

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ DEKANLIĞI



**TEK TARAFLI POSTERİOR ÇAPRAZ KAPANIŞ VAKALARINDA
FARKLI MİNİ VİDA DESTEKLİ HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETME
AYGITLARININ VE CERRAHİ KESİNİN MAKSİLLOFASİYAL
KOMPLEKS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SONLU ELEMANLAR
ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

MURAT KARACA
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı
Doç. Dr. SABAHATTİN BOR

Uzmanlık Tezi - 2026

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ DEKANLIĞI**

**TEK TARAFLI POSTERİOR ÇAPRAZ KAPANIŞ VAKALARINDA FARKLI MİNİ VİDA
DESTEKLİ HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETME AYGITLARININ VE CERRAHİ KESİNİN
MAKSİLLOFASİYAL KOMPLEKS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SONLU ELEMANLAR
ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

Murat KARACA

Ortodonti Anabilim Dalı

Uzmanlık Tezi

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Sabahattin BOR**

Bu araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından TDH-
2025-3908 Proje numarası ile desteklenmiştir.

**MALATYA
2026**

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
Diş Hekimliği Fakültesi

14/ 05 /2026

ETİK BEYANI

İnönü Üniversitesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak Doç. Dr Sabahattin BOR danışmanlığında hazırlayıp sunduğum “Tek Taraflı Posterior Çapraz Kapanış Vakalarında Farklı Mini Vida Destekli Hızlı Üst Çene Genişletme Aygıtlarının Ve Cerrahi Kesinin Maksillofasiyal Kompleks Üzerindeki Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi İle İncelenmesi ” başlıklı Uzmanlık tezim içinde elde ettiğim verileri, bilgileri, belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tezimde yararlandığım eserlere bilimsel kurallara uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin özgün olduğunu, tezimin çalışma ve yazımında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat KARACA

İTHAF

Uzmanlık tezimi, en değerli varlığım olan sevgili aileme ithaf ediyorum..

İÇİNDEKİLER

ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Maksiller Darlık	3
2.1.1. Maksiller Darlığın Etiyolojisi	4
2.2. Transversal Yön Anomalilerinin Sınıflandırması	6
2.2.1. İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış	7
2.2.1.1. Çift Taraflı İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış	7
2.2.1.2. Tek Taraflı İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış	7
2.2.2. Fonksiyonel Çapraz Kapanış	8
2.2.3. Dişsel Posterior Çapraz Kapanış	9
2.3. Posterior Çapraz Kapanışın Görülme Sıklığı	9
2.4. Maksiller Transversal Darlığın Teşhisi	10
2.4.1. Klinik Değerlendirme	10
2.4.2. Model Değerlendirme	11
2.4.3. Radyografik Değerlendirme	12
2.5. Maksiller Transversal Darlığın Tedavisi	14
2.5.1. Yavaş Üst Çene Genişletmesi	16
2.5.2. Yarı Hızlı Üst Çene Genişletmesi	16
2.5.3. Hızlı Üst Çene Genişletmesi	16
2.6. Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Biyomekaniği	17
2.7. Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Mini Vidaların Kullanımı	18
2.8. Kemik Destekli Apareyler	19
2.9. Diş-Kemik Destekli Apareyler	20
2.10. Mini Vidaların Seçim Kriterleri ve Palatinal Konumu	22
2.11. Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi	23
2.12. Tek Taraflı Maksiller Darlığın Tedavi Yöntemleri	25

2.13. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi.....	26
2.13.1. Sonlu Elemanlar Analizinde Temel Kavramlar ve Tanımlar	27
2.13.1.1. Homojen Cisim.....	27
2.13.1.2. Eleman Yapısı ve Düğüm Noktası	27
2.13.1.4. Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması ve Özellikleri.....	27
2.13.1.5. Modelde Sınır Koşullarının Tanımlanması	27
2.13.1.6. Kuvvet	28
2.13.1.7. Gerilme (Stres)	28
2.13.1.8. Asal Gerilmeler (Principal Stress).....	28
2.13.1.9. Von Mises Gerilmesi	28
2.13.1.10. Gerinim (Strain).....	29
2.13.1.11. Elastik ve Viskoelastik Davranış Özellikleri.....	29
2.13.1.12. Elastiklik Modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranı.....	29
2.13.1.13. İzotropik ve Anizotropik Malzeme Davranışı	30
2.13.2 Sonlu Eleman Analiz Sürecinin Temel Aşamaları	30
2.13.2.1. Ön Hazırlık ve Modelleme Süreci	30
2.13.2.2. Geometrik Modelin Oluşturulması.....	30
2.13.2.3. Matematik Modelin Oluşturulması.....	31
2.13.2.4. Malzeme Özelliklerinin Programa Girilmesi	31
2.13.2.5. Sınır ve Yükleme Koşullarının Belirlenmesi	31
2.13.2.6. Çözüm Aşaması.....	32
2.13.2.7. Analiz Bulgularının Değerlendirilmesi	32
2.13.3. Sonlu Elemanlar Analizi Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	32
3. MATERYAL VE METOT	34
3.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması.....	34
3.1.1. Kraniyofasiyal Sistemin Modellenmesi	34
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Apareylerin ve Çalışma Modellerinin Oluşturulması	34
3.1.3. Malzeme Özelliği	39
3.1.4. Sınır Şartları.....	40
3.1.5. Sonlu Eleman Modeli	42
4. BULGULAR	45
4.1. Model I’de Meydana Gelen Bulgular	50
4.1.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	50

4.1.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları	50
4.1.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları.....	53
4.1.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları.....	53
4.1.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	54
4.2. Model II’de Meydana Gelen Bulgular	56
4.2.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	56
4.2.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	56
4.2.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	59
4.2.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	59
4.2.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	60
4.3. Model III’te Meydana Gelen Bulgular	62
4.3.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	62
4.3.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	62
4.3.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	65
4.3.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	65
4.3.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	66
4.4. Model IV’te Meydana Gelen Bulgular.....	68
4.4.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	68
4.4.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	68
4.4.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	70
4.4.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	71
4.4.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	71
4.5. Model V’te Meydana Gelen Bulgular	73
4.5.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	73
4.5.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	73
4.5.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	75
4.5.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	76
4.5.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	77
4.6. Model VI’da Meydana Gelen Bulgular	79
4.6.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	79
4.6.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	79
4.6.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	81
4.6.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	82
4.6.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	82

4.7. Model VII’de Meydana Gelen Bulgular.....	85
4.7.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları	85
4.7.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı	85
4.7.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	87
4.7.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı.....	87
4.7.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri	88
5. TARTIşMA.....	91
5.1. Amacın Tartışılması	91
5.2. Materyal ve Metodun Tartışılması	94
5.3. Bulguların Tartışılması.....	99
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR.....	115
EKLER	142
EK-1. Etik Kurul Onayı.....	142

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki bilgi birikimi, tecrübesi ve yol göstericiliğiyle; tez hazırlama sürecinde katkı ve desteklerini esirgemeyen, her konuda her zaman bana rehberlik eden değerli tez danışmanım Doç. Dr. Sabahattin BOR'a;

Ortodonti eğitimim süresince bilgi ve birikimlerini bizlerle paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmeyen; desteği ve yol göstericiliğiyle her zaman yanımda olan kıymetli hocam ve anabilim dalı başkanımız Dr. Öğr. Üyesi Samet ÖZDEN'e

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki birikimi ve tecrübesiyle bana her zaman yol gösteren; asistanlık dönemimizden bu yana desteğini, samimiyetini ve kıymetli katkılarını hiç esirgemeyen sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Fırat OĞUZ'a;

Beş yıllık uzmanlık eğitimim boyunca aynı yolda yürüdüğüm; destekleri, dostlukları ve paylaşımlarıyla bu süreci benim için çok daha anlamlı hâle getiren, yanımda olan değerli asistan arkadaşlarıma ve desteklerini esirgemeyen tüm Ortodonti Anabilim Dalı ailesine;

Bugünlere ulaşmamı sağlayan en güçlü dayanağım; koşulsuz sevgileri, tükenmeyen destekleri, fedakârlıkları ve bana duydukları inançla her zaman güç kaynağım olan aileme;

Tüm samimiyetim ile sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Tek Taraflı Posterior Çapraz Kapanış Vakalarında Farklı Mini Vida Destekli Hızlı Üst Çene Genişletme Aygıtlarının ve Cerrahi Kesinin Maksillofasiyal Kompleks Üzerindeki Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı, erişkin bireylerde tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisinde kullanılabilecek farklı mini vida destekli hızlı üst çene genişletme apareylerinin etkilerini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle değerlendirmektir. Bu doğrultuda, tek taraflı cerrahi kesi uygulamasının yanı sıra kullanılan mini vidaların sayısı, konumu ve yerleştirme açıları arasındaki farklılıkların maksiller genişleme üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Materyal ve Metot: Kraniyofasiyal ve maksillofasiyal kompleksin üç boyutlu sonlu eleman modeli, açık erişimli anatomik veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, mini vida sayısı ve yerleşimine göre tasarlanan yedi farklı MARPE modeli değerlendirilmiştir. Model I–III’te genişletme gereksinimi olan tarafta tek taraflı median ve lateral osteotomiler uygulanırken, Model IV–VII’de herhangi bir cerrahi kesi yapılmamıştır. Genişletme apareyleri iki, üç veya dört mini vida ile diş destekli olarak modellenmiş; maksiller genişletme sırasında meydana gelen yer değiştirmeler ile Von Mises gerilme dağılımları analiz edilmiştir.

Bulgular: Genişletme gereksinimi bulunan tarafta, maksiller anterior bölgede ölçülen transversal yönde yer değiştirmelerin; genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla model (Model I, II, III, V ve VII) daha fazla olduğu belirlenmiştir. Mini vida sayısının azaltıldığı modeller (Model V ve VI) dışındaki tüm modellerde, dental yapılarda transversal yönde santral kesici dişlerden posterior dişlere doğru ilerledikçe yer değiştirme miktarlarının azaldığı gözlenmiştir. Tüm modellerde (Model I–VII) lateral yönde rotasyonel ayrılma izlenirken, cerrahi kesi uygulanan tarafta (Model I–III) bu hareketin daha sınırlı olduğu görülmüştür. Von Mises gerilme analizlerinde cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I–III), genişletme gereksinimi olan taraftaki mini vidalar ve ankraj alınan dişler üzerindeki gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Sonuç: Tek taraflı maksiller darlık bulunan olgularda, genişletme gereksinimi olan tarafta oluşan yer değiştirme ve gerilme dağılımlarının uygulanan ankraj düzeni ve cerrahi desteğe bağlı olarak değişebileceği görülmüştür. Cerrahi destek ve yeterli iskeletsel ankrajın sağlandığı senaryolarda, hedeflenen tarafta genişlemenin daha çok iskeletsel düzeyde gerçekleşme eğiliminde olduğu; cerrahi kesinin bulunmadığı ve mini vida sayısının azaltıldığı modellerde ise dental yapılarda devrilme ve lokal gerilmelerin artabildiği izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek Taraflı Posterior Çapraz Kapanış, Sonlu Elemanlar Analizi, MARPE, Asimetrik Maksiller Genişletme

ABSTRACT

Finite Element Analysis of the Effects of Different Miniscrew–Assisted Rapid Maxillary Expansion Appliances and Surgical Corticotomy on the Maxillofacial Complex in Unilateral Posterior Crossbite Cases

Aim: The aim of this study was to evaluate the effects of different miniscrew–assisted rapid maxillary expansion appliances that can be used in the treatment of unilateral posterior crossbite in adult individuals using the finite element analysis (FEA) method. In this context, in addition to the application of a unilateral surgical corticotomy, the effects of differences in the number, position, and insertion angles of the mini-implants used on maxillary expansion were investigated.

Material and Methods: A three-dimensional finite element model of the craniofacial and maxillofacial complex was constructed using open-access anatomical data. Within the scope of the study, seven different MARPE models designed according to the number and placement of mini-implants were evaluated. In Models I–III, unilateral median and lateral osteotomies were applied on the side requiring expansion, whereas no surgical incision was performed in Models IV–VII. The expansion appliances were modeled as tooth-borne systems supported by two, three, or four mini-implants, and the displacements occurring during maxillary expansion as well as the Von Mises stress distributions were analyzed.

Results: On the side requiring expansion, the transverse displacements measured in the anterior maxillary region were found to be greater in the models (Models I, II, III, V, and VII) compared with the side without expansion requirement. In all models except those in which the number of mini-implants was reduced (Models V and VI), the amount of transverse displacement in the dental structures decreased progressively from the central incisors toward the posterior teeth. A lateral rotational separation pattern was observed in all models (Models I–VII); however, this movement was more limited on the side where the surgical incision was performed (Models I–III). In the Von Mises stress analyses, the models with surgical incisions (Models I–III) demonstrated reduced stress values on the mini-implants and the anchorage teeth on the side requiring expansion.

Conclusion: In cases with unilateral maxillary constriction, it was observed that the displacement and stress distributions occurring on the side requiring expansion may vary depending on the applied anchorage configuration and surgical support. In scenarios where surgical assistance and sufficient skeletal anchorage were provided, expansion tended to occur predominantly at the skeletal level on the targeted side. In contrast, in the absence of surgical support and in situations where the number of mini-implants was reduced, increased tipping of the dental structures and higher localized stress concentrations were observed.

Key Words: Unilateral Posterior Crossbite, Finite Element Analysis, MARPE, Asymmetric Maxillary Expansion

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
ANS	: Anterior nazal spina
ark.	: Arkadaşları
ARME	: Asimetrik üst çene genişletme apareyi
DDY	: Dudak Damak Yarığı
kg	: Kilogram
KIBT	: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
MARPE	: Mini Vida Destekli Hızlı Üst Çene Genişletme
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
MR	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MSE	: Midfacial Skeletal Expander
N	: Newton
PA	: Posteroanterior
PDL	: Periodontal Ligament
PNS	: Posterior nazal spina
SARME	: Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi
SEA	: Sonlu Elemanlar Analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 3.1. Model-I; Simetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.	36
Şekil 3.2. Model-II; Üç mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.	37
Şekil 3.3. Model-III; İki mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.	37
Şekil 3.4. Model-IV; Simetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.	38
Şekil 3.5. Model-V; Üç mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.	38
Şekil 3.6. Model-VI; İki mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.	39
Şekil 3.7. Model-VII; Asimetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.	39
Şekil 3.8. Modele uygulanan sınır koşulları ve üst çene ile tanımlanan temas türleri. ..	41
Şekil 3.9. İskeletsel ve dental yapıların 10 düğümlü, dört üçgen yüzlü (kuadratik tetrahedral) ağ eleman tipine ayrılmış modelin frontal görünümü.	43
Şekil 3.10. Genişletme apareyi ve mini vidaların 20 düğümlü, altıgen (quadratic hexahedral) tipte ağ elemanlarına ayrılmış modelin frontal görünümü.	43
Şekil 4.1. Model I, transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	51
Şekil 4.2. Model I, transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	51
Şekil 4.3. Model-I; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	54
Şekil 4.4. Model-I; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	55
Şekil 4.5. Model-I; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	55
Şekil 4.6. Model II; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	57
Şekil 4.7. Model II; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	57

Şekil 4.8. Model-II; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	60
Şekil 4.9. Model-II; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	61
Şekil 4.10. Model-II; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	61
Şekil 4.11. Model III; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	63
Şekil 4.12. Model III; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	63
Şekil 4.13. Model-III; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	66
Şekil 4.14. Model-III; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	67
Şekil 4.15. Model-III; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ortalama Von Mises (MPa) gerilme değerleri	67
Şekil 4.16. Model IV; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	69
Şekil 4.17. Model IV; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	69
Şekil 4.18. Model-IV; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	72
Şekil 4.19. Model-IV; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	72
Şekil 4.20. Model-IV; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	73
Şekil 4.21. Model V; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	74
Şekil 4.22. Model V; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	74
Şekil 4.23. Model-V; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	77
Şekil 4.24. Model-V; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri	78
Şekil 4.25. Model-V; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değeri	78
Şekil 4.26. Model VI; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)	80
Şekil 4.27. Model VI; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)	80
Şekil 4.28. Model-VI; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	83

Şekil 4.29. Model-VI; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri.....	83
Şekil 4.30. Model-VI; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin Von Mises (MPa) gerilme değerleri	84
Şekil 4.31. Model VII; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal).....	85
Şekil 4.32. Model VII; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal).....	86
Şekil 4.33. Model-VII; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)	88
Şekil 4.34. Model-VII; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri.....	89
Şekil 4.35. Model-VII; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri.....	89

TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 3.1. Modellerin karşılaştırmalı gösterimi.....	36
Tablo 3.2. Sonlu eleman modelinde kullanılan malzeme özellikleri	40
Tablo 3.3. Sonlu eleman modeline ait eleman ve düğüm sayısı, ağ boyutu, eleman tipi ve ortalama çarpıklık eleman kalitesi yakınsama değerleri.	44
Tablo 4.1. Model I ve Model II’de 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)	46
Tablo 4.2. Model III ve Model IV’te 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)	47
Tablo 4.3. Model V ve Model VI’da 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)	48
Tablo 4.4. Model VII’de 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)	49
Tablo 4.5. Model I-IV’te 5 mm aktivasyon sonrasında oluşan ortalama Von Mises gerilme dağılımı (MPa)	49
Tablo 4.6. Model V-VII’de 5 mm aktivasyon sonrasında oluşan ortalama Von Mises gerilme dağılımı	50

1. GİRİŞ

Ortodontik maloklüzyonlar; sagittal, vertikal ve transversal düzlemlerde ortaya çıkabilmektedir. Kraniofasiyal bölgede sık karşılaşılan iskeletsel anomalilerden biri olan maksiller darlık, iskeletsel ve/veya dentoalveoler etiyolojik faktörlerin etkileşimi sonucunda gelişmektedir (1). Klinik bulgular arasında tek ya da çift taraflı posterior çapraz kapanış yer almaktadır (2).

Maksiller darlık, hem çocukluk hem de erişkinlik döneminde en sık gözlenen maloklüzyonlardan biri olup ortodonti pratiğinde yaygın bir klinik bulgu olarak karşımıza çıkmaktadır (3, 4). Çeşitli çalışmalarda prevalansının %8–%23 arasında değiştiği bildirilmiştir (5-8). Etiyolojisi multifaktöriyel olup iskeletsel ve dental bileşenleri içermektedir (9). Tek taraflı posterior çapraz kapanışlar fonksiyonel ve gerçek, diğer bir ifadeyle iskeletsel, olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış olguları genellikle daha kompleks bir tedavi süreci gerektirmekte ve çoğu zaman tek taraflı genişletme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (10).

Tek taraflı posterior çapraz kapanış olgularında, maksiller darlıktan etkilenmeyen tarafta oluşan aşırı düzeltme tedavi süresini uzatabilmekte ve klinik sürecin yönetimini zorlaştırabilmektedir. Bu nedenle literatürde asimetrik maksiller genişletmeye yönelik çeşitli tedavi yaklaşımları tanımlanmıştır. Sabit ortodontik tedavi sırasında uygulanan çapraz elastikler (11), asimetrik tasarıma sahip hareketli vidalı apareyler (ör. Nord apareyi) (12), modifiye Quad-Helix (ör. AMEX apareyi) (13) ve asimetrik hızlı maksiller genişletme apareyi (ARME) (10) bu amaçla kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, söz konusu apareyler erişkin hastalardaki gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış olgularında her zaman yeterli iskeletsel etki sağlayamayabilmektedir. Genişletme kuvvetlerinin kemiksel direnç bölgelerini aşamaması durumunda sutural ayrılma gerçekleşmeyebilmekte; uygulanan kuvvetler daha çok dentoalveoler yapılara iletilerek istenmeyen yan etkilerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (14). Bu nedenle klinisyenler, özellikle erişkin bireylerde iskeletsel etkinin artırılması ve dentoalveoler yan etkilerin en aza indirilmesi amacıyla cerrahi destekli hızlı üst çene genişletme (SARME) yöntemini tercih edebilmektedir. Ayrıca tek taraflı osteotomi uygulamaları ile erişkin hastalarda başarılı bir asimetrik genişleme elde edilebildiği de literatürde rapor edilmiştir (15, 16).

Cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi, geleneksel diş ya da diş-doku destekli apareyler aracılığıyla uygulanabilmektedir. Ancak bu apareyler dentoalveoler devrilmeye ve periodontal dokularda hasara yol açabilmektedir. Mini vida destekli apareyler ise kuvveti doğrudan bazal kemiğe ileterek daha fazla iskeletsel kontrol sağlamaktadır. Bu sayede dentoalveoler eğilmeler azalmakta ve iskeletsel etki artmaktadır (17, 18). Bununla birlikte, cerrahi girişimlerin invaziv yapısı, olası komplikasyon riskleri ve yüksek maliyeti önemli sınırlılıklar oluşturmaktadır (19, 20). Bu dezavantajları azaltmak amacıyla son yıllarda, erişkin hastalarda cerrahi gereksinimini azaltarak iskeletsel genişleme sağlamayı hedefleyen mini vida destekli hızlı üst çene genişletme yöntemi minimal invaziv bir alternatif olarak geliştirilmiştir (21).

Diş-kemik destekli maksiller genişletme apareyi olan Hibrit Hyrax, 2007 yılında Ludwig ve ark. tarafından tanıtılmıştır. Bu sistem, anterior palatal bölgeye yerleştirilen iki mini vida ile desteklenen diş-kemik destekli bir tasarıma sahiptir (22). Mini vida ankrajı kullanılan genişletme apareyleri genel olarak yalnızca kemik destekli ve hibrit, yani diş-kemik destekli, tasarımlar şeklinde uygulanmaktadır (23, 24). Hibrit Hyrax apareyi, iki ile dört mini vida kullanılarak monokortikal ya da bikortikal ankraj sağlayacak şekilde uygulanabilmektedir. Palatal bölgeye yerleştirilen mini vidalar aracılığıyla genişletme kuvvetinin doğrudan maksillanın bazal kemiğine iletilmesi amaçlanmaktadır (19, 25, 26). Klinik çalışmalarda, erişkin bireylerde midpalatal suturun ayrılmasında %84–%87 arasında değişen başarı oranları bildirilmiştir (27-29).

Bu çalışmanın amacı, erişkin bireylerde tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisinde kullanılabilecek farklı mini vida destekli maksiller genişletme apareylerinin ve cerrahi desteğin biyomekanik etkilerini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Maksiller Darlık

Ortodontide maloklüzyonlar; vertikal, sagittal ve transversal olmak üzere üç farklı düzlemde sınıflandırılmakta ve tedavi edilmektedir. Bu bağlamda transversal boyut, çeneler arasında dentoalveoler ve iskeletsel uyumun sağlanmasında belirleyici bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Yeterli transversal maksiller boyutun sağlanması, stabil, dengeli ve fonksiyonel açıdan ideal bir oklüzyon elde edilmesi için temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir. Bu gerekliliğin klinik olarak yetersiz kaldığı durumlarda maksiller darlık, diğer bir ifadeyle transversal yönde maksiller yetersizlik, ortaya çıkmaktadır (1, 30). Maksiller darlıkta klinik olarak tek ya da çift taraflı posterior çapraz kapanış, derin palatal kubbe, “V” şeklinde veya kum saati formunda maksiller ark yapısı, diş çapraşıklığı, artmış Wilson eğrisi ve belirgin bukkal karanlık koridorlar gibi bulgular görülebilmektedir (2, 31, 32).

Maksiller darlığın tedavisi, tarihsel açıdan Hipokrat ile başlayan erken tanımlamalara rağmen, etkin bir tedavi yaklaşımının ancak 1860 yılında Angell’in midpalatal suturun ayrılma prensibine dayandığı genişletme apareyini tanıtmasıyla klinik anlamda uygulanabilir hâle gelmiştir (33, 34). Angell, midpalatal suturun genişletme apareyleriyle günde iki kez gerçekleştirilen vida aktivasyonları ile ayrılabilceğini bildirmiş ve üst kesici dişler arasında oluşan diastemayı genişlemenin klinik belirtisi olarak tanımlamıştır (34). Dönemin radyolojik görüntüleme olanaklarının sınırlı olması nedeniyle bu yöntemin geçerliliği başlangıçta tartışmalı bulunmuştur. Ancak Brown’ın radyografik incelemeleri, Derichsweiler’in genişletme öncesi ve sonrasında elde ettiği frontal radyografiler ve benzer çalışmalar, midpalatal suturun ayrıldığını göstererek bu yaklaşımı desteklemiştir (35-37).

İdeal bir oklüzyonda, anterior bölgede alt ve üst dişler arasında uygun overbite ve overjet ilişkisi bulunurken; posterior bölgede maksiller molar dişlerin palatinal tüberküllerinin, mandibular molar dişlerin santral fossaları ile doğru temas ilişkisi içinde olması beklenir (30). Bu nedenle, fonksiyonel ve stabil bir oklüzyon elde etmek amacıyla maksiller darlığın tedavisine yönelik çeşitli genişletme protokolleri ve aparey tasarımları geliştirilmiştir.

Bu kapsamda Haas (38), diş ve doku destekli sabit bir aparey kullanarak midpalatal suturda genişleme sağlandığını ve nazal hava yolu hacminde artış elde

edildiğini bildirmiştir. İzleyen yıllarda yapılan çalışmalar, genişletme kuvvetlerinin yalnızca midpalatal suturla sınırlı kalmadığını, aynı zamanda sirkummaksiller suturlar üzerinde de etkili olduğunu ortaya koymuştur (39, 40). Bu doğrultuda geliştirilen Haas, Hyrax, Quad-Helix, Minne Expander ve Cap Splint gibi apareylerin hem dentoalveoler hem de iskeletsel yapılarda etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir (38, 41-45). Son yıllarda ise özellikle erişkin bireylerde doğrudan kemik ankrajı sağlayan MARPE apareyleriyle başarılı iskeletsel genişleme elde edildiğini bildiren çalışmalar yayımlanmıştır (46). Günümüzde, literatürdeki bilimsel veriler ve klinik deneyimler doğrultusunda farklı maksiller genişletme yöntemleri ile aparey tasarımları geliştirilmekte; mevcut sistemler daha etkin ve öngörülebilir sonuçlar elde etmek amacıyla iyileştirilmeye devam etmektedir.

2.1.1. Maksiller Darlığın Etiyolojisi

Maksiller darlık, çoğunlukla kraniyofasiyal büyüme ve gelişim sürecinde ortaya çıkan iskeletsel ve/veya dentoalveoler düzeydeki yapısal bozuklukların bir sonucu olarak gelişmektedir. Bishara ve ark. (47), maksiller darlığın etiyolojisini genetik ve çevresel faktörler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırmıştır. Bununla birlikte bazı araştırmacılar, maksiller darlığın birden fazla etkenin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan multifaktöriyel bir yapıya sahip olduğunu bildirmiştir (48).

Genetik ve çevresel faktörler; kraniyofasiyal kompleksin iskeletsel yapısı, yumuşak dokuları ve dental ark morfolojisi üzerinde etkili olarak, dentofasiyal anomaliler ile maloklüzyonların etiopatogenezinde olduğu gibi maksiller darlığın gelişiminde de önemli rol oynamaktadır. Genetik faktörler, osteogenezis süreci aracılığıyla doğrudan ya da kas morfolojisi üzerinden dolaylı olarak etkisini gösterebilmektedir. Ayrıca bazı kalıtsal hastalıkların varlığı, maksiller darlığın gelişimine yatkınlık oluşturabilmektedir (1). Günümüzde sendromik olmayan maksiller darlıkla doğrudan ilişkilendirilebilecek özgül bir gen henüz tanımlanmamış olmakla birlikte, maksiller hipoplazi ve maksiller darlık bazı konjenital anomaliler ve genetik geçişli sendromların karakteristik bulguları arasında yer almaktadır (49). Bu sendromlar arasında dudak damak yarığı (DDY), bir ya da birden fazla kraniyal suturun erken füzyonu ile karakterize sendromik kraniosinostozlar (Apert, Crouzon, Muenke, Saethre-Chotzen sendromları ve TCF12 ilişkili kraniosinostoz), Kleidokranial Displazi, Down sendromu ve hemifasiyal mikrosomya bulunmaktadır (50-55).

DDY, en sık görülen kraniyofasiyal anomalilerden biridir. Erken dönemde gerçekleştirilen dudak ve alveolar yarık onarımlarını takiben oluşan skar dokusunun, maksiller darlığın gelişimine katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (56). Hemifasiyal mikrozomi olgularında ise etkilenen taraftaki çiğneme kaslarının yetersiz gelişimi fonksiyon kaybına yol açmakta ve buna bağlı olarak asimetrik maksiller darlık ortaya çıkabilmektedir (57). Kleidokranial displazi hastalarında üst yüz, maksilla ve paranasal sinüslerde gelişim geriliği bulunduğu; sinüslerin küçük, pnömatizasyonun az, damağın ise dar ve derin yapıda olduğu bildirilmektedir (57).

Kraniyofasiyal büyüme ve gelişim her ne kadar büyük ölçüde genetik faktörler tarafından kontrol edilse de çevresel etkenlerin bu süreç üzerindeki etkisi göz ardı edilemez. Özellikle aktif büyüme döneminde, kraniyofasiyal bölgedeki yumuşak dokular arasındaki dengenin uzun süreli olarak bozulmasına neden olan çevresel faktörler maloklüzyon gelişimine neden olabilmektedir (58).

Maksiller darlığa katkıda bulunan çevresel faktörler arasında parmak emme, uzun süreli emzik kullanımı, dil itimi gibi kötü alışkanlıklar, persiste süt dişleri, erken süt dişi kayıpları, temporomandibular eklem disfonksiyonları ile tonsilit, alerjik durumlar, astım, büyük adenoidler ve septum deviasyonu gibi nedenlere bağlı olarak gelişebilen ağız solunumu yer almaktadır (5, 59). En sık bildirilen çevresel etkenlerden biri, prematür oklüzal temaslar sonucunda mandibulada gelişen fonksiyonel kaymadır. Fonksiyonel kaymaya bağlı gelişen çapraz kapanışlara özellikle karma dişlenme döneminde oldukça sık rastlanmaktadır (60-62).

Parmak emme, uzun süreli emzik kullanımı ve dil itimi gibi parafonksiyonel alışkanlıklar; dilin normal konumundan daha aşağıda ve önde, ağız tabanına yakın bir pozisyonda yer almasına neden olarak üst çenede yeterli palatinal desteğin sağlanamamasına ve yumuşak dokular arasındaki dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Emme hareketi sırasında yanak kasları ile buksinatör kasın aktivitesi artmakta; bu kasların maksiller dişler üzerine uyguladığı basıncın artışı maksillada transversal daralmaya neden olmaktadır. Buna ek olarak, dilin aşağı ve önde konumlanması mandibular arkta relatif genişlemeye yol açabilmekte ve posterior çapraz kapanış gelişimine zemin hazırlayabilmektedir. Bu etkilerin özellikle alışkanlığın süresinin uzadığı durumlarda daha belirgin hâle geldiği bildirilmiştir (63-65).

Thilander ve ark. (66), süt dişlenme döneminde gözlenen tek taraflı posterior çapraz kapanışların etiyojisinde parmak emme alışkanlığının önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Beslenmeye yönelik olmayan emme alışkanlıklarının (parmak veya emzik

emme) genellikle iki yaşına kadar sürdüğü ve bu dönemde yetişkin yutkunmaya geçişle birlikte kendiliğinden sonlanmasının beklendiği belirtilmiştir (67). Ancak iki yaş sonrasında devam eden emme alışkanlıklarının maksilla üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu gösteren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (68-70). Parafonksiyonel alışkanlıkların yanı sıra, solunum paternindeki değişiklikler de maksiller gelişim üzerinde belirgin etkiler oluşturabilmektedir.

Ağız solunumu, çocukluk çağında sık karşılaşılan bir durum olup, uyku ile ilişkili solunum bozukluklarının önemli bir göstergesidir. Çocuklarda ağız solunumunun görülme sıklığının %11–%56 arasında değiştiği rapor edilmiştir (71-74). Ağız solunumunun maloklüzyon gelişimine etkisi; ağız açık konumdayken ve solunumu kolaylaştırmak amacıyla baş ekstansiyon pozisyonuna getirildiğinde, buksinatör kasların gerilerek maksiller posterior bölgede palatinal yönde kuvvet uygulaması ile açıklanmaktadır (48). Burundan solunum yapan bireylerle karşılaştırıldığında, ağız solunumu yapan bireylerde derin damak, posterior çapraz kapanış ve anterior açık kapanışın daha yüksek oranda görüldüğü, ayrıca büyüme ve gelişim döneminde mandibulada saat yönünde rotasyona ve alt anterior yüz yüksekliğinde artışa yol açtığı bildirilmiştir (75, 76).

2.2. Transversal Yön Anomalilerinin Sınıflandırması

Maksiller darlık geliştiğinde, klinik olarak sıklıkla posterior çapraz kapanış görülmektedir (77, 78). Björk (79), posterior çapraz kapanışı; kanin, premolar ve molar bölgelerde üst dişlerin bukkal tüberküllerinin alt dişlerin bukkal tüberküllerine göre daha lingual konumda yer aldığı bir maloklüzyon olarak tanımlamıştır. Marshall ve ark. (12) ise çapraz kapanışı, üst çenede posterior dişlerin bukkal tüberküllerinin alt çenede posterior dişlerin lingual tüberkülleriyle temas halinde olması şeklinde ifade etmiştir. Posterior çapraz kapanış, yalnızca tek bir dişi etkileyebileceği gibi birden fazla dişi kapsayacak şekilde tek ya da çift taraflı olarak da görülebilmektedir (8, 66, 79, 80).

Posterior çapraz kapanışın klinik görünümü ve etkilenen bölge farklılık gösterebildiğinden, etiyolojik temele göre sınıflandırılması tedavi planlaması açısından önem taşımaktadır. Moyers (81), posterior çapraz kapanışı iskeletsel, kassal ve dişsel olarak sınıflandırırken, Mc Donald ve Avery (82) sınıflamayı iskeletsel, fonksiyonel ve dişsel olarak yapmıştır. Mitchell (83) ise posterior çapraz kapanışları tek ve çift taraflı olarak sınıflandırmış, tek taraflı olanları ise mandibular fonksiyonel kaymanın varlığına göre ikiye ayırmıştır.

2.2.1. İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış

Betts ve ark. (84), posterior çapraz kapanışın çoğunlukla iskeletsel bir problemle ilişkili olduğunu bildirmiştir. İskeletsel posterior çapraz kapanış, maksilla ve mandibulanın bazal kaideleri arasındaki transversal uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır (82). Çeneler arasındaki transversal ilişkinin bozulması, oklüzal temasların normal konumundan sapmasına ve buna bağlı olarak çapraz kapanışın görülmesine neden olmaktadır. Bu durum üç farklı biçimde ortaya çıkabilmektedir: Üst çenenin dar, alt çenenin normal genişlikte olduğu; üst çenenin normal, alt çenenin geniş olduğu ya da her iki çene arasında transversal uyumsuzluğun bulunduğu durum olan üst çenenin dar, alt çenenin geniş olduğu olgularda iskeletsel posterior çapraz kapanış görülebilmektedir (61).

2.2.1.1. Çift Taraflı İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış

Çift taraflı iskeletsel posterior çapraz kapanış, genellikle maksiller bazal kaidenin, mandibular bazal kaideye oranla bilateral olarak daha dar olması sonucunda ortaya çıkan bir maloklüzyondur (85). Bununla birlikte, bazı olgularda mandibular bazal kaidenin transversal yönde maksillaya göre daha geniş olması da benzer bir kapanış ilişkisine neden yol açabilmektedir (61, 77).

2.2.1.2. Tek Taraflı İskeletsel Posterior Çapraz Kapanış

Tek taraflı iskeletsel posterior çapraz kapanış, maksilla ve mandibula bazal kaideleri arasındaki transversal uyumsuzluğun yalnızca bir tarafta görülmesiyle karakterize, morfolojik bir anomalidir. Mandibular fonksiyonel kaymanın eşlik etmediği bu olgularda, hem sentrik ilişkide hem de sentrik oklüzyonda çapraz kapanış aynı tarafta izlenir; bu klinik durum, tek taraflı iskeletsel posterior çapraz kapanışı fonksiyonel çapraz kapanışlardan ayırt etmede önemli bir klinik kriter olarak kabul edilmektedir (48, 86).

Büyüme ve gelişim dönemindeki fonksiyonel posterior çapraz kapanışın kraniyofasiyal gelişim sürecini etkileyebileceği bildirilmektedir. Bu durumun, çapraz kapanışın bulunmadığı taraftaki iskeletsel yapılarda büyümenin artmasına; çapraz kapanışın mevcut olduğu tarafta ise büyümenin kısıtlanmasına yol açarak zamanla iskeletsel mandibular asimetrielerin ve tek taraflı iskeletsel posterior çapraz kapanışın gelişmesine neden olabileceği belirtilmektedir (87-90).

2.2.2. Fonksiyonel Çapraz Kapanış

Süt ve karma dişlenme dönemlerinde görülen posterior çapraz kapanışların büyük bir bölümünü fonksiyonel çapraz kapanış oluşturmaktadır (91). Ingervall ve Thilander (92), çocuklarda dişlerin erken tüberkül temasları nedeniyle alt çenenin laterale kaymasını ‘laterale zorlama kapanış’ olarak tanımlamışlardır. Bu olgularda kapanış sırasında oluşan prematür oklüzal temaslar, mandibulanın çapraz kapanışın bulunduğu yöne doğru laterale kaymasına neden olmaktadır. Mandibula, bu süreçte oklüzal interferensleri elimine ederek karşılıklı dişler arasında en uygun temasın sağlandığı yeni bir sentrik oklüzyon konumuna geçer. Sonuç olarak meydana gelen fonksiyonel kayma, çapraz kapanış ile karakterize yeni bir oklüzal ilişkinin oluşmasına yol açmaktadır (60, 93, 94). Fonksiyonel posterior çapraz kapanış bulunan vakalarda, ilk temas konumunda bilateral maksiller darlık sıklıkla karşılaşılan bir klinik bulgudur (5, 8). Pinto ve ark. (88), mandibulanın morfolojik olarak genellikle simetrik olduğunu, ancak fonksiyonel olarak asimetrik bir pozisyonda konumlanabildiğini bildirmiştir.

Mandibulanın çapraz kapanış tarafına doğru gerçekleşen fonksiyonel kayması transversal yönde meydana gelmektedir. Bunun sonucunda mandibular orta hat, maksiller orta hatta göre çapraz kapanış yönüne doğru deviye olmaktadır. Bu deviasyona anteroposterior yönde bir kayma da eşlik edebilmektedir (95). Çapraz kapanışın bulunduğu tarafta genellikle distal step ya da Sınıf II molar ilişki gözlenir (96). Bu durum, kondillerin asimetrik konumlanmasına da yol açabilmektedir. Çapraz kapanış tarafındaki kondil glenoid fossa içinde daha superior ve posterior konumda yer alırken, karşı taraftaki kondil daha inferior ve anterior pozisyonda bulunmaktadır. Bu morfolojik farklılığa paralel olarak çiğneme kaslarında da asimetrik kas aktivitesi geliştiği bildirilmektedir (88, 95, 97).

Tedavi edilmemiş fonksiyonel çapraz kapanışın mandibular asimetri gelişimi üzerindeki etkileri konusunda literatürde kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır (60, 90, 98, 99). Bazı araştırmalar, tedavi edilmeyen fonksiyonel çapraz kapanışın mandibulada iskeletsel asimetriye neden olmadığını bildirmiştir (60, 100). Buna karşın diğer çalışmalar, fonksiyonel çapraz kapanışın mandibular büyüme paternini etkileyerek iskeletsel asimetri gelişimine neden olabileceğini öne sürmüştür (87, 90, 98).

2.2.3. Dişsel Posterior Çapraz Kapanış

Dişsel posterior çapraz kapanış, maksillanın bazal kemik kaide genişliği normal olmasına rağmen bir ya da daha fazla posterior dişin palatinal yönde eğimlenmesi ile karakterize bir durumdur. Genellikle sürme yolundaki engeller gibi lokal etkenler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu etkenler, posterior dişlerin palatina eğimlenmesine ve buna bağlı olarak dişsel posterior çapraz kapanışın gelişmesine neden olabilmektedir (67, 82). Dişsel posterior çapraz kapanışlar ortodontik kuvvetler ile tedavi düzeltilebilirken, iskeletsel posterior çapraz kapanışlarda ise hızlı üst çene genişletme yöntemi tercih edilmektedir (101).

