönde) yer değıştirme (mm) miktarı (Okluzal)

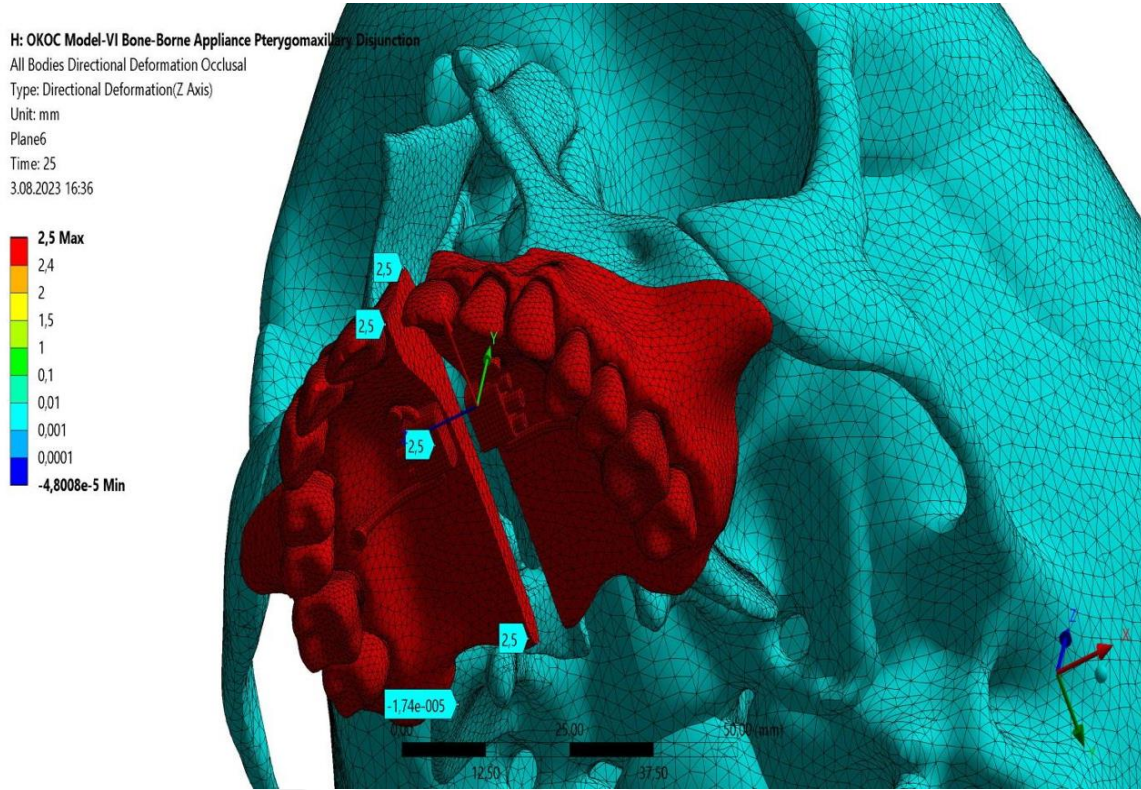


Şekil 18: Model II, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal)

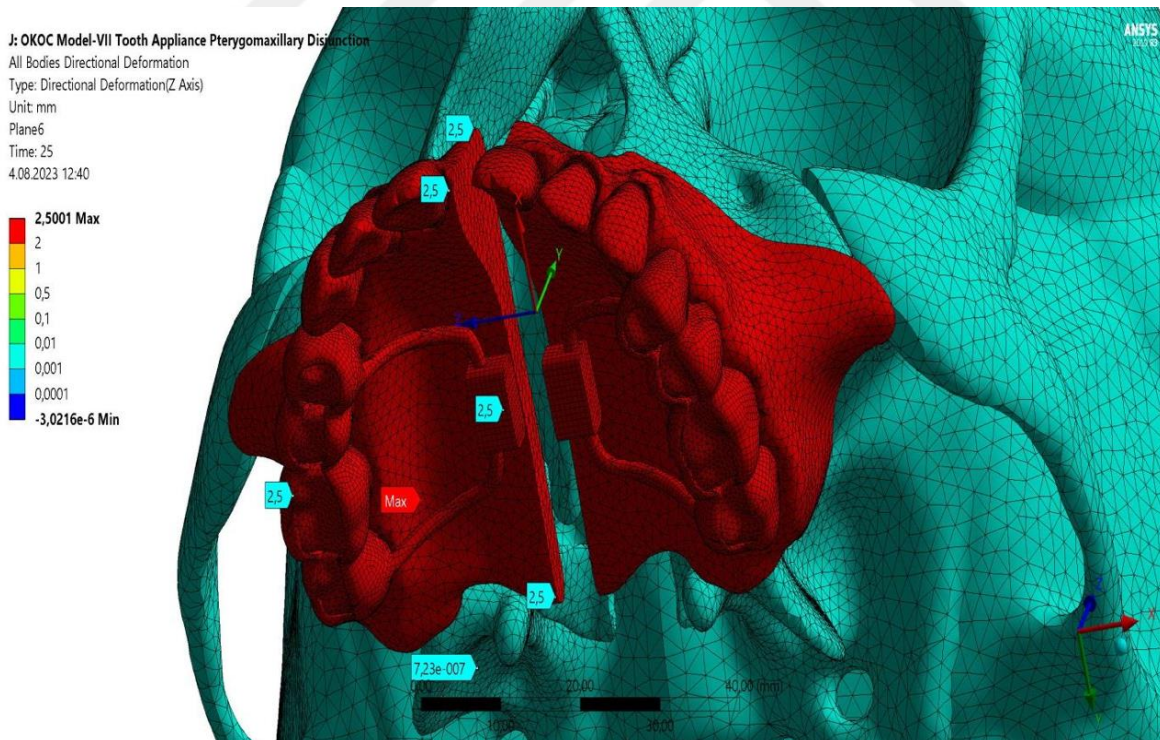


Şekil 19: Model III, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal)





Şekil 22: Model VI, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal)



Şekil 23: Model VII, z ekseninde (transversal yönde) yer değiştirme (mm) miktarı (Okluzal)

4.3. Gerilme (Stres) Dağılımı

Modeller için kraniyofasiyal yapılardaki ortalama elemental von Mises gerilme dağılımı Tablo-V'de gösterilmiştir. En yüksek elemental von Mises stres değeri Model I'de gözlenmiştir. PMS ayrımı yapılan modellerde stres değeri tüm anatomik noktalarda neredeyse sıfırdır. Ölçülen anatomik bölgeler arasında en yüksek elemental von Mises stres değerleri Model I (329 MPa) ve Model III'te (252 MPa) mini vida yerleştirme bölgelerinde ve Model II (175 MPa) ve Model IV'te (113 MPa) medial pterygoid çıkıntıda bulunmuştur. Minivida bölgesinde ölçülen en düşük elemental von Mises stres değeri Model II'de (156 MPa) bulunmuştur (Tablo V, Şekil 24-30).

Medial pterygoid çıkıntıda ölçülen en yüksek elemental von Mises gerilme değeri Model-II'de (175 MPa) ve en düşük Model-I'de (75,02 MPa) gözlenmiştir. Lateral pterygoid çıkıntıda ölçülen en düşük elemental von Mises gerilme değeri Model-I'de (69,66 MPa) ve en yüksek Model-II'de (142 MPa) gözlenmiştir (Tablo V, Şekil 24-30).

Model I'de (medial ve lateral pterygoid çıkıntılar hariç), birçok anatomik bölgede ölçülen stres değerleri diğer modellere kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir. ANS'de ölçülen elemental von Mises stres değeri en düşük Model IV'te (0,04 MPa) ve PNS'de ölçülen elemental von Mises stres değeri en düşük Model III'te (0,64 MPa) ölçülmüştür (Tablo V, Şekil 24-30).

Gerilme dağılımını gösteren prob ölçeğindeki maksimum temel gerilme değerleri aşırı yüksek olarak belirlenmiştir. Özellikle Model I, III, II ve IV için stres değerleri sırasıyla 1016 MPa, 729 MPa, 472 MPa ve 388 MPa'ya ulaşmıştır. Şekillerin ayrıntılı analizi, özellikle de maksimum gerilimi temsil eden kırmızı ile gösterilen bölgeler, öncelikle düğümlerde ve hacim içindeki sınırlı sayıda elemanda yoğunlaşmayı ortaya çıkarmıştır. Bu yoğunlaşma tekillik hatalarının (singularity error) oluşmasından kaynaklanmaktadır (Tablo V, Şekil 24-30).

Birinci molardaki en yüksek elemental von Mises stresi Model III'te (126,6 MPa) gözlenirken, en düşük elemental von Mises stresi Model VI'da ($3,34e-8$ MPa) gözlenmiştir. Maksiller tüber bölgesinde en yüksek elemental von Mises stresi Model II'de (16,7 MPa), en düşük elemental von Mises stresi ise Model VI'da ($2,10e-5$ MPa) gözlenmiştir. Mini vida

yerleştirilen bölgede ölçülen en düşük ve en yüksek elemental von Mises gerilme değeri sırasıyla Model II'de (156 MPa) ve Model I'de (329,6 MPa) bulunmuştur (Tablo V, Şekil 24-30).

Zigomatikomaksiller suturada ölçülen en düşük ve en yüksek elemental von Mises gerilme değeri sırasıyla Model III'de (8,47 MPa), Model II'de (35,6 MPa), Model IV'de (81,4 MPa) ve Model I'de (242,5 MPa) görülmüştür (Tablo V, Şekil 24-30).

Frontozigomatik suturada en yüksekten en düşüğe doğru ölçülen elemental von Mises gerilme değeri sırasıyla Model I'de (180,9 MPa), Model II'de (16,7MPa), Model IV'de (14,2 MPa) ve Model III'de (7,87 MPa) görülmüştür (Tablo V, Şekil 24-30).

Nazal frontal suturada en yüksekten en düşüğe doğru ölçülen elemental von Mises gerilme değeri sırasıyla Model I'de (169,5 MPa), Model II'de (14,3MPa), Model III'de (10,85 MPa) ve Model IV'de (7,86 MPa) görülmüştür (Tablo V, Şekil 24-30).

Tablo V. Maksiller ekspansiyon aktivasyonunun 5 mm'sinden sonra değerlendirilen yapıların ortalama elemental stres (von Mises stresi ve birincil asal stres) dağılımı.

