

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

CERRAHİ DESTEKLİ HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ
VE FARKLI İKİ TİP MİNİ VİDA DESTEKLİ HIZLI ÜST
ÇENE GENİŞLETME AYGITLARININ ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ
EREN TATLISU

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Dr.Öğr. Üyesi Esra BOLAT GÜMÜŞ

2024-ANTALYA

T.C.

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

CERRAHİ DESTEKLİ HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİ
VE FARKLI İKİ TİP MİNİ VİDA DESTEKLİ HIZLI ÜST
ÇENE GENİŞLETME AYGITLARININ ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

ARAŞTIRMA GÖREVLİSİ

EREN TATLISU

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Dr.Öğr. Üyesi Esra BOLAT GÜMÜŞ

2024-ANTALYA

ONAY SAYFASI

Dt. Eren TATLISU tarafından sunulan bu çalışma jürimiz tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakóltesi Ortodonti Anabilim Dalında Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir. .../...../.....

İmza

Üye

:.....

(Ünvanı, Adı Soyadı) (Üniversite)

Üye

:.....

(Ünvanı, Adı Soyadı) (Üniversite)

.....

Üye

:

(Ünvanı, Adı Soyadı) (Üniversite)

.....

Bu tez,/...../..... tarih ve/..... sayılı Yönetim Kurulu kararıyla belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Diş Hekimliği Fakóltesi

Kurum Yöneticisi

ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Aday

Eren TATLISU

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamda ve ihtisasım boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve yardımcı olan dekanımız Sayın Prof. Dr. Alper Kuőtarıcı'ya

Tez danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Esra BOLAT GÜMÜŞ'e

İhtisasım boyunca hep yanımda olan başta Dt. Mert ERSOYLU, Dt. Merve TURGUT, Dt. Ezgi KAYA, Dt. Saliha TUTAR olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma,

Tez çalışmam da bilgi ve desteklerini esirgemeyen Öğr.Gör. Osman KOÇ'a,

Bugünlere gelmemi sağlayan ve hayatıma anlam katan sevgili aileme ve canım yiğenlerim Duru ile Ece'ye

Teőekkürlerimi sunarım...

ÖZET

Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi Ve Farklı İki Tip Mini Vida Destekli Hızlı Üst Çene Genişletme Aygıtlarının Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle Değerlendirilmesi

Amaç: Çalışmanın amacı, genç erişkin bireylerde cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesine alternatif olabileceği iddia edilen monokortikal ve bikortikal mini vida yerleşimli iki farklı tip iskeletsel ankraj destekli yöntemin ve konvansiyonel cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki genişletme stres ve yer değiştirme etkilerinin sonlu elemanlar analizi kullanılarak değerlendirilmesidir.

Yöntem: Bu çalışmada, 34 yaşında bir bireye ait kafatası anatomik modeli kullanıldı ve kraniyofasiyal suturlar kapalı kabul edilerek erişkin sonlu eleman kafatası modeli oluşturuldu. CDHÜÇG konvansiyonel tip apareyi (Tip A), diş destekli monokortikal vida yerleşimli MVDHÜÇG (Tip B) ve diş destekli bikortikal vida yerleşimli MVDHÜÇG arapeyleri (Tip C) modellendi. Tip A modelde median ve lateral osteotomi uygulandı. 0,25 mm'lik genişletmede Von mises gerilmeleri ve 5 mm'lik genişletmede yer değiştirmeler için sonlu elemanlar analizi uygulandı.

Bulgular: Çalışma sonunda, Tip B ve Tip C model de transvers yönde daha paralel genişleme gözlenirken, Tip A modelde midpalatal suturda 'V' şeklinde açılma görüldü. Tip A model de pterigomaksiller bölgede ihmal edilecek düzeyde hareket izlenirken, Tip B ve Tip C modeller de pterigomaksiller bölgede lateral hareket görüldü. Tip B ve Tip C modelde Von mises stres değerleri, Tip A modele göre daha yüksek değerler gösterdi.

Sonuç: MVDHÜÇG apareyi ile daha paralel transversal genişletme elde edilmiştir. Ayrıca, yetişkinlerde HÜÇG tedavisinin cerrahi destekli yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi (CDHÜÇG), Mini Vida Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi (MVDHÜÇG), Sonlu Elemanlar Analizi (SEA)

ABSTRACT

Evaluation of the Effects of Surgically Assisted and Two Different Types of Micro-Implant Supported Rapid Maxillary Expansion Devices by Finite Element Analysis

Aim: There is a need for micro-implant supported rapid maxillary expansion (MARPE) studies, which can be an alternative to surgical-assisted rapid maxillary expansion (SARME) methods, and will reduce invasive procedures in adults. The aim of the study is to evaluate the effects of SARME and two different types of MARPE appliances on the nasomaxillary complex in a finite element adult skull model with finite element analysis.

Methods: In this study, 34-year-old individual finite element skull model was created by accepting the craniofacial sutures as closed. Surgically assisted tooth-supported (4- and 6-band) conventional hyrax appliance (Type A), tooth-supported (6-band) monocortical screw-located MARPE appliance (Type B), and tooth-supported (6-band) bicortical screw-located MARPE appliance (Type C) were modeled. Median suture and lateral osteotomy were performed in the type A model. Finite element analysis of Von mises stresses at 0.25 mm expansion, and displacements at 5 mm expansion was applied.

Results: At the end of the study, more parallel expansion was observed in the transverse direction in Type B and Type C models, while a 'V' shaped opening was observed on midpalatal suture in the Type A model. In the type A model, negligible movement is observed in the pterygomaxillary region and lateral movement was observed in the pterygomaxillary region in the Type B and Type C models. Von mises stress values in Type B and Type C models showed higher values than Type A models.

Conclusions: More parallel transversal expansion was achieved with the MARPE appliance. In addition, it might be recommended to perform SARME treatment in adults.

Key words: Surgical Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME), Micro-implant (mini screw) Assisted Rapid Palatal Expander (MARPE), Finite Element Analysis (FEA)

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER	vii
TABLolar	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Maksiller Darlık Tanımı	3
2.1.1. Maksiller Genişletme Tedavisinde Kullanılan Apareylerin Tarihçesi	3
2.1.2. Posterior Çapraz Kapanış	5
2.1.3. Etiyoloji	6
2.1.4. Teşhis	7
2.1.5. Tedavi	9
2.2. Hızlı Üst Çene Genişletmesi	10
2.2.1. HÜÇG'de Endikasyon, Kontrendikasyon ve Vida Açma Protokolü	10
2.2.2. HÜÇG'de Kullanılan Apareyler	11
2.2.3. HÜÇG'nin Dentofasiyal Yapılar Üzerine Etkileri	14
2.2.4. HÜÇG'nin Sistemik Etkileri	15
2.2.5. HÜÇG'de Karşılaşılan Problemler	17
2.2.6. Maksiller Genişletme Tedavi Sonrası Pekiştirme ve Nüks	17
2.3. Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi	17
2.3.1. CDHÜÇG Endikasyon, Kontrendikasyon	19
2.3.2. CDHÜÇG Avantajları	20
2.3.3. CDHÜÇG Protokolü	20
2.3.4. Komplikasyonlar	21
2.4. HÜÇG Tedavisinde Mini Vidaların Kullanımı	22
2.5. Sonlu Elemanlar Analizi	27
2.5.1. Sonlu Elemanlar Analizi ile İlgili Kavramlar	27

2.5.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Avantajları ve Dezavantajları	31
2.5.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Basamakları	32
2.5.4. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi ile HÜÇG Etkilerinin İncelendiği Çalışmalar	34
3. GEREÇ ve YÖNTEM	38
3.1. Geometrik Modelin Oluşturulması	38
3.1.1. Kraniofasiyal Sistemin Modellenmesi	38
3.1.2. Karşılaştırılan Apareylerin Modellenmesi	40
3.1.3. Malzeme Özelliği	44
3.1.4. Sınır Şartları	44
3.1.5. Sonlu Eleman Modeli	45
3.1.6. Model Çoğaltımı ve Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Tanımlanması	46
3.1.7. Araştırılan Anatomik Bölgeler	47
4. BULGULAR	49
4.1. Tip A Modele Ait Bulgular	54
4.1.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	54
4.1.2. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	55
4.1.3. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	57
4.2. Tip B Modele Ait Bulgular	61
4.2.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	61
4.2.2. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	62
4.2.3. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	64
4.3. Tip C Modele Ait Bulgular	69
4.3.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	69
4.3.2. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri	70
4.3.3. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	72
4.4. Bulguların Karşılaştırılması	77
5. TARTIŞMA	80
6. SONUÇ	95
KAYNAKLAR	97

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

122



SİMGELER ve KISALTMALAR

Ark	Arkadaşları
BT	Bilgisayarlı tomografi
CDHÜÇG	Cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi
DBCLS	Yaşam Bilimleri Veritabanı Merkezi
gr	Gram
GPa	Gigapaskal
HÜÇG	Hızlı üst çene genişletmesi
KIBT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
MVDHÜÇG	Mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesi
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal, N/mm ²
MR	Manyetik Rezonans
N	Newton
Ni-Ti	Nikel Titanyum
Ort	Ortalama
P	Paskal
PDL	Peridontal ligament
SEA	Sonlu elemanlar analizi
STL	Stereolitografi
UCLA	University of California Los Angeles
3B	Üç boyutlu

ŞEKİLLER

Şekil 3.1. Kraniyofasiyal SEA modeli (Frontal kesit)	39
Şekil 3.2. Kraniyofasiyal simetri modeli (Sagittal kesit)	39
Şekil 3.3. Cerrahi Destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) (Sagittal kesit)	40
Şekil 3.4. Cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) (Açılı okluzal kesit)	41
Şekil 3.5. Diş destekli monokortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Sagittal kesit)	41
Şekil 3.6. Diş destekli monokortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Açılı okluzal kesit)	42
Şekil 3.7. Diş destekli bikortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Sagittal kesit)	42
Şekil 3.8. Diş destekli bikortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Açılı okluzal kesit)	43
Şekil 3.9. Cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) kontakları	43
Şekil 3.10. Diş destekli monokortikal ve bikortikal model kontakları	44
Şekil 3.11. Tüm modelin dört üçgen yüzlü ağ elemana bölünmesi (Frontal kesit)	45
Şekil 3.12. Tüm modelin dört üçgen yüzlü ağ elemana bölünmesi (Okluzal ve sagittal kesit)	45
Şekil 3.13. Ortalama çarpıklık elaman kalite yakınsama değeri	46
Şekil 3.14. Midpalatal suturda ölçülen noktalar (okluzal görünüm)	47
Şekil 4.1. Tip A modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik genişletme (okluzal görünüm)	54
Şekil 4.2. Tip A modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik genişletme (sagittal görünüm)	54
Şekil 4.3. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)	55
Şekil 4.4. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)	55

Şekil 4.5. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)	56
Şekil 4.6. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagital görünüm)	56
Şekil 4.7. Tip A modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)	57
Şekil 4.8. Tip A modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)	57
Şekil 4.9. Tip A modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (okluzal görünüm)	59
Şekil 4.10. Tip A modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (frontal görünüm)	59
Şekil 4.11. Tip A modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (okluzal görünüm)	60
Şekil 4.12. Tip A modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (frontal görünüm)	60
Şekil 4.13. Tip B modele ait Von mises değerleri (okluzal görünüm)	62
Şekil 4.14. Tip B modele ait Von mises değerleri (sagital görünüm)	62
Şekil 4.15. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)	63
Şekil 4.16. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)	63
Şekil 4.17. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)	63
Şekil 4.18. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagital görünüm)	64
Şekil 4.19. Tip B modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)	65
Şekil 4.20. Tip B modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)	65
Şekil 4.21. Tip B modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (okluzal	

görünüm)	66
Şekil 4.22. Tip B modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (frontal görünüm)	67
Şekil 4.23. Tip B modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (okluzal görünüm)	68
Şekil 4.24. Tip B modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (frontal görünüm)	68
Şekil 4.25. Tip C modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)	69
Şekil 4.26. Tip C modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik değerlendirme (sagital görünüm)	70
Şekil 4.27. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)	70
Şekil 4.28. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)	71
Şekil 4.29. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)	71
Şekil 4.30. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagital görünüm)	71
Şekil 4.31. Tip C modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)	72
Şekil 4.32. Tip C modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)	73
Şekil 4.33. Tip C modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (okluzal görünüm)	74
Şekil 4.34. Tip C modele ait yer değiştirme - sagital değerlendirme (frontal görünüm)	74
Şekil 4.35. Tip C modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (okluzal görünüm)	75
Şekil 4.36. Tip C modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (frontal görünüm)	76

TABLULAR

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzeme özellikleri	44
Tablo 3.2. Sonlu Elemanlar Modeli eleman sayısı, düğüm noktası, ağ boyutu değerleri ve ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama değeri	46
Tablo 4.1. Tüm modellerde genişleticinin 5 mm aktivasyonundan sonraki yönlere bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)	50
Tablo 4.2. Tüm modellerde 5 mm aktivasyonundan sonraki nasomaksiller komplekste oluşan ortalama gerilim dağılımı (MPa) (Von mises gerilim)	51
Tablo 4.3. Tüm modellerde genişleticinin 0,25 mm'lik aktivasyonundan sonraki yönlere bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)	52
Tablo 4.4. Tüm modellerde 0,25 mm aktivasyonundan sonraki nasomaksiller komplekste oluşan ortalama gerilim dağılımı (MPa) (Von mises gerilim)	53
Tablo 4.5. Midpalatal sutur ölçüm noktaları yer değiştirmeler (mm)	58

1. GİRİŞ

Ortodonti biliminde transvers yöndeki maksiller darlık en yaygın iskeletsel problemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.⁽¹⁾ Maksiller transversal yetmezliğin etiyojisi, genetik ve fonksiyonel faktörlerden oluşabilir.⁽²⁾ Bu problemin düzeltilmesi, işitme, yutma ve burun solunumu üzerindeki terapötik etkilerle ilişkilendirilmiştir.⁽³⁾ Birçok araştırmacı maksiller transversal yetmezliğin erken dönemde tedavi edilmesini ve etiyojik faktörün ortadan kaldırılması gerektiğini önermiştir.⁽⁴⁻⁶⁾ Maksiller darlığı tedavi etmek amacıyla 1860 yılında Angell, vidalı bir üst çene genişletme apareyi ile sutural genişleme elde ettiğini söyleyerek hızlı üst çene genişletmesinin literatüre geçmesini sağlamıştır.⁽⁷⁾ Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan hızlı üst çene genişletme apareyi 1961 yılında Haas tarafından tasarlanmıştır.⁽⁸⁾

Hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG), kraniyofasiyal sistemde kemiklerin suturlar aracılığıyla bağlı olmasından dolayı sadece üst çenede değil, üst çene komşuluğundaki sfenoid, zigomatik, nazal, frontal, lakrimal, etmoid, vomer, palatinal kemikler ve nazal konkalarla da ilişkilendirilmiştir.^(9,10) Midpalatal suturun açılmasına karşı ana direncin suturun kendisinde olmadığı düşünülür, bu nedenle genişleme kuvveti tüm sirkummaksiller suturları etkileyebilir.^(3, 11, 12) Geleneksel genişletme apareyleri ile midpalatal sutur ve komşu artikülasyonların interdijitasyonu nedeniyle sınırlı iskelet genişleme etkileri görüldüğü bildirilmiştir.^(13, 14)

Erişkinlerde üst çene transversal darlığı düzeltmek ve stabil sonuçlar alabilmek için iskeletsel genişletme gereklidir.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ Yaygın ortodonti pratiğinde geçici ankraj apareylerinin tanıtılması, transversal üst çene yetmezlik tedavisinde başarılı sonuçlar göstermiştir.⁽¹⁸⁾ Mini vidaların üst çene genişletme tedavilerinde kullanımı ile dişler tek başına ankraj ünitesi olarak kullanılmadan üst çene genişletme tedavileri yapılabileceği bildirilmiştir.⁽¹⁹⁾ Bu yeni konseptin, geleneksel üst çene genişletmesindeki istenmeyen sonuçları ve cerrahi destekli hızlı üst çene genişletme (CDHÜÇG) tedavisinin getirdiği morbidite ve masrafları ortadan kaldıracabileceği gösterilmiştir.⁽²⁰⁾ Mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesi (MVDHÜÇG) için Lin ve ark.⁽¹⁸⁾ tarafından kullanılan C-expander Lee ve ark.⁽²¹⁾ ve Moon ve ark.⁽²²⁾ tarafından modifiye edilerek; mini vidaların palatal ve nazal tabanı içerecek şekilde bikortikal yerleşimi ile uygulanan birçok farklı MVDHÜÇG yöntemi geliştirilmiştir.

Dr. Won Moon'un modifiye MVDHÜÇG sistemi erişkin hastalarda CDHÜÇG'ye geçerli bir alternatif olarak kullanılmıştır.^(22, 23) Moon ve ark.^(19, 23, 24) daha büyük ortopedik etkiler ve koronal düzlemde daha fazla paralel genişletme elde etmek için bikortikal mini vida ankraj kullanılmasını önermişlerdir. Ortodontik diş hareketi uygulamalarında bikortikal mini implant ankrajının biyomekanik olarak monokortikal ankrajdan daha elverişli olduğu gösterilmiştir, bundan dolayı bikortikal ankraj maksimum ankraj gerektiren klinik durumlar için düşünülmesi önerilmektedir.^(25, 26) Bu yerleştirme yönteminin, geçici ankraj aygıtlarının daha iyi stabilitesini sağladığı, deformasyonunu ve kırılmasını önlediği, koronal düzlemde daha fazla paralel genişlemeyi desteklediği ve potansiyel palatal genişleme miktarını artırdığı bildirilmiştir.^(18, 24)

Ortodonti biliminde sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ortodontik kuvvetlerin dişler, periodontal ligamentler ve alveol kemikte neden oldukları gerilimlerin değerlendirilmesinde,⁽²⁷⁻²⁹⁾ ortodontik diş hareketlerine neden olan farklı ortodontik apareylerin biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde,^(30, 31) farklı ortopedik kuvvetler uygulayan apareylerin kraniyofasiyal yapılardaki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde,⁽³²⁾ HÜÇG için kullanılan apareylerin kraniyofasiyal yapılardaki biyomekanik etkilerinin değerlendirilmesinde⁽³³⁾ ve ankraj amacıyla kullanılan mini vidaların etrafında oluşan gerilimlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.⁽³⁴⁾ Sonlu elemanlar analizi; düzgün geometri göstermeyen, farklı malzeme özelliklerine sahip yapılara uygulanabilmesi ve tehlikeli olabilecek tasarımların simülasyonları ile analitik ve deneysel sonuçlar alınabilmesi gibi avantajlar sunabilmiştir.^(35, 36)

Yapılan literatür taramasında erişkin bireylerde farklı yöntemler içeren cerrahi destekli HÜÇG yöntemleri ve cerrahi yöntemlere alternatif olabilecek farklı MVDHÜÇG yöntemlerinin karşılaştırıldığı; nasomaksiller komplekste ve özellikle erişkin bireylerde ana direnç merkezlerinden biri kabul edilen pterigomaksiller bölge üzerindeki etkilerini araştıran klinik ve SEA çalışmalarına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu uzmanlık tez çalışmasının amacı, cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi ve farklı iki tip mini vida destekli hızlı üst çene genişletme aygıtlarının nasomaksiller bölgede oluşturdukları stres ve yer değiştirme miktarlarını sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmek ve invaziv prosedürleri azaltmaya yönelik cerrahi yöntemleri değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Maksiller Darlık Tanımı

Maksillanın transvers yöndeki yetmezliği, kraniyofasiyal bölgedeki en yaygın iskeletsel sorunlardan biri olarak kabul görmektedir.⁽¹⁾

Haas,⁽³⁷⁾ maksiller darlığı gerçek ve göreceli olarak iki şekilde incelemektedir. Gerçek maksiller darlıkta, diğer yüz kemikleri ve mandibulaya kıyasla, maksillanın boyutu olması gerekenden küçüktür. Göreceli maksiller darlık, alt çeneye bağlıdır ve maksilla diğer yüz kemiklerine göre normal büyüklüktedir.^(37, 38)

Maksiller darlığın kliniği çapraşıklık ve posterior çapraz kapanış olarak görülmektedir. Maksillada posterior dişlerin bukkal yönde tippingine bağlı olarak çapraz kapanışın görülmediği durumlarda maksiller darlık kamufle olur. Maksiller darlığın göstergesi olarak, artmış Wilson eğrisiyle beraber üst molar dişler arası genişliğin 31 mm'den az olması gösterilir.⁽¹⁾

2.1.1. Maksiller Genişletme Tedavisinde Kullanılan Apareylerin Tarihçesi

Geçmişten günümüze kadar birçok genişletme apareyi tanımlanmış, modifiye edilmiş ve uygulanmıştır. Bu apareyler, dişlere simante edilerek uygulanabildiği gibi hareketli aparey olarak da kullanılmıştır. Ayrıca yavaş, yarı hızlı, hızlı ve cerrahi destekli üst çene genişletmesi gibi farklı protokoller de uygulanmıştır.

Maksiller transversal darlığı, 1860'lı yıllara kadar gerçek anlamıyla tedavi edilememiştir. Bu zamana kadar maksiller darlığın tedavisinde, bazı yavaş genişletme protokolleriyle sınırlı genişletme sağlayan hareketli apareyler kullanılmıştır.⁽³⁹⁾ 1728'de Fauchard, 1757'de Bourdet, 1803'de Fox, 1819'da Delabarre, 1839 ve 1841'de Shange, 1841'de Lefoulon, 1846'da Robinson, 1848'de Tomes, 1850'de Allen, 1859'da White ve 1859'da Westcott yavaş genişletme protokolü uygulayan araştırmacılarıdır.⁽³⁹⁾

E. H. Angell, 1860 yılında yayınladığı makalede, maksiller genişletme sağlayan yeni bir genişletme apareyini tanıttı ve günde 2 defa vida çevrilmesiyle apareyi aktive ederek büyüme gelişme dönemindeki bir hastasında, suturlarda açılma elde ettiğini belirtmiştir.⁽⁷⁾ Üst çene palatinaline yerleştirilen vida ve bu vidadan bir taraftaki 1. ve 2. premolar dişlere ve diğer taraf 2. premolar dişe uzanan destek kollardan oluşan bu

aparey, 14 gün süreyle günde 2 defa aktive edilerek kullanılıp, üst keser dişler arasında diastema izlenmiştir. Sutural ayrılmanın o zamanlar radyolojik olarak ispatlanamamasına rağmen, üst çenenin uygun genişliğe ulaşması ve üst keser dişlerin arasında diastema oluşması gibi bulgulara dayanarak, sutural ayrılmanın sağlandığı savunulmuştur.⁽⁷⁾

Bu gelişme, dönemin araştırmacıları arasında tartışmalara yol açıp, bazı araştırmacılar bu fikri desteklerken, bazı araştırmacılar ise bu fikre katılmamıştır. Buna rağmen Farner (1888), Goddard (1893), G.W. Black (1893), Monson (1898), G.V.I. Brown (1903), N.M. Black (1909), Landsberger (1910), Willis (1911), Wright (1912), Barnes (1912), Hawley (1912), Dewey (1914) ve Mesnard (1929) bu yeni yöntemi uygulamıştır.⁽¹⁰⁾

1909 yılında Landsberger,⁽¹⁰⁾ hızlı üst çene genişletmesi öncesi ve sonrası alınan radyografik görüntüleme sayesinde, hızlı üst çene genişletme protokolünün midpalatal suturda açılma sağladığını göstermiştir. Genişletme radyografik açıdan ispatlanamadığı için araştırmacılar arasında tartışma yaratmıştır.⁽⁴⁰⁾ Illinois Üniversitesi'nde yapılan çalışmalar ortodontik mekanikler ile oluşturulan iskeletsel değişikliklerinin radyografi ile görüntülenebilmesini sağlamıştır.⁽⁴¹⁾ Wright (1953)⁽⁴²⁾ ve Haas (1961)⁽⁴³⁾ bu iskeletsel değişikliklerin, alveoler yapılar ile kısıtlandığını savunmuştur.

Haas yaptığı hayvan çalışmalarının sonucunda; prosedürün ağrısız olduğunu, suturun 2 haftada 15 milimetre (mm) açıldığını ve aşırı direnç görülmediğini, alt dişlerde de dolaylı yoldan genişletme sağlandığını göstermiştir.⁽³⁷⁾ Ek olarak da uygulamanın burun boşluğunda genişletme elde edildiğini göstermiştir.

Doku destekli sabit palatal genişletme apareyi olarak tanımladığı apareyle, maksiller genişletme sağlamıştır. Üst 1. molar ve 1. premolar dişlere bantlar yardımı ile ankraj alan, damaktaki kısmında akrilik destekli ve genişletme vidası bulunan bir apareydir. Daha fazla iskeletsel etki elde edebilmek amacıyla hem dişlerden hem de damak bölgesinden ankraj kullandı. Damak bölgesinde yumuşak dokuda irritasyon izlendi. Avantaj olarak daha az laboratuvar zamanı geçirilmesi ve dezavantaj olarak akrilik plak altında yumuşak doku irritasyonu gösterilmiştir.^(37, 38)

Biederman (1968)⁽⁴⁴⁾ çelik kollarla 1. molar ve 1. premolar bantlarına lehimlenen diş destekli aparey tasarlamıştır. Haas apareyine göre hijyenik olması ve daha az yumuşak doku irritasyonuna neden olması açısından öne çıkmıştır.

Ricketts (1975)⁽⁴⁵⁾ ankraj için 1. molar dişlere bant yerleştirdi ve 1 mm çapında çelik telden yapılan quad-helix apareyini kullanmıştır.⁽⁴⁶⁾ Bu aparey ile molar dişlerde rotasyon düzeltimi de yapılmıştır.⁽⁴⁷⁾

Cotton (1978),⁽⁴⁸⁾ apareyin orta hattında bulunan yayın aktive edilmesi sonucu, hafif kuvvet uygulayan Minne apareyini tasarlamıştır.

Subtelny (1980),⁽⁴⁹⁾ üst molar dişlerin oklüzalını akrilik ile kapladığı aparey tasarımı ile posterior dişlerdeki devrilme hareketinin elimine edilip, vertikal boyutların kontrol altına alınıp ve kuvvetin nazomaksiller komplekse etkili bir şekilde aktarılabileceğini göstermiştir.

Vardimon ve ark. (1987)⁽⁵⁰⁾ maymunlar üzerinde yürüttükleri araştırmada maksiller genişletme için mıknatıs parçaları kullanmıştır.

Arndt (1993),⁽⁵¹⁾ vücut ısısı ile aktive olup, midpalatal sutur üzerinde hafif ve sürekli kuvvet uygulayan nikel-titanyum esaslı genişletme apareyini tasarladı. Bu sayede hasta kooperasyonu arttıracak ve laboratuvar işlemlerini azaltabileceğini göstermiştir.

Darendeliler ve Lorenzon (1996),⁽⁵²⁾ süper elastik yaylar ile hafif ve devamlı kuvvet oluşturan ve hedeflenen miktarda genişleme sağlandığında genişletmenin durmasını sağlayan bir sistem tasarlamıştır.

2.1.2. Posterior Çapraz Kapanış

Normal oklüzyonda üst posterior dişlerin palatinal tüberkülleri alt posterior dişlerin santral fossası ile temas eder.⁽⁵³⁾ Posterior dişlerin transvers yöndeki bu ilişkilerinin değişmesi ile posterior çapraz kapanıştan bahsedilebilir. Literatür taramasında maksiller darlığın göstergesi posterior çapraz kapanış dental, iskeletsel ve fonksiyonel olmak üzere üç şekilde gösterilmiştir.^(6, 54-56)

Dental Posterior Çapraz Kapanış

Maksiller apikal kemik kaidesi transversal yönde normal iken, tek bir diş veya diş grubunun palatine eğimli olmasıyla gösterilmektedir. Genellikle lokal faktörler nedeniyle dişlerin bukkolingual eğimlerinin artması sonucu gerçekleşmiştir.^(2, 57, 58)

İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış

Maksiller ve mandibuler kaide arasında transversal yönde uyumsuzluk söz konusudur.⁽⁵⁹⁾ Genellikle maksiller apikal kemik kaidesi yetmezliği sonucu gelişen bu durum, mandibulanın daha fazla gelişmesi veya her ikisinin kombinasyonu sonucunda da oluşabilmektedir.^(38, 43, 54, 56, 59, 60)

Fonksiyonel Çapraz Kapanış

Maksillanın darlığına bağlı primer okluzal temaslar nedeniyle genellikle süt ve karma dentisyon döneminde fonksiyonel yan çapraz kapanışlar görülmektedir.

Primer okluzal temaslar sonucunda mandibula, maksimum interküspidasyona geçerken bir tarafa kayarak çapraz kapanış meydana getirir. Mandibulada genellikle asimetri mevcut değildir yalnızca erken temaslar sebebiyle asimetric konumlanmıştır.^(57, 59, 61)

2.1.3. Etiyoloji

Maksillanın transvers yetersizlik gelişimsel bir anomali olabileceği gibi, birçok fonksiyonel faktörün etkileşimi ile oluşabilir.

Bishara ve ark.⁽⁵⁴⁾ maksiller transvers yetersizliğin akondroplazi, Binder gibi sendromlarla birlikte görülebildiğini belirtmişlerdir. Kraniofasiyal Dizostozis'te baş ve yüz suturlarının erken kaynaşması nedeniyle orta yüzde gelişim geriliği ve buna bağlı olarak maksiller darlık meydana gelebilmektedir. Down sendromunda maksillanın gelişim yetersizliği nedeniyle, maksiller darlık eşlik edebilmektedir.⁽⁵⁹⁾

Dudak-damak yarıklı hastalarının bukkal kas gruplarının, maksillayı palatinal doğrultuda harekete zorlaması maksiller darlığa neden olabilmektedir.⁽⁶²⁾ Bu hasta grubunda sağlıklı bir oklüzyon bulunamamasından dolayı çiğneme fonksiyonu tam yapılamayabilir ve yarık onarımı sonrası oluşan skar dokular sebebiyle de posterior çapraz kapanış meydana gelme riski artmıştır.^(63, 64)

Büyüme ve gelişim döneminde uzun süre ağız solunumu sonucunda da maksiller darlık meydana gelebilir.⁽⁵⁹⁾ Harvold ve ark.⁽⁶⁵⁾ deneysel olarak ağız solunumu oluşturdukları rhesus maymunlarında, kontrol gruplarına göre göreceli daha fazla maksiller darlık meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Nazal septum deviasyonu, nazal konka veya faringeal tonsil hipertrofisi ve nazal poliplere bağlı olarak ağız solunumu gelişimiyle beraber maksiller darlık oluşumuna sebep olabilir.⁽⁵⁹⁾

Dilin ağız tabanında konumlandırılmasıyla üst posterior dişlerde oluşan kuvvet dengesinin değişmesi sonucu posterior çapraz kapanış oluşabilir.⁽⁵⁵⁾ Behlfelt ve ark.⁽⁶⁶⁾ hipertrofik tonsillere sahip ortalama yaşı 10 olan 73 çocukta yaptıkları çalışmada; ağzın açık konumu sonucu hyoid kemik ve dilin inferiorda konumlandığını ve üst dental arkın dar hale gelip, posterior çapraz kapanış oluşma sıklığının arttığını göstermiştir.

Uzun süre emzik kullanımı veya parmak emme görülen çocuklarda maksiller darlık meydana gelebilir.⁽⁵⁹⁾ Emzik veya parmak ağıza götürüldüğünde, dil ağız tabanında konumlanır. Emme esnasındaki aktif kaslar posterior dişlerin bukkal yüzeylerinde basınç yeterince tolere edilemez ve maksiller darlık oluşabilir.^(67, 68) Larsson⁽⁶⁷⁾ emme, çiğneme ve beslenme alışkanlıklarını çalıştığı bir araştırmada, 3 yaşına kadar emzik kullanmış kız çocuklarında %26 oranında çapraz kapanış gözlemlemiştir. Larsson⁽⁶⁹⁾ başka bir araştırmasında, 4 yaşından önce emzik kullanma alışkanlığını terk eden çocukların daimi dentisyonda posterior çapraz kapanış görülme sıklığını %7 ile %10 arasında bulmuştur.

2.1.4. Teşhis

Ortodontik tedavi planlamasının doğru yapılabilmesi için maksiller darlığın teşhisi önemlidir. Klinik ve radyografik muayeneye ilaveten ve model analizi ile maksiller darlık teşhisi yapılabilir.

Klinikte değerlendirme sırasında üst çene ark formu ve simetrisi, palatal kubbenin şekli, gülümsemede bukkal koridorların genişliği, oklüzyon ve solunum düzeni değerlendirilmelidir.⁽⁷⁰⁾ İntraoral değerlendirme sırasında v şeklinde dar üst çene ark formu, derin ve dar damak kubbesi, çapraşıklık, üst posterior dişlerin bukkal tippingi, alt posterior dişlerin lingual tippingi maksiller darlığın göstergeleri olarak

değerlendirilir.^(2, 57, 71, 72) Ekstraoral muayenede yüzde asimetri varlığı incelenmelidir. Asimetri varlığında çene ucu deviasyonunun kaynağının iskeletsel veya fonksiyonel olup olmadığı incelenmelidir.^(6, 71) Fonksiyonel çapraz kapanış; genellikle maksiller darlığın sonucu olarak gözlenir. Fonksiyonel çapraz kapanışta, mandibula istirahat durumunda normal konumunda ancak oklüzyona geçerken maksimum interküspidasyon sırasında bir tarafa doğru kaymaktadır.^(57, 59)

Radyografik değerlendirmede posteroanterior radyografi ve üç boyutlu görüntüleme tekniklerinden yararlanmak gerekmektedir. Posteroanterior sefalometrik radyografilerin mandibula ve maksilla arasındaki transversal iskeletsel farklılıkları belirlemek ve değerlendirmek için en güvenilir yol olduğu savunulmaktadır.⁽⁷³⁾ Ricketts analizi, posteroanterior radyografiler üzerinde sefalometrik referanslar kullanılarak transversal iskeletsel farklılıkların teşhisinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda transversal iskeletsel farklılıkları tespit etmek için sağ-sol maksiller jugal genişlik ile sağ-sol mandibular antegonial genişlik karşılaştırılmaktadır.^(6, 74) Üç boyutlu görüntüleme teknikleri; kraniyofasiyal bölgede doğru bir teşhis için görselleştirme sağlayan güncel bir araçtır.⁽⁷³⁾ Bu yöntem klinisyenler tarafından çenelerin ilişkilerinin ve asimetrielerin değerlendirilmesini sağlamıştır.^(70, 75)

Ortodontik model analiziyle; dental arkların şekli tam olarak görülebilmekte, transversal olarak apikal kemik kaidesinin yetersizliği tespit edilebilmektedir.⁽⁷⁰⁾ En sık kullanılan Howes model analizinde dişler ve bunları taşıyan apikal kemik kaidesi arasındaki transversal yön ilişkileri değerlendirilir.⁽⁶⁸⁾ Apikal kemik kaidesinin genişliğinin premolarlar arası diş kavsi genişliğine eşit ya da daha fazla olması gerektiği söylenmiştir.⁽⁶⁸⁾ Bir başka analizde ise üst molarların meziobukkal tüberkül tepeleri arasındaki mesafe ile mandibular molarların merkez sulkusunun orta kısımları arasında mesafe arasındaki fark hesaplanmaktadır. Staley ve ark.⁽⁷⁶⁾ bu farkı normal bir oklüzyon için erkeklerde 1,6 mm kızlarda 1,2 mm olarak bulmuşlardır.

Alçı modeller değerlendirilirken özellikle, üst posterior dişlerin bukkale eğim, alt posterior dişlerin ise linguale eğimli olup olmadığına bakılmalıdır.⁽⁶⁾ Bu durum çapraz kapanışın dental veya iskeletsel olduğu hakkında daha net bilgi vermektedir.⁽⁷⁰⁾

Dental model üzerinde yapılan bir çalışmada normal bir üst ark genişliği 36-39 mm arasında bulunmuştur. Bu genişliğin 31 mm veya daha az olduğu durumlarda ortopedik veya cerrahi destekli genişletme tavsiye edilmiştir.⁽⁷²⁾

2.1.5. Tedavi

Süt ve erken karma dentisyonda maksiller darlığa bağlı çapraz kapanışın kendiliğinden düzelmesi, %8 ile %45 arasında değişen oranlarında bildirilmiştir.^(56, 77-79) Bazı çalışmalarda ise posterior çapraz kapanışın kendiliğinden düzelmediği ve tespit edildikten sonra kısa bir sürede tedavi edilmesi gerektiği bildirilmiştir.^(4, 5)

Maloklüzyonların oluşumunda emme alışkanlıklarının büyük bir rolü vardır. Emzik kullanan çocuklarda transversal ilişki 2 ile 3 yaş arasında değerlendirilmelidir. Eğer süt kanin dişlerinde primer temaslar varsa aşındırma yapılmalı ve ebeveynler emzik kullanma süresini azaltmak için bilgilendirilmelilerdir.⁽⁶⁹⁾

Fonksiyonel çapraz kapanışta süt dişlerinde yapılacak olan aşındırmalar çapraz kapanış tedavisinde etkilidir.^(78, 79) Fonksiyonel deviasyonların yol açtığı şiddetli deviasyonlarda dişlerin düzeltilmesi ve gerekli fonksiyonun sağlanması için sabit veya hareketli apareyler ile ortodontik tedaviye ihtiyaç duyulmuştur.⁽⁷¹⁾

Dental çapraz kapanış tedavisi, sadece diş hareketiyle elde edilebilmektedir. Maksillada, hareketli genişletme apareyi, transpalatal ark ya da edgewise mekaniği ile genişletilmiş ark teli kullanılarak dişlerde bukkal tipping sağlanırken; mandibulada lingual ark, lip bumper ya da edgewise mekaniği ile daraltılmış ark teli molarlarda lingual tipping sağlar.⁽⁶⁾ Çapraz kapanış elastikleri de antagonist dişleri karşıt yönde devirebilir. Bu devrilme bir transpalatal ark veya lingual ark yardımıyla kontrol edilebilir. Saf paralel diş hareketi elde etmek için tork bükümleri yapılmalıdır.⁽⁶⁾

Transversal uyumsuzluk için 4 mm veya daha az genişletme gerekiyorsa hareketli apareyler, transpalatal apareyler (transpalatal ark, Quad heliks, Porter W apareyi), ark telleri, çapraz kapanış elastikleri ve sabit genişletme apareyleri eşit derecede etkili bulunmuştur.^(80, 81)

İskeletsel çapraz kapanış tedavisinde maksilladaki apikal bazal kaidenin transversal genişliğini arttırmak için, median palatal suturun transversal yönde açılması en sık uygulanan tedavi şeklidir.⁽⁶⁾

Üst çene genişletmesinde üç protokol yaygın olarak kullanılır. Bunlar yavaş, yarı hızlı ve hızlı maksiller genişletme yöntemleridir.