2.3. Posterior Çapraz Kapanışın Görülme Sıklığı

Maksiller darlık, çoğu klinik olguda tek veya çift taraflı posterior çapraz kapanış ile karakterize olup, toplumdaki prevalansının süt ve karma dişlenme döneminde %8–23 arasında, erişkin bireylerde ise yaklaşık %10 düzeyinde olduğu bildirilmektedir (5, 80, 102, 103). Ayrıca süt dişlenme döneminde görülen posterior çapraz kapanış olgularında, tek taraflı posterior çapraz kapanışın daha yaygın olduğu belirtilmiştir (70, 104, 105).

Da Silva Filho ve ark. (102), Brezilya’da 3–6 yaş aralığındaki 2016 çocuk üzerinde yaptıkları çalışmada, süt dişlenme döneminde posterior çapraz kapanışın toplam görülme oranını %20,81; tek taraflı posterior çapraz kapanış oranını ise %11,6 (sağ tarafta %6,8, sol tarafta %4,8) olarak rapor etmiştir. Araştırmacılar ayrıca tek taraflı posterior çapraz kapanış görülen çocukların %91,91’inde fonksiyonel çapraz kapanış tespit etmişlerdir.

Süt ve karma dişlenme döneminde posterior çapraz kapanışın görülme sıklığını inceleyen çalışmalarda, Kutin ve Hawes (5), 515 çocukta çapraz kapanış oranını 3–5 yaş grubunda %8, 7–9 yaş grubunda ise %7,2 olarak bildirmiştir. Thilander ve ark. (66) yaşları 4 olan 898 çocukta bu oranı %9,6 olarak; Tausche ve ark. (106) ise 6–8 yaş aralığındaki 1975 çocukta %8,2 olarak rapor etmişlerdir. Danimarka’da adölesan bireyler üzerinde yapılan ve 1700 hastayı kapsayan bir çalışmada ise çapraz kapanış insidansı kızlarda %14,1, erkeklerde %9,4 olarak saptamışlardır (107).

Türkiye’de gerçekleştirilen epidemiyolojik çalışmalar da posterior çapraz kapanışın toplumdaki dağılımına ilişkin önemli veriler sunmaktadır. Türkiye’de yapılan araştırmalara göre, Başçiftçi ve ark. (108), Konya bölgesinde 965 çocuk üzerinde yaptıkları çalışmada posterior çapraz kapanış oranını %9,5 olarak bildirmiştir. Benzer şekilde Gelgör ve ark. (109), 12–17 yaş aralığındaki 2329 birey üzerinde yaptıkları

çalışmada, bireylerin %9,5'inde posterior çapraz kapanış saptarken, tek taraflı posterior çapraz kapanış oranını %5,5 olarak bildirmiştir.

2.4. Maksiller Transversal Darlığın Teşhisi

Maksiller darlığın doğru şekilde teşhis edilmesi, uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesi ve uzun dönem stabilitenin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Tanısal sürecin yetersiz planlanması, tedavi başarısını ve stabiliteyi doğrudan etkileyebilmektedir. Bu amaçla klinik muayene, model analizi ve radyolojik değerlendirme gibi çok yönlü tanı yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerin birlikte kullanılması, transversal uyumsuzluğun kaynağının daha doğru belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Çapraz kapanışın doğru sınıflandırılması ve etiyolojisinin netleştirilmesi, etkili bir tedavi planının oluşturulmasında temel bir adımdır. Özellikle posterior çapraz kapanış vakalarında dişsel ve iskeletsel faktörlerin dikkatli biçimde ayırt edilmesi gerekmektedir. Bu ayırım, uygulanacak genişletme protokolünün seçimini doğrudan etkilemektedir. Maksilladaki transversal yetersizliklerin tanısı, diğer dentofasiyal anomalilere kıyasla daha karmaşık olabildiğinden, ayrıntılı anamnez alınması ve kapsamlı bir klinik değerlendirme yapılması önemlidir. Günümüzde üç boyutlu görüntüleme teknikleri de tanı sürecine önemli katkılar sağlamakta; anatomik yapıların daha ayrıntılı analiz edilmesine olanak tanıyarak tedavinin daha hassas ve öngörülebilir şekilde planlanmasına yardımcı olmaktadır.

2.4.1. Klinik Değerlendirme

Klinik değerlendirme sırasında hekim; maksiller ark formu ve simetrisini, damak kubbesinin şekli ve derinliğini, gülümseme hattındaki bukkal koridor genişliğini, yüz simetrisini, solunum tipini ve oklüzal ilişkileri ayrıntılı biçimde incelemelidir (89). Klinik muayene genel olarak iki aşamada gerçekleştirilir: ekstraoral ve intraoral değerlendirme.

Ekstraoral değerlendirmede, özellikle frontal açıdan yapılan muayene önem taşımaktadır. Frontal açıdan yapılan ekstraoral muayenede çene ucunda lateral yönde bir asimetri saptandığında, bu asimetrinin etiyolojisinin doğru biçimde belirlenmesi uygun tedavi planının oluşturulması açısından büyük önem taşır. Lateral yönde gözlenen asimetri, tek taraflı posterior çapraz kapanışın bir göstergesi olabilir. Bu nedenle tek taraflı posterior çapraz kapanış ve mandibular asimetrisi olan olgularda, sapmanın fonksiyonel bir lateral kaymadan mı yoksa gerçek bir iskeletsel asimetriden mi kaynaklandığı ayırt edilmelidir (110). Higley (5) tarafından tanımlanan yöntemde,

hastanın ağız kapatma hareketi sırasında üst ve alt dental orta hatların ilişkisi değerlendirilerek asimetrinin nedeni belirlenebilmektedir. Eğer ağız açıkken orta hatlar çakışıyor, ancak ağız kapandığında sentrik oklüzyonda bu çakışma bozuluyorsa, fonksiyonel bir çapraz kapanıştan söz edilebilir. Buna karşılık, fonksiyonel lateral kaymanın bulunmadığı olgularda tek taraflı posterior çapraz kapanış ve mandibular deviasyon varlığı, gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış olarak değerlendirilir (12). Ekstraoral inceleme yalnızca orta hat ilişkisi ile sınırlı kalmayıp yüz morfolojisinin bütüncül analizini de içermelidir. Ekstraoral değerlendirme sırasında maksiller yetersizlikle ilişkili tipik yüz morfolojileri gözlenebilir. Düz veya içbükey paranazal bölge, dar alar taban, belirgin nazolabial kıvrımlar ve hipoplastik zigomatik yapılar bu bulgular arasında yer almaktadır (111).

Ekstraoral incelemenin ardından intraoral değerlendirme ile oklüzal ilişkiler ve ark formu ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir. İntraoral muayenede ise kum saati ya da ‘V’ şeklinde maksiller ark formu, dar ve derin palatal kubbe, diş çapraşıklıkları ve rotasyonlar, bukkal veya lingual yönde konumlanmış dişler, tek ya da çift taraflı posterior çapraz kapanış, üst posterior dişlerde artmış bukkal kron torku ve alt posterior dişlerde artmış lingual kron torku gibi bulgular maksiller darlığın intraoral bulguları olarak değerlendirilmektedir (1, 47, 110, 112).

2.4.2. Model Değerlendirme

Maksiller darlığın tanısında, dental modeller üzerinden yapılan analizler önemli bir yer tutmaktadır. Bu modeller aracılığıyla dental arkın formu, simetrisi ve maksiller ark ile mandibular kaide arasındaki ilişki değerlendirilerek maksiller darlığın varlığı ve şiddeti belirlenebilmektedir (48). Bu amaçla literatürde çeşitli analiz yöntemleri tanımlanmıştır. Howes, Pont, Linder-Harth, Korkhaus analizleri, maksiller genişletme gereksiniminin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Günümüzde dijital modellerin kullanımı, söz konusu analizlerin daha pratik, tekrarlanabilir ve yüksek hassasiyetle uygulanmasına olanak sağlamaktadır (113, 114).

Howes (115) model analizi, dişlerin konumu ile apikal kemik kaidesinin genişliğini birlikte değerlendirerek maksiller transversal ilişkiyi inceleyen bir yöntemdir. Normal oklüzyona sahip bireylerde apikal kemik kaidesi genişliğinin, premolarlar arası dental ark genişliğine eşit ya da daha fazla olması gerektiği belirtilmiştir. Apikal kemik kaidesinin dar olduğu ve dişlerin bukkal yönde eğimlendiği durumlar iskeletsel darlık göstergesi olarak kabul edilmekte ve bu olgularda hızlı üst çene genişletmesi

önerilmektedir. Buna karşılık, kemik kaidesinin yeterli genişlikte olduğu ancak dişlerin palatinal yönde eğimli bulunduğu olgular dentoalveoler kökenli olarak değerlendirilmekte; bu tip vakalarda ise yavaş üst çene genişletmesi veya dişsel kompanzasyon tercih edilmektedir.

McNamara ve Brudon (2), normal oklüzyona sahip bireylerde transpalatal genişliğin 36–38 mm arasında olması gerektiğini bildirmiştir. Bu ölçümün 4–6 mm veya daha fazla azalması durumunda ise hızlı maksiller genişletmenin endike olduğunu belirtmişlerdir.

Staley ve ark. (116), maksiller genişletme gereksinimini değerlendirmek amacıyla üst ve alt molarlar arasındaki genişliği karşılaştırmıştır. Maksiller intermolar mesafenin mandibulardan daha fazla olması gerektiği; bu farkın erkeklerde yaklaşık +1,6 mm, kızlarda ise +1,2 mm olması gerektiği belirtilmiştir. Bu değerlerin altında genişletme endikasyonu olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca relapsı önlemek amacıyla hedeflenen genişliğe 2–4 mm’lik aşırı düzeltme yapılması önerilmiştir.

Palatal kubbe derinliğinin artışı, maksiller iskeletsel darlığın klinik göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Korkhaus (117), damak yüksekliği ile transpalatal genişlik arasındaki oranı “Korkhaus indeksi” olarak tanımlamış ve bu oranın ortalama değerini %42 olarak bildirmiştir. Ölçüm, maksiller birinci molar dişler seviyesinde gerçekleştirilmektedir. Transpalatal genişlik; sağ ve sol birinci molar dişlerin oklüzal yüzeylerinde yer alan transversal ve santral olukların kesişim noktaları arasındaki mesafenin ölçülmesiyle belirlenmektedir. Damak yüksekliği ise bu iki noktayı birleştiren oklüzal düzleminden midpalatal rafeye indirilen dik mesafenin milimetrik olarak ölçülmesiyle hesaplanmaktadır. Damak derinliğinin artması, dar bir maksillayı işaret etmektedir.

2.4.3. Radyografik Değerlendirme

Maksiller oklüzal radyografiler, özellikle midpalatal suturun ayrılmasının değerlendirilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Bu yöntem, genişletme sonrası sutural açılımın ilk değerlendirilmesinde pratik bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak anatomik yapıların süperpozisyonu nedeniyle, özellikle posterior bölgede görüntü kalitesinin sınırlı olabileceği bildirilmektedir. Bu süperpozisyon, görüntü netliğini azaltarak suturun posterior kısmının yeterince değerlendirilememesine yol açmaktadır (12, 110, 118).

Çeneler arası transversal ilişkilerin daha kapsamlı değerlendirilmesinde ise Posteroanterior (PA) radyografiler ön plana çıkmaktadır. PA radyografiler, asimetrilerin

ve posterior çapraz kapanışın dişsel mi yoksa iskeletsel yapılardaki farklılıklardan mı kaynaklandığını belirlemede önemli bir tanısal araçtır. Ayrıca PA radyografiler, maksilla ve mandibula arasındaki transversal ilişkinin değerlendirilmesini sağlayarak maksiller darlık gibi transversal yöndeki iskeletsel yetersizliklerin ve mandibular deviasyonla karakterize fasiyal asimetrielerin tespit edilmesine olanak tanımaktadır (84, 119-121).

Bu radyografik değerlendirmeler doğrultusunda çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Ricketts'in (122) Rocky Mountain analizinde, maksilla ile mandibula arasındaki transversal genişlik farkını belirlemek amacıyla jugal ve antegonial noktalar arasındaki mesafeler kullanılmaktadır. Bu analizde efektif mandibular genişlik, antegonial protuberansın lateral ve inferior kenarları arasındaki AG-GA mesafesi ile; efektif maksiller genişlik ise sağ ve sol zigomatik arkın tuber maksillayı kestiği jugal noktalar (JL-JR) arasındaki mesafe ile tanımlanmaktadır. Sağ ve sol jugal noktalar ile antegonial noktalar arasındaki mesafeler arasındaki fark hesaplanarak gerçek maksillomandibular genişlik farkı elde edilir. Elde edilen değerler, belirlenmiş normatif ölçüler ve fark tabloları ile karşılaştırılarak transversal uyumsuzluğa neden olan yetersizlik ya da fazlalığın kaynağı hakkında bilgi sağlamaktadır. Ancak PA radyografilerde anatomik noktaların tanımlanmasındaki güçlük, yapıların süperpozisyonu ve iki boyutlu görüntüleme sınırlamaları nedeniyle bazal kemik ve alveoler düzeydeki detayların yeterince değerlendirilememesi, yöntemin önemli kısıtları arasında yer almaktadır. Bu nedenle belirgin iskeletsel asimetrielerin varlığında güvenilir sonuçlar sağlamakta; hafif ya da dental posterior çapraz kapanış vakalarında tanısal değeri sınırlı kalmaktadır (120, 123).

Üç boyutlu görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler, kraniyofasiyal yapıların daha ayrıntılı incelenmesine olanak sağlamış ve iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin sınırlılıklarını büyük ölçüde azaltmıştır. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT), sert ve yumuşak dokuların kesitsel olarak, süperpozisyon olmaksızın ve gerçek boyutlarında görüntülenmesine imkân tanımaktadır. Bu sayede maksilla, mandibula ve ilişkili kraniyofasiyal yapıların morfolojik ve konumsal değerlendirmesi daha doğru, güvenilir ve ayrıntılı biçimde yapılabilmektedir (124). Tamburrino ve ark. (125), maksillomandibular genişlik ilişkisinin değerlendirilmesinde Ricketts analizine benzer bir yaklaşım benimsemiştir. Araştırmacılar, maksiller genişliği sağ ve sol jugal noktalar arasındaki mesafeyi ölçerek; mandibular genişliği ise WALA hattının iskeletsel temsili olduğu görüşünden hareketle, sağ ve sol mandibular birinci molarların hizasında kortikal kemik üzerindeki en bukkal noktalar arasındaki mesafeyi belirleyerek

değerlendirmişlerdir. Bu iki ölçüm arasındaki farkın erişkin bireylerde ideal olarak yaklaşık 5 mm olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, günümüzde dişlerin ve çevre dokuların üç boyutlu olarak değerlendirilmesinde en kapsamlı görüntüleme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. KIBT sayesinde dişlerin bukkolingual eğimleri, apikal taban genişlikleri, sutural açılım paternleri ve asimetrik genişleme miktarları nicel olarak ölçülebilmektedir. Üç boyutlu verilerin bu ayrıntı düzeyinde analiz edilebilmesi, gerçek ve göreceli transversal darlıkların ayırt edilmesine olanak tanımakta; ayrıca hızlı üst çene genişletmesi sonrasında meydana gelen iskeletsel, alveoler ve dental değişimlerin yüksek doğrulukla değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (123).

KIBT, midpalatal suturun maturasyon düzeyinin değerlendirilmesinde de önemli bir tanı aracıdır. Midpalatal sutur yalnızca maksiller palatinal proseslerin birleşim hattı olarak değil, palatinal kemiklerin horizontal laminaları ve çevre sutural yapılarla ilişkili kompleks bir yapı olarak değerlendirilmektedir. Anatomik olarak anterior, orta ve posterior olmak üzere üç segmentten oluşur. Anterior segment incisive foramenin önünde; orta segment incisive foramen ile transvers palatin sutur arasında; posterior segment ise transvers palatin suturun arkasında yer almaktadır. Suture ossifikasyonunun genellikle posterior bölgeden başlayarak anteriora doğru ilerlediği bildirilmektedir (23, 126).

KIBT görüntülerinde midpalatal sutur maturasyonu, suture hattının şekli, yoğunluğu ve füzyon derecesine göre beş aşamada değerlendirilmektedir. Erken dönemde sutur, düz ve belirgin bir çizgi şeklinde izlenirken; maturasyon ilerledikçe dalgalı/skalloplu bir görünüm kazanır. Daha ileri aşamada sutur, birbirine yakın iki paralel yoğun çizgi şeklinde görülür. Füzyon süreci ilerledikçe suture hattı önce palatinal kemik bölgesinde görünürlüğünü kaybeder; son aşamada ise maksiller bölgede de füzyon tamamlanır ve midpalatal sutur büyük ölçüde izlenemez hale gelir. Bu değerlendirme, özellikle geç adolesan ve genç erişkin bireylerde hızlı maksiller genişletme, MARPE veya cerrahi destekli genişletme kararının verilmesinde yol gösterici olabilmektedir(127).

2.5. Maksiller Transversal Darlığın Tedavisi

Maksiller darlığın tedavi planlamasında; hastanın kronolojik yaşı ve kooperasyon düzeyi, posterior çapraz kapanışın tipi, şiddeti ve etiyolojik faktörlerin elimine edilebilirliği değerlendirilmelidir. Bununla birlikte mevcut dentoalveoler kompanzasyon düzeyi, tercih edilecek genişletme aparatının tipi, periodontal dokuların durumu ve

kraniyofasiyal morfolojik özellikler de tedavi planlamasında belirleyici rol oynamaktadır (128).

Posterior çapraz kapanışın tedavisine ilişkin literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar, süt ve erken karma dişlenme dönemlerinde %8–45 oranında spontan düzelme görülebileceğini bildirmiştir (5, 66, 80, 129, 130). Buna karşılık bazı yazarlar, posterior çapraz kapanışın kendiliğinden düzelmesinin mümkün olmadığını ileri sürmüştür (82, 131, 132). Bununla birlikte, genel kabul gören yaklaşım tedaviye erken dönemde başlanmasının daha etkili olduğu yönündedir. Bu nedenle posterior çapraz kapanışın yönetiminde erken ortodontik müdahale önerilmektedir (5, 12, 131, 133).

Fonksiyonel posterior çapraz kapanış vakalarında, süt dişlerindeki prematür oklüzal temasların selektif oklüzal aşındırma ile ortadan kaldırılması, maloklüzyonun gelişmesini önleyebilmektedir (66, 130, 134). Erken dönemde uygulanan minimal oklüzal düzenlemelerin fonksiyonel posterior çapraz kapanışın tedavisinde etkili olduğu ve başarı oranlarının %27–90 arasında değiştiği bildirilmiştir (135). Bazı araştırmacılar, süt dentisyon döneminde yapılacak aşındırma işlemlerinin karma dişlenme dönemine ertelenmesini önermekte; daimi birinci molarların oklüzyona katıldığı dönemde daha kapsamlı bir değerlendirme sonrasında müdahale edilmesini savunmaktadır (12). Bununla birlikte, erken karma dişlenme döneminde gerçekleştirilen tedavi ile mandibular asimetrisinin düzeltilebildiğini gösteren olgular literatürde rapor edilmiştir (88).

Maksiller darlığın tedavisinde, üst çenenin genişletilmesine yönelik çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler sabit ya da hareketli apareyler aracılığıyla uygulanmakta; iskeletsel ve/veya dental etkiler oluşturarak maksiller darlığın düzeltilmesini amaçlamaktadır. Geçmişten günümüze başarıyla kullanılan bu apareyler, genişletme kuvvetlerini iskeletsel ve dental yapılara ileterek üst çenenin transversal yönde genişletilmesini sağlamaktadır.

Tedavi protokolleri arasında yavaş üst çene genişletmesi, yarı hızlı üst çene genişletmesi, hızlı üst çene genişletmesi, cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi (SARME) ve mini vida destekli hızlı üst çene genişletmesi (MARPE) gibi farklı teknikler yer almaktadır. Seçilecek tedavi yaklaşımı; klinisyenin deneyimi, hastanın yaşı, büyüme ve gelişim potansiyeli, maloklüzyonun şiddeti ve etiyolojik faktörler gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (136, 137).

2.5.1. Yavaş Üst Çene Genişletmesi

Yavaş üst çene genişletmesi, fizyolojik sınırlar içerisinde hafif kuvvetler uygulanarak genişletmenin sağlandığı bir tedavi yöntemidir. Bu teknikte yaklaşık 450–900 g aralığında kuvvet uygulanmakta ve haftalık 0,5–1 mm’lik aktivasyonlarla 2–6 ay süren bir genişletme süreci gerçekleştirilmektedir (48, 137, 138). Yavaş genişletme protokolünde toplam tedavi süresi ortalama 2–6 ay arasında değişmektedir. Uygulanan düşük şiddetteki kuvvetlerin çevre dokularda daha az rezidüel stres birikimine yol açtığı ve bu durumun tedavi sonrası relaps olasılığını azalttığı bildirilmektedir (136, 139, 140). Yavaş üst çene genişletmesinde kullanılan apareyler arasında Coffin zemberekleri, Quad-Helix, W apareyi, mıknatıslı genişletme apareyleri, Minne Expander ve vidalı genişletme apareyleri yer almaktadır (139, 141, 142).

2.5.2. Yarı Hızlı Üst Çene Genişletmesi

Yarı hızlı üst çene genişletmesi yöntemi, Mew ve ark. (143) tarafından “Bioblock” adı verilen aparey kullanılarak tanımlanmıştır. Araştırmacılar, haftalık 1–1,5 mm’lik genişletmenin yeterli olduğunu ve bu protokolün hızlı ve yavaş üst çene genişletmesi yöntemlerine kıyasla kuvveti daha fizyolojik sınırlar içinde uyguladığını bildirmiştir.

Sandıkçıoğlu ve Hazar (133), karma dişlenme dönemindeki hastalarda hareketli genişletme apareyi ile gün aşırı bir çeyrek tur vida aktivasyonu uygulayarak yarı hızlı genişletme protokolünü gerçekleştirmiştir. Benzer şekilde, İşeri ve Özsoy’un çalışmasında rijit akrilik bonded genişletme apareyi ile midpalatal sutur açılana kadar günde iki çeyrek tur (0,4 mm), sutural açılma sonrasında ise haftada üç çeyrek tur (0,6 mm) aktivasyon önerilmiştir. Bu protokolün çevre dokularda daha az direnç oluşturduğu ve tedavi sonrası relaps riskini azalttığı bildirilmiştir (144). Ramoğlu ve Sarı (145), karma dişlenme döneminde uygulanan hızlı ve yarı hızlı üst çene genişletmesi tedavilerinin dentofasiyal yapılar üzerindeki etkilerinin benzer olduğunu; ancak yarı hızlı protokolde dentofasiyal yapılarda stres birikiminin daha düşük olması nedeniyle nüks oranının daha az görüldüğünü bildirmiştir.

2.5.3. Hızlı Üst Çene Genişletmesi

Hızlı üst çene genişletmesi, maksiller darlığın tedavisinde uzun yıllardır kullanılan ve midpalatal suturun iskeletsel olarak ayrılması prensibine dayanan bir ortodontik tedavi yöntemidir (146, 147). Bu yöntemde, özellikle büyüme ve gelişim dönemindeki bireylerde 0,9–4,5 kg arasında değişen yüksek ortopedik kuvvetler uygulanarak kısa

sürede iskeletsel genişleme elde edilmesi hedeflenmektedir (148-150). Uygulanan kuvvetler fizyolojik sınırların üzerinde olduğunda, dental etkiden daha çok iskeletsel etki oluşturarak midpalatal suturun ayrılmasına olanak tanımaktadır (151).

Hızlı üst çene genişletmesi sırasında günlük 0,2–0,5 mm arasında değişen vida aktivasyonları uygulanmakta ve tedavi genellikle 1–3 hafta içinde tamamlanmaktadır (149-151). Tedavi başlangıcında periodontal ligamentte sıkışma, destek dişlerde bukkale devrilme ve palatal dokularda gerilme meydana gelmektedir. İlerleyen aşamalarda ise midpalatal sutur ayrılmakta; bunu reorganizasyon ve kemik remodeling süreçleri izlemektedir (38, 47, 152, 153). Yapılan çalışmalarda, vida aktivasyonu sırasında kuvvetin anlık olarak maksimum seviyeye ulaştığı, bir sonraki aktivasyona kadar ise kademeli olarak azalarak sıfırlandığı bildirilmiştir (140).

Midpalatal suturun ayrılmasından sonra bölgede yeni kemik oluşumunun başladığı ve yaklaşık üç ay içerisinde suturun mineral içeriğinin başlangıç düzeyine ulaştığı belirtilmiştir (154, 155). Bu süreçte, ortopedik kuvvetlerin sutur açıldıktan sonra azaltılması ve genişletmenin kontrollü şekilde ilerletilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (156). Ayrıca, bazı çalışmalarda ultra hızlı genişletme protokolü gibi alternatif yöntemlerle ilk üç gün içinde 6 mm, sonraki bir haftada ise ek 3 mm genişletmenin sağlanabildiği bildirilmiştir (156). Vida aktivasyonuna ilişkin farklı protokoller tanımlanmış olsa da literatürde yaygın olarak kabul gören yaklaşım, vidanın sabah ve akşam olmak üzere günde iki çeyrek tur çevrilmesidir (41, 156-158). Uygulamada tercih edilen genişletme apareyleri ise destek aldıkları anatomik yapılara göre farklılık gösterebilmektedir. Destek aldıkları anatomik yapılara göre diş destekli, doku destekli, kemik destekli veya diş-kemik destekli olarak sınıflandırılabilir.

2.6. Hızlı Üst Çene Genişletmesinin Biyomekaniği

Maksillanın direnç merkezi ile hızlı üst çene genişletmesi sırasında oluşan rotasyon merkezinin belirlenmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu kapsamda bazı çalışmalarda nazomaksiller kompleksin, bazı çalışmalarda ise maksillanın direnç merkezi değerlendirilmiştir. Nazomaksiller kompleksin direnç merkezinin, midsagittal düzlemde pterigomaksiller fissürün posterosüperior sınırında yer aldığı gösterilmiştir (159). Maksillanın direnç merkezini bulmaya yönelik çalışmalarda ise Staggers ve ark. (160), bu merkezin zigomatik buttress düzeyinde konumlandığını; Miki (161) ise direnç merkezinin anteroposterior yönde birinci ve ikinci premolar apeksleri

arasında, vertikal yönde ise orbita tabanı ile birinci moların distal kök ucu arasında yer aldığını bildirmiştir.

Direnç merkezine ilişkin çalışmaların yanı sıra, genişletme sırasında oluşan rotasyon merkezinin konumu da araştırılmıştır. Konvansiyonel apareylerle yapılan genişletmelerde, maksillanın rotasyon merkezinin frontal düzlemde frontomaksiller sutur ya da superior orbital fissür çevresinde, horizontal düzlemde ise medial ve lateral pterigoid plaklar arasında bulunduğu bildirilmektedir (38, 156, 162, 163). MARPE apareyi ile yapılan tedavilerde ise rotasyon merkezinin frontal düzlemde frontozigomatik suturun superior bölümüne, horizontal düzlemde ise temporal kemiğin zigomatik çıkıntısının proksimal kısmına daha yakın olduğu belirtilmektedir (21, 164). Rotasyonel hareketin klinik yansıması, genişlemenin farklı anatomik seviyelerde eşit miktarda gerçekleşmemesidir. Alveoler kret düzeyinde gözlenen transversal yönde genişlemenin, palatal kubbe veya nazal taban düzeyine kıyasla daha fazla olması, söz konusu rotasyonel ayrılmanın bir sonucu olarak değerlendirilmektedir (165).

2.7. Hızlı Üst Çene Genişletmesinde Mini Vidaların Kullanımı

Posterior çapraz kapanışların düzeltilmesinde ve diş boyutu–ark boyu uyumsuzluğuna bağlı çapraşıklıkların giderilmesinde konvansiyonel apareyler ile yapılan hızlı üst çene genişletmesi etkili sonuçlar sağlamaktadır. Ancak geç adölesan ve erişkin bireylerde midpalatal suturun artan interdijitasyonu ve progresif kalsifikasyonu ile birlikte çevresel suturlardaki direnç artışı, geleneksel diş destekli hızlı üst çene genişletme uygulamalarının etkinliğini sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Sutural yapının olgunlaşmasıyla birlikte uygulanan ekspansiyon kuvvetleri büyük ölçüde alveoler proses ve dişlere iletilmekte; bu durum çeşitli komplikasyonların ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (47, 166, 167).

Literatürde bildirilen komplikasyonlar arasında; genişletme sırasında ağrı ve ödem (172), ankraj dişlerin bukkal köklerinde rezorpsiyon (168), bukkal kortekste fenestrasyon (169), alveolar kemikte dehissens oluşumu (170), diş eti çekilmesi, bukkal kron tippingi, sınırlı iskeletsel genişleme ya da tedavi başarısızlığı ve genişleme sonrası relaps (169, 171, 172) yer almaktadır. Bu yan etkiler, özellikle erişkin bireylerde hızlı üst çene genişletmesinin etkinliğini sınırlandırmış ve sutural direnci azaltmak amacıyla cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi yaklaşımlarının tercih edilmesine yol açmıştır (84, 173). Bununla birlikte cerrahi girişimin doğasında bulunan riskler, yüksek maliyet, hastanede yatış gereksinimi ve olası komplikasyonlar, hastaların bu prosedürü tercih

etmesini zorlaştırabilmektedir (20). Bu nedenle, erişkin bireylerde SARME yöntemine alternatif olarak MARPE apareylerinin kullanımı gündeme gelmiştir (174).

Kemik desteği onplant, implant, miniplak ve mini vidalardan sağlanabilmektedir (175). Bu sistemler, ortodontik tedavide kemikten ankraj sağlayarak birçok mekanik uygulamada başarılı sonuçlar vermektedir. Son yıllarda ise dişsel yan etkileri azaltmak ve iskeletsel genişlemeyi artırmak amacıyla yetişkin hastalarda MARPE apareyleri kullanılmaktadır (176). Mini vidalar, dental ankraja olan ihtiyacı azaltarak genişletme kuvvetlerinin daha kontrollü sutural yapılara iletilmesini amaçlamaktadır. Genellikle titanyum alaşımlarından üretilen vidalar, osseointegrasyon olmaksızın kemiğe mekanik olarak tutunmakta ve tedavi sonunda kolayca çıkarılabilmektedir (177). Mini vidaların klinik başarısı büyük ölçüde primer stabiliteye bağlıdır. Mini vidanın stabilitesi; hastanın yaşı, vidanın çapı, boyu ve şekli, yerleştirildiği bölge ile yerleştirme açısı, kemikle temas miktarı, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ile çevre dokuların enflamasyonu gibi birçok faktörden etkilenmektedir (178-180).

2.8. Kemik Destekli Apareyler

Kemik destekli genişletme apareyleri, ilk kez 1999 yılında Mommaerts tarafından “Transpalatal Distraktör” olarak adlandırılan aparey tasarımı ile literatüre tanıtılmıştır (181). Mommaerts (176), midpalatal sutur osteotomisi ile birlikte uygulanan kemik destekli distraktörün genişletme kuvvetlerini doğrudan kemik yapıya ilettiğini, böylece daha kontrollü bir ekspansiyon sağlandığını ve bu yöntemin geleneksel yaklaşımlara kıyasla çeşitli avantajlar sunduğunu bildirmiştir.

Kemik destekli apareylerde genişlemenin daha kontrollü gerçekleştiği ve kuvvetlerin doğrudan bazal kemiğe iletilmesi sayesinde tedavinin iskeletsel etkilerinin arttığı belirtilmiştir (182, 183). Mommaerts’in çalışması, cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesinde kemik ankrajlı apareylerin kullanımına yönelik yaklaşımın temelini oluşturmuştur. Bunu izleyen yıllarda transpalatal distraksiyon amacıyla farklı tasarımlarda pek çok aparey geliştirilmiştir. Bu apareyler arasında Magdeburg Distraktörü (184), Dresden Distraktörü (185), Rotterdam palatal Distraktörü (186) ve Maxillary Widening Device (187) yer almaktadır.

Kemik destekli apareylerin klinik etkinliğini değerlendiren sonraki çalışmalarda da bu sistemlerin dentoalveoler yan etkileri azaltma ve iskeletsel genişlemeyi artırma potansiyeli üzerinde durulmuştur. 2005 yılında Ramieri ve ark. (188), 29 erişkin hastada kemik destekli aparey ile yaptığı çalışmasında posterior dişlerden ankraj alınmaması

sayesinde dentoalveoler segmentlerde tippingin çok az ya da hiç oluşmadığını bildirmiştir. Bu bulguları destekler şekilde, Tausche ve ark. (106), Dresden Distraktörü ile tedavi edilen olguları üç boyutlu görüntüleme yöntemleriyle değerlendirmiş ve geleneksel hızlı üst çene genişletmesine kıyasla daha fazla iskeletsel genişleme elde edildiğini bildirmiştir. Ayrıca dişlerde gözlenen devrilme miktarının, alveoler kemikte saptanan değişimlere göre yaklaşık 6–9° daha az olduğunu; kök rezorpsiyonu, kemik dehisensi ve bukkal eğilimin belirgin şekilde azaldığını rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, kemik destekli sistemlerde kuvvetlerin doğrudan kemik yapılarına iletilmesi, ankraj elemanlarının sayısı ve yük dağılımı açısından dikkatli bir planlama gerektirmektedir. Gedrange ve ark. (189) ise kuvvetlerin yalnızca implantlar aracılığıyla kemiğe iletilmesinin lokal kemik hasarına yol açabileceğini ifade etmiş; bu nedenle yük dağılımını dengelemek ve doku hasarını önlemek amacıyla en az iki mini vida kullanımının gerekli olduğunu vurgulamıştır.

2.9. Diş-Kemik Destekli Apareyler

Son yıllarda ortodontik tedavilerde mini vida uygulamaları önemli bir yer edinmiştir. Bu gelişim, özellikle iskeletsel ankraj gereksiniminin arttığı tedavi protokollerinde daha belirgin hâle gelmiştir. Üst çene genişletmesinde de mini vida destekli apareyler yaygın olarak kullanılmakta; bu apareyler yalnızca mini vidalardan destek alan tamamen kemik destekli apareyler ya da hem diş hem de mini vidalardan destek alan hibrit tip apareyler şeklinde uygulanabilmektedir. Geleneksel diş destekli yöntemlerle karşılaştırıldığında, mini vida destekli sistemlerde dişlerde daha az tipping ve daha fazla iskeletsel genişleme elde edildiği bildirilmiştir (190). Birçok olguda üst çene genişletmesinde temel amaç, dişsel yan etkileri en aza indirirken iskeletsel genişlemeyi artırmak olduğundan özellikle yetişkin hastalarda mini vidaların kullanımı günümüzde giderek daha yaygın hâle gelmiştir (191).

Mini vida destekli aparey yaklaşımlarının gelişmesiyle birlikte, klinik gereksinimlere yönelik çeşitli aparey tasarımları geliştirilmiştir. Ludwig ve ark. (22), hem dişsel hem de iskeletsel ankrajın birlikte kullanıldığı “Hibrit Hyrax” apareyi ile özellikle karma dişlenme döneminde dental desteğin yetersiz olduğu olgularda, anterior palatal bölgeye yerleştirilen iki mini vida ile posterior ankraj ünitesi olarak seçilen üst birinci molar dişler aracılığıyla kuvvetlerin bir bölümünü doğrudan palatal kemik üzerinden iletmeyi amaçlamıştır. Böylece ankraj kaybının sınırlandırılması, dişlerde meydana gelen bukkal devrilmenin ve periodontal stresin azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu aparey

farklı ortopedik tedavi yaklaşımları ile kombine edilebilmektedir. Hibrit Hyrax apareyi, maksiller yetersizlik ve üst çene geriliği bulunan olgularda da uygulanmıştır (192). Nienkemper ve ark. (193), Hibrit Hyrax apareyinin yüz maskesi ile birlikte kullanımının maksiller protraksiyon sırasında dişsel yan etkileri azalttığını ve daha belirgin bir iskeletsel yanıt elde edilmesini sağladığını bildirmiştir.

Palatal bölgeden iskeletsel ankraj sağlamaya yönelik farklı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler, yalnızca üst çene genişletmesiyle sınırlı kalmayıp farklı ortodontik hareketlerin kontrollü şekilde gerçekleştirilmesine de olanak tanımaktadır. Wilmes ve ark. (194, 195), anterior palatal bölgeye yerleştirilen farklı çap ve uzunluktaki mini vidalardan oluşan “Benefit Sistemi” adlı tasarımı tanıtmışlardır. Araştırmacılar, bu sistemin molar distalizasyonu, mezializasyonu, gömülü kaninlerin sürdürülmesi ve üst çene genişletmesi gibi farklı ortodontik tedavi uygulamalarında çok yönlü bir iskeletsel ankraj desteği sunduğunu belirtmişlerdir.

Hibrit veya kemik destekli genişletme apareyleri arasında klinik uygulamalarda kullanılan sistemlerden biri de Maxillary Skeletal Expander (MSE) olarak adlandırılan mini vida destekli hızlı üst çene genişletme apareyidir. MSE, palatal bölgede midpalatal sutura paralel şekilde konumlandırılmakta ve genişletme kuvvetlerini mini vidalar aracılığıyla doğrudan maksiller bazal kemiğe iletmektedir. Lee ve ark. (196), bikortikal mini vida ankrajının, monokortikal ankraja kıyasla peri-implant stresi ve mini vida deformasyonunu azalttığı; ayrıca koronal düzlemde daha fazla ve daha paralel ekspansiyon sağladığı bildirilmiştir. Bu nedenle, bikortikal yerleşimin mini vida stabilitesini ve iskeletsel etkinliği artırabileceği belirtilmiştir.

Bu özellikleri nedeniyle MSE ve benzeri mini vida destekli genişletme sistemleri, maksiller transversal yetersizlik bulunan pubertal büyüme sonu ve erişkin bireylerde cerrahi destekli olmayan iskeletsel genişletme alternatifi olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım; Sınıf III maloklüzyonlarda ortopedik veya ortognatik cerrahi öncesi transvers uyumsuzluğun giderilmesi, Sınıf I maloklüzyona eşlik eden unilateral veya bilateral posterior çapraz kapanışların düzeltilmesi, Sınıf II olgularda mandibular ilerletme cerrahisi öncesi arklar arası transversal uyumun sağlanması ve maksiller darlıkla birlikte görülen çapaşıklık olgularında çekimsiz tedavi için yer kazanımı sağlanması amacıyla uygulanabilir. Ayrıca bukkal karanlık koridorların azaltılması, konvansiyonel diş destekli genişletmeye bağlı dental yan etkilerin sınırlandırılması ve periodontal açıdan riskli destek dişlerin bulunduğu olgularda genişletme kuvvetlerinin daha fazla iskeletsel yapılara aktarılması açısından avantaj sağlamaktadır (23, 126).

2.10. Mini Vidaların Seçim Kriterleri ve Palatinal Konumu

MARPE apareylerinde kullanılan mini vidaların stabilitesi, tedavinin genel başarısını doğrudan etkileyen temel faktörlerden biridir. İnsiziv kanalın dışında yer alan median ve paramedian palatal bölgeler; yeterli kortikal kemik kalınlığına ve yüksek kemik yoğunluğuna sahip olmaları, uygun miktarda keratinize mukoza içermeleri ve nörovasküler yapılarla görece uzak konumda bulunmaları nedeniyle mini vidaların güvenli ve stabil şekilde yerleştirilebileceği alanlar olarak kabul edilmektedir (197).

Palatal bölgede mini vidalar için en uygun yerleşim alanlarının belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Bernhart ve ark. (198), 22 hasta üzerinde yaptıkları araştırmada mini vida uygulaması için ideal bölgeyi, insiziv foramenin 6–9 mm posterioru ile sutura palatina medianının 3–6 mm laterali olarak tanımlamıştır. Benzer şekilde King ve ark. (199), 138 bireyi kapsayan çalışmalarında en uygun yerleşim alanını, insiziv foramenin yaklaşık 4 mm posterioru ve midpalatal suturun 3 mm laterali olarak bildirmiştir.