	Model I		Model II		Model III		Model IV	
Anatomik yapı	Von Mises Stres (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)	Von Mises Stres (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)	Von Mises Stres (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)	Von Mises Stress (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)
Frontomaksiller sutura	100	90,7	7,85	9,08	2,95	1,16	2,1	1,73
Zigomatikomaksiller sutura	242,5	11,8	35,6	2,09	8,47	0,90	81,4	0,88
Frontozigomatik sutura	180,9	8,02	16,7	-0,47	7,87	0,26	14,2	1,12
Zigomatik ark	159,5	40	6,36	0,28	7,62	0,44	8,84	4,96
Nazal frontal sutura	169,5	157	14,3	17	10,85	13,8	7,86	7,27
Medial pterygoid çıkıntı	75,02	8,21	175	97,6	156,9	92,7	113	67,8
Lateral pterygoid çıkıntı	69,66	12,2	142	13,4	92,01	10,8	73,9	11,7
Maksiller tüber	14,38	4,54	16,7	12,5	5,18	4,47	12,7	11,5
Posterior nazal spina	10,8	6,88	1,92	0,33	0,64	0,24	0,98	0,07
Anterior nazal spina	15,7	9,54	0,13	0,05	1,29	0,10	0,04	0,04
Minivida bölgesi	329,6	289	156	111	252,8	239	-	-
1.Molar	3,095	5,8	0,06	0,05	126,6	5,49	1,95	0,37

Tablo V devamı. Maksiller ekspansiyon aktivasyonunun 5 mm'sinden sonra değerlendirilen yapıların ortalama elemental stres (von Mises stresi ve birincil stres) dağılımı.

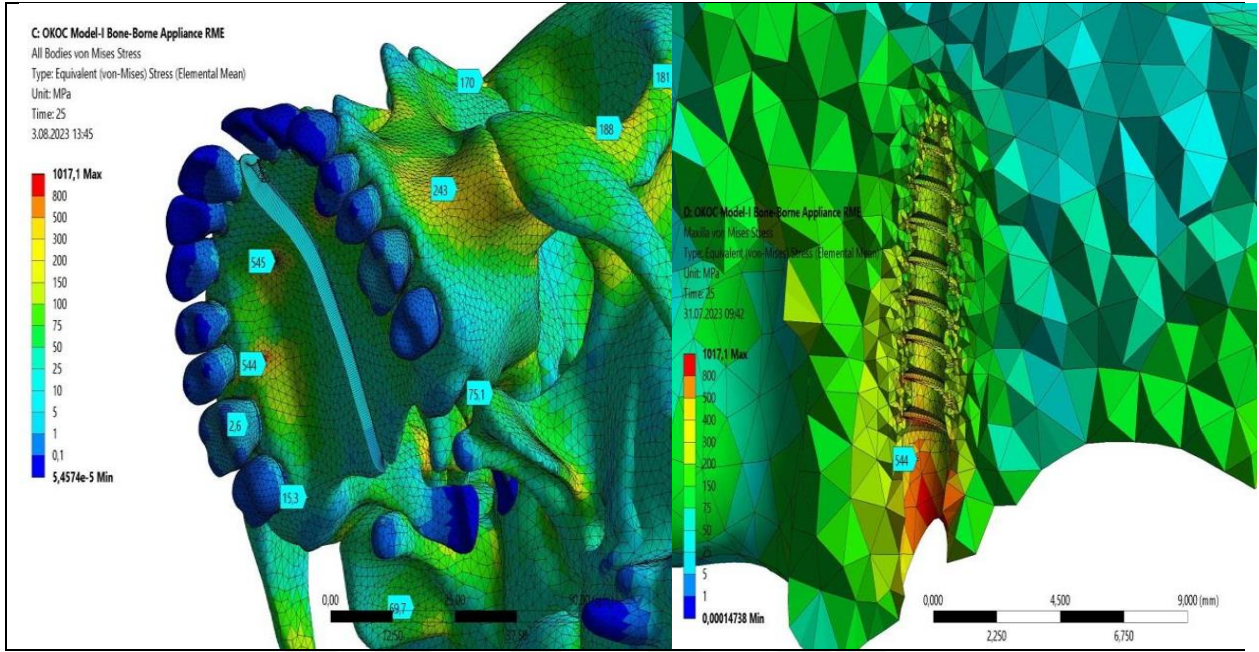
	Model V		Model VI		Model VII	
Anatomik yapı	Von Mises Stres (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)	Von Mises Stres (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)	Von Mises Stress (MPa)	Birincil Asal Stres (MPa)
Frontomaksiller sutura	4,53e-5	-1,28e-6	1,09e-3	-1,47e-4	1,63e-4	-1,71e-6
Zigomatikomaksiller sutura	1,31e-4	3,32e-5	2,10e-4	1,14e-3	4,06e-4	2,63e-6
Frontozigomatik sutura	5,80e-5	-5,34e-6	5,55e-4	-4,22e-6	2,34e-4	-6,05e-6
Zigomatik ark	1,28e-4	3,93e-6	1,61e-3	2,63e-4	2,76e-4	4,60e-5
Nazal frontal sutura	8,80e-5	-2,49e-5	2,70e-3	-4,76e-4	3,73e-4	-3,49e-5
Medial pterygoid çıkıntı	2,50e-4	1,35e-4	1,27e-2	5,64e-3	4,01e-4	4,84e-4
Lateral pterygoid çıkıntı	3,25e-4	1,48e-4	3,18e-2	1,79e-2	8,69e-4	6,71e-4
Maksiller tüber	4,36e-4	2,59e-4	2,10e-5	4,14e-6	2,67e-4	4,58e-5
Posterior nazal spina	8,70e-5	4,36e-5	6,45e-6	3,52e-6	1,32e-5	1,31e-5
Anterior nazal spina	2,67e-5	2,11e-6	1,19e-7	4,48e-8	1,61e-6	1,54e-6
Minivida bölgesi	2,06e-2	1,70e-2	2,79e-4	1,42e-4	-	-
1.Molar	5,03e-2	4,80e-2	3,34e-8	2,39e-8	1,81e-4	1,14e-4

Pozitif (+) değerler sıkıştırma stresini ve negatif (-) değerler çekme stresini gösterir.

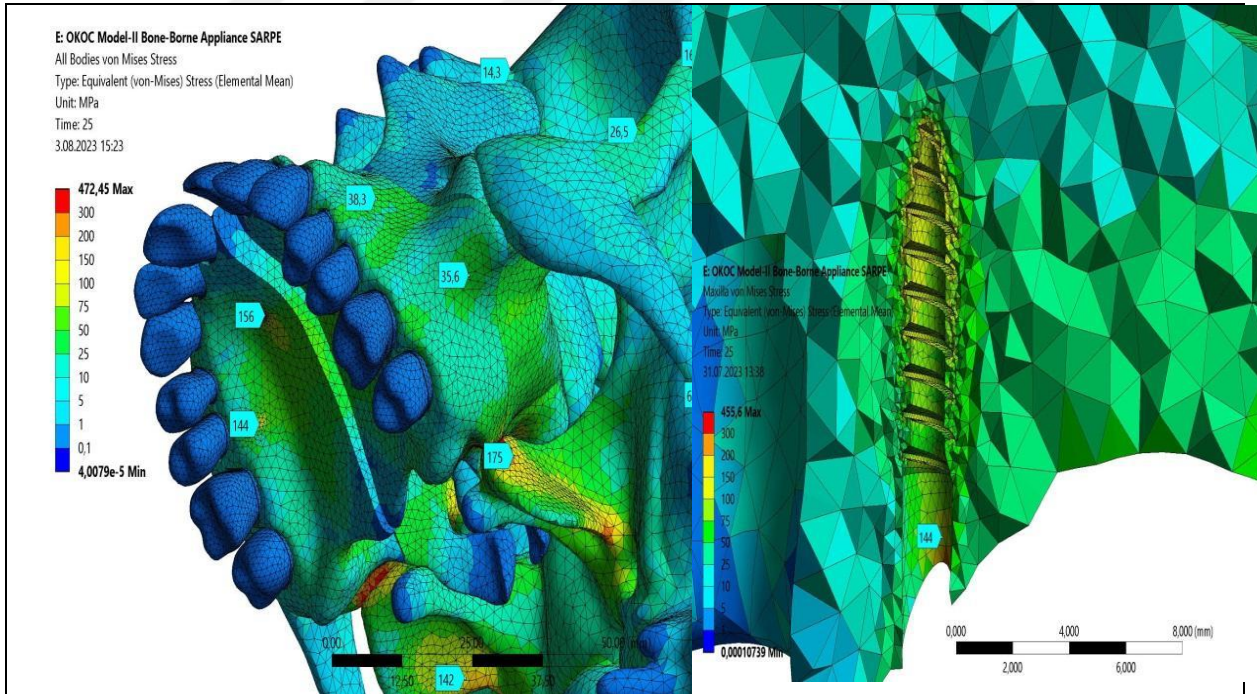
MPa=megapascal.

'e': Üstel. 'e', bir sayının bir güce/ponente yükseltilmiş bir taban olarak temsilini ifade eder.

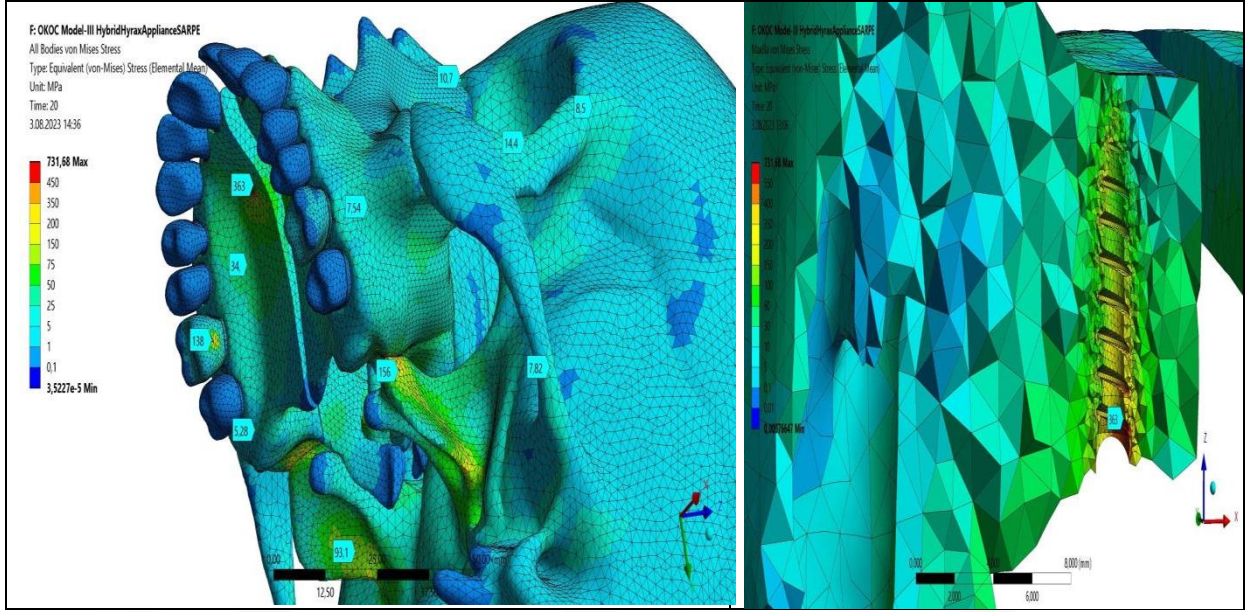
10'un kuvveti negatif veya pozitif (-/+) sayı olarak ifade edilir.