Yavaş genişletmede maksillaya ve dişlere 450 ile 900 gram (gr) arasında kuvvet uygulanmaktadır,^(54, 82) Haftada 0,5 ile 1 mm aktivasyonlarla fizyolojik limitler dahilinde madian palatal sutur bütünlüğü korunarak genişletme elde edilmektedir.⁽⁸³⁾ ⁸⁴⁾ Uygulanan kuvvetler ortodontik diş hareketi limitleri dahilinde olduğu için, daha fazla dental etki elde edilerek maksillanın genişletilmesi sağlanmaktadır. Tedavi sonunda çevre biyolojik dokularda artan yüklerin kümülatif olarak birikiminde azalma olabileceği için tedavinin nüks ihtimali azalmaktadır.⁽⁸⁵⁾

Literatürde, yarı hızlı genişletme yöntemleri için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bir çalışmada hareketli bir apareyle haftada 1-1,5 mm genişletme yapılmış ve hızlı üst çene genişletmesine göre daha fizyolojik limitler dahilinde olduğu belirtilmiştir.⁽⁸⁶⁾ İşeri ve Özsoy,⁽⁸⁷⁾ rijit akrilik destekli hızlı üst çene genişletme apareyi kullanarak, sutural ayrılma gerçekleşinceye dek vida günde 2 kez, sutural ayrılma olduktan sonra aparey desimante edip hareketli aparey olarak vida haftada üç tur çevrilerek üst çene genişletmesi yapmıştır. Farklı protokoller uygulansada; bu yaklaşım ile midpalatal sutur açıldıktan sonra üst çene komşuluğunda bulunan suturlarda gerilmelerin azaltılarak, genişletmenin uzun dönem stabilizasyonuna katkı da bulunacağı savunulmuştur.⁽⁸⁷⁾

2.2. Hızlı Üst Çene Genişletmesi

Hızlı üst çene genişletmesi, dişler ile maksiller alveolar yapılar ortodontik diş hareketi sınırlarının üzerinde kuvvetler uygulayarak daha çok ortopedik etki elde edilmesi olarak tanımlanabilir.^(40, 63, 88)

2.2.1. HÜÇG Endikasyonlar, Kontrendikasyon ve Vida Çevirme Protokolü

Hızlı üst çene genişletmesinin endikasyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Maksilla ve mandibula arasındaki transversal yön uyumsuzluğunun 4 mm veya daha yüksek olduğu ve maksiller molar dişlerin bukkal yönde eğimli olduğu vakalarda,
- Sınıf III tedavisinde sirkummaksiller sutur sisteminin hareketlendirilmesini sağlayıp maksiller protraksiyonun daha kolay gerçekleşmesi için,
- Maksiller darlık ve maksiller kollapsa sebep olan damak yarığı vakaları,

- Maksiller dentisyonda orta derecede çapraşıklığı olan vakalarda ark çevresini artırmak için hızlı maksiller genişletme tedavisi uygulanır.⁽⁸⁹⁾

Hızlı üst çene genişletmesinin kontrendikasyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Molar dişlerin bukkalinde dişeti çekilmesi mevcut olan,
- Anteriorda açık kapanış bulunan, mandibular düzlem açısı artmış ve profili konveks olan vakalar,
- Tek diş çapraz kapanışta olan,
- Uyum problemi yaşanan vakalarda kontrendikedir.⁽⁸⁹⁾

HÜÇG prosedürünün en çok tartışılan tarafı, genişletmenin protokolü olmakta ve literatür tarandığında çok farklı vida çevirme protokollerinin tavsiye edildiği görülmektedir. Zimring ve Isaacson,⁽⁹⁰⁾ genç bireylerde median palatal sutur ayrılincaya kadar (ortalama 4-5 gün) günde 2 kez, suturun ayrılmasından sonra günde 1 kez çevirerek elde edilen genişletmenin daha dengeli olacağını savunmuşlardır. Daha yaşlı bireylerde, ilk iki gün 2 kez, sutur ayrılana kadar ve sonrasında günde 1 kere çevirme protokolü önerilmiştir.⁽⁴³⁾ Biederman⁽⁹¹⁾ ise birinci gün 5 veya 10 dakika aralıklarla 3 kez, sonrasında günde 2 kez olacak şekilde aparey aktivasyonu uygulamıştır. Ceylan ve ark.⁽⁹²⁾ ve Taşpınar ve ark.⁽⁹³⁾ ise sutur ayrılana kadar günde 3 kez, suturun açılmasından sonra ise günde 2 kez yapılan vida çevirme protokolünü uygulamıştır. Tecco ve ark.⁽⁹⁴⁾ vidanın ilk gün 4 kez, sonrasında 1 kez olacak şekilde çevrilmesini önermişlerdir. Sander ve ark.⁽⁹⁵⁾ HÜÇG nedeniyle oluşan kök rezorpsiyonunun aktif tedavi süresi ile ilişkili olduğu düşündüklerinden, tedavi süresini kısaltmak için hyrax genişletme vidasının günde en az 5 kez çevrilmesini önermişlerdir. Chatellier ve Chateau⁽⁹⁶⁾ ilk üç gün içinde üst çenede 6 mm ve takip eden haftada 3 mm olacak şekilde genişletme prosedürü uygulayıp, prosedüre çok hızlı üst çene ekspansiyonu ismini vermişlerdir. Farklı apareylerle yapılan HÜÇG'de genel olarak önerilen yöntem, vidanın sabah ve akşam olmak üzere günde 2 kez çevrilmesidir.^(1, 12, 39, 43, 97)

2.2.2. HÜÇG'de Kullanılan Apareyler

Hangi tip genişletme apareyinin kullanılması gerektiğini belirleyen ana faktör apareyden beklenen tedavi etkileridir. Sutural maturasyon derecesi cerrahi destek veya iskeletsel ankraj desteği gibi ilave faktörlerin değerlendirilmesinde belirleyici faktör olarak rol almaktadır. Bununla birlikte, midpalatal sutur kemikleşme süreci

kişiden kişiye değişir. Bir çalışma, median suturun gelişiminin üç aşamada gözlemlenebileceğini bildirmektedir. İlk aşamada sutur kısa, geniş ve Y şeklinde, sonraki aşamada sutur daha kıvrımlı hale gelir ve üçüncü aşamada, suturun kaynaşması tamamen kemikleşmeye yaklaşır.⁽³⁾ Birçok çalışma erişkinlerde midpalatal sutur ayrılmasına karşı oluşan direncin, sirkummaksiller suturların füzyonundan kaynaklandığını savunur.^(3, 11, 12)

HÜÇG’de kullanılan apareyler şunlardır:

Haas Apareyi

1961 yılında Andrew Haas⁽⁴³⁾ tarafından tanıtılan bu aparey, üst birinci premolar ve molar dişlere uygulanan bantlara akrilik plak içinden uzanan kalın tellerin lehimlenmesi ve plağın orta kısmına genişletme vidası yerleştirilmesiyle yapılmaktadır. Bu apareyin akrilik bölümü sayesinde kuvvetin bütün olarak maksillanın iskeletsel ve dentoalveoler yapılarına iletildiği, daha fazla paralel genişletme gerçekleştiği ve elde edilen ortopedik etkinin ortodontik etkiye göre daha yüksek olduğu öne sürülmüştür.^(38, 43) Ancak, akrilik plak nedeniyle bu apareyin hijyenik olmadığı ve yumuşak doku irritasyonuna neden olabileceği de belirtilmiştir.⁽⁹¹⁾

Cap Splint Apareyi

1981 yılında Timms⁽³⁹⁾ tarafından tanıtılan bu aparey, üst keser dişler dışında tüm dişlerin oklüzal ve insizal kenarlarını kaplayan krom kobalt döküm plak ve vidadan oluşur. Zamanla bu aparey modifiye edilerek döküm yerine akrilik plaktan tasarlanmaya başlanmıştır.

Rijit Akrilik Bonded Maksiller Genişletme Apareyi

Yapımı ve klinikte hastaya uygulanması kolay olan bu aparey, posterior dişlerin bukkal, oklüzal ve palatinal yüzleri ile anterior dişlerin sadece palatinal yüzeylerini, maksillanın palatinal kısmını tamamen örten, rijit akriliğin içine midpalatal düzlemde premolar dişler arasına yerleştirilen vidadan oluşmuş, diş ve doku destekli bir apareydir. Rijit yapıda olmasından dolayı, dişlerde daha az tipping ve daha fazla iskeletsel olarak genişletme sağladığı düşünülerek, bu apareyin uygulanması ile daha kalıcı sonuçlar elde edilebildiği bildirilmiştir.^(87, 98, 99)

Hyrax Apareyi

Akrilik destek bölümü olmadan sadece premolar ve molar bantlarına lehimlenmiş vidadan oluşan diş destekli bu aparey ise Biederman⁽⁹¹⁾ tarafından tanıtılmış ve akrilik destek içermediğinden Haas apareyine kıyasla daha hijyenik olduğu rapor edilmiştir. Hyrax apareyi klinisyenler tarafından en fazla tercih edilen HÜÇG apareyidir.⁽¹⁰⁰⁾

Hyrax apareyinin posterior dişlerin tüm yüzeylerine akrilik eklenerek yapılan modifikasyonları da tasarlanmıştır. Bu akrilik destek kısımlarının eklenmesinin başta vertikal yön kontrolü olmak üzere bazı avantajları olduğu bildirilmiştir.⁽¹⁰¹⁻¹⁰⁴⁾

Nikel Titanyum vidalar

Wichelhaus ve ark.⁽¹⁰⁵⁾ tarafından 2004 yılında nikel titanyum (Ni-Ti) HÜÇG vidası olarak tanıtılmış olup, kuvvetin sürekliliğini sağlamak için vida kısmında Ni-Ti açık coil springler içermektedir. Wichelhaus ve ark.⁽¹⁰⁵⁾ Ni-Ti HÜÇG vidalarıyla yapılacak tedavilerde vidanın sabah, öğle ve akşam 2 kez çevrilmesini önermişlerdir. 37°C test makinasıyla yürüttükleri çalışmada vidanın günde 6 kez çevrilmesi ile sürekli olarak kuvvet uygulanabildiğini ve bu kuvvetin sutur açılması için yeterli olabileceğini bildirilmişlerdir. Kendi gözlemleri sonucu, vidanın günde 2 defa 3 kez çevrilme şeklinde de açılabilceğini belirtmişlerdir.

Halıcıoğlu⁽¹⁰⁶⁾, Ni-Ti HÜÇG yöntemi ve hyrax vidasının etkilerini karşılaştırdığı çalışmasında; iki yöntemde HÜÇG tedavisini başarıyla gerçekleştirebildiğini göstermiş, ancak Ni-Ti HÜÇG vidası ile yapılan HÜÇG'nin daha kısa zaman aralığında tamamlanmasının, bu vidaların pekiştirme sürecinde biraz daha genişlemesinin ve daha hafif kuvvetler üretmesinin hyrax vidalarına göre avantaj olarak gösterilebileceğini rapor etmiştir.

Klinik uygulamada; üst çene transversal yetmezliğin iskeletsel olarak tedavisi, hastanın cinsiyetide dikkate alınarak yaklaşık 14-15 yaşına kadar uygulanabilmektedir. Bu yaş sonrasında ortopedik genişletme neredeyse imkansız hale gelecek kadar zorlaşmaktadır ve işlem çok ağrılı hale gelmektedir.^(3, 107) Genel olarak, midpalatal suturun kaynaşmasının bu tip genişlemeyi sınırladığı varsayılır.⁽³⁾

Büyüme gelişimi tamamlanan hastalarda genişletmeyi sağlamak mümkün olsada, tedavilerin sonuçlarının öngörülebilirliği ve stabilitesi şüphelidir. Proffit⁽²⁾ ve Brudon,⁽¹⁰⁸⁾ onlu yaşların sonlarında ve yirmili yaşların başlarında maksiller

genişletmenin gerçekleştirilebilirliğini sorgulamıştır. Sabit ortodontik tedavi ile birlikte cerrahi destekli hızlı üst çene genişletme (CDHÜÇG), bu problemin üstesinden gelmek için tavsiye edilmiştir.⁽¹²⁾

Berger ve ark.⁽¹⁰⁹⁾ hyrax tipi genişletme apareyi kullandıkları araştırmalarında HÜÇG (6 ile 12 yaş) ve CDHÜÇG (13 ile 35 yaş) uygulamasında stabiliteyi karşılaştırarak, fark olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

2.2.3. HÜÇG'nin Dentofasial Yapılar Üzerine Etkileri

HÜÇG dentofasial yapılara da etki eden ortopedik bir uygulamadır. Temel olarak etkisi midpalatal suturun ayrılması şeklindedir. Kuvvetin maksiller kemiğe iletilmesinde dental veya iskeletsel yapılardan yararlanır.⁽¹¹⁰⁾ Bu amaçla posterior dentisyon kullanılırsa dişlerin bukkale devrilebileceği, buna ekstrüzyon hareketinin de eşlik edebileceği veya alveolar yapılarda devrilme görülebileceği rapor edilmiştir.⁽¹¹⁰⁾

Lione ve ark.⁽¹¹¹⁾ midpalatal suturun, geniş kısmı anteriorda bulunan üçgen şekilde ayrıldığını bildirirse de açılmanın paralel hatta posterior kısımda daha geniş gerçekleşebileceğini aktaranlar da olmuştur.^(112, 113) Benzer bir üçgen açılma tipi tabanı oral kavitede, tepe kısmı ise nazal kaviteye bakacak şekilde supero-inferior doğrultuda izlenmiştir.⁽¹¹⁰⁾ HÜÇG, transversal maksiller hipoplazi, psödo Sınıf III maloklüzyon ve rinolojik ve solunum problemleri olan büyüme gelişim döneminde olan hastaların tedavisinde etkili bir yöntemdir.^(8, 54)

HÜÇG'nin dentofasial yapılara etkilerini sıralayacak olursak:

- Maksiller prosesler: Haas ve Wertz,^(12, 43) maksillanın sıklıkla inferior ve anterior yönde yer değiştirdiğini rapor etmişlerdir.
- Damak kubbesi: Haas,⁽⁴³⁾ maksiller proseslerin laterale yönde eğilmesi ile maksillar palatal proseslerin daha inferiorda konumlandığını rapor etmişlerdir.
- Alveolar proses: Kemiğin esnek olması nedeniyle, HÜÇG protokolünün başlangıç aşamalarında alveolar prosesler laterale doğru eğilir, bu etki birkaç gün içinde geri döner.⁽⁹⁰⁾
- Maksiller anterior dişler: HÜÇG protokolüne eşlik eden en dikkat çekici değişikliklerden biri, maksiller santral keser dişler arasında oluşan diastemadır. Suture aktif olarak ayrılması sırasında keser dişlerin, genişletme vidasının açıldığı mesafenin yaklaşık yarısı kadar diastema oluştuğu öne sürülmektedir.⁽⁴³⁾ Ancak

santral keser dişler arasındaki diastema miktarı, sutur ayrılma miktarının bir göstergesi olarak kullanılmamalıdır.⁽¹²⁾ Bu diastema, transseptal lifler sebebiyle kendisi kapanmaktadır.

- Maksiller posterior dişler: Maksiller molar dişlerde ise bukkale devrilme ile birlikte ekstrüzyon oluşur. Maksillanın posterioru, zigomatik butress ve pterygoid plakların gösterdiği direnç sebebiyle daha az genişlemektedir.
- HÜÇG'nin mandibula üzerine etkisi: Mandibulada inferior ve posterior rotasyon oluşur.⁽⁵⁴⁾
- HÜÇG'nin nazal hava yollarına etkisi: Anatomik olarak, genişlemenin hemen ardından burun boşluğu boyutlarında artış olur ve böylelikle HÜÇG nefes alıp vermeyi kolaylaştırır. Burun boşluğu genişliği ortalama (ort.) 1,9 mm artmakla birlikte 8 ila 10 mm'e kadar genişleme gösterilebilmiştir.⁽¹¹⁴⁾

Hızlı maksiller genişletme uygulaması esnasında kuvvetler sadece maksillaya değil, paramaksiller yapılara da iletildiği için diğer iskeletsel yapılarda da değişiklikler izlenebilmektedir. Nazal kavitede genişleme, maksiller sinüs reformasyonu, sirkummaksiller sutur yapılarında (zigomatikofrontal, zigomatikomaksiller, zigomatikotemporal, frontomaksiller, nazomaksiller, frontonazal ve internazal), hatta kranial tabanda değişiklikler rapor edilmiştir.⁽¹¹⁵⁾

2.2.4. HÜÇG'nin Sistemik Etkileri

HÜÇG esnasında iletilen ağır kuvvetler sadece midpalatal suturda değil maksillanın eklem yapmış olduğu 10 adet yüz kemiğini de etkileyecek düzeydedir. Yüz sert dokularındaki bu farklılaşmaların tıbbi yönden farklı yararlar sağladığı pek çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Bu yararlar şu şekilde sıralanabilir:

- Nazal hava yolu direncine olan etkisi: Maksillanın palatinal prosesi nazal kavitenin tabanını oluşturur. Bu nedenle maksiller posterior çapraz kapanış bulunan vakalarda nazal hava yolu direnci yüksektir.⁽¹¹⁶⁾ HÜÇG sonrasında maksiller segmentlerin lateral hareketiyle nazal kavite boyutlarında bir artış meydana gelir.⁽¹²⁾ Hartgerink ve ark.⁽¹¹⁷⁾ HÜÇG'nin nazal hava yolu direncini azalttığını ancak bireysel değişiklikler nedeniyle önceden öngörülemediğini belirtmişlerdir. Halıcıoğlu ve ark.⁽¹¹⁸⁾ Ni-Ti HÜÇG vida ile uygulanan HÜÇG sonrasında nazal hava yolu direncinde azalma oluştuğunu belirtmişlerdir. Bıçakçı ve ark.⁽¹¹⁹⁾ puberte öncesi ve sonrası dönemdeki hastalara uyguladıkları hızlı maksiller genişletmenin nazal hava

yolu direncinde meydana getirdiği değişiklikleri akustik rinometri kullanarak araştırmışlar ve değişikliğin daha çok puberte öncesi dönemde olduğunu belirtmişlerdir. Başıftçı ve ark.⁽¹²⁰⁾ ise yaş ortalaması 12,1 yıl olan HÜÇG grubu ile 18,4 yıl olan CDHÜÇG grubunu kıyasladıkları araştırmalarında, her iki grupta nazal boyutların artmasıyla birlikte nazal hava yolu direncinin azaldığını ve gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığını rapor etmişlerdir.

- Nokturnal enuresis etkisi: Enuresis, yineleyen nitelikte istemsizce idrar kaçıırma olarak tanımlanabilir. Nokturnal enuresis ise bir çocuğun 4–5 yaşından sonra geceleri idrar kaçıırmasıdır.⁽¹²¹⁾ HÜÇG'nin nazal hava yolu boyutlarını ve buna bağlı olarak kanın oksijen saturasyonunun arttırdığını savunan bazı araştırmacılar, HÜÇG uygulaması sonrası geceleri idrar kaçıırma sıklığında azalma görüldüğünü rapor etmişlerdir.^(121, 122) Ancak, HÜÇG uygulaması sonrası enuresiste azalmanın asıl nedeni hala tam olarak bilinmemektedir. Basha ve ark.⁽¹²³⁾ tonsillektomi ve adoneidektomi işleminin de kanın oksijenlenme miktarını arttırması sebebiyle enuresis üzerinde yararlı etkisi görüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca HÜÇG sonrası hastalarda rinit, soğuk algnlığı ve astım sıklığının azaldığını, hipofiz bezindeki kan akımında iyileşme ve kanın oksijen saturasyonunda yükselme ile birlikte vücut büyümesinde artışın görüldüğünü savunan araştırmacılar da vardır.^(114, 124)
- İletim tipi işitme kaybı ve orta kulak iltihaplarına etkisi: Damak kubbesi derinliğindeki artışla birlikte gözlenen maksiller darlığa iskeletsel gelişim sendromu olarak isimlendiren Laptook,⁽¹²⁵⁾ bu sendroma sahip vakaların genellikle işitme kaybı yaşadığını rapor etmiştir. Braun⁽¹²⁶⁾ ise ağız solunumu nedeniyle gelişen maksiller darlığın östaki tüpü aracılığıyla orta kulağı etkileyebileceğini belirtmiştir. Timms⁽¹²⁷⁾ ilk kez HÜÇG'nin işitme kayıplarında yararlı etkisi olduğunu belirtmiştir. HÜÇG uygulaması sonrasında tensor ve levator veli palatini kaslarındaki gerilme nedeniyle östaki tüpünün farinkse açılan kısmının genişlediği ve orta kulağın daha iyi havalanabildiği, bunun sonucunda işitme kaybında azalma olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir.^(92, 125) Tensor ve levator veli palatini kasları östaki borusunun üst kısmından başlayıp yumuşak damakta sonlanan kaslardır. Bu kasların gerilmesiyle orta kulakta oluşan sekresyonların nazofarinkse iletilmesi rahatlar.⁽¹²⁸⁾ Östaki borusunun farinkse açılan bölümünün bu hareketi, üst solunum yolu ve orta kulak enfeksiyonlarının azalmasını sağlamaktadır.^(129, 130)

2.2.5. HÜÇG'de Karşılaşılan Komplikasyonlar

Literatürde, büyüme gelişimini tamamlamış vakalarda yapılan diş destekli HÜÇG uygulaması sonucunda başarısızlık ve/veya nüksetme gibi çeşitli problemlerden ve periodontal doku problemlerinden bahsedilir.⁽¹³¹⁾ Diğer araştırmacılar ankraj alınan dişlerin lateral doğrultuda devrilmesi, bukkal kök rezorpsiyonu, kemik defektleri ve dişeti çekilmesine yol açan periodontal problemler, asimetrik genişleme ve öngörülemez nüks ile oral mukozada nekroz riski ve ağrı hissini rapor etmişlerdir.⁽¹³²⁻¹³⁴⁾ Bu komplikasyonlar, transversal yön kuvvetlerine direnen iskeletsel yapıların cerrahi olarak serbestleştirilmesiyle önlenir.^(9, 83) Bu nedenle, iskeletsel büyüme ve gelişimini tamamlamış vakalarda maksiller genişletme için cerrahi ve ortodontik tedavi kombinasyonu tavsiye edilmektedir.

2.2.6. HÜÇG Tedavisi Sonrası Pekiştirme Ve Nüks

Aktif tedavi süresi genellikle 2-3 haftalık bir zamanda tamamlanır, ardından ayrılmış suturun kemikle dolması için üç aylık bir retansiyon süresi tavsiye edilmektedir.⁽¹³⁵⁾

Haas ve Hyrax tipi banded veya bonded aparatlar gibi çok sayıda HÜÇG aparatı klinisyenler tarafından sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte, uzun dönem değerlendirme, bu konvansiyonel maksiller genişletme aparatları ile tedavi edilen vakalarda % 63'e varan bir nüks eğilimi göstermektedir.^(12, 39, 54) Yaş, özellikle uzun dönem stabilite açısından HÜÇG prognozunda önemli bir faktör olarak araştırılmıştır. Bishara ve Staley,⁽⁵⁴⁾ genişletme tedavisi için en uygun yaşın 13 ile 15 yaşından önce olduğunu rapor etmişlerdir.

Timms ve Vero⁽³⁹⁾ pekiştirme tedavisi sağlanmadığında, yapılan genişletmenin % 33-50 oranında nüksettiğini rapor etmişlerdir.

2.3. Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi

Geleneksel CDHÜÇG tedavisi, iskeletsel maturasyonu tamamlamış ve midpalatal suturu kaynaşmış bireylerde, üst çenenin transversal darlığını düzeltmek için sıklıkla kullanılan, dişlerin hizalanabilmesi için dental arkta genişleme sağlayan, ortodontik ve cerrahi prosedürleri içinde barındıran kompleks bir tedavi yöntemidir. Tatmin edici saf iskeletsel genişletme elde edilebilir, ancak cerrahi bir prosedürle ilişkili maliyetler ve morbidite önemli bir endişe kaynağıdır.^(20, 23) Çoğu hasta cerrahi prosedürlere girmek konusunda isteksizdir.⁽¹⁰⁾

CDHÜÇG için midpalatal suturun ayrılmasını içeren ilk cerrahi yöntem 1938 yılında Brown⁽¹³⁶⁾ tarafından sunulmuştur. Maksillanın segmental ayrılmasını ve maksiller darlığın giderilmesi için gerçekleştirilen segmental LeFort I tipi osteotomisi 1972 yılında Steinhauser tarafından uygulanmıştır.⁽¹³⁷⁾ Timms ve Vero,⁽³⁹⁾ maksillanın transversal genişlemesine karşı ana direnç alanı olduğu düşündükleri midpalatal suturda osteotomi uygulamışlardır. Glassman ve ark.⁽¹³⁸⁾ ise genel anestezi prosedürü içermeden lateral maksiller osteotomi önermişlerdir. Glassman metodu maksillada midpalatal suturun sadece ön ve yan taraflarında osteotomi ile gerçekleştirilen konservatif bir cerrahi yöntem olup, 30 yaşına kadar olan hastalarda başarılı olduğu rapor edilmiştir.⁽¹³⁸⁾ Osteotomi yöntemi, piriform kenarlardan maksiller zigomatik buttress alanına kadar pterigoid fissürün ön sınırında bitecek şekilde, dişlerin apekslerinin 5 mm yukarısındaki anterior ve lateral maksiller bölgeyi zayıflatmıştır.⁽¹³⁸⁾ Bazı araştırmacılar, maksillanın genişlemesini kolaylaştırdığına ve komplikasyon olasılığını azalttığına inandıkları için, her iki tekniğin (median osteotomi ve pterygoid laminayı serbest bırakmadan yapılan lateral osteotomiler) kombinasyonunu tercih etmişlerdir.^(139, 140)

Maksiller genişletmede lateral direnç alanlarının tespit edilmesi veya yapılacak olan cerrahi kesilere karar verilmesinde literatürde kesin yöntemler yoktur. Fakat pek çok yöntem direnç gösterdiği düşünülen alanların rezeksiyonu için tasarlanıp, birbirinden farklı kombinasyonlarda kullanılmaktadır.⁽¹⁴¹⁾ Bu direnç alanları anterior direnç bölgesi (apertura piriformis), lateral direnç bölgesi (zigomatik buttressler), posterior direnç bölgesi (pterigoid birleşimler) ve median direnç bölgesi (midpalatal sutur) olarak sıralanmaktadır.⁽⁷⁰⁾ Literatürde ilk zamanlarda midpalatal suturun en fazla direnç gösteren yer olduğu söylene de,⁽¹⁴²⁾ erişkinlerde son zamanlarda kabul gören fikir en fazla direncin zigomatikomaksiller, zigomatikotemporal, zigomatikofrontal, frontomaksiller, midpalatal ve pterigomaksiller suturlar bölgelerinde oluşmasıdır.^(39, 143, 144)

Lateral direnç kesisine ek olarak midpalatal kesi eklenerek başarı sağlanacağı görüşünün yanında,⁽¹⁴⁵⁾ apertura piriformisten pterigomaksiller fissüre kadar toplam bilateral maksiller osteotomi ve anterior nazal spinadan posterior nazal spinaya uzanan midpalatal suturun ayrılması da tavsiye edilmiştir.⁽¹⁴⁶⁾ Lehman ve ark.⁽¹⁴⁷⁾ lateral direnç bölgesinin rahatlatılıp, palatal bölge osteotomisi eklenmeden genişletmenin

yapılabilmesini savunmuşlardır. Bu yöntem başka araştırmacılar tarafından destek görmüştür.^(138, 148) Ayrıca pterigomaksiller suturda osteotomi olmadan da maksiller segmentlerde hareket görülebileceği ve cerrahi yöntemin başarılı olduğu da gösterildi.⁽¹⁴⁹⁾ Bir başka çalışmaya göre ise LeFort I, paramedian osteotomi ve pterigomaksiller ayırma kombinasyonlu yapılan cerrahi ile ankraj alınan dişlerin etrafında daha az dentoalveolar yan etkilerin görüldüğu etkili bir yöntem olduğu rapor edilmiştir.⁽¹⁵⁰⁾

Günümüzde CDHÜÇĞ teknikleri gelişmekte, daha başarılı sonuçlar elde edebilmek amacıyla farklı cerrahi yöntemler denenmektedir. Bu teknikler arasında en çok tartışılan konu, maksillanın pterigoid çıkıntıdan ayrılıp ayrılmaması üzerine olmaktadır. Bazı araştırmacılar maksillerpterigoid bölgede yapılacak bir osteotominin aşırı bir kuvvet gerektirdiğini, pterigoid çıkıntının kırılmasına ve komplikasyonlara neden olacağını savunmaktadır.^(139, 140) Literatürde CDHÜÇĞ cerrahisinde maksillerpterigoid bölgenin ayrıldığı, ayrılmadığı ve bu uygulamaların karşılıklı değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur.^(139, 141, 151)

Büyümesi tamamlanmaya yakın genç erişkin ve erişkin hastalarda HÜÇĞ, cerrahi yardımsız uygulandığında posterior dişlerde devrilme,^(12, 152) ekstrüzyon,^(63, 85, 132) periodontal membranda sıkışma, bukkal kök rezorpsiyonu,⁽¹⁵³⁻¹⁵⁵⁾ alveolar kemikte bükülme,⁽¹²⁾ bukkal kortekste fenestrasyon,^(153, 156, 157) palatal doku nekrozu,⁽¹⁵⁸⁾ midpalatal suturun yetersiz açılması, ağrı ve genişletmedeki tutarsızlık gibi istenmeyen etkiler ortaya çıkabilmektedir.^(12, 38, 85, 159) Bu komplikasyonlardan kaçınmak için, genişleme kuvvetlerine karşı direnç gösteren direnç bölgelerinin, cerrahi olarak serbestleştirilmesi gerektiği vurgulanır.^(9, 83)

2.3.1. CDHÜÇĞ Endikasyonları ve Kontrendikasyonları

Literatürde, CDHÜÇĞ tedavisinin zamanlaması konusunda farklı görüşler bildirilmektedir.⁽⁷⁰⁾ Epker ve Wolford,⁽¹⁶⁰⁾ 16 yaşın üstünde maksiller genişletme için cerrahi destekli olması gerektiğini belirtmişlerdir. Timms ve Vero,⁽³⁹⁾ HÜÇĞ için 25 yaşına kadar cerrahi destek önermemişlerdir. Mommaerts,⁽¹³²⁾ HÜÇĞ tedavisinin 12 yaşından genç hastalar için endike olduğunu, 14 yaşını tamamlamış bireylerde ise direnç bölgelerini serbestleştirmek adına kortikotomi yapılması gerektiğini rapor etmiştir. Alpern ve Yurosko,⁽¹⁵⁸⁾ HÜÇĞ endikasyon kriteri olarak cinsiyetin de hesaba

katılmasını, 20 yaş üstü kadın ve 25 yaş üstü erkek hastalar için cerrahi desteğin gerekli olduğunu bildirmişlerdir.

CDHÜÇG ile ilgili, genellikle 16 yaşından büyük kadın ve 19 yaşından büyük erkek bireylerde, maksiller ark darlığının tedavisinde cerrahi yardımın gerekli olduğu düşüncesi benimsenmektedir.⁽¹⁵⁸⁾ Fakat, tedavinin seyrinde, kronolojik yaş ile birlikte kemik yaşının da dikkate alınması gerektiği vurgulanır.⁽³⁾

Genel olarak, CDHÜÇG'nin, iskeletsel olgunluğunu tamamlamış, daralmış bir maksiller ark ve transversal yetmezliğin 5 mm.'den fazla olduğu durumlarda endike olduğu belirtilmiştir.^(134, 161, 162) Diğer endikasyonlar sıralanacak olursa:^(70, 162)

- Yalnız iskeletsel üst çene genişletmesinin başarılı olamadığı durumlarda, sutur direncini aşabilmek,
- Gülümseme sırasında ortaya çıkan karanlık bukkal koridorları azaltabilmek,
- Damak yarıklarından dolayı maksillanın hipoplazik olduğu durumlarda,
- Diş çekiminin endike olmadığı durumlarda, çapraşık maksiller dentisyona yer sağlamak amacıyla,
- Çenelerin hareketlerini içeren bir cerrahi planı olmadığı durumlarda, maksiller ark boyutunu artırarak posterior çapraz kapanışın düzeltilmesinde kullanılır.

Kontrendikasyonları ise:

- Maksilla veya mandibulada iskeletsel asimetri bulunan ve/veya şiddetli iskeletsel anteroposterior ve vertikal düzensizliği olan bireylerde,
- Genel anestezi veya sedasyonun kontrendike olduğu bir sistemik hastalık varlığında,
- Kooperasyon problemi olan hastalarda CDHÜÇG kontrendikedir.^(70, 163-166)

2.3.2. Avantajları

Nazal hava akımının ve periodontal sağlığın iyileştirilmesi, gülümsemeyle oluşan bukkal karanlık alanların ortadan kaldırılmasıdır.⁽¹⁶⁷⁾ Ayrıca dental arkların seviyelenmesi ve çapraşıklığın düzeltilmesi için diş çekimi önlenebilir.⁽¹³⁴⁾

2.3.3. CDHÜÇG'de Protokol

Kortikotomiden sonrasında genişletme işlemine başlamadan önce 5 günlük latent period beklenir. Bu period dokuda ilk kallusun oluşması için zaman tanır, ancak konsolidasyon periodu için yetersizdir. Bölgede kemik oluşumunda dört aşama tanımlanabilir. Birincisi fibrovasküler hematoma olup; 5. ve 7. günler arasında

ekspansiyon vektörüne paralel şekilde düzenlenecek olan kolajen lifler meydana gelir. İkincisi, kemik oluşumu dıştan içe doğru kollajen lifleri intramembranöz kemikleşme ile izler. Üçüncüsü kemiğin remodeling aşamasıdır. Dördüncüsü ise eski kemiklerle aynı dokuya sahip sert kompakt kemik oluşumudur. Genişletme protokolü çok hızlı uygulandığında, kollajen liflerin teması kesilebilir ve yeni kemik oluşumu gerçekleşmeyebilir, bu da suturların tekrar kaynaşamaması ile sonuçlanabilir. Genişletme protokolünün çok yavaş olması durumunda ise erken konsolidasyon oluşabilir ve istenen genişletme miktarına ulaşılamayabilir.⁽¹⁶¹⁾

2.3.4. Komplikasyonlar

CDHÜÇG, ciddi komplikasyon riski çok az olan bir protokol olarak kabul edilir. Ancak literatürde hayati risk oluşturan epistaksisten serebrovasküler bir komplikasyona, geri dönüşümlü okülomotor sinir parestezisinden kafa tabanı fraktürüne ve orbital kompartman sendromuna kadar çeşitli komplikasyonlar rapor edilmiştir.^(145, 168, 169)

Bildirilen minör komplikasyonlar ise; postoperatif kanama, ağrı, nazal septum deviasyonu, sinüzit, damak dokusu tahrişi/ülserasyonu, periodontal problemler ve nüksdür.⁽¹⁶¹⁾ Ayrıca maksiller kemiğin iki tarafı aynı miktarda ayrılmayabilir, yani asimetrik genişleme oluşabilir.^(170, 171) Bu, osteotominin tam yapılmamasından kaynaklanır ve genellikle lateral nazal duvar gözden kaçan noktadır.⁽¹⁷²⁾ Sıklıkla karşılaşılan başka bir istenmeyen durum ise genişletme apareyinin oluşturduğu baskıdan dolayı oluşan aseptik yumuşak doku nekrozudur.⁽¹⁵⁸⁾

Dental ve periodontal komplikasyonlar arasına ise dişlerde devrilme, dişeti çekilmesi ve fenestrasyon oluşması dahil edilebilir. Bazı araştırmacılar buna dayanarak özellikle periodontal problemi olan vakalarda pterigomaksillerbirleşmenin ayrılması gerektiğini belirtmiştir.⁽¹⁶⁵⁾

Retansiyon sonrası dönemde büyük miktarda nüks ile sonuçlanabileceği gösterilmiştir.^(173, 174) Byloff ve ark.⁽¹⁷⁵⁾ hazır hyrax apareyi kullanan CDHÜÇG hastaları üzerinde yaptıkları bir çalışmada, 1,3 mm'lik ortalama iskeletsel genişletmenin retansiyon ve retansiyon sonrası dönemlerde 0,4 mm boyutunda (ortalama ortalama %30,77) nüks olduğunu göstermişlerdir.

Cerrahi operasyon sonrası bu komplikasyonlar dışında; kulak çınlaması, baş ağrısı ve lakrimasyon da rapor edilmiş ise de bunlar oldukça nadir görülmektedirler.⁽¹⁷²⁾

2.4. HÜÇG Tedavisinde Mini Vidaların Kullanımı

Erişkinlerde yapılan geleneksel HÜÇG, iskeletsel direncin artması nedeniyle alveolar bükülme, periodontal ligamentte (PDL) stres, bukkal kortekste fenestrasyon, ankraj dişlerde bukkal kök rezorpsiyonu, devrilme ve ekstrüzyon gibi istenmeyen yan etkilerle sebep olabilir.^(154, 176) Erişkin hastalara uygulanan CDHÜÇG tedavisinin ise yaygın olarak olumlu sonuçları olmasına rağmen, genellikle tedavide nüks oluşmasının önüne geçilememiştir.^(140, 145, 177, 178) Geleneksel apareylerde ankraj bölgesinin dişler olmasından dolayı, diş köklerine, periodontal ligamente ve alveolar kemiğe yansıyan stresler nükse sebep olabilmektedir. Bu nedenle, erişkinlerde CDHÜÇG tedavisine alternatif olarak kemik destekli apareyler gündeme gelmiştir.⁽¹⁷⁹⁾

Kuvvetlerin direkt olarak kemiğe uygulanmasından dolayı, tedavinin ortopedik etkilerinin artırılmasının istendiği, posterior dişlerin yetersiz sayıda olduğu veya periodontal problemler mevcudiyetinde kemik destekli apareylerin kullanımının avantajlı olduğu bildirilmektedir.^(180, 181) Bu apareylerin geleneksel genişletme apareylerine göre hijyenik olduğu ve aparey ağızdayken de sabit tedavi olanağı sunduğundan tedavi süresini kısalttığı da rapor edilmiştir.⁽²⁰⁾

Erişkinlerde bahsedilen sorunları önlemek ve transversal üst çene transversal darlığını düzeltmek için ortopedik iskeletsel genişleme gerekmesi⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ ve yaygın ortodonti pratiğinde geçici ankraj aygıtlarının kullanımının artması ile dünyanın her yerinden birçok ortodontist eş zamanlı olarak MVDHÜÇG apareyleri geliştirmektedir. Mini vidalar minimum invaziv olmaları ve normal diş implantlarına kıyasla düşük maliyetleri nedeniyle ortodonti alanında geniş kullanım alanına sahiptir. MVDHÜÇG, hızlı üst çene genişletmesinin basit bir modifikasyonudur. Mini vidalar sayesinde diş yapısını tek başına ankraj olarak kullanmadan üst çene genişletmesi sağlar. Bu yeni konsept, geleneksel üst çene genişletmesindeki istenmeyen sonuçları ve CDHÜÇG tedavisinin getirdiği morbidite riskini ve masrafları ortadan kaldırabilir.⁽²⁰⁾

Kemik destekli transpalatal distraktörler ile diş destekli HÜÇG apareylerinin yan etkileri elimine edilebilmektedir. Ancak invaziv cerrahi gerektirmeleri, enfeksiyon ve kök hasarı riski olması ve çok pahalı olmaları dezavantajları olarak sıralanabilir.⁽¹³²⁾

¹⁸²⁾ Bu dezavantajlar göz önünde alındığında, MVDHÜÇĞ sistemler transpalatal distraktörlere yönelik, alternatif bir yöntem olarak tavsiye edilmiştir.^(183, 184)

Son yıllarda bazı yazarlar tarafından klinik ve sonlu elemanlar analizi çalışmalarında gösterildiği gibi kemik destekli genişleticiler, midpalatal suturu açmada erişkinlerde daha öngörülebilir olmuştur.^(28, 185) Adolesan hastalar için, kemik destekli HÜÇĞ apareylerinin diş destekli HÜÇĞ apareyelerine kıyasla daha fazla transversal iskeletsel genişletme oluştururken; dental tipping, alveolar bükülme ve dikey alveolar kemik kaybı gibi dental yan etkileri en aza indirdikleri gösterilmiştir.⁽¹⁸⁾ MVDHÜÇĞ için Lin ve ark.⁽¹⁸⁾ tarafından kullanılan C-expander, Lee ve ark.⁽²¹⁾ tarafından kullanılan ve Moon ve ark.⁽²²⁾ tarafından bikortikal mini vida yerleşimi içeren çeşitli tasarımlar vardır. Dr. Won Moon'un bikortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ yöntemi UCLA (University of California, Los Angeles) ortodonti departmanında erişkin hastalarda CDHÜÇĞ'ye geçerli bir alternatif olarak kullanılmaktadır.^(22, 23) Apareyi posterior konumda, yumuşak ve sert damak sınırının hemen önünde palatinal mukozadan en fazla 2 mm kadar uzakta ve suturu ortalayarak yerleştirdiler. Apareyin gövdesi genellikle birinci molar dişlerinin hizasında lateral direnç bölgesi (zigomatik butress) arasında yer alır. Aparey midpalatal sutur yanına ve bikortikal yerleştirilen yerleştirilmiş dört adet mini implant ile doğrudan kemik ankrajı ile iskelet genişlemeyi sağlamak üzere tasarlandı.⁽²⁴⁾ Mini vidaların derinlik yerleşimi, palatinal tabanı bir miktar geçerek nazal tabanın kortikal kemiğinde de yerleşim elde edilmiştir, böylece maksiller komplekse daha yukarıdan kuvvet yönlendirmesi amaçlanmıştır.⁽²⁴⁾ Aparey midpalatal sutura da direk kuvvet uygulamayı amaçlarken, birinci molar dişlerin bantlanması sadece stabilite için uygulanmaktadır.

Farklı araştırmacılar mini vidaların yerleştirilmesi için farklı derinlik seçenekleri denemiştir. Lee ve ark.⁽¹⁸⁶⁾ yalnızca palatal kortikal kemiğe nüfuz etmek için 7 mm'lik mini implantlar kullanmıştır. Moon ve ark.^(19, 23, 24) daha büyük ortopedik etkiler ve koronal düzlemde daha fazla paralel genişletme elde etmek için bikortikal mini implant ankraj kullanılmasını önermiştir. Ortodontik diş hareketi uygulamalarında, bikortikal mini vida ankrajının biyomekanik olarak monokortikal ankrajdan daha elverişli olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, bikortikal ankraj maksimum ankraj gerektiren klinik durumlar için düşünülmelidir.^(25, 26) Bu yerleştirme yöntemi, geçici ankraj aygıtlarının daha iyi stabilitesini sağlar, deformasyonunu ve kırılmasını önler, koronal düzlemde daha fazla paralel genişlemeyi destekler ve potansiyel palatal

genişleme miktarını artırır.^(18, 24) Paredes ve ark.⁽¹⁸⁷⁾, maksiller iskeletsel genişletici apareyi ile ihmal edilebilir alveolar kemik bükülmesi ve hafif diş devrilme bulgularıyla neredeyse saf iskelet genişleme oluştuğunu bildirmişlerdir.

Maksillaya uygulanan mini vidalar, maksillanın daha gözenekli yapısı nedeniyle mandibulaya uygulananlardan daha az stabiliteye sahiptir. Yoğun kortikal kemikten oluşan midpalatal sutur bölgesi maksilladaki en iyi ankraj yeri olarak belirlenmiştir.⁽¹⁸⁸⁾

Kortikal kemik kalınlığının implantların birincil stabilitesi ve başarı oranları üzerinde güçlü bir etkisi olabileceğine dair araştırmalar mevcuttur.^(189, 190) Palatinal bölgede kemik derinliği ve kortikal kemik kalınlığı dikkate alındığında, mini vida uygulanması için en uygun bölgenin birinci ve ikinci premolar bölgesi olduğu rapor edilmiştir.^(191, 192)

Gedrange ve ark.⁽¹⁹³⁾ HÜÇG'de direkt kemikten destek alınan protokollerde tüm kuvvetin mini vidalar aracılığıyla doğrudan palatal kemiğe iletilmesi sonucunda kemikte ciddi doku hasarlarının meydana gelebileceğini, bu sebeple en az iki mini vidadan destek alınarak uygulanması gerektiğini rapor etmişlerdir.

Kim ve Helmkamp⁽¹⁹⁴⁾ yayınladıkları olgu raporunda adolesan dönemdeki hastalara 4 adet mini vidalı MVDHÜÇG apareyi uygulamışlardır. MVDHÜÇG, invaziv bir girişim olmadan daha fazla iskeletsel olarak genişletme sağlamış ve diş destekli hyrax apareyi ile karşılaştırıldığında daha az diş devrilmesi ve daha fazla iskeletsel genişletme elde edilmiştir.