Ludwig ve ark. (200), mini vida yerleşimi açısından anterior palatal bölgenin en güvenilir alan olduğunu bildirmiştir. Bu bölgenin; yeterli keratinize yumuşak dokuya sahip olması, yüksek kemik yoğunluğu göstermesi ve diş köklerinden uzak konumlanması, olası komplikasyonların azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Araştırmacılar ayrıca mini vida stabilitesini belirleyen temel faktörün, mini vida çevresindeki kemik miktarı olduğunu vurgulamıştır. KIBT kullanarak gerçekleştirdikleri analizlerde, mini vida yerleşimi için en uygun alanın insiziv foramenin yaklaşık 3–4 mm posterioru ile midpalatal suturun 3 mm laterali olduğunu belirtmişlerdir (22).

Anterior palatal bölgenin yanı sıra, posterior palatal alanların da mini vida yerleşimi açısından potansiyeli değerlendirilmiştir. Literatürde, palatal bölgenin posterior kesimine yapılan mini vidaların, yeterli kortikal kemik kalınlığı ve uygun kemik yoğunluğu sayesinde stabil bir ankraj sağlayabileceği ifade edilmektedir. Fayed ve ark. (201) ise palatal bölgede mini vida yerleştirilmesi için en uygun alanın, kortikal kemiğin en fazla kalınlık gösterdiği ikinci premolar ile birinci molar dişler arasındaki bölge olduğunu bildirmiştir.

Kim ve ark. (202), palatal bölgede mini vidaların posterior diş kökleri arasına güvenli şekilde yerleştirilebilmesi ve kortikal kemikle temas yüzeyinin artırılabilmesi amacıyla vidaların oblik açıyla uygulanmasını önermiştir. Bu yaklaşımın, kök hasarı riskini azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Lee ve ark. (203) ise palatal bölgede mine-sement

sınırının yaklaşık 10–12 mm apikalinde önemli nörovasküler yapıların bulunduğunu bildirmiş. Bu nedenle mini vidaların, alveoler kret ile kök uçları arasındaki mesafenin orta üçlüsünde (yaklaşık 1/2–1/3'lük bölümünde) konumlandırılmasının stabilite ve güvenlik açısından daha uygun olacağını ifade etmişlerdir. Aynı araştırmacılar ayrıca, bukkal ve palatal bölgelerdeki kortikal kemik eğimlerinin farklılık göstermesi nedeniyle palatal bölgede mini vidaların kortikal kemiğe yaklaşık 90° açıyla yerleştirilmesinin daha güvenli bir uygulama sağlayacağını vurgulamıştır.

2.11. Cerrahi Destekli Hızlı Üst Çene Genişletmesi

Erişkin bireylerde maksiller darlığın tedavi planlamasında, hedeflenen genişletme miktarı uygulanacak ortodontik ya da cerrahi yaklaşımın belirlenmesinde temel bir kriterdir. Bu nedenle transversal uyumsuzluğun doğru ve ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi, tedavi başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Transversal uyumsuzluğun 5 mm'nin altında olduğu olgularda, ortodontik kuvvetler aracılığıyla dişsel kompanzasyon sağlanabilmektedir. Buna karşın, 5 mm'nin üzerindeki vakalarda erişkin bireylerde maksillofasiyal suturların artmış direnci ve periodontal dokularda oluşabilecek hasar riski nedeniyle yalnızca ortodontik kuvvetlerle yeterli genişletme elde etmek güçleşmektedir. Bu nedenle bu olgularda cerrahi destekli yaklaşımlar gündeme gelmektedir (84, 112).

SARME, iskeletsel maturasyonunu tamamlamış ve midpalatal suturu ossifiye olmuş bireylerde uygulanan bir tedavi yöntemidir. Bu yaklaşımda apertura piriformis, zigomatik buttress, pterigomaksiller kompleks ve midpalatal sutur gibi direnç bölgeleri cerrahi olarak zayıflatılmakta; ardından genişletme apareyleri kullanılarak dentoalveoler ve iskeletsel düzeyde ekspansiyon sağlanmaktadır (174, 181).

Erişkin dönemde artan sutural rijidite, cerrahi destekli yaklaşımların gerekliliğini açıklayan başlıca faktörlerden biridir. İskeletsel maturasyonun ilerlemesiyle birlikte midpalatal sutur ve sirkummaksiller yapıların giderek daha rijit hâle gelmesi, erişkin bireylerde ekspansiyona karşı oluşan direncin temel nedenleri arasında gösterilmektedir (204, 205). Bu artmış direnç, konvansiyonel hızlı üst çene genişletmesi sırasında uygulanan kuvvetlerin sutural yapılara yeterli düzeyde iletilmesini güçleştirmektedir. Sonuç olarak kuvvet dağılımı iskeletsel yapılardan ziyade dentoalveoler yapılara yönelmekte ve genişleme kuvvetinin büyük bölümü ankraj olarak kullanılan dişler tarafından karşılanmaktadır. Bu durum; dişlerde bukkal devrilme (162, 206), ekstrüzyon, alveolar kemikte bukkal eğilme (106), ankraj alınan dişlerde bukkal kök rezorpsiyonu

(207-209), bukkal kemikte fenestrasyon, periodontal membranda sıkışma (210, 211), midpalatal suturun yetersiz açılması veya hiç açılmaması, ağrı ve asimetrik genişletme (140, 212) gibi çeşitli istenmeyen etkilerin ortaya çıkmasına yol açabilmektedir.

Maksiller kompleksin ekspansiyona karşı gösterdiği direnç yalnızca midpalatal suturdan kaynaklanmamaktadır; zigomatikomaksiller, pterigomaksiller, zigomatikotemporal, zigomatikofrontal ve frontomaksiller suturlar da bu dirence katkı sağlayan önemli anatomik yapılardır (39, 40, 213). Genişletme kuvvetlerine oluşan direnç alanları anatomik olarak dört ana bölgede açıklanabilir: anterior bölgede apertura piriformis, lateral bölgede zigomatik buttress, posterior bölgede pterigoid proçes ve midsagital hatta midpalatal sutur yer almaktadır. Bu bölgelerdeki direnci azaltmak amacıyla zaman içinde çeşitli osteotomi teknikleri geliştirilmiştir (181).

Cerrahi destekli hızlı üst çene genişletmesi kapsamında midpalatal suturun cerrahi olarak ayrılmasına yönelik erken girişimlerden biri, 1938 yılında Brown tarafından tanımlanmıştır. Brown'ın midpalatal splitting içeren SARME tekniğini muhtemelen ilk tanımlayan araştırmacı olduğu bildirilmektedir (181). Daha sonra Heiss (214), 1954 yılında komprese maksiller arkin ortodontik amaçlı genişletilmesini desteklemek için anterior maksillada midline splitting uygulamasını tanımlamıştır. Kole (215) ise 1959 yılında, ortodontik tedavi sırasında diş hareketine karşı oluşan direnci azaltmak amacıyla kortikal kemikte sınırlı osteotomi uygulanmasını önermiştir. Bu yaklaşım, dentoalveoler segmentlerin hareketini kolaylaştırmayı ve tedavi sürecini hızlandırmayı hedeflemektedir.

İzleyen yıllarda, maksiller genişletmeye karşı oluşan direncin yalnızca midpalatal suturdan kaynaklanmadığının anlaşılmasıyla birlikte, osteotomi sınırları farklı direnç bölgelerini kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Converse ve Horowitz (216) 1969 yılında maksiller genişletmeyi kolaylaştırmak amacıyla labial ve palatal kortikal yüzeylerde osteotomi yapılmasını önermiştir. Steinhauser ise (217) 1972 yılında Le Fort I tipi osteotomi ile palatin orta hat splitting'ini kombine eden ve oluşan boşluğa üçgen biçimli unikortikal iliak greft yerleştirilmesini içeren bir teknik tanımlamıştır. Bu yaklaşım, maksillanın segmental olarak genişletilmesine yönelik erken cerrahi tekniklerden biri olarak değerlendirilebilir.

Bu gelişmelere paralel olarak, lateral direnç bölgelerine odaklanan bir başka yaklaşım 1975 yılında Lines (39) tarafından tanımlanmıştır. Lines, piriform apturadan başlayıp zigomatik buttress üzerinden tuberosite bölgesine uzanan lateral kortikotomi ile midpalatal suturun cerrahi olarak açılmasını içeren bir yaklaşım önermiştir. Bu teknikle

özellikle lateral direnç bölgelerinin zayıflatılması ve erişkin bireylerde hızlı maksiller ekspansiyonun kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Daha sonra Bell ve Epker (218), erişkinlerde unilateral veya bilateral horizontal maksiller yetersizliğin düzeltilmesi için maksiller osteotomiler tanımlamıştır. Bu teknikler; lateral maksiller osteotomi, pterigomaksiller ayrılma, gerektiğinde parasagittal palatal osteotomi ve posterior ya da unilateral olgularda interdental osteotomileri içermektedir. Yazarlar, bu yaklaşımın maksiller bazal kemiği nazal, zigomatikomaksiller ve pterigomaksiller direnç bölgelerinden ayırarak daha kontrollü iskeletsel genişleme sağladığını bildirmiştir. Aynı dönemde Kennedy ve ark. (219), deneysel çalışmalarında özellikle lateral maksiller osteotominin etkili olduğunu ve maksiller ekspansiyonda önemli direnç alanlarından birinin zigomatikomaksiller buttress olabileceğini göstermiştir.

Sonraki dönemde ise daha konservatif cerrahi teknikleri de önerilmiştir. Glassman ve ark. (220), palatal osteotomi veya pterigomaksiller bileşkede ayrılma yapmadan, yalnızca lateral maksiller kortikotomi uygulanan konservatif bir cerrahi-ortodontik teknik tanımlamıştır. Bu teknikte kortikotomi apertura piriformis bölgesinden başlayarak zigomatikomaksiller buttress üzerinden pterigoid fissürün hemen önüne kadar uzatılmış ve Hyrax apareyi ile ekspansiyon sağlanmıştır. Palatal osteotominin yapılmaması, insiziv kanalın korunması, palatal ve nazal dokularda komplikasyon riskinin azaltılması ve pterigomaksiller bölgede kanama riskinden kaçınılması nedeniyle bu yaklaşım daha konservatif bir prosedür olarak değerlendirilmiştir.

2.12. Tek Taraflı Maksiller Darlığın Tedavi Yöntemleri

Posterior bölgede görülen tek taraflı çapraz kapanışlar genellikle fonksiyonel ve gerçek olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir (30). Fonksiyonel tek taraflı posterior çapraz kapanış olgularında erken müdahale önem taşımaktadır. Çünkü tedavi edilmeden bırakıldığında temporomandibular eklem ve iskeletsel yapılarda asimetri oluşumu gibi çeşitli olumsuzlukların gelişebileceği bildirilmektedir (60, 96). Bu tür vakalarda uygulanan tedavinin temel amacı, maksiller arkın dengeli bir şekilde genişletilmesini sağlamak ve mandibulanın fonksiyon sırasında ortaya çıkan lateral deviasyonunu ortadan kaldırmaktır (221).

Gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış ise ortodontik tedavi açısından daha karmaşık kabul edilen bir maloklüzyon tipi olarak kabul edilmektedir. Bu olgularda kullanılan geleneksel genişletme yöntemleri genellikle üst dental arkta iki taraflı genişleme oluşturduğundan, çapraz kapanışın bulunmadığı tarafta gereksiz bir

genişlemeye neden olabilmektedir. Bu durum, iyatrojenik aşırı genişleme riski oluşturduğu için tedavi planlamasında daha kontrollü ve asimetrik kuvvet uygulayabilen yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanışların düzeltilmesinde, genişletme kuvvetinin yalnızca gereksinim duyulan bölgeye yönlendirilmesini sağlayan apareyler ve uygun biyomekanik prensipler tercih edilmektedir (12). Yıllar içinde çapraz kapanış olmayan tarafta oluşabilecek istenmeyen genişlemeyi engellemek amacıyla bazı alternatif tedavi yöntemleri geliştirilmiştir (10, 13, 222).

Erişkin hastalarda midpalatal suturun ossifikasyonunu büyük ölçüde tamamlaması ve buna bağlı olarak sutural direncin artması nedeniyle, geleneksel diş destekli ortopedik genişletme yöntemleri ile yeterli düzeyde iskeletsel genişleme sağlanması çoğu zaman zorlaşmaktadır. Bu durum, uygulanan kuvvetlerin büyük ölçüde dişler aracılığıyla iletilmesine bağlı olarak biyolojik açıdan bazı sınırlılıklar ortaya çıkarmaktadır. Bu sınırlamaların aşılması amacıyla, kuvvetin doğrudan kemik dokusuna aktarılmasına olanak sağlayan mini vida destekli genişletme apareyleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda mini vida destekli hızlı maksiller genişletme apareyleri ve özellikle tek taraflı kuvvet uygulanmasına imkân tanıyan aparey tasarımları önerilmektedir (222-224).

2.13. Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi

Sonlu elemanlar analizi (SEA), karmaşık yapıların fiziksel davranışlarını incelemek amacıyla yapıyı küçük alt birimlere ayıran sayısal bir analiz yöntemidir. Bu yöntemde yapının bütüncül özellikleri korunurken, her bir elemana ait denklemler ayrı ayrı çözülmekte; ardından uyumluluk ve denge koşulları dikkate alınarak elde edilen veriler bir araya getirilmekte ve sistemin genel mekanik davranışı ortaya konulmaktadır (225).

Başlangıçta mühendislik alanında gerilme dağılımı, yer değiştirme ve deformasyon analizleri amacıyla geliştirilen SEA, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte diş hekimliği alanında da yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (226). Diş hekimliği literatüründe yöntemin ilk kullanımı 1968 yılında Ledley ve Huang tarafından gerçekleştirilmiş; 1970’li yıllarda ise Farah ve ark. çalışmalarıyla yaygınlık kazanmıştır (227, 228). Günümüzde sonlu elemanlar analizi; protetik tedavi, implantoloji, ortodonti ve restoratif diş hekimliği gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Üç boyutlu katı modellerin oluşturulmasında genellikle bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme tekniklerinden elde edilen verilerden yararlanılmaktadır.

Bu görüntü verileri, özel yazılımlar aracılığıyla dijital ortama aktarılmakta ve ayrıntılı biçimde işlenmektedir. Elde edilen anatomik kesitler, sonlu eleman modelleme sürecinde referans veri seti olarak kullanılmakta; böylece incelenen yapının üç boyutlu katı modeli oluşturulmaktadır (227).

2.13.1. Sonlu Elemanlar Analizinde Temel Kavramlar ve Tanımlar

Sonlu elemanlar analizinin çalışma prensibini daha iyi anlaşılabilmesi için, yöntemin temelini oluşturan kavram ve terimlerin açık biçimde tanımlanması önem taşımaktadır.

2.13.1.1. Homojen Cisim

Bir materyalin elastik özelliklerinin tüm noktalarında aynı değerleri göstermesi durumunda yapı homojen cisim olarak tanımlanır (229).

2.13.1.2. Eleman Yapısı ve Düğüm Noktası

Sonlu elemanlar analizinde incelenecek yapı, karmaşık geometrinin çözümlenebilmesi amacıyla çok sayıda küçük ve tanımlanabilir alt birime, yani elemanlara ayrılmaktadır. Oluşturulan bu elemanlar, düğüm noktaları aracılığıyla köşe bölgelerinden birbirine bağlanmaktadır (226, 229).

2.13.1.4. Ağ (Mesh) Yapısının Oluşturulması ve Özellikleri

Sonlu elemanlar yönteminde, karmaşık bir geometrinin analiz edilebilir hâle getirilebilmesi için yapı sonlu sayıda küçük alt birime ayrılmakta ve bu işlem ağ oluşturma, yani mesh olarak adlandırılmaktadır. Mesh sistemi; elemanlar, bu elemanları birbirine bağlayan düğüm noktaları ve modele ait sınır koşullarından oluşmaktadır. Gerilme değişiminin yoğun olduğu bölgelerde daha sık eleman yerleşimi yapılarak çözüm hassasiyeti artırılmakta; uygulanan yükler sonucunda her bir düğüm noktasındaki gerilme ve yer değiştirme değerleri bilgisayar destekli hesaplama yöntemleriyle belirlenmektedir (226).

2.13.1.5. Modelde Sınır Koşullarının Tanımlanması

Sınır koşulları, analiz edilen modelde hangi bölgelerin sabitlendiğini ve kuvvetlerin hangi noktalara uygulandığını gösteren temel parametrelerdir. Ayrıca model

üzerinde oluşacak gerilme ve yer değiştirme değerlerinin hangi koşullar altında değerlendirileceğini tanımlamaktadır (226).

2.13.1.6. Kuvvet

Kuvvet, bir cismin hareket durumunu ve/veya şekil değişimini etkileyebilen, yönü ve büyüklüğü olan vektörel bir fiziksel nicelik olarak tanımlanmaktadır. Kuvvetin birimi Newton'dur (N). Ortodontik uygulamalarda ise kuvvet büyüklüğü çoğunlukla gram-kuvvet cinsinden ifade edilmektedir. Uluslararası Birimler Sistemi'ne göre 1 Newton yaklaşık olarak 101,97 gram-kuvvete eşdeğerdir (230).

2.13.1.7. Gerilme (Stres)

Gerilme, bir cisme dış kuvvet uygulandığında, materyalin iç yapısında birim alan başına oluşan tepki olarak tanımlanmaktadır (231). Bu tepki, uygulanan kuvvete eşit şiddette ve zıt yönde gelişmektedir. Kuvvet etkisiyle oluşan gerilmeler; çekme, basma ve kayma gerilmesi olmak üzere üç farklı tipte sınıflandırılmaktadır (232).

2.13.1.8. Asal Gerilmeler (Principal Stress)

Asal gerilmeler, makaslama gerilmelerinin ortadan kalktığı düzlemlerde (x, y, z) yalnızca yüzeye dik doğrultuda etkili olan gerilmeleri ifade eder. Yük altındaki bir cisimde minimum, ara ve maksimum olmak üzere üç asal gerilme bileşeni tanımlanmaktadır (233). Maksimum asal gerilme genellikle pozitif değerle ifade edilmekte ve en yüksek çekme gerilmesini göstermektedir. Minimum asal gerilme ise genellikle negatif değerle ifade edilmekte ve en yüksek basma gerilmesini göstermektedir (234). Sonlu elemanlar analizinde elde edilen sonuçlarda pozitif değerler çekme, negatif değerler ise basma gerilmesine karşılık gelmektedir (235).

2.13.1.9. Von Mises Gerilmesi

Von Mises gerilmesi, kuvvet uygulanan bir cisimde oluşan gerilme dağılımını değerlendirmek amacıyla kullanılan bir ölçüttür. Bu kriter, bir yapının belirli bir bölgesindeki iç enerji belirli bir sınırı aştığında plastik deformasyonun başlayacağı ilkesine dayanmaktadır (236). Von Mises gerilme kriterinin değerlendirilmesi sürecinde, analiz edilen modelde ortaya çıkan üç boyutlu stres dağılımı genellikle renk skalası kullanılarak görselleştirilmektedir. Bu görsel gösterimde her bir renk belirli bir gerilme aralığını temsil etmekte, farklı doğrultulardaki karmaşık stres bileşenleri ise tek bir

eşdeğer ve pozitif Von Mises gerilme değeri olarak ifade edilmektedir. Böylece model üzerinde gerilmenin yoğunlaştığı bölgeler, renk geçişleri ve yoğunluk farklılıkları aracılığıyla kolaylıkla belirlenebilmektedir.

2.13.1.10. Gerinim (Strain)

Gerinim, bir cismin başlangıç uzunluğu ile uygulanan kuvvet sonucunda meydana gelen uzunluk değişimi arasındaki oranın matematiksel olarak ifade edilmesidir. Başka bir ifadeyle gerinim, deformasyon miktarının cismin orijinal boyutuna oranını temsil eden bir büyüklüktür. Elastik gerinim, uygulanan yük ortadan kaldırıldığında materyalin başlangıç formuna tamamen geri dönmesiyle karakterizedir. Buna karşılık plastik gerinim, yük kaldırıldıktan sonra da kalıcı şekil değişikliğinin devam ettiği durumu ifade eder ve malzeme yapısında geri dönüşümsüz deformasyonlara neden olur (226).

2.13.1.11. Elastik ve Viskoelastik Davranış Özellikleri

Elastiklik, bir materyalin üzerine etki eden kuvvet ortadan kaldırıldığında başlangıçtaki formuna geri dönebilme kapasitesini ifade eder. Bu özellik, malzemenin elastik sınırlar içerisinde geçici deformasyon göstermesiyle ilişkilidir. Viskoelastik malzemeler ise hem elastik hem de viskoz davranış özelliklerini birlikte sergiler. Bu tür materyallerde deformasyon yalnızca uygulanan kuvvetin büyüklüğüne değil, kuvvetin etki süresine de bağlıdır. Periodontal ligament bu gruba örnek teşkil etmekte olup, zamana bağlı gerinim ve gerilme yanıtı göstermektedir. Sonlu elemanlar analizinde özellikle periodontal dokuların biyomekanik davranışının doğru biçimde modellenenebilmesi için viskoelastik özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir (237).

2.13.1.12. Elastiklik Modülü (Young Modülü) ve Poisson Oranı

Elastiklik modülü, bir materyalin rijitliğini ve elastik sınırlar içerisinde deformasyona karşı gösterdiği direnci tanımlayan temel bir mekanik parametredir. Matematiksel olarak gerilmenin gerinime oranı şeklinde ifade edilir ve değerin artması, materyalin aynı yük altında daha az deformasyon göstereceği anlamına gelir. Poisson oranı ise bir malzeme çekme ya da basma kuvvetine maruz kaldığında, yük doğrultusundaki boyutsal değişime karşılık, buna dik yönde meydana gelen birim şekil değişiminin oranını ifade eder. Başka bir ifadeyle Poisson oranı, eksenel deformasyona eşlik eden enine deformasyonun büyüklüğünü gösterir. Elastiklik modülü ve Poisson

oranı birlikte değerlendirildiğinde, materyalin elastik yükleme koşulları altındaki mekanik davranışı tanımlanabilmektedir (238).

2.13.1.13. İzotropik ve Anizotropik Malzeme Davranışı

Bir materyalin elastik davranışının tüm yönlerde aynı olması izotropik davranış olarak tanımlanır. Bu tür materyallerde kuvvet hangi doğrultudan uygulanırsa uygulansın elastiklik modülü değişmez; yani materyal çekme, basma veya makaslama etkilerine karşı benzer elastik özellikler gösterir (238). Buna karşılık anizotropik materyallerde mekanik özellikler kuvvetin uygulandığı yöne bağlı olarak farklılık gösterir. Bu nedenle elastiklik modülü, kuvvetin uygulama doğrultusuna göre değişebilmektedir (239).

2.13.2 Sonlu Eleman Analiz Sürecinin Temel Aşamaları

Sonlu elemanlar analizi çalışmalarının temel yaklaşımı, karmaşık yapıların daha küçük ve hesaplanabilir alt birimlere, yani elemanlara ayrılarak matematiksel olarak çözümlenmesine dayanmaktadır (238). Bu yöntem, sistemin bütüncül davranışının daha anlaşılır biçimde değerlendirilmesi amacıyla yapının küçük bileşenler üzerinden incelenmesine olanak tanımaktadır. SEA uygulama süreci ise modelin oluşturulması ve sayısal çözümleme aşamalarını içeren belirli ve sistematik adımlardan oluşmaktadır.

2.13.2.1. Ön Hazırlık ve Modelleme Süreci

Hazırlık aşaması, sonlu elemanlar analizi sürecinin en önemli ve en fazla zaman alan evrelerinden biridir. Çünkü bu aşamada geliştirilen modelin doğruluğu, elde edilecek analiz sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu kapsamda geometrik modelin oluşturulması, matematiksel ağ yapısının yani mesh yapısının tasarlanması, malzeme özelliklerinin tanımlanması ve uygun sınır koşullarının belirlenmesi gibi temel adımlar gerçekleştirilmektedir. Bu parametrelerin her biri, modelin gerçek biyomekanik davranışı ne ölçüde doğru temsil edeceğini belirleyen kritik unsurlar olarak değerlendirilmektedir (228).

2.13.2.2. Geometrik Modelin Oluşturulması

Geometrik model, analiz kapsamında değerlendirilen yapının dijital ortamda oluşturulan üç boyutlu temsili olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde bu modelleme işlemi çoğunlukla KIBT verilerinden elde edilen yüksek çözünürlüklü anatomik görüntüler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. KIBT'nin sunduğu ayrıntılı görüntüleme

kapasitesi sayesinde maksilla, sutural alanlar ile kortikal ve spongiyoz kemik tabakaları gibi anatomik bileşenler ayrı ayrı segmente edilerek üç boyutlu olarak yeniden yapılandırılabilir. Modelleme süreci genellikle Mimics, 3D Slicer veya Geomagic gibi medikal görüntü işleme ve segmentasyon yazılımları kullanılarak yürütülmektedir. Bu aşamanın temel hedefi, klinik gerçekliğe en yakın morfolojik yapının elde edilmesi ve analiz sürecinde geometrik doğruluğun sağlanmasıdır (240).

2.13.2.3. Matematik Modelin Oluşturulması

Geometrik model tamamlandıktan sonra yapı, sayısal analiz yapılabilmesi için sonlu sayıda küçük elemanlara ayrılmaktadır. Bu elemanlar, düğüm noktaları aracılığıyla birbirine bağlanarak çözümün temelini oluşturan ağ yapısını meydana getirmektedir. Elemanların tipi ve dağılımı analiz hassasiyetini etkilerken, mesh işlemi yazılım tarafından otomatik olarak gerçekleştirilebilmekte ve gerektiğinde araştırmacı tarafından düzenlenebilmektedir (241).

2.13.2.4. Malzeme Özelliklerinin Programa Girilmesi

Analiz aşamasında modele ait malzeme parametreleri, uygulanacak yükler ve sınır koşulları yazılıma tanımlanmaktadır. Mekanik davranışın değerlendirilebilmesi için özellikle Young modülü ve Poisson oranı gibi temel malzeme özellikleri sisteme girilmektedir. Modelin belirlenen düğüm noktalarından kısıtlanmasıyla yer değiştirme sınırlamaları oluşturulmakta; yükleme şartlarının tanımlanmasıyla birlikte analiz için gerekli sınır koşulları belirlenmektedir.

2.13.2.5. Sınır ve Yükleme Koşullarının Belirlenmesi

Sınır koşulları, analiz edilen modelde hangi bölgelerin sabitlendiğini ve dış kuvvetlerin hangi noktalardan uygulandığını belirleyen temel tanımlamalardır. Mesh yapısına dönüştürülmüş bir modelde bu koşulların doğru ve gerçekçi biçimde tanımlanması, sistemin statik denge şartlarını sağlaması ve çözümün matematiksel olarak gerçekleştirilebilmesi açısından gereklidir. Özellikle kafatası temelli modellerde, kraniyal stabiliteyi temsil etmek amacıyla çoğunlukla foramen magnum bölgesi sabitlenerek model için referans noktası oluşturulmaktadır (242).

2.13.2.6. Çözüm Aşaması

Bu aşamada, modelde tanımlanan sınır koşulları ve uygulanan kuvvetler doğrultusunda oluşan deformasyonlar, bilgisayar tarafından matematiksel denklem sistemleri aracılığıyla çözümlenmekte; her bir düğüm noktasındaki yer değiştirme değerleri ile eleman düzeyindeki gerinim dağılımları hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda modelin yükleme altındaki genel deformasyon paterni belirlenmekte, sistemde oluşan gerilme, gerinim ve yer değiştirme dağılımları üç boyutlu olarak görselleştirilmektedir. Özellikle yüksek gerilme yoğunluğu gösteren bölgeler bu aşamada tespit edilerek biyomekanik açıdan kritik alanlar ortaya konmaktadır. Analiz bulguları hem sayısal veriler şeklinde değerlendirilmekte hem de renk skalaları aracılığıyla görsel olarak sunulmaktadır; bu çözüm aşaması, modelin doğruluğunu test etmek ve sonuçları biyomekanik açıdan yorumlamak bakımından büyük önem taşımaktadır (229).

2.13.2.7. Analiz Bulgularının Değerlendirilmesi

Bu aşama, analiz sürecinde elde edilen verilerin değerlendirilmesini kapsar. Model üzerinde tanımlanan sınır koşulları ve uygulanan kuvvetlerin etkisiyle oluşan gerilme, gerinim ve yer değiştirme verileri bilgisayar tarafından çözümlenerek üç boyutlu olarak görselleştirilir. Sonuçlar genellikle resimler, tablolar ve grafiksel çıktılar şeklinde sunulur (229).

2.13.3. Sonlu Elemanlar Analizi Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

SEA'nın avantajları (243, 244)

- 1- Gerilme, gerinim ve yer değiştirme değerlerinin yüksek doğruluk düzeyinde hesaplanmasına olanak sağlaması.
- 2- Karmaşık anatomik ve mekanik yapıların gerçeğe yakın üç boyutlu modellerle temsil edilebilmesi.
- 3- Klinik uygulaması mümkün olmayan ya da etik açıdan sınırlı senaryoların güvenli biçimde simüle edilebilmesi.
- 4- Malzeme özellikleri, kuvvet büyüklükleri ve yükleme koşullarının esnek şekilde değiştirilebilmesine imkân tanınması.
- 5- Girişimsel olmayan (non-invaziv), tekrarlanabilir ve kontrol edilebilir bir sayısal yöntem olması.

- 6- Düzensiz geometrilere ve farklı materyal özelliklerine sahip karmaşık yapılarda güvenilir analizlerin gerçekleştirilebilmesi.
- 7- Modelleme aşamasında sınır koşullarının görece kolay tanımlanıp uygulanabilmesi.

SEA'nın dezavantajları (243, 244)

- 1- Modelleme sürecinde yapılan varsayımlar ve belirlenen sınır koşullarına yüksek düzeyde bağımlı olması.
- 2- Gerçek biyolojik dokuların anizotropik ve viskoelastik özelliklerinin tam olarak temsil edilememesi.
- 3- Araştırmacıya bağlı parametre tanımlamaları nedeniyle sonuçlarda değişkenlik ortaya çıkabilmesi.
- 4- Kullanıcı hatalarına ve veri girişindeki küçük farklılıklara karşı duyarlı olması.
- 5- Yüksek donanım kapasitesi, işlem gücü ve uzun hesaplama süreleri gerektirmesi.
- 6- Lisanslı, maliyetli ve teknik uzmanlık gerektiren yazılımlara bağımlı olması.
- 7- Dinamik yükleme koşulları, zamana bağlı kuvvet değişimleri ve karmaşık hareket modellerinin analizinde teknik güçlükler içermesi.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmamız için İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan 27 Mart 2025 tarih ve 2025/3908 karar numarası ile etik onayı alınmıştır.

Sonlu elemanlar analizi kapsamında üç boyutlu ağ yapısının optimize edilmesi, model geometrisinin düzenlenerek homojen hâle getirilmesi, üç boyutlu katı modelin oluşturulması ve analiz sürecinin yürütülmesi amacıyla Ansys Workbench ve SpaceClaim yazılımları (ANSYS Inc., Houston, PA, ABD) kullanılmıştır. Tüm modelleme ve analiz süreçleri, 5.2 GHz işlemci hızına sahip, 32 çekirdekli ve 64 GB RAM kapasiteli bir yüksek performanslı iş istasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.1. Geometrik Modellerin Oluşturulması

3.1.1. Kraniyofasiyal Sistemin Modellenmesi

Sonlu elemanlar analizinin uygulanabilmesi için, kraniyofasiyal kompleksin yapısal bileşenleri ile birlikte dişler ve periodontal ligamentin (PDL) üç boyutlu geometrik olarak modellenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada kullanılan genç yetişkin bir erkek bireye ait kafatası modeli, Tokyo Üniversitesi tarafından yürütülen BodyParts 3D projesi kapsamında açık erişimli ve ücretsiz olarak STL formatında temin edilmiştir.

Ansys Workbench 24.R2 yazılımı (ANSYS Inc., Houston, PA, ABD) kullanılarak, ortak bir koordinat sistemi üzerinde kraniyofasiyal ve maksillofasiyal bölgeyi oluşturan kemik yapılar (frontal, parietal, sfenoid, etmoid, nazal, lakrimal, zigomatik, oksipital kemikler ve maksilla) birleştirilmiş; böylece kafatasının bütüncül kemik morfolojisini temsil eden tek bir üç boyutlu model oluşturulmuştur. PDL, ilgili dişlerin morfolojik konturları referans alınarak “offset” komutu ile 0.2 mm kalınlığında modellenmiştir. Maksilla, dişler ve periodontal ligament bileşenleri ise genel model içerisinde ayrı yapılar olarak tanımlanmış ve analiz sürecine bağımsız bileşenler şeklinde entegre edilmiştir.

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Apareylerin ve Çalışma Modellerinin Oluşturulması

Asimetrik genişletmenin değerlendirildiği yedi farklı modelde, genişletme gereksinimi bulunan taraf sol maksilla (U-RME), genişletme gereksinimi olmayan taraf ise sağ maksilla (RME) olarak tanımlanmıştır. Çalışmada oluşturulan yedi senaryodan

üçünde (Model I, II ve III), genişletme gereksinimi bulunan sol tarafta lateral ve median cerrahi kesi uygulanmış; pterigomaksiller bileşkeye yönelik herhangi bir osteotomi gerçekleştirilmemiştir. Genişletme gereksinimi bulunmayan sağ maksiller tarafta ise tüm modellerde herhangi bir cerrahi işlem uygulanmamıştır.

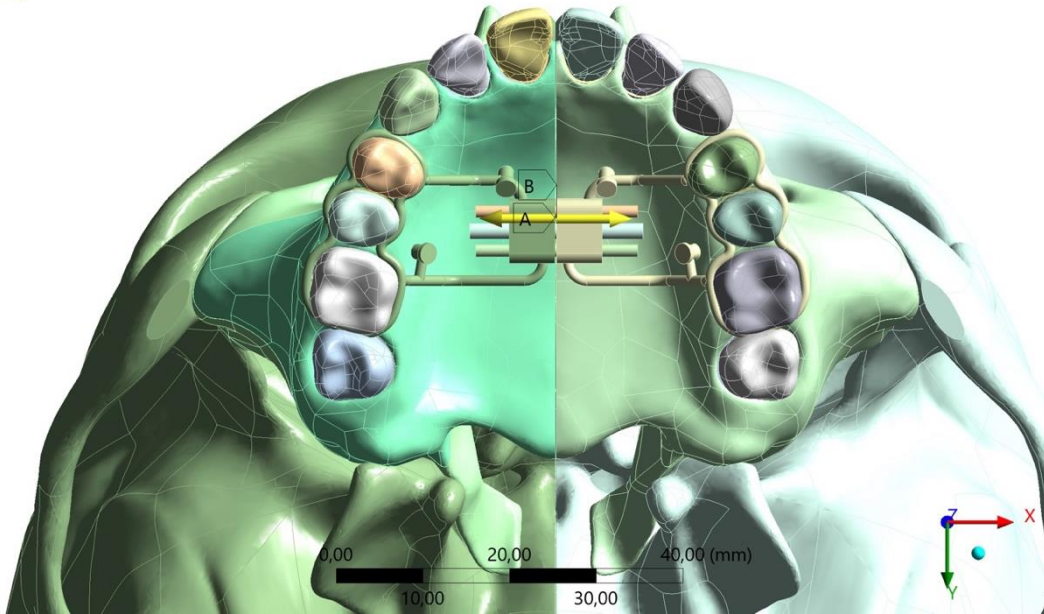
Modeller arası karşılaştırılabilirliğin sağlanması amacıyla, tüm modellerde aynı özelliklere sahip ankraj mini vidaları kullanılmış ve bu mini vidalar 2 mm çapında ve 12 mm uzunluğunda olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Tüm modellerde dijital genişletme apareyi, birinci premolar, ikinci premolar ve birinci molar dişlerden destek alacak şekilde tasarlanmıştır. Farklı sayıda, konumda ve açıda yerleştirilen mini vidalar genel sonlu elemanlar modeline dâhil edilmiştir.

Çalışmamızda Model I ve IV'te mini vidalar her iki tarafta anterior ve posterior bölgelerde simetrik olarak konumlandırılmış; anterior mini vidalar 3. palatal ruga seviyesinde, midpalatal suturun yaklaşık 3 mm distalinde, posterior mini vidalar ise ikinci premolar ile birinci molar diş kökleri arasındaki bölgede, mine-sement sınırından yaklaşık 6 mm apikalde kortikal kemiğe dik açı ile yerleştirilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.4). Model I'de ek olarak tek taraflı lateral ve median osteotomi uygulanmıştır. Model II ve V'te genişletme gereksinimi bulunan tarafta yalnızca anterior bölgede tek bir mini vida kullanılırken; karşı tarafta mini vidalar anterior ve posterior bölgede aynı anatomik noktalara yerleştirilmiştir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.5). Model II'de ek olarak tek taraflı lateral ve median osteotomi uygulanmıştır. Model III ve VI'da genişletme gereksinimi bulunan sol tarafta mini vida kullanılmamış, sağ tarafta ise iki mini vida yerleştirilmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.6). Model III'te ek olarak tek taraflı lateral ve median osteotomi uygulanmıştır. Model VII'de ise her iki tarafta mini vida yerleşimi uygulanmış; genişletme gereksinimi bulunmayan tarafta anterior mini vida 3. ruga seviyesinde midpalatal suturun 3 mm distalinde, posterior mini vida ise ikinci premolar–birinci molar hizasında midpalatal suturun 3 mm distalinde ve midpalatal sutura koronal düzlemde 90° açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Genişletme gereksinimi bulunan tarafta ise anterior mini vida 3. palatal ruga seviyesinde, midpalatal suturun yaklaşık 3 mm distalinde, posterior mini vida ise ikinci premolar ile birinci molar diş kökleri arasındaki bölgede, mine-sement sınırından yaklaşık 6 mm apikalde kortikal kemiğe dik açı ile yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).