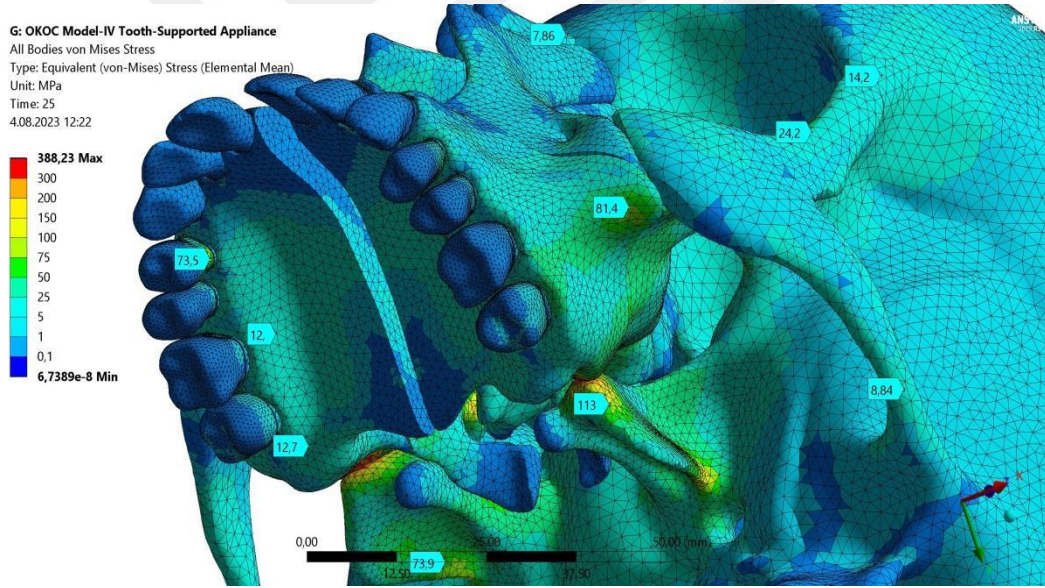
Şekil 24: Model I, kraniofasial ve maksillofasial yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



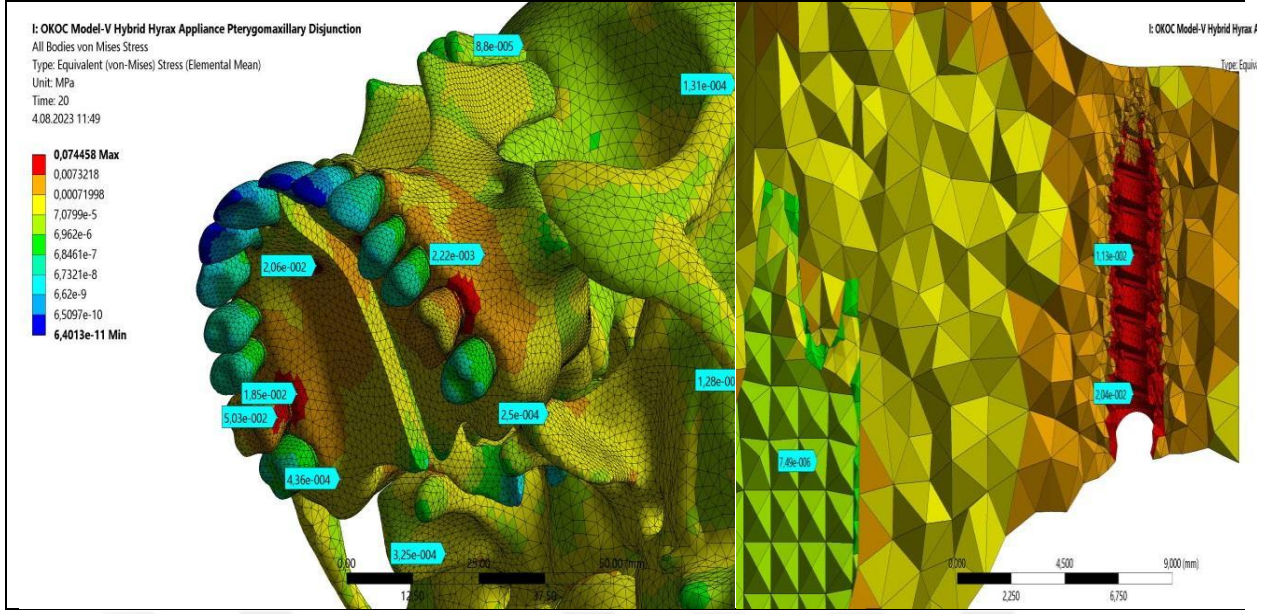
Şekil 25: Model II, kraniofasial ve maksillofasial yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



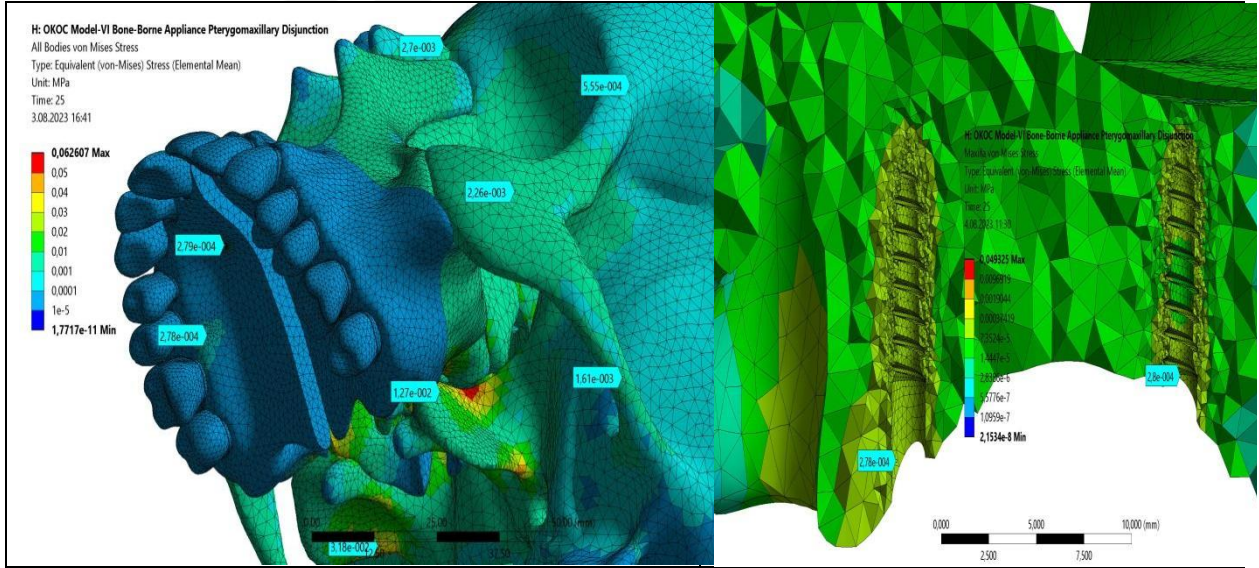
Şekil 26: Model III, kraniofasial ve maksillofasial yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



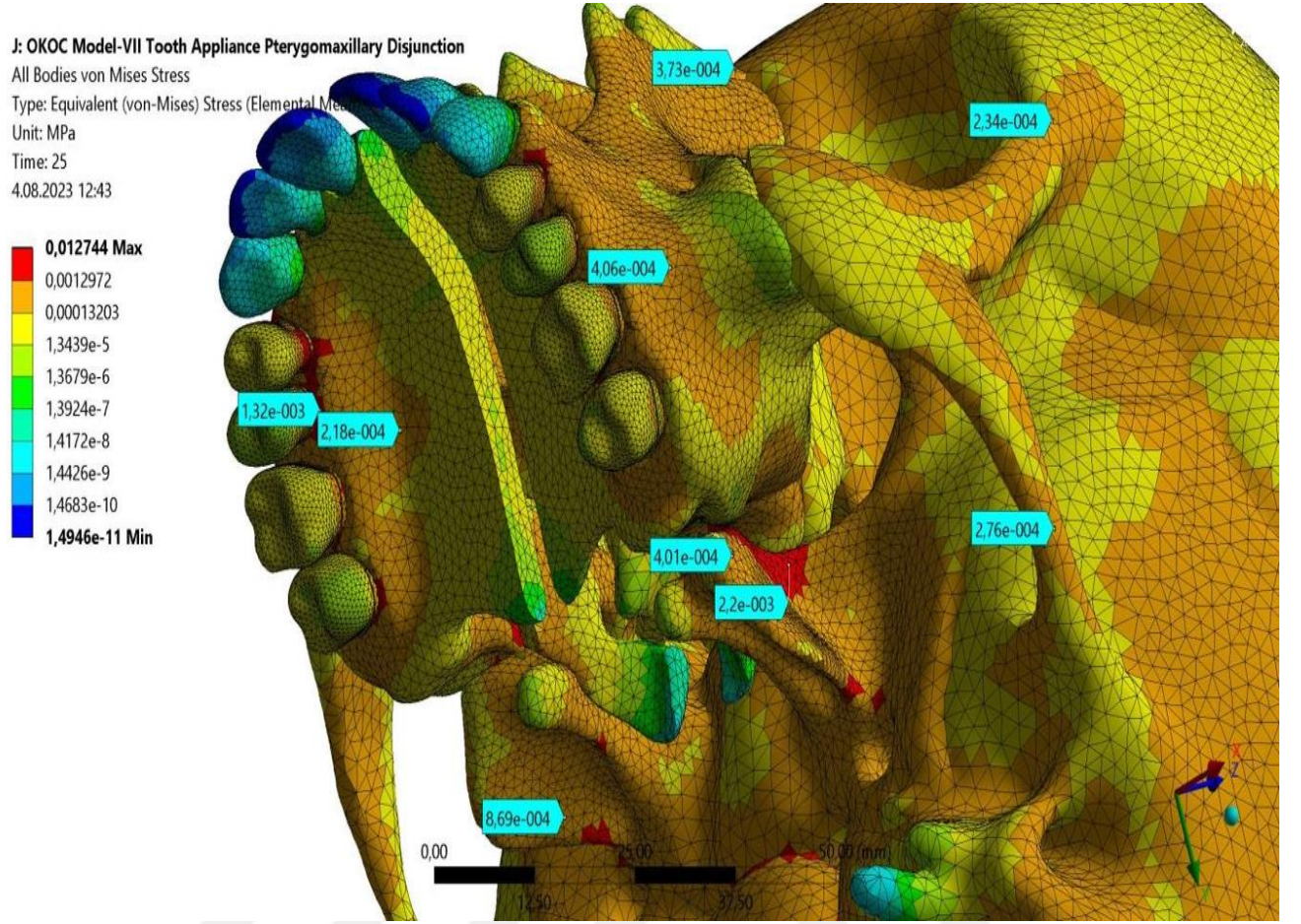
Şekil 27: Model IV, kraniofasial ve maksillofasial yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



Şekil 28: Model V, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



Şekil 29: Model VI, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapı ile minivida bölgesinde ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)



Şekil 30: Model VII, kraniofasiyal ve maksillofasiyal yapıda ortalama von Mises (MPa) gerilme değeri (Okluzal)

5. TARTIŞMA

5.1. Amacın Değerlendirilmesi

İskeletsel transversal maksiller darlığın maksiller ekspansiyon ile düzeltilmesi olumlu fonksiyonel ve estetik sonuçlar vermektedir (132). Yetişkin hastalarda, cerrahi destek olmadan maksiller ekspansiyon uygulamak dental tipping ve periodontal sorunlara yol açabilmektedir. SARPE bu yan etkileri önlemek için bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (133). SARPE, genel anestezi altında yapılan bir Le Fort I osteotomisini ve ek olarak midpalatal osteotomiyi içerir (134).