Lee ve ark.⁽²¹⁾ 20 yaşında erişkin hastada MVDHÜÇG sistemini hyrax genişletme vidasından uzanan, mini vidaların uygulandığı ve ön ve arka kısmında hookları olan bir tasarım olarak uygulamışlardır. Apareyde, 1. Premolar ve 1. Molar dişler de bantlıdır. MVDHÜÇG modifikasyonlarının herhangi cerrahi uygulamaya ihtiyaç olmaksızın, yirmili yaşların ortalarına kadar iskeletsel ve dentoalveolar genişletme amacı ile uygulanabileceğini rapor etmişlerdir.

Choi ve ark.⁽¹⁹⁵⁾ 18 yaş ve üzeri 69 genç erişkin hastada yaptıkları uzun dönem takip araştırmalarında MVDHÜÇG apareyinde 1,8 mm çap ve 7 mm uzunluğundaki 4 mini vida kullanıp, 1.molar ve 1.premolar dişlere bant uygulamıştır. 60 veride suturda ayrılma gözlemlendiği ve %86,96 oranında başarıya ulaşıldığını, retansiyon

döneminde iskeletsel ve dental kazancın kaybedilmediğini hatta 30 ay takipte de kazanımların stabil olduğunu göstermişlerdir.

Garib ve ark.⁽¹⁸³⁾ vaka raporlarında, sınıf 1 malokluzyona tek taraflı posterior çapraz kapanışın eşlik ettiği 14 yaşındaki kız hastada, iki mini vidadan destek alan hyrax apareyini uygulamışlar ve HÜÇG protokolü sonrası bilgisayarlı tomografi (BT) kullanarak sonuçları değerlendirmişlerdir. Maksiller posterior dişlerde bukkal yönde daha az devrilme ve daha az periodontal problem oluştuğunu bildirmişlerdir.

Lagravere ve ark.⁽²⁰⁾ maksiller genişletme ihtiyacı olan adelösan dönemdeki 62 vakayı 3 alt grup olarak incelediler. 2 mini vidadan destek MVDHÜÇG, 1. molar ve 1. premolar dişlerden destekli bantlı HÜÇG ve kontrol gruplarında transversal, vertikal ve anteroposterior yöndeki iskeletsel ve dental değişiklikleri konik ışıklı bilgisayar tomografisi (KIBT) üzerinden incelemişlerdir. Araştırmanın sonucunda iki grubun sonuçlarının birbirine yakın olduğunu ve MVDHÜÇG apareyinin, konvansiyonel HÜÇG apareyine alternatif olarak uygulanabileceğini göstermişlerdir.

Li ve ark.⁽¹⁹⁶⁾ genç erişkinlerde maksiller iskeletsel genişletmede kullanılan mini vidaların monokortikal ve bikortikal uygulanmasının etkilerini KIBT ile incelemişlerdir. Çalışmaya yaşları ortalama 19.4 yıl olan 48 hasta dahil edilmiş olup, 17 hasta 4 bikortikal yerleşim (1. Grup), 17 hasta 2 bikortikal (posterior) ve 2 monokortikal yerleşim (2. Grup) ve 14 hasta 4 monokortikal yerleşim (3. Grup), şeklinde üç gruba ayrılmıştır. İskeletsel ölçümlerde 1. grup ve 2. Grup arasında benzer iskeletsel genişlik artışı saptanırken, 3. grupta iskeletsel genişlemeler daha az görülmüş, temporal kemikte ise genişleme görülmemiştir. 1. grup ve 2. grupta üçgensel bir genişleme olurken, 3. grupta paralel bir genişleme izlenmiştir. Bununla birlikte 1. grup ve 2. grupta, 3. gruba göre ankraj dişlerde daha az inklinasyon artışı görülmüştür. Tüm bu sonuçlara göre ilk iki grupta iskeletsel genişleme ve dentoalveolar yan etkiler bakımından çok yakın bulgular elde edilmiştir. Genç erişkinlerde MVDHÜÇG yapılırken en azından iki mini vidanın bikortikal şekilde uygulanmasının gerekli olduğu belirtmişlerdir.

Bud ve ark.⁽¹⁹⁷⁾ transversal maksiller darlığı mevcut, yaş ortalaması 23.8 yıl olan 20 hasta üzerinde diş destekli 4 adet mini vidası bulunan MVDHÜÇG apareyine ek olarak midpalatal sutur üzerindeki kortikal kemikte kaviterler açmışlardır. Çalışmada,

kortikal kemikte oluşturulan bu kavitelere modifiye MVDHÜÇĞ sistemine yardımcı olduğu, ANS-PNS hattında ANS'de daha fazla olmak üzere neredeyse paralel bir genişleme elde edildiği gösterildi. Aynı zamanda, modifiye MVDHÜÇĞ molar dişlere bağlı olmasından, molar dişlerde 20 derecelik bukkal devrilme görülmüştür. Maksiller transversal yetmezliğe sahip erişkin bireylerde kompleks cerrahi girişimlere alternatif bir yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.

Moon ve ark.⁽¹⁹⁸⁾, diş destekli MVDHÜÇĞ ile doku destekli MVDHÜÇĞ aparatlarını, maksiller genişletme, molar inklinasyonu ve bukkal alveolar kemik kaybı üzerinden KIBT ile değerlendirmişlerdir. Yaşları ortalama 19.2 yıl olan 24 hasta diş destekli MVDHÜÇĞ grubuna (Grup a), yaşları ortalama 18.1 yıl olan 24 hasta kemik ve doku destekli doku destekli MVDHÜÇĞ grubuna (Grup b) dahil edilmiştir. Grup a vidaları birinci molar dişler hizasında midpalatal sutura, grup b aparatının vidaları palatal eğimlere yerleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda iki grupta da benzer iskeletsel değişiklikler elde edilirken, dişsel genişlemenin grup a'da diğer gruba kıyasla neredeyse iki kata yakın olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle diş destekli MVDHÜÇĞ aparatında bukkal alveolar kemik yıkımının daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Periodontal olarak problemlili hastalarda kemik ve doku destekli MVDHÜÇĞ aparatı tercih edilmesinin daha konservatif sonuçları olacağını belirtmişlerdir.

MVDHÜÇĞ uygulamasının diğer bir avantajı, sabit tedavi sürecinde genişletici aparatın çıkarılmasına gerek duyulmamasıdır. Böylece genişletme veya retansiyon devam ederken seviyeleme ve hizalama uygulanır. Klinik çalışmalar, MVDHÜÇĞ'nin konvansiyonel diş destekli hyrax aparatında gözlemlenebilen bazı yan etkileri elimine edebilmesi sebebiyle etkili bir alternatif olduğunu düşündürmektedir.

Jia ve ark.⁽¹⁹⁹⁾ genç erişkin dönemdeki maksiller transversal yetmezliğe sahip 60 hastada, diş destekli MVDHÜÇĞ aparatı ile konvansiyonel hyrax aparatlarının etkileri KIBT yolu ile değerlendirmişlerdir. Yaşları ortalama 15.1 yıl olan 30 hasta diş destekli MVDHÜÇĞ grubuna, yaşları ortalama 14.8 yıl olan 30 hasta konvansiyonel hyrax grubuna dahil edilmiştir. Diş destekli MVDHÜÇĞ aparatı ile tedavi olan grupta konvansiyonel hyrax aparatı ile tedavi olan gruba kıyasla çok daha fazla iskeletsel genişletme izlenmiştir. Bukkal devrilme ve bukkal alveolar kemik kaybı ise konvansiyonel hyrax aparatı ile tedavi olan grupta daha fazla görülmüştür. Maksiller

darlığa sahip genç erişkin dönemdeki bireylerde diş destekli MVDHÜÇG aparey kullanımının etkili bir alternatif olacağı rapor edilmiştir.

Annarumma ve ark.⁽²⁰⁰⁾ MVDHÜÇG tedavisinin iskeletsel ve dental etkilerini 24 birey üstünde KIBT yolu ile değerlendirmişlerdir. 1. grubun yaş ortalaması 13.9 yıl, 2. grubun yaş ortalaması 20.4 yıl olarak rapor edilmiştir. Hastalara 4 adet MVDHÜÇG uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, MVDHÜÇG aparey kullanımı hem büyüme gelişim dönemindeki hem de genç erişkin hastalarda maksiller genişletme elde etmede etkin olduğu, gruplar arasında önemli bir iskeletsel veya dişsel farklılık bulunmadığı görülmüştür. Ayrıca genişleme miktarının yaş arttıkça bir miktar daha az olduğu ancak genişlemenin aynı şekilde olduğu da rapor edilmiştir.

2.5. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizi (SEA), karmaşık geometrideki yapıların bilgisayar programlarında hesaplanabilir, küçük ve basit elemanlara bölünerek dış kuvvetler altında şekil değişikliklerinin ve stres dağılımının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan sayısal bir analizdir.⁽³⁶⁾

Sonlu elemanlar analizi ilk kez 1956 yılında uçak mühendisliğinde yapısal sorunların çözümü amaçlanarak kullanılmıştır. İlerleyen dönemlerde ısı transferi, akışkanlar mekaniği, akustik, elektromanyetik analizler ve biyomekanik gibi birçok alanda kullanılmakla beraber, günümüzde inşaat ve makine mühendisliği gibi bölümlerde sık olarak kullanılmaktadır. Bu analiz metodu ile gerilme, gerinim, yer değiştirme ve sıcaklık dağılımı gibi parametrelerin araştırıldığı sayısal problemler kabul edilebilir hata payları ile çözülebilmektedir.^(201, 202)

Dental çalışmalarda, sonlu elemanlar analizi ile ilgili yapılan ilk araştırma Ledley ve Huang⁽²⁰³⁾ adlı araştırmacıların 1968 yılında yaptıkları araştırmadır. Bu araştırmada, matematik modeli oluşturulan bir dişe çeşitli yönlerde kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetlerin dişi destekleyen kemik dokusunda meydana getirdikleri gerilmeler değerlendirilmiştir. Ortodontide ise sonlu elemanlar analizi ile yapılan ilk araştırma 1971 yılında üst santral dişin rotasyon merkezini bulmak için yapılmıştır.⁽²⁰⁴⁾

2.5.1. Sonlu Elemanlar Analizi ile İlgili Kavramlar

Kuvvet

Kuvvet cisimlerde şekil değişikliklerine neden olan ya da yer değiştirmelere neden

olan vektörel bir büyüklüktür. Fizikte büyüklükler, skaler ve vektörel büyüklükler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sadece bir sayı ve bir birimle ifade edilen büyüklüğe skaler büyüklük; yönü, doğrultusu ve değeri olan büyüklüklere ise vektörel büyüklük denmektedir.⁽²⁰⁵⁾ Kuvvet vektörel bir büyüklük olup; belirli bir doğrultusu, yönü, süresi ve şiddeti bulunmaktadır.⁽²⁰⁶⁾

Kuvvet birimi Uluslararası Birimler Sistemi'nde Newton (N)'dur. Ortodonti literatüründe kuvvet miktarı genellikle gram-kuvvet cinsinden verilmekte olup çoğunlukla gram (gr) olarak ifade edilmektedir. 1 newton, 101.97 gram-kuvvet'e eşittir.⁽²⁰⁶⁾

Gerilme (Stress)

Bir cismin dışarıdan gelen kuvvetlere gösterdiği dirençtir. Gerilme, birim alana uygulanan kuvvete karşı oluşan tepki olarak tanımlanmaktadır. Bu tepki, kuvvetle eşit şiddette ve zıt yöndedir.⁽²⁰⁷⁾

Bir cismin gerilmesi kuvvet / alan olarak tanımlanır. Gerilme birimi Paskal (P veya N/m²)'dir. Diş hekimliğinde ise incelenen dokuların milimetrik olması nedeniyle genellikle Megapaskal (MPa veya N/mm²) kullanılmaktadır. 1Mpa=106 N/mm²'dir.

Uygulanan kuvvet çeşitlerine göre çoğu zaman karmaşık gerilmeler oluşturmaktadır. Genellikle üç çeşit olarak görülmekte; basma gerilmesi, çekme gerilmesi ve kayma gerilmesi olarak adlandırılmaktadırlar.⁽²⁰⁸⁾

Basma gerilmesi: Bir cismin moleküllerini birbirine yaklaştıran, aynı doğrultuda ve aynı yönde uygulanan iki kuvvet sonucu oluşan cisimde oluşan gerilmedir.

Çekme gerilmesi: Bir cismin moleküllerini birbirinden ayrılmaya zorlayan, aynı doğrultuda fakat ters yönde uygulanan iki kuvvet sonucu cisimde oluşan gerilmedir.

Makaslama gerilmesi: Bir cismin moleküllerini birbiri üzerinde kaymaya zorlayan, paralel olarak farklı seviyelerde karşılıklı ve zıt yönde uygulanan kuvvetler sonucu cisimde oluşan gerilmedir.

Asal Gerilme (Principal Stress)

Uzaydaki bütün düzlemlerde (x, y ve z) makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve sadece alana dik olan normal gerilmelerden oluşan gerilmeler asal gerilmeler adını

alırlar. Asal gerilme; maksimum, ara ve minimum olmak üzere üçe ayrılır.^(207, 209, 210)

- Maksimum asal gerilme: Pozitif değer olup, en yüksek çekme gerilmelerini ifade eder.
- Ara asal gerilme: Minimum asal gerilme sıfır olarak kabul edilirken, maksimum asal gerilmenin fonksiyonu olarak kabul edilir.
- Minimum asal gerilme: Negatif değer olup, en yüksek basma gerilmelerini ifade eder.

Mutlak değeri daha büyük olan gerilme, analizdeki düğüm noktasında etkin olan gerilme tipidir.⁽²¹¹⁾

Von mises Gerilmesi

Von mises gerilmesi, belirli bir kuvvet altındaki cisimde gerilim dağılımının gösterilmesi ve yapının bir bölümünde iç enerji belli bir değeri aşarsa, yapının şekil değiştireceği prensibidir.⁽²⁰⁹⁾

Von mises gerilme değerleri sonlu elemanlar analizinde herhangi bir kuvvet uygulandığında cisimde oluşan gerilmenin dağılımı ve yoğunlaşma bölgeleri hakkında değerlendirme yapmaya olanak sağlar.⁽²⁰¹⁾ Üç boyutta oluşan asal gerilmelerin kombine edilmesiyle hesaplanan Von mises gerilmeleri, bir skala üzerinde okunabilen tek bir pozitif sayı halinde ifade edilir.⁽²¹²⁾

Gerinim (Strain)

Gerinim kuvvet uygulanan bir cisimde birim alanda meydana gelen şekil değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Kuvvet altındaki bir cisimde gerilme olduğu zaman eş zamanlı şekil değişimi gerinim meydana gelir.⁽²⁰⁷⁾ Gerilme yönü ve büyüklüğü olan bir kuvvet tanımı iken gerinim skaler bir büyüklük olarak tanımlanmaktadır. Gerinim, cismin boyutunda oluşan değişimin başlangıç boyutuna oranı olup herhangi bir ölçü birimi yoktur.⁽²⁸⁾ Gerinim, boyuttaki değişimin orjinal boyuta oranı olarak hesaplanır.

Kuvvete maruz kalan cisimler iki farklı türde şekil değişikliğine uğrarlar. Uygulanan kuvvet ortadan kalktıktan sonra cismin başlangıç şekline dönmesi elastik şekil değiştirme ve uygulanan kuvvet ortadan kalktıktan sonra cismin başlangıç şekline dönememe durumu plastik şekil değiştirme olarak tanımlanmaktadır.⁽⁶⁸⁾

Elastiklik Sınırı

Cismin belirli bir kuvvet karşısında plastik deformasyona uğramadan dayanabildiği, maksimum elastik özellik gösterdiği maksimum gerilmedir.⁽²¹³⁾

Elastiklik ve Viskoelastiklik

Bir cisme uygulanan kuvvet ortadan kalktıktan sonra başlangıç şekline dönme özelliği o cismin elastiklik özelliğidir. Elastik materyallere belirli sınırlar içerisinde kuvvet uygulandığında şekil değiştirirler ve kuvvet ortadan kalktığında başlangıç şekline geri dönerler.⁽²¹⁴⁾

Viskoelastik materyaller şekil değişimi meydana gelirken hem elastik hem de yapışkan özellik gösterirler. Bu cisimlerin visköz özelliklerinden dolayı zamana bağlı olarak artan bir gerinim görülürken, kuvvetin ortadan kalktığı durumdan sonra başlangıç şekillerine belirli bir zaman sonra dönebilirler.⁽²¹⁴⁾

Elastiklik Modülü (Elastisite Modülü, Young Modülü)

Elastiklik modülü gerilimin gerinime oranı olup cismin elastikiyet sınırları içerisindeki dayanıklılığını göstermektedir. Ölçüm birimi gigapaskal (GPa) olarak gösterilir. Elastiklik modülü her materyale özgü bir değerdir.

Elastiklik modülü arttıkça cismin katılığı armaktadır. Eşit kuvvetler altındayken elastiklik modülü yüksek olan materyalelastiklik modülü düşük olan materyalden daha az deformasyon göstermektedir.⁽²⁰⁶⁾ Doğrusal (lineer) elastik materyaller sabit bir elastiklik modülüne sahipken, doğrusal olmayan (nonlineer) elastik materyallerde bu katsayı zamana bağlı değişkenlik göstermektedir.⁽²¹⁵⁾

Poisson Oranı (Poisson's Ratio)

Çekme veya basma kuvvetlere maruz kalan cisimlerin elastikiyet sınırları içerisinde endeki birim boyut değişiminin, boydaki birim boyut değişimine oranıdır.

Elastisite modülü gibi Poisson oranı da her materyal için özgün bir değer olup, bütün maddeler için 0 ile 0.5 değerleri arasında değişiklik gösterir.⁽²¹⁶⁾

İzotropi ve Anizotropi

İzotropi, bir cismin farklı doğrultularda aynı elastik özellikleri göstermesidir. İzotrop cisimler farklı doğrultulardan uygulanan kuvvetler sonucu oluşan çekme, basma ve

- Esnek ve karmaşık yapılarda uygulanan analitik ve deneysel metotlardan daha hassas sonuç verebilmesi,
- Gerilme, gerinim ve yer değiştirmelerin hassas bir şekilde hesaplanabilmesi,
- Farklı yüzeyley arasında oluşan yapışma, sürtünme ve temasların gerçeğe yakın şekilde yapılabilmesi,
- Oluşturulan modelin geometrisi, sınır koşulları, kuvvetin yüklenme yönü ve miktarı gibi özelliklerin değiştirilip, gerektiği kadar analizin tekrarlanabilmesi,
- Prototip olarak denenmesi mümkün olmayan veya tehlikeli olabilecek tasarımların simülasyonlarının yapılabilmesidir.^(35, 36)

Sonlu elemanlar analiz yönteminin dezavantajları sıralanacak olursa:

- Gerçek koşulların modeller üzerinde uygulanabilmesi, bilgisayar donanımı ve sonlu eleman analiz yazılım programlarının kapasitesi ile sınırlanması,
- Modellerin izotropi, homojenite ve elastiklik gibi özelliklerinin varsayıma dayandırılmasından dolayı gerçek malzemenin tam bir temsilinin yapılamaması,
- Modellenen yapılar, ağız içinde statik yüklerden daha fazla dinamik yüklerin etkisi altındadır. Yapıların analizi, sonlu eleman yöntemi ile dinamik olarak gerçekleştirmek mümkün olsada uygulama pratiğinde zor olması,
- Programı kullanacak kişinin, önemli bilgi birikimine sahip, uygulanacak analiz için yeterli zamanın olması ve teknolojik imkanların da yeterli olmasının gerekmesi,
- Yöntemin gerçeği yansıtabilmesi için malzemenin fiziksel özelliklerinin sonlu eleman analiz programına girilmesi ve son derece hassas uygulamalar içermesidir.^(218, 219)

2.5.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Basamakları

Problemin tanımlanması ve analiz seçimi

Bir problemin çözüme ulaştırılabilmesi için öncelikle problemin doğru bir şekilde tespiti gerekir. Problemin doğru tespiti, en uygun yöntemi belirlemek ve doğru analiz sonuçları elde etmek açısından çok önemlidir.^(35, 36)

Geometrik Modelin Oluşturulması

Analizin en önemli aşamalarından biri geometrik model eldesidir. Analiz sonuçlarının doğruluğunu direk olarak etkiler.⁽³⁶⁾ Analizi yapılacak üç boyutlu model, BT ve manyetik rezonans görüntüleme (MR) görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılması, modeli oluşturulacak cismin tarayıcılar vasıtası ile bilgisayar ortamına aktarılması

veya üç boyutlu modelleme programları kullanılarak modelin çizilmesi yöntemleri ile oluşturulabilir.⁽²²⁰⁾

Matematiksel Model Eldesi

Analizi yapılacak olan model, boyutuna ve şekline uygun olarak elemanlara bölünerek matematik model denilen bir ağ yapısı (mesh) elde edilir. Ağ yapısının oluşturulması programlar aracılığıyla otomatik gerçekleştirilebilirken araştırmacının istediği şartlara göre de gerçekleştirilebilir.⁽²²¹⁾ Çözümünecek olan problemin boyutuna ve özelliklerine göre oluşturulan ağ yapısında farklı sayı ve tipte elemanlar kullanılmaktadır.⁽²²¹⁻²²³⁾ Eleman sayısı mümkün olduğu kadar fazla sayıda kullanılırsa, kuvvet dağılımının hassas bir şekilde ölçülebilmesine olanak sağlar.⁽³⁶⁾ Denklem sayısının artması ile birlikte daha güçlü bilgisayar sistemleri ve artacak olan çalışma zamanı gerekecektir.^(221, 223) Ağ yapıyı oluşturan elemanların, modele uygun büyüklükte ve geometride olup, düzgün sıralanması analiz sonucunun gerçeğe yakınlığını doğrudan etkilemektedir.⁽³⁶⁾

Malzeme özelliklerinin sisteme girilmesi

Malzemeye ait özellikler belirlenerek sisteme girişi yapılır. Elastiklik modülü, Poisson oranı, yoğunluk, eğer uygulanabilirse genişleme, sürtünme, termal iletkenlik katsayısı, ısı, izotropik gibi malzeme özellikleri programa girilmektedir. Biyolojik dokulara ait elastik modülleri modele yansıtılır.^(28, 157, 201)

Sınır koşullarının tanımlanması

Matematik modeldeki kuvvet uygulanan noktalar ve sistemin serbestlik derecesi üzerinde etkili olan destek noktaları gibi faktörler sistemin sınır koşullarını oluşturur. Başka bir deyişle bu aşamada cisme nereden kuvvet uygulandığı ve nereden sabitlendiği belirlenmektedir.⁽³⁶⁾

Geometrik bir model dayanağı olmadığında uzaysal olarak serbest sınır koşulları içinde, biyolojik yapının elastik cevabından etkilenmeksizin hareket eder. Bu durumda cisim farklı rotasyon döngüsüne girebilir, atipik cevap verebilir. Sınır koşulları belirlenmesi için en uygun yapı ağ yapıdaki düğüm noktalarıdır. Bu aşamadan sonra matematiksel model analiz için hazır hale gelir.⁽²⁰¹⁾

Analizin Çözümlemesi

Analiz aşamasında matematik modelde istenilen düğüm noktalarından kuvvet

uygulanması sonucu, ağ yapıda bulunan diğer düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler hesaplanmaktadır. Bütün modelde eleman denklemlerinin çözümlenmesi ile meydana gelen gerilme ve gerinim değerleri kesitsel veya noktasal olarak incelenebilmektedir.^(35, 36)

Sonuçların Değerlendirilmesi

Kuvvetin uygulanmasından sonra her eleman ve düğüm için oluşturulan denklem çözümlenip, sayısal verilerden oluşan bulgular ortaya çıkmaktadır.⁽²⁰¹⁾ Bulguların değerlendirilebilmesi için veriler resim, tablo ve grafiklerle görselleştirilmektedir. Modele ait farklı açılardan alınmış renk skalasına sahip görüntülerde yer değiştirmeler ve gerilme dağılımları incelenebilmektedir. Tablo ve grafiklerle gösterilen sayısal değerler istenilen noktalarda oluşan gerilme değerlerini ve uzayın üç yönündeki yer değiştirmeleri vermektedir. Ayrıca büyütülmüş görüntüler ve animasyonlar aracılığı ile çok küçük değer taşıyan yer değiştirmeler, eşit oranda büyütülerek anlaşılır hale gelmektedir.⁽³⁶⁾

2.5.4. HÜÇG Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi ile İncelendiği Çalışmalar

İşeri ve ark.⁽²²⁴⁾ HÜÇG tedavisinin biyomekanik etkilerini değerlendirdikleri SEA çalışmasında; üst çene kademeli olarak 5 mm genişletilip oluşan Von mises stresleri ile yer değiştirme miktarları değerlendirmiştir. HÜÇG uygulaması ile üst çenenin 1 mm, 3 mm ve 5 mm'lik genişletmelerinde neredeyse paralel bir genişleme izlenmiştir. En fazla görülen genişleme miktarı dentoalveolar bölgede oluşurken, dentoalveolar bölgenin yukarı bölümlerine doğru azaldığı belirtilmiştir. Yüksek stres görülen bölgeler; maksillanın molar ve kanin bölgesi, inferior nazal boşluğun lateral duvarı, zigomatik ve nazal kemikler olmuştur. En yüksek görülen stres bölgesi, sfenoid kemiğin pterigoid plaklarının kafa kaidesine komşu bölgelerinde olduğu belirtmişlerdir.⁽²²⁴⁾

Holberg ve ark.⁽²²⁵⁾ çocuk ve erişkin bireylerin modellerine maksiller genişletme uygulayıp SEA yaptıkları çalışmalarında farklı genişletmelerde oluşan streslerin çocuk ve erişkinde farklı olduğunu ancak stres dağılımlarının yakın olduğunu göstermişlerdir. Genç bireylerde HÜÇG uygulaması yapıldığında, kafa kaidesinde orta dereceli stresler gözlemlenirken, erişkin bireyde sfenoid bölgede yoğunlaşan streslerin oluştuğunu rapor etmişlerdir.⁽²²⁵⁾

Holberg ve ark.⁽²²⁵⁾ SEA çalışmasında, CDHÜÇG sırasında pterigomaksiller birleşimin ayrılıp ve ayrılmadığı durumlarda orta yüz ve kranial kaidedeki stres bölgelerini karşılaştırmışlardır. Değerlendirmede pterigomaksiller birleşiminin ayrılması sonucu daha iyi sonuçlar elde edildiği bildirmişlerdir.

Provatidis ve ark.⁽²²⁶⁾ farklı sutural maturasyon dönemlerindeki, HÜÇG tedavisinin etkilerini değerlendirdiklerinde, maksillo-lakrimal, frontomaksiller, nazomaksiller ve palatal suturların HÜÇG sonuçlarını etkilemediğini ama zigomatikomaksiller suturun etkisinin olduğunu rapor etmişlerdir. Sutural olgunluk seviyesinin kraniyofasiyal yapılarda meydana gelebilecek yer değiştirmeleri etkilediğini bildirmişlerdir.

Han ve ark.⁽¹⁵⁰⁾ SEA ile cerrahi destekli ve desteksiz HÜÇG gruplarını karşılaştırmışlardır. 5 model simule edilmiş ve kontrol grubu olarak cerrahi desteksiz HÜÇG olmuştur. Yalnız Le Fort I osteotomisi, Le Fort I ve paramedian osteotomi, Le Fort I ve pterigomaksiller ayrılma, Le Fort I - paramedian osteotomi - pterigomaksiller ayrılma olarak diğer gruplar simule edilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre x,y ve z düzlemlerinde en fazla yer değiştirme paramedian ve pterigomaksiller ayrılmayı içeren grup olmuştur. Diğer gruplarda ise cerrahi desteğin miktarı arttıkça yer değiştirmelerinde de artış görülmüştür. Sonuçlara göre, Le Fort I ve paramedian osteotomisinin yanında pterigomaksiller ayırma dahil edilmesi ankraj dişler etrafında gerilmeler sonucu oluşacak yan etkilerin azalmasına neden olduğu ve maksillanın genişlemesini artırmak için etkili olduğu bildirmişlerdir.

Ludwig ve ark.⁽²²⁷⁾ mini vida destekli modifiye hyrax apareyiyle yapılan HÜÇG tedavisini viskoelastik SEA modeli kullanarak incelediklerinde benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Lee ve ark. beş adet cerrahi destekli olan ve olmayan MVDHÜÇG tedavisini incelemişlerdir. Grup A: diş destekli geleneksel hyrax apareyi, grup B: kemik destekli genişletme apareyi, grup C: kemik destekli genişletme apareyine - median palatal sutur ayrılması, grup D: grup C'ye ek pterigomaksiller sutur ayrılması, grup E: grup D modele ek olarak Le Fort I osteotomisi simule edilmiştir. Çalışma sonucu, cerrahi destekli gruplarda cerrahi destekli olmayan gruplara göre daha fazla transversal hareket görülmüştür. Genişleme miktarları cerrahi desteksiz gruplarda posterior dişlerde daha fazla olurken, cerrahi destekli gruplarda ise anterior bölgede daha fazla

görülmüştür. Midpalatal sutur incelendiğinde, cerrahi destek içermeyen gruplar anterior bölgede posterior bölgeden daha fazla genişleme gösterip ve cerrahi içeren gruplara göre yüksek stres seviyeleri göstermiştir. Anterior ve posterior nazal spina, maksiller tuber bölgesi, pterigoid plakta en yüksek stres değerleri grup B'de görülmüştür.⁽²²⁸⁾

Matsuyama ve ark.⁽²²⁹⁾ palatal derinliğin ve vida kolunun şekil modifikasyonlarının, mini vida desteğine etkilerini 9 farklı simule model üzerinden incelemiştir. Damak derinliğinin en fazla olduğu modelde dişler ve midpalatal suturun yer değiştirmesi en az görülmüş ve vida kollarında en fazla deformasyon görülmüştür. Çeşitli vida kolu modifikasyonları incelendiğinde, daha büyük çaplı vida koluna sahip modelde en az deformasyon görülmüştür.

Seong ve ark.⁽²³⁰⁾ genç erişkinlerde HÜÇG etkilerini SEA yöntemi ile konvansiyonel HÜÇG, kemik destekli HÜÇG ve MVDHÜÇG olarak 3 şekilde incelemiştir. SEA modeli için 20 yaşında bireyin kafatası kullanılmış ve konvansiyonel model maksillanın ön bölgesinde ve destek dişlerde en yüksek gerilme oluşturmuş, kemik destekli modelde mini vidaların çevresinde midpalatal suturun sınırladığı alanlarda yüksek gerilmeler çıkmıştır. MVDHÜÇG modelinde ise ankraj dişlerin devrilmesinin azaldığı ve bukkal alveol kemiklerde gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde; HÜÇG apareylerine mini vidaların eklenmesinin ankraj dişlerde ve bukkal alveol kemiklerde gerilmeleri azaltıp, genç erişkinlerde CDHÜÇG'ye bir alternatif oluşturabileceği bildirmişlerdir.

Son kanıtlar, geç adolesanlarda midpalatal suturların başarılı bir şekilde genişletilmesinin, kemik kaynaklı ve diş kaynaklı maksiller genişleticilerle mümkün olabileceğini göstermiştir.^(18, 23) MVDHÜÇG apareylerinin yaşlı erişkinlerde tamamen kaynaşmış suturların ayrılmasını zorlaması beklenemez, bu nedenle kullanım onlu yaşların sonundan yirmili yaşların ortalarına kadar olan genç erişkinlerle sınırlandırılmalıdır.^(231, 232) 2014 yılından bu yana literatürde yerini alan çeşitli MVDHÜÇG yöntemleri, maksiller iskelet genişletici ise genç erişkin ve erişkin hastalarda alternatif bir yöntem olduğu savunulmuş ve başarılı uygulandığı çalışmalar yapılmıştır.^(19, 23, 24, 196, 233) Erişkinlerde hızlı maksiller ekspansiyon öncesi tüm cerrahi önlemlerin amacı sutural açılmayı ve transvers ekspansiyonu kolaylaştırmak, orta yüz ve kraniyal kaidedeki iskelet yapılarında istenmeyen etkileri önlemektir. Lanigan ve

ark.⁽²³⁴⁾ CDHÜÇG'den sonra kraniyal kaide kırığının postoperatif göz sorunlarına yol açtığı bir hastayı belirtmişlerdir. Bu nedenle, erişkinlerde hızlı maksiller genişletme sırasında bu bölgelerdeki kırıkları önlemek için kraniyal tabanda ve orta yüzde herhangi bir patolojik stresten kaçınılmalıdır. Üst çene genişletmesinde midpalatal suturun ana direnç kaynağı olarak bildiren çalışmaların yanında,^(3, 39) kritik direnç alanları olarak lateral direnç bölgesi ve pterigomaksiller bileşke bölgeleride vurgulanmıştır.^(143, 144) Bu alanlardan gelen direnci azaltmak için genellikle cerrahi yöntemler Le Fort I tipi osteotomi, midpalatal ayırma içermektedir.⁽¹⁵⁰⁾ Bazı yazarlar^(157, 173, 235) ayrıca pterigomaksillerbirleşimde de ek bir cerrahi ayırma gerçekleştirse de, bazı araştırmacılar bu prosedürü dahil etmemiştir.^(138, 236-238) Bununla birlikte, literatürden SARME'nin kapsamı veya prosedürü hakkında açıkça bir fikir birliği yoktur. Ek olarak, streslerin ve gerinmelerin mekanik çalışmasına başarıyla uygulanan sonlu elemanlar yöntemi (SEA) ile SARME kaynaklı streslerin ve maksilla yer değiştirmesinin analizi için az sayıda çalışma yapılmıştır.⁽³³⁾

Yapılan literatür taramasında erişkin sonlu eleman analizi kafatası modelinde cerrahi destekli konvansiyonel tip aparey ile monokortikal ve birkortikal yerleştirilen mini vida destekli apareyler ile yapılan hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal yapılar üzerinde oluşturduğu stres ve yer değiştirme miktarını değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu uzmanlık tez çalışmasının amacı, genç erişkin bireylerde cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesine alternatif olabileceği iddia edilen monokortikal ve bikortikal mini vida yerleşimli iki farklı tip iskeletsel ankraj destekli yöntemin ve konvansiyonel cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki genişleme, stres ve yer değiştirme etkilerinin sonlu elemanlar analizi kullanılarak değerlendirilmesidir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada CDHÜÇG konvansiyonel hyrax apareyi, diş destekli (molar bantlı) monokortikal vida yerleşimli MVDHÜÇG ve diş destekli (molar bantlı) bikortikal vida yerleşimli MVDHÜÇG apareyelerinin nasomaksiller kompleks üzerindeki yer değiştime ve gerilme etkilerinin incelemesi amaçlandı. Tokyo Üniversitesi'nde bulunan DBCLS (Yaşam Bilimleri Veritabanı Merkezi) araştırma enstitüsü tarafından oluşturulan BodyParts3D projesi kapsamında erişkin birey kafatası anatomik modeli ücretsiz ve açık kaynak olarak (tüm kemikler ve dişler stereolitografi (stl) formatında) indirildi. Midpalatal sutur, periodontal ligament ve genişletme apareyleri Ansys spaceclaim 2020.R2 (SpaceClaim Corporation, Concord, Massachusetts) yazılımında üç boyutlu (3B) olarak modellendi. Midpalatal sutur harici tüm kraniyofasiyal suturlar, erişkin hastayı simule edebilmek amaçlı kapalı (kaynaşmış suturlar) kabul edilerek erişkin SEA modeli oluşturuldu.

BodyParts3D projesi kapsamında hasta üzerinden herhangi bir tomografi görüntüsüne ihtiyaç duyulmadığından ve açık kaynak kodlu veri olması sebebiyle herhangi bir etik onay alınmasına gerek duyulmadı.

3.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

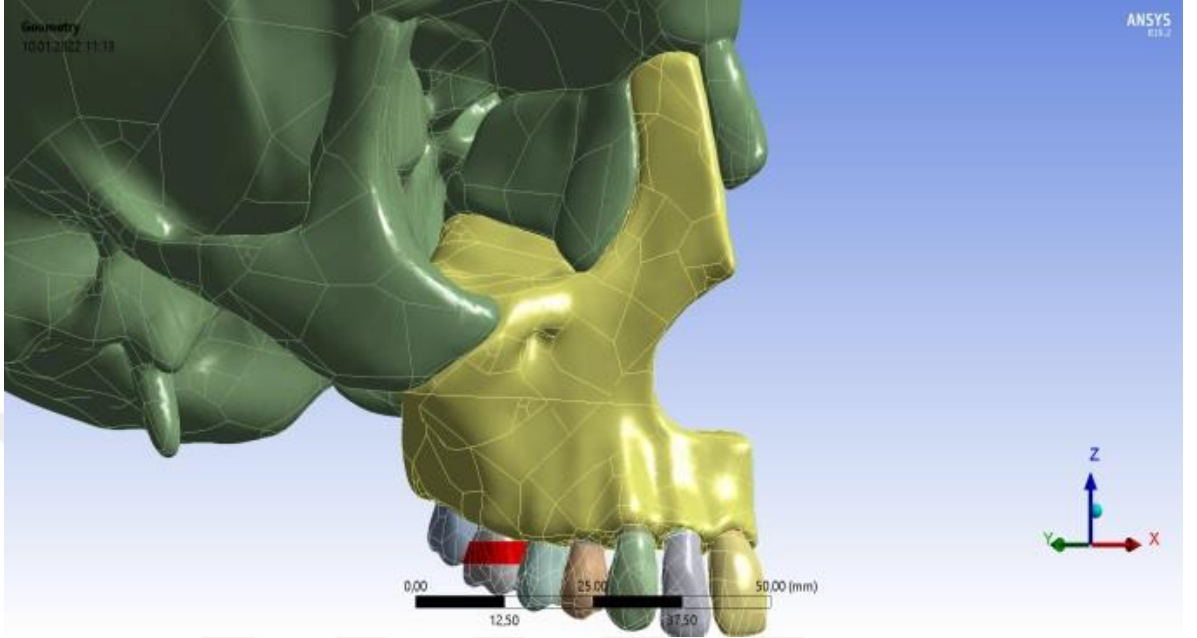
3.1.1. Kraniyofasiyal Sistemin Modellenmesi

Çalışmada Tokyo Üniversitesi'nde bulunan DBCLS (Yaşam Bilimleri Veritabanı Merkezi) araştırma enstitüsü tarafından oluşturulan BodyParts3D projesi kapsamında 34 yaşında bir erkek kafatası anatomik modeli açık kaynak olarak kullanıldı.⁽²³⁹⁾

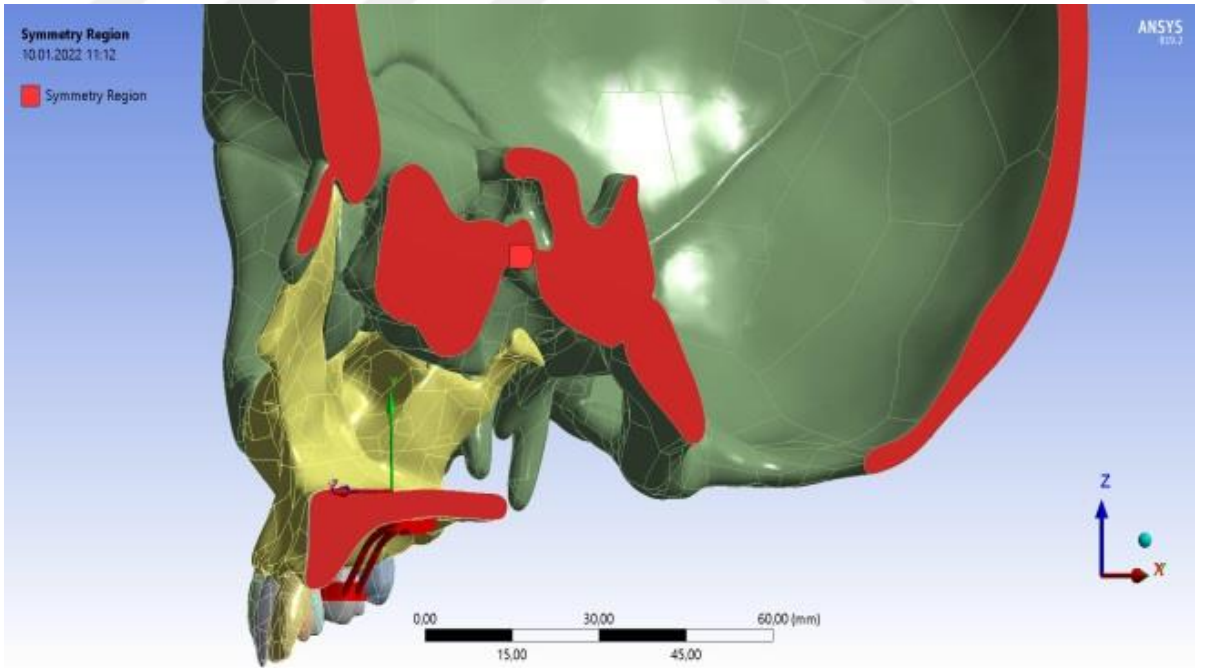
BodyParts3D, tüm vücudun MR görüntüsü taranarak oluşturulmuştur. Eksik detayların, bulanık konturlar ve modellemelerin üç boyutlu yazılım programları ile tıp illüstratörleri tarafından akademik kitaplar ve atlaslar kullanılarak netleştirildiği ifade edilmektedir.⁽²³⁹⁾

Diş destekli MVDHÜÇG genişletme apareyi ve hyrax genişletme apareyi Ansys 19.2 (ANSYS Inc. Houston, PA, USA) programı vasıtasıyla, kortikal ve spongios kemik özellikleri ile tüm kafatası kemiklerini içeren sonlu elaman modeline yerleştirildi. Periodontal ligament (PDL) ve midpalatal suturda ofset komutu yardımıyla literatürde belirtildiği gibi 0,3 mm kalınlığında, homojen, izotropik ve lineer elastik özellik

verildi.⁽²⁴⁰⁾ Maksilla, midpalatal sutur, dişler ve peridental ligament genel modele birbirinden bağımsız olarak eklendi. Daha sonra sonlu elemanlar metodunda kullanılacak kraniofasiyal yapı (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) simetri modeli oluşturuldu.⁽²⁴⁰⁾



Şekil 3.1. Kraniofasiyal SEA modeli (Frontal kesit)



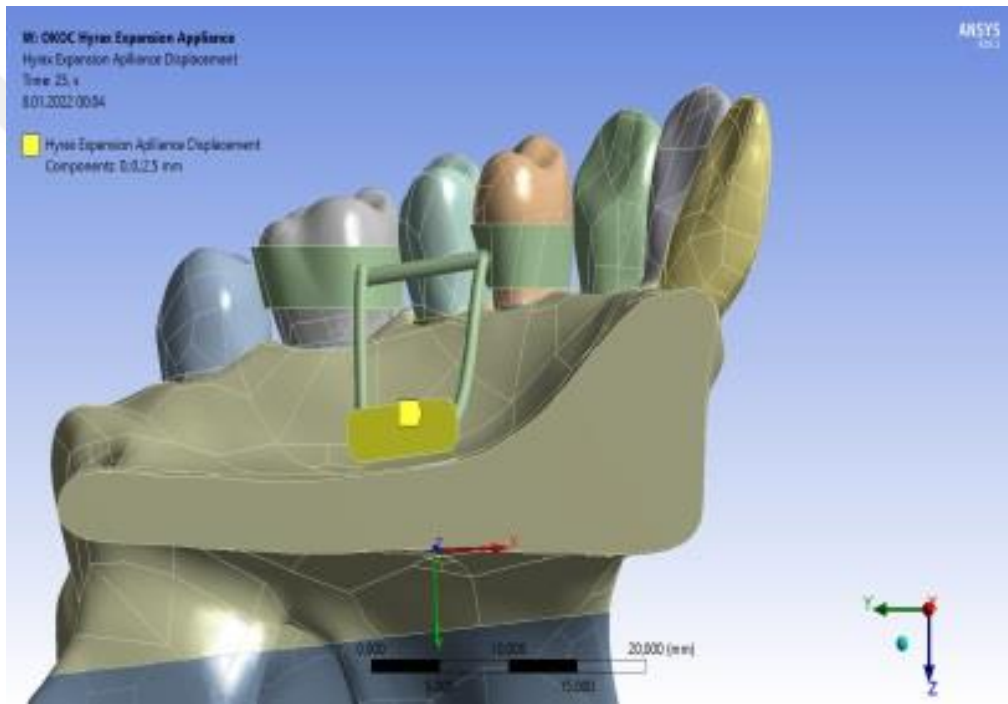
Şekil 3.2. Kraniofasiyal simetri modeli (Sagittal kesit)

3.1.2. Karşılaştırılan Apareylerin Modellenmesi

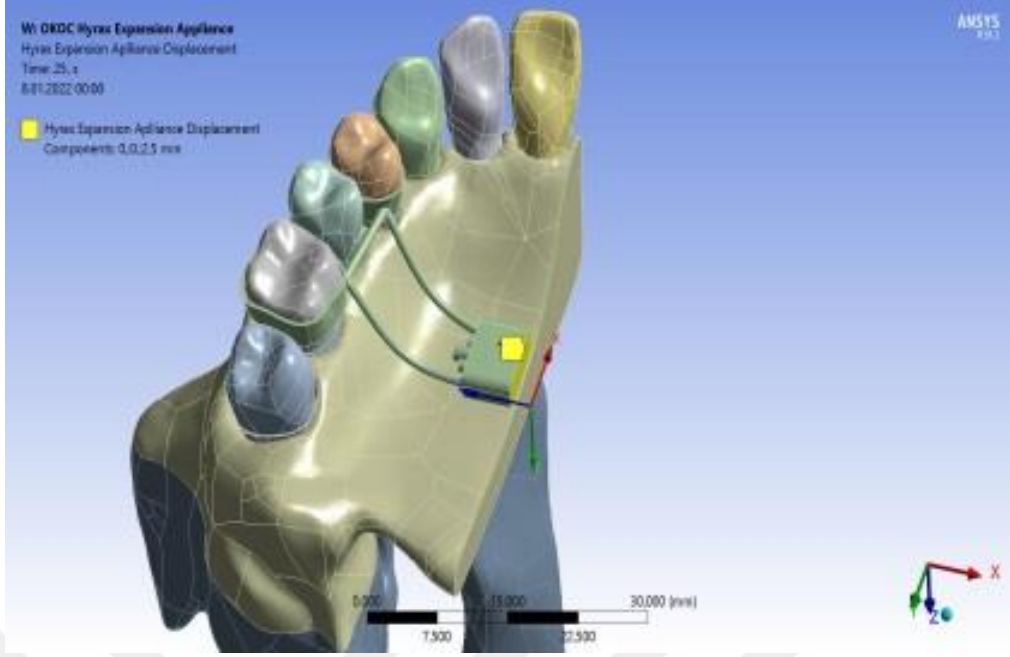
Çalışmada kullanılacak olan hyrax ve Mini vida destekli monokortikal ve bikortikal genişletme apareyi orjinal boyutlarında Ansys spaceclaim 2020.R2 (SpaceClaim Corporation, Concord, Massachusetts) yazılımı kullanılarak modellendi (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).