Tablo 3.1. Modellerin karşılaştırmalı gösterimi

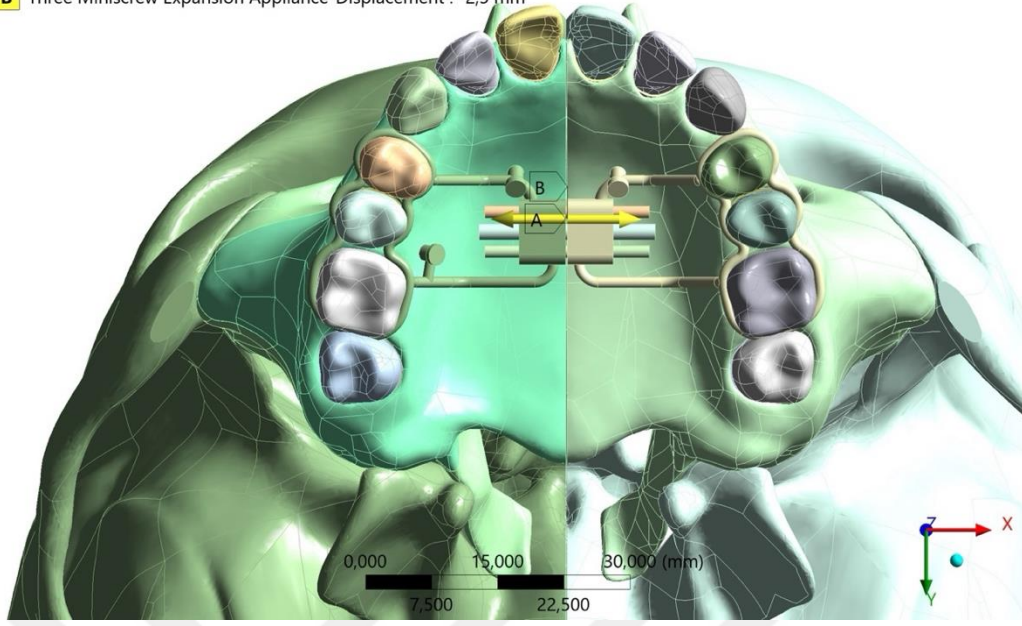
Model	Mini Vida Sayısı	Tek Taraflı Median Lateral Osteotomi
Model I	Dört vidalı	+
Model II	Üç vidalı	+
Model III	İki vidalı	+
Model IV	Dört vidalı	-
Model V	Üç vidalı	-
Model VI	İki vidalı	-
Model VII	Dört vidalı	-

- A** Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm
B Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm



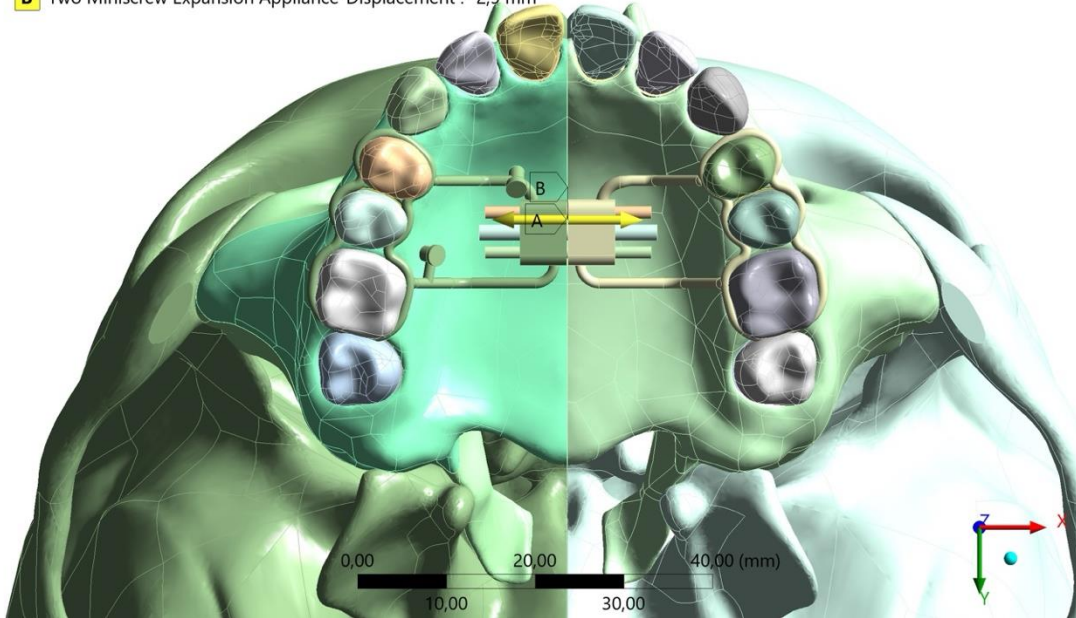
Şekil 3.1. Model-I; Simetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.

- A** Three Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm
B Three Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm



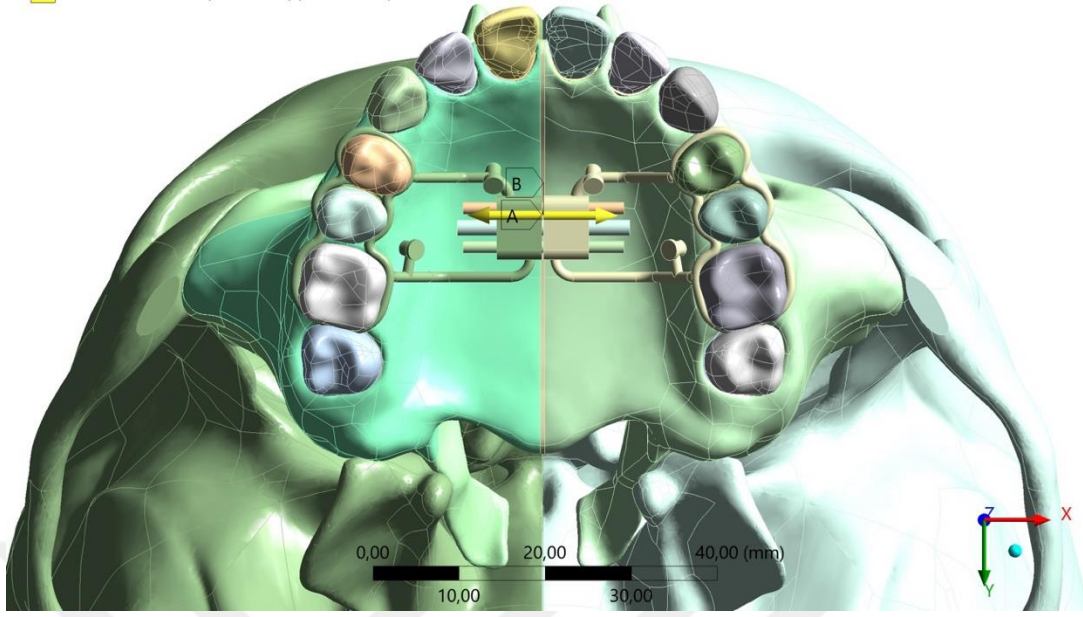
Şekil 3.2. Model-II; Üç mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.

- A** Two Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm
B Two Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm



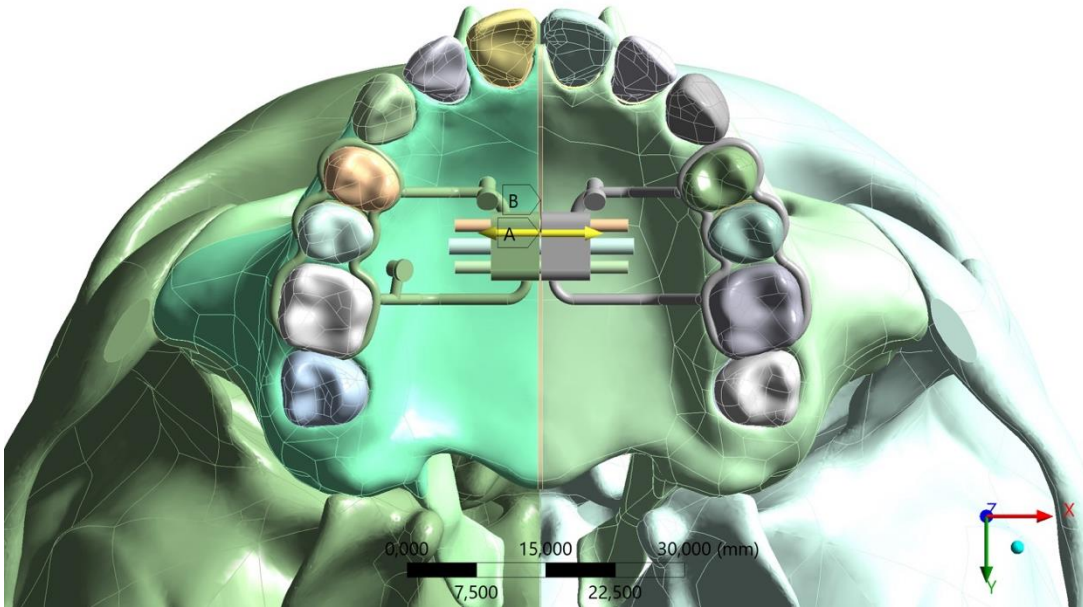
Şekil 3.3. Model-III; İki mini vidalı hibrit aparey modeli. Sol maksillada median ve lateral cerrahi kesi yapıldı.

- A** Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm
B Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm



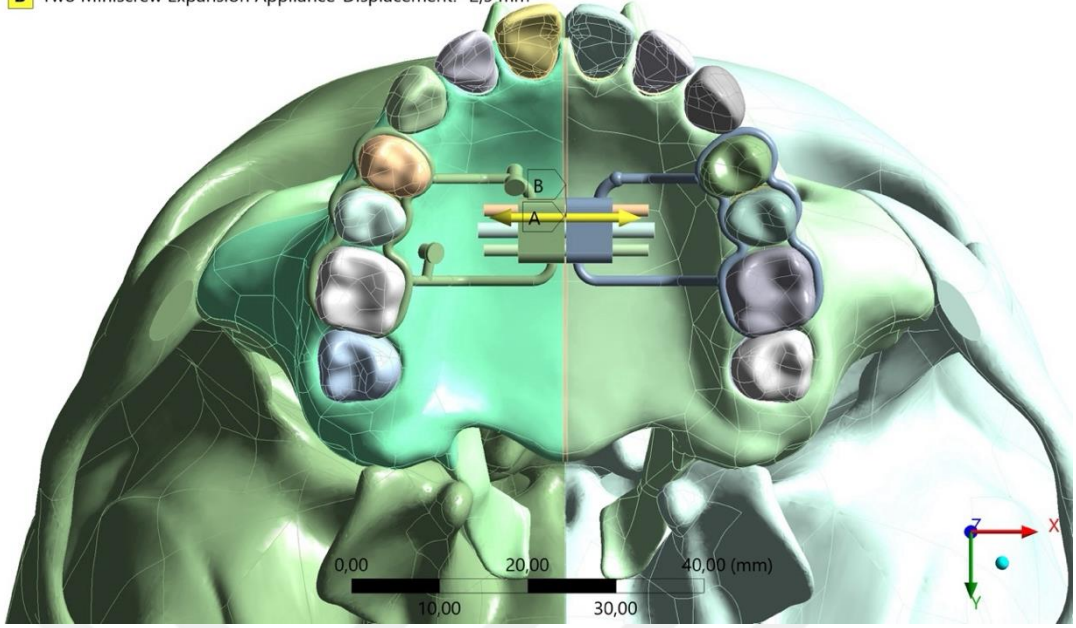
Şekil 3.4. Model-IV; Simetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.

- A** Three Miniscrew Expansion Appliance-Displacement: -2,5 mm
B Three Miniscrew Expansion Appliance-Displacement : -2,5 mm



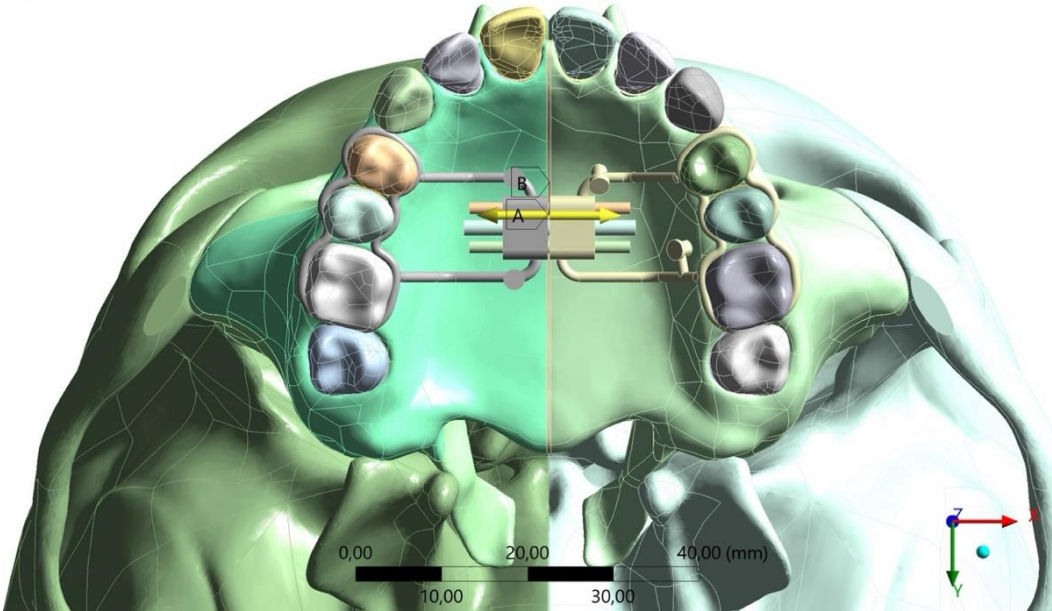
Şekil 3.5. Model-V; Üç mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.

- A** Two Miniscrew Expansion Appliance-Displacement: -2,5 mm
B Two Miniscrew Expansion Appliance-Displacement: -2,5 mm



Şekil 3.6. Model-VI; İki mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.

- A** Midpalatal Suture Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement: -2,5 mm
B Four Miniscrew Expansion Appliance-Displacement: -2,5 mm



Şekil 3.7. Model-VII; Asimetrik konumlandırılmış dört mini vidalı hibrit aparey modeli. Maksillada herhangi bir cerrahi kesi yapılmadı.

3.1.3. Malzeme Özelliği

Kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapıyı oluşturan kortikal ve süngerimsi kemik, PDL ve midpalatal sutur anizotropik malzeme davranışı gösteren yapılar olarak kabul

edilmiştir. Buna karşılık, dişler ve genişletme apareyi homojen ve izotropik malzeme modeli ile tanımlanmıştır. Maksilla, midpalatal sutur ve PDL'nin mekanik davranışının daha gerçekçi biçimde temsil edilebilmesi ve analiz sonuçlarının doğruluğunun artırılabilmesi amacıyla, bu yapılara doğrusal olmayan (nonlinear) malzeme özellikleri atanmıştır. PDL'nin modellenmesinde hiperelastik malzeme yaklaşımı benimsenmiş ve üçüncü dereceden Ogden modeli kullanılmıştır. Anatomik yapıyı oluşturan her bir bileşene ait malzeme özellikleri Tablo 3.2'de sunulmuştur (245, 246).

Tablo 3.2. Sonlu eleman modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özelliği	Elastik Modülü	Poisson Oranı	Kayma Modülü
Kortikal Üst Çene Kemiği	Ex:12000	Vxy: 0.18	Gxy: 3600
	Ey: 11640	Vyz: 0.40	Gyz: 5400
	Ez: 15600	Vxz: 0.30	Gxz: 4100
Kortikal Kafatası Kemiği	Ex: 12580	Vxy: 0.48	Gxy: 4400
	Ey: 13600	Vyz: 0.24	Gyz: 6700
	Ez: 21200	Vxz: 0.32	Gxz: 4900
Süngerimsi Kemik	Ex:1448	Vxy: 0.32	Gxy: 434
	Ey: 1448	Vyz: 0.05	Gyz: 68
	Ez: 210	Vxz: 0.05	Gxz: 68
Periodontal Ligament	μ_1 : - 3420.83	μ_2 : 1434.35	μ_3 : - 5.56E-04
	α_1 : - 0.506	α_2 : - 0.134	α_3 : 13.708
	D ₁ : 0 MPa ⁻¹	D ₂ : 0 MPa ⁻¹	D ₃ : 0 MPa ⁻¹
Diş	19890	0.31	
Midpalatal Sutur	0.69	0.30	
Genişletme Aygıtı (Paslanmaz çelik)	193000	0.35	

MPa: Megapaskal

Ex, Ey, Ez: Üç yönde elastik modülü

Vxz, Vyz, Vxy: Üç yönde poisson oranı

Gxy, Gyz, Gxz: Üç yönde kayma modülü

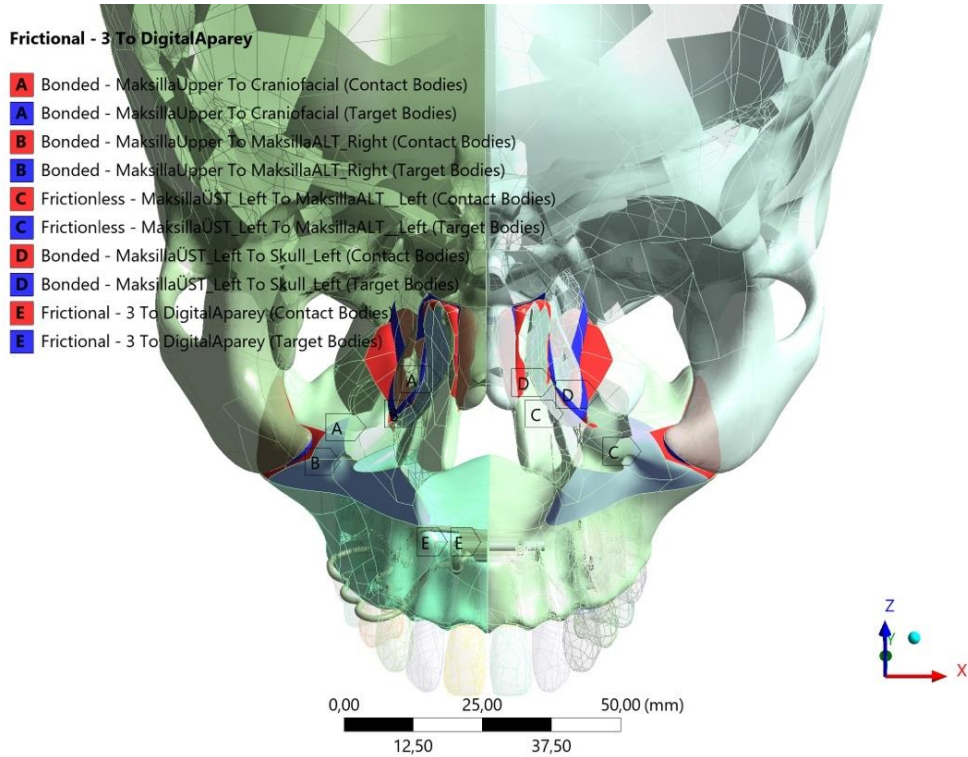
μ , α , D: Malzeme parametresi

3.1.4. Sınır Şartları

Çalışmada kullanılan koordinat sistemi üç ana eksen üzerinden tanımlanmıştır: x eksenini ön–arka (anteroposterior) yönü, y eksenini dikey (superoinferior) yönü ve z eksenini ise enine (transversal) yönü temsil etmektedir. Farklı yükleme koşulları altında oluşan deformasyonların daha net analiz edilebilmesi amacıyla, gerilme dağılımları çeşitli renk skalaları kullanılarak görselleştirilmiştir. Modelde ortaya çıkan yer değiştirmeler milimetre (mm) cinsinden, deformasyonu gösteren Von Mises gerilme değerleri megapascal (MPa) birimiyle gösterilmiştir. Dinamik analizde, yer değiştirme ve Von Mises gerilme dağılımlarının doğru biçimde incelenebilmesi için geometrik doğrusal olmayan yaklaşım, doğrusal olmayan temas tanımlamaları ve doğrusal olmayan malzeme özellikleri modele entegre edilmiştir.

Tüm senaryo modellerinde elde edilen yer değiştirme ve gerilme verileri, her modelde aynı eleman üzerine yerleştirilen bir prob yardımıyla kaydedilmiştir. Analizler ANSYS (ANSYS Inc., Houston, PA, ABD) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde foramen magnum bölgesi referans noktası olarak kabul edilmiş ve bu bölge tüm serbestlik derecelerinde sabitlenmiştir. Yer değiştirme kuvveti, mini vidalar aracılığıyla maksillaya iletilmiş; genişletme vidası tüm modellerde 0,25 mm olacak şekilde aktive edilmiştir. Toplam 5 mm'lik aktivasyon sonucunda z eksenı boyunca 2,5 mm'lik transversal yer değiştirme elde edilmiş; ölçümler toplam 5 mm'lik aktivasyon tamamlandıktan sonra kaydedilmiştir.

Cerrahi kesi uygulanan modellerde, birbirinden ayrılan maksiller segmentler arasında sürtünmesiz temas tanımlanmıştır. Buna karşılık, maksilla ile dişler, dişler ile periodontal ligament, maksilla ile genişletme apareyine ankraj sağlayan mini vidalar ve dişler ile diş destekli aparey kolu arasındaki temaslar bağlantılı (bonded) olarak modellenmiştir. Bağlantılı temas tanımlanan anatomik yapılar tek bir bütün gibi davranmakta olup, temas yüzeyleri arasında relatif kayma veya ayrılmaya izin verilmemektedir. Bu varsayım doğrultusunda, temas eden yüzeyler tüm yükleme koşulları altında birlikte hareket edecek şekilde sınırlandırılmıştır.



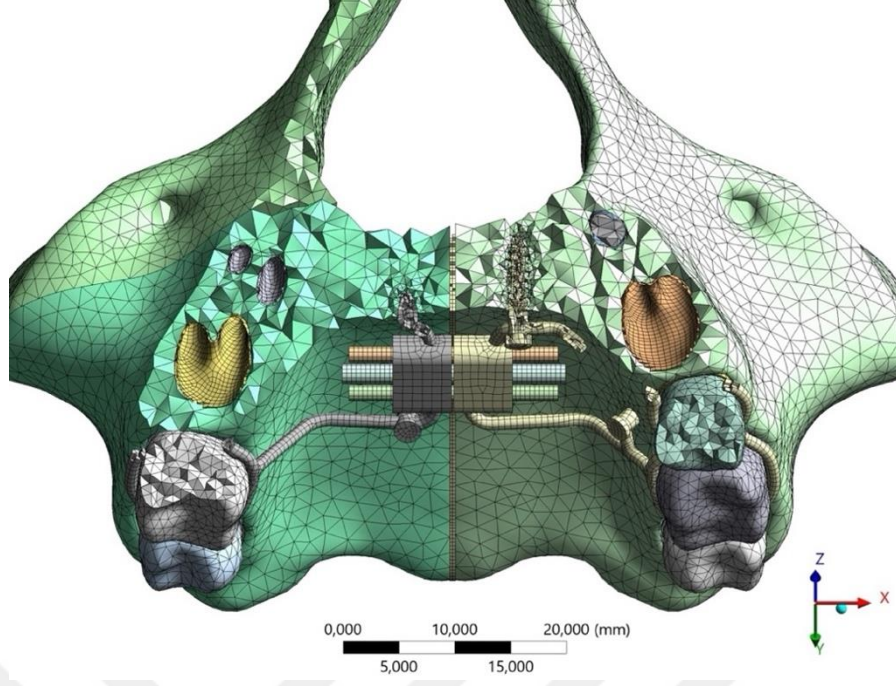
Şekil 3.8. Modele uygulanan sınır koşulları ve üst çene ile tanımlanan temas türleri.

3.1.5. Sonlu Eleman Modeli

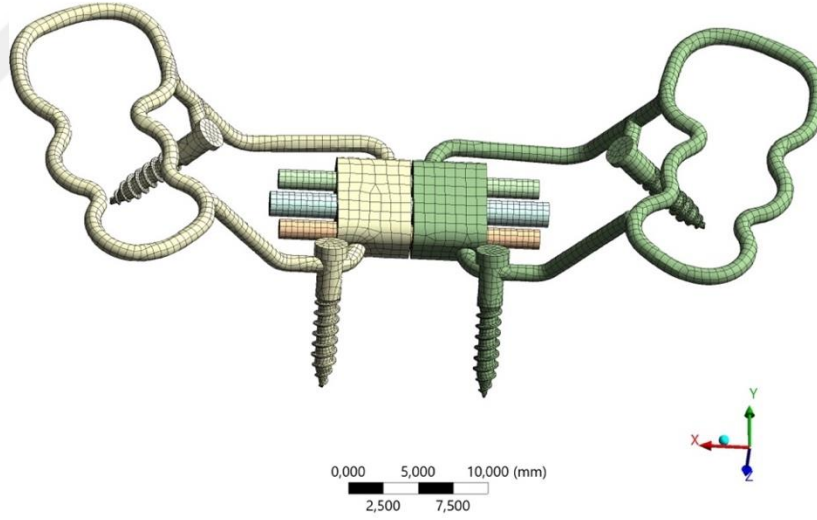
Tüm model, yaklaşık 2.270.360 düğüm noktası ve 1.334.840 elemandan oluşacak şekilde oluşturulmuştur. Kraniyofasiyal yapıları oluşturan kemik yapılarda ortalama eleman boyutu 2 mm olarak belirlenirken, bu değer maksillada 1,6 mm, periodontal ligamentte ise 1 mm olarak tanımlanmıştır. Genişletme gereksinimi bulunan ve bulunmayan tarafta, diş destekli apareyin uygulandığı 6, 5 ve 4 numaralı dişlerde eleman boyutu 1 mm olarak seçilmiş, diğer dişlerde ise 1,4 mm kullanılmıştır. Bu bölgelerde 10 düğümlü ve dört üçgen yüzlü (quadratic tetrahedral) elemanlar tercih edilmiştir. Genişletme apareyi ve mini vidalarda 0,6 mm, midpalatal suturda 0,4 mm ve diş destekli apareyin uygulandığı 6, 5 ve 4 numaralı dişlere ait periodontal ligamentte 0,5 mm eleman boyutu kullanılmıştır. Bu yapılarda ise daha yüksek hassasiyet sağlanabilmesi amacıyla 20 düğümlü altıgen (quadratic hexahedral) elemanlar tercih edilmiştir. Böylece, farklı anatomik bölgelerde gereksinime uygun ağ yoğunluğu oluşturularak analiz doğruluğunun artırılması hedeflenmiştir (Şekil 4).

Yedi farklı senaryo modelinde eleman sayısı, düğüm noktası ve ağ boyutu değerleri birbirine oldukça yakın olup, modeller arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Tüm modeller için ortalama ağ çarpıklığına dayalı eleman kalite yakınsama değeri 0,29 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.3). Modeli oluşturan tüm bileşenlere ait eleman sayısı, düğüm noktası sayısı, ağ boyutu değerleri ve eleman kalite yakınsama aralıkları Tablo II’de ayrıntılı olarak sunulmuştur (245).

Ağ yakınsama işlemi; maksilla ile sfenoid kemiğin temas eden yüzeylerinde, ankraj alınan dişlerde, periodontal ligamentte ve mini vidaların yiv yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Eleman ağ boyutu, sfenoid kemiğin temas yüzeyinde 1,5 mm; ankraj alınan dişlerde 1 mm; periodontal ligamentte ise 0,5 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca, genişletme apareyine ait mini vidaların ince yiv yapılarında ve bu vidaların maksilla kemiği ile temas ettiği yiv yüzeylerinde daha hassas sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla eleman boyutu 0,1 mm olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. İskeletsel ve dental yapıların 10 düğümlü, dört üçgen yüzü (quadratik tetrahedral) ağ eleman tipine ayrılmış modelin frontal görünümü.



Şekil 3.10. Genişletme apareyi ve mini vidaların 20 düğümlü, altıgen (quadratic hexahedral) tipte ağ elemanlarına ayrılmış modelin frontal görünümü.

Tablo 3.3. Sonlu eleman modeline ait eleman ve düğüm sayısı, ağ boyutu, eleman tipi ve ortalama çarpıklık eleman kalitesi yakınsama değerleri.

	Ortalama çarpıklık değeri	Düğüm sayısı	Eleman sayısı	Mesh boyutu (mm)	Mesh Element Tipi
Kafatası	0.23	1344605	750789	2	Tetrahedral
Maksilla	0.3	177357	113383	1.6	Tetrahedral
Periodontal ligament	0.6	38693	19259	1	Tetrahedral
Periodontal ligament (1.Molar ve Premolar dişler)	0.6	94440	33191	0.5	Hexahedral
Diş	0.3	30872	17892	1.4	Tetrahedral
Diş (1.Molar ve Premolar dişler)	0.26	62560	39726	1	Tetrahedral
Midpalatal Suture	0.07	23208	4018	0.4	Hexahedral
Hibrit genişletme apareyi	0.5	100968	30785	0.6	Hexahedral

4. BULGULAR

Bu çalışmada, MARPE apareyinde farklı mini vida konumları ve sayıları ile cerrahi kesinin etkilerini değerlendirmek amacıyla toplam yedi farklı model tasarlanmıştır. Bu araştırmada kullanılan sonlu eleman yöntemi, farklı kuvvet uygulamalarının dişler, periodontal dokular ve iskeletsel yapılar üzerindeki etkilerini öngörmeye kullanılan analiz yöntemidir. Klinik koşullarda doğrudan değerlendirilmesi güç olan gerilme dağılımlarının üç boyutlu olarak modellenmesine olanak sağlaması, farklı ortodontik tedavilerin etkilerinin karşılaştırılmasına katkı sunmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen veriler, kuvvetin uygulanması sonrası ortaya çıkan Von Mises gerilme ve yer değiştirme dağılımlarını göstermektedir.

Analiz sonucunda dental ve iskeletsel yapılar üzerinde seçilen düğümlere ait transversal, sagittal ve vertikal yer değiştirme miktarları; dişlerde, iskeletsel yapılarda ve mini vidalarda meydana gelen Von Mises gerilme değerleri elde edilmiştir. Analiz ortamında üç boyutlu bir koordinat sistemi tanımlanmış olup Z eksenini transversal düzlemi, X eksenini sagittal düzlemi ve Y eksenini vertikal düzlemi göstermektedir. Meydana gelen yer değiştirmeler bu koordinat sistemi temel alınarak değerlendirilmiştir. X ekseninde pozitif değerler anterior, negatif değerler posterior yönlü hareketleri; Y ekseninde pozitif değerler superior, negatif değerler inferior yönlü hareketleri; Z ekseninde pozitif değerler sağ lateral, negatif değerler ise sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Yer değiştirmeler milimetre (mm) cinsinden hesaplanmıştır. Diş hareketlerinin değerlendirilmesinde, kesici diş bölgesinde insizal orta nokta; kanin ve premolar dişlerde bukkal tüberkül tepeleri; birinci ve ikinci molar dişlerde ise meziobukkal (MB) tüberkül tepeleri referans noktası olarak alınmıştır. Ankraj alınan dişlerde ise bukkal köklerin apeks noktaları ayrı bir referans olarak değerlendirilmiştir. Bu noktalarda meydana gelen yer değiştirme miktarları Tablo 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen Von Mises gerilme dağılımları, renk skalaları kullanılarak görselleştirilmiştir. Her bir renk, belirli bir gerilme veya yer değiştirme aralığını temsil etmekte olup, bu değerlere ait sayısal karşılıklar şekillerin sol kısmında gösterilmiştir. Çalışmada Von Mises gerilmeleri megapaskal (MPa) birimi ile gösterilmiştir. İskeletsel ve dental yapılar ile mini vidalara ait ortalama Von Mises gerilme dağılımları ilgili Tablo 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.

Tablo 4.1. Model I ve Model II'de 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)

	Model-I						Model-II					
	U-RME			RME			U-RME			RME		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Anatomik yapı	-0.10	-0.16	-3.67	0.31	0.16	3	-0.11	-0.36	-3.5	0.30	0.088	2.85
Santral kesici	-0.39	0.062	-3.5	0.21	0.67	3	-0.38	-0.099	-3.4	0.21	0.54	2.83
Lateral kesici	-0.56	0.24	-3.27	0.10	0.96	2.85	-0.54	0.094	-3.17	0.14	0.82	2.73
Birinci premolarların tüberküllü	-0.65	0.35	-2.99	0.012	1.13	2.7	-0.61	0.23	-2.85	0.080	0.96	2.61
Birinci premoların apeksi	-	-	-2.35	-	-	1.37	-	-	-2.29	-	-	1.34
İkinci premoların tüberkül	-0.75	0.44	-2.68	-0.063	1.19	2.49	-0.65	0.34	-2.65	0.0058	1.07	2.43
İkinci premoların apeksi	-	-	-2.15	-	-	1.33	-	-	-2.09	-	-	1.36
Birinci moların tüberküllü	-0.80	0.48	-2.35	-0.15	1.18	2.27	-0.66	0.37	-2.4	-0.060	1.06	2.25
Birinci moların apeksi	-	-	-1.91	-	-	1.19	-	-	-1.84	-	-	1.13
İkinci molar	-0.92	0.56	-1.79	-0.24	1.07	1.78	-0.8	0.45	-1.73	-0.14	0.95	1.81
Anterior nazal spina	0.28	-0.22	-2.96	0.16	-0.20	1.66	0.39	-0.39	-2.86	0.19	-0.25	1.71
Posterior nazal spina	0.40	-0.12	-1.03	0.24	-0.35	1.0	0.48	-0.18	-1.0	0.27	-0.46	1.05
Frontomaksiller sutur	-0.43	0.62	-0.0046	-0.43	0.62	0.00358	-0.28	0.49	-0.00429	-0.28	0.48	0.00352
Zigomatikomaksiller sutur	-0.19	0.71	-0.108	-0.40	1.53	0.859	-0.057	0.60	-0.109	-0.30	1.45	0.84
Frontozigomatik sutur	-0.51	0.68	-0.0215	-0.74	1.01	0.0573	-0.36	0.56	-0.0266	-0.59	0.96	0.0984
Zigomatik ark	-0.27	0.36	-0.102	-0.64	0.60	0.751	-0.17	0.31	-0.0369	-0.51	0.55	0.783
Medial pterigoid plate	-0.32	0.47	-0.51	-0.20	0.53	0.72	-0.22	0.34	-0.47	-0.11	0.41	0.767
Lateral pterigoid plate	-0.34	0.50	-0.162	-0.26	0.63	0.148	-0.21	0.37	-0.221	-0.15	0.53	0.37

Tablo 4.2. Model III ve Model IV'te 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla Z, X ve Y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)

	Model-III						Model-IV					
	U-RME			RME			U-RME			RME		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Anatomik yapı												
Santral kesici	0.37	-0.49	-3.87	0.30	0.15	2.9	0.38	0.22	-3.61	0.31	0.13	3.62
Lateral kesici	-0.11	-0.22	-3.62	0.22	0.62	2.87	0.30	0.68	-3.64	0.22	0.64	3.64
Kanin	-0.30	-0.036	-3.3	0.15	0.93	2.78	0.20	1.02	-3.46	0.15	0.96	3.47
Birinci premoların tüberkülli	-0.50	0.11	-2.76	0.089	1.06	2.66	0.18	1.13	-3.34	0.068	1.12	3.34
Birinci premoların apeksi	-	-	-2.18	-	-	1.34	-	-	-1.61	-	-	1.58
İkinci premoların tüberkül	-0.55	0.24	-2.59	0.019	1.15	2.48	0.11	1.2	-3.11	-0.0067	1.17	3.09
İkinci premoların apeksi	-	-	-1.95	-	-	1.33	-	-	-1.59	-	-	1.59
Birinci moların tüberkülli	-0.49	0.30	-2.32	-0.047	1.17	2.29	0.079	1.15	-2.85	-0.084	1.19	2.84
Birinci moların apeksi	-	-	-1.63	-	-	1.16	-	-	-1.43	-	-	1.45
İkinci molar	-0.69	0.39	-1.43	-0.15	1.04	1.85	-0.19	1.03	-2.16	-0.19	1.04	2.25
Anterior nazal spina	0.82	-0.53	-2.96	0.15	-0.21	1.67	0.13	-0.091	-2.03	0.11	-0.14	2.01
Posterior nazal spina	0.91	-0.23	-0.587	0.22	-0.42	1.09	0.25	-0.33	-1.22	0.22	-0.35	1.27
Frontomaksiller sutur	-0.36	0.59	-0.00334	-0.36	0.59	0.00397	-0.45	0.64	-0.0102	-0.46	0.63	0.00168
Zigomatikomaksiller sutur	-0.11	0.62	-0.078	-0.30	1.57	0.878	-0.39	1.51	-1.08	-0.37	1.58	1.08
Frontozigomatik sutur	-0.42	0.60	-0.0118	-0.68	1.01	0.0571	-0.78	1.06	-0.129	-0.78	1.08	0.131
Zigomatik ark	-0.21	0.35	-0.0344	-0.54	0.70	0.737	-0.62	0.72	-0.906	-0.60	0.75	0.904
Medial pterigoid plak	-0.16	0.31	-0.177	-0.17	0.49	0.84	-0.21	0.48	-0.966	-0.22	0.52	0.975
Lateral pterigoid plak	-0.18	0.32	-0.0475	-0.20	0.55	0.398	-0.25	0.51	-0.358	-0.24	0.55	0.359

Tablo 4.3. Model V ve Model VI'da 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)

	Model-V						Model-VI					
	U-RME			RME			U-RME			RME		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Anatomik yapı												
Santral kesici	-0.18	-0.072	-1.92	0.28	0.26	1.65	-0.047	0.54	0.401	0.32	0.22	2.53
Lateral kesici	-0.0013	0.19	-2.51	0.49	0.62	2.23	0.26	0.66	0.106	0.41	0.63	2.86
Kanin	0.042	0.53	-2.86	0.59	0.88	2.56	0.41	0.71	-0.166	0.44	0.90	2.99
Birinci premoların tüberkülli	-0.059	0.69	-3.2	0.58	1.03	3.1	0.89	0.44	-3.26	0.42	1.06	3.22
Birinci premoların apeksi	-	-	-1.61	-	-	1.24	-	-	0.153	-	-	1.38
İkinci premoların tüberkül	-0.10	0.82	-3.06	0.60	1.11	2.95	0.95	0.74	-3.32	0.40	1.15	3.07
İkinci premoların apeksi	-	-	-1.44	-	-	1.31	-	-	0.231	-	-	1.43
Birinci moların tüberkülli	-0.16	0.87	-2.84	0.54	1.04	2.76	0.84	0.69	-3.1	0.36	1.14	2.88
Birinci moların apeksi	-	-	-1.15	-	-	1.12	-	-	0.449	-	-	1.25
İkinci molar	-0.36	0.77	-1.7	0.095	0.82	1.82	0.25	0.51	-0.477	0.057	0.93	2.02
Anterior nazal spina	-0.12	-0.12	-1.7	-0.11	0.063	1.01	-0.27	0.47	0.449	0.026	-0.032	1.48
Posterior nazal spina	0.35	-0.45	-0.602	0.41	0.55	0.822	0.027	-0.18	-0.12	0.37	-0.41	1.04
Frontomaksiller sutur	-0.36	0.49	-0.0104	-0.36	0.51	0.00352	-0.31	0.66	-0.00444	-0.32	0.65	0.00393
Zigomatikomaksiller sutur	-0.55	1.14	-1.03	-0.18	1.33	0.918	0.10	0.75	-0.0568	-0.16	1.48	1.0
Frontozigomatik sutur	-0.64	0.84	-0.107	-0.63	0.89	0.0922	-0.40	0.67	-0.00653	-0.61	0.98	0.108
Zigomatik ark	-0.51	0.54	-0.969	-0.46	0.53	0.718	0.082	0.39	0.1	-0.47	0.78	0.77
Medial pterigoid plak	-0.25	0.41	-0.647	-0.083	0.40	0.779	-0.00098	0.28	-0.24	-0.061	0.44	0.855
Lateral pterigoid plak	-0.26	0.43	-0.182	-0.11	0.46	0.209	0.0464	0.31	-0.108	-0.093	0.57	0.23

Tablo 4.4. Model VII’de 5 mm aktivasyon sonrasında transversal, sagittal ve vertikal düzlemlerde (sırasıyla z, x ve y yönlerinde) meydana gelen yer değiştirme miktarları (mm)

Model-VII						
Anatomik yapı	U-RME			RME		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Santral kesici	0.43	0.34	-3.82	0.49	0.50	3.43
Lateral kesici	0.357	0.84	-3.86	0.48	1.03	3.47
Kanin	0.289	1.19	-3.66	0.43	1.3	3.28
Birinci premolar	0.142	1.18	-3.41	0.207	1.28	3.21
Birinci premolar	-	-	-1.54	-	-	1.46
İkinci premolar	0.1	1.33	-3.22	0.13	1.41	3.07
İkinci premolar	-	-	-1.56	-	-	1.49
Birinci molar	0.11	1.28	-2.96	0.104	1.42	2.8
Birinci molar	-	-	-1.34	-	-	1.40
İkinci molar	-0.151	1.19	-2.15	-0.0082	1.21	2.15
Anterior nazal spina	0.105	-0.073	-2.0	-0.020	0.10	1.62
Posterior nazal spina	0.24	-0.17	-1.21	0.144	0.11	1.33
Frontomaksiller sutur	-0.54	0.88	-0.0126	-0.53	0.89	0.00727
Zigomatikomaksiller sutur	-0.36	1.8	-0.909	-0.27	1.75	1.02
Frontozigomatik sutur	-0.86	1.21	-0.102	-0.86	1.24	0.125
Zigomatik ark	-0.62	0.92	-0.822	-0.59	0.88	0.753
Medial pterigoid plak	-0.25	0.59	-0.93	-0.23	0.63	1.01
Lateral pterigoid plak	-0.256	0.81	-0.23	-0.26	0.73	0.32

Tablo 4.5. Model I-IV’te 5 mm aktivasyon sonrasında oluşan ortalama Von Mises gerilme dağılımı (MPa)

Anatomik yapılar	Von Mises Gerilmesi (MPa)							
	Model-I		Model-II		Model-III		Model-IV	
	U-RME	RME	U-RME	RME	U-RME	RME	U-RME	RME
Frontomaksiller sutur	24.2	55.4	33.1	66.7	28.7	72	59.1	60.1
Zigomatikomaksiller sutur	50	244	27.1	260	33.3	225	236	242
Frontozigomatik sutur	18.6	209	15.9	232	3.33	211	194	196
Zigomatik ark	6.01	200	7.03	219	0.18	192	156	178
Frontonazal sutur	82.4	147	95	135	64.7	139	168	169
Medial pterigoid plak	161	51.2	169	45.2	111	52.4	45.5	46.4
Lateral pterigoid plak	107	157	110	152	53.3	149	111	115
Birinci premolar	80	108	61	111	121	136	134	139
İkinci premolar	102	101	102	137	172	173	137	145
Birinci molar	186	141	199	186	213	209	236	169
Anterior mini vida	170	219	504	329	-	220	209	221
Posterior mini vida	182	420	-	419	-	377	318	332

Tablo 4.6. Model V-VII’de 5 mm aktivasyon sonrasında oluşan ortalama Von Mises gerilme dağılımı

Von Mises Gerilmesi (MPa)						
Anatomik yapı	Model-V		Model-VI		Model-VII	
	U-RME	RME	U-RME	RME	U-RME	RME
Frontomaksiller sutur	58.4	50.7	16.2	39.5	155	140
Zigomatikomaksiller sutur	209	165	39.1	194	237	206
Frontozigomatik sutur	121	140	13.3	132	101	131
Zigomatik ark	149	132	29.5	112	122	111
Frontonazal sutur	203	156	72.6	123	75.1	60
Medial pterigoid plak	147	39.7	27.9	54.2	50.7	60.3
Lateral pterigoid plak	158	78.2	19.9	117	148	140
Birinci premolar	114	144	659	159	84	132
İkinci premolar	124	167	384	171	160	147
Birinci molar	287	214	609	215	218	225
Anterior mini vida	804	603	-	291	228	795
Posterior mini vida	-	706	-	587	343	829

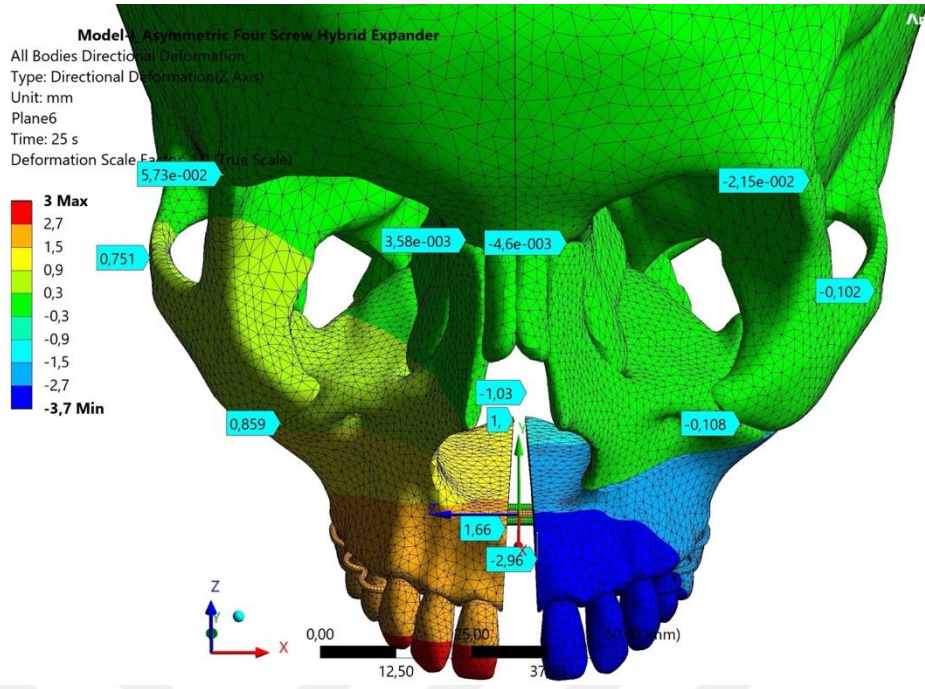
4.1. Model I’de Meydana Gelen Bulgular

Cerrahi destekli dört mini vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm’lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.1’de; 5 mm’lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.5’te verilmiştir.