Osteotomi prosedürü sırasında, pterygoid plakların maksilladan ayrılmasını içeren işlemin gerçekleştirilmesinin gerekliliğine ilişkin önemli bir karar vermek gerekmektedir. Kavisli bir çişel kullanılan teknikte, maksilladaki vasküler yapılara dikkat edilmesi gerekir. Bu yapıların korunması, hemoraji ve avasküler maksiller nekroz gibi post-operatif riskleri en aza indirmek açısından büyük önem taşır (99).

Cerrahi teknik ve ekspansiyon apareyinin tipi değiştiğinde, kraniyofasiyal yapılar üzerindeki stres değerleri ve yer değiştirme miktarları değişebilmektedir. Literatürde PMS ayrımının gerekliliği ve stabilitesi konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Yapılan bir sistematik derleme ve meta-analizin sonuçlarına göre SARPE'de PMS ayrımının gerekliliği konusunda literatürde net bir fikir birliği olmadığı ortaya konulmuştur (11). Ayrıca, PMS ayrımı yapılmasının posterior ve anterior transversal uyumsuzlukların düzeltilmesinde farklı etkiler gösterip göstermediği konusunda belirsizlikler halen devam etmektedir. Bazı cerrahlar, pterygoid pleksusa zarar vermekten kaçınmak için pterygoid proseslerin ayrılmaması gerektiğini savunmaktadırlar (134). PMS ayrımı için kesin endikasyonlar oluşturmak ve gerekliliğini belirlemek için, prosedür sonuçlarının kapsamlı bir şekilde değerlendirmesi gereklidir. Shi ve ark. (143), özellikle PMS ayrımı ile birlikte paramedian osteotomiyi takiben, yer değiştirmelerin ağırlıklı olarak transversal düzlemde meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Cerrahi müdahale yapılmayan vakalarda, midpalatal suturanın anterior segmentinde posterior segmente kıyasla daha fazla ayrılma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu bulgular, farkı posterior maksiller bölgedeki daha yüksek dirence bağlayan Akkaya ve ark.'nın (63) sonuçlarıyla uyumludur. Literatürdeki bu çalışmalar göz önünde bulundurularak,

bu tez çalışmasında PMS ayrımı yapılan ve yapılmayan SARPE prosedüründe farklı maksiller ekspansiyon apareylerinin etkileri sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmiştir.

Ortodontik ekspansiyon için cerrahi olmayan bir yöntem olan MARPE cerrahi bir prosedür içermediği için SARPE'ye bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. MARPE, dental olarak devrilme riskini en aza indirirken iskeletsel etkiyi iyileştirmeyi ve sonuç olarak diş eti ve dental sağlığının korunmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır (68,135). MARPE ile tedavi edilen 69 genç yetişkin hasta ile yapılmış bir çalışmada, %86,96 oranında bir maksiller ekspansiyon başarı oranı bildirilmiştir (136). Sadece dokuz vakada istenen midpalatal sutura ayrımı sağlanamamış ve MARPE'nin cerrahi içermeyen, maksiller ekspansiyon için uygun bir alternatif olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. Mevcut tedavi yaklaşımı, her iki prosedürün de uygun endikasyonlara göre kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu karar periodontal durum, iskeletsel maksiller darlığın şiddeti ve cerrahi riskler dikkatli bir şekilde değerlendirildikten sonra verilmelidir.

Literatürdeki bazı çalışmalar SARPE yerine MARPE'nin tek başına yeterli olduğunu savunmaktadır (137). Bununla birlikte, MARPE nedeniyle maksiller sutura bölgelerinde oluşabilecek yüksek stres seviyelerine bağlı komplikasyonlar gözlenebileceğini bilmek klinik açıdan önemlidir. Yoon ve ark., MARPE ile ilgili en sık görülen komplikasyonlar arasında enflamasyon, ağrı, aparey kırılması veya distorsiyonu ve asimetrik ekspansiyon olduğunu göstermişlerdir (138). Çalışmalarında, hastaların %47,8'inde asimetrik genişleme görülmüştür. Bu oran, asimetrik genişleme oranını %30,3 olarak bildiren başka bir çalışmaya kıyasla oldukça yüksektir (139). Buna karşılık, SARPE'deki ekspansiyonu değerlendiren bir başka çalışmada yalnızca %3,3 ile %13,3'ünün asimetrik veya yetersiz ekspansiyon ile karşılaşıldığını göstermiştir (140). Bu bulgular, özellikle asimetrik ekspansiyon açısından MARPE ile ilişkili potansiyel komplikasyonların dikkatle değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Jeon ve ark. (141), çalışmalarında MARPE prosedürü sonrasında artan yaşlarda özellikle erkek hastalarda maksiller suturada ayrılma ihtimalinin düştüğünü göstermişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda 20 yaştan küçük yaşlarda midpalatal suturada ayrılma ve cinsiyet arasında bağımsız bir korelasyon ortaya çıkarken, 21 yaştan büyük yaşlarda ve özellikle erkek hastalarda artan yaşla beraber midpalatal suturada ayrılmanın olmaması ihtimalinde istatistiksel olarak anlamlı görülen bir artış gözlenmiştir. Buna ek olarak, 30 yaşın üstündeki

erkek hastalarda başarılı midpalatal sutural ayrılmanın olmadığı bulunmuştur. Tüm bu çalışmalar göz önüne alınarak ve bu alanda araştırmalara ihtiyaç olduğu düşünülerek, bu tez çalışmasındaki SARPE grupları bir MARPE grubu ile de karşılaştırılmıştır.

5.2. Gereç ve Yöntemin Değerlendirilmesi

Farklı ekspansiyon yöntemlerinin ve farklı cerrahi kesilerin karşılaştırılmasındaki klinik zorluklar, etik sorunlar ve standardizasyonun sağlanmasının zor olması nedeniyle, bu çalışmada kraniofasial sistemin mekanik simülasyonunu sağlayan ve aynı zamanda hızlı ve ucuz bir yöntem olan FEA uygulanmıştır. FEA yönteminin en büyük avantajı, klinik ölçümün mümkün olmadığı durumlarda, hastaların anatomik yapılarındaki değişiklikleri önceden tahmin edilebilmesi, farklı tedavi yaklaşımlarını taklit edilebilmesi ve tedavi sonuçlarının incelenmesine olanak sağlamasıdır. FEA ile elde edilen sonuçlar klinik protokollerin iyileştirilmesi açısından klinisyenlere öngörü oluşturmaktadır (123).

Bu araştırmada, ekspansiyon apareyinin mini vidaları, klinik koşulları yeterince simüle edebilmesi için mini vida yivleri ile modellenmiştir. Özellikle, önceki çalışmalarda tam olarak ölçülemeyen bir parametre olan mini vida yiv bölgesinin stres değerleri bu çalışmadaki önemli odak noktalarından biri olmuştur. Klinik senaryonun daha doğru bir simülasyonu için simetrik bir model kullanılmış ve ekspansiyon vidasının 20 aktivasyonuna eşdeğer olacak şekilde toplam 5 mm maksiller ekspansiyon simüle edilmiştir. Bu yaklaşım, zaman içindeki dinamik değişiklikleri (toplam 20 saniye süreyle) daha gerçekçi bir şekilde yakalamayı amaçlamıştır. Bu çalışmada, ekspansiyon apareyinin kraniofasial ve maksillofasial yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmek için üç teori kullanan doğrusal olmayan bir sonlu elemanlar analiz yöntemi benimsenmiştir. Özellikle, dinamik analiz olarak bilinen geçici yapısal analiz kullanılmıştır. Bu yöntem, yapının zamanla değişen geçici yüklerin etkisiyle geçirdiği değişiklikler sırasında, yer değiştirme, gerilim, stres ve kuvvetler gibi faktörleri kapsayan dinamik tepkisinin incelenmesine olanak sağlamıştır (142).

Mini vida yerleştirilme protokolünde anatomik olarak uygun olan bölgelerin bilinmesi oldukça önemlidir (149). Bütün bölgeler içerisinde palatinal bölge anatomik özellikleri ve klinikte kolay ulaşılabilen bir bölge olması sebebiyle mini vidaların uygulanabilmesi için en güvenilir bölgedir (150,151). Vestibül kemiğin kalınlığı palatal kemikten daha azdır. İnsiziv kanal dışında palatal kemiğin paramedian veya median kısımlar mini vidanın

stabilizasyonunun iyi olabilmesi için yeterli kalınlıkta olan yoğun bir kortikal kemikten oluşmaktadır. Bu bölgenin diğer avantajları da damar ve sinir paketinden uzak olması ve mini vidanın uygulanması esnasında diş köklerine zarar verme olasılığının diğer bölgelere kıyasla daha düşük olmasıdır (152). Mini vidaların yerleştirilmesinde palatinal alanda bulunan en ideal kısım, premolarlar arası bölge olarak belirtilmiştir (153). Bu tez çalışmasında da kemik destekli ekspansiyon apareyi modeline ait mini vidalar, 3. ruga seviyesinde median suturanın 3 mm distaline ve 2. premolar ve 1. molar dişlerin kökleri arasında alveolar kretten 6 mm uzağa yerleştirilmiştir.

Literatürde, kullanılan mini vidanın uzunluk ve boyutunun primer stabilizasyonda önemli olduğunu destekleyen çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalarda mini vida çapının 1 mm'den daha az olmasının vidanın primer stabilitesini olumsuz etkilediği, 1,5 mm çapın üstündeki değerlerin ise optimal olduğu bildirilmiştir. Buna ek olarak, mini vida çapının 1,5 mm-2,3 mm arasında olduğu vakalarda başarı oranları arasında anlamlı bir fark bulunmadığı da belirtilmiştir (154). Bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında klinik senaryoyu doğru yansıtabilmek amacıyla palatinal paramedian bölgeye yerleştirilen mini vidaların, 1,6 mm çapında ve 12 mm uzunluğunda tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında modellenen ekspansiyon aparey seçimi için literatürde daha önce başarılı sonuçlar elde edilen ekspansiyon aparey tipleri incelenmiştir. Lee ve ark. (155) ve Garib ve ark. (135) palatal mini vida destekli maksiller ekspansiyon apareylerinin başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir. Bu apareyler hem kemik destekli hem de diş destekli hibrit apareyler olduğu için hastaların 1.molar dişlerine konvansiyonel bantlı ekspansiyon apareylerinde olduğu gibi bant uygulanmaktadır. Kemik destekli apareyler ise dişlerden destek almadan sadece iskeletsel ankraj sağladıkları için diğer apareylere göre hem periodontal açıdan hem de hijyen açısından avantaj sağlamaktadırlar. Literatürdeki çeşitli ekspansiyon çalışmaları göz önünde bulundurularak bu tez çalışmasında, diş destekli dijital aparey ve hibrit hyrax apareyinin yanında tamamen kemik destekli apareyin etkileri FEA yöntemi ile incelenmiştir.