1. Tip A Model: Cerrahi destekli konvansiyonel tip modeli (4 ve 6 bantlı)

Tip A modele (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4) ek olarak, pterigomaksiller sutur ayrımı yapılmadan median ve lateral osteotomi uygulandı ve apareyin kolları birinci molar ve birinci premolar dişlerden ankraj alınarak sabitlendi.



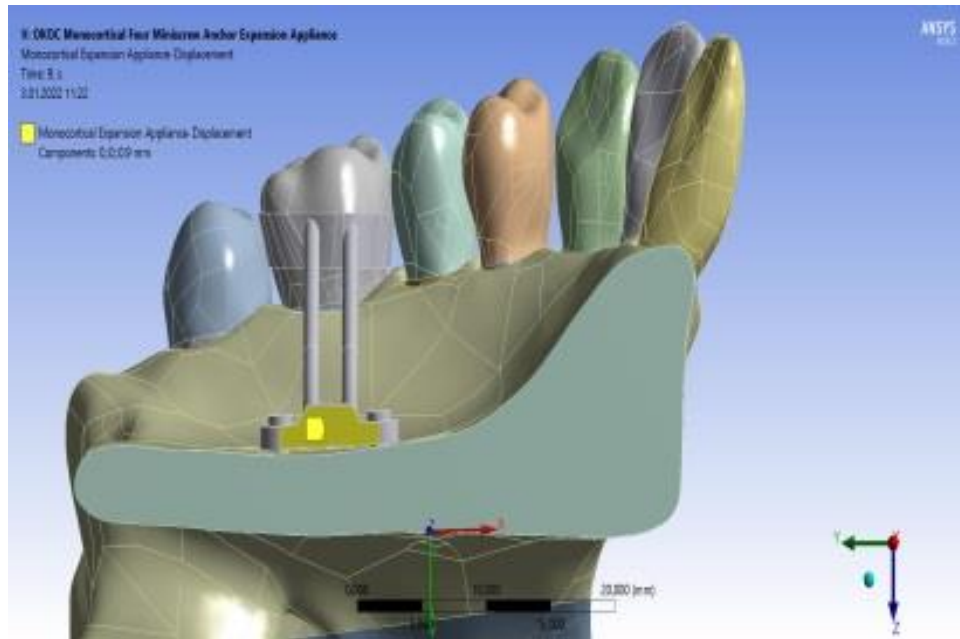
Şekil 3.3. Cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) (Sagital kesit)



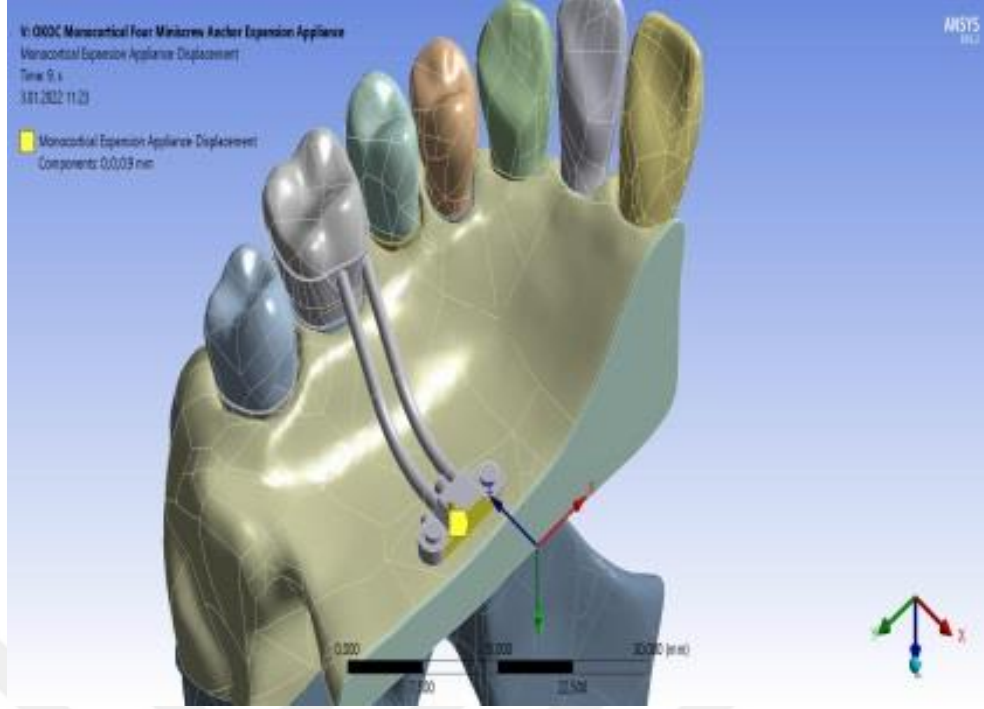
Şekil 3.4. Cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) (Açılı okluzal kesit)

2. Tip B Model: Diş destekli monokortikal MVDHÜÇĞ apareyi

Mini vida destekli genişletme apareyi için kullanılan modelde mini vida çapı 1,6 mm olarak seçildi. Vida boylarının seçimi maksillanın kemik kalınlıklarına göre yapıldı. Monokortikal yerleşim için mini vida boyu 12 mm olarak modellendi. Apareyin kolları her iki diş kemik destekli modelde (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6) birinci molar dişe bant uygulanıp, ankraj alınarak sabitlendi.



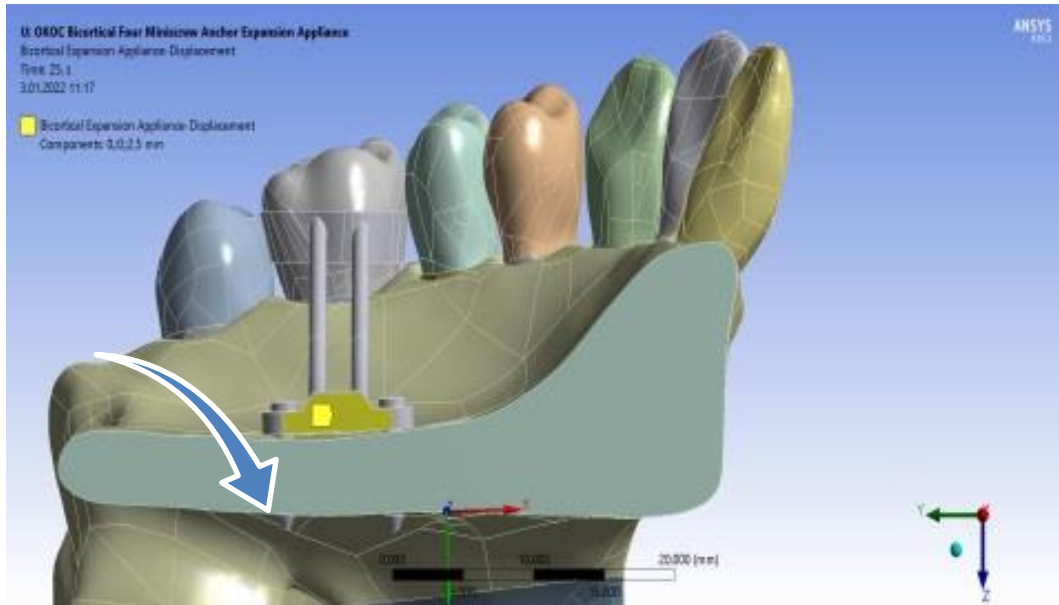
Şekil 3.5. Diş destekli monokortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Sagittal kesit)



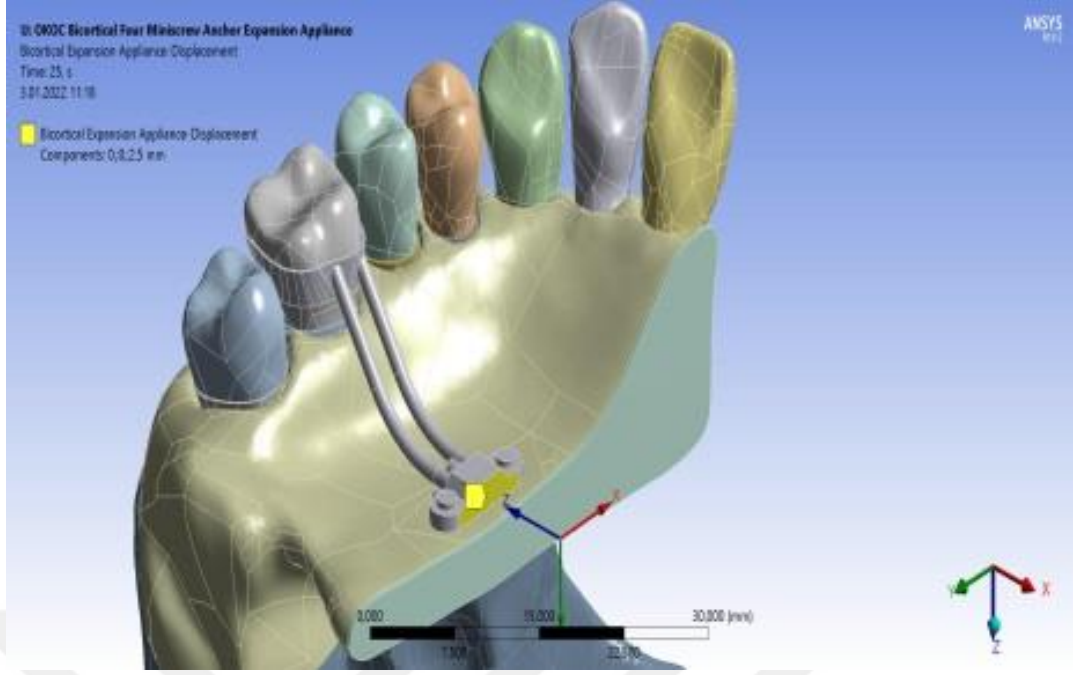
Şekil 3.6. Diş destekli monokortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Açılı okluzal kesit)

3. Tip C Model: Diş destekli bikortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi

Mini vida destekli genişletme apareyi için kullanılan modelde mini implant çapı 1,6 mm olarak seçildi. Vida boyları maksilla kemik kalınlıklarına göre seçildi. Bikortikal yerleşim (damak ve nazal taban kortikal kemik yüzeyleri) elde edebilmek için mini vida boyu (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8) 14 mm olarak modellendi ve 1 mm penetrasyon sağlandı.

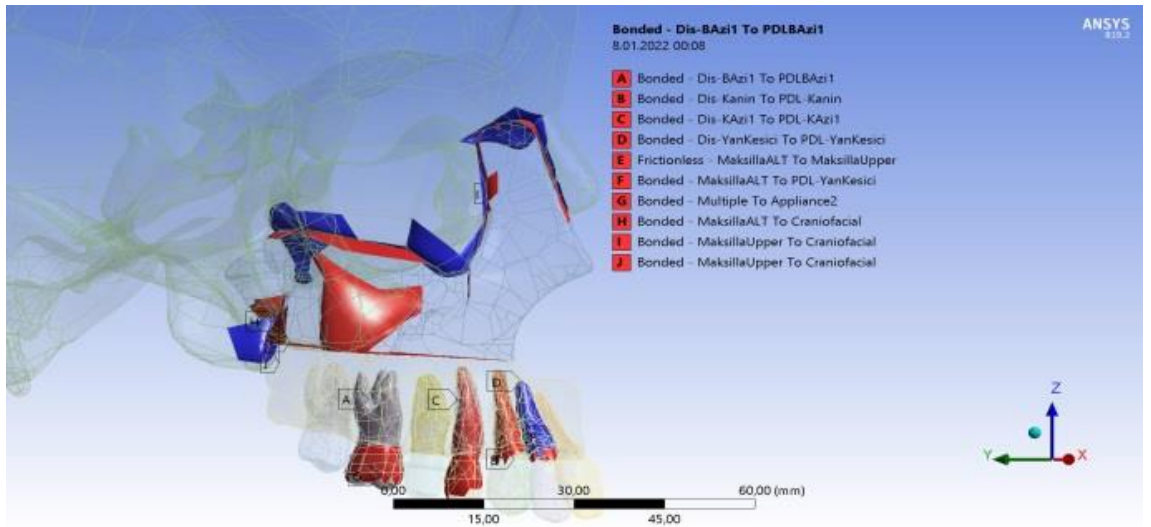


Şekil 3.7. Diş destekli bikortikal yerleşimli MVDHÜÇĞ apareyi (Sagittal kesit)

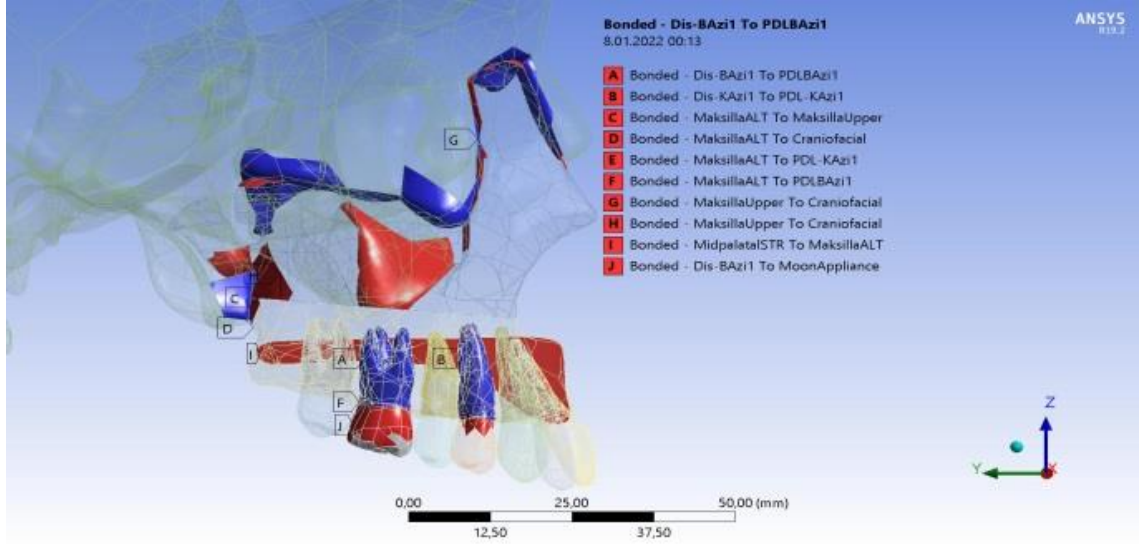


Şekil 3.8. Diş destekli bikortikal yerleşimli MVDHÜÇG apareyi (Açılı okluzal kesit)

Yer değiştirme milimetre cinsinden ve gerilmeler MPa olarak ölçüldü, analiz sonuçlarını ifade etmekte kullanılan skaladaki her bir deforme olmuş durum ve gerilme seviyeleri farklı renk değer bantlarında gösterildi. Hyrax apareyi kullanılan model de lateral osteotomi ile ayrılan 2 maksilla parça yüzeyi arasında (alt ve üst parça) sürtünmesiz kontak (Şekil 3.9), diş-kemik destekli modellerde (Şekil 3.10) maksilla ile kafatası kemikleri peridontal ligament, dişler ve Mini vidalar arasında bağlı temas/kontak (bütün olarak) tanımlandı.



Şekil 3.9. Cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modeli (4 ve 6 bantlı) kontakları



Şekil 3.10. Diş destekli monokortikal ve bikortikal model kontakları

Aparey vidalarının yerleşimlerini belirlemek ve konumlarını standardize edebilmek amacıyla vidaların midpalatal sutur komşuluğunda, damak kubbesine mümkün olduğunca paralel olacak şekilde konumlandırılmasına dikkat edildi. Her üç vida da oklüzal seviye olarak aynı konumda olmak kaydıyla damak kubbesinin izin verdiği ölçüde derine yerleştirildi.

3.1.3. Malzeme Özelliği

Kemik, midpalatal sutur, dişler ve periodontal ligament homojen, lineer elastik ve izotropik olarak kabul edildi.⁽²⁴¹⁾ Analizde kullanılacak olan her bir bileşenin malzeme özellikleri aşağıda (Tablo 3.1) gösterilmektedir.

	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Kortikal kemik	13700	0.30
Spongioz kemik	1370	0.30
Dentin	19890	0.31
Midpalatal Sutur	0,69	0,45
Periodontal ligament	50	0.49
Paslanmaz çelik	193000	0.35

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzeme özellikleri

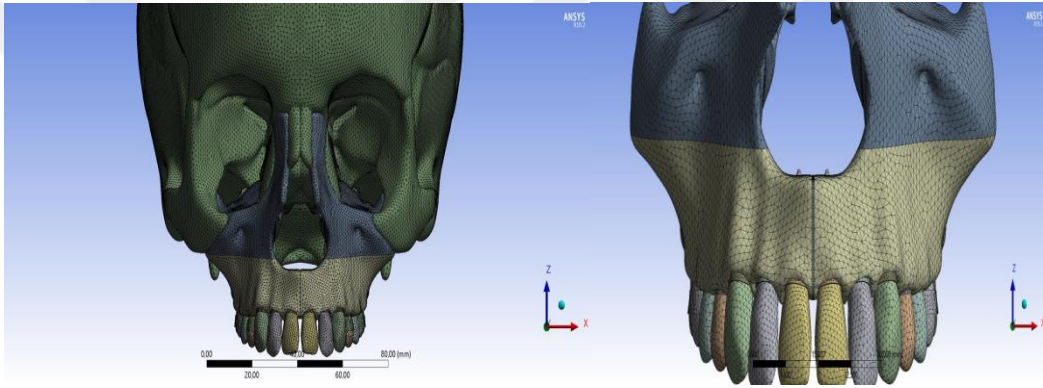
3.1.4. Sınır Şartları

Gautam ve ark.'nın⁽²⁴⁰⁾ önerdiği gibi foramen magnum tamamen sabitlendi ve başlangıç noktası olarak kabul edildi. Hızlı üst çene genişletmesi simülasyonunda bu

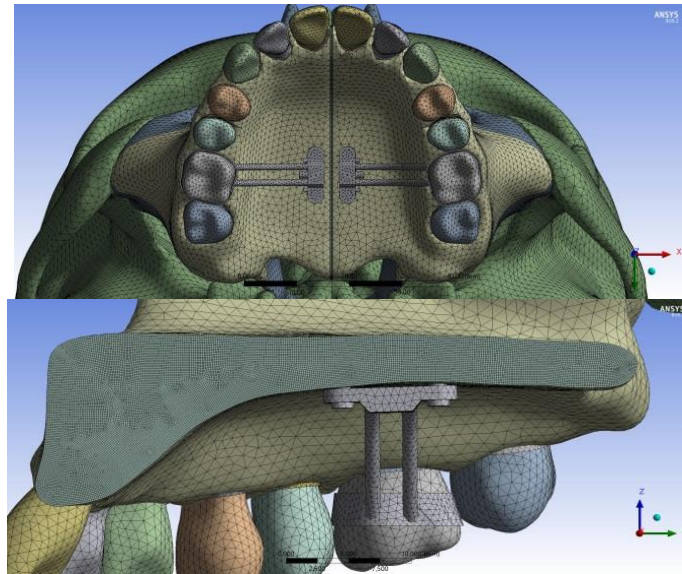
bölgelerde bulunan düğüm noktaları x, y ve z eksenlerinde translasyon ve rotasyon hareketi engellenecek şekilde yani sabit olarak kabul edildi.

3.1.5. Sonlu Eleman Modeli

Kafatasını oluşturan kemikler 1.6 mm, maksilla 1.3 mm, peridontal ligament 0.6 mm, dişler 0.8 mm ve genişletme apareylerinin Mini vidaları 0.6 mm boyutunda dört üçgen yüzlü ve kare ağ elemanlara bölündü. Bu eleman tipleri düzensiz geometrilere sahip yapılar oluşturmak için uygulandı. Dört üçgen yüzlü eleman tipi düzensiz geometrilere sahip yapılar oluşturmak ve kare eleman tipi düz yüzey geometri yapılarında analizin daha gerçekçi sonuç vermesi için kullanılmaktadır.⁽²⁴²⁾ Simetri model (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12) toplam 2322887 düğüm noktası ve 1488629 elemana ayrıldı.



Şekil 3.11. Tüm modelin dört üçgen yüzlü ağ elemana bölünmesi (Frontal kesit)



Şekil 3.12. Tüm modelin dört üçgen yüzlü ağ elemana bölünmesi (Okluzal ve sagittal kesit)

Ansys, Inc (ANSYS Inc. Houston, PA, USA) tarafından geliştirilen şekil 3.13'de verilen ağ yapısı spektrumuna göre sonlu eleman yönteminde doğru çözüm ve güvenilir sonuçlar üretmek için ağ yakınsaması gereklidir.⁽²⁴²⁾ Düşük ortogonal kalite veya yüksek çarpıklık değerleri önerilmez. Ağ yakınsaması, ağın boyutunu değiştirerek analiz sonucunun etkilenmemesini sağlamak için modelde kaç elemanın gerekli olduğunu (Şekil 3.13) belirler.⁽²⁴²⁾ SEA modelinde çözümün doğruluğu, kullanılan sonlu eleman ağıyla doğrudan ilişkilidir.

Mükemmel	Yüksek Kalite	İyi	Kabul Edilebilir	Kötü	Kabul Edilemez
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Şekil 3.13. Ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama değeri

Tüm modelin ağ ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama değeri 0,16'dır. Ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama spektrumuna göre (Şekil 3.13) modelin ağ yapısı değeri mükemmel aralıkta bulunmaktadır.⁽²⁴²⁾

Tüm modeli oluşturan parçaların eleman sayısı, düğüm noktası, ağ boyutu değerleri ve eleman kalite yakınsama aralığı (Tablo 3.2) aşağıda gösterildi.

	Ortalama çarpıklık kalite yakınsama değeri	Düğüm noktası	Eleman	Ağ yapısı boyutu
Kafatası	0.15	1691902	1158657	1.8
Maksilla Alt	0.17	105921	71404	1.3
Maksilla Üst	0.15	104642	71184	1.3
Midpalatal Suture	0.40	95057	47053	0.6
Peridontal Ligament	0.05	153469	27360	0.15
Dişler	0.17	159921	106775	0.8
Mini İmplant	0.30	11975	6196	0.6

Tablo 3.2. Sonlu Elemanlar Modeli eleman sayısı, düğüm noktası, ağ boyutu değerleri ve ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama değeri

3.1.6. Model Çoğaltımı ve Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Tanımlanması

Çalışmada kullanılacak üç farklı apareyin sonlu elemanlar analizi için aynı üç boyutlu kranial modeller oluşturuldu. Aparent modellerini karşılaştırmak için farklı tasarımlar genel modele eklendi. Analizde midpalatal suture hariç kraniofasiyal suturlar kaynaşmış erişkin dönem simüle edildi.

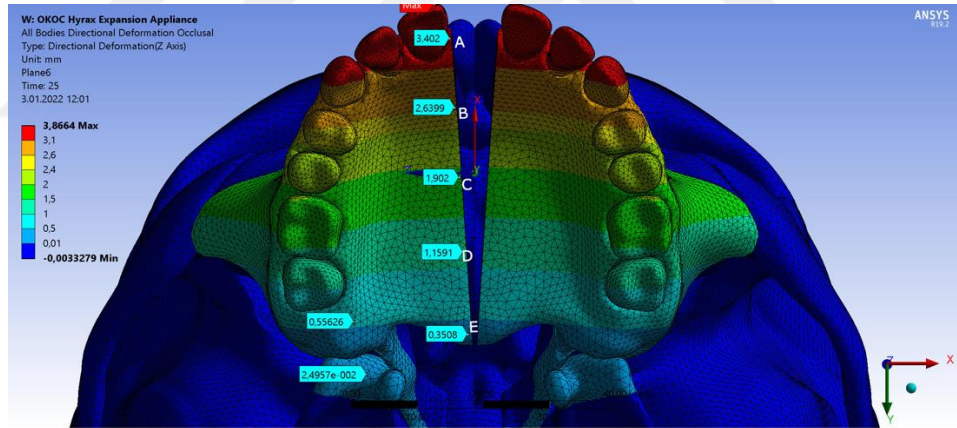
Sonlu elemanlar analizini yapmak için HP Z840 bilgisayar tercih edildi. Kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri, Intel Xeon E5 işlemcili 2.2 gigahertz 20 çekirdek ve

96 gigabyte ram gücündedir.

Sonuç olarak üç farklı apareyin kraniyofasiyal yapılardaki yer değiştirme ve stres değerlerini gösterebilecek toplam altı farklı model oluşturuldu. Simetrik modelde genişletme miktarı x ekseninde (transversal) 0,125 mm (toplam 0,25 mm) ve 2,5 mm (toplam 5 mm) olacak şekilde tanımlandı. Klinik olarak ilk vida aktivasyonunu simule etmek amacıyla 0,25 mm'lik açılma ve 5 mm'lik genişletme hareketi sonunda kraniyofasiyal yapılarda oluşan gerilme ve yer değiştirme miktarları ölçüldü. Yer değiştirme miktarı x (transversal), y (frontal) ve z (sagital) düzlemde ölçüldü.

3.1.7. Araştırılan Anatomik Bölgeler

Üst çene komşuluğundaki kraniyofasiyal suturlar ve dental bölgelerde ölçümler yapıldı. Midpalatal suturda 5 adet nokta, sırasıyla A, B, C, D ve E noktaları seçildi (Şekil 3.14). A noktası insisiv foramen yakını; E noktası palatin kemik yakını; B, C ve D noktaları ise A-E hattını 4 eşit parçaya bölmektedir. Transversal yönde yer değiştirme miktarları ölçüldü.



Şekil 3.14. Midpalatal suturda ölçülen noktalar (okluzal görünüm)

Stres ve yer değiştirme değerlendirilmesi yapılan anatomik bölgeler:

- Santral kesici bölgesi: Santral kesici dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- Lateral kesici bölgesi: Lateral kesici dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- Kanin bölgesi: Kanin dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- Birinci premolar bölgesi: Birinci premolar dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri

- İkinci premolar bölgesi: İkinci premolar dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- Birinci molar bölgesi: Birinci molar dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- İkinci molar bölgesi: İkinci molar dişin yer değiştirme miktarı ve ortalama gerilme değeri
- Frontomaksiller sutur: Sutura frontomaksillar bölgesi
- Zigomatikmaksillar sutur: Sutura zigomatikomaksillaris bölgesi
- Frontozigomatik sutur: Zigomatik kemiğin frontal parçası ile frontal kemiğin zigomatik bağlantı bölgesi
- Zigomatik ark: Zigomatik kemiğin temporal parçası ile temporal kemiğin zigomatik parçanın bağlantı bölgesi
- Frontonazal sutur: Sutura frontonazalis bölgesi
- Medial pterigoid plak: Sfenoid kemiğin medial pterigoid plak bölgesi
- Lateral pterigoid plak: Sfenoid kemiğin lateral pterigoid plak bölgesi
- Tuber maksilla: Üst çenenin en distal bölgesi - pterigoid plak sınırı
- PNS noktası: Spina nazalisin posteriordaki çıkıntısı
- ANS noktası: Spina nazalisin anteriordaki çıkıntısı
- Mini implant bölgesi: Yerleştirilen dört adet mini implantın bulunduğu bölge
- A noktası: Midpalatal suturda insisiv foramen yakını
- B noktası: Midpalatal suturda A-C noktaları arası bölge
- C noktası: Midpalatal suturda B-D noktaları arası bölge
- D noktası: Midpalatal suturda E-C noktaları arası bölge
- E noktası: Midpalatal suturda palatin kemik yakını

4. BULGULAR

Bu çalışmada kraniyofasiyal suturları kaynaşmış, erişkin birey sonlu eleman kafası modelinde cerrahi destekli diş destekli (4 ve 6 bantlı) hyrax ekspansiyon apareyi ile diş destekli (6 bantlı) monokortikal ve birkortikal yerleşimli iki farklı tip mini vida destekli ekspansiyon apareyi ile yapılan HÜÇG'nin nasomaksiller yapılar üzerinde oluşturduğu gerilmeler ve uzayın her 3 düzleminde meydana gelen yer değiştirme miktarları değerlendirildi. X eksen; transversal düzlemi, Y eksen; vertikal düzlemi ve Z eksen; sagittal düzlemi temsil edecek şekilde değerlendirildi.

5 mm'lik genişletme verildiğinde oluşan yer değiştirmelerin x, y, z eksenlerinde daha net ve anlaşılır olmasından dolayı yer değiştirme verileri ve görselleri kullanıldı. 5 mm yer değiştirme verileri Tablo 4.1'de gösterildi. 5 mm toplam yer değiştirme verildiğinde oluşan Von mises değerlerinin, kemiğin dayanabileceği yük olan 130 MPa'dan daha fazla olduğu Tablo 4.2'de görülmektedir. 0,25 mm genişletme verilmeden önceki durum ile sonrası arasında genişleme miktarları arasında görsel açıdan ve yer değiştirme bakımından da Tablo 4.3'de gruplar arası herhangi bir fark görülmediğinden değerlendirmeye dahil edilmedi. 0,25 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von mises değerleri Tablo 4.4'de verildi. Von mises gerilmelerinde renk skalası gösterge olduğundan, tek taraflı 0,25 mm genişletme ile oluşan Von mises gerilmelerinin görselleri kullanıldı.

Analize ait sonuçlar, renklendirilmiş şekillerle gösterildi. Bu görüntülerde her renk sayısal bir değere karşılık gelmektedir. Hangi rengin hangi değere karşılık geldiği ise şeklin sol tarafında belirtildi. Çalışmamızda stresler birim olarak megapaskal cinsinden, yer değiştirmeler ise milimetre cinsinden belirtildi.

	Tip A Model			Tip B Model			Tip C Model		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Santral kesici	3.866	-0.594	1.026	2.796	0.980	0.509	2.774	0.975	0.500
Lateral kesici	3.676	-0.494	0.737	2.938	1.316	0.624	2.916	1.306	0.614
Kanin	3.346	-0.372	0.405	2.974	1.555	0.655	2.954	1.541	0.647
Birinci premolar	2.760	-0.285	0.239	2.990	1.607	0.646	2.975	1.593	0.638
İkinci premolar	2.403	-0.188	0.017	3.003	1.637	0.637	2.990	1.622	0.629
Birinci molar	2.029	-0.057	0.072	3.103	1.647	0.560	3.094	1.634	0.554
İkinci molar	1.293	-0.011	0.161	2.873	1.484	0.417	2.865	1.471	0.411
Anterior nasal spina	3.186	-0.686	1.189	1.395	0.509	-0.089	1.480	0.505	-0.101
Posterior nasal spina	0.357	-0.308	1.275	1.946	-0.263	0.028	2.001	-0.254	0.028
Frontomaksiller sutur	0.000	-0.030	0.013	0.011	1.192	-0.501	0.011	1.183	-0.496
Zigomatikomaksiller sutur	0.003	-0.023	0.003	1.207	2.125	0.159	1.130	2.094	0.100
Frontozigomatik sutur	0.000	-0.023	0.013	0.106	1.554	-0.915	0.162	1.571	-0.902
Zigomatik ark	0.000	-0.015	0.004	0.120	0.844	-0.403	0.159	0.861	-0.418
Medial pterigoid plak	0.038	-0.017	-0.040	1.344	1.008	0.061	1.446	1.023	0.080
Lateral pterigoid plak	0.005	-0.008	-0.022	0.749	0.696	-0.041	0.748	0.690	-0.042
Foramen magnum	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tablo 4.1. Tüm modellerde genişleticinin 5 mm aktivasyonundan sonraki yönlere bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)

(Y, vertikal eksen; X, transversal eksen; Z, sagittal eksen; + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir)

	Tip A Model	Tip B Model	Tip C Model
Anatomik yapılar	Von mises Gerilim (MPa)	Von mises Gerilim (MPa)	Von mises Gerilim (MPa)
Frontomaksiller sutur	0,371	53.73	53.94
Zigomatikomaksiller sutur	0.862	78.09	78.60
Frontozigomatik sutur	0.422	234.2	232.3
Zigomatik ark	0.470	103.0	106.0
Frontonasal sutur	1.080	203.7	201.6
Medial pterigoid plak	68.11	86.55	70.66
Lateral pterigoid plak	7.386	115.6	132.9
Maksiller tuber	0.544	36.35	36.19
Posterior nasal spina	0.001	16.07	15.32
Anterior nasal spina	0.005	9.516	10.93
Mini vida bölgesi		338.9	391.0

Tablo 4.2. Tüm modellerde 5 mm aktivasyonundan sonraki nasomaksiller komplekste oluşan ortalama gerilim dağılımı (MPa) (Von mises gerilim)
(+ basma gerilim değerlerini gösterir, – çekme gerilim değerlerini gösterir)

	Tip A Model			Tip B Model			Tip C Model		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Santral kesici	0.158	-0.026	0.043	0.111	0.039	0.020	0.111	0.039	0.020
Lateral kesici	0.151	-0.022	0.031	0.116	0.052	0.024	0.117	0.052	0.024
Kanin	0.138	-0.016	0.017	0.118	0.061	0.025	0.119	0.062	0.026
Birinci premolar	0.112	-0.012	0.010	0.119	0.063	0.025	0.119	0.064	0.025
İkinci premolar	0.100	-0.008	0.001	0.119	0.065	0.025	0.120	0.065	0.025
Birinci molar	0.088	-0.002	0.002	0.123	0.065	0.022	0.124	0.066	0.022
İkinci molar	0.055	-0.000	0.005	0.114	0.059	0.016	0.114	0.059	0.016
Anterior nasal spina	0.129	-0.030	0.050	0.056	0.020	-0.004	0.055	0.020	-0.003
Posterior nasal spina	0.015	-0.014	0.050	0.077	-0.010	0.001	0.077	-0.010	0.001
Frontomaksiller sutur	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	-0.019	0.000	0.047	-0.020
Zigomatikomaksiller sutur	0.000	0.000	0.000	0.044	0.084	0.003	0.048	0.085	0.006
Frontozigomatik sutur	0.000	0.000	0.000	0.006	0.063	-0.036	0.004	0.062	-0.036
Zigomatik ark	0.000	0.000	0.000	0.006	0.034	-0.016	0.004	0.033	-0.016
Medial pterigoid plak	0.000	-0.000	0.000	0.057	0.041	0.003	0.053	0.040	0.002
Lateral pterigoid plak	0.000	0.000	0.000	0.029	0.027	-0.001	0.029	0.027	-0.001
Foramen magnum	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.020

Tablo 4.3. Tüm modellerde genişleticinin 0,25 mm'lik aktivasyonundan sonraki yönlere bağlı olarak tek taraflı yer değiştirmeler (mm)

(Y, vertikal eksen; X, transversal eksen; Z, sagittal eksen; + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir)

	Tip A Model	Tip B Model	Tip C Model
Anatomik yapılar	Von mises Gerilim (MPa)	Von mises Gerilim (MPa)	Von mises Gerilim (MPa)
Frontomaksiller sutur	0.004	2.156	2.040
Zigomatikomaksiller sutur	0.006	4.614	4.064
Frontozigomatik sutur	0.015	10.60	10.43
Zigomatik ark	0.013	4.441	3.912
Frontonasal sutur	0.016	9.535	9.611
Medial pterigoid plak	0.188	2.651	3.140
Lateral pterigoid plak	0.000	7.059	7.130
Maksiller tuber	0.023	1.464	1.922
Posterior nasal spina	0.148	0.665	0.636
Anterior nasal spina	0.000	0.436	0.391
Mini vida bölgesi	0.004	46.20	39.14

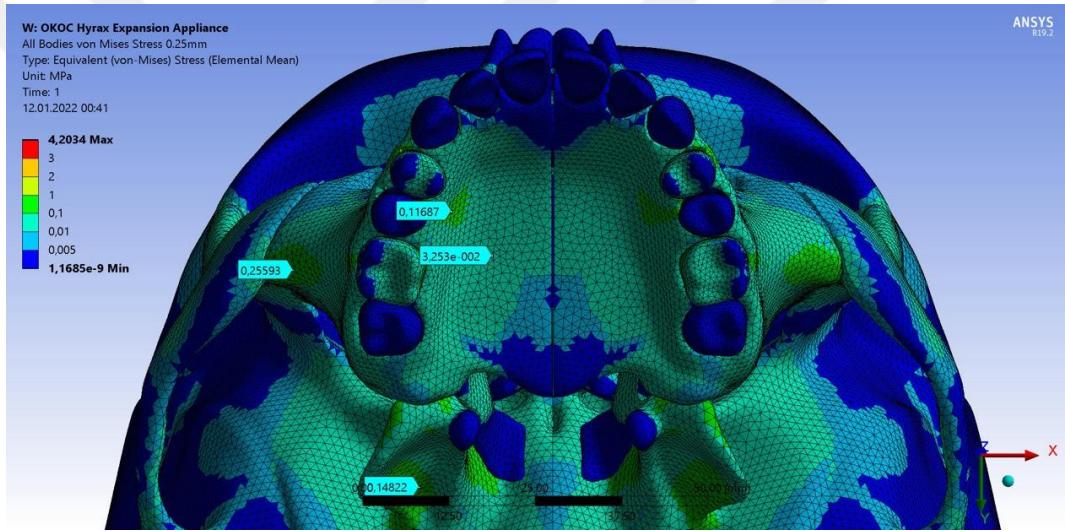
Tablo 4.4. Tüm modellerde 0,25 mm aktivasyonundan sonraki nasomaksiller komplekste oluşan ortalama gerilim dağılımı (MPa) (Von mises gerilim) (+ basma gerilim değerlerini gösterir, – çekme gerilim değerlerini gösterir)

4.1. Tip A Modele Ait Bulgular

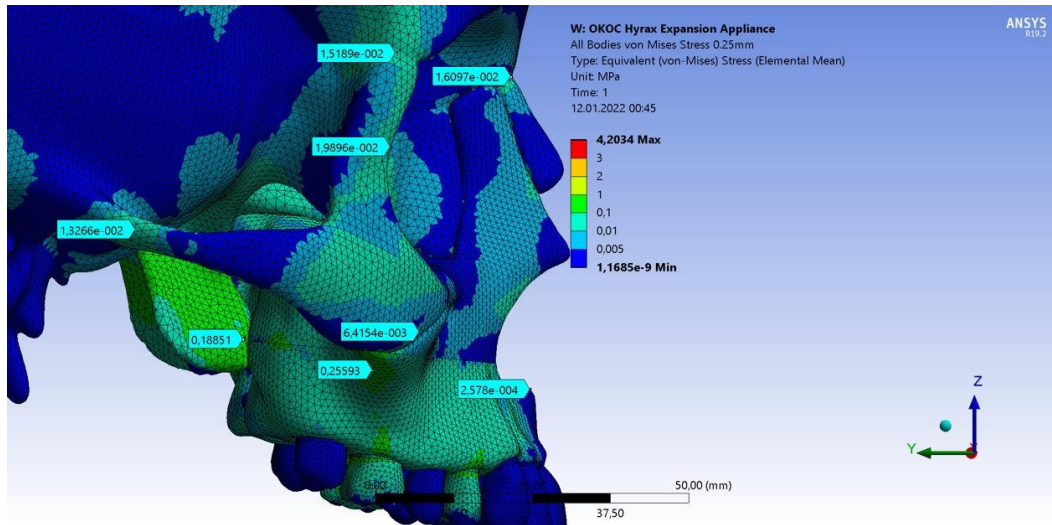
Cerrahi Destekli konvansiyonel hyrax Modeli (4 ve 6 bantlı) ile yapılan 0,25 mm'lik ve 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von mises gerilmeleri Tablo 4.4'te ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.1'de verilmiştir.