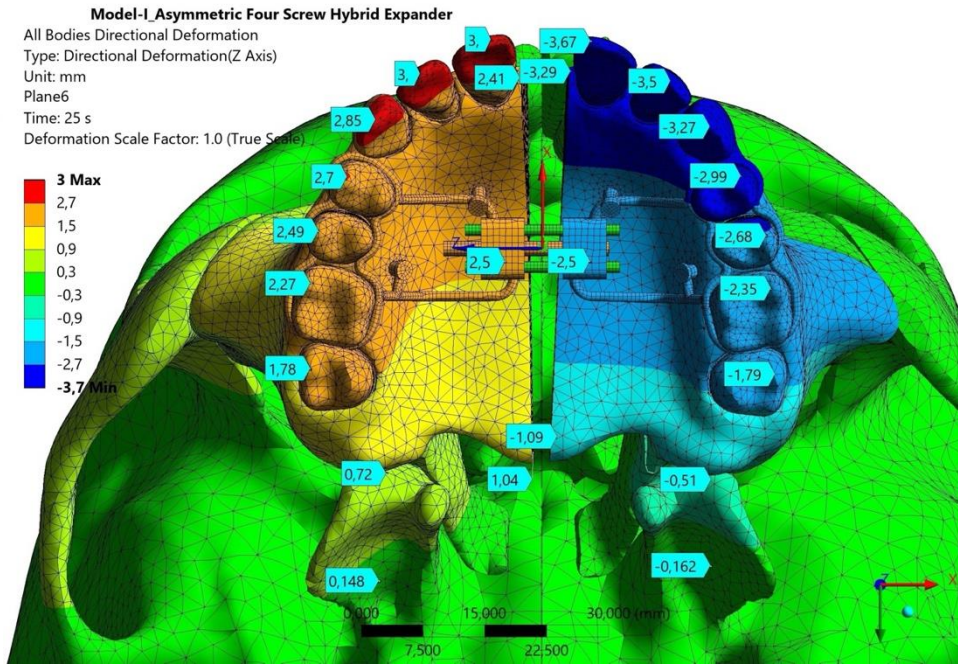
4.1.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.1.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları

Model I’e ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.1’de, Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Model I, transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.2. Model I, transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda birinci modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirme santral kesici dişlerde görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan taraftaki santral kesici dişte meydana gelen lateral yöndeki yer değiştirme miktarının (-3.67 mm), genişletme

gereksinimi olmayan taraftaki santral kesici dişe (3 mm) göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Şekil 4.2).

Çalışmamızda birinci modelde dental yapılarda lateral yönde meydana gelen yer değiştirmelerin anteriordan posteriora gittikçe azaldığı ve en az yer değiştirmenin ikinci molar dişlerde olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).

Çalışmamızda birinci modelde ankraj alınan dental yapılarda, genişletme gereksinimi olan tarafta tüberkül tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-2.99 mm), ikinci premolar dişte (-2.68 mm) ve birinci molar dişte (-2.35 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeksinden ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-2.35 mm), ikinci premolar dişte (-2.15 mm) ve birinci molar dişte (-1.91 mm) olarak görülmüştür. Bu değerler, Tablo 4.1’de gösterilen genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla, ankraj alınan dişlerde daha az tipping hareketi ile daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda birinci modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-1.03 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (-2.96 mm) ölçülen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde, PNS noktasında (1.0 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (1.66 mm) ölçülen değere göre daha az bulunmuştur. Bu bulgulara göre, her iki maksiller yarımında ANS noktasında PNS noktasına kıyasla daha fazla lateral yönde yer değiştirme gözlemlendiği; ayrıca genişletme gereksinimi olan taraftaki ANS noktasında lateral yer değiştirme miktarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çalışmamızda birinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla medial pterigoid plakta (-0.51 mm), lateral pterigoid plakta (-0.162 mm), zigomatikomaksiller suturda (-0.108 mm), zigomatik arkta (-0.102 mm), frontozigomatik suturda (-0.0215 mm) ve frontomaksiller suturda (-0.0046 mm) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Çalışmamızda birinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller suturda (0.859 mm), zigomatik arkta (0.751 mm), medial pterigoid plakta (0.72 mm), lateral pterigoid plakta (0.148 mm), frontozigomatik suturda (0.0573 mm) ve frontomaksiller suturda (0.00358 mm) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

4.1.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları

Çalışmamızda birinci modelde X eksenindeki yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde, cerrahi kesi uygulanan tarafta iskeletsel ve dental yapılarda posterior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda birinci modelde dental yapıların yer değiştirme bulgularına göre, en fazla posterior yönde hareketin genişletme gereksinimi olan taraftaki ikinci molar dişte (-0.92 mm) olduğu gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci moları sırasıyla birinci molar (-0.80 mm), ikinci premolar (-0.75 mm), birinci premolar (-0.65 mm), kanin (-0.56 mm), lateral kesici (-0.39 mm) ve santral kesici (-0.10 mm) dişin izlediği belirlenmiştir. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta ise en fazla anterior yönde yer değiştirme santral kesici dişte (0.31 mm) görülmüştür (Tablo 4.1).

Çalışmamızda birinci modelde, iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre genel olarak posterior yönde hareket görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (0.28 mm) ve PNS noktasında (0.40 mm), benzer şekilde genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (0.16 mm) ve PNS noktasında (0.24 mm) anterior yönde yer değiştirme gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

Çalışmamızda birinci modelde, iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.51 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise zigomatikomaksiller suturda (-0.19 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.74 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.20 mm) bulunmuştur (Tablo 4.1).

4.1.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarları

Çalışmamızda birinci modelde dental yapıların Y eksenindeki yer değiştirmeleri incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafın, cerrahi kesi yapılan tarafa göre daha fazla superior yönde yer değiştirme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. En fazla superior yönde yer değiştirme ise genişletme gereksinimi olmayan taraftaki ikinci premolar dişte (1.19 mm) görülmüştür (Tablo 4.1).

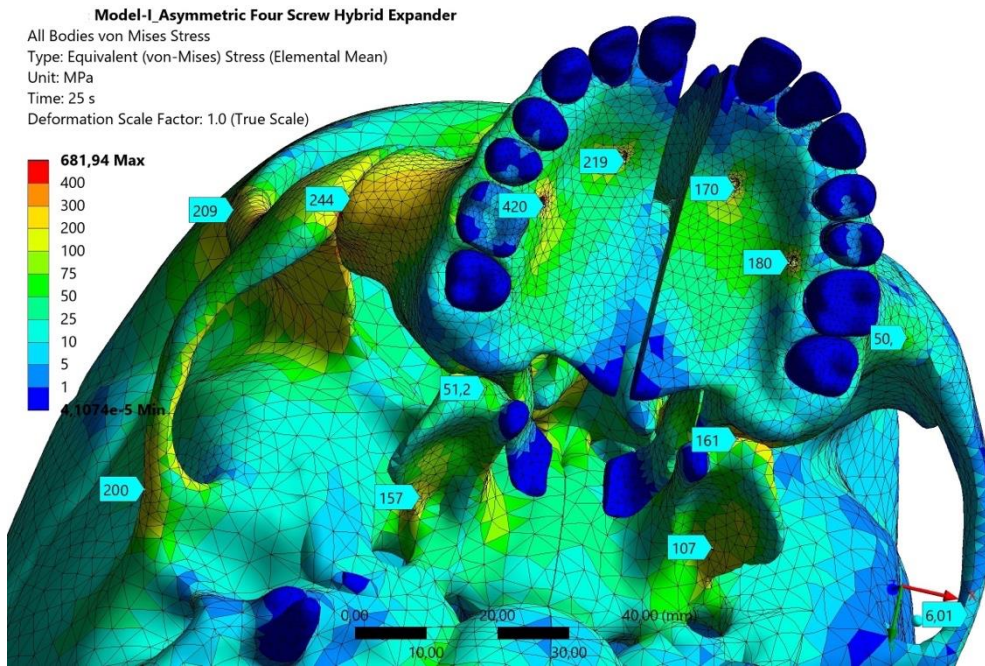
Çalışmamızda birinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde hareket görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (-0.22 mm) ve PNS noktasında (-0.12 mm);

benzer şekilde genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (-0.20 mm) ve PNS noktasında (-0.35 mm) inferior yönde yer değiştirme bulunmuştur (Tablo 4.1).

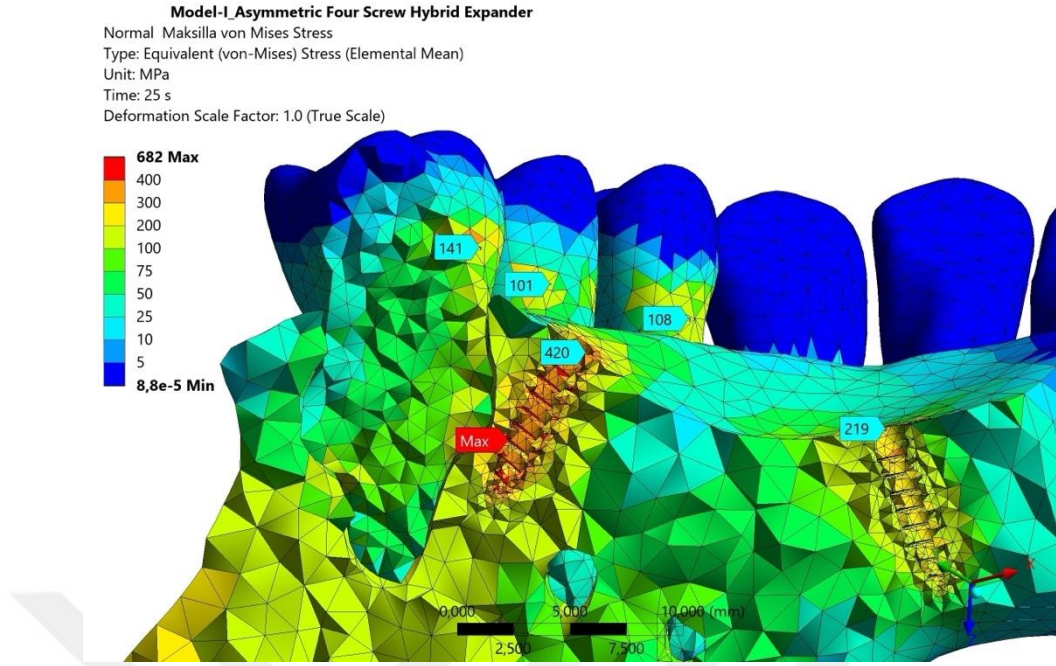
Çalışmamızda birinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (0.71 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise zigomatik arkta (0.36 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (1.53 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.53 mm) bulunmuştur (Tablo 4.1).

4.1.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

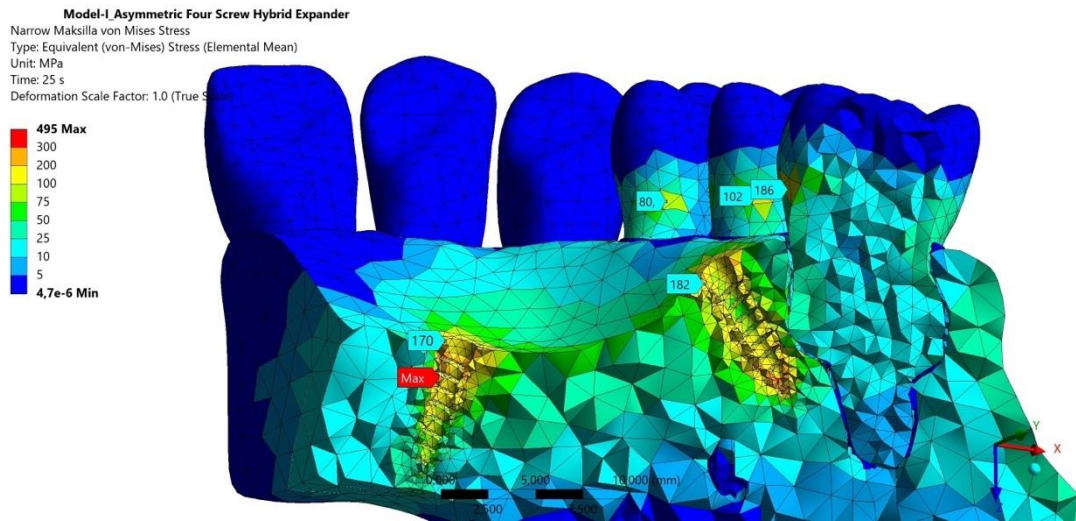
Model I'e ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.5'te, Şekil 4.3'te, Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Model-I; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.4. Model-I; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.5. Model-I; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda birinci modelde, ölçülen Von Mises gerilmeleri incelendiğinde cerrahi kesi yapılan taraftaki incelenen yapılarda Von Mises gerilme değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Tablo 4.5).

Çalışmamızda birinci modelde genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen en yüksek gerilmenin posterior mini vida (180

MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla anterior mini vida (170 MPa), medial pterigoid plak (161 MPa), lateral pterigoid plak (107 MPa), frontonazal sutur (82.4 MPa), zigomatikomaksiller sutur (50 MPa), frontomaksiller sutur (24.2 MPa), frontozigomatik sutur (18.6 MPa) ve zigomatik arkın (6.01 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (186 MPa) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

Çalışmamızda birinci modelde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek gerilmenin posterior mini vida (420 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla zigomatikomaksiller sutur (244 MPa), anterior mini vida (219 MPa), frontozigomatik sutur (209 MPa), zigomatik ark (200 MPa), lateral pterigoid plak (157 MPa), frontonazal sutur (147 MPa), frontomaksiller sutur (55.4 MPa) ve medial pterigoid plağın (51.2 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (141 MPa) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

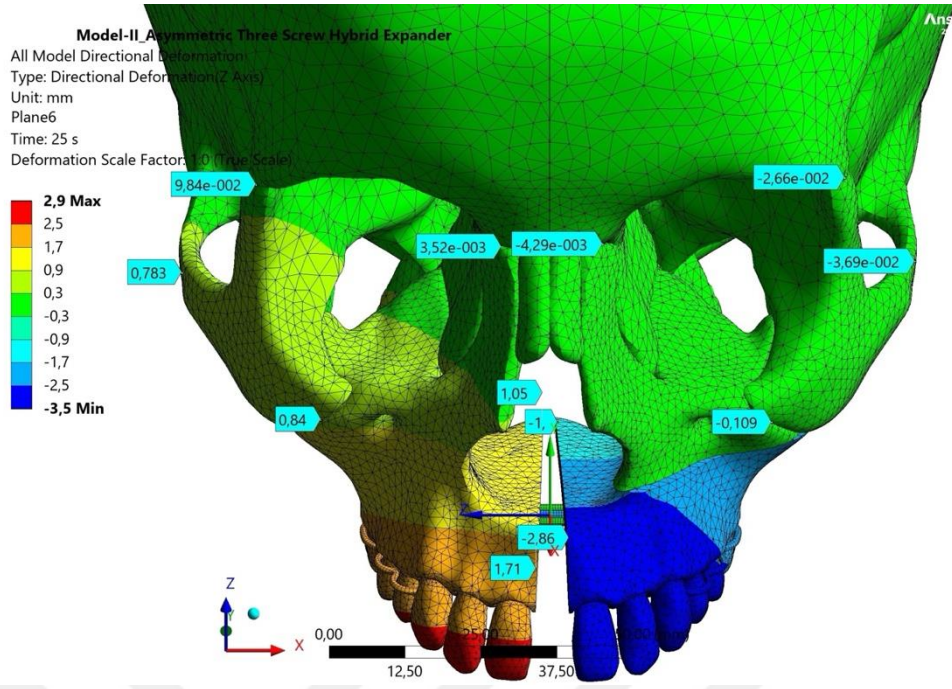
4.2. Model II’de Meydana Gelen Bulgular

Cerrahi destekli üç mini vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm’lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.1’de; 5 mm’lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.5’te verilmiştir.

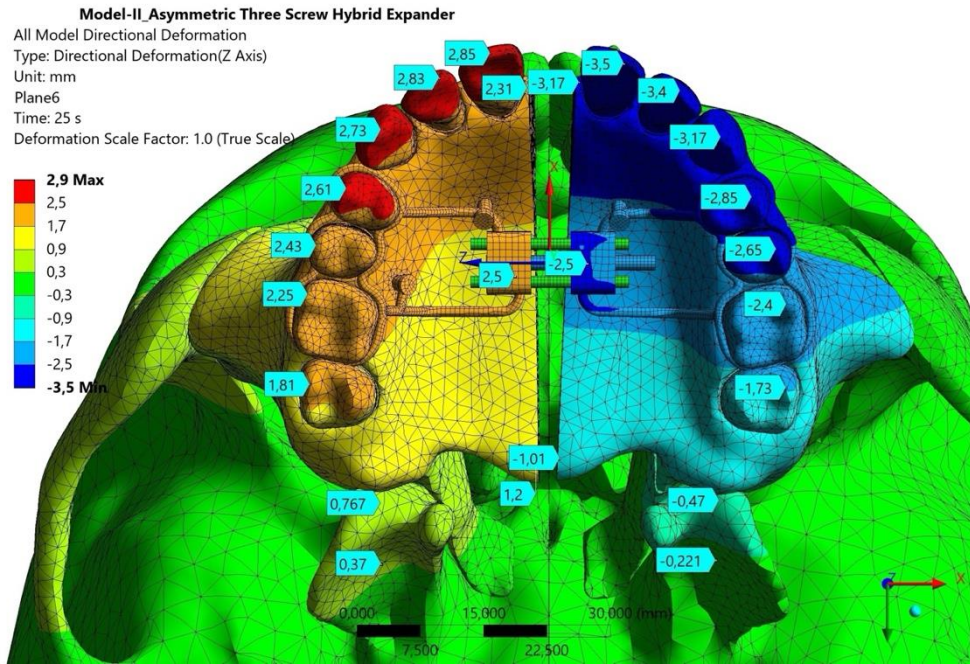
4.2.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.2.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model II’ye ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.1’de, Şekil 4.6’da ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.6. Model II; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.7. Model II; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda ikinci modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin santral kesici dişlerde olduğu gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan taraftaki santral kesici dişte meydana gelen lateral yöndeki yer değiştirme miktarının (-3.5 mm),

genişletme gereksinimi olmayan taraftaki santral kesici dişe (2.85 mm) göre daha yüksek olduğu görülmüştür (şekil 4.7).

Çalışmamızda ikinci modelde dental yapılar da lateral yönde meydana gelen yer değiştirmelerin anteriordan posteriora gittikçe azaldığı ve en az yer değiştirmenin ikinci molar dişlerde olduğu belirlenmiştir (şekil 4.7).

Çalışmamızda ikinci modelde ankraj alınan dental yapılar da, genişletme gereksinimi olan tarafta tberkl tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-2.85 mm), ikinci premolar dişte (-2.65 mm) ve birinci molar dişte (-2.4 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-2.29 mm), ikinci premolar dişte (-2.09 mm) ve birinci molar da (-1.84 mm) olarak görülmüştür. Bu değerler, Tablo 4.1’de gösterilen genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla, ankraj alınan dişlerde daha az tipping hareketi ile daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda ikinci modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-1.0 mm) llen lateral yönde yer değiştirme, ANS noktasında (-2.86 mm) llen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde, PNS noktasında (1.06 mm) llen yer değiştirme, ANS noktasında (1.71 mm) llen değere göre daha az bulunmuştur. Bu bulgulara göre, her iki maksiller yarım da ANS noktasında PNS noktasına kıyasla daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğu; ayrıca genişletme gereksinimi olan taraftaki ANS noktasında lateral yönde yer değiştirme miktarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (şekil 4.6).

Çalışmamızda ikinci modelde iskeletsel yapılar a ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla medial pterigoid plakta (-0.47 mm), lateral pterigoid plakta (-0.221 mm), zigomatikomaksiller sutur da (-0.109 mm), zigomatik arkta (-0.0369 mm), frontozigomatik sutur da (-0.0266 mm) ve frontomaksiller sutur da (-0.00429 mm) olduğu görülmüştür (Tablo 4.1).

Çalışmamızda ikinci modelde iskeletsel yapılar a ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller sutur da (0.84 mm), zigomatik arkta (0.783 mm), medial pterigoid plakta (0.767 mm), lateral pterigoid plakta (0.37 mm), frontozigomatik sutur da (0.0984 mm) ve frontomaksiller sutur da (0.00352 mm) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.1).

4.2.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda ikinci modelde X eksenindeki yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde, cerrahi kesi uygulanan tarafta iskeletsel ve dental yapılarda posterior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmamızda ikinci modelde dental yapıların yer değiştirme bulgularına göre, en fazla posterior yönde hareketin genişletme gereksinimi olan taraftaki ikinci molar dişte (-0.8 mm) olduğu belirlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci moları sırasıyla birinci molar (-0.66 mm), ikinci premolar (-0.65 mm), birinci premolar (-0.61 mm), kanin (-0.54 mm), lateral kesici (-0.38 mm) ve santral kesici (-0.11 mm) dişin izlediği görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta ise en fazla anterior yönlü hareketin santral kesici dişte (0.30 mm) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Çalışmamızda ikinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak posterior yönde hareket meydana geldiği görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (0.39 mm) ve PNS noktasında (0.48 mm); benzer şekilde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (0.19 mm) ve PNS noktasında (0.27 mm) anterior yönlü yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.1).

Çalışmamızda ikinci modelde, iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.36 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise zigomatikomaksiller suturda (-0.057 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.59 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.11 mm) gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

4.2.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda ikinci modelde dental yapıların Y eksenindeki yer değiştirmeleri incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafın, cerrahi kesi yapılan tarafa göre daha fazla superior yönde yer değiştirme eğiliminde olduğu görülmüştür. En fazla superior yönde yer değiştirme ise genişletme gereksinimi olmayan taraftaki ikinci premolar dişte (1.07 mm) görülmüştür (Tablo 4.1).

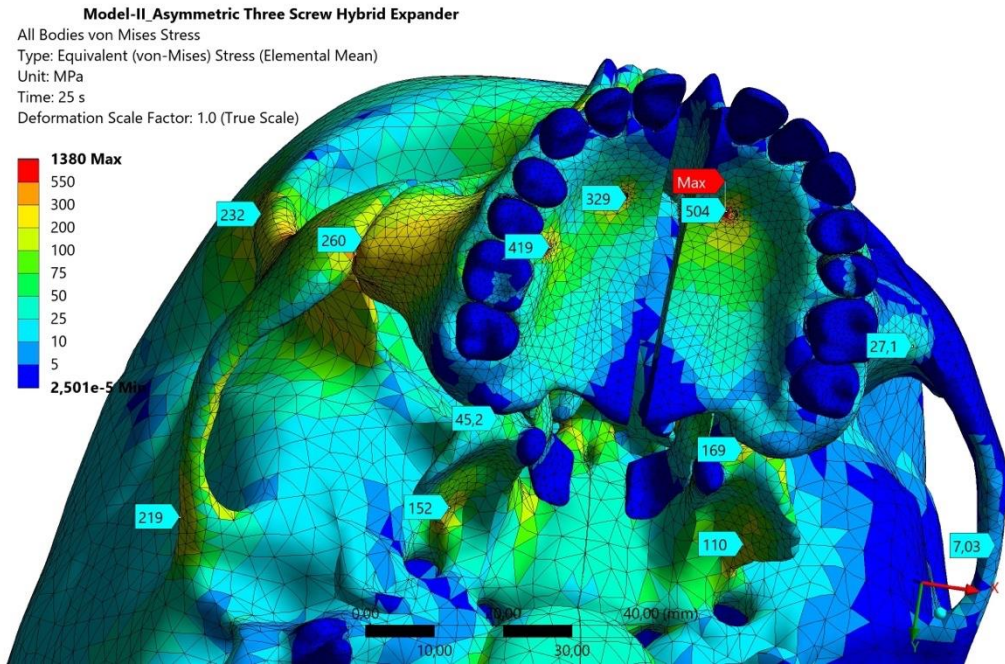
Çalışmamızda ikinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde hareket görülmüştür. Buna karşın, genişletme

gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (-0.39 mm) ve PNS noktasında (-0.18 mm); benzer şekilde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (-0.25 mm) ve PNS noktasında (-0.46 mm) inferior yönde yer değiştirme gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

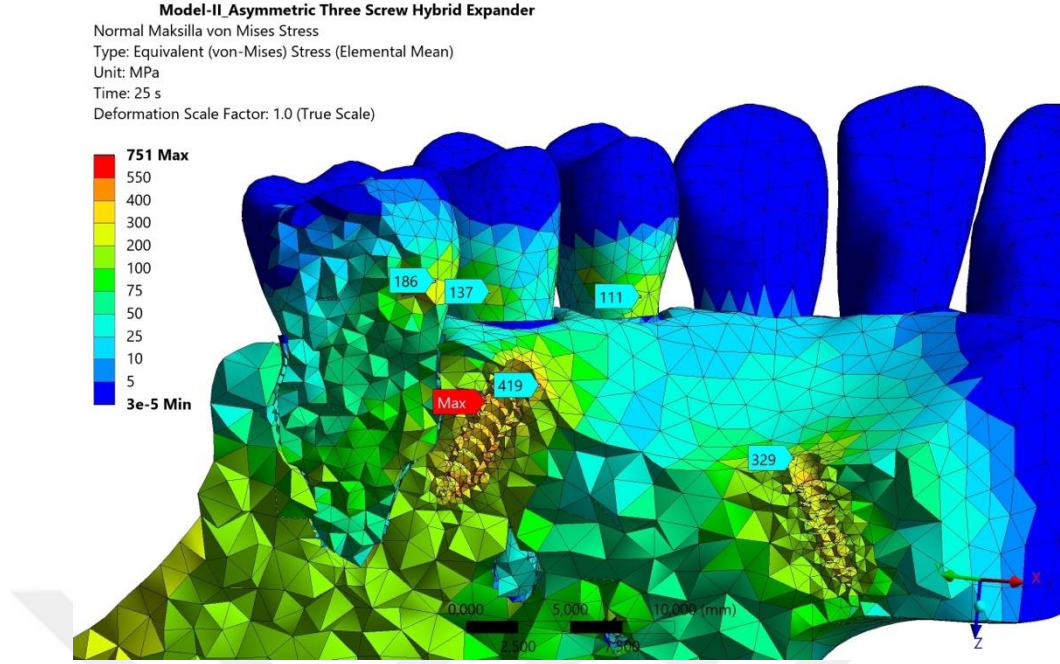
Çalışmamızda ikinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (0.60 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise zigomatik arkta (0.31 mm) olduğu görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (1.45 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.41 mm) gözlemlenmiştir (Tablo 4.1).

4.2.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

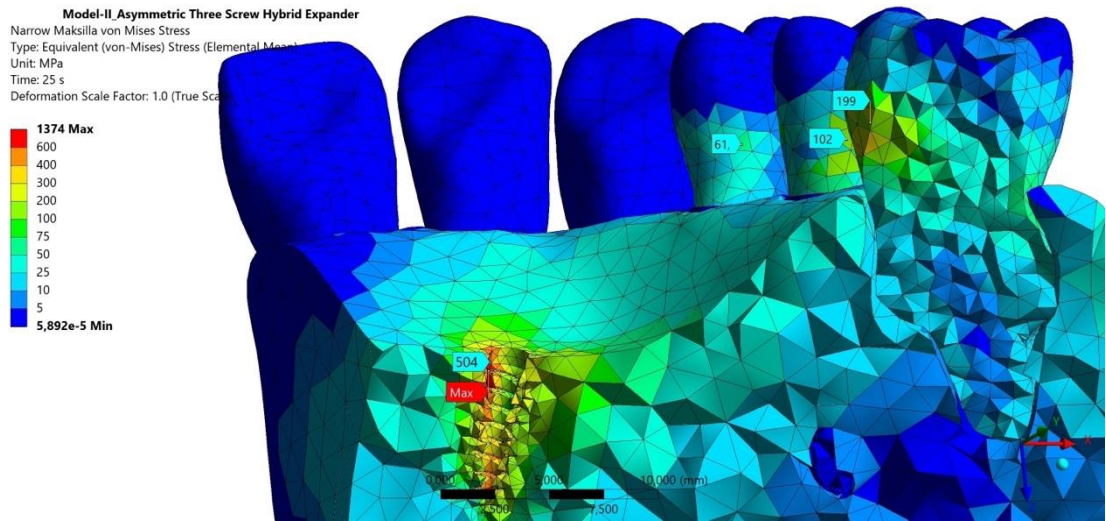
Model II'ye ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.5'te, Şekil 4.8'de, Şekil 4.9'da ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Model-II; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.9. Model-II; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.10. Model-II; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda ikinci modelde ölçülen Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, cerrahi kesi yapılan taraftaki iskeletsel yapılarda Von Mises gerilme değerlerinin azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

Çalışmamızda ikinci modelde genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen en yüksek gerilmenin anteriordaki tek mini vida (504 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla medial pterigoid plak (169 MPa), lateral

pterygoid plak (110 MPa), frontonazal sutur (95 MPa), frontomaksiller sutur (33.1 MPa), zigomatikomaksiller sutur (27.1 MPa), frontozigomatik sutur (15.9 MPa) ve zigomatik arkın (7.03 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (199 MPa) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

Çalışmamızda ikinci modelde genişletme gereksinimi olmayan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek stresin posterior mini vida (419 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla zigomatikomaksiller sutur (260 MPa), frontozigomatik sutur (232 MPa), zigomatik ark (219 MPa), lateral pterigoid plak (152 MPa), frontonazal sutur (135 MPa), frontomaksiller sutur (66.7 MPa) ve medial pterigoid plağın (45.2 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (186 MPa) olduğu görülmüştür (Tablo 4.5).

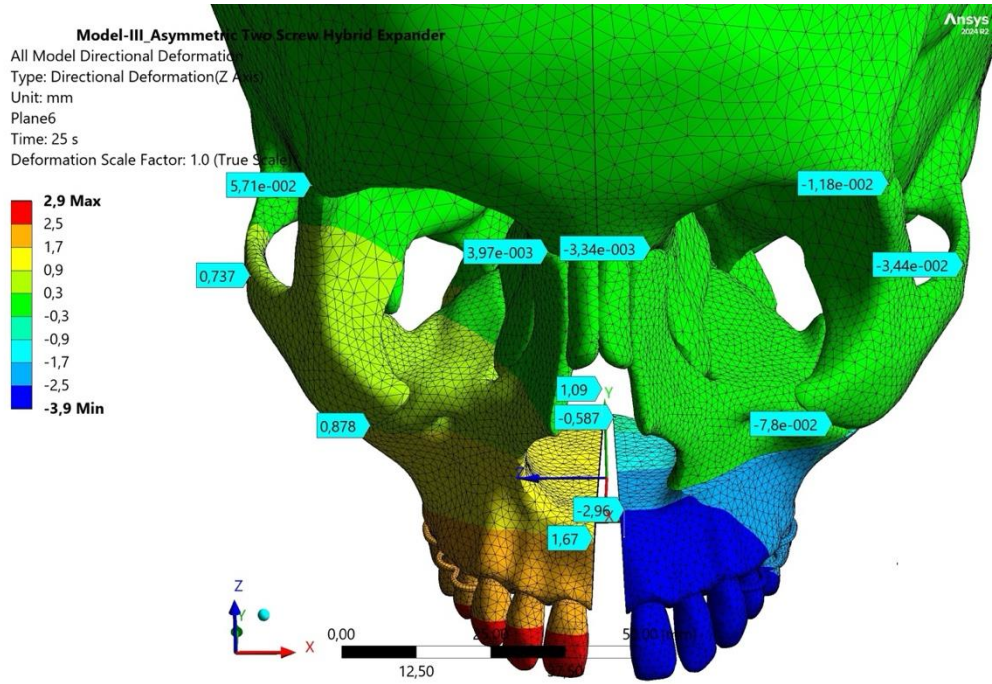
4.3. Model III'te Meydana Gelen Bulgular

Cerrahi destekli iki mini vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm'lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.2'de; 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.5'te verilmiştir.

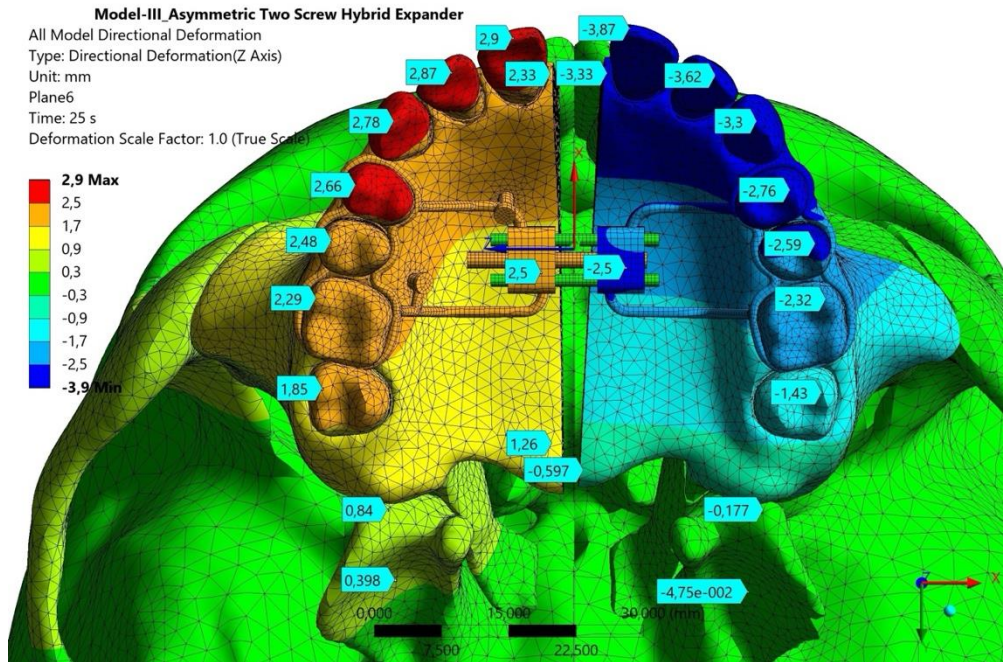
4.3.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.3.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model III'e ait transversal yöndeki yer değiştirme miktarları Tablo 4.2'de, Şekil 4.11'de ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.11. Model III; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.12. Model III; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda üçüncü modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin santral kesici dişlerde olduğu gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan taraftaki santral kesici dişte meydana gelen lateral yönde yer değiştirme miktarının (-3.87 mm),

genişletme gereksinimi olmayan taraftaki santral kesici dişe (2.9 mm) göre daha yüksek olduğu görülmüştür (şekil 4.12).

Çalışmamızda nc modelde dental yapılar da lateral yönde meydana gelen yer değiştirmelerin anteriordan posteriora gittikçe azaldığı ve en az yer değiştirmenin ikinci molar dişlerde olduğu belirlenmiştir (şekil 4.12).

Çalışmamızda nc modelde ankraj alınan dental yapılar da, genişletme gereksinimi olan tarafta tberkl tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-2.76 mm), ikinci premolar dişte (-2.59 mm) ve birinci molar dişte (-2.32 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-2.18 mm), ikinci premolar dişte (-1.95 mm) ve birinci molar da (-1.63 mm) olarak görülmüştür. Bu değerler, Tablo 4.1’de gösterilen genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla ankraj alınan dişlerde daha az tipping hareketi ile daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda nc modelde genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-0.587 mm) llen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (-2.96 mm) llen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde PNS noktasında (1.09 mm) llen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (1.67 mm) llen değere göre daha az bulunmuştur. Bu bulgulara göre, her iki maksiller yarım da ANS noktasında PNS noktasına kıyasla daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğu; ayrıca genişletme gereksinimi olan taraftaki ANS noktasında lateral yer değiştirme miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür (şekil 4.11).

Çalışmamızda nc modelde iskeletsel yapılar a ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla medial pterigoid plakta (-0.117 mm), zigomatikomaksiller sutur da (-0.078 mm), lateral pterigoid plakta (-0.0475 mm), zigomatik arkta (-0.0344 mm), frontozigomatik sutur da (-0.0118 mm) ve frontomaksiller sutur da (-0.00334 mm) olduğu görülmüştür (Tablo 4.2).