Singarajau ve ark. (145) yaptıkları ekspansiyon çalışmalarında; kemik destekli, konvansiyonel hyrax ve hibrit apareyli modellerin tamamını cerrahi destekli uyguladıkları FEA çalışmalarında; en yüksek gerilmenin hibrit apareyli modelde, en düşük gerilmelerinse diş destekli modelde olduğunu bildirmiştir. Kraniyofasiyal yapılar üzerindeki gerilmelerin

dağılımının konvansiyonel apareylerde daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasındaki konvansiyonel diş destekli aparey için dijital yöntem ile tasarlanmış Hyrax apareyi modellenmiştir. Bu apareyin 3 boyutlu tasarımı sayesinde dişlere ve yumuşak dokulara olan uyumunun daha iyidir (156).

Literatürde pterygomaksiller suturanın ayrılmasının etkisi tartışmalı bir konu olmaya devam etmektedir. Ayrıca PMS'nin posterior ve anterior transversal darlıkların cerrahi olarak düzeltilmesinde de farklı bir etkisi olup olmadığı açık değildir (11). Lehman ve Haas (157), PMS ayrımı yapılmayan SARPE cerrahisi ile iskeletsel direnç noktalarında yeterli bir zayıflama sağlanarak maksiller eksansiyonda PMS ayrımına gerek olmadığını vurgulamışlardır. Buna karşılık Betts ve Zicardi (158) apertura piriformisten pterygomaksiller fissüre kadar midpalatal sutur, nazal septum ve ayrıca PMS dahil iskeletsel yapıların zayıflatılması gerektiğini bildirmişlerdir. Son zamanlarda yapılan bir kadavra çalışmasında da PMS'nin ayrılmadığı SARPE prosedüründe V şeklinde bir transversal maksiller genişleme görüldüğü ve PMS'nin ayrıldığı vakalarda ise maksillanın anterior ve posterior bölgelerinde paralel bir transversal ekspansiyon sağlandığı da bildirilmiştir (159). Bu tez çalışmasında da SARPE cerrahisinde pterygomaksiller suturanın ayrılıp ayrılmaması konusunda farklı senaryoların oluşturulmasının nedeni literatürdeki bu tartışmalı konuya bir açıklık getirmektedir.

5.3. Bulguların Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasından elde edilen bulgulara dayanarak, SARPE'de PMS ayrımı yapılmış olan Model V, VI ve VII klinik uygulama için en uygun seçenekler olarak belirlenmiştir, çünkü bu modeller von Mises stres analizi kullanılarak analiz edildiğinde daha düşük stres seviyeleri göstermişlerdir. PMS ayrımı uygulandığında, kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapılar üzerindeki stres seviyeleri ihmal edilebilir düzeydedir ve ekspansiyon apareyinin tipi ekspansiyon üzerinde minimum etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, PMS ayrımı yapılan modellere kıyasla PMS ayrımı yapılmayan modellerde santral dişler arasında daha fazla miktarda ayrılma gözlenmiştir. Bu tür sonuçlar, her bir cerrahi teknikle ilişkili olarak maksilladaki farklı genişleme modelleriyle bağlantılı olabilir (21). PMS ayrımı yapılmayan modellerde 'V' şekline benzeyen bir ekspansiyon modeli gözlenmiştir. Buna karşılık, PMS ayrımı yapılan modellerde maksillada paralel bir

ekspansiyon paterni gözlenmiştir. Sonuçlarımıza benzer şekilde, bir klinik çalışmada hem PMS ayrımı yapılan, hem de PMS ayrımı yapılmayan SARPE'nin transversal maksiller darlığın tedavisinde etkili olduğu kanıtlanmıştır (108). İki grup arasında önemli bir fark gözlenmemesine rağmen, PMS ayrımının posterior palatal bölgede daha fazla ekspansiyona katkıda bulunduğu, bunun da daha az molar devrilmesi ve medial palatal sutura boyunca paralel bir açılma eğilimi ile sonuçlandığı görülmektedir. Tersine, PMS ayrımı yapılmaması posterior dişlerin daha fazla genişlemesini ve midpalatal suturanın 'V' şeklinde açılmasına sebep olabilmektedir. Başka bir çalışmaya göre anterior bölgede, PMS ayrımı yapılmadığında daha büyük alveolar genişlemeye doğru hafif bir eğilimle birlikte her iki yöntem de göreceli olarak eşitlik göstermiştir (144).

Bu çalışmanın MARPE modelinde, diğer tüm modellere kıyasla mini vida bölgelerinde ve sutural alanlarda daha yüksek elemental von Mises stresi seviyeleri gözlenmiştir. PMS ayrımı yapılan SARPE modelleri en düşük stres seviyelerini sergilemiştir. Özellikle, MARPE modeli maksillada transversal ve yukarı doğru bir rotasyon göstermiştir. PMS ayrımı yapılmayan SARPE modelleri, MARPE modeline kıyasla daha az rotasyonel hareket göstermiş ve 'V' şeklinde bir ekspansiyon modeli sergilemiştir. Tüm modeller arasında, PMS ayrımı yapılan SARPE modelleri en paralel ekspansiyon modelini göstermiştir.

Bu çalışma, model tasarımına mini vida yivlerinin dahil edilmesiyle son dönemde yapılmış FEA çalışmalarından ayrılmaktadır ve böylece klinik duruma daha yakın bir FEA simülasyonu elde edilmiştir (7,21,22). Ayrıca, bu çalışmada FEA modeline dahil edilmiş olan midpalatal suturanın ekspansiyon üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir.

MARPE modelinin mini vida bölgesinde stres değerleri belirgin şekilde daha yüksek bulunmuştur ve bu da potansiyel olarak kemikte mikro hasara yol açmaktadır. Ortaya çıkabilecek potansiyel bir sonuç, kemiğin akma dayanımını aşan streslerle ilişkilidir. Ekspansiyon döneminde yeterli yeniden şekillenme gözlenmezse, mini vida kaybı riski oluşmaktadır. Özellikle midpalatal sutura maturasyonu ve yüksek kemik yoğunluğu olan yetişkin hastalarda, yüksek stres değerleri MARPE tedavisinde mini vida kaybına neden olabilir.

Bu FEA çalışmasındaki MARPE modelinde maksiller ekspansiyona karşı en büyük direnci gösteren bölge zigomatikomaksiller sutura olarak belirlenmiştir. Midpalatal suturaya

atanan materyal özelliğine (elastisite modülü) dayalı değerlendirme, ekspansiyon direnci üzerinde kayda değer bir etki göstermemiştir. PMS ayrımı yapılmayan modellerde, en yüksek direnci gösteren bölge medial pterygoid çıkıntı ve mini vida bölgeleri olarak belirlenmiştir.

MARPE apareyleri maksiller ekspansiyonun ortopedik etkisini arttırmak için tasarlanmış olsalar da kemik ve diş destekli apareyleri karşılaştıran çalışmaların sonuçları tartışmalıdır. Lin ve ark. (147) kemik destekli apareylerde daha fazla iskeletsel ekspansiyon bildirirken, Lagravère ve ark. (111) her iki tip apareyin de karşılaştırılabilir iskeletsel etkiler oluşturduğunu bulmuştur. Cantarella ve ark. (148) MARPE'nin geç ergenlerde midpalatal suturayı etkili bir şekilde ayırdığını göstermiştir. ANS'de (4,8 mm) gözlenen bu ayrılma, PNS'dekinin (4,3 mm) yaklaşık %90'ı kadardır ve suturanın neredeyse paralel bir şekilde genişlemesini sağlamıştır. Bu çalışma, PMS'nin geç ergenlerde cerrahi yardım olmadan MARPE ile ayrılabilceğini göstermiştir. MARPE, palatinal kemiğin piramidal kısmını ve sfenoid kemiğin pterygoid kısmını ayırarak vakaların %53'ünde pterygopalatin suturanın alt kısmını ayırmayı başarmıştır.

De Oliveria ve ark. (137) yaptıkları çalışmalarında, MARPE'nin SARPE ile karşılaştırıldığında palatinal ve bazal kemikte, özellikle posterior bölgede iskeletsel transversal maksiller ekspansiyonda daha fazla artış sağladığını göstermiştir. Alveolar prosesin genişlemesinde iki yöntem arasında fark bulunmamıştır. MARPE hem koronal hem de aksiyel görünümde daha paralel bir genişleme sunarken, SARPE daha üçgensel ve 'V' şeklinde bir ekspansiyon paterni göstermiştir. SARPE grubunda alveolar proses ve destek dişlerde daha fazla bukkale tipping gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının aksine bizim çalışmamızda PMS ayrımı yapılan SARPE modellerinde paralel bir ekspansiyon paterni gözlenmiş, bunun yanında MARPE modelinde sutural gerilimin çok fazla olduğu görülmüştür.

Möhlenrich ve ark. (20), SARPE'de PMS ayrımının tartışmalı etkisinin sonraki ortodontik tedavi düşünüldüğünde daha az önemli hale geldiğini iddia etmiştir. Ortodontik tedavinin her iki cerrahi teknikten kaynaklanan küçük dentoalveolar farklılıkları telafi etmesi muhtemeldir. Sonuç olarak, SARPE prosedüründe nadir olarak gözlene de majör cerrahi komplikasyon riskini en aza indirmek için PMS ayrımı yapılmadan da gerçekleştirilebilir. Zandi ve ark. (108), PMS ayrımı uygulanıp uygulanmadığına bakılmaksızın maksillada hem anterior hem de posterior tarafta benzer ekspansiyon modelleri gözlemlemişlerdir. Bu iki grup arasında

maksiller ekspansiyonun kapsamı veya konfigürasyonunda kayda değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Perioperatif komplikasyon olasılığının azalması ve olumlu cerrahi sonuçlar göz önüne alındığında, transversal maksiller darlığın giderilmesi için tercih edilen yaklaşım olarak PMS ayrımı yapılmadan SARPE'nin düşünülmesi önerilmektedir. Holberg ve ark. (19), istenmeyen yan etkilerden kaçınmak için yetişkin hastalarda RME sırasında kraniyal tabanda aşırı stresin önlenmesinin önemini belirtmiştir. Bu çalışmada, PMS ayrımı yapılan modellere kıyasla PMS ayrımı yapılmayan modellerde kraniyal suturalarda gözlenen daha yüksek stres seviyeleri nedeniyle pterygoid plakların ayrılması önerilmektedir. Bu tez çalışmasında, PMS ayrımı yapılmayan ve SARPE uygulanan hibrit hyrax modelinde (Model III), PMS ayrımı yapılmayan ve SARPE uygulanan diş destekli dijital aparey modeline (Model IV) kıyasla 1.molar diş bölgesinde daha fazla von Mises gerilimi gözlenmiştir.