4.1.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri

Tip A modele ait Von mises değerleri Tablo 4.4'te ve Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Tabloda yer alan yer alan pozitif değerler basma gerilim değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



Şekil 4.1. Tip A modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik genişletme (okluzal görünüm)

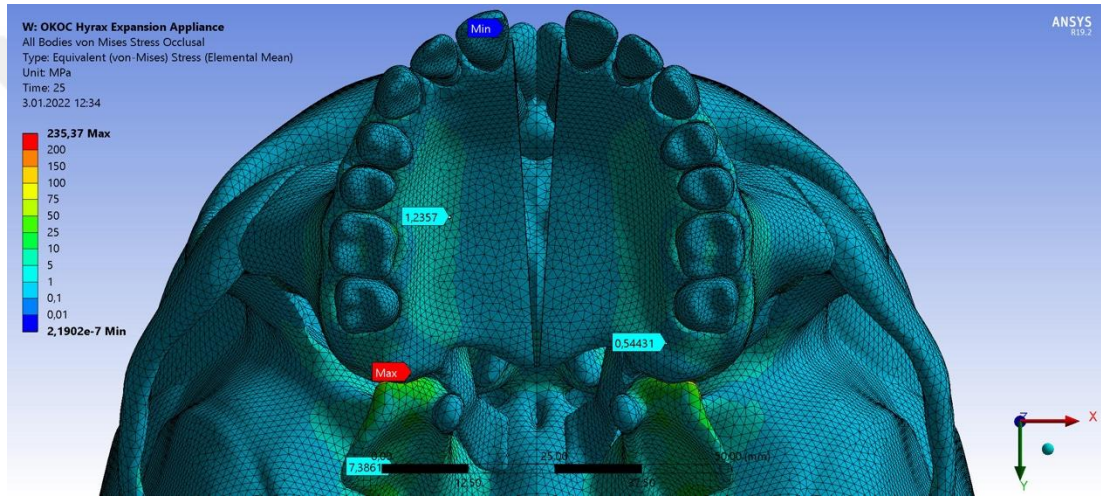


Şekil 4.2. Tip A modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik genişletme (sagittal görünüm)

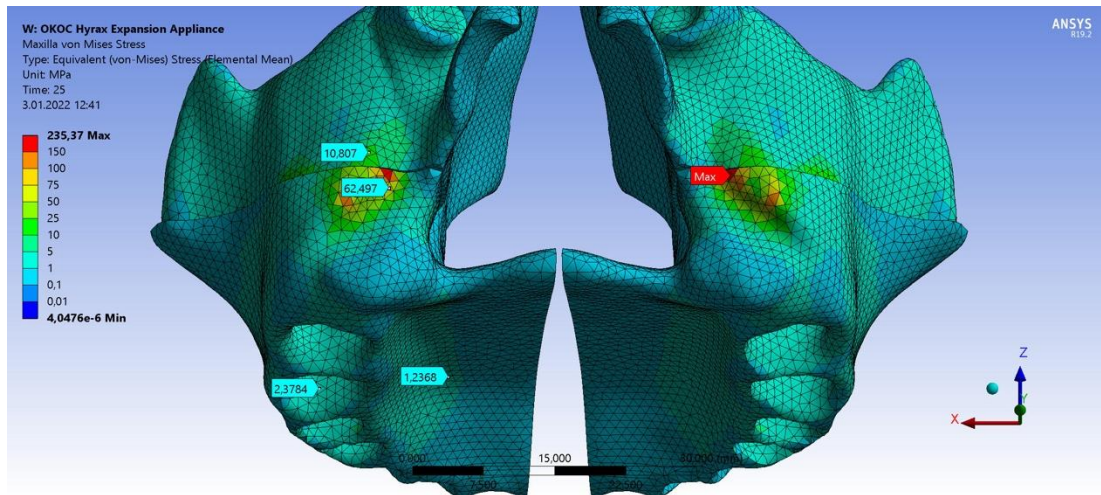
Maksimum Von mises gerilmeleri medial pterigoid plak (0,188 MPa) ve PNS (0,148 MPa) bölgesinde görüldü. Zigomatik ark ve kraniyofasiyal suturlarda (~0,02 MPa) ihmal edilebilecek düzeyde stres görüldü (Tablo 4.4).

4.1.2. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri

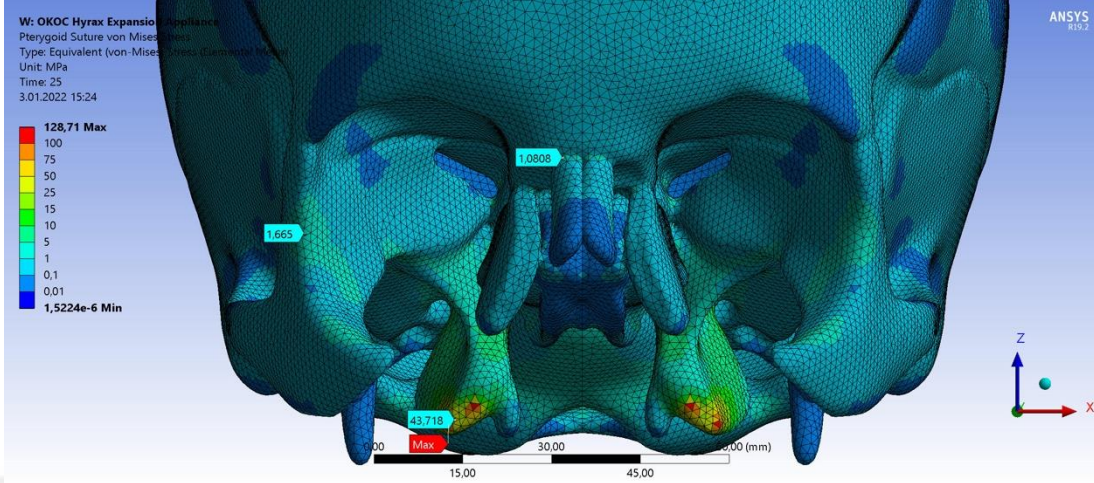
Tip A modele ait Von mises değerleri Tablo 4.2'de ve Şekil 4.3-6'de verilmiştir. Tabloda yer alan yer alan pozitif değerler basma gerilim değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



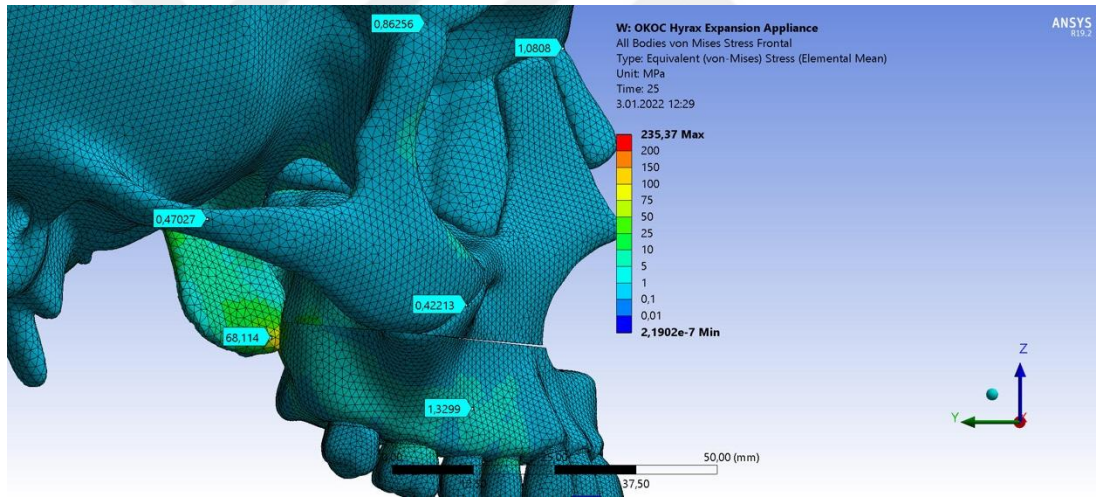
Şekil 4.3. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.4. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)



Şekil 4.5. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)



Şekil 4.6. Tip A modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagittal görünüm)

Maksimum Von mises gerilmeleri medial pterigoid plak (68,1 MPa) ve lateral pterigoid plakta (7,386 MPa) görüldü (Tablo 4.2).

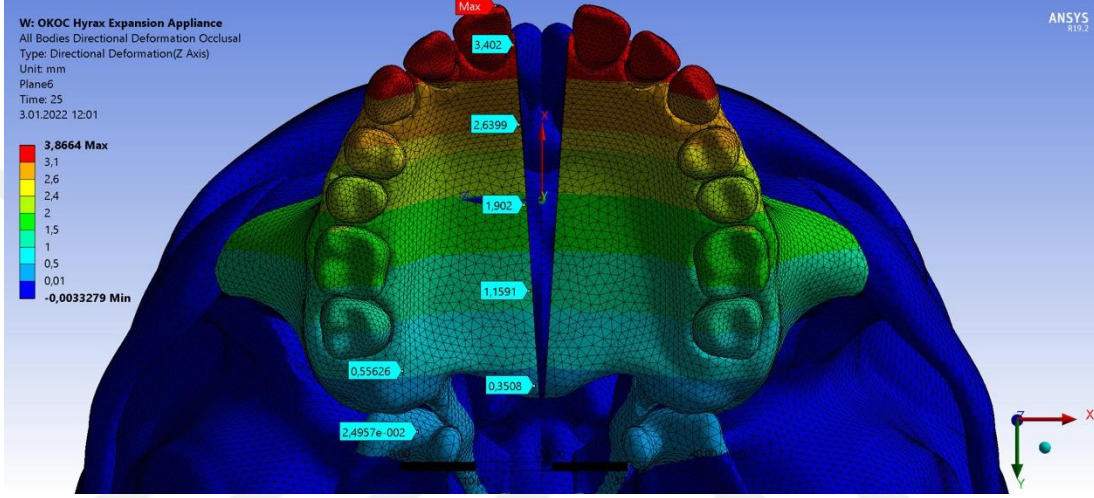
Frontonasal sutur (1,080 MPa) ve zigomatikmaksiller suturda (0,892 MPa) düşük Von mises gerilme değerleri görüldü (Tablo 4.2).

Frontomaksiller sutur, frontozigomatik sutur, zigomatik ark, tuber maksilla bölgelerinde (~0,400 MPa) düşük Von mises gerilme değerleri görüldü (Tablo 4.2).

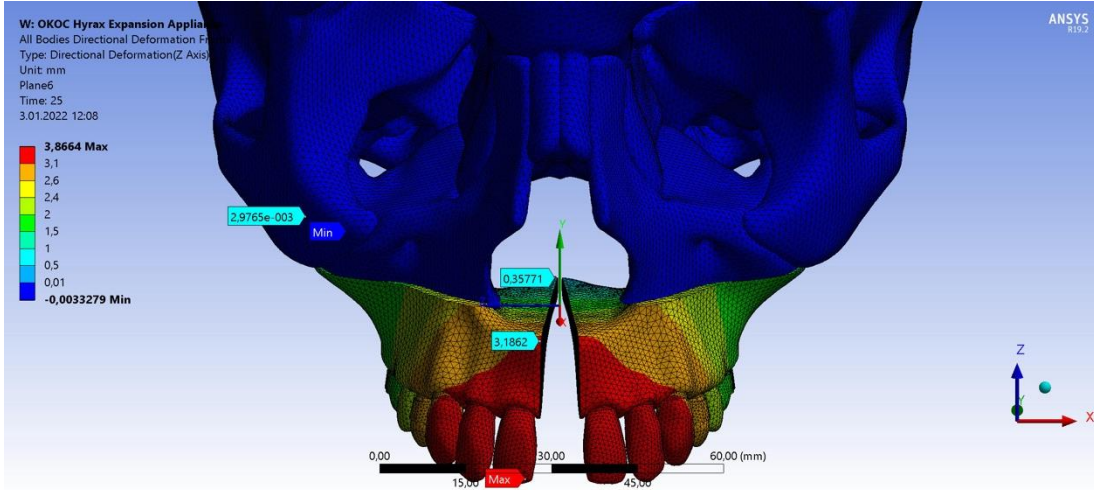
4.1.3. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değişirme Miktarları

Transversal düzlemde yer değiştirme dağılımı

Tip A modeline ait transversal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'da verilmiştir. Tablo da transversal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.7. Tip A modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.8. Tip A modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)

	A	B	C	D	E
Tip A Model	3,402	2,639	1.902	1.591	0.350
Tip B Model	2.151	2.053	2.300	2.230	2.172
Tip C Model	2,164	2.068	2.502	2.208	2.175

Tablo 4.5. Midpalatal sutur ölçüm noktaları yer değiştirmeler (mm)

Transversal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde frontal açıdan tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede, oklüzal açıdan bakıldığında midpalatal suturda, anteriorda daha fazla posteriorda daha az olmak üzere ‘V’ şeklinde bir açılma görüldü.

Midpalatal suturda, A noktası (3,402 mm), B noktası (2,6399 mm), C noktası (1,902 mm), D noktası (1,1591 mm) ve E noktası (0,3508 mm) lateral yönde açılma gösterdi (Tablo 4.5).

Anterior yapıların lateral yönde yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha fazla bulundu. Benzer olarak inferior yapılarda superior yapılara göre daha fazla lateral yer değiştirme görüldü.

En fazla lateral yer değiştirme miktarı santral kesici dişte (3,866 mm) oldu. Lateral, kanin, premolar dişler ve ANS noktasında da lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulundu (Tablo 4.1).

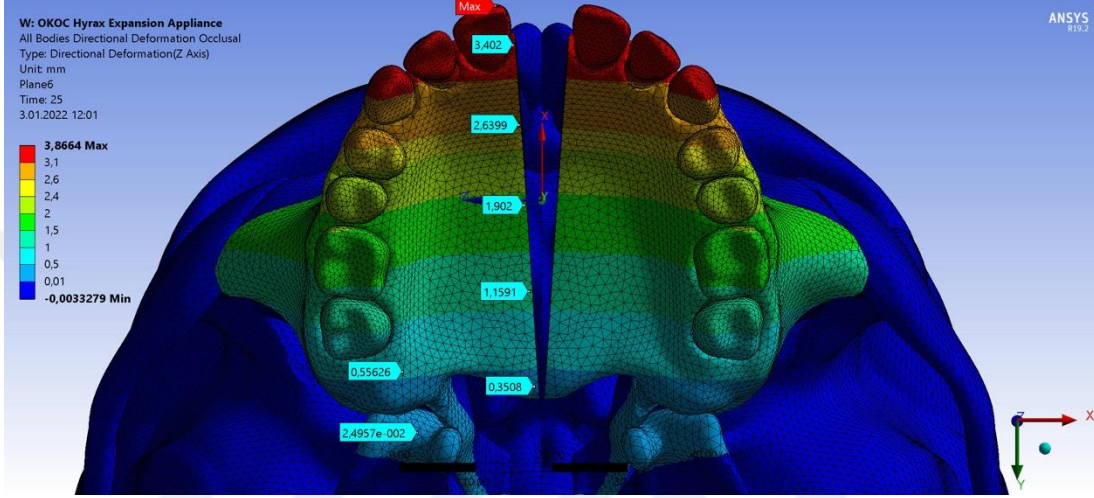
Posterior nasal spina da anterior nasal spinadan (ANS 3,186 mm - PNS 0,357 mm) daha az lateral hareket gözlenirken; birinci molar ve ikinci molar dişlerde de (2,029 mm ve 1,293 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Medial ve lateral pterigoid plaklarda az miktarda lateral yönde hareket (0,038 mm ve 0,005 mm) görüldü (Tablo 4.1).

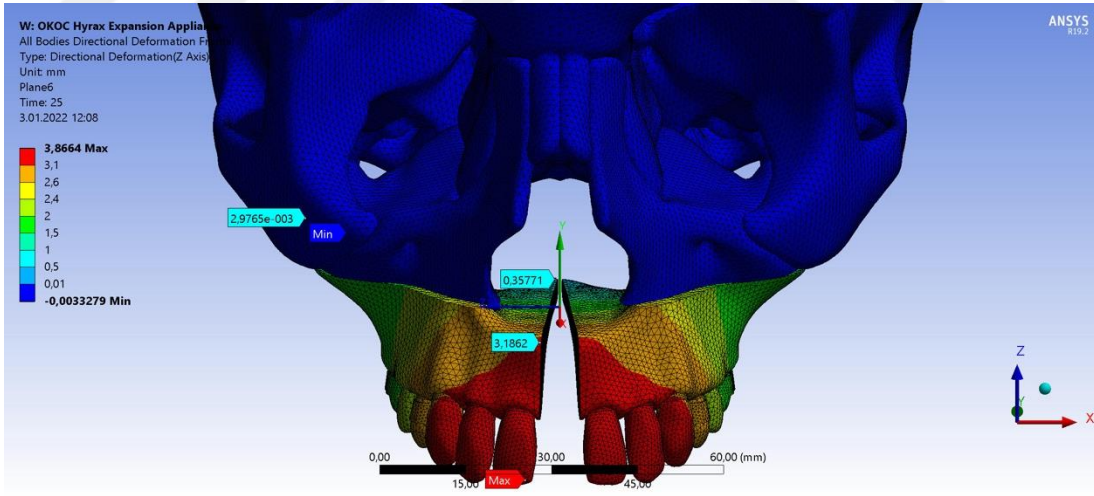
Frontomaksiller sutur, frontozigomatik sutur, zigomatik arkta hareket gözlenmezken zigomatikomaksillar suturda ihmal edilecek düzeyde (0,003 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Sagittal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip A modeline ait sagittal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'de verilmiştir. Tablo da sagittal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Tip A modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.10. Tip A modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (frontal görünüm)

Sagittal yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde anterior yapılar anterior yönde yer değiştirme eğilimi gösterirken, posterior bölgedeki yapılar daha az yer değiştirme eğilimi gösterdi.

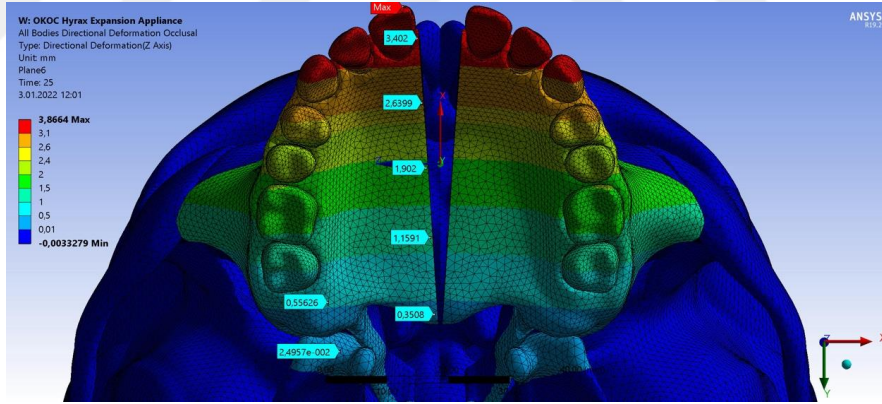
En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar santral kesici (1,026 mm), lateral kesici (0,737 mm), kanin (0,405 mm), ANS (1,189 mm), PNS (1,275 mm) oldu (Tablo 4.1).

Posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise medial pterigoid plak (-0,040 mm) ve lateral pterigoid plak (-0,022 mm) oldu (Tablo 4.1).

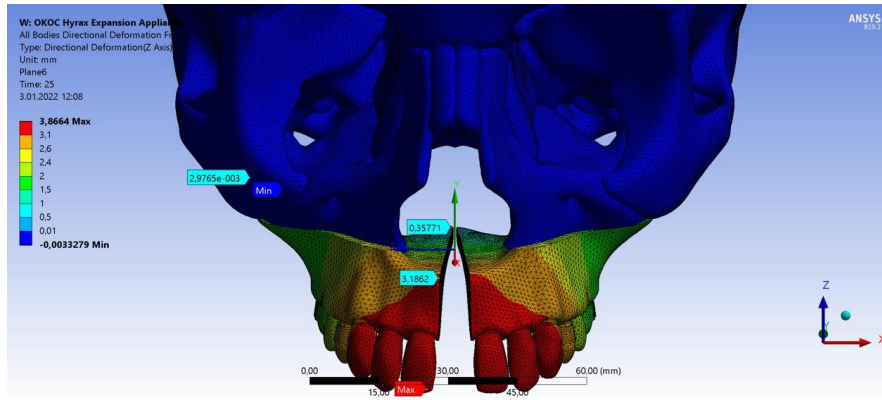
Frontomaksiller sutur, frontozigomatik sutur, zigomatik ark zigomatikomaksillar suturda ihmal edilecek düzeyde (0,013 mm, 0,013 mm, 0,04 mm ve 0,03 mm) anterior hareket görüldü (Tablo 4.1).

Frontal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip A modeline ait frontal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'te verilmiştir. Tablo da frontal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.11. Tip A modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.12. Tip A modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (frontal görünüm)

Vertikal yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın bölgeye yakın yapılar inferior yönde daha fazla yer değiştirme eğilimi gösterirken, lateral bölgeye yakın yapılar inferior yönde daha az yer değiştirme eğilimi gösterdi.

En fazla inferior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ANS noktası (-0,686 mm), PNS noktası (-0,308 mm), santral kesici (-0,594 mm), lateral kesici (-0,494 mm), kanin (-0,372 mm) olmuştur. Kesici dişler, kanin ve premolar dişler bölgesinde, nazal bölgeye yakın kraniyofasiyal suturlarda (frontomaksiler sutur, zigomatikmaksiller sutur, frontozigomatik sutur ve zigomatik arkta) inferior yönde daha fazla miktarda hareket görüldü (Tablo 4.1).

Frontomaksiler sutur, zigomatikmaksiller sutur, frontozigomatik sutur ve zigomatik arkta, medial pterigoid plak ve lateral pterigoid bölgesinde hafif derecede (- ~0,02 mm) inferior yönde hareket görüldü (Tablo 4.1).

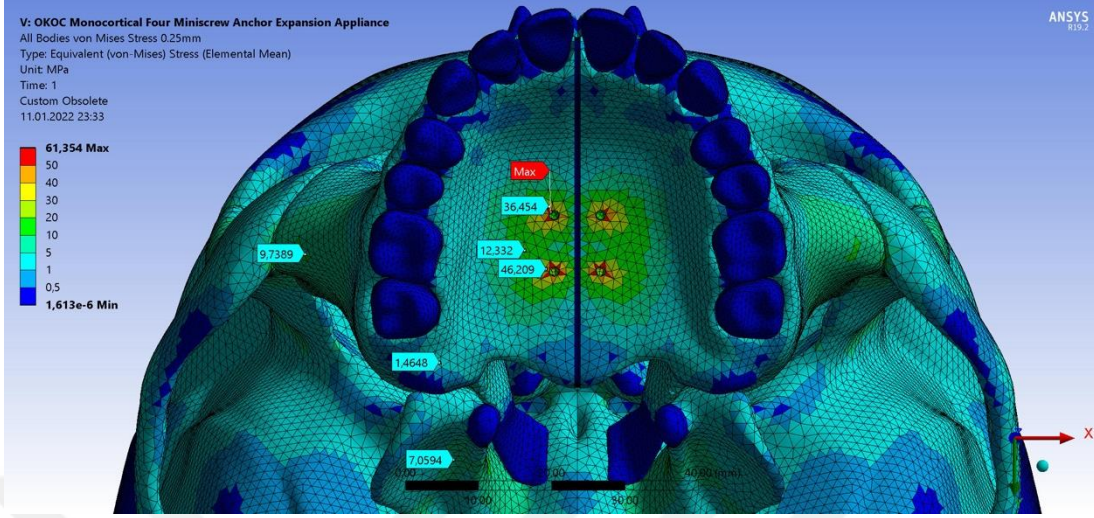
Lateral pterigoid plakta görülen yer değişimi (-0,008 mm) ihmal edilebilecek düzeydedir (Tablo 4.1).

4.2. Tip B Modele Ait Bulgular

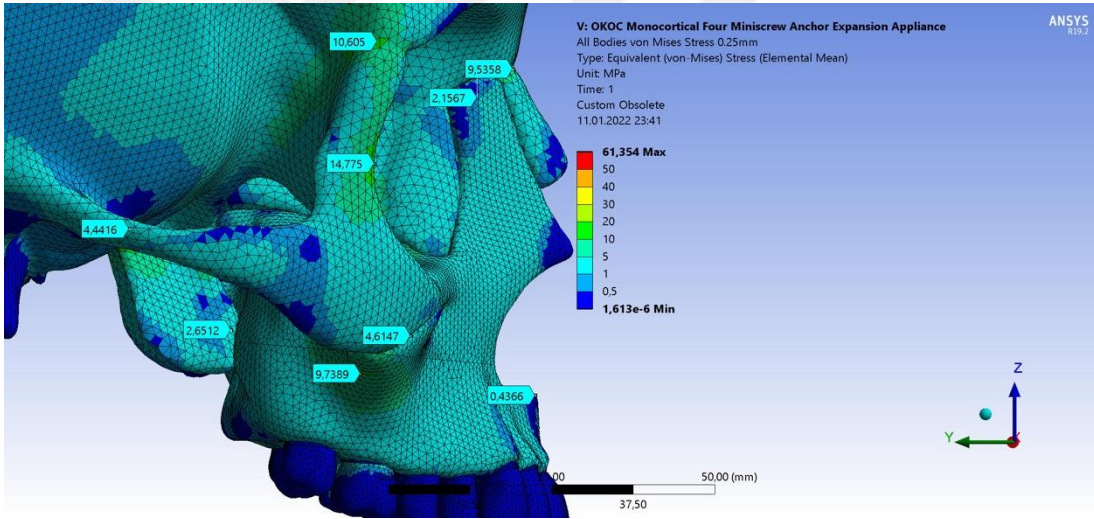
Diş destekli (6 bantlı) monokortikal yerleşimli MVDHÜÇG modeli ile yapılan 0,25 mm'lik ve 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von mises gerilmeleri Tablo 4.4'te ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.1'de verilmiştir.

4.2.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri

Tip A modele ait Von mises değerleri Tablo 4.4'te, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir. Tabloda yer alan yer alan pozitif değerler basma gerilim değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



Şekil 4.13. Tip B modele ait Von mises değerleri (okluzal görünüm)

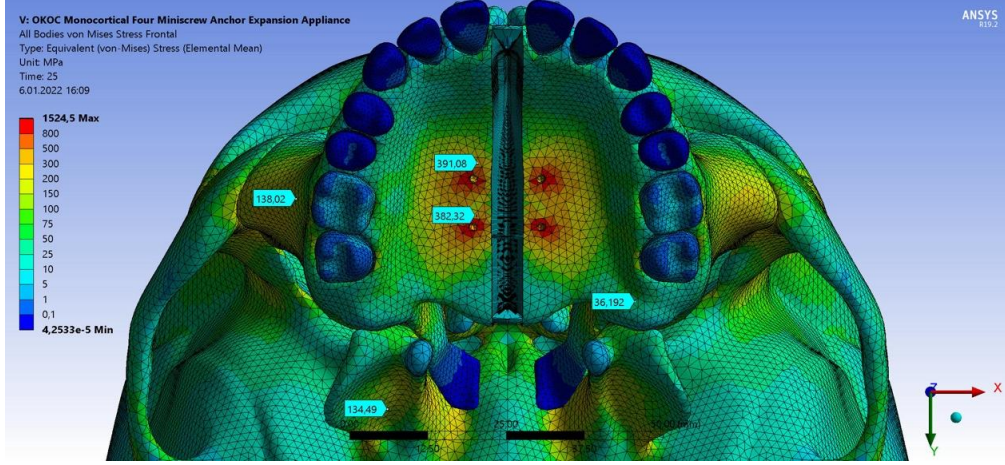


Şekil 4.14. Tip B modele ait Von mises değerleri (sagital görünüm)

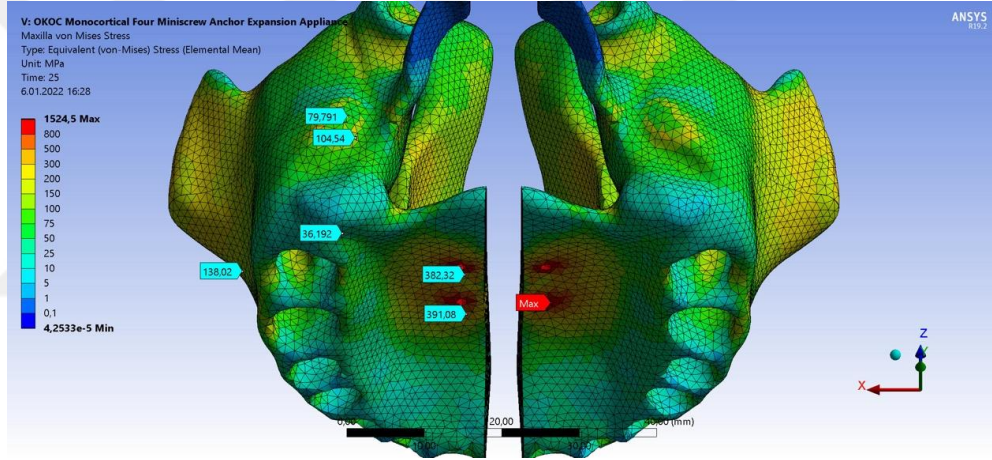
Maksimum Von mises gerilmeleri Mini vida (46,20 MPa) bölgesinde görüldü. Medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri (2,651 MPa, 7,059 MPa), sutura frontozigomatik (10,60 MPa) ve frontonasal sutur (9,535 MPa) bölgelerinde de belirgin Von mises gerilmeleri görüldü (Tablo 4.4).

4.2.2. 5 mm'lik Genişlemeye Ait Von mises Gerilmeleri

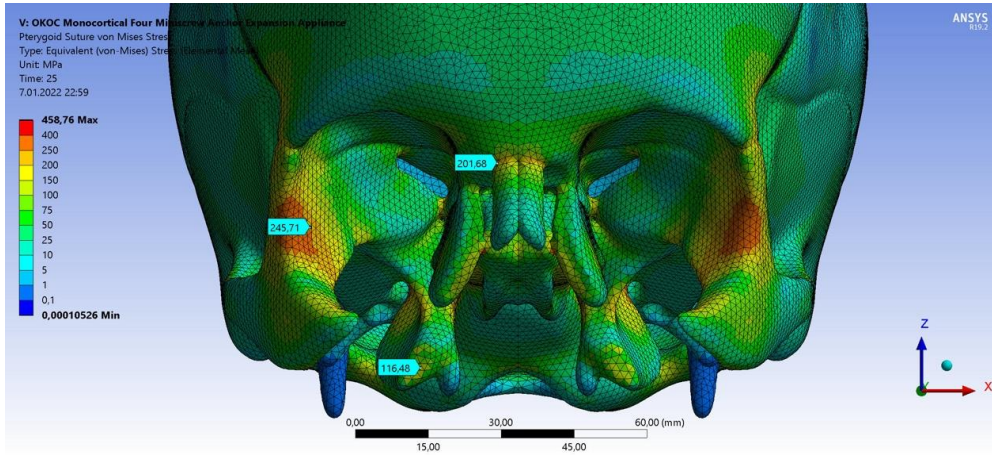
Tip B modele ait Von mises değerleri Tablo 4.2'de ve Şekil 4.15-18'da verilmiştir. Tabloda yer alan pozitif değerler basma gerilim değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



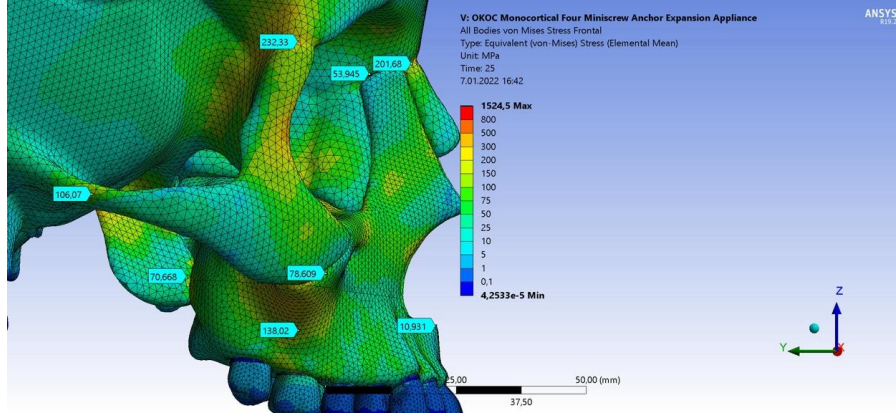
Şekil 4.15. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.16. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)



Şekil 4.17. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)



Şekil 4.18. Tip B modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagittal görünüm)

Maksimum Von mises gerilmeleri mini implant bölgeleri (338,9 MPa), frontonasal sutur (203,7 MPa) ve frontozigomatik suturda (234,2 MPa) görüldü (Tablo 4.2).

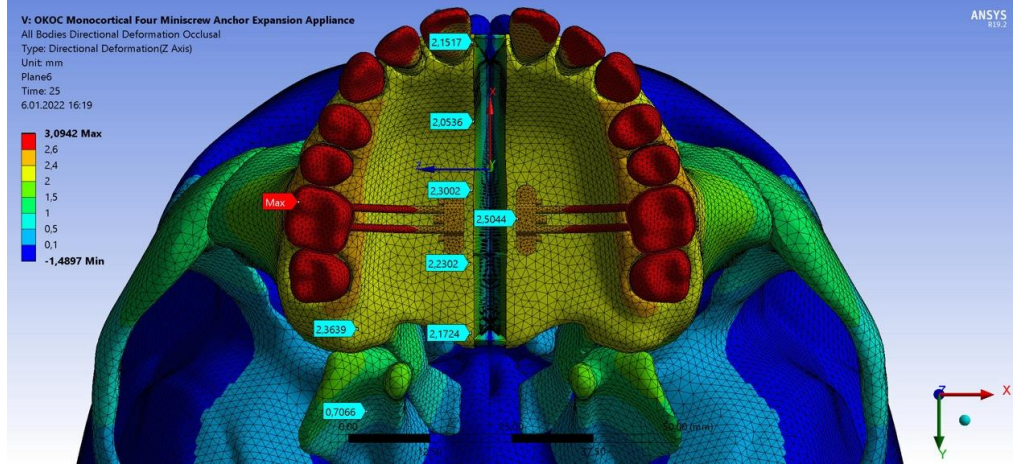
Medial pterigoid plak (86,55 MPa) ve lateral pterigoid plakta (115,6 MPa) Von mises gerilmeleri görüldü (Tablo 4.2).

Frontomaksiller sutur (53,73 MPa), zigomatikmaksiller sutur (78,09 MPa), zigomatik ark (103 MPa), tuber maksilla bölgelerinde (36,35 MPa), ANS (9,516 MPa) ve PNS (16,07 MPa) noktasında Von mises gerilmeleri görüldü (Tablo 4.2).

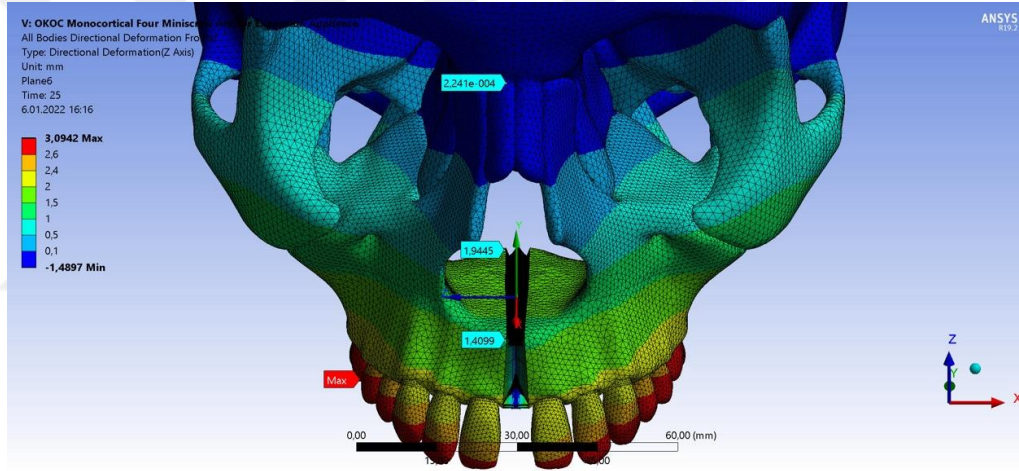
4.2.3. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

Transversal Düzlemde Yer Değiştirme Miktarları

Tip B modeline ait transversal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Tablo da transversal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.19. Tip B modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.20. Tip B modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)

Transversal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde frontal açıdan tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede paralele yakın bir açılma görülürken, oklüzal açıdan bakıldığında midpalatal suturda, Mini vida bölgelerinde bir miktar daha fazla olmak üzere paralel bir açılma görüldü.

Midpalatal suturda, A noktası (2,151 mm), B noktası (2,053 mm), C noktası (2,300 mm), D noktası (2,230 mm) ve E noktası (2,172 mm) lateral yönde açılma gösterdi (Tablo 4.5).

Anterior yapıların lateral yönde yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha az bulundu. Benzer olarak inferior yapılarda süperior yapılara göre bir miktar fazla lateral yer değiştirme görüldü.

En fazla lateral yer değiştirme miktarı birinci molar dişte (3,103 mm) olmuştur. Santral kesici, lateral, kanin, premolar dişler ve molar dişlerde lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulundu (Tablo 4.1).

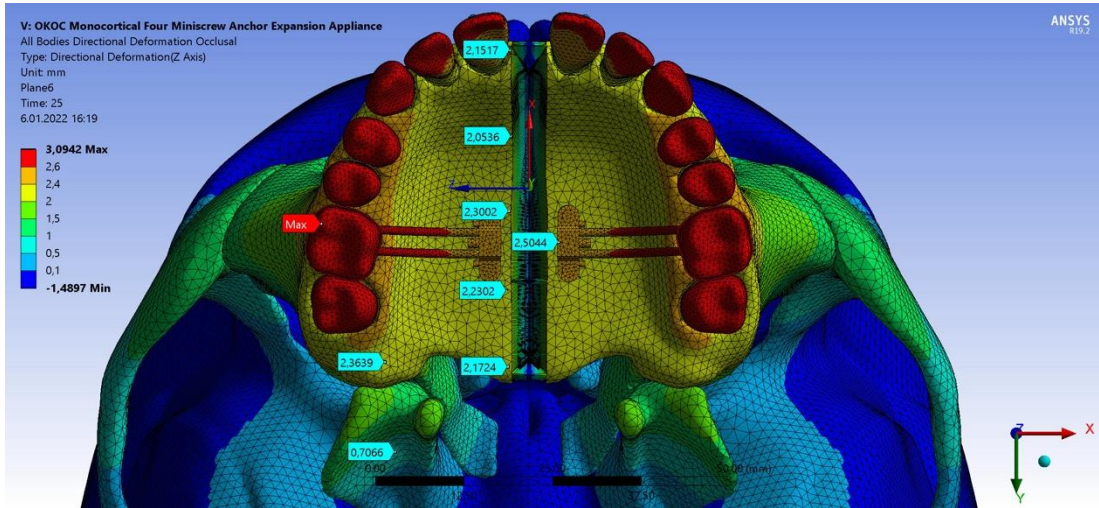
Posterior nasal spina da 1,946 mm lateral hareket gözlenirken, anterior nasal spinada daha az 1,395 mm lateral hareket gözlenmiştir. Birinci molar ve ikinci molar dişlerde de (3,103 mm ve 2,873 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Medial ve lateral pterigoid plakların lateral yönde hareketleri (1,344 mm ve 0,749 mm) görüldü (Tablo 4.1).