Çalışmamızda nc modelde iskeletsel yapılar a ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller sutur da (0.878 mm), medial pterigoid plakta (0.84 mm), zigomatik arkta (0.737 mm), lateral pterigoid plakta (0.398 mm), frontozigomatik sutur da (0.0571 mm) ve frontomaksiller sutur da (0.00397 mm) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.2).

4.3.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda üçüncü modelde X eksenindeki yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde, cerrahi kesi uygulanan tarafta iskeletsel ve dental yapılarda posterior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda üçüncü modelde dental yer değiştirme bulgularına göre en fazla posterior yönde hareketin genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci molar dişte (-0.69 mm) olduğu belirlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci moları sırasıyla birinci molar (-0.49 mm), ikinci premolar (-0.55 mm), birinci premolar (-0.50 mm), kanin (-0.30 mm), lateral kesici (-0.11 mm) ve santral kesici (0.37 mm) dişin izlediği belirlenmiştir. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta ise en fazla anterior yönlü hareketin santral dişte (0.30 mm) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

Çalışmamızda üçüncü modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak posterior yönde hareket meydana geldiği görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (0.82 mm) ve PNS noktasında (0.91 mm); benzer şekilde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (0.15 mm) ve PNS noktasında (0.22 mm) anterior yönlü yer değiştirme olduğu görülmüştür (Tablo 4.2).

Çalışmamızda üçüncü modelde, iskeletsel yer değiştirme bulgularına göre genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.42 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise zigomatikomaksiller suturda (-0.11 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.68 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.17 mm) gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

4.3.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda üçüncü modelde dental yapıların Y eksenindeki yer değiştirmeleri incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafın, cerrahi kesi yapılan tarafa göre daha fazla superior yönde yer değiştirme eğiliminde olduğu görülmüştür. En fazla superior yönde yer değiştirme ise genişletme gereksinimi olmayan taraftaki birinci molar dişte (1.17 mm) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

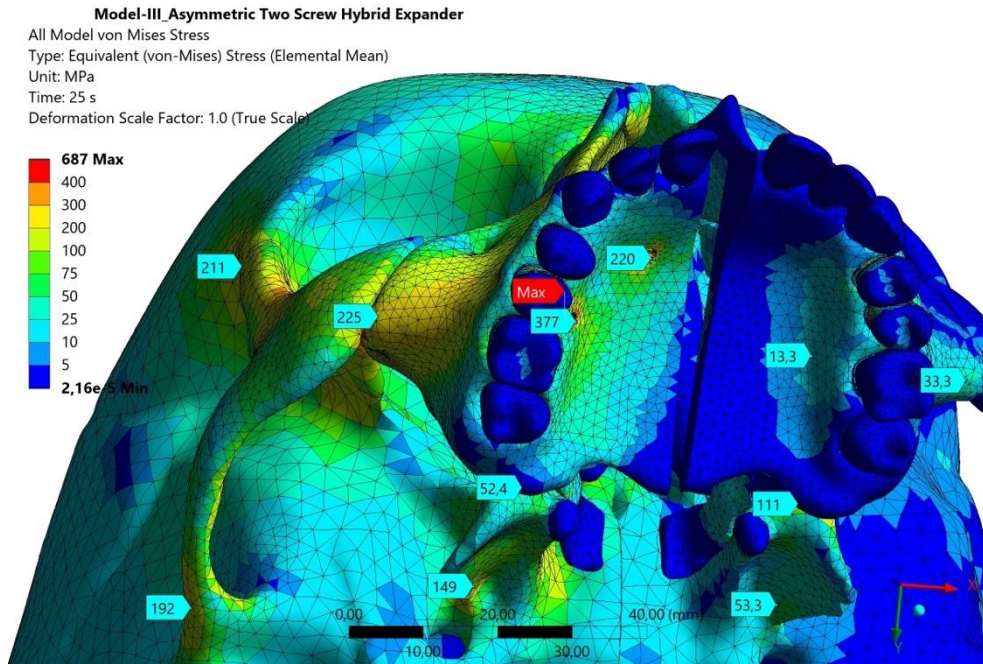
Çalışmamızda üçüncü modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde hareket görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi

olan tarafta ANS noktasında (-0.53 mm) ve PNS noktasında (-0.23 mm); benzer şekilde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (-0.21 mm) ve PNS noktasında (-0.42 mm) inferior yönde yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.2).

Çalışmamızda üçüncü modelde iskeletsel yer değiştirme bulgularına göre, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (0.62 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.31 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (1.57 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.49 mm) gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

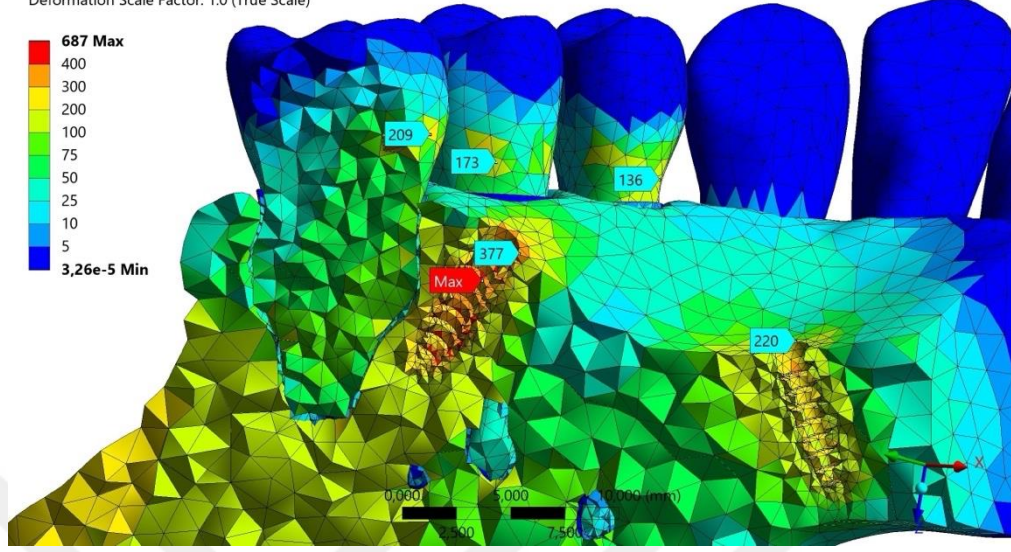
4.3.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

Model III'e ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.5'te, Şekil 4.13'te, Şekil 4.14'te ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



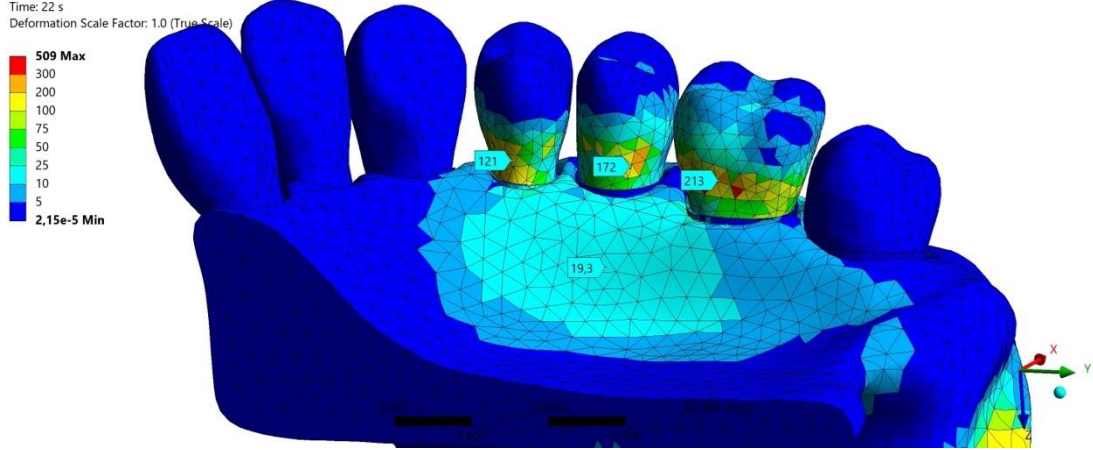
Şekil 4.13. Model-III; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)

Model-III Asymmetric Two Screw Hybrid Expander
Normal Maksilla von Mises Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Elemental Mean)
Unit: MPa
Time: 25 s
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)



Şekil 4.14. Model-III; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Model-III Asymmetric Two Screw Hybrid Expander
Narrow Maksilla von Mises Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress (Elemental Mean)
Unit: MPa
Time: 22 s
Deformation Scale Factor: 1.0 (True Scale)



Şekil 4.15. Model-III; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ortalama Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda üçüncü modelde ölçülen Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, cerrahi kesi yapılan taraftaki iskeletsel yapılarda Von Mises gerilme değerlerinin azalma, ankraj alınan dental yapılarda ise artma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

Çalışmamızda üçüncü modelde genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılar üzerinde ölçülen en yüksek gerilmenin medial pterigoid plak (111 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla frontonazal sutur (64.7 MPa), lateral pterigoid plak (53.3 MPa),

zigomatikomaksiller sutur (33.3 MPa), frontomaksiller sutur (28.7 MPa), frontozigomatik sutur (3.33 MPa) ve zigomatik arkın (0.18 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (213 MPa) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.5).

Çalışmamızda üçüncü modelde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek stresin posterior mini vida (377 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla zigomatikomaksiller sutur (225 MPa), anterior mini vida (220 MPa), frontozigomatik sutur (211 MPa), zigomatik ark (192 MPa), lateral pterigoid plak (149 MPa), frontonazal sutur (139 MPa), frontomaksiller sutur (72 MPa) ve medial pterigoid plağın (52,4 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (209 MPa) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.5).

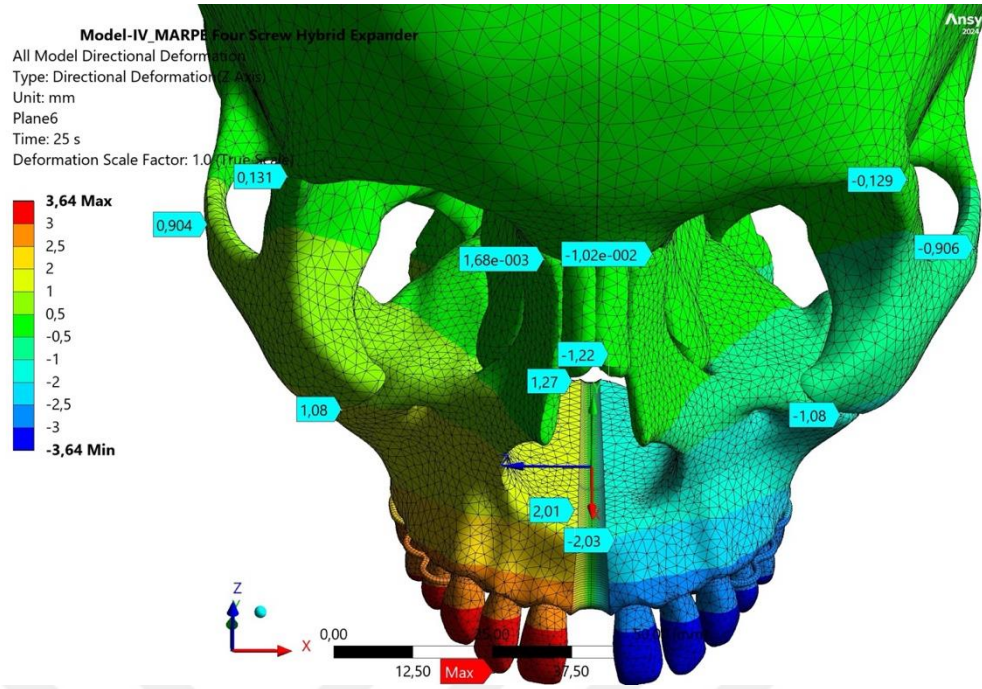
4.4. Model IV'te Meydana Gelen Bulgular

Dört mini vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm'lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.2'de; 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.5'te verilmiştir.

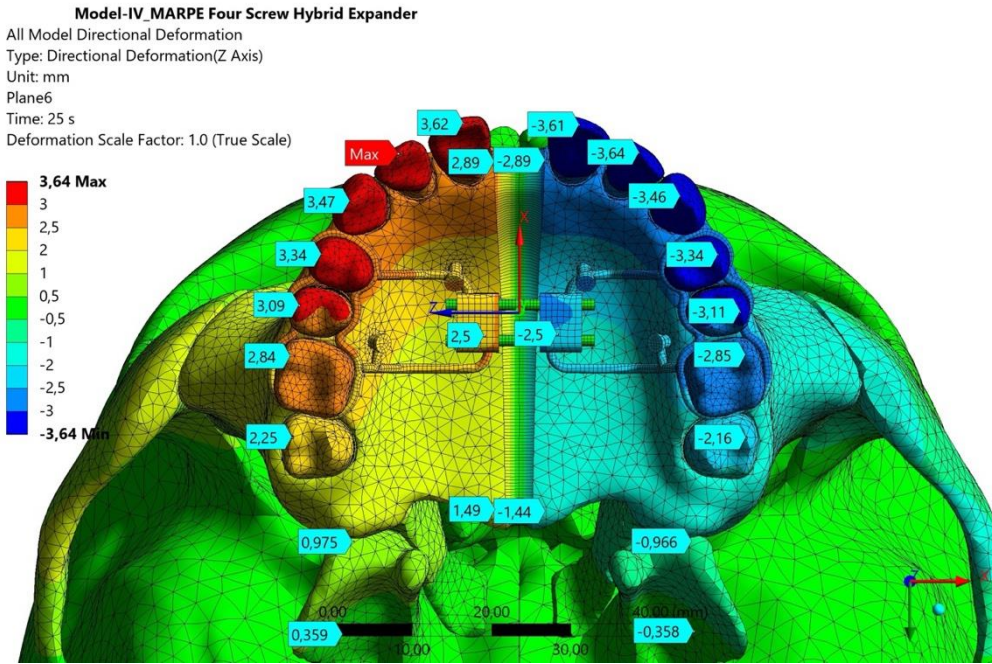
4.4.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.4.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model IV'e ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.2'de, Şekil 4.16'da ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.16. Model IV; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.17. Model IV; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda dördüncü modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin santral kesici dişlerde olduğu görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan taraftaki santral kesici dişte meydana gelen lateral yönde yer değiştirme miktarı (-3.61 mm) ile genişletme

gereksinimi olmayan taraftaki santral kesici dişte (3.62 mm) ölçülen değerin benzer büyüklükte olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).

Çalışmamızda dördüncü modelde dental yapılarda lateral yönde meydana gelen yer değiştirmelerin anteriordan posteriora gittikçe azaldığı ve en az yer değiştirmenin ikinci molar dişlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17).

Çalışmamızda dördüncü modelde ankraj alınan dental yapılarda, genişletme gereksinimi olan tarafta tüberkül tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-3.34 mm), ikinci premolar dişte (-3.11 mm) ve birinci molar dişte (-2.85 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-1.61 mm), ikinci premolar dişte (-1.59 mm) ve birinci molar dişte (-1.43 mm) olarak görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan taraftaki ankraj alınan dişlerde de benzer büyüklükte lateral yönde yer değiştirme gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

Çalışmamızda dördüncü modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-1.22 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (-2.03 mm) ölçülen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde PNS noktasında (1.27 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (2.01 mm) ölçülen değere göre daha az bulunmuştur. Bulgular birlikte değerlendirildiğinde, her iki maksiller yarımında ANS noktasında PNS noktasına göre daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğu; ayrıca ANS ve PNS noktasında lateral yönde simetrik genişleme paterninin olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.16).

Çalışmamızda dördüncü modelde iskeletsel yapılarda yer değiştirme bulguları değerlendirildiğinde, her iki tarafta da en fazla yer değiştirmenin ANS noktasında, en az yer değiştirmenin ise frontomaksiller suturda olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

4.4.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda dördüncü modelde X ekseninde dental yapılardaki yer değiştirme miktarları değerlendirildiğinde, anteriordan posteriora gittikçe anterior yönlü yer değiştirmenin azaldığı görülmüştür. En fazla anterior yönlü yer değiştirmenin ise santral kesici dişlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmamızda dördüncü modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak posterior yönde hareket meydana geldiği görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (0.13 mm) ve PNS noktasında (0.25 mm); benzer şekilde genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS

noktasında (0.11 mm) ve PNS noktasında (0.22 mm) anterior yönde yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.2).

Çalışmamızda iskeletsel yer değiştirme dağılımı değerlendirildiğinde, her iki tarafta da en fazla posterior yönde yer değiştirmenin frontozigomatik suturda, en az posterior yönde yer değiştirmenin ise medial pterigoid plakta olduğu görülmüştür (Tablo 4.2).

4.4.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

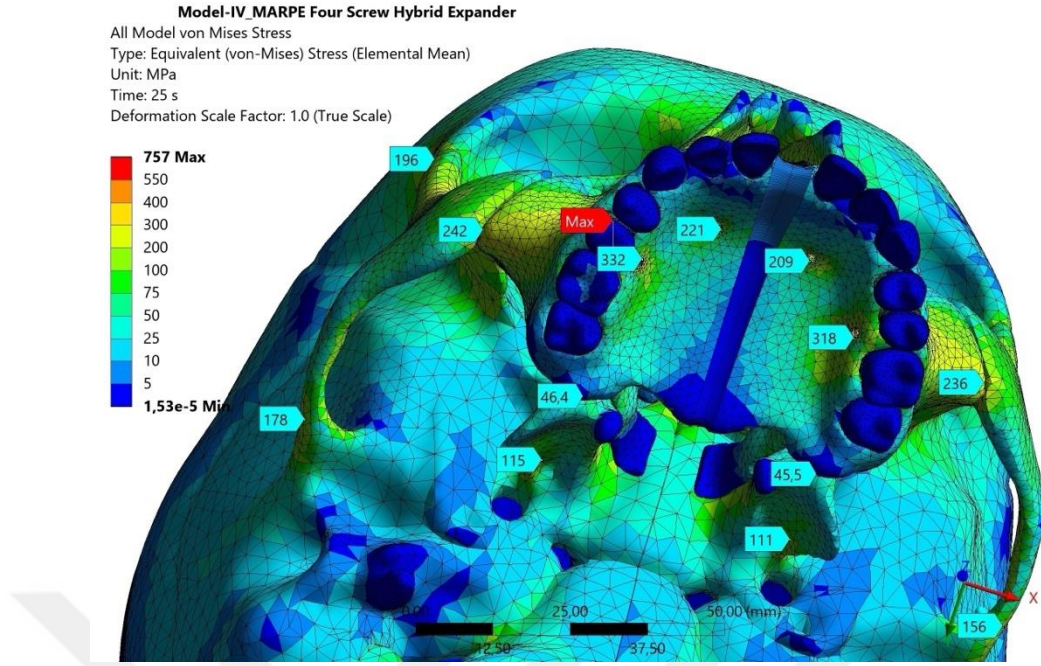
Çalışmamızda dördüncü modelde Y eksenindeki dental yapılarıdaki yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, bu yapılarda superior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu görülmüştür. En fazla superior yönde yer değiştirme birinci molar dişlerde görülmüş; her iki tarafta da posterior dişlerde anterior dişlere göre daha fazla superior yönde yer değiştirme gözlemlenmiştir (Tablo 4.2).

Çalışmamızda dördüncü modelde iskeletsel yapılarda yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde yer değiştirme gözlenmiştir. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (-0.091 mm) ve PNS noktasında (-0.33 mm); benzer şekilde genişletme gereksinimi olmayan tarafta da ANS noktasında (-0.14 mm) ve PNS noktasında (-0.35 mm) inferior yönde yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.2).

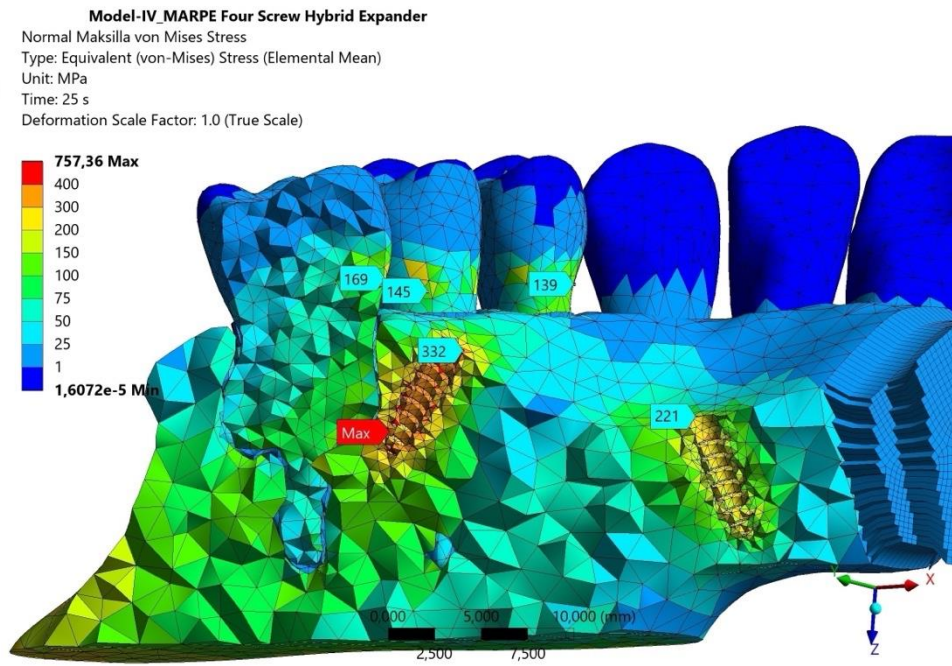
Çalışmamızda dördüncü modelde, en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda, en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta görülmüştür (Tablo 4.2).

4.4.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

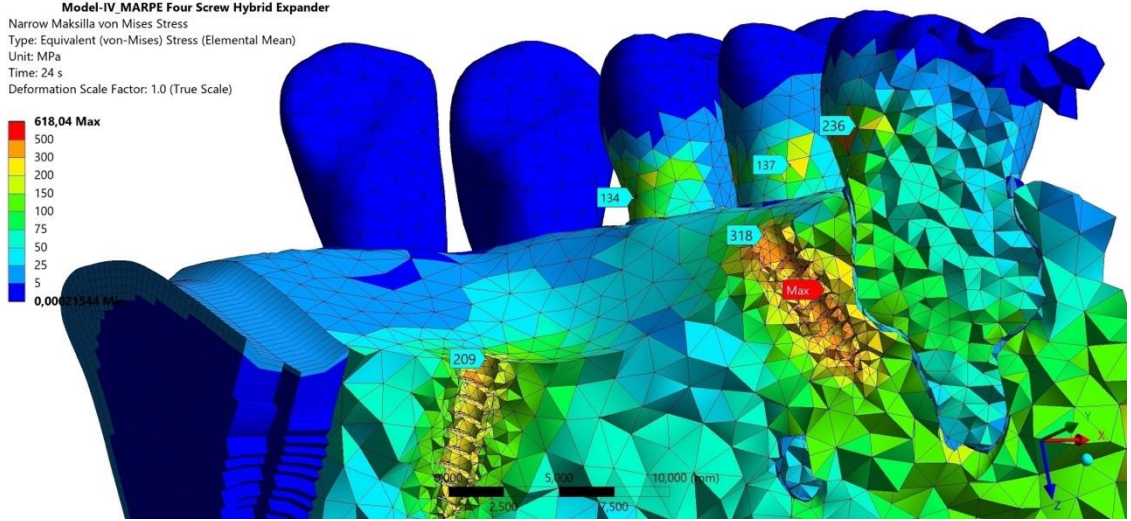
Model IV'e ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.5'te, Şekil 4.18'de, Şekil 4.19'da ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Model-IV; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.19. Model-IV; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.20. Model-IV; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda dördüncü modelde Von Mises gerilmeleri değerlendirildiğinde, her iki maksiller yarımda ölçülen değerlerin benzer büyüklüklerde olduğu görülmüştür (Tablo 4.5).

Çalışmamızda dördüncü modelde her iki tarafta ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek stresin posterior mini vidalar üzerinde olduğu bulunmuştur (Tablo 4.5).

Çalışmamızda dördüncü modelde iskeletsel yapılarda gerilme dağılımı incelendiğinde, en fazla Von Mises gerilmesinin zigomatikomaksiller sutur ile frontozigomatik suturda, en düşük gerilmenin ise frontomaksiller suturda olduğu görülmüştür (Tablo 4.5).

4.5. Model V'te Meydana Gelen Bulgular

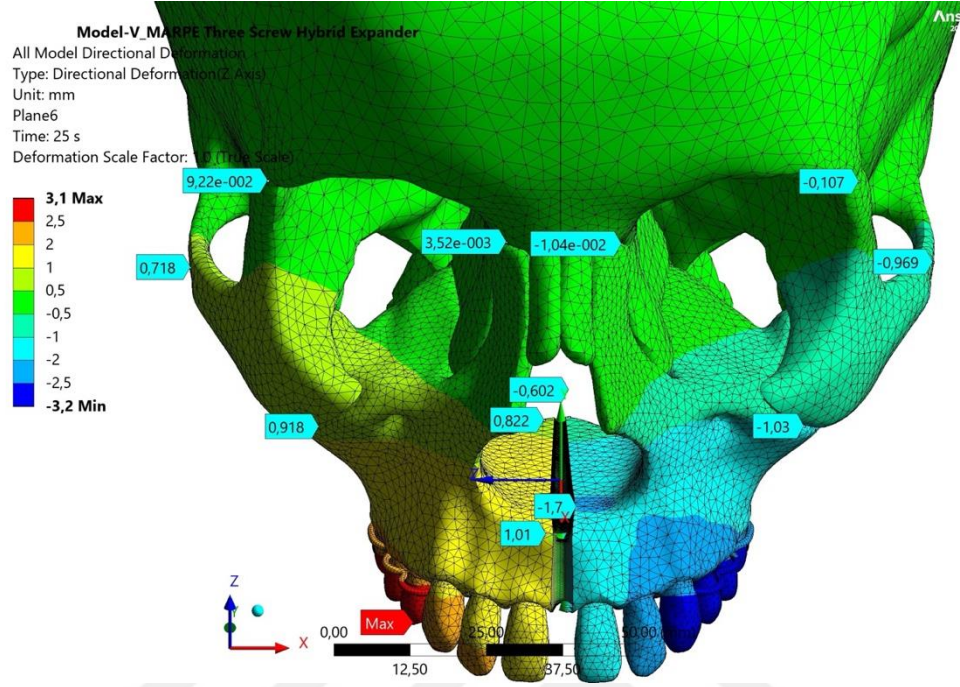
Üç mini vidalı hibrit genişletme apacey modeli ile yapılan 5 mm'lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.3'te; 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

4.5.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

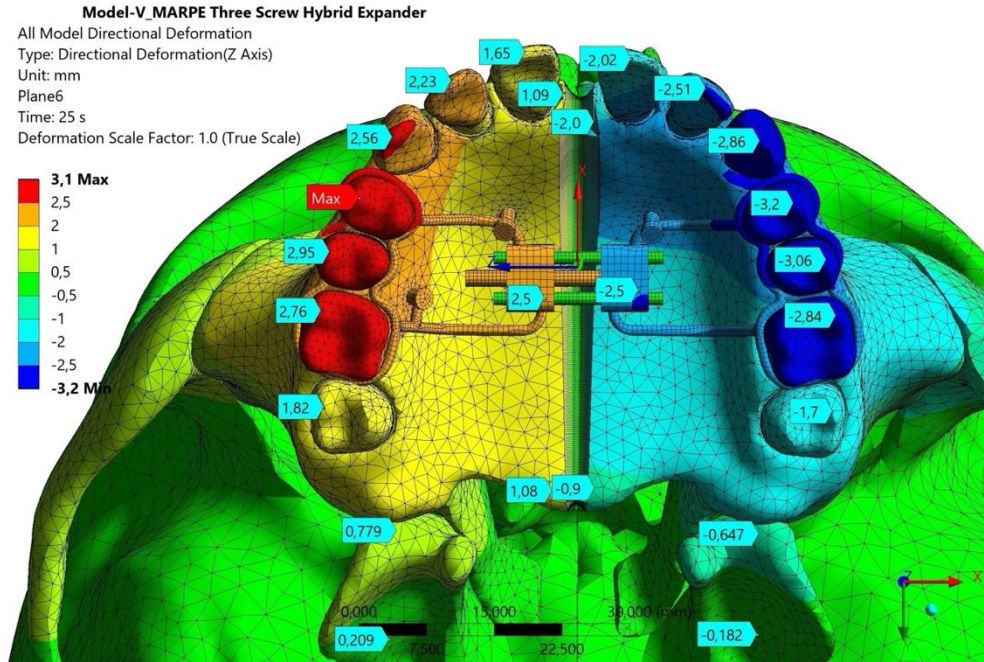
4.5.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model V'e ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.3'te, Şekil 4.21'de ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ

lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.21. Model V; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.22. Model V; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda beşinci modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin birinci premolar dişlerde, en az yer değiştirmenin ise ikinci molar dişlerde olduğu görülmüştür (Şekil 4.22).

Çalışmamızda beşinci modelde ankraj alınan dişlerde, genişletme gereksinimi olan tarafta tüberkül tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-3.2 mm), ikinci premolar dişte (-3.06 mm) ve birinci molar dişte (-2.84 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-1.61 mm), ikinci premolar dişte (-1.44 mm) ve birinci molar dişte (-1.15 mm) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-0.602 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (-1.7 mm) ölçülen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde PNS noktasında (0.822 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (1.01 mm) ölçülen değere göre daha az bulunmuştur. Bu bulgulara göre, ANS noktasında PNS noktasına göre daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğu; ayrıca genişletme gereksinimi olan taraftaki ANS noktasında lateral yer değiştirme miktarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21).

Çalışmamızda beşinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller suturda (-1.03 mm), zigomatik arkta (-0.969 mm), medial pterigoid plakta (-0.647 mm), lateral pterigoid plakta (-0.182 mm), frontozigomatik suturda (-0.107 mm) ve frontomaksiller suturda (-0.0104 mm) olduğu görülmüştür (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller suturda (0.918 mm), medial pterigoid plakta (0.779 mm), zigomatik arkta (0.718 mm), lateral pterigoid plakta (0.209 mm), frontozigomatik suturda (0.0922 mm) ve frontomaksiller suturda (0.00352 mm) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.5.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda beşinci modelde X eksenindeki yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde, bir mini vida uygulanan taraftaki dental yapılarda posterior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda beşinci modelde dental yapıların yer değiştirme bulgularına göre en fazla posterior yönde hareketin genişletme gereksinimi olan taraftaki ikinci molar dişte (-0.36 mm) olduğu görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci moları sırasıyla birinci molar (-0.16 mm), ikinci premolar (-0.10 mm), birinci premolar (-0.059 mm), lateral kesici (-0.0013 mm) ve santral kesici (-0.18 mm) dişin izlediği belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde genişletme gereksinimi olmayan tarafta dental yapılarda anterior yönde yer değiştirme eğiliminin olduğu görülmüştür. En fazla anterior yönlü yer değiştirme ise ikinci premolar dişte (0.60 mm) bulunmuştur (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde iskeletsel yapıların yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak posterior yönde hareket meydana geldiği görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (0.35 mm); benzer şekilde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta da PNS noktasında (0.41 mm) anterior yönlü yer değiştirme bulunmuştur (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde, iskeletsel yapıların yer değiştirme bulgularına göre genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.64 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise anterior nazal spinada (-0.12 mm) gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.63 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.083 mm) bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.5.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda beşinci modelde dental yapılardaki yer değiştirmeler genel olarak değerlendirildiğinde, iki mini vida uygulanan tarafta daha fazla superior yönde yer değiştirme eğiliminde olduğu görülmüştür. Her iki tarafta da posterior dişlerde anterior dişlerden daha fazla superior yönlü yer değiştirme görülmüş ve en fazla superior yönlü yer değiştirme genişletme gereksinimi olmayan taraftaki ikinci premolar dişte (1.11 mm) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.3).

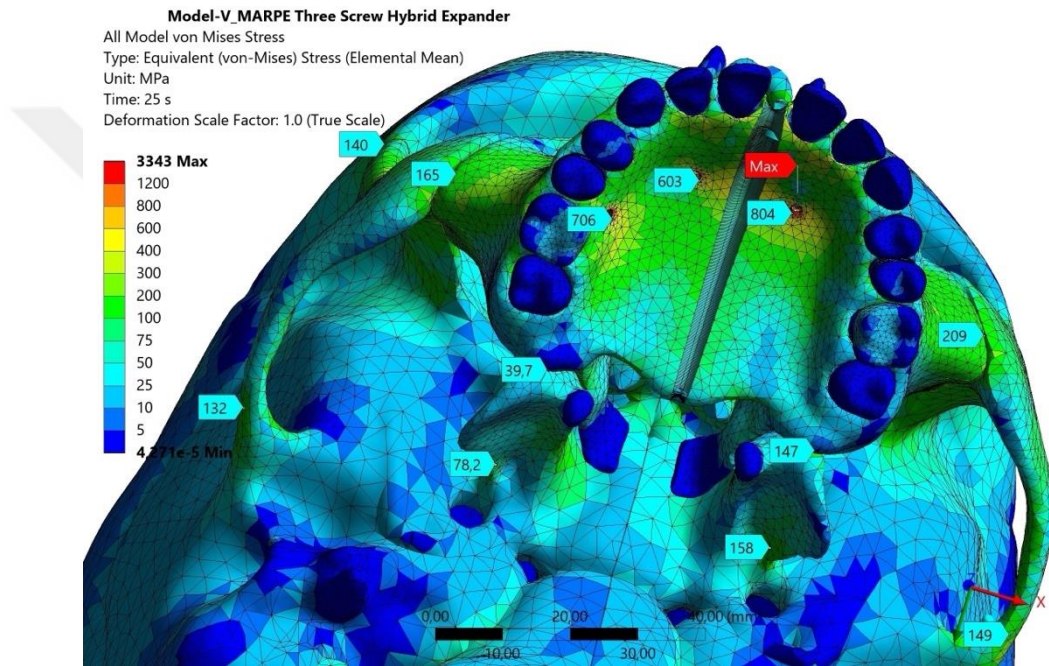
Çalışmamızda beşinci modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde hareket görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (-0.12 mm) ve PNS noktasında (-0.45 mm) inferior yönlü yer değiştirme gözlemlenmiştir (Tablo 4.3).

Çalışmamızda beşinci modelde iskeletsel yer değiştirme bulgularına göre, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme

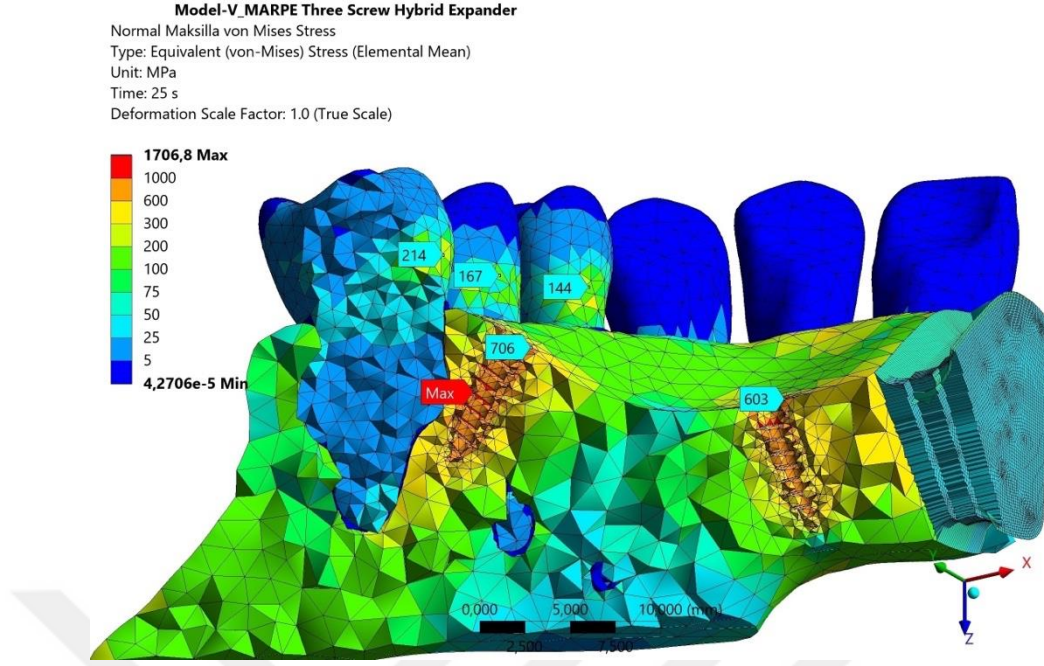
zigomatikomaksiller suturda (1.14 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.41 mm) görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (1.33 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise anterior nazal spinada (0.063 mm) bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.5.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

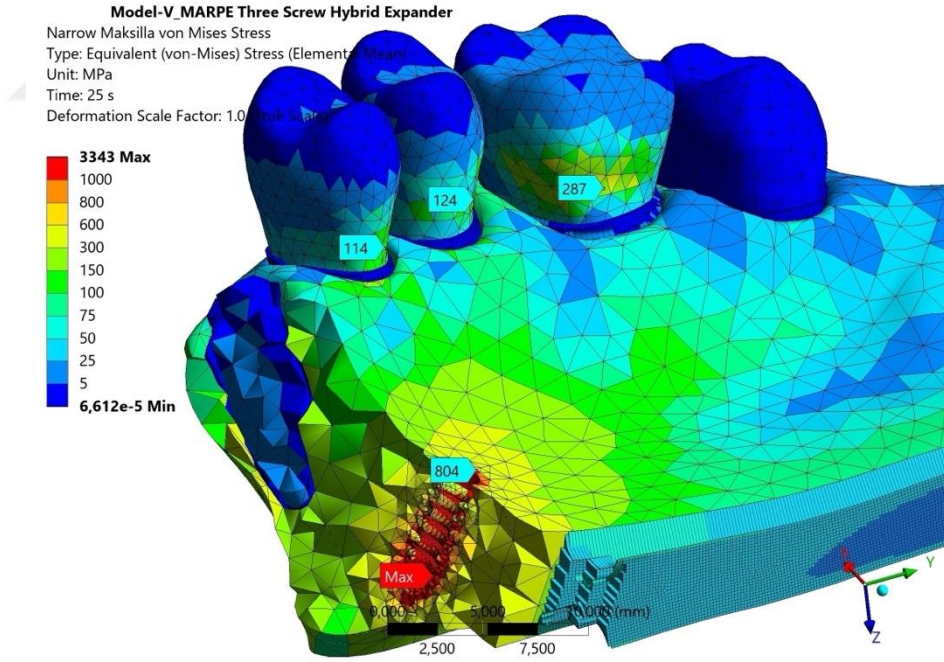
Model V'e ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.6'da, Şekil 4.23'te, Şekil 4.24'te ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Model-V; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde ölçülen Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.24. Model-V; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.25. Model-V; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değeri

Çalışmamızda beşinci modelde ölçülen Von Mises gerilmeleri genel olarak değerlendirildiğinde, bir mini vida uygulanan maksiller yarımdaki iskeletsel yapılarda Von Mises gerilme değerlerinin artma eğiliminde olduğu görülmüştür (Tablo 4.6).

Çalışmamızda beşinci modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde en yüksek stresin anterior mini vida (804 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla zigomatikomaksiller sutur (209 MPa), frontonazal sutur (203 MPa), lateral pterigoid plak (158 MPa), zigomatik ark (149 MPa), medial pterigoid plak (147 MPa), frontozigomatik sutur (121 MPa) ve frontomaksiller suturun (58.4 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (287 MPa) olduğu görülmüştür (Tablo 4.6).

Çalışmamızda beşinci modelde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek stresin posterior mini vida (706 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla anterior mini vida (603 MPa), zigomatikomaksiller sutur (165 MPa), frontonazal sutur (156 MPa), frontozigomatik sutur (140 MPa), zigomatik ark (132 MPa), lateral pterigoid plak (78.2 MPa), frontomaksiller sutur (50.7 MPa) ve medial pterigoid plağın (39.7 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (214 MPa) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.6).