Medial ve lateral pterygoid çıkıntıların en yüksek stres değerleri sırasıyla Model II, III ve IV'te gözlenmiştir. PMS ayrımı yapılması, kraniyofasiyal yapılardaki stres değerlerinde kayda değer bir azalmaya yol açmıştır. Ek olarak, maksilla ön-arka düzleminde paralel bir ekspansiyon modeli görülmüştür. Kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapılardaki stresin azalmasının nüks olasılığının azalmasına katkıda bulunacağı da öngörülmektedir.

Koç ve ark.'nın (21) yaptıkları bir FEA çalışmasında, PMS ayrımı yapılmayan FEA modellerinde maksillada 'V' şeklinde bir ekspansiyon modeli göstermiştir. Bu çalışmaya ait kraniyofasiyal yapılar üzerindeki yer değiştirme ve stres değerleri, bu tez çalışmasındaki PMS ayrımı yapılmayan modellerde gözlemlenen sonuçlara oldukça yakındır. Başka bir FEA çalışmasında, PMS ayrımı yapılan modellerde tüm sutural bölgelerdeki stres değerleri neredeyse sıfır olarak ölçülmüş ve bu tez çalışmasının bulgularına benzer şekilde maksillada paralel bir ekspansiyon modeli gözlenmiştir (7). PMS ayrımı olmayan modellerde mini vida bölgesinde ve medial pterygoid çıkıntı bölgesinde yüksek stres değerleri görülmüştür. Çalışmamızda PMS ayrımı yapılan modeller farklı tipteki ekspansiyon apareyleri ile karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Chen ve ark. (144), yaptıkları bir sistematik derlemede SARPE'de PMS ayrımı yapılan ve yapılmayan grupları maksiller ekspansiyon etkinliği açısından değerlendirmişlerdir. Bu sistematik derlemeden elde edilen sonuçlara göre PMS ayrımı yapılan ve yapılmayan iki grup arasında önemli bir fark olmaksızın transversal maksiller darlık için başarılı maksiller ekspansiyon sonuçları elde edebileceğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, PMS ayrımı

yapılmayan gruplarda posterior dişlerin bukkale eğiminin arttığı gözlenmiştir. TME disfonksiyonu için SARPE düşünülen vakalarda, eğer bir miktar posterior eğim bulunuyorsa veya periodontal durumla ilgili riskler varsa dikkat edilmelidir. Bu tez çalışmasında PMS ayrımı yapılan grupta maksiller ekspansiyon paterninin daha paralel olduğu ve sutural gerilimlerin daha az olduğu gözlenmiştir.

Koudstaal ve ark. (146), SARPE uygulanan iki farklı aparey tipini kıyasladıkları çalışmalarında birinci grupta diş destekli ekspansiyon apareyi, ikinci grupta ise kemik destekli ekspansiyon apareyini karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, iki grup arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. SARPE’de kemik destekli ve diş destekli ekspansiyon apareyi kullanıldığında, dental seviyede elde edilen ekspansiyon 12 aylık takipte sabit kalmıştır. Maksiller segmentlerin tipping hareketi hem kemik destekli hem diş destekli aparey kullanılan SARPE’de eşittir. Bu tez çalışmasında da PMS ayrımı yapılan diş destekli aparey modelinde (Model VII) ve PMS ayrımı yapılan kemik destekli aparey modelinde (Model V) ekspansiyon paternlerinin ve maksillanın rotasyonunun benzer olduğu görülmüştür ve paralel bir ayrılma paterni gözlenmiştir.

5.4. Çalışmanın Limitasyonları ve Klinik Öneriler

Sonlu elemanlar analizlerinin genel yapısı nedeniyle, ekspansiyon sonrası nüks, kemiğin yeniden şekillenmesi ve yumuşak dokuların, kasların ve çiğneme kuvvetlerinin etkileri bu tez çalışmasına dahil edilememiştir. Bu etkileri araştırmak için klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sonlu elemanlar analizinde çözümün doğruluğu büyük ölçüde modeldeki eleman sayısına ve ağ yakınsama değerine bağlıdır. Ağ yapısının daha küçük parçalara bölünmesi çözümün sonuçlarını iyileştirir ve çözüm değerini belirli bir sonuca doğru yakınlaştırır. Yakınsama sürecinde eleman boyutu küçültülse bile bir aşamadan sonra çözüm değeri değişmemektedir. Ağ inceltme ile çözümün yakınsamadığı bazı durumlar vardır. Tekillik bu durumlardan biridir ve ağ yapısını iyileştirmek için tekillik hatası bölgesinde eleman boyutunu azaltmak gerilmenin artmasına neden olmaktadır. Tekillik hatası, bir sonlu elemanlar modelinde gerilme değerinin sınırsız olduğu konumu ifade etmektedir (142).

Sınır koşulları (yükün bir noktaya uygulanması) veya modelin geometrisi ve basitleştirilmesi (düzgün olmayan ve/veya keskin kenarlı yüzeyler) tekilliğin nedenleri arasında sayılabilir. Kemik modelinde, geometri nedeniyle düzgün olmayan keskin kenarlı yüzeyler vardır. FEA yönteminde çözücünün matematiksel hesaplama hataları nedeniyle keskin köşeli bölgelerde yüksek stres değerleri oluşmaktadır (142). Genel modelde maksimum stres değeri birkaç elemanda (pterygomaksiller sutura bölgesinde) gözlenmiştir. Analizde, tekillik hatasından kaynaklanan bu maksimum stres değerleri sonuçlarımızı etkilememiştir.

Bu sonlu elemanlar çalışmasının bulguları göz önünde bulundurulduğunda, PMS ayrımı yapılan SARPE, daha düşük gerilme seviyesi ve paralel bir ekspansiyon elde etmek için önerilmektedir. Maksiller aparey tipinin ekspansiyon paterni üzerine bir etkisi bulunmamıştır.

Bu tez çalışmasında; kliniğe yönelik olarak, MARPE modelinde kraniyofasiyal suturalarda ve mini vida bölgelerindeki gerilim değerleri çok fazla olduğundan, PMS ayrımı yapılan SARPE prosedürü önerilmektedir. MARPE uygulaması düşünülüyorsa hastanın yaşı, cinsiyeti ve sutural maturasyonu klinisyen tarafından detaylıca gözden geçirilmelidir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda daha detaylı ve kapsamlı bir sonuç elde edilebilmesi için midpalatal suturanın ossifikasyon paterni, hastanın yaşı, ekspansiyon apareylerinin farklı varyasyonları ve cerrahi osteotomi tipleri gibi parametrelerin araştırılması önerilmektedir. Klinik sonuçların tutarlılığını artırmak için ağız içi taramaların ve CBCT taramalarının kombine kullanımı ile değerlendirme yapılabilir.

6. SONUÇ

- 1) MARPE modeli maksillada transversal ve yukarı doğru bir rotasyon göstermiştir. PMS ayrımı yapılmayan SARPE modellerinde, maksillada 'V' şeklinde bir ekspansiyon paterni gözlenmiştir. Bunun aksine, PMS ayrımı yapılan modellerde maksillada paralel bir ekspansiyon paterni gözlenmiştir.
- 2) MARPE modelinin mini vida bölgesinde stres değerleri belirgin bir şekilde daha yüksektir ve bu da potansiyel olarak kemikte mikro hasara yol açabilir.
- 3) MARPE modelinde maksiller ekspansiyona karşı en büyük direnci gösteren bölge zigomatikomaksiller suturadır.
- 4) Çeşitli ekspansiyon apareyi tasarımlarından bağımsız olarak PMS ayrımı yapılan SARPE modellerinde birbirine çok yakın ve neredyse sifıra yakın stres seviyeleri gözlenmiştir.
- 5) MARPE modelinde, mini vida bölgelerinde ve sutural alanlarda diğer tüm modellere kıyasla daha yüksek stres seviyeleri görülmüştür.
- 6) PMS ayrımı yapılan SARPE uygulaması, kraniyofasiyal yapılarda daha düşük stres seviyeleri oluşmasını sağlar ve yetersiz ekspansiyon elde edilme olasılığını azaltır.
- 7) PMS ayrımı yapılmayan SARPE modellerinde, en yüksek direnci gösteren bölge medial pterygoid çıkıntı ve mini vida bölgeleri olarak bulunmuştur.
- 8) Klinisyenler, maksiller ekspansiyon için MARPE veya SARPE uygulamalarını planlarken potansiyel komplikasyonlara, farklı bölgelerdeki stres dağılımına, kraniyofasiyal yapıdaki direnç noktalarına dikkat etmelidir. Bu tekniklerin etkilerini daha iyi anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Haas A. J. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod.*1970;57:219–255.
2. Garib DG, Henriques JFC, Janson G, Freitas MR, Coelho RA. Rapid maxillary expansion—tooth tissue-borne versus tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation of dentoskeletal effects. *Angle Orthod.* 2005;75(4):548–57.
3. Lo Giudice A, Barbato E, Cosentino L, Ferraro CM, Leonardi R. Alveolar bone changes after rapid maxillary expansion with tooth-born appliances: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2018;40(3):296–303.
4. Baysal A, Karadede I, Hekimoglu S, Ucar F, Ozer T, Veli İ, et al. Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012;82(3):488–94.
5. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E. Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *J oral Maxillofac Surg.* 2006;64(8):1313–7.
6. Kennedy JW 3rd, Bell WH, Kimbrough OL, James WB. Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *Am J Orthod.* 1976;70(2):123-37.
7. Koç O, Jacob HB. Surgically assisted rapid palatal expansion: is the pterygomaxillary disjunction necessary? A finite element study. *Semin Orthod.* 2022;28(3):227-42.
8. Cakarar S, Keskin B, Isler SC, Cansiz E, Uzun A, Keskin C. Complications associated with surgically assisted rapid palatal expansion without pterygomaxillary separation. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2017;118(5):279-282.