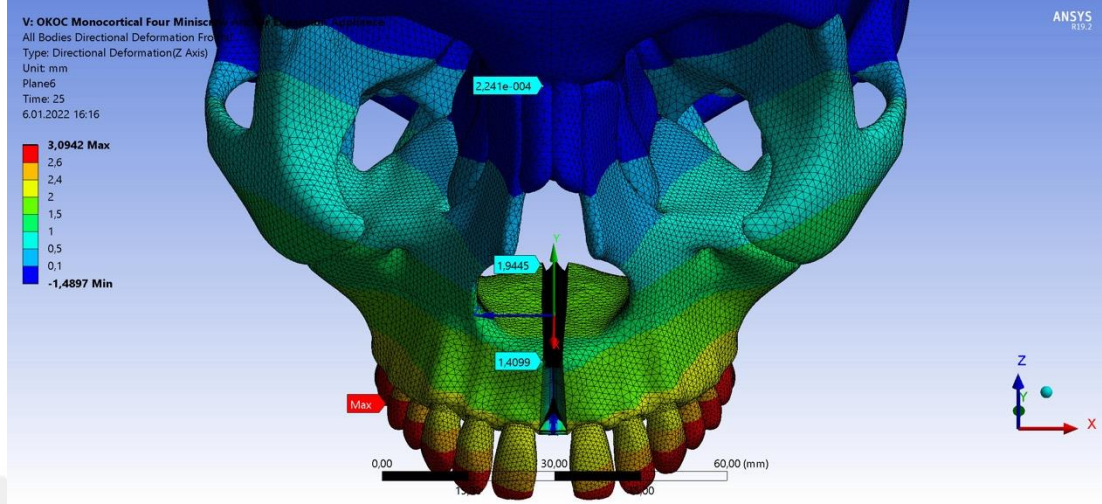
Frontomaksiller sutur, frontozigomatik sutur, zigomatik arkta (0,011 mm, 0,106 mm ve 0,120 mm) lateral hareket gözlenirken; zigomatikomaksillar suturda daha fazla lateral hareket (1,207 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Sagittal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip B modeline ait sagittal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de verilmiştir. Tablo da sagittal yn için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.21. Tip B modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.22. Tip B modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (frontal görünüm)

Sagittal yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde anterior yapılar ve posterior bölgedeki yapılar benzer yer değiştirme miktarı gösterdi.

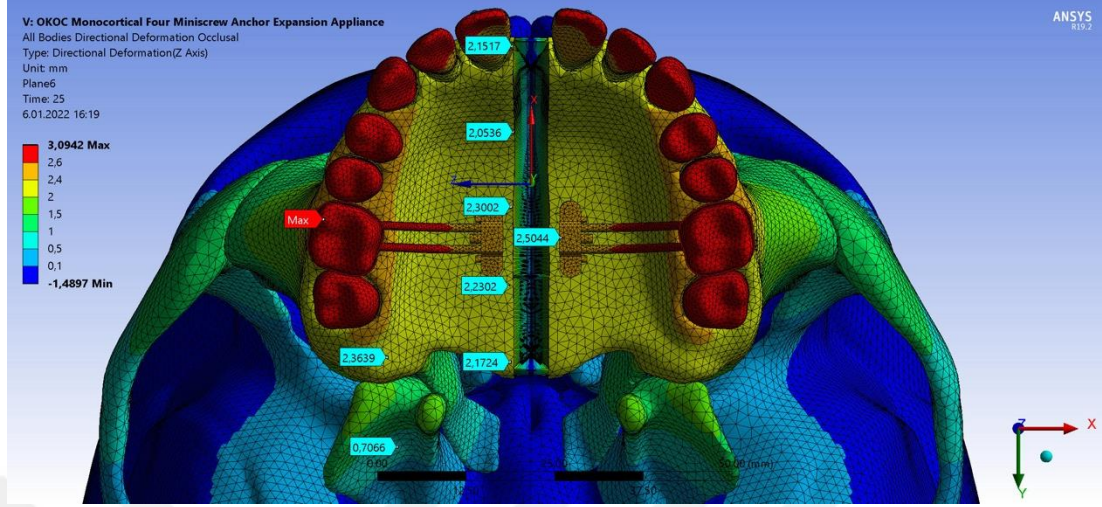
En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar lateral kesici (0,624 mm), kanin (0,655 mm), birinci premolar (0,646 mm) ve ikinci premolar (0,637 mm) oldu (Tablo 4.1).

Posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise ANS (-0,089 mm), frontomaksiller sutur (-0,501 mm), frontozigomatik sutur (-0,915), zigomatik ark (-0,403) ve lateral pterigoid plak (-0,041 mm) oldu (Tablo 4.1).

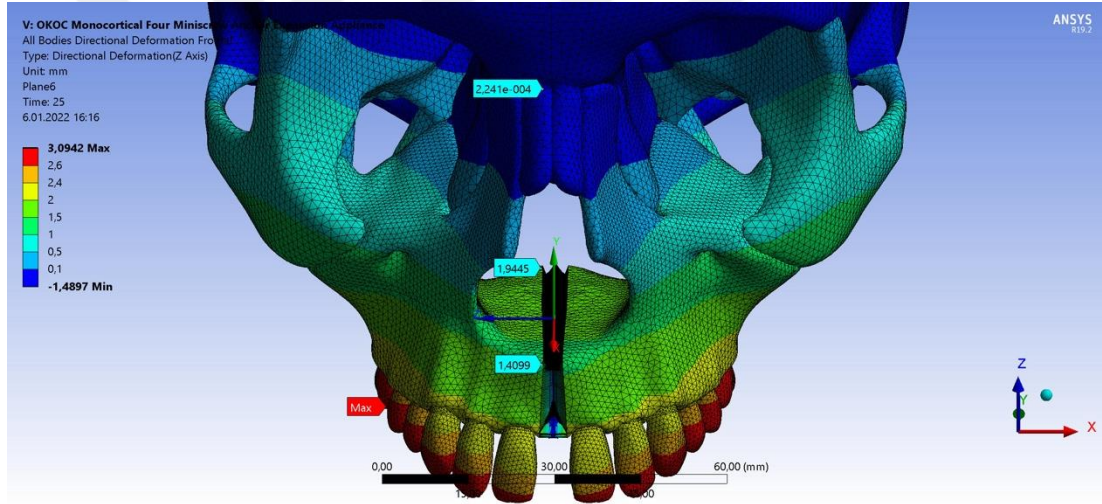
Anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise PNS (0,028 mm), zigomatikmaksiller sutur (0,159 mm) ve medial pterigoid plak (0,061 mm) oldu (Tablo 4.1).

Frontal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip B modeline ait frontal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir. Tablo da frontal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.23. Tip B modele ait yer değıştirme - vertikal değeriendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.24. Tip B modele ait yer değıştirme - vertikal değeriendirme (frontal görünüm)

Vertikal yönde yer değıştirmeler genel olarak değeriendirildiğinde orta hatta yakın bölgelere yakın yapılar ile lateral bölgeye yakın yapılar superior yönde benzer yer değıştirme eğilimi gösterdi.

Anterior bölgede yer alan yapılar ile posterior yönde yer alan yapılar superior yönde benzer yer değıştirme eğilimi gösterdi.

En fazla superior yönde yer değıştirme gösteren yapılar zigomatikomaksiller sutur (2,125, mm), frontozigomatik sutur (1,554), frontomaksiler sutur (1,192 mm), kanin (1,316 mm), birinci premolar (1,607 mm), ikinci premolar (1,637 mm) ve birinci molar (1,647 mm)

oldu. Zigomatikomaksiller suturda, kesici dişler, kanin ve premolar dişler bölgesine göre daha fazla superior yönde hareket gösterdi (Tablo 4.1).

Dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gittikçe artan miktarlarda superior yönde hareket görüldü. Santral kesici diş bölgesinde 0,980 mm superior yönde hareket gözlenirken, birinci molar diş bölgesinde 1,647 mm superior yönde hareket gösterdi (Tablo 4.1).

Medial pterigoid plakta (1,008 mm) ve lateral pterigoid plakta (0,696 mm) superior yönde yer değişimi gösterdi (Tablo 4.1).

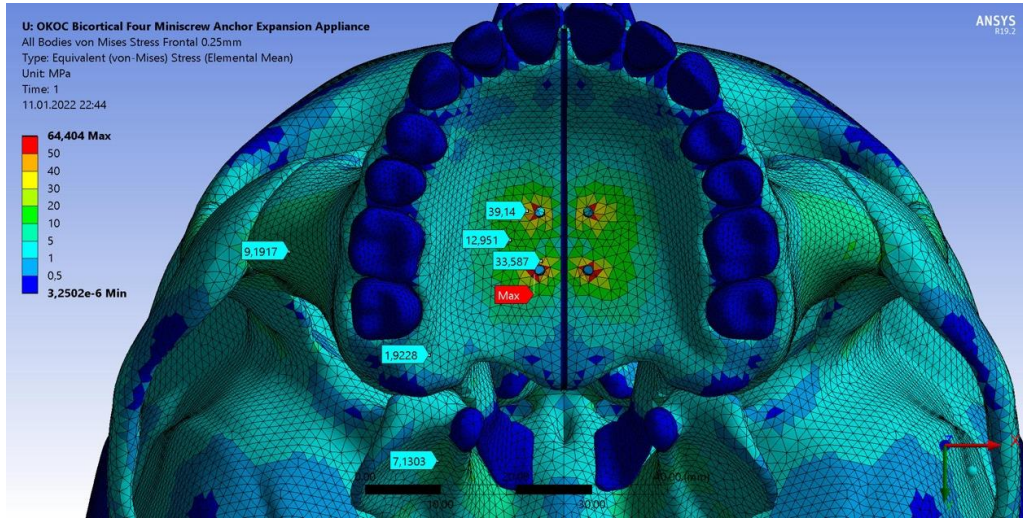
PNS noktasında az miktarda (-0,2563 mm) inferior yönde hareket gösterdi (Tablo 4.1).

4.3. Tip C Modele Ait Bulgular

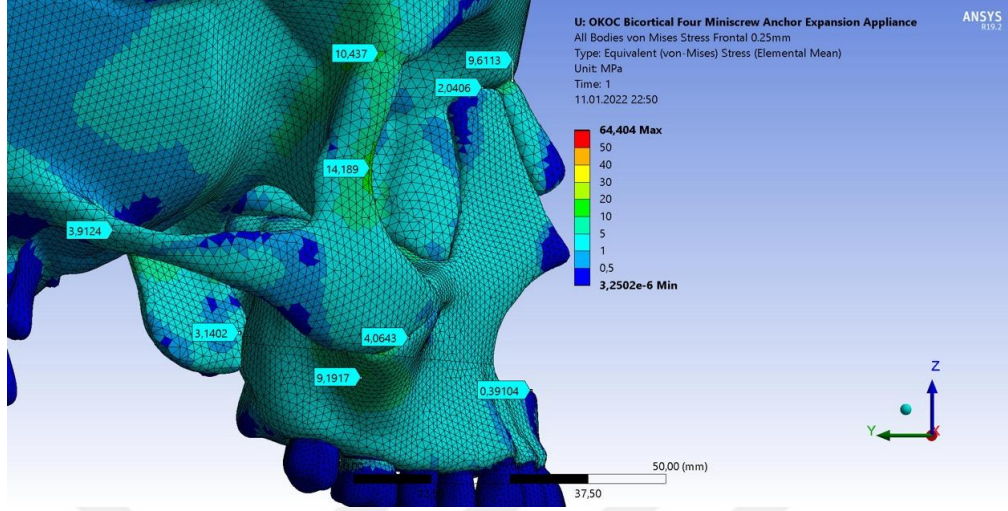
Diş destekli (6 bantlı) bikortikal yerleşimli MVDHÜÇG modeli ile yapılan 0,25 mm'lik ve 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von mises gerilmeleri Tablo 4.4'te ve 5 mm'lik genişletme sonucu yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.1'de verildi.

4.3.1. 0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri

Tip A modele ait Von mises değerleri Tablo 4.4'te, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'de verilmiştir. Tabloda yer alan yer alan pozitif değerler baskı değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



Şekil 4.25. Tip C modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)

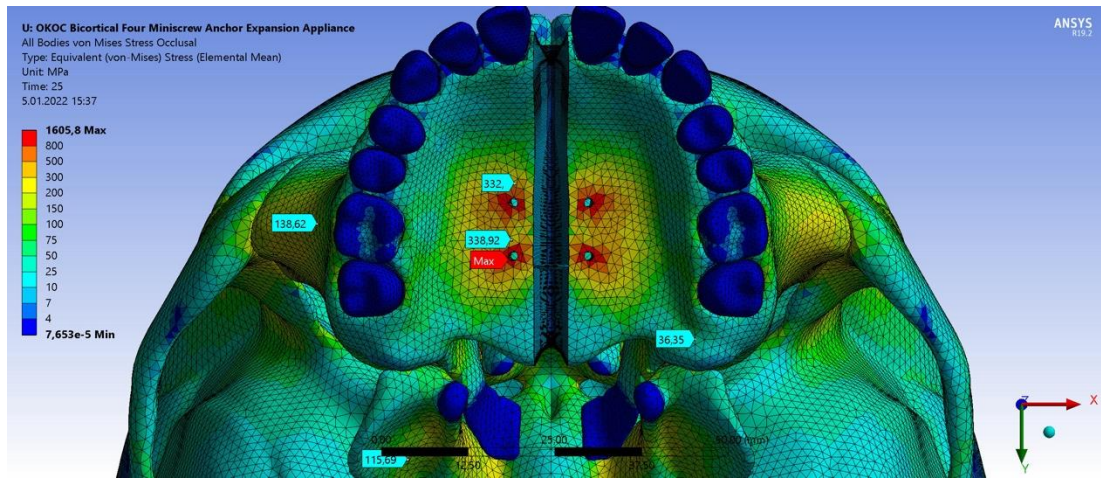


Şekil 4.26. Tip C modele ait Von mises değerleri - 0,25 mm'lik değerlendirme (sagital görünüm)

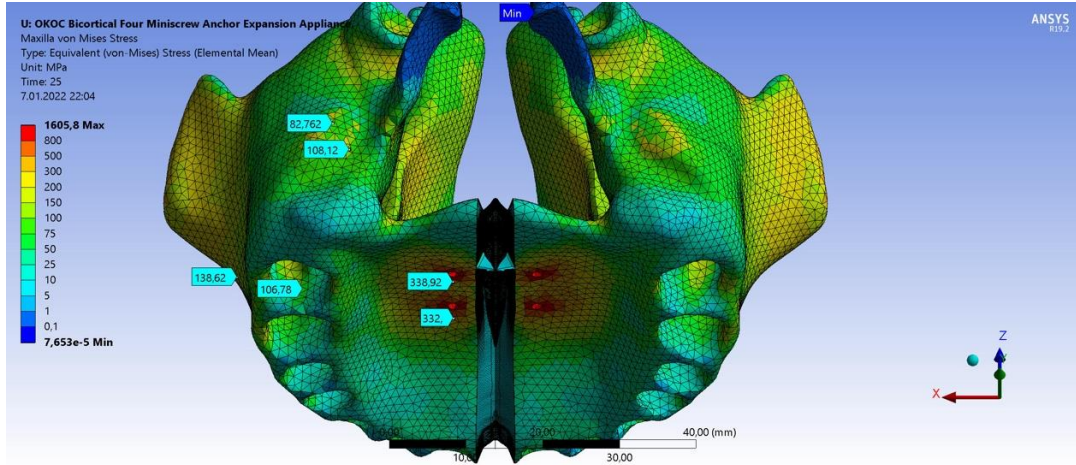
Maksimum Von mises gerilmeleri Mini vida (39,14 MPa) bölgesinde görüldü. Medial ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri (3,140 MPa, 7,130 MPa), frontozigomatik sutur (10,43 MPa), frontonasal sutur (9,611 MPa) bölgelerinde de belirgin Von mises görülmeleri görüldü (Tablo 4.2).

4.3.2. 5 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilmeleri

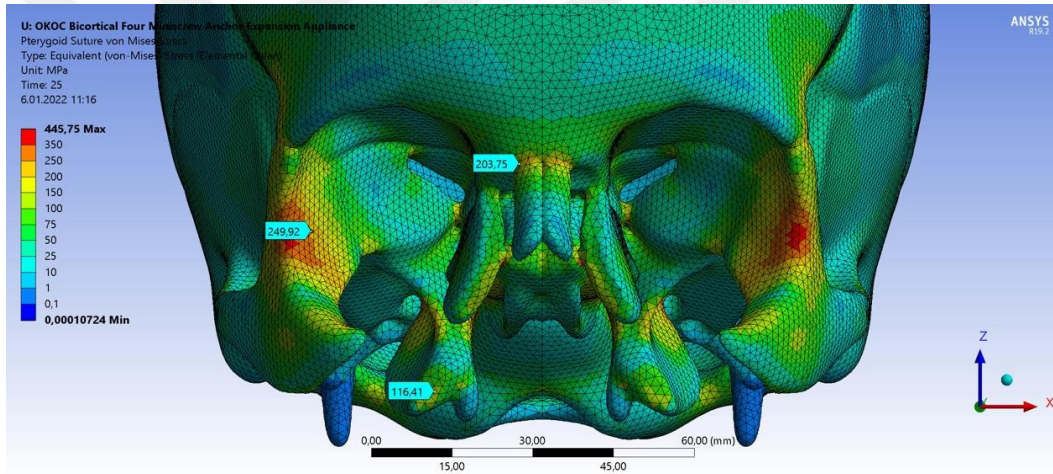
Tip C modele ait Von mises değerleri Tablo 4.2'de ve Şekil 4.27-30'de verilmiştir. Tabloda yer alan yer alan pozitif değerler baskı değerlerini, negatif değerler çekme gerilim değerlerini ifade eder.



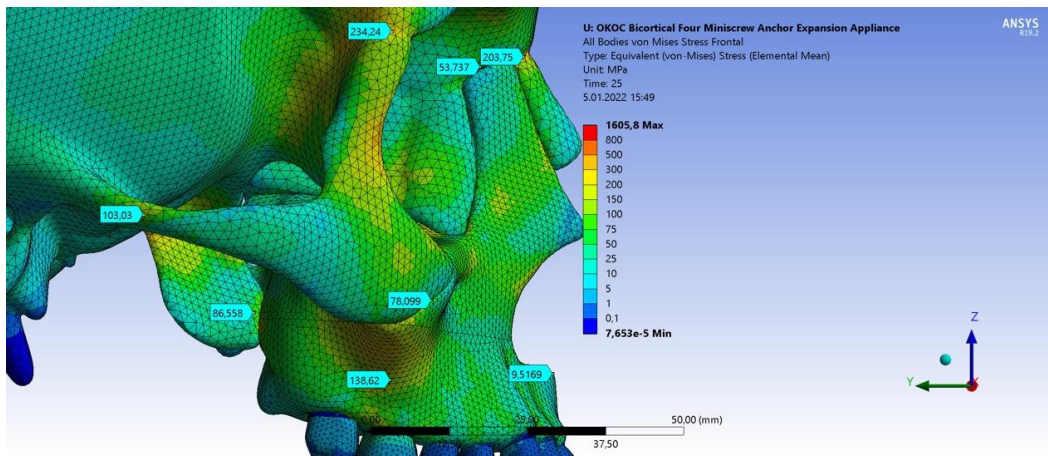
Şekil 4.27. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.28. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (posterior görünüm)



Şekil 4.29. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (frontal görünüm - maksilla hariç)



Şekil 4.30. Tip C modele ait Von mises değerleri - 5 mm'lik değerlendirme (sagittal görünüm)

Maksimum Von mises gerilmeleri mini implant bölgeleri (391 MPa), frontozigomatik suturda (232,3 MPa) ve frontonasal suturda (232,3 MPa) görüldü (Tablo 4.2).

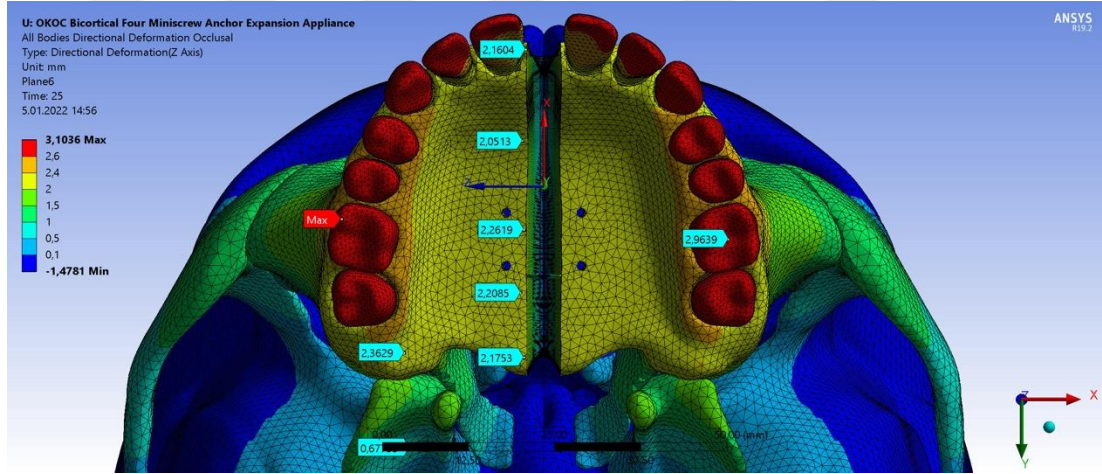
Medial pterigoid plak (70,66 MPa) ve lateral pterigoid plakta (132,9 MPa) Von mises gerilmeleri görüldü (Tablo 4.2).

Frontomaksiller sutur (53,94 MPa), zigomatikmaksiller sutur (78,60 MPa), zigomatik ark (106 MPa), tuber maksilla bölgelerinde (36,19 MPa), ANS (10,93 MPa) ve PNS (15,32 MPa) noktasında Von mises gerilmeleri görüldü (Tablo 4.2).

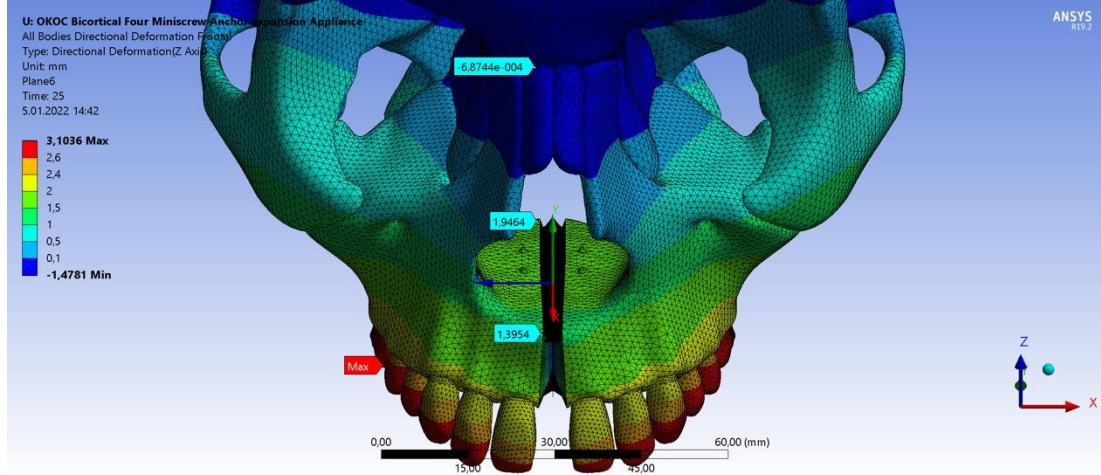
4.3.3. 5 mm'lik Genişlemeye Ait Yer Değişirme Miktarları

Transversal Düzlemde Yer Değişirme Miktarları

Tip C modele ait transversal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'te verilmiştir. Tablo 4.1'de transversal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.31. Tip C modele ait yer değişikirme - transversal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.32. Tip C modele ait yer değiştirme - transversal değerlendirme (frontal görünüm)

Transversal yönde yer değiştirmeler değerlendirildiğinde frontal açıdan tabanı kesici dişler bölgesinde ve tepesi nazal bölgede paralele yakın bir açılma görülürken, oklüzal açıdan bakıldığında midpalatal suturda, Mini vida bölgelerinde bir miktar daha fazla olmak üzere paralel bir açılma görüldü.

Midpalatal suturda, A noktası (2,164 mm), B noktası (2,068 mm), C noktası (2,502 mm), D noktası (2,208 mm) ve E noktası (2,175 mm) lateral yönde açılma gösterdi (Tablo 4.5).

Anterior yapıların lateral yönde yer değiştirmesi posterior yapıların lateral yer değiştirmesine göre daha az bulundu. Benzer olarak inferior yapılarda süperior yapılara göre daha fazla lateral yer değiştirme görüldü.

En fazla lateral yer değiştirme miktarı birinci molar dişte (3,094 mm) oldu. Santral kesici, lateral, kanin, premolar dişler ve molar dişlerde lateral yönde yer değiştirme miktarları fazla bulundu (Tablo 4.1).

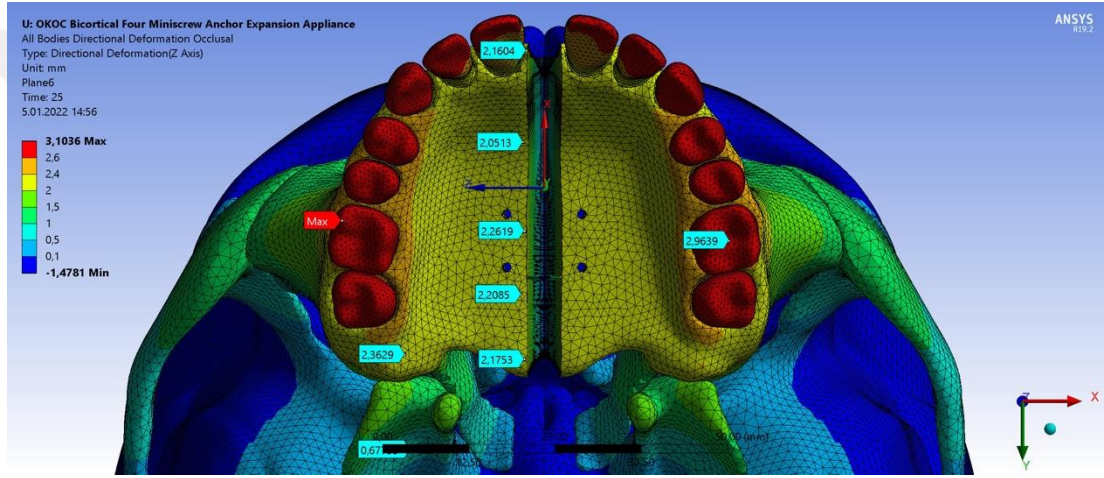
Posterior nasal spina da 2,001 mm lateral hareket gözlenirken, anterior nasal spinada daha az 1,480 mm lateral hareket görüldü. Birinci molar ve ikinci molar dişlerde de (3,094 mm ve 2,865 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Medial ve lateral pterigoid plakların lateral yönde hareketleri (1,446 mm ve 0,748 mm) görüldü (Tablo 4.1).

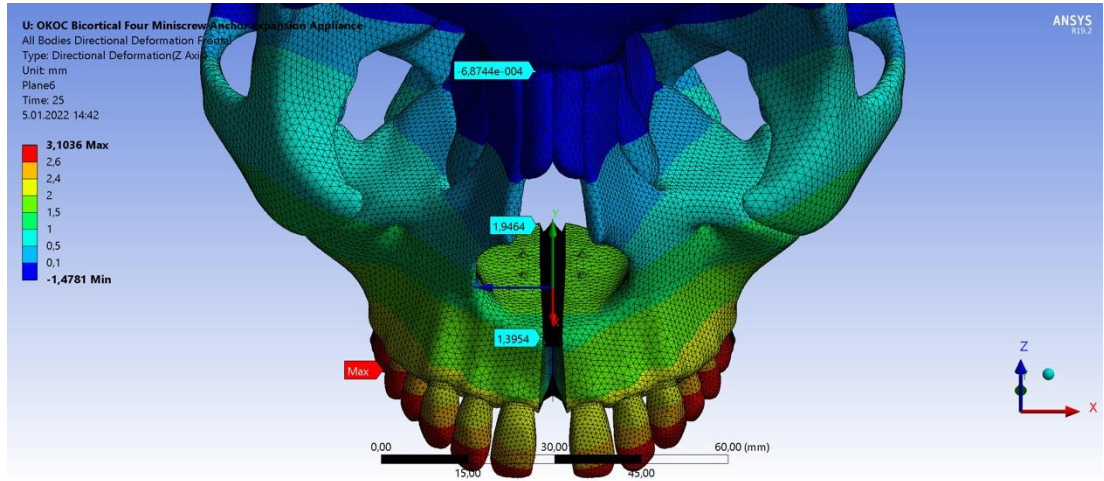
Frontomaksiller sutur, frontozigomatik sutur, zigomatik arkta (0,011 mm, 0,162 mm ve 0,159 mm) lateral hareket gözlenirken; zigomatikomaksillar suturda daha fazla lateral hareket (1,130 mm) lateral hareket görüldü (Tablo 4.1).

Sagittal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip C modeline ait sagittal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 verilmiştir. Tablo 4.1'de sagittal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.33. Tip C modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.34. Tip C modele ait yer değiştirme - sagittal değerlendirme (frontal görünüm)

Sagittal yönde yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde anterior yapılar ve posterior bölgedeki yapılar benzer yer değiştirme miktarı gösterdi.

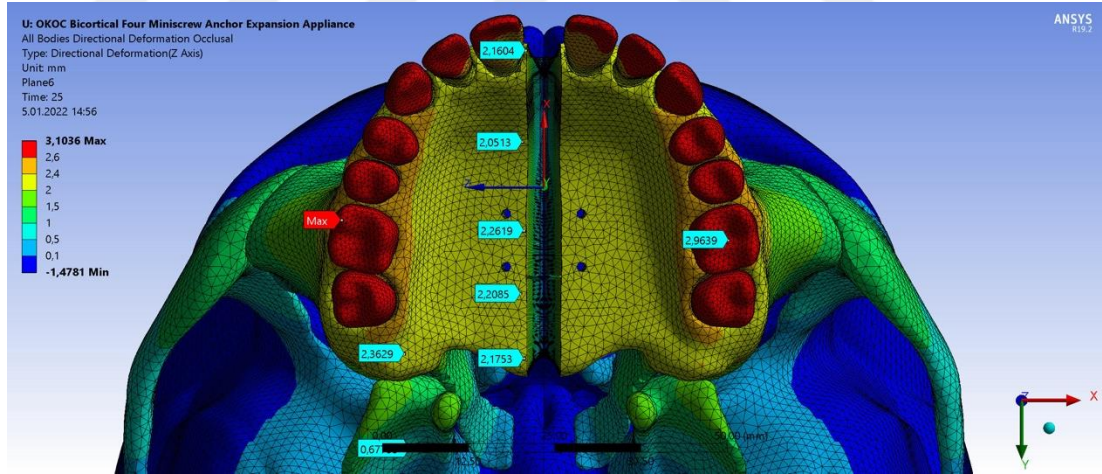
En fazla anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar lateral kesici (0,614 mm), kanin (0,647 mm), birinci premolar (0,638 mm) ve ikinci premolar dişler (0,639 mm) oldu (Tablo 4.1).

Anterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise PNS (0,028 mm), zigomatikmaksiller sutur (0,100 mm) ve medial pterigoid plak (0,080 mm) oldu (Tablo 4.1).

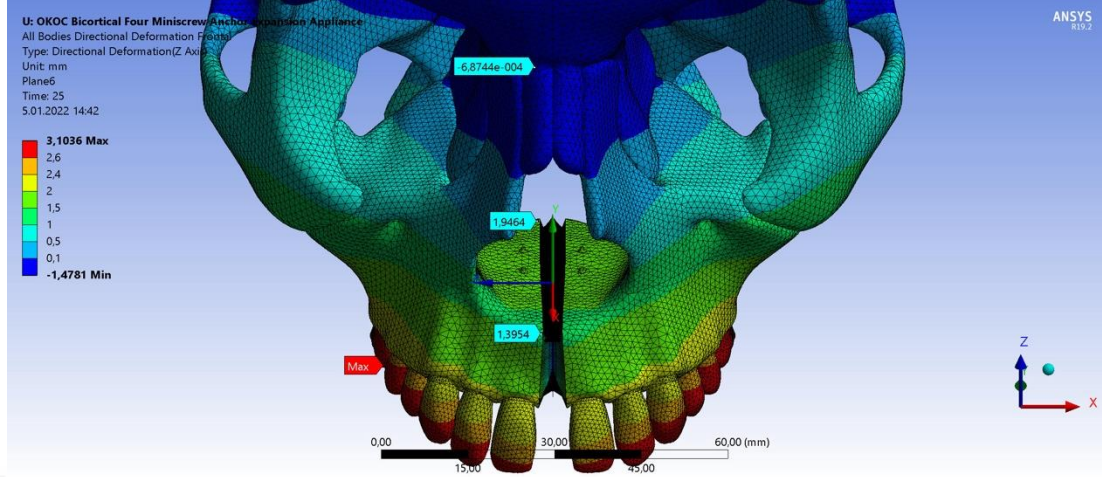
Posterior yönde yer değiştirme gösteren yapılar ise ANS (-0,101 mm), frontomaksiller sutur (-0,496 mm), frontozigomatik sutur (-0,902), zigomatik ark (-0,418) ve lateral pterigoid plak (-0,042 mm) oldu (Tablo 4.1).

Frontal Düzlemde Yer Değiştirme Dağılımı

Tip C modeline ait frontal yönde gözlenen yer değiştirmeler Tablo 4.1'de, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'de verilmiştir. Tablo 4.1'de frontal yön için yer alan + değerler ileri, dışarı ve yukarı yer değiştirmeyi; - değerler geri, içeri ve aşağı tarafı ifade etmektedir.



Şekil 4.35. Tip C modele ait yer değiştirme - vertikal değerlendirme (okluzal görünüm)



Şekil 4.36. Tip C modele ait yer değıştirme - vertikal değerlendirme (frontal görünüm)

Vertikal yönde yer değıştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde orta hatta yakın bölgelere yakın yapılar ile lateral bölgeye yakın yapılar superior yönde benzer yer değıştirme miktarı gösterdi.

Anterior bölgede yer alan yapılar ile posterior yönde yer alan yapılar superior yönde benzer yer değıştirme eğilimi gösterdi.

En fazla superior yönde yer değıştirme gösteren yapılar zigomatikmaksiller sutur (2,094, mm), frontozigomatik sutur (1,571 mm), frontomaksiler sutur (1,183 mm), kanin (1,541 mm), birinci premolar (1,593 mm), ikinci premolar (1,622 mm) ve birinci molar (1,634 mm) dişler olmuştur. Zigomatikomaksiller suturda, kesici dişler, kanin ve premolar dişler bölgesine göre daha fazla superior yönde hareket görüldü (Tablo 4.1).

Dental bölgelere bakıldığında anteriordan posteriora doğru gittikçe artan miktarlarda superior yönde hareket görüldü. Santral kesici diş bölgesinde 0,975 mm superior yönde hareket gözlenirken, birinci molar diş bölgesinde 1,634 mm superior yönde hareket gözlemlendi (Tablo 4.1).

Medial pterigoid plakta (1,023 mm) ve lateral pterigoid plakta (0,690 mm) superior yönde yer değışimini gözlemlendi (Tablo 4.1).

PNS noktasında az miktarda (-0,2554 mm) inferior yönde hareket görüldü (Tablo 4.1).

4.4. Bulguların Karşılaştırılması

Beş mm toplam yer değiştirme senaryosuna oluşan Von mises gerilme değerlerinin, mini vida bölgesinde kemiğin dayanabileceği yük olan 130 MPa'dan daha fazla olduğu görülmektedir. Bu yüzden oluşan gerilmelerin 0,25 mm yer değiştirme verildiğinde daha gerçekçi ve kıyaslanabilir olduğu görülmektedir (Tablo 4.4). 0,25 mm yer değiştirme verildiğinde oluşan genişleme ile 5 mm yer değiştirme verildiğinde oluşan genişleme kıyaslandığında 5 mm yer değiştirmede oluşan genişlemenin daha belirgin ve anlaşılır olması nedeni ile bu sonuçlar karşılaştırılacaktır.

0,25 mm'lik Genişletmeye Ait Von mises Gerilme Bulgularının Gruplar Arası Karşılaştırılması

0,25 mm yer değiştirme verildiğinde oluşan Von mises gerilmelerine bakıldığında toplamda; tüm kraniyofasiyal yapılarda en fazla gerilmenin sırasıyla Tip B model (46,20 MPa) ve Tip C model de (39,14 MPa) olduğu görüldü (Tablo 4.4).

Kraniyofasiyal yapılardaki kemiklerde oluşan Von mises gerilmelerine bakıldığında en fazla gerilmenin sırasıyla Tip B model ve Tip C model neredeyse benzer düzeyde olurken, Tip B model de az miktarda da olsa daha yüksek gerilmeler görüldü. Tip A model de en az gerilme değerleri görüldü (Tablo 4.4).

Suturlarda oluşan Von mises gerilmelerine bakıldığında en fazla gerilme değerlerinin sırasıyla Tip B model, Tip C model ve Tip A modelde olduğu görülmektedir (Tablo 4.4).

5 mm'lik Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları Bulgularının Gruplar Arası Karşılaştırılması

5 mm'lik genişletme verildiğinde sonlu elemanlar modellerinde transversal düzlemde yüksek yer değiştirme miktarlarına bakıldığında toplamda;

ANS noktasında, sırasıyla Tip A modelde 3,186 mm, Tip C modelde 1,480 mm, Tip B modelde 1,395 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1),

PNS noktasında, sırasıyla Tip C modelde 2,001 mm, Tip B modelde 1,946 mm, Tip A modelde 0,357 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Zigomatikmaksiller suturda, sırasıyla Tip B modelde 1,207 mm, Tip C modelde 1,130 mm, Tip A modelde 0,003 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Frontozigomatik suturda, Tip C modelde 0,162 mm, Tip B modelde 0,106 mm yer değiştirirken, Tip A model yer değiştirme izlenmedi (Tablo 4.1).

Zigomatik arkta, sırasıyla Tip C modelde 0,159 mm, Tip B modelde 0,120 mm yer değiştirirken, Tip A model yer değiştirme izlenmedi (Tablo 4.1).

Medial pterigoid plakta, sırasıyla Tip C modelde 1,446 mm, Tip B modelde 1,344 mm, Tip A modelde 0,038 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Lateral pterigoid plakta, sırasıyla Tip C modelde 0,748 mm, Tip B modelde 0,745 mm, Tip A modelde 0,005 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Midpalatal suturda en çok genişleme gösteren yer, sırasıyla Tip A modelde A noktası 3,402 mm, Tip C modelde C noktası 2,502 mm, Tip B modelde C noktası 2,300 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.5).

Midpalatal suturda en az genişleme gösteren yer, sırasıyla Tip A modelde E noktası 0,350 mm, Tip B modelde B noktası 2,053 mm, Tip C modelde B noktası 2,068 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.5).

Birinci molar dişlerde, sırasıyla Tip B modelde 3,103 mm, Tip C modelde 3,094 mm, Tip A modelde 2,029 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

İkinci molar dişlerde, sırasıyla Tip B modelde 2,873 mm, Tip C modelde 2,865 mm, Tip A modelde 1,293 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Birinci premolar dişlerde, sırasıyla Tip B modelde 2,990 mm, Tip C modelde 2,975 mm, Tip A modelde 2,760 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

İkinci premolar dişlerde, sırasıyla Tip B modelde 3,003 mm, Tip C modelde 2,990 mm, Tip A modelde 2,403 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Kanin dişlerde, sırasıyla Tip A modelde 3,346 mm, Tip B modelde 2,974 mm, Tip C modelde 2,954 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Lateral dişlerde, sırasıyla Tip A modelde 3,676 mm, Tip B modelde 2,938 mm, Tip C modelde 2,916 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).

Santral kesici dişlerde, sırasıyla Tip A modelde 3,866 mm, Tip B modelde 2,796 mm, Tip C modelde 2,774 mm yer değiştirme izlendi (Tablo 4.1).



5. TARTIŞMA

Literatürde genel kabul gören görüş, ileri dönem iskeletsel olgunlaşma düzeyinin maksiller genişletme tedavilerinin sonuçlarının uzun dönem stabilitesini olumsuz etkilediği yönündedir.^(85, 90) HÜÇG tedavisinde aparey seçiminde maksiller darlığın tipi ve miktarı, hastanın yaşı, iskeletsel patterni, hastanın kooperasyon yeteneği, apareyin yapım aşaması, hasta konforunun iyi olması ve çevre dokularda enflamasyon oluşturmaması gibi birçok faktör değerlendirilmelidir.^(10, 243)

Hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG), kraniyofasiyal sistemde kemiklerin suturlar aracılığıyla bağlı olması sebebiyle sadece üst çenede değil, üst çene komşuluğundaki sfenoid, zigomatik, nazal, frontal, lakrimal, etmoid, vomer, palatinal kemikler ve nazal konkalarla da ilişkilidir.^(8, 9) Midpalatal suturun açılmasına karşı ana direncin suturun kendisinde olmadığı düşünülür, bu nedenle genişleme kuvveti tüm sirkummaksiller suturları etkileyebilir.^(3, 10, 11) Geleneksel genişletme apareyleri ile hastaların midpalatal sutur ve komşu artikülasyonların interdijitasyonu nedeniyle sınırlı iskelet genişleme etkileri görülmüştür.^(12, 244) Direnç oluşmasından dolayı, transversal genişletmeden sonra bile nüksetme meydana gelebilir ve sonuçların uzun vadeli stabilitesini azalttığı bildirilmiştir.⁽¹³⁾ Chaconas ve ark.⁽²⁴⁵⁾ genişletme kuvvetlerine en büyük direncin midpalatal suturda değil, maksillanın zigomatik ve sfenoid kemiklerle bağlantılarında oluştuğunu bildirirken, başka bir araştırmada ise en büyük direncin sfenoid kemiğin pterigoid plaklarından kaynaklı olduğu bildirilmiştir.⁽²⁴⁶⁾

İskeletsel olgunluğa sahip hastalarda HÜÇG tedavisi sırasında istenmeyen yan etkiler görülebilmektedir. Erişkin bireylerde maksillayı çevreleyen suturlardaki dirence bağlı olarak iskeletsel genişletme yetersiz kalmaktadır. Erişkinlerde oluşabilecek sorunları önlemek ve maksiller darlığı düzeltmek için ortopedik iskeletsel genişletme gerekliliği bildirilmiştir.^(15, 16, 247) Dolayısıyla, erişkin hastalarda maksilla da iskeletsel genişletme için genel görüş, maksilla çevre suturlarındaki direnci azaltmak için uygulanan CDHÜÇG yönteminin daha uygun olduğu yönündedir.