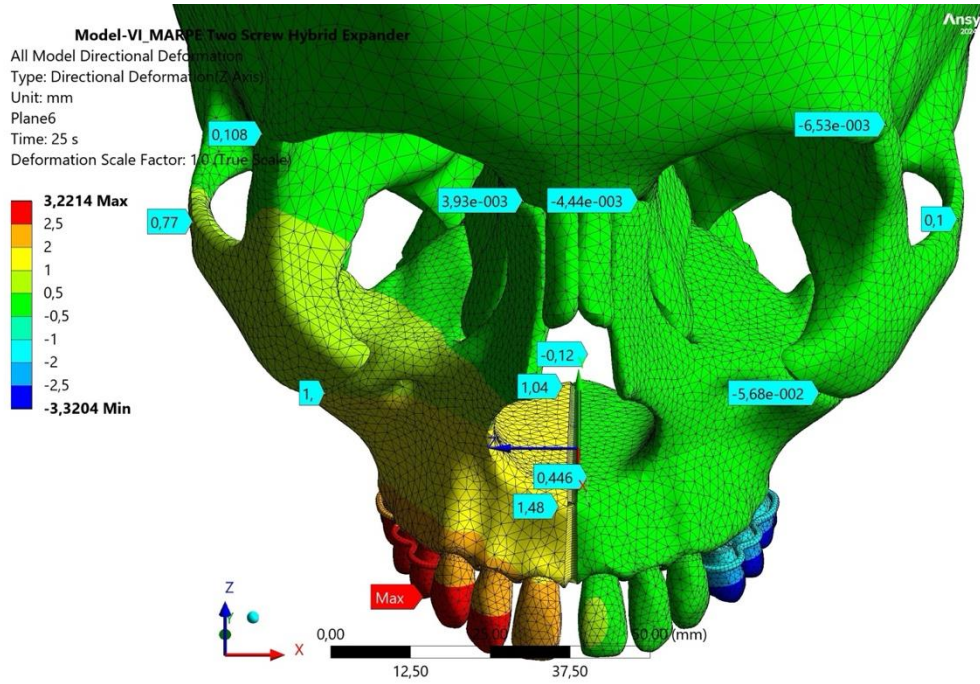
4.6. Model VI'da Meydana Gelen Bulgular

İki vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm'lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.3'te; 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

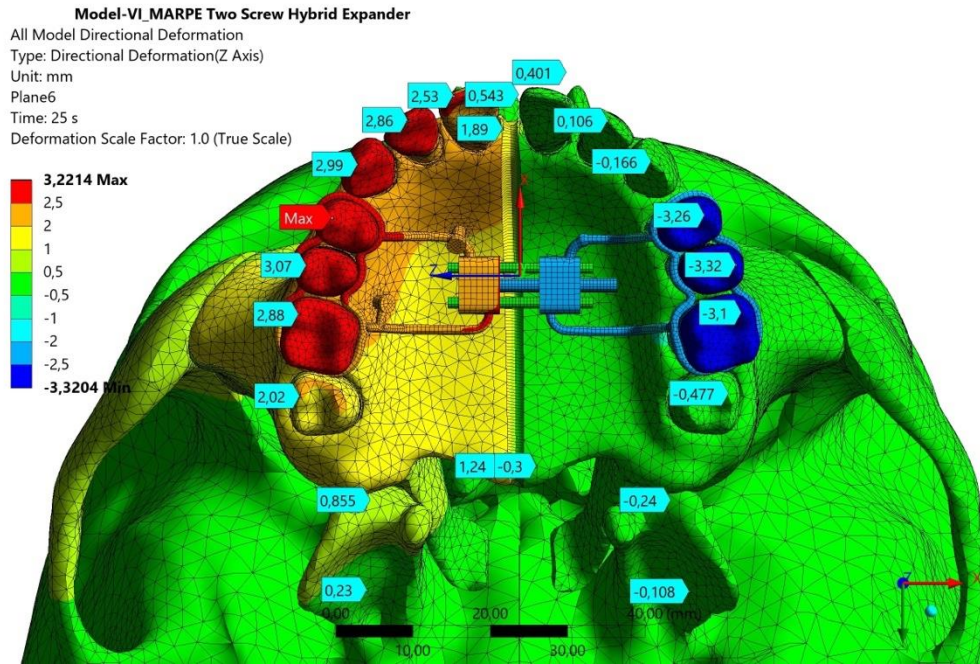
4.6.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.6.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model VI'ya ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.3'te, Şekil 4.26'da ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.26. Model VI; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.27. Model VI; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda altıncı modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin ankraj alınan dişlerde, en az yer değiştirmenin ise ikinci molar ve kesici dişlerde olduğu görülmüştür (Şekil 4.27).

Çalışmamızda altıncı modelde ankraj alınan dişlerde, genişletme gereksinimi olan tarafta tüberkül tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-3.26 mm), ikinci premolar dişte (-3.32 mm) ve birinci molar dişte (-3.1 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (0.153 mm), ikinci premolar dişte (0.231 mm) ve birinci molar (0.449 mm) olduğu görülmüştür. Bu değerler, Tablo 4.3’de gösterilen genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla, ankraj alınan dişlerde daha fazla tipping hareketi ile daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda altıncı modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-0.12 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (0.446 mm) ölçülen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde PNS noktasında (1.04 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (1.48 mm) ölçülen değere göre daha az bulunmuştur. Diğer modellere kıyasla genişletme gereksinimi olan tarafta daha sınırlı lateral yönde yer değiştirme gözlemlenmiştir (Şekil 4.26).

Çalışmamızda altıncı modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen lateral yer yönde değiştirme miktarının diğer modellere kıyasla daha sınırlı olduğu görülmüştür (Tablo 4.3).

Çalışmamızda altıncı modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen lateral yer değiştirme miktarlarının, genişletme gereksinimi olan tarafa kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, her iki tarafta da gözlenen lateral yer değiştirme değerlerinin diğer modellere göre daha sınırlı olduğu bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.6.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda altıncı modelde X ekseninde dental yapılardaki yer değiştirme miktarları değerlendirildiğinde, anterior yönlü yer değiştirme eğiliminin arttığı görülmüştür. En fazla anterior yönlü yer değiştirmenin genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci premolar dişte (0.95 mm) olduğu görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan tarafta ikinci premoları sırasıyla birinci molar (0.84 mm), ikinci molar (0.25 mm), birinci premolar (0.89 mm), lateral kesici (0.26 mm) ve santral kesici (-0.047 mm) dişin izlediği görülmüştür. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta ise en fazla anterior yönlü hareket kanin dişte (0.44 mm) görülmüştür (Tablo 4.3).

Çalışmamızda altıncı modelde iskeletsel yapılarda yer değiştirme dağılımı değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.40 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.00098 mm) gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla posterior yönde yer değiştirme frontozigomatik suturda (-0.61 mm), en az posterior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (-0.061 mm) bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.6.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

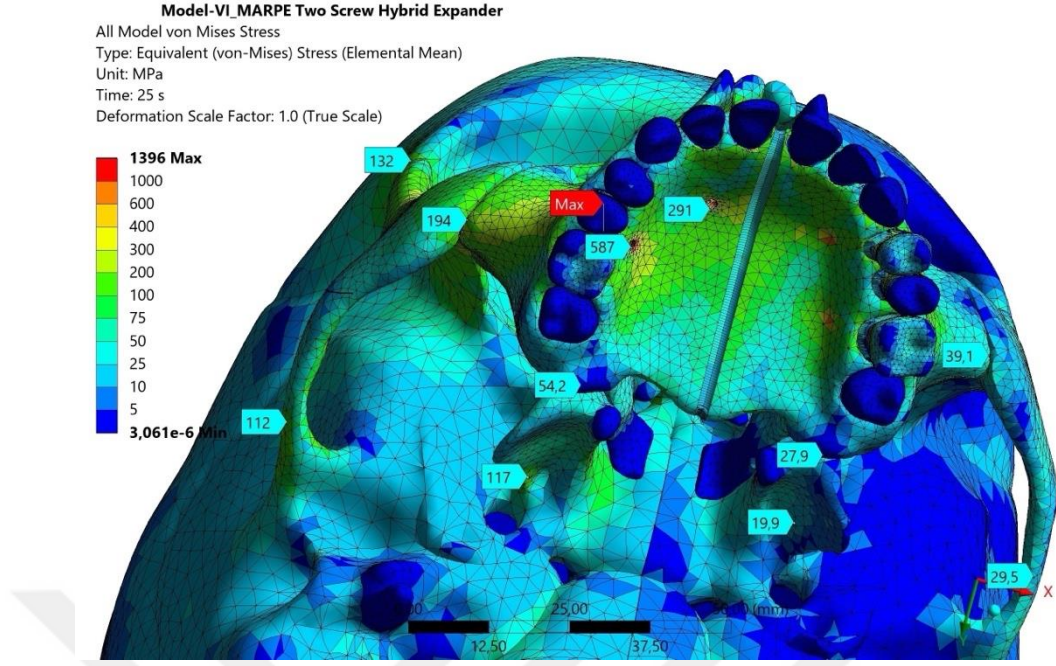
Çalışmamızda altıncı modelde Y eksenindeki yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, her iki tarafta da dental yapılarda superior yönde yer değiştirme görülmüştür. En fazla superior yönde yer değiştirmenin genişletme gereksinimi olmayan taraftaki ikinci premolar dişte (1.15 mm) olduğu görülmüştür. Her iki tarafta da posterior dişlerin anterior dişlerden daha fazla superior yönde yer değiştirdiği bulunmuştur (Tablo 4.3).

Çalışmamızda altıncı modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları değerlendirildiğinde, genel olarak superior yönde yer değiştirme görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-0.18 mm) ve genişletme gereksinimi olmayan taraftaki PNS noktası (-0.41 mm) ile ANS noktasında (-0.032 mm) inferior yönlü yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.3).

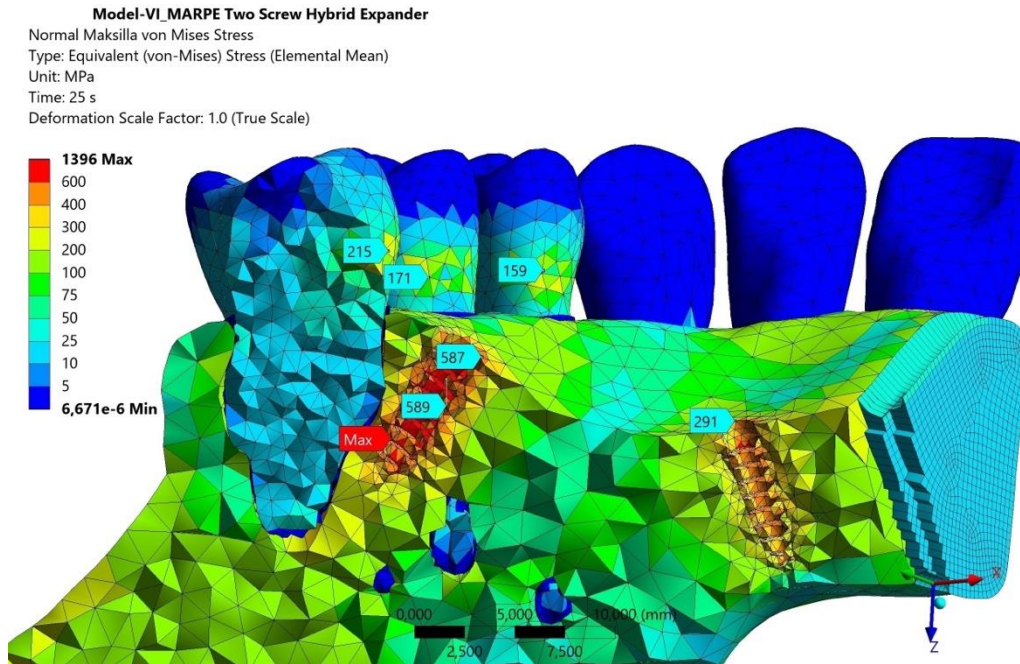
Çalışmamızda altıncı modelde iskeletsel yer değiştirme dağılımı değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (0.75 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.28 mm) gözlenmiştir. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta en fazla superior yönde yer değiştirme zigomatikomaksiller suturda (1.48 mm), en az superior yönde yer değiştirme ise medial pterigoid plakta (0.44 mm) bulunmuştur (Tablo 4.3).

4.6.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

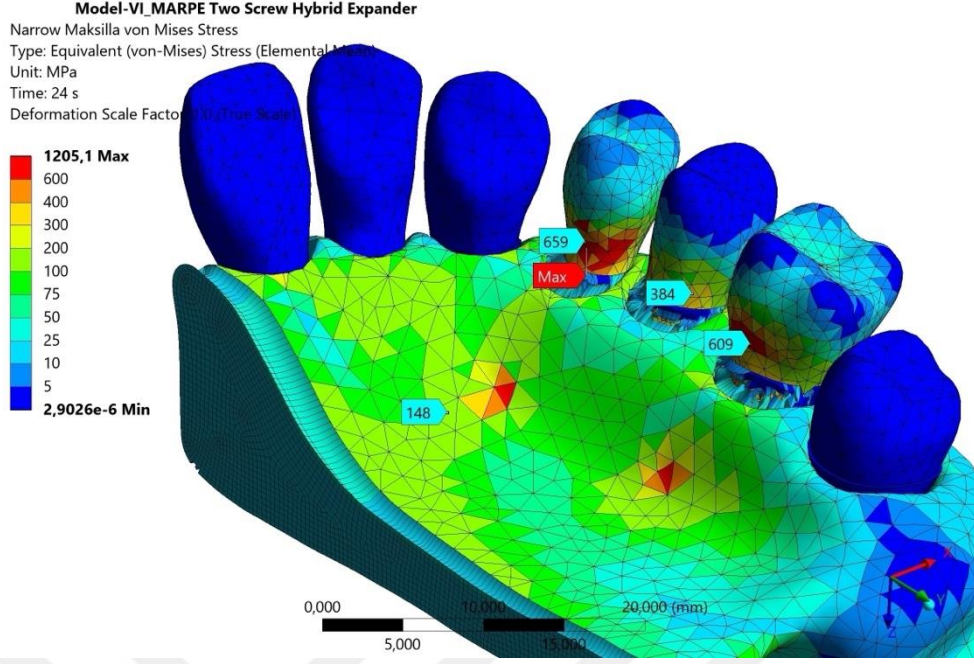
Model VI'ya ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.6'da, Şekil 4.23'te, Şekil 4.24'te ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Model-VI; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.29. Model-VI; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.30. Model-VI; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda altıncı modelde genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, ankraj alınan dişler üzerindeki gerilme değerlerinin diğer modellere göre arttığı gözlemlenmiştir. Genişletme gereksinimi olan tarafta en yüksek gerilmenin birinci premolar dişte (659 MPa) olduğu; bunu sırasıyla birinci molar (609 MPa), ikinci premolar (384 MPa), frontonazal sutur (72.6 MPa), zigomatikomaksiller sutur (39.1 MPa), zigomatik ark (29.5 MPa), medial pterigoid plak (27.9 MPa), lateral pterigoid plak (19.9 MPa), frontomaksiller sutur (16.2 MPa) ve frontozigomatik suturun (13.3 MPa) izlediği görülmüştür (Tablo 4.6).

Çalışmamızda altıncı modelde genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen ortalama Von Mises gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek gerilmenin posterior mini vida üzerinde (587 MPa) olduğu; bunu sırasıyla anterior mini vida (291 MPa), zigomatikomaksiller sutur (194 MPa), frontozigomatik sutur (132 MPa), frontonazal sutur (123 MPa), lateral pterigoid plak (117 MPa), zigomatik ark (112 MPa), medial pterigoid plak (54.2 MPa) ve frontomaksiller suturun (39.5 MPa) izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (215 MPa) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.6).

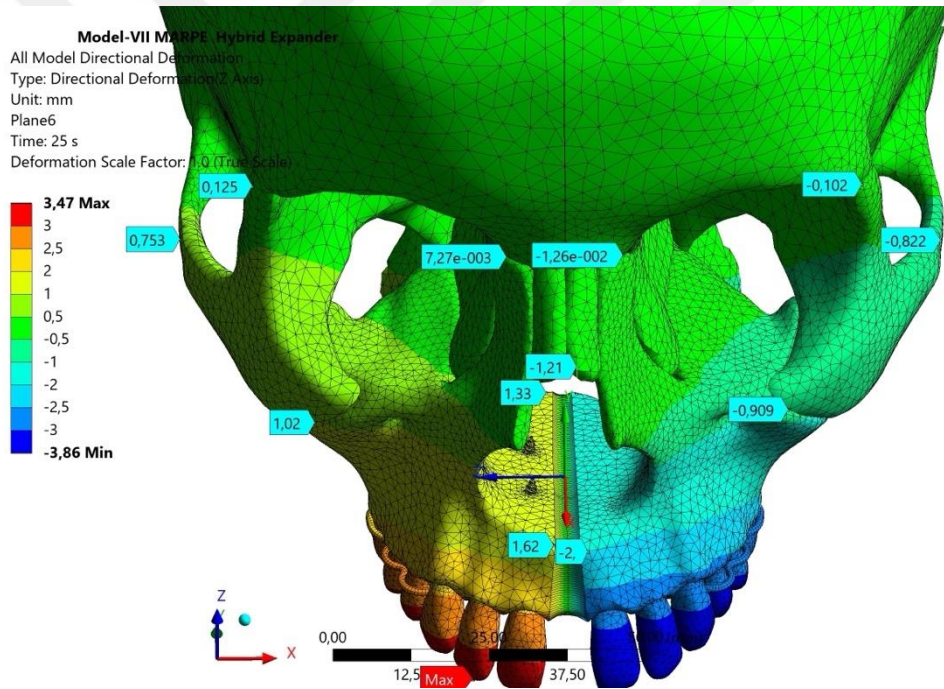
4.7. Model VII'de Meydana Gelen Bulgular

Dört vidalı hibrit genişletme aparey modeli ile yapılan 5 mm'lik genişletme sonrası yer değiştirme dağılımlarına ait bulgular Tablo 4.4'te; 5 mm'lik genişletme sonucu oluşan Von Mises gerilmeleri ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

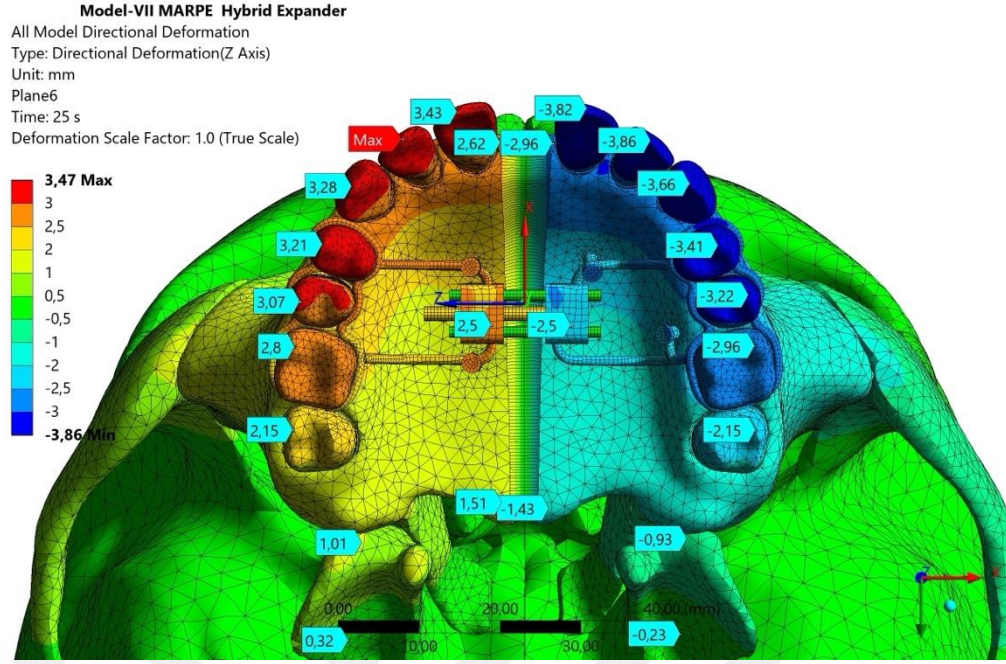
4.7.1. Genişletmeye Ait Yer Değiştirme Miktarları

4.7.1.1. Z Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Model VII'ye ait transversal yönde yer değiştirme miktarları Tablo 4.4'te, Şekil 4.31'de ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Tabloda X eksenini sagittal, Y eksenini vertikal ve Z eksenini transversal düzlemi temsil etmektedir. Pozitif (+) değerler anterior, superior ve sağ lateral yönlü hareketleri; negatif (–) değerler ise posterior, inferior ve sol lateral yönlü yer değiştirmeleri ifade etmektedir.



Şekil 4.31. Model VII; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Frontal)



Şekil 4.32. Model VII; transversal yönde yer değiştirme miktarları (Oklüzal)

Çalışmamızda yedinci modelde dental yapılarda en fazla yer değiştirmenin lateral kesici dişlerde olduğu görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan taraftaki lateral kesici dişte meydana gelen lateral yöndeki yer değiştirme miktarının (-3.86 mm), genişletme gereksinimi olmayan taraftaki lateral kesici dişte (3.47 mm) göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.32).

Çalışmamızda yedinci modelde dental yapılarda lateral yönde meydana gelen yer değiştirmelerin anteriordan posteriora gittikçe azaldığı ve en az yer değiştirmenin ikinci molar dişlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.32).

Çalışmamızda yedinci modelde ankraj alınan dişlerde, genişletme gereksinimi olan tarafta tüberkül tepesinden ölçülen yer değiştirme miktarları birinci premolar dişte (-3.41 mm), ikinci premolar dişte (-3.32 mm) ve birinci molar dişte (-2.96 mm) olarak bulunmuştur. Aynı dişlerin apeks noktasından ölçülen yer değiştirme miktarları ise birinci premolar dişte (-1.54 mm), ikinci premolar dişte (-1.56 mm) ve birinci molar dişte (-1.34 mm) olduğu görülmüştür (Tablo 4.4).

Çalışmamızda yedinci modelde, genişletme gereksinimi olan tarafta PNS noktasında (-1.21 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (-2.0 mm) ölçülen değere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta da benzer şekilde PNS noktasında (1.33 mm) ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme, ANS noktasında (1.62 mm) ölçülen değere göre daha az bulunmuştur. Bu bulgulara göre, ANS

noktasında PNS noktasından daha fazla lateral yönde yer değiştirme olduğu; ayrıca genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında lateral yer değiştirme miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.31).

Çalışmamızda yedinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla medial pterigoid plakta (-0.93 mm), zigomatikomaksiller suturda (-0.909 mm), zigomatik arkta (-0.822 mm), lateral pterigoid plakta (-0.23 mm), frontozigomatik suturda (-0.102 mm) ve frontomaksiller suturda (-0.0126 mm) olduğu görülmüştür (Tablo 4.4).

Çalışmamızda yedinci modelde iskeletsel yapılara ait yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ölçülen değerlerin büyükten küçüğe doğru sırasıyla zigomatikomaksiller suturda (1.02 mm), medial pterigoid plakta (1.01 mm), zigomatik arkta (0.753 mm), lateral pterigoid plakta (0.32 mm), frontozigomatik suturda (0.125 mm) ve frontomaksiller suturda (0.00727 mm) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.4).

4.7.1.2. X Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

Çalışmamızda yedinci modelde, X ekseninde dental yapılardaki yer değiştirme miktarları değerlendirildiğinde anteriordan posteriora gittikçe anterior yönlü yer değiştirmenin azaldığı görülmüştür. En fazla anterior yönlü yer değiştirmenin santral kesici dişlerde olduğu bulunmuştur.

Çalışmamızda yedinci modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak posterior yönde hareket meydana geldiği görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (0.105 mm) ve PNS noktasında (0.24 mm); benzer şekilde genişletme gereksinimi olmayan tarafta da PNS noktasında (0.144 mm) anterior yönde yer değiştirme bulunmuştur (Tablo 4.4).

Çalışmamızda yedinci modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, her iki tarafta da en fazla posterior yönde yer değiştirmenin frontozigomatik suturda, en az posterior yönde yer değiştirmenin ise medial pterigoid plakta olduğu görülmüştür (Tablo 4.4).

4.7.1.3. Y Ekseninde Yer Değiştirme Miktarı

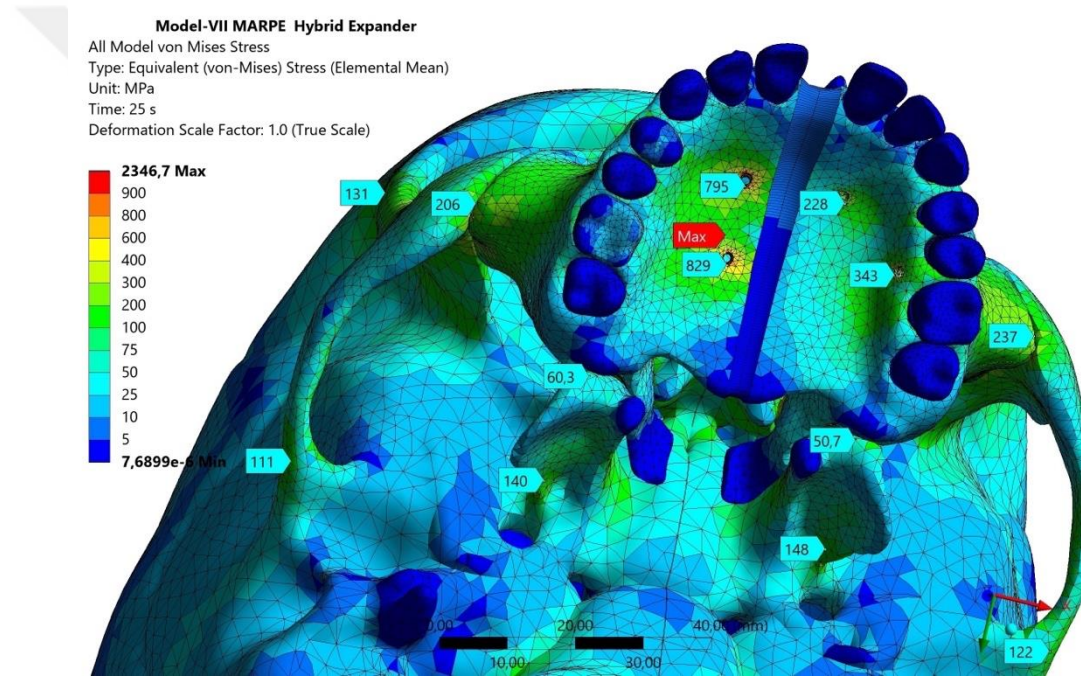
Çalışmamızda yedinci modelde, Y eksenindeki yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, dental yapıların superior yönde yer değiştirme eğiliminde olduğu

görülmüştür. En fazla superior yönde yer değiştirmenin ankraj alınan dişlerde olduğu bulunmuştur. Her iki tarafta da posterior dişlerde anterior dişlere göre daha fazla superior yönde yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.4).

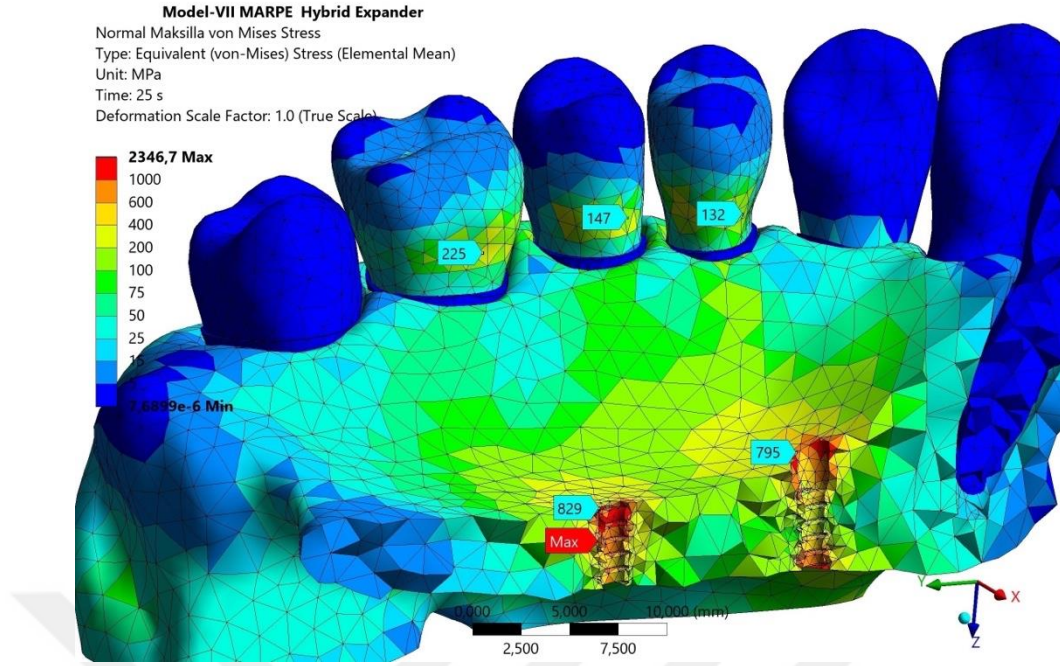
Çalışmamızda yedinci modelde iskeletsel yer değiştirme bulguları incelendiğinde, genel olarak superior yönde yer değiştirme görülmüştür. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta ANS noktasında (-0.0073 mm) ve PNS noktasında (-0.17 mm) inferior yönde yer değiştirme görülmüştür (Tablo 4.4).

4.7.2. Genişletmeye Ait Von Mises Gerilmeleri

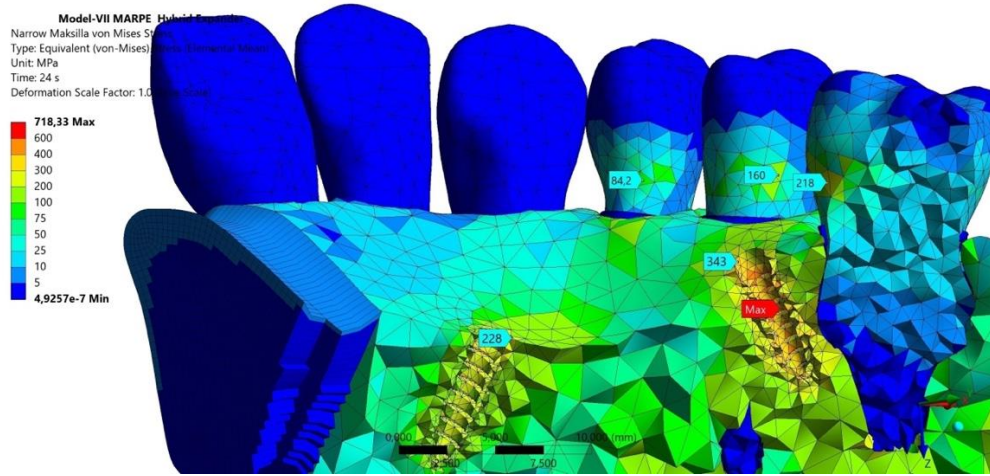
Model VII'ye ait Von Mises gerilme dağılımları Tablo 4.6'da, Şekil 4.33'te, Şekil 4.34'te ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Model-VII; kraniyofasiyal yapı ile mini vida çevresinde Von Mises (MPa) gerilme değerleri (Oklüzal)



Şekil 4.34. Model-VII; genişletme gereksinimi olmayan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri



Şekil 4.35. Model-VII; genişletme gereksinimi olan tarafta, dişlerin ve mini vidaların Von Mises (MPa) gerilme değerleri

Çalışmamızda yedinci modelde ölçülen Von Mises gerilmeleri genel olarak değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan taraftaki iskeletsel yapılarda Von Mises gerilme değerlerinin, genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla artma eğiliminde olduğu görülmüştür (Tablo 4.6).

Çalışmamızda yedinci modelde ölçülen Von Mises gerilmeleri genel olarak değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olmayan taraftaki mini vidalar ve ankraj

alınan dişler üzerinde ölçülen Von Mises gerilme değerlerinin, genişletme gereksinimi olan tarafa kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 4.6).

Çalışmamızda yedinci modelde genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen en yüksek gerilmenin posterior mini vida (343 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla zigomatikomaksiller sutur (237 MPa), anterior mini vida (228 MPa), frontomaksiller sutur (155 MPa), lateral pterigoid plak (148 MPa), zigomatik ark (122 MPa), frontozigomatik sutur (101 MPa), frontonazal sutur (75.1 MPa) ve medial pterigoid plakta (50.7 MPa) oluşan gerilmenin izlediği gözlemlenmiştir. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (218 MPa) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.6).

Çalışmamızda yedinci modelde genişletme gereksinimi olmayan tarafta iskeletsel yapılar ve mini vidalar üzerinde ölçülen en yüksek gerilmenin posterior mini vida (829 MPa) üzerinde olduğu; bunu sırasıyla anterior mini vida (795 MPa), zigomatikomaksiller sutur (206 MPa), frontomaksiller sutur (140 MPa), lateral pterigoid plak (140 MPa), frontozigomatik sutur (131 MPa), zigomatik ark (111 MPa), medial pterigoid plak (60.3 MPa) ve frontonazal suturda (60 MPa) oluşan gerilmenin izlediği görülmüştür. Dental yapılarda ise en yüksek gerilmenin birinci molar dişte (225 MPa) olduğu bulunmuştur (Tablo 4.6).

5. TARTIŞMA

5.1. Amacın Tartışılması

Ortodontide maloklüzyonlar, dikey, sagittal ve transversal olmak üzere üç farklı düzlemde sınıflandırılmakta ve tedavi edilmektedir. Yeterli transversal maksiller boyutun sağlanması; stabil, dengeli ve fonksiyonel açıdan ideal bir oklüzyon elde edilmesi için temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (12, 30). Maksiller darlık, çoğu klinik olguda tek veya çift taraflı posterior çapraz kapanış ile karakterizedir. Toplumdaki prevalansının süt ve karma dişlenme döneminde %8–23 arasında, erişkin bireylerde ise yaklaşık %10 düzeyinde olduğu bildirilmektedir (5, 80, 102, 103).

Tek taraflı posterior çapraz kapanış olguları fonksiyonel ve gerçek olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (30). Gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış ile fonksiyonel çapraz kapanışın ayırt edilmesinde, mandibulanın kapanış yolu boyunca izlenmesinin tanı açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Mandibulanın lateral kayması ile birlikte görülen tek taraflı posterior çapraz kapanış, fonksiyonel çapraz kapanış olarak değerlendirilir (12). Fonksiyonel posterior çapraz kapanış vakalarının erken dönemde tedavi edilmesi önerilmektedir. Tedavi edilmediği takdirde temporomandibular eklemden, iskeletsel yapılarda ve dental yapılarda asimetri gibi değişikliklerin ortaya çıkabileceği belirtilmiştir (12, 60, 96). Fonksiyonel posterior çapraz kapanışın tedavisinde genellikle maksiller arkın simetrik olarak genişletilmesi ve mandibulanın lateral kaymasının önlenmesi hedeflenmektedir (221).

Gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanış, tedavisi güç bir maloklüzyon tipidir ve konvansiyonel genişletme yöntemleriyle düzeltilmesi zordur. Bunun temel nedeni, bu yöntemlerin maksiller dental arkta bilateral genişlemeye yol açarak çapraz kapanış olmayan tarafta iyatrojenik aşırı genişleme oluşturabilmesidir. Bu nedenle gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisinde esas olarak tek taraflı genişletme kuvveti uygulayabilen apareyler ve uygun biyomekanik yaklaşımlar tercih edilmelidir (13, 30). Literatürde gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisine ilişkin verilerin sınırlı olduğu görülmektedir. Yıllar içinde, çapraz kapanış olmayan tarafta istenmeyen aşırı genişlemeyi önlemek amacıyla sınırlı sayıda aparey tasarımı geliştirilmiştir (10, 13, 224).

Binyadil (222), sunduğu vaka raporunda fonksiyonel çapraz kapanışı bulunan 9 yaşındaki erkek hastada, çapraz kapanış olmayan taraftan daha fazla dişten destek alan asimetrik akrilik tasarımına sahip hareketli ekspansiyon apareyini ‘Asymmetrically Split

Acrylic Plate with Jackscrew (ASAPJ)' tanıtmıştır. Bu apareyin fonksiyonel lateral kaymayla birlikte seyreden tek taraflı posterior çapraz kapanışların tedavisinde de kullanılabileceğini bildirmiş olsa da, hareketli bir aparey olması nedeniyle tedavi başarısı doğrudan hasta kooperasyonuna bağlı olmaktadır. Marshall ve ark. (12) NORD genişletme apareyine, genişletme gereksinimi olmayan tarafta mandibular dişlerin lingualine doğru uzanan akrilik ekleyerek darlık bulunmayan tarafta lateral maksiller hareketi sınırlandırmayı amaçlamış ve bu aparey ile tek taraflı ekspansiyon sağlanabileceğini bildirmiştir. Ancak bu apareyde de tedavi başarısı hasta kooperasyonuna bağlı olmaktadır.

Hareketli apareylerin bu sınırlılıkları nedeniyle, tek taraflı posterior çapraz kapanışların tedavisinde daha kontrollü kuvvet aktarımı sağlayabilecek sabit aparey tasarımları da gündeme gelmiştir. Toroglu ve ark. (13) ortalama yaşı 14 olan 18 hastada Quad-helix apareyinin modifiye edilmiş bir versiyonu olan AMEX'i (Asymmetric Maxillary Expansion) tanıtmışlardır. Bu aparey, çapraz kapanış olmayan tarafta mandibular dişlerin lingualine uzanan vertikal uzantısı aracılığıyla mandibular molar ve premolar dişlerden destek almakta ve genişletme gereksinimi olmayan tarafta lateral hareketi sınırlandırmayı amaçlamaktadır. Araştırmacılar, tek taraflı posterior çapraz kapanışa sahip hastalarda genişletme gereksinimi olan tarafta daha fazla, karşı maksiller yarımada ise daha sınırlı genişleme elde edildiğini bildirmişlerdir. Ancak apareyin aktivasyonunun ağız dışında yapılma gerekliliği, kontrol randevularının süresini uzatmakta ve klinik uygulamayı güçleştirmektedir.

İleri ve Başçiftçi (10), tek taraflı posterior çapraz kapanışa sahip, ortalama yaşı 13 yıl olan 21 hastada diş doku destekli akrilik bonded splint tipinde bir aparey olan Asimetrik Hızlı Maksiller Genişletme apareyini (ARME) tanıtmışlardır. Genişletme gereksinimi olmayan tarafta ankrajı artırmak amacıyla akrilik kısım, mandibular dişlerin lingual ve bukkaline doğru uzatılmıştır. Araştırmacılar, tek taraflı çapraz kapanışa sahip adölesanlarda, genişletme istenen tarafta karşı maksiller yarımaya kıyasla daha fazla genişleme elde edildiğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte, diş ve doku destekli bu tür apareylerde kuvvet aktarımının büyük ölçüde dentoalveoler yapılar üzerinden gerçekleşmesi, özellikle erişkin bireylerde iskeletsel etkinin sınırlı kalmasına neden olabilmektedir.

İskeletsel etkinin artırılmasına yönelik güncel yaklaşımlardan biri ise mini vida destekli üst çene genişletme uygulamalarıdır. Dzingle ve ark. (224) tek taraflı posterior çapraz kapanışı bulunan 19 yaşındaki bir hastada U-MARPE apareyini vaka raporu olarak

sunmuştur. Bu tasarımda, genişletme gereksinimi olmayan tarafta ankraj palatal bölgeye yerleştirilen mini vidalarla, genişletme gereksinimi olan tarafta ise diş desteğiyle sağlanmış; araştırmacılar elde edilen genişlemenin iskeletsel ve dentoalveoler etkilerle oluştuğunu bildirmişlerdir. Ancak bu konuda mevcut verilerin büyük ölçüde sınırlı olgu bildirimlerine dayanması, farklı aparey tasarımlarının biyomekanik etkilerinin daha ayrıntılı olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde, erişkinlerde görülen gerçek tek taraflı posterior çapraz kapanışın tedavisinde; maksillada asimetrik genişleme hedefleyen aparey tasarımlarının yeterince incelenmediği görülmektedir. Bu nedenle çalışmamızın temel amaçlarından biri, literatürdeki bu boşluğu gidermek üzere geliştirilen ve tek taraflı posterior çapraz kapanışın düzeltilmesini hedefleyen aparey tasarımlarımızın maksillofasiyal yapılar üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle değerlendirmektir.