9. Ferraro-Bezerra M, Tavares RN, de Medeiros JR, Nogueira AS, Avelar RL, Studart Soares EC. Effects of pterygomaxillary separation on skeletal and dental changes after surgically assisted rapid maxillary expansion: a single-center, double-blind, randomized clinical trial. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018;76(4):844-853.
10. Carvalho PHA, Moura LB, Trento GS, Holzinger D, Gabrielli MAC, Gabrielli MFR, Pereira Filho VA. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a systematic review of complications. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2020;49(3):325-332.
11. Hamed Sangsari A, Sadr-Eshkevari P, Al-Dam A, Friedrich RE, Freymiller E, Rashad A. Surgically assisted rapid palatomaxillary expansion with or without pterygomaxillary disjunction: a systematic review and meta-analysis. *J Oral Maxillofac Surg*. 2016;74(2):338-48.
12. Wilmes B, Drescher D. A miniscrew system with interchangeable abutments. *J Clin Orthod*. 2008;42(10):574-80.
13. Choi JY, Choo H, Oh SH, Park JH, Chung KR, Kim SH. Finite element analysis of C-expanders with different vertical vectors of anchor screws. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;159(6):799-807.
14. Kapetanović A, Theodorou CI, Bergé SJ, Schols JGJH, Xi T. Efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE) in late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2021;43(3):313-323.
15. Kapetanović A, Odrosslij BMMJ, Baan F, Bergé SJ, Noverraz RRM, Schols JGJH, Xi T. Efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE) in late adolescents and adults with the dutch maxillary expansion device: a prospective clinical cohort study. *Clin Oral Investig*. 2022;26(10):6253-6263.
16. Moon W. Class III treatment by combining facemask (FM) and Maxillary skeletal expander (MSE). *Seminars in Orthodontics*. 2018;24(1), 95–107.

17. Önçağ G. Ortodontide Minivida Uygulamalarında Temel Kavramlar (Basic Concepts of Mini Screw Application in orthodontics). Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2010;31:61-68.
18. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;132(1):5.e1-11.
19. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2007;132(6):776-82.
20. Möhlhenrich SC, Heeg J, Raith S, Kniha K, Hölzle F, Wolf M, Fritz U, Modabber A. Effect of the pterygomaxillary disjunction on surgically assisted rapid palatal expansion in context of orthodontic treatment. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 2020;130(3):241-251.
21. Koç O, Pamukçu H, Kocabalkan AA. Comparison of 3 different bone-borne type expansion appliances used in surgically-assisted rapid palatal expansion: A finite element analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2023;163(3):e23-e33.
22. Koç O, Bolat Gumus E. Effects of different distractor positions on the formation of expansion, stress and displacement patterns in surgically assisted rapid maxillary expansion without pterygomaxillary disjunction: a finite element analysis study. Comput Methods Biomech Biomed Engin. 2024;27(1):56-66.
23. McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2000;117(5):567-70.
24. Timms DJ. Rapid maxillary expansion. Chicago: Illinois Quintessence Publishing Co. Inc.;1981. p.:15-121
25. Angell EH. Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. Dental Cosmos;1860. p.:540-544

26. Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod.* 1961; 31: 73-89.
27. Proffit W. *Contemporary Orthodontics*. St. Louis. Mosby Co.;2000. 3rd ed.
28. Helm S. Malocclusion in Danish children with adolescent dentition: an epidemiologic study. *Am J Orthod.* 1968;54(5):352-66.
29. Sandıkçioğlu M, Hazar S. Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;111(3):321-7.
30. Kutin G, Hawes RR. Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *Am J Orthod.* 1969;56(5):491-504.
31. Hanson ML, Barnard LW, Case JL. Tongue-thrust in preschool children. II. Dental occlusal patterns. *Am J Orthod.* 1970;57(1):15-22.
32. da Silva Filho OG, Boas MC, Capelozza Filho L. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(2):171-9.
33. Thilander B, Wahlund S, Lennartsson B. The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *Eur J Orthod.* 1984;6(1):25-34.
34. Harvold EP, Chierici G, Vargervik K. Experiments on the development of dental malocclusions. *Am J Orthod.* 1972;61(1):38-44.
35. Linder-Aronson S, Lindgren J. The skeletal and dental effects of rapid maxillary expansion. *Br J Orthod.* 1979;6(1):25-9
36. Warren DW, Hershey HG, Turvey TA, Hinton VA, Hairfield WM. The nasal airway following maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91(2):111-6.

37. Graber TM, Swagn BF. Current orthodontic concepts and techniques. Philadelphia, W.B. Saunders;1975. 2nd ed.
38. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1987;91(1):3-14.
39. Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. Am J Orthod. 1970;58(1):41-66.
40. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. Angle Orthod. 1965;35:200-17.
41. Isaacson RJ, Murphy T. Some effects of rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients. Angle Orthod. 1964; 34 (3): 143–154.
42. Memikoğlu TU, İşeri H. Comparison of dentofacial changes with rigid acrylic bonded and haas type banded rapid maxillary expansion devices. Turk J Orthod.1997;10:255-64.
43. Adkins MD, Nanda RS, Currier GF. Arch perimeter changes on rapid palatal expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1990;97(3):194-9.
44. McNamara JA, Brudon WL. Orthodontic and Orthopedic Treatment in the Mixed Dentition. Needham Pres;1992. p.:131-144.
45. Baccetti T, McGill JS, Franchi L, McNamara JA Jr, Tollaro I. Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998;113(3):333-43.
46. Kapust AJ, Sinclair PM, Turley PK. Cephalometric effects of face mask/expansion therapy in Class III children: a comparison of three age groups. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1998;113(2):204-12.
47. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. Am J Orthod. 1982;81(1):32-7.

48. Franchi L, Baccetti T. Transverse maxillary deficiency in Class II and Class III malocclusions: a cephalometric and morphometric study on postero-anterior films. *Orthod Craniofac Res.* 2005;8(1):21-8
49. Björk A, Skieller V. Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1974;8(1):26-33.
50. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA Jr. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod.* 2001;71(5):343-50.
51. Sari Z, Uysal T, Usumez S, Basciftci FA. Rapid maxillary expansion. Is it better in the mixed or in the permanent dentition? *Angle Orthod.* 2003;73(6):654-61.
52. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion. 3. forces present during retention. *Angle Orthod.* 1965;35:178-86
53. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(2):290-302.
54. Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod.* 1980;77(5):500-7.
55. Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthod.* 1987;57(3):245-63
56. Epker BN, Wolford LM. Transverse maxillary deficiency dentofacial deformities: integrated orthodontic and surgical correction. St Louis: Mosby;1980.
57. Mossaz CF, Byloff FK, Richter M. Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *Eur J Orthod.* 1992;14(2):110-6.
58. Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO J Pract Orthod.* 1968;2(2):67-70.

59. Cozza P, Giancotti A, Petrosino A. Butterfly expander for use in the mixed dentition. *J Clin Orthod.* 1999;33(10):583-7
60. Alessandri Bonetti G, Marini I, Rizzi R. Disconnectable rapid palatal expander. *J Clin Orthod.* 1996;30(6):334-6.
61. Lamparski DG Jr, Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;123(3):321-8.
62. Wichelhaus A, Sander C, Sander FG. Development and biomechanical investigation of a new compound palatal arch. *J Orofac Orthop.* 2004;65(2):104-22.
63. Akkaya S, Lorenzon S, Uçem TT. Comparison of dental arch and arch perimeter changes between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. *Eur J Orthod.* 1998;20(3):255-61.
64. Akkaya S, Lorenzon S, Uçem TT. A comparison of sagittal and vertical effects between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. *Eur J Orthod.* 1999;21(2):175-80.
65. Cohen M, Silverman E. A new and simple palate splitting device. *J Clin Orthod.* 1973;7(6):368-9.
66. Gürel HG, Basciftci FA, Arslan U. Transient bacteremia after removal of a bonded maxillary expansion appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(2):190-3.
67. Malkoç S, Alçin R, Uzel A. Does the rhythm and appliance type of rapid maxillary expansion have an effect on root resorption? *Angle Orthod.* 2021;91(3):293-300.
68. Yılmaz A, Arman-Özçırpıcı A, Erken S, Polat-Özsoy Ö. Comparison of short-term effects of mini-implant-supported maxillary expansion appliance with two conventional expansion protocols. *Eur J Orthod.* 2015;37(5):556-64.

69. Spolyar JL. The design, fabrication, and use of a full-coverage bonded rapid maxillary expansion appliance. *Am J Orthod.* 1984;86(2):136-45.
70. Zuccati G, Casci S, Doldo T, Clauser C. Expansion of maxillary arches with crossbite: a systematic review of RCTs in the last 12 years. *Eur J Orthod.* 2013;35(1):29-37.
71. Nemec M, Mittinger N, Bertl M, Liu E, Jonke E, Andrukhov O, Rausch-Fan X. Salivary MRP-8/14 and the presence of periodontitis-associated bacteria in children with bonded maxillary expansion treatment. *Clin Oral Investig.* 2021;25(6):3767-3774.
72. Sarver DM, Johnston MW. Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;95(6):462-6.
73. Asanza S, Cisneros GJ, Nieberg LG. Comparison of Hyrax and bonded expansion appliances. *Angle Orthod.* 1997;67(1):15-22.
74. Memikoglu TU, Işeri H. Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 1999;69(3):251-6.
75. Işeri H, Tekkaya AE, Oztan O, Bilgiç S. Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod.* 1998;20(4):347-56.
76. Basciftci FA, Karaman AI. Effects of a modified acrylic bonded rapid maxillary expansion appliance and vertical chin cap on dentofacial structures. *Angle Orthod.* 2002;72(1):61-71.
77. Orhan M, Üsümez S, Malkoc S. Modified bonded rapid maxillary expansion appliance. *World Journal of Orthodontics.* 2003;4(2):119-25.
78. Schellino E, Modica R, Benech A, Modaro E. REM: la vite ragno secondo Schellino e Modica. *Boll Interm Orthod. Leone.* 1996; 55:36–39.

79. Doruk C, Bicakci AA, Basciftci FA, Agar U, Babacan H. A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *Angle Orthod.* 2004;74(2):184-94.
80. Liou EJ. Toothborne orthopedic maxillary protraction in Class III patients. *J Clin Orthod.* 2005;39(2):68-75.
81. Cozzani M, Rosa M, Cozzani P, Siciliani G. Deciduous dentition-anchored rapid maxillary expansion in crossbite and non-crossbite mixed dentition patients: reaction of the permanent first molar. *Prog Orthod.* 2003;4:15-22.
82. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod.* 2010;11(4):323-30.
83. Ludwig B, Glas B, Bowman SJ, Drescher D, Wilmes B. Miniscrew-supported Class III treatment with the Hybrid RPE Advancer. *J Clin Orthod.* 2010;44(9):533-9
84. Nienkemper M, Wilmes B, Franchi L, Drescher D. Effectiveness of maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination: a controlled clinical study. *Angle Orthod.* 2015;85(5):764-70.
85. Garib D, Miranda F, Palomo JM, Pugliese F, da Cunha Bastos JC, Dos Santos AM, Janson G. Orthopedic outcomes of hybrid and conventional Hyrax expanders. *Angle Orthod.* 2021;91(2):178-186.
86. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1999;37(4):268-72.
87. Zahl C, Gerlach KL. Lebensbedrohliche Mundbodenblutung nach Implantatinserion im Unterkieferseitenzahnbereich [Palatal distractor. An innovative approach for palatal expansion]. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2002;6(6):446-9.