Literatürde CDHÜÇG için kullanılan cerrahi teknikler incelendiğinde, CDHÜÇG prosedürü veya boyutu hakkında görüş birliği olmadığı izlenmektedir. Maksiller darlığın

giderilmesi için Lefort 1 osteotomi ile maksiller genişletme ilk olarak 1972 yılında Steinhauser⁽¹³⁷⁾ tarafından rapor edilmiştir. Timms ve Vero,⁽³⁹⁾ maksillanın transversal genişlemesine karşı ana direnç alanı olduğu düşündükleri midpalatal suturda osteotomi uygulamışlardır. Başka bir çalışmada ise genişletme için hem labial hem de palatinal bölgede osteotomi kullanımını önerilmiştir.⁽²⁴⁸⁾ Cerrahi işlem sırasında maksillanın pterigoid parçadan seperasyon yapılmamasıda literatürde tartışma konusudur.^(139, 141, 151) Bir çalışmada apertura piriformisten pterigomaksiller sutura kadar bilateral maksiller osteotomi ile beraber midpalatal sutur ayrılması da tavsiye edilmiştir.⁽¹⁴⁶⁾ Bunun yanında pterigomaksiller suturda osteotomi olmadan da maksiller segmentlerde hareket izlenebileceği ve cerrahi yöntemin başarılı olabileceği bildirilmiştir.⁽¹⁴⁹⁾ Pterigoid bölgede uygulanacak bir osteotominin aşırı bir kuvvet gerektirdiği ve pterigoid parçanın kırılmasına ve komplikasyonların oluşabileceğini savunan görüşler vardır.^(139, 140)

CDHÜÇG, ciddi komplikasyon riski çok az olan bir protokol olarak kabul edilir. Ancak literatürde hayati risk oluşturan epistaksisten serebrovasküler bir komplikasyona, geri dönüşümlü okülomotor sinir parestezisinden kafa tabanı fraktürüne ve orbital kompartman sendromuna kadar çeşitli komplikasyonlar rapor edilmiştir.^(145, 168, 169) Bildirilen minör komplikasyonlar ise; postoperatif kanama, ağrı, nazal septum deviasyonu, sinüzit, damak dokusu tahrişi/ülserasyonu, periodontal problemler ve nükstür.⁽¹⁶¹⁾ Ayrıca maksiller kemiğin 2 tarafı aynı miktarda ayrılmayabilir, yani asimetric genişleme oluşabilir.^(170, 171) Bu, osteotominin tam yapılmamasından kaynaklanır ve genellikle lateral nazal duvar gözden kaçan noktadır.⁽¹⁷²⁾ Sıklıkla karşılaşılan başka bir istenmeyen durum ise genişletme apareyinin oluşturduğu baskıdan dolayı oluşan aseptik yumuşak doku nekrozudur.⁽¹⁵⁸⁾

Literatürde, erişkin bireylerde maksiller darlığı düzeltmek amacıyla CDHÜÇG tedavisine bir alternatif olarak MVDHÜÇG apareyleri önerilmiştir.^(199, 249) MVDHÜÇG, hızlı üst çene genişletmesinin basit bir modifikasyonudur. Mini vidalar sayesinde diş yapısını tek başına ankraj olarak kullanmadan üst çene genişletmesi sağlanmaktadır. Bu yeni konseptin, geleneksel üst çene genişletmesindeki istenmeyen sonuçları ve CDHÜÇG tedavisinin getirdiği morbidite riskini ve masrafları ortadan kaldırabileceği bildirilmiştir.⁽²⁰⁾ MVDHÜÇG apareyleri ile konvansiyonel diş destekli HÜÇG tedavisine

kıyasla erişkin hastalarda daha fazla iskeletsel genişletme görüldüğü ve dental tipping, alveolar bükülme ve dikey alveolar kemik kaybı gibi dental yan etkilerin en aza indirildiği gösterilmiştir.⁽¹⁸⁾ Moon ve ark.^(19, 23, 24) daha büyük ortopedik etkiler ve koronal düzlemde daha fazla paralel genişletme elde etmek için bikortikal mini vida ankraj kullanılmasını önermişlerdir. Ortodontik diş hareketi uygulamalarında, bikortikal mini vida ankrajının biyomekanik olarak monokortikal ankrajdan daha elverişli olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, bikortikal ankrajın maksimum ankraj gerektiren klinik durumlar için düşünülmesi tavsiye edilmiştir.^(25, 26) Bu yerleştirme yönteminin, mini vidaların daha stabil olmasının yanı sıra deformasyonunu ve kırılmasını önlediği, koronal düzlemde daha fazla paralel genişlemeyi desteklediği ve potansiyel palatal genişleme miktarını arttırdığı bildirilmiştir.^(18, 24)

SEA, genişletme apareylerinin kraniyofasiyal suturlar üzerindeki biyomekanik etkileri ile farklı tasarıma sahip genişletme apareylerinde yer değiştirme ve stres dağılımını değerlendirmeye olanak sağlar.⁽²⁵⁰⁾ HÜÇG'nin dişler ve kraniyofasiyal kemikler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yapılmış birçok SEA çalışması vardır.^(224-227, 229, 240, 250-252) Literatürde farklı ağız içi destek üniteleri ile uygulanan CDHÜÇG yönteminde ortopedik kuvvetlerin kemik yapılar ve dişler üzerindeki biyomekanik etkilerini değerlendiren az sayıda çalışma vardır.^(19, 150, 228) Literatürde CDHÜÇG, monokortikal yerleşimli MVDHÜÇG ve bikortikal yerleşimli MVDHÜÇG apareyi ile yapılan genişletmelerin karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tüm bu nedenlerle bu tez çalışmasında, cerrahi destekli (median ve lateral osteotomi) konvansiyonel hyrax apareyi ile maksiller genişletme ve cerrahi tekniğe alternatif olabileceği iddia edilen iki farklı tip (monokortikal ve bikortikal implant yerleşimli) MVDHÜÇG yöntemlerinin kraniyofasiyal yapı üzerindeki yer değiştirme ve stres dağılımı etkilerinin SEA metoduyla değerlendirilerek bu alanda daha sonra yapılabilecek klinik çalışmalara rehber olması amaçlanmıştır.

Kraniyofasiyal suturların kaynaşmış olduğu erişkin bireylerde cerrahi desteksiz olarak yapılan HÜÇG tedavisinde, etkin bir iskeletsel genişletmenin sağlanamayacağı daha önceki çalışmalarda bildirilmiştir.^(184, 253, 254) Bu çalışmada, maksiller transversal yetmezliğe sahip erişkin hastalar için planlanan, işlem sonrası hastalar için tolerasyonu

zor olan ve invaziv işlem gerektiren CDHÜÇG tedavisine alternatif oluşturabilecek; monokortikal ve bikortikal mini vida yerleşimli iki farklı tip MVDHÜÇG yöntemiyle etkin bir transversal genişleme elde edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi ve bu yöntemlerin nasomaksiller bölgedeki yer değiştirme ve stres değerlerinin SEA ile karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Maksillaya uygulanan mini vidalar, maksillanın daha gözenekli yapısı nedeniyle mandibulaya uygulananlardan daha az stabiliteye sahiptir . Anatomik oluşumlardan daha uzak olması, daha güvenli kemik alanı bulunması, kemik kalitesinin daha iyi olması, yapışık mukozanın ince olması, dişlere zarar verme ihtimalinin daha az olması gibi nedenlerden midpalatal sutur bölgesi maksilladaki en iyi ankraj yeri olarak belirlenmiştir.⁽¹⁸⁸⁾

Palatinal bölgede kemik derinliği ve kortikal kemik kalınlığı dikkate alındığında, mini vida uygulanması için en uygun bölgenin midpalatal sutura yakın birinci ve ikinci premolar bölgesi olduğu rapor edilmiştir.^(191, 192) Won Moon ve Brunetto⁽²²⁾ MVDHÜÇG modifikasyonu olan maksiller iskeletsel genişletme apareylerin mini vida konumlarını; posterior konumda, yumuşak ve sert damak sınırının hemen önünde, birinci molar ve ikinci premolar dişler hizasında palatinal mukozadan en fazla 2 mm kadar uzakta ve suturu ortalarak yerleştirmiştir. Bu çalışmada genişletme vidasından uzanan kollar birinci molar diş bantlarına lehimleme yapıp, bantlar simante edilmiş ve vidaların uygulanması için hazırlanan rehber delikler, palatinal kemiğe dik yerleşim amacıyla tasarlanmıştır.

Çalışmamız da kullanılan iki farklı tip MVDHÜÇG apareylerinin genişletme vida konumu posterior palatal bölgeye ve mini vidaların yerleştirilme bölgesi de üst birinci molar dişler ve ikinci premolar dişler hizasında olacak şekilde midpalatal suturun hemen yanına konumlandırılmış ve dişsel ankraj ünitesi olarak üst birinci molar dişler kullanılmıştır.

İşeri ve ark.⁽²²⁴⁾ geleneksel HÜÇG etkisini SEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Eleman tipi olarak dörtgen ve üçgensel kabuk elemanlar seçmişlerdir. Jafari ve ark.⁽²⁵¹⁾ BT ile elde edilmiş genç insan kafatasından elde edilen 3B model üzerinde aynı eleman tipi kullanarak HÜÇG tedavisini SEA ile değerlendirmiştir.

Lee ve ark kemik destekli HÜÇG apareylerinin etkilerini değerlendirirken eleman tipi olarak dört yüzlü elemanlar kullanmışlardır.⁽²⁵⁰⁾

Kafatasını oluşturan kemikler 1.6 mm, maksilla 1.3 mm, peridontal ligament 0.6 mm, dişler 0.8 mm ve genişletme apareylerinin mini vidaları 0.6 mm boyutunda dört üçgen yüzlü ve kare ağ elemanlara bölünmüştür. Dört üçgen yüzlü eleman tipi düzensiz geometrilere sahip yapılar oluşturmak ve kare eleman tipi düz yüzey geometri yapılarında analizin daha gerçekçi sonuç vermesi için kullanılmaktadır.⁽²⁴²⁾ Çalışmamızda dört üçgen yüzlü eleman tipi düzensiz geometrilere sahip yapılar oluşturmak için ve midpalatal sutur gibi daha düz yapılar için ise kare ağ elemanları kullanılmıştır.

Ansys, Inc (ANSYS Inc. Houston, PA, USA) tarafından geliştirilen (Şekil 3.13) ağ yapısı spektrumuna göre sonlu eleman yönteminde doğru çözüm ve güvenilir sonuçlar üretmek için ağ yakınsaması gereklidir. Düşük ortogonal kalite veya yüksek çarpıklık değerleri önerilmez. Ağ yakınsaması, ağın boyutunu değiştirerek analiz sonucunun etkilenmemesini sağlamak için modelde kaç elemanın gerekli olduğunu belirler. Sonlu eleman modeli ne kadar çok detaylandırılır ve kapsamlı hale getirilirse, analiz sonuçları daha hassas ve daha gerçekçi olmaktadır.^(240, 242)

Çalışmamızda, tüm modelin ağ ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama değeri 0,16 dir ve ortalama çarpıklık eleman kalite yakınsama spektrumunda mükemmel aralıkta bulunmaktadır.

İşeri ve ark.⁽²²⁴⁾'nın kafatasını modelledikleri çalışmada, 2349 eleman ve 2147 düğüm noktası kullanılmıştır. Jafari ve ark.⁽²⁵¹⁾ başka bir çalışmada 6951 eleman ve 7357 düğüm noktası kullanılmıştır. Bu eleman sayılarının detaylı tanımlama sağlayamayacağını belirten Holberg ve ark.⁽²²⁵⁾ frontal, oksipital, temporal ve sfenoid kemikleri ayrı ayrı modelleyerek 41556 eleman kullanmışlardır ve kranial tabandaki ince anatomik yapılarda oluşan gerilmelerin ilk kez incelenebileceğini bildirmişlerdir. Gautam ve ark.⁽²⁴⁰⁾'nın tam kafatasını modelledikleri çalışmalarında 108799 eleman ve 193633 düğüm noktası kullanılmıştır.

Tanaka ve ark.⁽²⁵⁵⁾ yüz maskesinin etkisini SEA ile inceledikleri çalışmada 573726 eleman ve 1133497 düğüm noktası kullanmışlardır.

SEA'nde, modelin oluşturulması sırasında daha çok eleman kullanılması, daha fazla detay elde edilmesini ve gerçeğe daha yakın değerler elde edilmesini sağlayabilir; eleman sayısı ve düğüm nokta sayısı arttıkça da çözüm süreleri de artmakta ve bilgisayar işlem kapasite gücü zayıf ise analiz sonuçlanması zorlaşabilmektedir.

Bu çalışmada sonlu elemanlar modelinde 2322887 düğüm noktası ve 1488629 eleman kullanılmıştır (Tablo 5.1). Bu çalışmadaki düğüm ve eleman sayıları benzer çalışmalara kıyasla oldukça yüksek sayı ve kaliteye sahiptir.

SEA modellenen yapıların malzeme özelliklerinin bilinmesi analizlerin doğruluğu açısından önem taşımaktadır. Kalsifiye biyolojik dokuların modellenmesinde izotropik ve homojen olmayan özelliklerinden dolayı zorluklar mevcuttur. Yaş, cinsiyet ve mineral içeriği gibi faktörlere bağlı olması nedeniyle değişkenlik göstermektedir.⁽²²²⁾

SEA çalışmalardaki bir diğer dezavantaj, insana ait dokuların tanımlanması amacıyla büyük değişkenlikler gösterebilen birkaç faktörün sabit olarak değer verilme zorunluluğudur.⁽²⁵⁶⁾ Üst ve alt çeneye ait kemiklerin elastik özelliklerinin tam olarak bilinmemesi nedeniyle birçok SEA çalışmasında, modellenen yapıların izotropik, homojen ve lineer elastik malzeme özelliklerine sahip olduğu kabul edilerek analiz uygulanmaktadır.⁽²²²⁾ Bununla birlikte, gerçekte homojen ve izotropik olmayan yapıların bu şekilde kabul edilmesi ağız içinde karşılaşılan gerçek durumları değerlendirme ihtiyacı olduğunda tartışılmalıdır.⁽²⁵⁷⁾ Bu sebeple, SEA yönteminin doğal limitasyonları unutulmamalıdır. Biyomekanik araştırmalarda kemiğin fizyolojik olarak normal yüklerin karşısındaki özelliklerine dayanarak, lineer elastik bir materyal olarak değerlendirilmesi önerilmektedir.⁽²²¹⁾

Ortodonti literatüründe kompleks geometrik yapılar, sınır koşulları ve farklı malzeme özelliklerine sahip birçok yapı bulunduğundan, SEA çalışmalarında materyal özelliklerinin farklı verildiği görülmektedir. Literatürde kortikal ve spongiyoz kemik için Young modülü ve Poisson oranının farklı verildiği çalışmalar vardır. Kortikal kemik

Young modülü değeri olarak; 15000 MPa,⁽²⁵⁸⁾ 14800 MPa,⁽²⁵⁹⁾ 14700 MPa,⁽²⁶⁰⁾ 13700 MPa,^(228, 250) 10700 MPa⁽²⁶¹⁾ değeri ve Poisson oranı için ise 0.3 tercih edilmiştir.⁽²⁵⁰⁾

Spongiyoz kemik için ise 1850 MPa,⁽²⁵⁹⁾ 1370 MPa,^(228, 250) 970 MPa,⁽²⁶¹⁾ 500 MPa⁽²⁵⁸⁾ ve 490 MPa⁽²⁶⁰⁾ değeri verilmiş ve Poisson oranı olarak 0.3 değeri uygulanmıştır. Young modülüne düşük değerler verilmesi gerilme sonuçlarını düşürebilirken, 700 ve 1300 MPa değerlerinden sonra kortikal kemiklerde ölçülen gerilim değerlerinde anlamlı bir fark oluşmamaktadır.⁽²⁶²⁾

Çalışmamızda, literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak (Tablo 3.1) kortikal kemik için Young modülü 13700 MPa ve Poisson oranı 0.3, spongiyoz kemik için ise Young modülü 1370 MPa ve Poisson oranı 0.3 olarak kullanılmıştır.⁽²⁵⁰⁾

Çalışmamızda kullanılan modeldeki midpalatal suturlar harici kraniyofasiyal suturların kapalılık durumları daha önceki çalışmalar ile aynı şekilde kabul edilmiştir.^(226, 263) Suturların Young modülü değeri, kortikal kemik Young modülü 13700 MPa olarak; midpalatal suturun ise homojen, izotropik, lineer elastik ve 0,3 mm'lik uniform kalınlıkta olduğu kabul edilmiştir.⁽²⁴⁰⁾

Periodontal ligamentin mevcudiyetinin üst çene genişletmesinin gerilme ve yer değiştirme değerlerinde önemli bir farklılık oluşturmadığı bildirilmiştir.⁽²⁶³⁾ Bazı çalışmalarda ise periodontal ligamentin modellenmesinin zor olması ve dişlerden alınacak tomografi kesit kalınlığının dar olmasının istenmesi nedeniyle periodontal ligament göz ardı edilmiştir.⁽²⁴⁰⁾ Çalışmamızda ise periodontal ligamentin özellikleri daha önceki çalışmalarda alındığı gibi homojen, izotropik, lineer elastik ve 0,3 mm'lik uniform kalınlıkta olduğu kabul edilerek modellenmesi yapılmıştır.^(240, 241)

Klinik olarak aynı hasta üzerinde üç farklı yöntem ile gerçekleştirilecek genişletmenin etkilerini incelemek mümkün değildir. Malzeme mekanik özelliklerinin değişken olmaması ve modellerdeki değişimler birbirlerine göre incelediğinden çalışmamızın sonuçları klinik çalışmalara rehber olması ve ön bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır.

Literatürde SEA yönteminin kullanıldığı çeşitli durumlarda kraniyofasiyal sistemde oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin değerlendirildiği çalışmalarda, kafatasına uygulanan sınır koşullarında foramen magnum tamamen sabitlenmiştir ve başlangıç noktası olarak kabul edilip, x, y ve z eksenlerinde translasyon ve rotasyon hareketi engellenmiştir.^(224, 226, 240)

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

Sonlu eleman analizinde gerçekleştirilen toplam 5 mm genişletme; rutin klinik uygulamalardaki gibi bir süreç olarak değil, anlık olarak gerçekleşmektedir. Bu yüzden 5 mm'lik genişletmede Von mises gerilmelerinin yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Modeller kemik yapıyı simüle ettiği için, insan kortikal kemiğinin basınç dayanımının 90 ila 209 MPa ve spongioz kemiğin basınç dayanımının 1,5 ila 45 MPa arasında olduğu referans değerlerini bilmek önem arz etmektedir.^(264, 265) Bu yüzden 0,25 mm genişlemede oluşan gerilmelerin sonuçları, 5 mm'lik genişleme sonucu oluşan gerilmelere göre daha düşük değerler olacaktır. HÜÇG ile ilgili daha önceki yapılan klinik,^(43, 98, 226) radyolojik çalışmalar^(226, 266) ve sonlu elemanlar,^(224, 226, 240, 251, 252, 263) ile yapılan çalışmalarda; frontal açıdan bakıldığında tabanı keser ve tepesi nazal bölgeye doğru uzanan üçgensel bir genişleme modeli bildirilmiştir. Okluzal açıdan bakıldığında da üçgensel bir açılmanın meydana geldiği yani anteriordan posteriora doğru genişlemenin azaldığı rapor edilmiştir. Çalışmamızda Tip A modelinde (Şekil 4.8), Tip B (Şekil 4.20) ve Tip C (Şekil 4.32) modellerine göre hem frontal açıdan hem de okluzal açıdan bu üçgensel açılmalar oluşmuştur. Tip B ve Tip C modelinde ise frontal açıdan ve okluzal açıdan elde etmek istediğimiz daha paralel bir açılma gözlemlenmiştir.

Okluzalden bakıldığında HÜÇG'nde midpalatal suturda anterior bölgenin daha fazla açıldığını söyleyenler olduğu gibi,^(12, 101) paralel açıldığını söyleyen araştırmacılar da bulunmaktadır.⁽²⁶⁷⁾ Başka bir çalışmada CDHÜÇG yapıldığında posterior bölgenin daha fazla açıldığını bildirilmiştir.⁽²⁶⁸⁾ Cantarella ve ark.⁽²³³⁾ ortalama 17.2 yıl yaşındaki 15 hasta üzerinde MVDHÜÇG apareyi ile midpalatal suturun açılma miktarlarını KIBT ile değerlendirip, midpalatal suturda paralele yakın açılma olduğu rapor etmişlerdir. Çalışmamızda ise midpalatal suturda Tip B ve Tip C modelde neredeyse paralel açılma

görülmüştür. Tip A modelinde ise üçgensel açılma izlenmiştir. Tip B ve Tip C modelde posterior bölgede anterior bölgeye göre bir miktar daha fazla açılma görülmüştür. Tip B ve Tip C modeldeki mini vida desteğinin, sutural açılmanın daha paralel şekilde sağladığı düşünülmektedir. Tip C modelde midpalatal sutur bölgelerinde açılma Tip B modele göre daha fazla görülürken, dental bölgelerde benzer yer değiştirmeler gözlenmiştir. Tip B ve Tip C modeldeki transversal genişleme, üst molar dişlerde bukkal yöndeki devrilmeye benzer yer değiştirme miktarı göstermiştir. Bu durum osteotomi desteği olmadığında, erişkin dönemde uygulanan MVDHÜÇĞ apareylerinde kuvvetlerinin ankraj alındığı molar dişlere iletilmesine bağlı olabilir. Suri ve Taneja⁽⁷⁰⁾ erişkin bireylerde cerrahi yardımsız HÜÇĞ apareyinin uygulanması sonucu; uzun dönem stabilite problemi, dişlerin bukkale devrilmesi, bukkal kortikal kemikte fenestrasyon, membran da oluşan gerilmelere bağlı periodonsiyum hasarı, dişlerin bukkal yüzeylerinde kök rezorpsiyonu, alveolar kemiğin rotasyonu, dişlerin istenmeyen ekstrüzyonları, palatal doku nekrozu, ağrı ve hassasiyet gibi birçok yan etkilere neden olabileceğini bildirmişlerdir. Sonuçlarımızda benzer şekilde, Tip B ve Tip C modelde median ve lateral osteotomi desteği olmaması posterior dişlere iletilen fazla kuvveti açıklamaktadır.

HÜÇĞ ile birlikte maksillanın aşağı ve öne doğru hareketi birçok çalışma tarafından bildirilmiştir.^(79, 240, 251, 269) Modeller sagittal açıdan değerlendirildiğinde anterior ve posterior bölgede Tip A model öne doğru hareket gösterirken, Tip B ve Tip C modellerinde ANS noktası geriye ve PNS noktası öne doğru hareket göstermiştir. Tip B model ve Tip C modellerde antero-posterior yönlü hareket ve yer değiştirme miktarları benzerdir. Tip A de görülen anterior bölgeye doğru üçgensel açılma, bu bölgenin daha fazla öne gelmesine sebep olabilir. Lee ve ark.⁽²²⁸⁾ benzer bir SEA çalışmasında mini vida destekli modellerinde, maksillada ön alveolar kemik geri, posterior alveolar kemik ileri doğru yer değiştirmiştir. Geriye doğru yer değiştirme pterigoid plaka separasyonu yapılmayan cerrahi modelde gözlenmiştir. Tip B model ve Tip C modelde lateral direnç bölgeleri ve mini vida komşuluklarında yer alan yüksek stresler bu harekete neden olmuş olabilir. Ayrıca SEA yönteminin, oluşturulan kuvvetlerin zaman içinde oluşturduğu etkilerden ziyade, sadece anlık kuvvet etkilerinin izlenmesini sağladığı unutulmamalıdır. Çalışmamızda kuvvetin oluşturduğu başlangıç anındaki etki ile Tip B ve Tip C modelde ANS noktası geri yönde hareket etmiştir. Yani bu sonuç protokolün sonunda oluşan etki

olmamaktadır. SEA anlık etki dışında, belirli bir süreci oluşturan kuvvet etkili senaryolarda yeterli olmamaktadır. Bu durum biyolojik ortamın özelliklerini simüle eden yöntemler arasında en başarılı yöntem olarak kabul edilen SEA'nin bir dezavantajı olarak değerlendirilmektedir.

Modeller frontal açıdan değerlendirildiğinde ise, Tip B ve Tip C modelde anterior ve posterior alveolar bölgenin yukarı hareketi, Tip A modelde ise; posterior ve anterior alveolar bölgenin aşağı doğru hareketi izlenmiştir. Lee ve ark.'nın⁽²⁵⁰⁾ çalışmasında ise tüm modellerde vertikal yönde aşağı yönlü hareket izlenmiştir ve geleneksel CDHÜÇG modelde hem anterior hem de posterior bölgede aşağı yönlü hareket görülmüştür. Çalışmamızdaki Tip A modelde sonuçlar bu çalışma ile uyumludur. Tip B ve Tip C modeldeki transversal genişlemenin üst molar dişlerin bukkal yöndeki devrilmesiyle sınırlı kalması, yukarı yönlü vertikal bir hareket oluşmasına neden olmuş olabilir. Palatal derinliğin bireysel farklılık göstermesi, hyrax kollarının dişlere yaklaşma açısı ve dişlere gelen kuvvet vektörü gibi değişkenlerin bu farklılıkların oluşmasında etkili olduğu düşünülebilir. Bununla beraber Tip C modelde, Tip B modele göre daha az yukarı yönlü vertikal hareket görülmüştür. Bu durum ise, Tip C modelde bikortikal implant yerleşimine bağlı olarak midpalatal suturda daha fazla genişleme olmasından kaynaklanabilir. Aynı zamanda Tip C modelde ankraj dişlerde Tip B modele göre daha az yukarı yönlü hareket görülmüştür.

HÜÇG'ne bağlı olarak dişlerde bukkale devrilme^(252, 270) ve ekstrüze olma eğilimi rapor edilmiştir^(84, 224) Maksillanın aşağı doğru olan hareketiyle birlikte üst birinci molarların ekstrüzyonu, mandibulanın saat yönünde rotasyon yapmasına neden olur ve açık kapanış oluşup alt yüz yüksekliğinde artış gerçekleşir.^(8, 38, 98) HÜÇG sonucu oluşan bu etkiler sınıf III anomalilerinde avantaj, Sınıf II anomalilerinde ise dezavantaj oluşturur.^(8, 12) Çalışmamızda 5 mm genişletme sonucu santral, lateral, kanin, premolar dişler ve molar dişlerde oluşan vertikal düzlemde yer değiştirmeleri değerlendirildiğinde; Tip A model de ön grup dişlerde daha fazla olmak üzere tüm dişlerde aşağı yönlü hareket görülmekte iken, Tip B model ve Tip C model de tüm dişlerde yukarı yönlü hareket izlenmiştir. Dişlerdeki bu hareketin alveol soketinde ekstrüzyon ve intrüzyon şeklinde değil, yer değiştiren iskelet yapıdan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bununla uyumlu SEA çalışmalarında Lee ve

ark.⁽²⁷¹⁾ genişletme sırasında gençlerde keser dişlerin aşağı, midpalatal suturun kapalı olduğu erişkin bireylerde ise aşağı ve geri yönlü hareketini bildirmişken, Jafari ve ark.⁽²⁵¹⁾ maksiller santral dişlerin aşağı yönlü hareketini rapor etmişlerdir.

Melsen ve ark.⁽²⁷²⁾ HÜÇG'si yapılırken pterigomaksiller bağlantı yüzeylerinde bir açılma beklenmediğini bildirmişlerdir. Chaconas ve Caputo⁽²⁴⁵⁾ HÜÇG'de maksilla ve sphenoid kemiğin pterigoid bölgeleri arasındaki birleşmenin açılmasının önemli olduğunu belirtmiştir. Bu yüzden eğer erişkinlerde HÜÇG uygulanacaksa pterigomaksiller ve zigomatik buttress bölgelerinin osteotomisi önerilmektedir.^(152, 240, 245, 251) Diğer taraftan Da Silva Filho ve ark.⁽⁴⁾ maksilla'nın daha çok aşağı doğru yer değiştirdiğini, kayda değer bir anterior hareket olmadığını rapor etmişlerdir. Tip B model ve Tip C modelde benzer şekilde lateral ve medial pterigoid plaklar lateral hareket göstermiştir; inferior kısımlarında az miktarda da olsa süperior kısımdan daha fazla hareket gözlenmiştir. Elde edilen sonuç, benzer çalışmalarla uyumlu olup^(162, 173, 273) bu durum kafa tabanına yakın pterigoid plakaların bükülmeye karşı daha fazla direnç göstermesi ile açıklanabilir.⁽¹⁰⁾

Çalışmamızda yapılan SEA'nin lineer olması nedeniyle Von mises gerilmelerinin değerlendirilmesinde, yüksek gerilmeler oluşabileceği ve klinik olarak hastada biyolojik iyileşme sürecinin varlığı düşünülerek, vidaların 0,25 mm'lik genişletmesi sonucu oluşan gerilme sonuçlarının daha gerçeğe yakın sonuçlar vereceği düşünülmektedir. 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan bazı gerilmeler kemiğin dayanabileceği yükü geçtiğinden daha dikkatli değerlendirilmelidir.

Holberg⁽²²⁵⁾ kemiğin elastikiyeti ile oluşabilecek gerilmelerin arasında ters korelasyon olduğunu bildirmiştir. Böylece, erişkinlerde HÜÇG uygulamasına bağlı olarak nöral ve vasküler yapılara etki edecek mikro kırıklar oluşabileceğini belirtmiştir.

İşeri ve ark.⁽²²⁴⁾ HÜÇG'nin kraniyofasiyal sistem üzerine biyomekanik etkilerini SEA ile değerlendirdikleri çalışmalarında 10 mm'lik maksiller genişletme sonucu en yüksek gerilmelerin; sfenoid kemiğin kranial tabana yakın pterigoid plak bölgesinde başta olmak üzere, kanin ve molar dişler hizasında, nazal kavitenin lateral bölgelerinde, zigomatik ve nazal kemikte izlendiğini bildirmiştir. Jafari ve ark.⁽²⁵¹⁾ 10 mm'lik maksiller genişletme sonucu en yüksek gerilmeleri; frontonasal, nasomaksiller, internasal ve frontozigomatik

suturlar bölgelerinde bildirmiştir. Benzer şekilde Gautam ve ark.⁽²⁴⁰⁾ 10 mm'lik maksiller genişletme sonucu en yüksek gerilmelerin; frontomaksiller, nasomaksiller ve frontonasal suturlar bölgelerinde oluştuğunu bildirmişler. MacGinnis ve ark.⁽¹⁹⁾ 5 mm'lik HÜÇG'de zigomatikomaksiller sutur, zigomatik proses, lateral pterigoid plak, palatal kemikte yoğun stres alanları bildirmiştir. Çalışmamızda Tip B ve Tip C model için sonuçlar mevcut çalışmalar ile uyumludur. 5 mm'lik genişletme sonucu suturlarda oluşan gerilmelere bakıldığında en yüksek gerilmeler Tip B ve Tip C modelde mini vida bölgesi (Tip B 338,9 MPa - 234,2 MPa) ve frontozigomatik sutur bölgesinde (Tip C 391 MPa - 232,4 MPa) gözlenmiştir. Tip B ve Tip C modelde medial pterigoid plak ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri, frontozigomatik sutur, frontonasal sutur, zigomatikomaksiller sutur ve zigomatik arkta gerilmelerin yüksek çıktığı görülmektedir. Bu yapılarıdaki gerilme değerleri genel olarak değerlendirildiğinde Tip A modelin en düşük değerleri aldığı izlenirken, Tip B ve Tip C modeller neredeyse aynı değerlere sahiptir.

Timms⁽¹⁵²⁾ HÜÇG'sinde kemiklerin yer değiştirebildiğini, zigomatik proseslerin genişletmeye direnç gösterdiklerini bildirmiştir. Pterigoid plaklarda genişletmeye karşı direnç oluştuğunu ve az miktarda eğildiğini özellikle kafa kaidesine yakın bölgelerde bu direncin en fazla olduğunu rapor etmiştir. Çalışmamızda her üç apareye ait gerilmeler medial ve lateral pterigoid plaklar için değerlendirildiğinde (Tip A - medial pterigoid plak 68,11 MPa, lateral pterigoid plak 7,386 MPa, Tip B - medial pterigoid plak 86,55 MPa, lateral pterigoid plak 115,6 MPa, Tip C - medial pterigoid plak 70,66 MPa, lateral pterigoid plak 132,9 MPa) yüksek gerilmeler izlenmiştir. Tip A modelde daha az olmak üzere Tip B ve Tip C model plaklarının daha sert olduğu kraniyal tabana yakın bölgelerde belirgin stres artışı gözlenmiştir. Hartono ve ark.⁽²⁷⁴⁾, pterygoid plakalarda, pterigo-palatin süturda ve en belirgin olarak birinci molar dişlerin palatinal kemiklerinde stres biriktiğini görmüştür. Benzer şekilde Lee ve ark.⁽²⁷¹⁾'nin çalışmasında da, üst birinci molar dişlerin palatal bölgesinde genişletme kuvveti uygulanması ile palatin kemik ve pterigoid plakaların birleşme bölgesinde yüksek stres oluştuğu saptanmıştır. Çalışmamızda, Tip B ile Tip C modelde daha fazla olmak üzere pterigoid plakalarda belirgin yer değiştirme görülmemesi ve özellikle Tip B ve Tip C modelde görülen yüksek stres seviyeleri erişkin kafatasında genişletme kuvvetinin midpalatal süturun açılmasına direnç gösteren

yapılardan olan sfenoid kemiğin pterigoid plakalarının ayrılması için yeterli olmadığı görüşünü desteklemektedir. Tip A modelde de görülen pterigoid plakalardaki yüksek stres seviyeleri daha az cerrahi prosedür içeren median ve lateral osteotominin, pterigoid plakaların seperasyonunu gerektiren ek bir cerrahi tekniğe ihtiyacı olduğunu düşündürmektedir.

Matsuyama ve ark.⁽²²⁹⁾ palatal derinlik, vida kolu şekli üzerindeki modifikasyonların ve mini vida desteğinin etkisini araştırdığı SEA çalışmasında; 0,2 mm'lik genişletme sonucu en yüksek stres alanlarını zigomatik proses, pterigomaksiller fissür ve tüber maksilla bölgesinde bulmuştur. Lee ve ark.⁽²²⁸⁾ yaptıkları SEA çalışmasında diş destekli hyrax apareyinde 0,5 mm'lik genişletme sonucu en yüksek stress seviyeleri zigomatikomaksiller suturda bulunmuştur. Çalışmamızda Tip B ve Tip C model için sonuçlar bahsedilen araştırmalar ile uyumludur. 0,25 mm'lik genişletme sonucu suturlarda oluşan gerilmelere bakıldığında en yüksek gerilmeler Tip B ve Tip C model de mini vida bölgesi (Tip B 46,20 MPa - Tip C 39,14 MPa) ve frontozigomatik sutur bölgesinde (Tip B 10,60 MPa - Tip C 10,43 MPa) gözlenmiştir. Tip B ve Tip C model de medial pterigoid plak ve lateral pterigoid plakların kraniyal tabana yakın bölgeleri, frontozigomatik sutur, frontonasal sutur, zigomatikomaksiller sutur ve zigomatik arkta gerilmelerin arttığı görülmektedir. Bu yapılardaki gerilme değerleri genel olarak değerlendirildiğinde azdan çoğa olacak şekilde sırasıyla Tip A, Tip C ve Tip B modele aittir. Tip B modelde özellikle frontozigomatik sutur ile frontonasal suturda, medial ve lateral pterigoid plakalarda artmış gerilme değerleri izlenmiştir. Tip C modelde ise Tip B modele benzer ama daha az oluşan gerilme değerleri izlenmiştir. Tip A modelde ise, medial pterigoid plakta ve PNS bölgelerinde daha fazla olmak üzere ihmal edilebilir seviyede gerilme değerleri görülmüştür. Tip A, Tip B ve Tip C modelindeki gerilme dağılımlarındaki farklılık; Tip A modeldeki median ve lateral osteotomi uygulaması ve Tip B ve Tip C modelde mini vidaların üst çene plakalarının dönme etkisine karşı koyduğu dirençten kaynaklanmış olabilir. Tip B ve Tip C modeldeki gerilme değerlerinin yüksek olması, osteotomi yapılmaması nedeniyle molar alveolar bölgede oluşan kısıtlı genişlemeye bağlı olabilir. Bu nedenle oluşan gerilmeler, mini vida bölgelerinde ve palatal bölgede yüksek gerilme dağılımlarına sebep olmuş olabilir.

Provatidis ve ark.⁽²²⁶⁾ SEA çalışmasında, HÜÇG sonucunda kraniyofasiyal suturlar içinde zigomatikomaksiller suturun ekspansiyon kuvvetlerinden daha fazla etkilendiğini bildirmiştir. Lee ve ark.⁽²²⁸⁾ diş destekli HÜÇG, MVDHÜÇG, MVDHÜÇG + median osteotomi, MVDHÜÇG + median osteotomi + pterigomaksiller seperasyon ve MVDHÜÇG + Le Fort I osteotomi uygulanan beş gruba değerlendirmişlerdir. Le Fort I osteotomi kesisine sahip modelde en yüksek gerilim dağılımı gösteren bölgeler zigomatikomaksiller sutur ve orbital marjin olarak belirtilmiş, en yüksek gerilim gösteren modelin ise MVDHÜÇG model olduğu rapor edilmiştir. Çalışmamızda en çok gerilim görülen alan her üç modelde; frontozigomatik sutur olmuş ve en çok gerilim gösteren model Tip B model olmuştur. Bulunan sonuçlar Lee ve ark.'nın çalışması ile uyumludur.⁽²²⁸⁾

Lee ve ark.⁽²⁵⁰⁾ midpalatal sutur yakını dört adet mini vida yerleştirerek 0,25 mm genişletme yaptıkları SEA çalışmalarında, en çok mini vidalar bölgesi ve midpalatal sutur bölgesinde gerilme olduğunu, en az gerilmenin ise cerrahi destekli konvansiyonel hyrax modelinde olduğunu bildirmişlerdir. Hyrax modelde, ankraj dişlerde ve midpalatal suturda çok daha az stres miktarları bulunmuştur. Benzer şekilde, çalışmamızda en yüksek gerilmeler Tip B modelde olup, gerilme dağılımları mini vidaların çevresinde görülmüştür. Çalışmamızda da Tip A model en az gerilmelerin izlendiği model olmuştur.

Singarajau ve ark.⁽²⁷⁵⁾ kemik destekli, konvansiyonel hyrax ve hibrit apareyli modellerin tamamını cerrahi destekli uyguladıkları SEA çalışmalarında; en yüksek gerilmenin hibrit apareyli modelde, en düşük gerilmelerinse diş destekli modelde olduğunu bildirmiştir. Kraniyofasiyal yapılar üzerindeki gerilmelerin dağılımının konvansiyonel apareylerde daha net olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda da benzer şekilde, en yüksek gerilme değerleri Tip B modelde mini vidaların olduğu alan çevresinde ve palatal eğimlerde, en düşük gerilmeler ise Tip A modelde gözlenmiştir. Bu sonuçlar; MVDHÜÇG'de gerilmelerin azaltılması için osteotomi desteğinin faydalı olabileceğini, cerrahi desteksiz genç erişkin ve erişkin bireylerde mini vida uygulanmasının ise kraniyofasiyal yapıda oluşan stresleri arttırdığını düşündürmektedir.

Çalışmamızın sonuçlarının SEA ile hastayı simüle eden bir yöntemin bulguları olduğu ve biyolojik dokuların cevabını tam olarak yansıtamayacağını ve SEA yönteminin

limitasyonları unutulmadan değerlendirilmelidir. Ancak, düğüm ve eleman sayılarının diğer çalışmalara göre daha yüksek sayıda alınmasıyla, eleman sayısının yanında elemanların mükemmel aralıkta ağ yakınsanmasıyla işlenmesi ve keskin yüzey - düz yüzey için uygun eleman tiplerinin uygulanması ile sonlu eleman modelinin daha detaylı olması amaçlanmış ve analiz sonuçlarının daha gerçekçi olması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, sonuçlarımız iki farklı yöntem olan CDHÜÇG ve monokortikal ve bikortikal yerleşimli iki farklı tip MVDHÜÇG yöntemini, erişkin bir modelde karşılaştırması bakımından literatürde ilk çalışma olması, klinik çalışmalara rehber olması ve ön bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır. Bulgularımız, prospektif klinik çalışmalar ile desteklenmelidir. Ayrıca, erişkin hasta gruplarında farklı osteotomi tekniklerinin aşamalandırılacağı MVDHÜÇG apareylerinin araştırılması, invaziv işlem sayısının azalmasını sağlayacak ve oluşabilecek yan etkilerin en aza indirildiği, uzun dönem stabilitesi optimum olan HÜÇG yöntemlerinin değerlendirilmesini sağlayacaktır.

6. SONUÇ

Çalışmamızda; erişkinlerde üst çene transversal darlığa bağlı anomalilerin tedavisinde kullanılan, CDHÜÇG tedavisi ile monokortikal ve bikortikal yerleşimli iki farklı tip MVDHÜÇG tedavisinin, nasomaksiller sistem üzerindeki biyomekanik etkileri SEA kullanılarak karşılaştırılmıştır.