88. Harzer W, Schneider M, Gedrange T. Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw--pilot study with case presentation. *J Orofac Orthop.* 2004;65(5):419-24.
89. Brunetto DP, Sant'Anna EF, Machado AW, Moon W. Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental Press J Orthod.* 2017;22(1):110-125.
90. Hartono N, Soegiharto BM, Widayati R. The difference of stress distribution of maxillary expansion using rapid maxillary expander (RME) and maxillary skeletal expander (MSE)-a finite element analysis. *Prog Orthod.* 2018;19(1):33.
91. Kumar N, Desai A, Nambiar S, Shetty S. Miniscrew Assisted Rapid Palatal Expansion (Marpe)–Expanding Horizons To Achieve An Optimum In Transverse Dimension: A Review. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine* 2021;8:389-403.
92. Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):759-69.
93. Suzuki SS, Braga LFS, Fujii DN, Moon W, Suzuki H. Corticopuncture Facilitated Microimplant-Assisted Rapid Palatal Expansion. *Case Rep Dent.* 2018;1392895.
94. Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, Higgins-Barber K, Fonseca RJ. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1995;10(2):75-96.
95. Betts NJ. Surgically Assisted Maxillary Expansion. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2016;24(1):67-77.
96. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T. Surgically-assisted maxillary expansion. *Aust Dent J.* 1997;42(1):38-42.

97. Sygouros A, Motro M, Ugurlu F, Acar A. Surgically assisted rapid maxillary expansion: cone-beam computed tomography evaluation of different surgical techniques and their effects on the maxillary dentoskeletal complex. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(6):748-57.
98. Cureton SL, Cuenin M. Surgically assisted rapid palatal expansion: orthodontic preparation for clinical success. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;116(1):46-59.
99. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Prahl-Andersen B, Schulten AJ. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34(7):709-14.
100. Bretos JL, Pereira MD, Gomes HC, Toyama Hino C, Ferreira LM. Sagittal and vertical maxillary effects after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) using Haas and Hyrax expanders. *J Craniofac Surg.* 2007;18(6):1322-6.
101. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A. Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2014;42(7):1190-5.
102. Chamberland S, Proffit WR. Closer look at the stability of surgically assisted rapid palatal expansion. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(9):1895-900.
103. Bortolotti F, Solidoro L, Bartolucci ML, Incerti Parenti S, Paganelli C, Alessandri-Bonetti G. Skeletal and dental effects of surgically assisted rapid palatal expansion: a systematic review of randomized controlled trials. *Eur J Orthod.* 2020;42(4):434-440.
104. Kayalar E, Schauseil M, Kuvat SV, Emekli U, Fıratlı S. Comparison of tooth-borne and hybrid devices in surgically assisted rapid maxillary expansion: A randomized clinical cone-beam computed tomography study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(3):285-93.
105. Betts NJ. Transverse maxillary distraction osteogenesis. St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier Inc;2009. 2nd ed. p.:219-237.

106. Fonseca, RJ. Oral and maxillofacial surgery. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier Inc;2009.
107. Laudemann K, Petruchin O, Nafzger M, Ballon A, Kopp S, Sader RA, Landes CA. Long-term 3D cast model study: bone-borne vs. tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion due to secondary variables. Oral Maxillofac Surg. 2010;14(2):105-14.
108. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A, Lamei A. The necessity of pterygomaxillary disjunction in surgically assisted rapid maxillary expansion: A short-term, double-blind, historical controlled clinical trial. J Craniomaxillofac Surg. 2016;44(9):1181-6.
109. Laudemann K, Petruchin O, Mack MG, Kopp S, Sader R, Landes CA. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with or without pterygomaxillary disjunction based upon preoperative and post-expansion 3D computed tomography data. Oral Maxillofac Surg. 2009;13(3):159-69.
110. Northway WM, Meade JB Jr. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. Angle Orthod. 1997;67(4):309-20.
111. Lagravère MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW. Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010;137(3):304.
112. Kircelli BH, Pektaş ZO, Uçkan S. Orthopedic protraction with skeletal anchorage in a patient with maxillary hypoplasia and hypodontia. Angle Orthod. 2006;76(1):156-63.
113. Ludwig B, Baumgaertel S, Böhm B, Bowman SJ, Glasl B, Johnston LE. Mini- implants in Orthodontics. Innovative Anchorage Concepts. Quintessence Publishing Co Ltd; 2007. 119–120.
114. Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M. A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage. J Clin Orthod. 2009;43(8):494-501.

115. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GS, Lisson JA. Anatomical guidelines for miniscrew insertion: palatal sites. *J Clin Orthod.* 2011;45(8):433-41.
116. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Dörtbudak O, Haas R. Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11(6):595-601.
117. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(6):783-8.
118. Huges TRJ. The finite element method : linear static and dynamic finite element analysis. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.; 1987.
119. Ramoğlu S, Ozan O. Diş hekimliğinde sonlu elemanlar stres analiz yöntemi. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2014;9:175-80.
120. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2001;85(6):585-98.
121. Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *J Dent.* 2008;36(7):463-71.
122. Ledley RS, Huang HK. Linear model of tooth displacement by applied forces. *J Dent Res.* 1968;47(3):427-32.
123. Davidian EJ. Use of a computer model to study the force distribution on the root of the maxillary central incisor. *Am J Orthod.* 1971;59(6):581-8.
124. Moaveni S. Finite Element Analysis: Theory and Application With ANSYS. 3rd Ed. New Jersey: Pearson College Div; 2007. p.437–495.
125. Küçükkurt S. Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ve dental implantoloji alanında yapılan araştırmalar. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg.* 2019;29(4):701–10.

126. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *J Dent Res.* 2005;84(5):428-33.
127. Gallas MM, Abeleira MT, Fernández JR, Burguera M. Three-dimensional numerical simulation of dental implants as orthodontic anchorage. *Eur J Orthod.* 2005;27(1):12-6.
128. Marghitu DB. *Mechanical engineer's handbook.* 1st ed. Academic Press; 2001.
129. Kutz Myer. *Mechanical engineers' handbook.* 2nd ed. New York: Wiley; 1998.
130. Oliveira NL, Da Silveira AC, Kusnoto B, Viana G. Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126(3):354-62.
131. Life science database archive: BodyParts3D., 2021;
<https://dbarchive.biosciencedbc.jp/jp/bodyparts3d/desc.html>.
132. Vandersea BA, Ruvo AT, Frost DE. Maxillary transverse deficiency - surgical alternatives to management. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2007;19(3):351-68
133. Chang JY, McNamara JA Jr, Herberger TA. A longitudinal study of skeletal side effects induced by rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;112(3):330-7.
134. Kanazawa T, Kuroyanagi N, Miyachi H, Ochiai S, Kamiya N, Nagao T, Shimoizato K. Factors predictive of pterygoid process fractures after pterygomaxillary separation without using an osteotome in Le Fort I osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013;115(3):310-8.
135. Garib DG, Navarro R, Francischone CE, Oltramari PV. Rapid maxillary expansion using palatal implants. *J Clin Orthod.* 2008;42(11):665-71.

136. Choi SH, Shi KK, Cha JY, Park YC, Lee KJ. Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *Angle Orthod.* 2016;86(5):713-20.
137. de Oliveira CB, Ayub P, Ledra IM, Murata WH, Suzuki SS, Ravelli DB, Santos-Pinto A. Microimplant assisted rapid palatal expansion vs surgically assisted rapid palatal expansion for maxillary transverse discrepancy treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;159(6):733-742.
138. Yoon A, Payne J, Suh H, Phi L, Chan A, Oh H. A retrospective analysis of the complications associated with miniscrew-assisted rapid palatal expansion. *AJO-DO Clin Companion.* 2022;1;2(5):423–30.
139. Kim KA, Oh SH, Kim BH, Kim SJ. Asymmetric nasomaxillary expansion induced by tooth-bone-borne expander producing differential craniofacial changes. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22(4):296-303.
140. Smeets M, Da Costa Senior O, Eman S, Politis C. A retrospective analysis of the complication rate after SARPE in 111 cases, and its relationship to patient age at surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020;48(5):467-471.
141. Jeon JY, Choi S-H, Chung CJ, Lee K-J. The success and effectiveness of miniscrew-assisted rapid palatal expansion are age-and sex- dependent. *Clinical oral investigations* 2022;26:2993-3003.
142. Bi Z. Finite element analysis applications a systematic and practical approach. 1st Edition, Academic Press, Cambridge, Massachusetts; 2018.
143. Shi Y, Zhu CN, Xie Z. Displacement and stress distribution of the maxilla under different surgical conditions in three typical models with bone-borne distraction: a three-dimensional finite element analysis. *J Orofac Orthop.* 2020;81(6):385-395.

144. Chen KY, Yang CY, Fan CN, Kuo CS, Fan SZ, Chen YW. The effects of pterygomaxillary disjunction in surgically assisted rapid maxillary expansion: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2024.
145. Singaraju GS, Chembeti D, Prasad Mandava V, Shetty SK, George SA. A comparative study of three types of rapid maxillary expansion devices in surgically assisted maxillary expansion: a finite element study. *Journal of international oral health*. 2015;7(9):40.
146. Koudstaal M, Wolvius E, Schulten A, Hop W, Van der Wal K. Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 2009;38:308-315.
147. Lin L, Ahn HW, Kim SJ, Moon SC, Kim SH, Nelson G. Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *Angle Orthod*. 2015;85(2):253-62.
148. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Mallya SM, Moschik C, Pan HC, Miller J, Moon W. Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Prog Orthod*. 2017;18(1):34.
149. Baumgaertel S. Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136:104-8.
150. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P. The Orthosystem-a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop*. 1996;57:142-53.
151. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P. Palatal bone support for orthodontic implant anchorage-a clinical and radiological study. *Eur J Orthod*. 1999;21:65-70.

152. Silvestrini Biavati A, Tecco S, Migliorati M, Festa F, Marzo G, Gherlone E, Tetè S. Three-dimensional tomographic mapping related to primary stability and structural miniscrew characteristics. *Orthod Craniofac Res.* 2011;14:88–99.
153. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone- beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:361-70.
154. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124:373-378.
155. Lee KJ. Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137 830-839.
156. Bocklet M, Ahmadi F, Tremont T, Ross L, Yao H, Andrade Jr I. Comparison of 3D-printed and laboratory-fabricated Hyrax on stress distribution and displacement of the maxillary complex: a 3D finite element study. *Progress in Orthodontics.* 2024;25(1),11
157. Lehman Jr JA, Haas AJ, Haas DG. Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plastic and reconstructive surgery.*1984;73(1), 62-68.
158. Betts N, Ziccardi V. Surgically assisted rapid palatal expansion. *Oral and maxillofacial surgery orthognathic surgery.*2000;2, 211-231.
159. Möhlhenrich SC, Modabber A, Kamal M, Fritz U, Prescher A, Hölzle F. Three-dimensional effects of pterygomaxillary disconnection during surgically assisted rapid palatal expansion: a cadaveric study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology.*2016;121(6), 602-608.