1. Bikortikal yerleşimli MVDHÜÇG apareylerinin etkinliğinin daha net belirlenebilmesi için, penetrasyon mesafelerinin karşılaştırılabildiği SEA ve daha fazla klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.
2. Her iki modelde de pterigoid plaklarda belirgin yer değiştirme izlenmemiştir. Erişkin bireyde uygulanan genişletme kuvveti başlangıç aşamasında midpalatal süturun açılmasına direnç oluşturan sfenoid kemiğin pterigoid plakalarının ayrılması için yeterli görülmemiştir. Erişkin bireylerde pterigoid plakaların ayrılması önerilebilir.
3. Bikortikal yerleşimli MVDHÜÇG apareylerinde dişlerde stres birikimi cerrahi destekli genişletme modelindekinden daha fazladır. Bu yüzden diş kök yüzeylerinde rezorbsiyon ve alveol kemiğinin bukkal yüzeyinde dehissens ve fenestresyon ihtimali artabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
4. SEA yönteminin sınırları göz önünde bulundurularak genişletme kuvvetinin ilk anda yarattığı etkiler ve elde edilen sonuçlara göre genç erişkin bireyde mini vida destekli genişletme aygıtlarının dental yan etkileri azaltmaları nedeniyle kullanımları tercih edilebilir. Bikortikal vida yerleşimi, monokortikal vida yerleşimine göre ankraji daha iyi sağlayacağından dental yan etkilerin azaltılması amacıyla tercih edilebilir.
5. Kemiğin remodeling (kendini yenileme ve tamir etme) özelliği dikkate alınmadığından ve iyileşme süreci modellenemediği için SEA'da yüksek gerilme değerleri oluşabilmektedir. Bu yüzden vidanın ilk hareketi olan 0,25 mm yer değiştirme miktarı verildiğinde oluşan gerilme sonuçlarını değerlendirmek daha gerçekçi olabilir. 5 mm genişletme hasta üzerinde tek seferde elde edilemediğinden klinik uygulama ile SEA arasında gerilme değerleri arasında büyük farklılıklar olabilir. Klinikte genişletme süresi analiz süresinden daha uzun olduğu için SEA yöntemi problemin çözümü hakkında genel fikir verir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde: cerrahi osteotomi yapılan modelde maksillada daha az stres birikimi görüldüğünden, erişkin bireylerde HÜÇG yapılması gereken durumlarda; sutural açılmayı sağlayabilmek, alveol kemiğinin bukkal devrilmesini azaltmak, kraniyofasiyal yapılarda yüksek gerilimlere bağlı oluşabilecek komplikasyonlardan kaçınmak ve uzun dönem nüks ihtimalinden dolayı, pterigomaksiller plakaların ayrılmasının dahil edileceği cerrahi destekli maksiller genişletme yöntemleri daha avantajlı görülmektedir. Cerrahi desteğinin yanı sıra daha paralel bir sutural açılma ve daha az dentoalveolar yan etkiler için MVDHÜÇG yöntemleri faydalı olabilmektedir. Erişkin bireylerde maksiller genişletme tedavisi uygulandığında, pterigoid plakaların seperasyonunu da içeren cerrahi destekli MVDHÜÇG apareyleri tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

1. McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;117(5):567-70.
2. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics*, 5e: Elsevier India; 2012.
3. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod.* 1975;68(1):42-54.
4. De Silva FO, Boas CV, Capelozza LF. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.* 1991;100(2):171-9.
5. Dutra ALT, Cardoso AC, Locks A, Bezerra ACB. Assessment of treatment for functional posterior cross-bites in patients at the deciduous dentition phase. *Brazilian dental journal.* 2004;15(1):54-8.
6. Marshall SD, Southard KA, Southard TE, editors. *Early transverse treatment. Seminars in Orthodontics*; 2005: Elsevier.
7. ANGELL & C. E. Treatment of irregularities of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos.* 1860;1(11):599-600.
8. Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American journal of orthodontics.* 1970;57(3):219-55.
9. Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD. Facioskeletal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist.* 1966;36(2):152-64.
10. Timms D. *After rapid maxillary expansion (theory and practice).* Rapid maxillary expansion: Quintessence Publishing Co., Inc Chicago; 1981. p. 59-76.
11. Korbmacher H, Schilling A, Püschel K, Amling M, Kahl-Nieke B. Age-dependent three-dimensional microcomputed tomography analysis of the human midpalatal suture. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie.* 2007;68(5):364-76.
12. Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American journal of orthodontics.* 1970;58(1):41-66.
13. Weissheimer A, de Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, de Lima EMS, Rizzato SMD. Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type

expanders: a randomized clinical trial. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2011;140(3):366-76.

14. Chun JH, de Castro ACR, Oh S, Kim KH, Choi SH, Nojima LI, et al. Skeletal and alveolar changes in conventional rapid palatal expansion (RPE) and miniscrew-assisted RPE (MARPE): a prospective randomized clinical trial using low-dose CBCT. *BMC Oral Health*. 2022;22(1):114.

15. Capelozza Filho L, da Silva Filho O, Ursi W. Non-surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*. 1996;11(1):57-66; discussion 7.

16. 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. *The Angle Orthodontist*. 2012;82(3):488-94.

17. Halicioğlu K, Kiki A, Yavuz İ. Maxillary expansion with the memory screw: a preliminary investigation. *The Korean Journal of Orthodontics*. 2012;42(2):73-9.

18. Lin L, Ahn H-W, Kim S-J, Moon S-C, Kim S-H, Nelson G. Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *The Angle Orthodontist*. 2015;85(2):253-62.

19. MacGinnis M, Chu H, Youssef G, Wu KW, Machado AW, Moon W. The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex—a finite element method (FEM) analysis. *Progress in orthodontics*. 2014;15(1):1-15.

20. 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010;137(3):304. e1-. e12.

21. Lee K-J, Park Y-C, Park J-Y, Hwang W-S. Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010;137(6):830-9.

22. 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 Journal of Orthodontics*. 2017;22:110-25.

23. Carlson C, Sung J, McComb RW, Machado AW, Moon W. Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149(5):716-28.
24. Lee RJ, Moon W, Hong C. Effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on bone-borne palatal expansion using finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151(5):887-97.
25. Brettin BT, Grosland NM, Qian F, Southard KA, Stuntz TD, Morgan TA, et al. Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;134(5):625-35.
26. Holberg C, Winterhalder P, Rudzki-Janson I, Wichelhaus A. Finite element analysis of mono-and bicortical mini-implant stability. *European journal of orthodontics*. 2014;36(5):550-6.
27. Fennis W, Kreulen C, Barink M, Kuijs R, Verdonshot N, Creugers N. Research methods in dentistry 5. The finite element method. 2004.
28. Cattaneo P, Dalstra M, Melsen B. The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *Journal of dental research*. 2005;84(5):428-33.
29. Nakajima A, Murata M, Tanaka E, Arai Y, Fukase Y, Nishi Y, et al. Development of three-dimensional FE modeling system from the limited cone beam CT images for orthodontic tipping tooth movement. *Dental materials journal*. 2007;26(6):882-91.
30. Bourauel C, Freudenreich D, Vollmer D, Kobe D, Drescher D, Jäger A. Simulation of orthodontic tooth movements. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1999;60(2):136-51.
31. Provatidis CG. A comparative FEM-study of tooth mobility using isotropic and anisotropic models of the periodontal ligament. *Medical Engineering & Physics*. 2000;22(5):359-70.
32. Field C, Ichim I, Swain MV, Chan E, Darendeliler MA, Li W, et al. Mechanical responses to orthodontic loading: a 3-dimensional finite element multi-tooth model. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(2):174-81.

33. Holberg C, Holberg N, Schwenzer K, Wichelhaus A, Rudzki-Janson I. Biomechanical analysis of maxillary expansion in CLP patients. *The Angle Orthodontist*. 2007;77(2):280-7.
34. Gracco A, Cirignaco A, Cozzani M, Boccaccio A, Pappalettere C, Vitale G. Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage. *The European Journal of Orthodontics*. 2009;31(1):12-20.
35. Hughes TJ. *The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis*: Courier Corporation; 2012.
36. Moaveni S. *Finite element analysis theory and application with ANSYS*, 3/e: Pearson Education India; 2011.
37. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist*. 1965;35(3):200-17.
38. Haas A. Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *The Angle Orthodontist*. 1980;50(3):189-217.
39. Timms D, Vero D. The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *British Journal of Oral Surgery*. 1981;19(3):180-96.
40. Kocadereli İ. Rapid Maxillary Expansion. *Turk J Orthod*. 1996;9(1):138-42.
41. Brodie AG, Downs WB, Goldstein A, Myer E. Cephalometric appraisal of orthodontic results: a preliminary report. *The Angle Orthodontist*. 1938;8(4):261-5.
42. Wright CF. Crossbites and their management. *The Angle Orthodontist*. 1953;23(1):35-45.
43. Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *The Angle Orthodontist*. 1961;31(2):73-90.
44. Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics*. 1968;2(2):67-70.
45. Brandt S, Ricketts RM. Interview: Dr. Robert M. Ricketts on growth prediction. *J Clin Orthod*. 1975;9(6):340-9, 52-62.
46. Fahim FH, Othman A, von See C. F-quad helix for simultaneous maxillary expansion and tooth alignment in patients with unilateral cleft lip and/or palate. *Clin Case Rep*. 2023;11(6):e7572.

47. Lorente C, Lorente P, Perez-Vela M, Esquinas C, Lorente T. Quad-helix compression to decompensate molar inclination prior to skeletal expansion. *J Orofac Orthop.* 2020;81(2):142-9.
48. Cotton LA. Slow maxillary expansion: skeletal versus dental response to low magnitude force in *Macaca mulatta*. *American Journal of Orthodontics.* 1978;73(1):1-23.
49. SUBTELNY JD. Oral respiration: facial maldevelopment and corrective dentofacial orthopedics. *The Angle Orthodontist.* 1980;50(3):147-64.
50. Vardimon AD, Graber T, Voss LR, Verrusio E. Magnetic versus mechanical expansion with different force thresholds and points of force application. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1987;92(6):455-66.
51. Arndt WV. Nickel titanium palatal expander. *Journal of clinical orthodontics: JCO.* 1993;27(3):129-37.
52. Darendeliler MA, Lorenzon C. Maxillary expander using light, continuous force and autoblocking. *Journal of clinical orthodontics: JCO.* 1996;30(4):212-6.
53. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J orthod.* 1972;62(3):296-309.
54. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.* 1987;91(1):3-14.
55. Dean JA. McDonald and Avery's dentistry for the child and adolescent-E-book: Elsevier Health Sciences; 2021.
56. Kutin G, Hawes RR. Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *American Journal of Orthodontics.* 1969;56(5):491-504.
57. Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KW, Huang GJ. *Orthodontics-e-book: current principles and techniques: Elsevier Health Sciences; 2016.*
58. Moyers RE. *Handbook of orthodontics.* 1988.
59. Ülgen M. *Ortodonti, anomaliler, sefalometri, etiyoloji, büyüme ve gelişim, tanı.* 2000: TC Yeditepe Üniversitesi Yayınları; 2000.
60. Lux CJ, Conradt C, Burden D, Komposch G. Transverse development of the craniofacial skeleton and dentition between 7 and 15 years of age—a longitudinal postero-anterior cephalometric study. *The European Journal of Orthodontics.* 2004;26(1):31-42.

61. Pinto AS, Buschang PH, Throckmorton GS, Chen P. Morphological and positional asymmetries of young children with functional unilateral posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;120(5):513-20.
62. Gelgör İE, Karaman İA, Ercan E. Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *European journal of dentistry*. 2007;1(03):125-31.
63. Isaacson RJ, Murphy TD. Some effects of rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients. *The Angle Orthodontist*. 1964;34(3):143-54.
64. Wang Y, Shi B, Li Y, Zheng Q, Deng D-z. Comparative study of maxillary growth and occlusal outcome after autogenous rib grafting in complete cleft palate defect. *Journal of Craniofacial surgery*. 2006;17(1):68-79.
65. Harvold EP, Tomer BS, Vargervik K, Chierici G. Primate experiments on oral respiration. *American journal of orthodontics*. 1981;79(4):359-72.
66. Behlfelt K, Linder-Aronson S, McWilliam J, Neander P, Laage-Hellman J. Dentition in children with enlarged tonsils compared to control children. *The European Journal of Orthodontics*. 1989;11(4):416-29.
67. Odont EL. Sucking, chewing, and feeding habits and the development of crossbite: a longitudinal study of girls from birth to 3 years of age. *The Angle Orthodontist*. 2001;71(2):116-9.
68. Ülgen M. *Ortodontik Tedavi Prensipleri*. 8. Baskı ed: Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Yayınları; 2015. 544 p.
69. Larsson E. Effect of dummy-sucking on the prevalence of posterior cross-bite in the permanent dentition. *Swedish dental journal*. 1986;10(3):97-101.
70. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;133(2):290-302.
71. Bishara SE, Burkey PS, Kharouf JG. Dental and facial asymmetries: a review. *The Angle Orthodontist*. 1994;64(2):89-98.
72. Howe RP, McNamara Jr JA, O'connor KA. An examination of dental crowding and its relationship to tooth size and arch dimension. *American journal of orthodontics*. 1983;83(5):363-73.

73. 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.
74. Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. The first fifty years. *Angle Orthod.* 1981;51(2):115-50.
75. Macchi A, Carrafiello G, Cacciafesta V, Norcini A. Three-dimensional digital modeling and setup. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.* 2006;129(5):605-10.
76. Staley RN, Stuntz WR, Peterson LC. A comparison of arch widths in adults with normal occlusion and adults with Class II, Division 1 malocclusion. *American journal of orthodontics.* 1985;88(2):163-9.
77. Kuroi J, Berglund L. Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *The European Journal of Orthodontics.* 1992;14(3):173-9.
78. LINDNER A. Longitudinal study on the effect of early interceptive treatment in 4-year-old children with unilateral cross-bite. *European Journal of Oral Sciences.* 1989;97(5):432-8.
79. Thilander B, Wahlund S, Lennartsson B. The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *The European Journal of Orthodontics.* 1984;6(1):25-34.
80. Erdinç AE, Ugur T, Erbay E. A comparison of different treatment techniques for posterior crossbite in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1999;116(3):287-300.
81. Herold JS. Maxillary expansion: a retrospective study of three methods of expansion and their long-term sequelae. *British journal of orthodontics.* 1989;16(3):195-200.
82. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C. Skeletal and dental changes with fixed slow maxillary expansion treatment: a systematic review. *The Journal of the American Dental Association.* 2005;136(2):194-9.
83. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *American journal of orthodontics.* 1982;81(1):32-7.

84. Hicks EP. Slow maxillary expansion: a clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *American journal of orthodontics*. 1978;73(2):121-41.
85. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion: III. Forces present during retention. *The Angle Orthodontist*. 1965;35(3):178-86.
86. Mew J, JRC M. Semi-rapid maxillary expansion. 1977.
87. İşeri H, Özsoy S. Semirapid maxillary expansion—a study of long-term transverse effects in older adolescents and adults. *The Angle Orthodontist*. 2004;74(1):71-8.
88. Lamparski Jr DG, Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2003;123(3):321-8.
89. Agarwal A, Mathur R. Maxillary expansion. *International journal of clinical pediatric dentistry*. 2010;3(3):139.
90. Isaacson RJ, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion: II. Forces present during treatment. *The Angle Orthodontist*. 1964;34(4):261-70.
91. Biederman W. Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion. *American journal of orthodontics*. 1973;63(1):47-55.
92. Ceylan Í, Oktay H, Demirci M. The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *The Angle Orthodontist*. 1996;66(4):301-8.
93. Taşpinar F, Üçüncü H, Bishara SE. Rapid maxillary expansion and conductive hearing loss. *The Angle orthodontist*. 2003;73(6):669-73.
94. Tecco S, Festa F, Tete S, Longhi V, D'Attilio M. Changes in head posture after rapid maxillary expansion in mouth-breathing girls: a controlled study. *The Angle Orthodontist*. 2005;75(2):171-6.
95. Sander C, Hüffmeier S, Sander FM, Sander FG. Initial results regarding force exertion during rapid maxillary expansion in children. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2006;67(1):19-26.
96. Chatellier J, Chateau M. Premières observations des disjonctions mediopalatine ultra rapide sous anesthésie locale. *Rev Stomatol*. 1963;64:145-9.
97. Ciambotti C, Ngan P, Durkee M, Kohli K, Kim H. A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal

expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;119(1):11-20.

98. Memikoglu TUT, Işeri H. Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*. 1999;69(3):251-6.

99. Özsoy F. Semirapid üst çene genişletmesinin dentofasiyal yapılar üzerine olan etkilerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ortodonti Anabilim Dalı: Doktora Tezi, Ankara; 2001.

100. Schuster G, Borel-Scherf I, Schopf PM. Frequency of and complications in the use of RPE appliances—results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2005;66(2):148-61.

101. Akkaya S, Lorenzon S, Üçem TT. A comparison of sagittal and vertical effects between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. *The European Journal of Orthodontics*. 1999;21(2):175-80.

102. Akkaya S, Lorenzon S, Üçem T. Comparison of dental arch and arch perimeter changes between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. *The European Journal of Orthodontics*. 1998;20(3):255-61.

103. Basciftci F, Karaman A. Effects of a modified acrylic bonded rapid maxillary expansion appliance and vertical chin cap on dentofacial structures. *The Angle Orthodontist*. 2002;72(1):61-71.

104. Howe RP. Palatal expansion using a bonded appliance: report of a case. *American journal of orthodontics*. 1982;82(6):464-8.

105. Wichelhaus A, Geserick M, Ball J. A new nickel titanium rapid maxillary expansion screw. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 2004;38(12):677-2.

106. Halıcıoğlu K. Hafızalı Vida ve Hyrax vidası ile Yapılan Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Dentofasiyal Yapılar Üzerine Etkilerinin Karşılaştırması. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti Anabilim Dalı: Doktora Tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi; 2009.

107. Öztürk M, Doruk C, Özeç İ, Polat S, Babacan H, Biçakci AA. Pulpal blood flow: effects of corticotomy and midline osteotomy in surgically assisted rapid palatal expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2003;31(2):97-100.

108. McNamara JA, Brudon WL. Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition: Needham Press; 1993.
109. Berger JL, Pangrazio-Kulbersh V, Borgula T, Kaczynski R. Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 1998;114(6):638-45.
110. Singh G. Textbook of orthodontics: Jaypee Brothers Publishers; 2008.
111. Lione R, Ballanti F, Franchi L, Baccetti T, Cozza P. Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;134(3):389-92.
112. Christie KF, Boucher N, Chung C-H. Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2010;137(4):S79-S85.
113. Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon H-P. Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*. 2007;29(1):37-44.
114. Gray LP. Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *The Journal of Laryngology & Otology*. 1975;89(6):601-14.
115. Bazargani F, Feldmann I, Bondemark L. Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones: a systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2013;83(6):1074-82.
116. Löfstrand-Tideström B, Thilander B, Ahlqvist-Rastad J, Jakobsson O, Hulterantz E. Breathing obstruction in relation to craniofacial and dental arch morphology in 4-year-old children. *The European Journal of Orthodontics*. 1999;21(4):323-32.
117. Hartgerink DV, Vig PS, Orth D, Abbott DW. The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987;92(5):381-9.
118. Halicioğlu K, Kiliç N, Yavuz İ, Aktan B. Effects of rapid maxillary expansion with a memory palatal split screw on the morphology of the maxillary dental arch and nasal airway resistance. *The European Journal of Orthodontics*. 2010;32(6):716-20.

119. Bicakci AA, Agar U, Sökücü O, Babacan H, Doruk C. Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing. *The Angle Orthodontist*. 2005;75(1):1-6.
120. Basciftci F, Mutlu N, Karaman A, Malkoc S, Küçükolbasi H. Does the timing and method of rapid maxillary expansion have an effect on the changes in nasal dimensions? *The Angle orthodontist*. 2002;72(2):118-23.
121. Timms DJ. Rapid maxillary expansion in the treatment of nocturnal enuresis. *The Angle Orthodontist*. 1990;60(3):229-33.
122. Schütz-Fransson U, Kurol J. Rapid maxillary expansion effects on nocturnal enuresis in children: a follow-up study. *The Angle Orthodontist*. 2008;78(2):201-8.
123. Basha S, Bialowas C, Ende K, Szeremeta W. Effectiveness of adenotonsillectomy in the resolution of nocturnal enuresis secondary to obstructive sleep apnea. *The Laryngoscope*. 2005;115(6):1101-3.
124. Griffin C. Chronic nasal obstruction and bronchial asthma. *Australian dental journal*. 1965;10(4):313-6.
125. Laptook T. Conductive hearing loss and rapid maxillary expansion: report of a case. *American journal of orthodontics*. 1981;80(3):325-31.
126. Braun F. A contribution of the problem of bronchial asthma and extension of the palatal suture. *Trans Eur Orthod Soc*. 1966;42:363.
127. Timms DJ. Some medical aspects of rapid maxillary expansion. *British journal of orthodontics*. 1974;1(4):127-32.
128. Bluestone CD. Studies in otitis media: Children's Hospital of Pittsburgh—University of Pittsburgh progress report—2004. *The Laryngoscope*. 2004;114(S105):1-26.
129. Cozza P, Di Girolamo S, Ballanti F, Panfilio F. Orthodontist-otorhinolaryngologist: an interdisciplinary approach to solve otitis media. *Eur J Paediatr Dent*. 2007;8(2):83-8.
130. Timms D. Rapid maxillary expansion in the treatment of nasal obstruction and respiratory disease. *Ear, nose, & throat journal*. 1987;66(6):242-7.
131. Pinto PX, Mommaerts MY, Wreakes G, Jacobs WV. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2001;59(9):994-1000.

132. Mommaerts M. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1999;37(4):268-72.
133. Pearson A, Davies S, Sandler P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a modified approach in a patient with a missing lateral incisor. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*. 1996;11(3):235-8.
134. Silverstein K, Quinn PD. Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 1997;55(7):725-7.
135. Gill D, Naini F, McNally M, Jones A. The management of transverse maxillary deficiency. *Dental update*. 2004;31(9):516-23.
136. van Ingen Brown G. *The Surgery of Oral and Facial Diseases and Malformations: Their Diagnosis and Treatment: Including Plastic Surgical Reconstruction*: Kimpton; 1938.
137. Steinhäuser E. Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *Journal of oral surgery (American Dental Association: 1965)*. 1972;30(6):413-22.
138. Schimming R, Feller K-U, Herzmann K, Eckelt U. Surgical and orthodontic rapid palatal expansion in adults using Glassman's technique: retrospective study. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2000;38(1):66-9.
139. Bays RA, Greco JM. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1992;50(2):110-3.
140. Northway WM, Meade Jr JB. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. *The Angle Orthodontist*. 1997;67(4):309-20.
141. Kilic E, Kilic B, Kurt G, Sakin C, Alkan A. Effects of surgically assisted rapid palatal expansion with and without pterygomaxillary disjunction on dental and skeletal structures: a retrospective review. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2013;115(2):167-74.
142. Gerlach KL, Zahl C. Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: report of a case with an epimucosal fixation. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2005;63(5):711-3.

143. Bell W, Jacobs J. Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency. *Journal of Oral Surgery* (American Dental Association: 1965). 1979;37(12):897-902.
144. Lines PA. Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *American journal of orthodontics*. 1975;67(1):44-56.
145. Pogrel M, Kaban L, Vargervik K, Baumrind S. Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*. 1992;7(1):37-41.
146. Betts NJ. Surgically assisted maxillary expansion. *Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics of North America*. 2016;24(1):67-77.
147. Lehman Jr JA, Haas AJ, Haas DG. Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plastic and reconstructive surgery*. 1984;73(1):62-8.
148. Glassman AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI. Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. *American journal of orthodontics*. 1984;86(3):207-13.
149. Seeberger R, Kater W, Davids R, Thiele OC. Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2010;38(3):175-8.
150. Han UA, Kim Y, Park JU. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2009;37(3):145-54.
151. Altug Atac AT, Karasu HA, Aytac D. Surgically assisted rapid maxillary expansion compared with orthopedic rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 2006;76(3):353-9.
152. Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics*. 1980;77(5):500-7.
153. Timms D, Moss J. An histological investigation into the effects of rapid maxillary expansion on the teeth and their supporting tissues. *Transactions European Orthodontic Society*. 1971:263-71.

154. Barber AF, Sims M. Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *American journal of orthodontics*. 1981;79(6):630-52.
155. Langford S, Sims M. Root surface resorption, repair, and periodontal attachment following rapid maxillary expansion in man. *American journal of orthodontics*. 1982;81(2):108-15.
156. Moss J. Rapid expansion of the maxillary arch. II. Indications for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics*. 1968;2(5):215.
157. Shetty V, Caridad J, Caputo AA, Chaconas SJ. Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1994;52(7):742-9.
158. Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults: with and without surgery. *The Angle Orthodontist*. 1987;57(3):245-63.
159. Greenbaum KR, Zachrisson BU. The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *American Journal of Orthodontics*. 1982;81(1):12-21.
160. Epker BN, Wolford LM. Reduction cheiloplasty: its role in the correction of dentofacial deformities. *Journal of maxillofacial surgery*. 1977;5:134-41.
161. Koudstaal MJ, Poort L, Van der Wal K, Wolvius E, Prahl-Andersen B, Schulten A. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2005;34(7):709-14.
162. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T. Surgically-assisted maxillary expansion. *Australian dental journal*. 1997;42(1):38-42.
163. Pereira-Filho V, Monnazzi M, Gabrielli MAC, Spin-Neto R, Watanabe E, Gimenez C, et al. Volumetric upper airway assessment in patients with transverse maxillary deficiency after surgically assisted rapid maxillary expansion. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2014;43(5):581-6.
164. Salgueiro DG, RODRIGUES VHLdO, TIEGHI V, MENEZES CCd, Goncales ES, FERREIRA O. Evaluation of opening pattern and bone neof ormation at median palatal suture area in patients submitted to surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) through cone beam computed tomography. *Journal of Applied Oral Science*. 2015;23:397-404.

165. 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;146(6):748-57.
166. 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. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2014;42(7):1190-5.
167. Swennen G, Schliephake H, Dempf R, Schierle H, Malevez C. Craniofacial distraction osteogenesis: a review of the literature. Part 1: clinical studies. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2001;30(2):89-103.
168. Kraut RA. Surgically assisted rapid maxillary expansion by opening the midpalatal suture. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 1984;42(10):651-5.
169. Messer E, Bollinger T, Keller J. Surgical-mechanical maxillary expansion. *Quintessence international, dental digest*. 1979;10(8):13-6.
170. 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(4):308-15.
171. Verlinden CR, Gooris PG, Becking AG. Complications in transpalatal distraction osteogenesis: a retrospective clinical study. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2011;69(3):899-905.
172. Dergin G, Aktop S, Varol A, Ugurlu F, Garip H. Complications related to surgically assisted rapid palatal expansion. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*. 2015;119(6):601-7.
173. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod*. 2004;26(4):403-9.
174. Gauthier C, Voyer R, Paquette M, Rompré P, Papadakis A. Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;139(4):S117-S28.

175. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*. 2004;26(4):403-9.
176. Carmen M, Marcella P, Giuseppe C, Roberto A. Periodontal evaluation in patients undergoing maxillary expansion. *The Journal of craniofacial surgery*. 2000;11(5):491-4.
177. Chung CH, Goldman AM. Dental tipping and rotation immediately after surgically assisted rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*. 2003;25(4):353-8.
178. Phillips C, Medland W, Fields Jr H, Proffit W, White Jr R. Stability of surgical maxillary expansion. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*. 1992;7(3):139-46.
179. Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Bergé SJ, Nada RM, Schols JG. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2010;38(3):166-74.
180. Kircelli BH, Pektaş Z, Uçkan S. Orthopedic protraction with skeletal anchorage in a patient with maxillary hypoplasia and hypodontia. *The Angle Orthodontist*. 2006;76(1):156-63.
181. 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. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2016;44(3):285-93.
182. Matteini C, Mommaerts MY. Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: a short-term model study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;120(5):498-502.
183. Garib DG, Navarro R, Francischone CE, Oltramari P. Rapid maxillary expansion using palatal implants. *J Clin Orthod*. 2008;42(11):665-71.
184. Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravère MO, Harzer W. Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: a pilot study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;131(4):S92-S9.

185. Liu Y, Ru N, Chen J, Liu S, Peng W. Finite element modeling for orthodontic biomechanical simulation based on reverse engineering: a case study. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013;6(17):3267-76.
186. Park JJ, Park Y-C, Lee K-J, Cha J-Y, Tahk JH, Choi YJ. Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study. *The Korean Journal of Orthodontics*. 2017;47(2):77-86.
187. Paredes N, Colak O, Sfogliano L, Elkenawy I, Fijany L, Fraser A, et al. Differential assessment of skeletal, alveolar, and dental components induced by microimplant-supported midfacial skeletal expander (MSE), utilizing novel angular measurements from the fulcrum. *Progress in Orthodontics*. 2020;21(1):1-12.
188. Lee J-S, Hyung Kim D, Park Y-C, Kyung S-H, Kim T-K. The efficient use of midpalatal miniscrew implants. *The Angle Orthodontist*. 2004;74(5):711-4.
189. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clinical oral implants research*. 2006;17(1):109-14.
190. Motoyoshi M, Yoshida T, Ono A, Shimizu N. Effect of cortical bone thickness and implant placement torque on stability of orthodontic mini-implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2007;22(5).
191. Baumgaertel S. Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;136(1):104-8.
192. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P. The Orthosystem--a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *Journal of orofacial orthopedics= Fortschritte der Kieferorthopadie: Organ/official journal Deutsche Gesellschaft fur Kieferorthopadie*. 1996;57(3):142-53.
193. Gedrange T, Köbel C, Harzer W. Hard palate deformation in an animal model following quasi-static loading to stimulate that of orthodontic anchorage implants. *The European Journal of Orthodontics*. 2001;23(4):349-54.
194. Kim KB, Helmkamp ME. Miniscrew implant-supported rapid maxillary expansion. *J Clin Orthod*. 2012;46(10):608-12.

195. Choi S-H, Shi K-K, Cha J-Y, Park Y-C, Lee K-J. Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *The Angle Orthodontist*. 2016;86(5):713-20.
196. Li N, Sun W, Li Q, Dong W, Martin D, Guo J. Skeletal effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on maxillary expansion using cone-beam computed tomography in young adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020;157(5):651-61.
197. Bud E-S, Păcurar M, Vlasa A, Lazăr AP, Lazăr L, Vaida P, et al. Retrospective Case Series Regarding the Advantages of Cortico-Puncture (CP) Therapy in Association with Micro-Implant Assisted Rapid Palatal Expander (MARPE). *Applied Sciences*. 2021;11(3):1306.
198. Moon H-W, Kim M-J, Ahn H-W, Kim S-J, Kim S-H, Chung K-R, et al. Molar inclination and surrounding alveolar bone change relative to the design of bone-borne maxillary expanders: A CBCT study. *The Angle Orthodontist*. 2020;90(1):13-22.
199. Jia H, Zhuang L, Zhang N, Bian Y, Li S. Comparison of skeletal maxillary transverse deficiency treated by microimplant-assisted rapid palatal expansion and tooth-borne expansion during the post-pubertal growth spurt stage: A prospective cone beam computed tomography study. *The Angle Orthodontist*. 2021;91(1):36-45.
200. Annarumma F, Posadino M, De Mari A, Drago S, Aghazada H, Gravina GM, et al. Skeletal and dental changes after maxillary expansion with a bone-borne appliance in young and late adolescent patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2021;159(4):e363-e75.
201. Geng J-P, Tan KB, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;85(6):585-98.
202. Ramoglu SI, Sari Z. Maxillary expansion in the mixed dentition: rapid or semi-rapid? *The European Journal of Orthodontics*. 2010;32(1):11-8.
203. Ledley RS, Huang HK. Linear model of tooth displacement by applied forces. *Journal of dental research*. 1968;47(3):427-32.
204. Davidian EJ. Use of a computer model to study the force distribution on the root of the maxillary central incisor. *American journal of orthodontics*. 1971;59(6):581-8.

205. Asaro R, Lubarda V. Mechanics of solids and materials: Cambridge University Press; 2006.
206. Tosun Y. Sabit ortodontik apareylerin biyomekanik prensipleri. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi. 1999:6-7.
207. Kutz M. Mechanical engineers' handbook: Wiley New York; 1998.
208. Craig R, Powers J. Restorative dental materials, Mosby, St. Louis, Missouri, USA. 2002:672-5.
209. İnan M. Cisimlerin mukavemeti: Birsen Yayınevi; 1984.
210. Marghitu DB. Mechanical engineer's handbook: Elsevier; 2001.
211. Gümüş H. Üç farklı dental implant yiv tasarımının ve iki farklı dental implant çapının değişik yoğunluktaki kemik üzerinde oluşturdukları streslerin üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ile karşılaştırılması. Profitez Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara. 2007.
212. Gallas M, Abeleira M, Fernandez J, Burguera M. Three-dimensional numerical simulation of dental implants as orthodontic anchorage. The European Journal of Orthodontics. 2005;27(1):12-6.
213. Nanda R. Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics: Elsevier Health Sciences; 2005.
214. Toms SR, Dakin GJ, Lemons JE, Eberhardt AW. Quasi-linear viscoelastic behavior of the human periodontal ligament. Journal of biomechanics. 2002;35(10):1411-5.
215. O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 4th ed: Hanover Park; 2008.
216. Huiskes R, Chao EY. A survey of finite element analysis in orthopedic biomechanics: the first decade. Journal of biomechanics. 1983;16(6):385-409.
217. MARGHITU D. Mechanical engineer's handbook Academic Press. San Diego. 2001.
218. Cheung YK, Yeo MF. A practical introduction to finite element analysis: Pitman; 1979.
219. Owen DRJ, Hinton E. A simple guide to finite elements: Pineridge Press; 1980.

220. 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. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2004;126(3):354-62.
221. Richmond BG, Wright BW, Grosse I, Dechow PC, Ross CF, Spencer MA, et al. Finite element analysis in functional morphology. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 2005;283(2):259-74.
222. Koriouth T, Versluis A. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 1997;8(1):90-104.
223. Van Staden R, Guan H, Loo Y-C. Application of the finite element method in dental implant research. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*. 2006;9(4):257-70.
224. Işeri H, Tekkaya AE, Öztan Ö, Bilgic S. Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *The European Journal of Orthodontics*. 1998;20(4):347-56.
225. Holberg C, Rudzki-Janson I. Stresses at the cranial base induced by rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 2006;76(4):543-50.
226. Provatidis C, Georgiopoulos B, Kotinas Aa, McDonald J. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo/in vitro and finite element studies. *The European Journal of Orthodontics*. 2008;30(5):437-48.
227. Ludwig B, Baumgaertel S, Zorkun B, Bonitz L, Glasl B, Wilmes B, et al. Application of a new viscoelastic finite element method model and analysis of miniscrew-supported hybrid hyrax treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;143(3):426-35.
228. Lee SC, Park JH, Bayome M, Kim KB, Araujo EA, Kook Y-A. Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145(5):638-48.

229. Matsuyama Y, Motoyoshi M, Tsurumachi N, Shimizu N. Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *European journal of orthodontics*. 2015;37(2):188-93.
230. Seong E-H, Choi S-H, Kim H-J, Yu H-S, Park Y-C, Lee K-J. Evaluation of the effects of miniscrew incorporation in palatal expanders for young adults using finite element analysis. *The Korean Journal of Orthodontics*. 2018;48(2):81-9.
231. Miroue MA. *The human facial sutures: A morphologic and histologic study of age changes from 20 to 95 years*: University of Washington; 1975.
232. Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *The European Journal of Orthodontics*. 2001;23(2):105-14.
233. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Mallya SM, Moschik C, Pan HC, Miller J, et al. Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Progress in orthodontics*. 2017;18(1):1-12.
234. Lanigan DT, Mintz SM. Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2002;60(1):104-10.
235. Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthod*. 1987;57(3):245-63.
236. Anttila A, Finne K, Keski-Nisula K, Somppi M, Panula K, Peltomäki T. Feasibility and long-term stability of surgically assisted rapid maxillary expansion with lateral osteotomy. *The European Journal of Orthodontics*. 2004;26(4):391-5.
237. Zöller J, Ullrich H. Combined surgical-orthodontic palatine suture expansion in adulthood. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1991;52(2):61-5.
238. Feller KU, Herzmann K, Schimming R, Eckelt U. Glassman palatine expansion. Experiences with mono- and bimaxillary dysgnathia operations. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie : MKG*. 1998;2(1):26-9.
239. Mitsuhashi N, Fujieda K, Tamura T, Kawamoto S, Takagi T, Okubo K. *BodyParts3D: 3D structure database for anatomical concepts*. *Nucleic Acids Research*. 2008;37(suppl_1):D782-D5.

240. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;132(1):5. e1-5. e11.
241. Toms SR, Eberhardt AW. A nonlinear finite element analysis of the periodontal ligament under orthodontic tooth loading. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;123(6):657-65.
242. Muñoz GA. MESH QUALITY AND ADVANCED TOPICS ANSYS WORKBENCH 16.0. 2015. p. 37.
243. McNamara JA, Brudon WL, Kokich VG. *Orthodontics and dentofacial orthopedics*: Needham Press Ann Arbor; 2001.
244. Erverdi N, Okar I, Küçükkeles N, Arbak S. A comparison of two different rapid palatal expansion techniques from the point of root resorption. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1994;106(1):47-51.
245. Chaconas SJ, Caputo AA. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *American journal of orthodontics*. 1982;82(6):492-501.
246. Kudlick EM. *A study utilizing dry human skulls as models to determine how bones of the craniofacial complex are displaced under the influence of midpalatal expansion*. Mosby; 1974.
247. Brossman R, Bennett C, Merow W. Facioskeletal remodelling resulting from rapid palatal expansion in the monkey (*Macaca cynomolgus*). *Archives of oral biology*. 1973;18(8):987-IN3.
248. Converse JM, Horowitz SL. The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *American journal of orthodontics*. 1969;55(3):217-43.
249. Lim H-M, Park Y-C, Lee K-J, Kim K-H, Choi YJ. Stability of dental, alveolar, and skeletal changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion. *The Korean Journal of Orthodontics*. 2017;47(5):313-22.
250. Lee HK, Bayome M, Ahn CS, Kim S-H, Kim KB, Mo S-S, et al. Stress distribution and displacement by different bone-borne palatal expanders with micro-implants: a three-dimensional finite-element analysis. *European journal of orthodontics*. 2014;36(5):531-40.

251. Jafari A, Shetty KS, Kumar M. Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces—a three-dimensional FEM study. *The Angle Orthodontist*. 2003;73(1):12-20.
252. Baldawa RS, Bhad WA. Stress distribution analysis during an intermaxillary dysjunction: A 3-D FEM study of an adult human skull. *Annals of maxillofacial surgery*. 2011;1(1):19.
253. Kokich VG. Age changes in the human frontozygomatic suture from 20 to 95 years. *American journal of orthodontics*. 1976;69(4):411-30.
254. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E. Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2006;64(8):1313-7.
255. Tanaka OM, Saga AY, Pithon MM, Argenta MA. Stresses in the midpalatal suture in the maxillary protraction therapy: a 3D finite element analysis. *Progress in orthodontics*. 2016;17(1):1-5.
256. Akça K, İplikçioğlu H. Finite element stress analysis of the influence of staggered versus straight placement of dental implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2001;16(5).
257. Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *Journal of dentistry*. 2008;36(7):463-71.
258. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, Geiger M, Kilic F, Kim KB, et al. Use of a modified expander during rapid maxillary expansion in adults: an in vitro and finite element study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2013;28(1).
259. Erkmen E, Ataç MS, Yücel E, Kurt A. Comparison of biomechanical behaviour of maxilla following Le Fort I osteotomy with 2- versus 4-plate fixation using 3D-FEA: Part 3: Inferior and anterior repositioning surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2009;38(2):173-9.
260. Liao Z, Chen J, Li W, Darendeliler MA, Swain M, Li Q. Biomechanical investigation into the role of the periodontal ligament in optimising orthodontic force: a finite element case study. *Archives of Oral Biology*. 2016;66:98-107.
261. Yang C, Wang C, Deng F, Fan Y. Biomechanical effects of corticotomy approaches on dentoalveolar structures during canine retraction: a 3-dimensional finite

element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;148(3):457-65.

262. Duaibis R, Kusnoto B, Natarajan R, Zhao L, Evans C. Factors affecting stresses in cortical bone around miniscrew implants: a three-dimensional finite element study. *The Angle Orthodontist*. 2012;82(5):875-80.

263. Provatidis C, Georgiopoulos B, Kotinas A, McDonald J. On the FEM modeling of craniofacial changes during rapid maxillary expansion. *Medical engineering & physics*. 2007;29(5):566-79.

264. Elices M. *Structural biological materials: design and structure-property relationships*: Elsevier; 2000.

265. Burstein AH, Reilly DT, Martens M. Aging of bone tissue: mechanical properties. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1976;58(1):82-6.

266. Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage JR, Kim JS, Taylor GD. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;134(1):8. e1-8. e11.

267. Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2-versus 4-band appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2005;127(4):483-92.

268. Lagravere M, Major Pa, Flores-Mir C. Dental and skeletal changes following surgically assisted rapid maxillary expansion. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2006;35(6):481-7.

269. Sandikçiolu M, Hazar S. Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;111(3):321-7.

270. De Sousa Araugio RM, Landre Jr J, Silva DdLA, Pacheco W, Pithon MM, Oliveira DD. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: A study with finite elements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;143(2):221-7.

271. Lee H, Ting K, Nelson M, Sun N, Sung S-J. Maxillary expansion in customized finite element method models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;136(3):367-74.
272. Melsen B, Verna C. A rational approach to orthodontic anchorage. *Progress in Orthodontics*. 2000;1(1):10-22.
273. Kennedy III JW, Bell WH, Kimbrough O, James WB. Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics*. 1976;70(2):123-37.
274. 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. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1):1-10.
275. 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: JIOH*. 2015;7(9):40.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı		Uyruğu	
Soyadı		Tel no	
Doğum tarihi		e-posta	

Eğitim Bilgileri

Mezun olduğu kurum		Mezuniyet yılı
Lise		
Lisans/Yüksek Lisans		
Uzmanlık		

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (yıl-yıl)

Yabancı Dilleri	Sınav türü	Puanı