Son yıllarda MARPE uygulaması, midpalatal suturun ayrılmasını sağlayarak erişkin bireylerde uygulanabilir bir tedavi seçeneği hâline gelmiştir (247, 248). Yapılan farklı çalışmalarda MARPE tekniğinin başarı oranının %84 ile %87 arasında değiştiği bildirilmiştir (27-29). Bununla birlikte, bazı olgularda midpalatal suturun açılmadığı veya transversal yönde asimetrik üst çene genişlemesi görülebilmektedir (23).

Transversal yönde asimetrik üst çene genişlemesi, maksillanın bir tarafının karşı tarafa göre daha fazla yer değiştirmesiyle ortaya çıkmaktadır (249). MARPE apareyleriyle tedavi edilen hastaların yaklaşık %30–50'sinde transversal düzlemde asimetrik maksiller genişleme görüldüğü bildirilmiştir (250, 251). MARPE tedavilerinde asimetrik maksiller genişlemeye; sirkummaksiller suturların ve çevre yapıların kemik yoğunluğu ile morfolojisindeki bilateral farklılıklar, midpalatal suturun asimetrik konumu ve her iki taraftaki mini vidaların stabilite farklılıkları gibi faktörlerin neden olabileceği belirtilmiştir (249-251).

Cantarella ve ark. (249), MSE apareyi ile yaptıkları çalışmada, maksiller genişleme sonrasında ANS noktasının bir yarısının transversal yönde karşı maksiller yarıya kıyasla 1,1 mm daha fazla yer değiştirdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Kim ve ark. (250), MARPE uyguladıkları ve ortalama yaşı 19 yıl olan 66 hastayı içeren çalışmalarında, olguların %30'unda transversal yönde asimetrik genişlemenin gözlendiğini belirtmiş; bu durumun olası nedenlerinden birinin frontomaksiller suturun tek taraflı ayrılması olabileceğini rapor etmiştir. Elkenawy ve ark. (251) ise MSE apareyi ile gerçekleştirdikleri ve ortalama yaşı 20 yıl olan 31 hastayı kapsayan çalışmalarında,

olguların %50'sinde transversal yönde asimetrik genişleme gözlemlendiğini bildirmiştir. Ayrıca maksiller genişleme sonrasında ANS noktasının bir yarısının, karşı yarısına göre ortalama 2,2 mm daha fazla lateral yönde yer değiştirdiğini bildirmişlerdir. Bu bulgular, MARPE uygulamalarında asimetrik genişlemenin nadir bir komplikasyon olmadığını ve aparey tasarımına ilişkin biyomekanik değişkenlerin tedavi sonuçları üzerindeki etkisinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmamızın bir diğer amacı, MARPE apareylerinde kullanılan mini vida sayısı, konumu ve yerleştirme açısının maksiller genişleme asimetrisi üzerindeki etkilerini ve bu değişkenlerin klinik uygulanabilirliğini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle değerlendirmektir.

Mini vida destekli aparey tasarımlarının yanı sıra, erişkin bireylerde dirençli sutural yapıların etkisini azaltmaya yönelik cerrahi destekli yaklaşımlar da maksiller genişletme tedavilerinde önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Erişkin bireylerde, maksillada genişletme gereksinimi bulunan tarafta uygulanan tek taraflı cerrahi kesinin, tek taraflı posterior çapraz kapanış olgularının tedavisine katkı sağlayabileceği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (15, 16, 252-254). Mevcut çalışmalarda, maksiller genişletme amacıyla farklı aparey tasarımlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu bağlamda çalışmamızın bir diğer amacı, farklı sayı ve konumlarda mini vida içeren MARPE apareyleriyle birlikte uygulanan tek taraflı cerrahi kesinin maksiller genişleme asimetrisi üzerindeki etkisini sonlu elemanlar analizi yöntemiyle incelemektir.

5.2. Materyal ve Metodun Tartışılması

Ortodontik tedavilerde uygulanan kuvvetlerin dişler ve çevre dokular üzerinde oluşturduğu biyomekanik etkilerin doğru biçimde anlaşılması, tedavi başarısı ve tedavi planlamasının öngörülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu etkilerin değerlendirilmesi amacıyla literatürde çeşitli stres analiz yöntemleri kullanılmıştır; ancak bu yöntemlerin karmaşık geometrik yapılarda yeterli sayısal veri sağlayamaması ve biyolojik dokuları tam olarak temsil edememesi önemli sınırlılıklar oluşturmaktadır (255, 256). Bu kısıtlılıklar nedeniyle, karmaşık yapıların incelenmesinde SEA öne çıkan bir yöntem hâline gelmiştir. SEA, incelenen yapıyı küçük ve sonlu sayıdaki elemanlara ayırarak bu yapılarda meydana gelen gerilme ve yer değiştirmeleri sayısal olarak hesaplayan bilgisayar destekli bir analiz tekniğidir (225). Başlangıçta mühendislik alanında geliştirilen bu yöntem, bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemelere paralel olarak

diş hekimliği ve ortodonti alanında da yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır (255, 257). Günümüzde SEA, ortodontik biyomekaniğin kantitatif olarak değerlendirilmesinde güvenilir ve etkin bir araştırma aracı olarak kabul edilmektedir (258-261). Bu doğrultuda, literatürdeki bulgular temel alınarak çalışmamızda da SEA yöntemi tercih edilmiştir.

Ortodontik kuvvetlerin dişler ve çevre destek dokular üzerinde oluşturacağı biyomekanik yanıtın öngörülebilmesi, özellikle asimetrik maksiller darlık vakalarında tedavi stratejisinin rasyonel biçimde planlanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Farklı aparey tasarımlarının ve cerrahi kesi seçeneklerinin aynı anatomik model üzerinde karşılaştırılması, klinik koşullarda etik sınırlamalar, hasta varyasyonu ve standardizasyon güçlükleri nedeniyle çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Buna karşın SEA, bu tür karşılaştırmaların kontrollü, tekrarlanabilir ve standart bir ortamda yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu yönüyle SEA bulguları, klinik protokollerin daha rasyonel biçimde planlanmasına katkı sağlamakta ve olası tedavi sonuçlarına ilişkin öngörü oluşturulmasında önemli bir bilimsel dayanak sunmaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan eleman ve düğüm noktası sayılarının geniş bir aralıkta değiştiği; erken dönem çalışmalarda daha düşük, daha güncel çalışmalarda ise daha yüksek eleman ve düğüm noktalarına sahip modellerin tercih edildiği görülmektedir (156, 163, 262-264). Sonlu elemanlar analizinde eleman ve düğüm noktası sayısının artırılması, daha ayrıntılı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamakla birlikte, çözüm süresini ve bilgisayar işlem kapasitesi gereksinimini artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 2.270.360 düğüm noktası ve 1.334.840 elemandan oluşan modelin, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında yüksek düzeyde ayrıntı ve modelleme kalitesi sunduğu düşünülmektedir.

Ortodonti literatüründe, kraniyofasiyal sistemin karmaşık geometrisi, farklı sınır koşullarının uygulanması ve dokulara ait malzeme özelliklerinin değişkenlik göstermesi nedeniyle sonlu elemanlar analizi çalışmalarında kullanılan materyal parametreleri farklılık gösterebilmektedir. Nitekim kortikal ve spongiyöz kemik dokularına ait Young modülü ve Poisson oranı değerlerinin değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (265-269). Bu çalışmada, literatürde bildirilen çalışmalarla tutarlı olacak biçimde malzeme özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir (245, 246, 270).

Sonlu elemanlar analizinde elde edilen bulguların bilimsel açıdan güvenilir kabul edilebilmesi, modelleme aşamasında kullanılan ağ yapısının yeterli yakınsama düzeyine ulaşmasına bağlıdır. Ağ yakınsamasının sağlanması, eleman boyutu ve sayısındaki değişimlerin analiz sonuçları üzerinde anlamlı bir etki oluşturmamasını temin ederek

sayısal çözümün kararlılığını artırmaktadır. Bu nedenle, yüksek çarpıklık değerlerine sahip veya geometrik açıdan düşük kalite gösteren elemanlardan kaçınılması, elde edilecek sonuçların doğruluğu açısından önem taşımaktadır (163, 271). Bu çalışmada geliştirilen sonlu elemanlar modelinde ortalama çarpıklık değerinin 0,29 olarak elde edilmesi, oluşturulan ağ yapısının sayısal analiz için yeterli kaliteye sahip olduğunu göstermektedir.

SEA çalışmalarında, kraniyofasiyal yapılarda meydana gelen gerilme ve yer değiştirmelerin doğru biçimde değerlendirilebilmesi için kafatasına ait sınır koşullarının genellikle foramen magnum düzeyinde tanımlandığı bildirilmektedir. Bu yaklaşımda foramen magnum başlangıç referans noktası olarak kabul edilmekte ve bu bölgedeki düğüm noktalarında uzaysal üç eksen boyunca oluşabilecek tüm doğrusal ve açısal hareketlerin kısıtlandığı ifade edilmektedir (156, 163, 272). Mevcut çalışmada da sınır koşulları literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu şekilde belirlenmiş; foramen magnum çevresindeki düğüm noktaları sabit kabul edilerek modele entegre edilmiştir.

Çalışmamızda MARPE apareyinde kullanılan mini vidaların klinik koşullarda ortaya koyduğu biyomekanik davranışın daha doğru biçimde temsil edilebilmesi amacıyla mini vida yiv geometrileri dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Ekspansiyon vidasının yirmi aktivasyonuna karşılık gelen toplam 5 mm'lik maksiller genişleme süreci sayısal olarak simüle edilmiştir. Bu yaklaşım, genişletme işlemi sırasında meydana gelen zamana bağlı biyomekanik değişimlerin daha gerçekçi biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu çalışmada, ekspansiyon apareyinin kraniyofasiyal ve maksillofasiyal yapılar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla dinamik analiz yöntemi kullanılmış; böylece modellerin zamanla değişen geçici yükler altındaki yer değiştirme ve gerilme tepkileri değerlendirilebilmiştir.

Maksiller darlık, özellikle geç adölesan ve erişkin bireylerde tedavisi güç bir maloklüzyondur. Büyüme döneminde midpalatal suturun ve maksillofasiyal sutural yapıların düşük direnç göstermesi sayesinde, konvansiyonel diş destekli hızlı maksiller genişletme ile etkili sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak puberte sonrası dönemde midpalatal suturda ve maksillofasiyal sutural yapılarda artan interdigitasyon ile ossifikasyon nedeniyle, maksiller genişletmenin iskeletsel etkisinin azaldığı belirtilmiştir (167, 273). Bu nedenle erişkin bireylerde konvansiyonel maksiller genişletme yöntemleriyle elde edilen genişletme sonrasında dentoalveoler tipping, ankraj alınan dişlerde periodontal doku hasarı, alveoler kemik kaybı, fenestrasyon oluşumu, diş eti

çekilmesi ve uzun dönem stabilite sorunları gibi istenmeyen etkiler daha sık ortaya çıkabilmektedir (169, 170, 172, 274, 275).

Erişkin bireylerde konvansiyonel genişletme apareyleriyle gerçekleştirilen tedavilerde görülebilen istenmeyen etkiler nedeniyle, MARPE apareyleri postpubertal adölesanlar ve erişkin bireyler için önemli bir tedavi alternatifi hâline gelmiştir. MARPE apareylerinin konvansiyonel RME apareylerinden temel ayırt edici özelliği, maksiller genişletme sırasında mini vidaların iskeletsel ankraj olarak kullanılmasıdır. Mini vidalar aracılığıyla genişletme kuvvetleri doğrudan palatal kemiğe iletilmekte; böylece midpalatal suturun ayrılması kolaylaşmakta ve sirkummaksiller suturlara daha etkin kuvvet iletimi sağlanmaktadır (17, 170, 276, 277).

MARPE apareyleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda, konvansiyonel genişletme apareylerine kıyasla ankraj alınan dişlerde daha az dental tipping, daha sınırlı bukkal alveoler kemik kaybı ve daha düşük kök rezorpsiyonu görüldüğü; buna karşılık daha fazla iskeletsel genişleme sağlandığı bildirilmiştir (170, 278-281). Bununla birlikte, aparey tasarımı ve bireysel farklılıklara bağlı olarak ankraj dişlerinde dental tipping ve rezorpsiyon, alveoler kemik hacminde azalma, asimetrik genişleme ile mini vidalar çevresinde inflamasyon, yumuşak doku hiperplazisi, mini vida mobilizasyonu ve deformasyonu gibi istenmeyen etkilerin de ortaya çıkabileceği rapor edilmiştir (223, 281-283).

Bu bilgiler doğrultusunda çalışmamızda MARPE apareyi tercih edilmiştir. Bu aparey, her iki tarafta posterior bölgede premolar ve birinci molar dişlerden destek almakta ve palatal bölgeye yerleştirilen mini vidalar aracılığıyla ek iskeletsel ankraj sağlamaktadır. Bu hibrit ankraj yaklaşımı, literatürde tanımlanan ve klinik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen MARPE aparey tasarımları ile uyumludur (28, 284-286).

Palatal bölgede mini vidaların yerleştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda, insiziv kanal dışındaki median ve paramedian palatal bölgeler; yeterli kortikal kemik kalınlığı, yüksek kemik yoğunluğu, uygun keratinize mukoza varlığı ve nörovasküler yapılardan uzak konumları nedeniyle stabil ve güvenli yerleşim alanları olarak kabul edilmektedir. Anterior damak bölgesi, daha büyük çap ve uzunluktaki mini vidaların yerleştirilebilmesine olanak sağlaması ve buna bağlı olarak daha yüksek primer stabilite sunması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir (287, 288). Bernhart ve ark. (198), mini vida yerleşimi için en uygun alanı insiziv foramenin 6–9 mm palatinali ve midpalatal suturun 3–6 mm laterali olarak tanımlamıştır. King ve ark. (199) ise bu konumu insiziv foramenin 4 mm palatinali ve midpalatal suturun 3 mm laterali olarak bildirmiştir.

Mini vidaların posterior palatal bölgeye uygulanmasına yönelik yapılan çalışmalarda, Kim ve ark. (202), palatinal interradiküler bölgelerde yumuşak doku kalınlığının mine-sement sınırından apikale doğru kademeli olarak arttığını göstermiştir. Ayrıca palatinal kortikal kemik kalınlığının, 1. ve 2. premolarlar arası bölge ile 1. ve 2. molarlar arası bölgede mine-sement sınırından 6 mm apikalde en yüksek düzeye ulaştığı; 2. premolar ile 1. molar arasındaki bölgede ise en yüksek değerin mine-sement sınırından 2 mm apikalde saptandığını bildirmiştir. Bölgede yer alan önemli damar ve sinir yapıları göz önünde bulundurulduğunda, mini vidaların alveoler kret ile kök uçları arasındaki mesafenin yaklaşık 1/2–1/3'lük bölümüne ve kortikal kemiğe dik açıyla yerleştirilmesinin güvenlik açısından daha uygun olduğu belirtilmiştir (203).

Literatürde, ortodontik mini vidaların çap ve boyutlarının primer stabilite üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, mini vida çapının 1 mm'nin altında olmasının primer stabiliteyi olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (179). Mini vida çapındaki artış ile primer stabilite arasında pozitif bir ilişki bulunduğu da çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (178-180). Pimentel ve ark. (289), 1,8 mm, 2,0 mm ve 2,2 mm çaplı mini vidaların, orta hat palatal suturun ayrılması sırasında uygulanan kuvvet düzeylerine karşı yeterli mekanik dayanıklılık sergilediğini rapor etmişlerdir. MARPE aпараты ile yapılan farklı çalışmalarda, standart ankraj vidalarına kıyasla daha uzun ve daha geniş çaplı mini vidalar tercih edilmiştir (284, 290).

Bu literatür bilgileri doğrultusunda çalışmamızda, çapı 2,0 mm ve uzunluğu 12 mm olan mini vidalar tercih edilmiştir. İlk altı modelde anterior mini vidalar, 3. palatal ruga seviyesinde ve midpalatal suturun 3 mm distalinde konumlandırılmıştır. Posterior mini vidalar ise birinci molar ile ikinci premolar diş kökleri arasına, mine-sement sınırından 6 mm apikalde ve palatal kortikal kemiğe dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yedinci modelde, genişletme gereksinimi olan taraftaki mini vida yerleşimleri diğer modellerle aynı tutulmuş; genişletme gereksinimi olmayan tarafta ise anterior mini vida pozisyonu korunarak yalnızca yerleştirme açısı koronal düzleme dik olacak şekilde düzenlenmiştir. Posterior mini vida ise birinci molar hizasında midpalatal suturun 3 mm distalinde ve koronal düzleme dik olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Maksiller genişletme sırasında ortaya çıkan direnç bölgelerinin doğru anlaşılması, özellikle erişkin bireylerde cerrahi destek gereksiniminin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Maksillanın genişlemesine karşı oluşan direncin kaynağına ilişkin literatür incelendiğinde, bu direncin uzun süre boyunca midpalatal sutur ile ilişkilendirildiği görülmektedir (291, 292). Bu yaklaşım doğrultusunda, cerrahi destekli hızlı üst çene

genişletmesinde ilk cerrahi müdahalelerin midpalatal suturu hedef aldığı bilinmektedir (293). Ancak daha sonraki çalışmalar, maksillanın transversal yönde genişlemesine karşı oluşan direncin tek bir anatomik yapı ile açıklanamayacağını ortaya koymuştur (156, 163, 218, 272).

Bell ve Epker (218), erişkinlerde cerrahi destek olmaksızın uygulanan maksiller genişletmenin sınırlı kalmasında, özellikle zigomatikomaksiller ve pterigomaksiller artiklasyonların primer direnç bölgeleri olduğunu belirtmiştir. Maksiller genişletmenin kraniyofasiyal yapılar da oluşturduğu stres dağılımı sonlu elemanlar analizi ile de incelenmiş; Işeri ve ark. (156) hızlı maksiller genişletme sırasında en yüksek gerilme yoğunluğunun sfenoid kemiğin pterigoid plaklarında, özellikle kranial kaideye yakın superior bölgede oluştuğunu göstermiştir. Farklı sonlu elemanlar analizi çalışmalarında da maksiller genişletmeye karşı oluşan başlıca direncin apertura piriformis, zigomatik buttress, pterigomaksiller birleşim çevresinde yoğunlaştığı gösterilmiştir (294, 295).

Bu doğrultuda, günümüzde SARME yaklaşımları; midpalatal sutur, lateral maksiller duvarlar ve zigomatik kompleks başta olmak üzere, kraniyofasiyal iskelette genişlemeye karşı primer direnç oluşturan anatomik bölgeleri hedef alacak şekilde çeşitlenmiştir (110, 174, 181, 296). Ancak bu yaklaşımlar içerisinde pterigomaksiller bileşkenin cerrahi olarak ayrılıp ayrılmaması, literatürde halen tartıřmalđ bir alan olmaya devam etmektedir. SARME prosedüründe pterigomaksiller bilekş ayrımının rutin olarak uygulanmasının zorunlu olduğuna dair kesin bir görüş birliği bulunmamaktadır (84, 118, 220, 297, 298).

Glassman ve ark. (220) nerdikleri konservatif cerrahi teknikte, midpalatal sutur ve pterigomaksiller fissür ayrımı yapılmaksızın apertura piriformisten başlayıp zigomatikomaksiller buttress boyunca uzanan lateral maksiller kortikotomi uygulamış; bu yaklaşımla daha düşük morbidite ile maksiller genişleme sağlanabildiğini bildirmişlerdir. Bu bilgiler doğrultusunda çalışmamızda, genişletme gereksinimi bulunan tarafta maksiller direncin seçici olarak azaltılması amacıyla Model I, II ve III'te median ve lateral osteotomi uygulanmış; karşı maksiller yarım da ise herhangi bir cerrahi kesi yapılmamıştır.

5.3. Bulguların Tartışılması

Çalışmamızda modellere ait yer değiştirme ve Von Mises gerilme değerleri birlikte değerlendirildiğinde; mini vida sayısı, mini vidaların yerleştirilme bölgesi, mini vida yerleşimlerinin simetrik ya da asimetrik olması ve maksillaya cerrahi kesi

uygulanması gibi faktörlerin, üst çene genişletmesi sırasında dental ve iskeletsel yapılarda oluşan yer değiştirme ile gerilme değerlerinin hem büyüklüğünü hem de maksilla üzerindeki genel dağılımını etkileyebildiği görülmüştür.

Çalışmamızdan elde edilen bulgular doğrultusunda, Model I, II ve III'e ait yer değiştirme analizleri X, Y ve Z eksenleri açısından incelendiğinde, bu modellerde genişletme gereksinimi olan tarafta ankraj alınan dişlerde tippingin azaldığı ve maksiller yarımalar arasındaki asimetrik yer değiştirmenin arttığı saptanmıştır. Von Mises gerilme dağılımı açısından değerlendirildiğinde ise Model I'de gerilimin daha homojen yayıldığı, özellikle ankraj dişler ile alveoler kemik çevresinde lokal gerilme piklerinin azaldığı belirlenmiştir.

Çalışmamızda Model V ve Model VII'nin, cerrahi kesi uygulanan modellere kıyasla daha sınırlı düzeyde olmakla birlikte, kullanılan MARPE apareyinin mini vida sayısı ve mini vida konumuna bağlı olarak maksiller yarımalar arasında asimetrik yer değiştirmelere yol açabildiği görülmüştür. Bu modellerde, özellikle tek taraflı darlık olgularında istenilen tarafta elde edilecek genişleme miktarının kontrolünün cerrahi kesi uygulanan modellere göre daha az öngörülebilir olduğu ve ankraj alınan dişlerde paralel hareketin azaldığı belirlenmiştir. Öte yandan, çift taraflı maksiller darlık bulunan ancak bir tarafın diğerine kıyasla daha fazla genişletme gereksinimi gösterdiği olgularda Model VII'nin alternatif bir klinik seçenek olarak değerlendirilebileceği düşünülmüştür. Bu modelde, uygun mini vida konfigürasyonu ile genişleme miktarının belirli ölçüde yönlendirilebildiği; ancak bu kontrolün cerrahi kesi uygulanan modellere kıyasla daha sınırlı kaldığı gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, tek taraflı darlık olgularında cerrahi kesinin genişletme gereksinimi olan tarafa uygulandığı modellerin biyomekanik açıdan daha öngörülebilir ve güvenli sonuçlar sunduğu; bir tarafın daha fazla genişletme gereksinimi gösterdiği çift taraflı darlık olgularında ise Model VII'nin uygun hasta seçimiyle alternatif bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Hızlı üst çene genişletme sırasında maksillanın frontal düzlemde ayrılma paternine ilişkin klinik çalışmalar, radyolojik incelemeler ve sonlu eleman analizleriyle yapılan çalışmaların ortak bulgusu; transversal yönde genişlemenin tepesi nazal bölgeye uzanan ve tabanı santral dişlerin insizalinde konumlanan üçgen şeklinde bir ayrılma paterni gösterdiği yönündedir (299, 300). Çalışmamızda incelenen yedi modelin altısında (Model I, II, III, IV, V ve VII) gözlenen ayrılma paterni, literatürde tanımlanan bu üçgensel genişleme modeliyle uyumlu bulunmuştur. Buna karşılık Model VI'da frontal düzlemde belirgin bir ayrılma paterni izlenmemiştir. Model VI'da üçgensel genişleme paterninin

belirginleşmemesi, genişletme gereksinimi olan tarafta ankraj desteğinin yetersiz kalmasına bağlı olarak genişletme kuvvetlerinin iskeletsel yapılara etkin biçimde iletilmemesi ve buna bağlı olarak iskeletsel katkının sınırlanmasıyla açıklanabilir. Bu durumda genişlemenin daha çok dentoalveoler yapılar üzerinde etkili olması beklenmektedir. Nitekim geç adölesanlar ve erişkinlerde MARPE'nin etkinliğini değerlendiren yakın tarihli bir meta-analizde, midpalatal sutur ayrılmasının azaldığı ya da başarısız olduğu durumlarda genişletme kuvvetinin ankraj dişleri üzerinde yoğunlaşabildiği; bunun dental yan etkileri artırabileceği ve iskeletsel katkı azaldıkça ankraj alınan dişlerde devrilme eğiliminin daha belirgin hâle geldiği vurgulanmıştır (212). Çalışmamızdaki model VI'da gözlenen bu bulgu, midpalatal sutur ayrılmasının sınırlanmasıyla kuvvetlerin daha çok dentoalveoler yapılara aktarılması ve frontal düzlemde beklenen üçgensel ayrılma paterninin ortaya çıkmaması ile uyumlu görünmektedir.

Çalışmamızda Model IV'te iskeletsel yapılarda Z ekseninde ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, en fazla lateral yönde yer değiştirmenin anterior ve posterior nazal spinadan sonra zigomatikomaksiller suturda meydana geldiği ve bu artışın her iki tarafta da benzer büyüklükte olduğu görülmüştür. Buna karşılık, frontozigomatik ve frontomaksiller suturlarda ölçülen yer değiştirme miktarları daha düşük bulunmuştur. Bu yer değiştirme dağılımı, maksillofasiyal yapılarda genişlemenin inferior bölgelerde daha belirgin olduğunu ve superiora doğru gidildikçe genişleme miktarının azalma eğilimi gösterdiğini bildiren önceki çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (23, 28, 301).

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan Model I, II ve III'te iskeletsel yapılarda Z eksenindeki transversal yer değiştirme bulguları değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta zigomatikomaksiller sutur, frontomaksiller sutur ve zigomatik arkta ölçülen değerlerin, genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla daha düşük olduğu bulunmuştur. Ancak bu farklılığın cerrahi kesi hattının değerlendirme yapılan maksillofasiyal noktaların inferiorunda konumlanmasına bağlı olarak oluştuğu düşünülebilir. Aynı modellerde genişletme gereksinimi olmayan tarafta cerrahi kesi uygulanmamış olması, cerrahi kesi yapılmayan tarafta maksiller kompleksin daha rijit bir yapı olarak kalmasına neden olmaktadır. Bu rijitlik, uygulanan genişletme kuvvetlerinin maksillofasiyal suturlara daha etkin iletilmesine ve cerrahi kesi yapılmayan tarafta kesi hattının üzerindeki incelenen sutural yapılarda daha yüksek lateral yönde yer değiştirme değerlerinin bulunmasına neden olmuş olabilir. Nitekim Ulusoy ve Doğan (302) tarafından gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizinde, tek taraflı kortikotomi uygulanan

modellerde gerilmenin kortikotomi hattının superiorunda azaldığı, buna karşılık kortikotomi uygulanmayan tarafta ise superior yöndeki iskeletsel yapılarda daha yüksek gerilme değerlerinin olduğu rapor edilmiştir.

Çalışmamızda Model V'te iskeletsel yapılarda Z ekseninde ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, zigomatikomaksiller sutur ve zigomatik ark düzeylerinde ölçülen değerlerin büyüklük açısından Model IV ile benzer düzeylerde olduğu görülmüştür. Buna karşın, aynı modelde anterior ve posterior nazal spina noktalarında izlenen daha sınırlı ve asimetric genişleme bulguları birlikte değerlendirildiğinde, genişletme kuvvetlerinin midpalatal suturun ayrılmasına katkısının azaldığı ve simetrik açılma paterninin bozulduğu görülmüştür. Bu durum, uygulanan kuvvetlerin bir bölümünün dentoalveoler ve iskeletsel yapılar tarafından asimetric karşılandığını göstermektedir. Bu doğrultuda, Model IV'e kıyasla Model V'te genişlemenin iskeletsel katkısının azaldığı ve dentoalveoler etkinin artmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızda Model VI'da iskeletsel yapılarda Z ekseninde ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, değerlerin tüm modeller arasında en düşük düzeylerde kaldığı ve genişletme gereksinimi olan taraf ile olmayan taraf arasında belirgin bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. Bu bulgu, genişleme kuvvetinin büyük ölçüde dentoalveoler yapılar tarafından karşılandığını ve üst çene genişletmesinde iskeletsel katkının en sınırlı olduğu senaryonun Model VI olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda Model VII'de iskeletsel yapılarda Z ekseninde ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, bulguların hem büyüklük hem de genel açılma paterni açısından Model IV ile benzer olduğu görülmüştür. Zigomatikomaksiller sutur, zigomatik ark, frontozigomatik ve frontomaksiller sutur düzeylerinde genişletme gereksinimi olan ve olmayan taraflar arasında klinik açıdan anlamlı sayılabilecek bir farklılık saptanmamıştır. Buna karşılık, daha inferior yerleşimli yapılar olan anterior ve posterior nazal spina noktalarında genişletme gereksinimi olan tarafta daha yüksek lateral yönde yer değiştirme değerlerinin gözlenmesi, asimetric genişleme paterninin daha çok inferior yapılarda belirginleştiğini ve bu etkinin daha superior konumdaki maksillofasiyal yapılara doğru bu etkinin azaldığını bildiren çalışmalar ile uyumludur görülmüştür (251).

Çalışmamızda tüm modellerde, incelenen posterior yapılarda her iki maksiller yarımda da lateral yönde yer değiştirme miktarlarının sınırlı kaldığı görülmüştür. Ayrıca cerrahi kesi uygulanmayan modellerde mini vida sayısının azaltılması ile bu değerlerin azalma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Model I, II ve III'te cerrahi kesi uygulanmasına

rağmen posterior yapılarda yer değiştirmenin sınırlı kalması, çalışma protokolünde pterigoid plakların doğrudan disartikülasyonunu hedefleyen ek bir osteotomi basamağının planlanmamış olmasıyla ilişkili olabilir. Bu çerçevede elde edilen bulgular, erişkin bireylerde pterigomaksiller bölgenin posterior segmentte genişletme kuvvetlerine karşı başlıca direnç alanlarından birini oluşturduğunu ve daha paralel bir genişleme paterninin sağlanmasında pterigomaksiller disartikülasyonun belirleyici olabileceğini bildiren çalışmalarla uyumlu görünmektedir (18, 303).

MARPE ile yapılan çalışmalarda midpalatal suturun ayrılma paterni konusunda literatürde net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Nitekim bazı çalışmalarda midpalatal suturda anteroposterior yönde paralel bir genişleme paterni rapor edilirken (249, 304), “V” şeklinde üçgensel bir ayrılma paterni bildiren çalışmalar da mevcuttur (29, 248, 305). Bu farklılığın; genişletme apareyinin maksillanın direnç merkezine göre konumu ve cerrahi destekli uygulamalarda pterigomaksiller bileşkenin ayrılmasının yapılıp yapılmaması gibi biyomekanik ve cerrahi faktörlerle ilişkili olabileceği bildirilmektedir (18, 249, 306-308).

Çalışmamızda tüm modellerde genişletme vidası ikinci premolar ve birinci molar dişler hizasına yerleştirilmiştir. Model IV ve VII’de, literatürde dört vidalı MARPE apareylerinde midpalatal suturda paralel genişleme bildiren çalışmalardan farklı olarak “V” şeklinde üçgensel bir ayrılma paterni görülmüştür. Model IV ve VII’de “V” şeklinde üçgensel ayrılma paterninin görülmesi, genişletme vidasının maksillanın direnç merkezinin anteriorunda konumlandırılmış olmasıyla ilişkili olduğu düşünülebilir. Cantarella ve ark. (249), genişletme vidası ile mini vidaların maksiller birinci molarlar arasına konumlandırıldığı MARPE çalışmalarında genişletme kuvvetlerinin maksillanın direnç merkezine yaklaşmasına bağlı olarak midpalatal suturda daha paralel bir ayrılma paterninin ortaya çıktığını bildirmiştir. Jia ve ark. (248) ise genişletme vidası ve mini vidaların birinci molar dişlerin anterioruna yerleştirildiği aparey tasarımlarında, midpalatal suturda posterior bölgedeki ayrılmanın anterior bölgeye kıyasla daha sınırlı olduğu “V” şeklinde üçgensel bir sutur ayrımı rapor etmiştir. Çalışmamızda dört mini vidalı Model IV ve VII’de midpalatal suturun ayrılma paternine ilişkin elde edilen bulgular, Jia ve ark.’nın bildirdiği bulgularla uyumludur.

Gürsu ve Şimşek (294), yaptıkları sonlu elemanlar analizi çalışmasında, pterigomaksiller bileşke ayrımı yapılmayan SARME modellerinde midpalatal suturda transversal düzlemde “V” şeklinde üçgensel bir ayrılma paterni oluştuğunu; pterigomaksiller bileşke ayrımı uygulandığında ise paralel genişleme paterni

görüldüğünü göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumlu olarak, çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III) gözlenen belirgin “V” şeklindeki üçgensel ayrılma paterninin, pterigomaksiller bileşke ayrımı yapılmayan SARME modellerinde midpalatal suturda gözlenen transversal ayrılma modeliyle uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmamızda model V ve model VI oklüzal düzlemden incelendiğinde midpalatal suturda gözlenen ayrılmanın dört mini vidalı ve cerrahi kesi eklenen modellere kıyasla daha sınırlı olduğu görülmüştür. Üç mini vidalı Model V ve iki mini vidalı Model VI’da yeterli iskeletsel genişlemenin sağlanamaması, temel olarak erişkin bireylerde iskeletsel genişletme için gerekli ankraj desteğinin yetersiz kalmasıyla ilişkili olabilir. Nitekim ankraj desteği yeterli olmayan tasarımlarda mini vidalarda eğilme, gevşeme ve yer değiştirme gibi başarısızlıkların ortaya çıkabildiği ve bunun MARPE’nin etkinliğini azaltabileceği bildirilmiştir (309).

Literatürde MARPE uygulamalarında, transversal yöndeki asimetric genişlemenin özellikle santral kesici dişler bölgesinde ve anterior nazal spina noktasında belirginleştiği bildirilmiştir (249-251). Bu doğrultuda çalışmamızda bazı modellerde (Model I, II, III, V ve VII), cerrahi kesi uygulanması ile mini vida sayısı ve yerleşim bölgesindeki farklılıklara bağlı olarak anterior nazal spina noktası ve santral kesici dişler düzeyinde, genişletme gereksinimi olan tarafta genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla daha fazla transversal yönde yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), anterior ve posterior nazal spina noktalarında Z eksenindeki yer değiştirmeler incelendiğinde, cerrahi kesi yapılan tarafta anterior nazal spina noktasındaki yer değiştirmenin karşı maksiller yarıma göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bulgularımızla uyumlu olarak, tek taraflı cerrahi kesi uygulanan çalışmalarda da kortikotomi yapılan tarafta genişletme kuvvetlerine karşı direncin azaldığı ve buna bağlı olarak genişlemenin cerrahi kesi yapılan tarafta daha fazla gerçekleştiği rapor edilmiştir (252, 302). Cerrahi kesi uygulanan modeller (Model I, II ve III) kendi içinde değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta anterior nazal spina noktasında en fazla yer değiştirmenin Model I ve Model III’te, en az yer değiştirmenin ise Model II’de olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, genişletme gereksinimi olan tarafta posterior nazal spina noktasındaki yer değiştirme miktarı büyüklük sırasına göre Model I, Model II ve Model III şeklinde dağılım göstermiştir. Bu bulgular, cerrahi kesi uygulanan tarafta mini vida desteğinin

azaltılmasının PNS noktasındaki genişlemeyi azalttığını ve “V” şeklindeki üçgensel ayrılma paternini daha belirgin hâle getirdiğini göstermektedir

Çalışmamızda cerrahi kesi uygulanmayan modellerde (Model IV, V, VI ve VII), anterior ve posterior nazal spina noktalarında Z ekseninde yer değiştirmeler incelendiğinde, Model IV’te anterior ve posterior nazal spina noktasında her iki maksiller yarımda büyüklük ve dağılım açısından simetrik bir ayrılma paterninin olduğu görülmüştür. Buna karşılık Model V ve Model VII’de, genişletme gereksinimi olan tarafta anterior nazal spina noktasındaki transversal yer değiştirme değerlerinin, tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellere kıyasla daha düşük olmakla birlikte, genişletme gereksinimi olmayan tarafa göre daha fazla lateral yönde yer değiştirdiği belirlenmiştir. Model V’te anterior nazal spina noktasında gözlenen bu asimetrinin, maksiller yarım arasında mini vida sayısının eşit olmaması nedeniyle genişletme gereksinimi olan tarafta ankraj desteğinin azalması ve kuvvet aktarımının iki maksiller yarım arasında farklılaşmasıyla ilişkili olabileceğini düşünmekteyiz. Model VII’de ise mini vidaların konum ve yerleştirme açılarının değiştirilmesiyle, genişletme gereksinimi olmayan taraftaki mini vidalarda oluşan Von Mises gerilme değerlerinin karşı maksiller yarımdaki mini vidalara göre belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Bu durum, genişletme kuvvetlerinin maksillanın iki yarımı arasında farklı bir dağılım gösterdiğini ve buna bağlı olarak genişletme gereksinimi olan tarafta, genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla maksillofasiyal suturlarda ölçülen Von Mises gerilme değerlerinde genel bir artış oluşturduğunu göstermektedir. Bu bulgular, tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde ortaya çıkan belirgin asimetriden farklı olarak, MARPE uygulamalarında mini vida sayısı ile mini vidaların konumu ve yerleştirme açısına bağlı olarak daha sınırlı düzeyde ancak dikkate alınması gereken bir asimetrik genişleme yanıtının gelişebileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), santral kesici dişlerde Z ekseninde ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi bulunan taraftaki santral kesici dişin karşı taraftaki santral kesici dişe kıyasla daha fazla lateral yönde yer değiştirdiği görülmüştür. Bu bulgu, maksillaya tek taraflı cerrahi kesi uygulanmasının asimetrik transversal genişlemeyi artırabileceğini bildiren önceki çalışmalarla uyumludur. (15, 252).

Çalışmamızda cerrahi kesi uygulanmayan modellerde (Model IV, V, VI ve VII), santral kesici dişler bölgesinde Z eksenindeki yer değiştirmeler incelendiğinde, dört mini vidalı ve simetrik ankraj konumlarına sahip Model IV’te her iki maksiller yarımda santral

kesici bölgesinde benzer büyüklükte yer değiştirme değerleri gözlenmiştir. Bu bulgu, çalışmamıza benzer şekilde yürütülen sonlu elemanlar analizi çalışmalarıyla uyumlu bulunmuştur (223). Model VI'da santral kesici düzeyinde maksiller yarımalar arasında istenilen yönde bir fark gözlenmemesi, bu senaryoda iskeletsel yapılarda yeterli genişlemenin sağlanamaması ve genişlemenin daha çok ankraj alınan dişler üzerinde etkili olmasıyla ilişkilendirilebilir. Model V ve Model VII'de ise santral kesici seviyesindeki taraflar arası farkın cerrahi kesi uygulanan modellerdeki kadar belirgin olmaması, cerrahi kesi olmaksızın oluşturulan asimetrik ankraj ve mini vida konumlarının daha sınırlı düzeyde asimetrik genişlemeye neden olabileceğini göstermektedir. Genel olarak bu bulgular, santral kesici dişler seviyesinde gözlenen asimetrik dental genişlemenin tek taraflı cerrahi kesi uygulandığında belirginleştiğini; cerrahi kesi uygulanmayan modellerde ise ankraj tasarımı ve kuvvet iletimine bağlı olarak bu asimetrinin daha sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde, hızlı üst çene genişletmesi sırasında dental yapılarda transversal yer değiştirmenin genel olarak anteriordan posteriora doğru azaldığını bildiren çalışmalarla uyumlu olarak, en az lateral yönde yer değiştirme ikinci molar dişlerde izlenmiştir.(294)

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III) ikinci molar dişler düzeyinde elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, bu modellerde genişletme gereksinimi olmayan tarafta ikinci molar dişlerde ölçülen transversal yöndeki yer değiştirme değerlerinin, cerrahi kesi uygulanmayan modellere kıyasla daha sınırlı kaldığı izlenmiştir. Yetişkin bireylerde maksillaya tek taraflı cerrahi kesi uygulanmasının, genişletme gereksinimi bulunan tarafta transversal genişlemenin artmasına; diğer maksiller yarımada ise posterior dental yapılarda daha sınırlı harekete neden olmuştur.

Çalışmamızda modeller kendi içerisinde değerlendirildiğinde (Model I, II, III, V, VI, VII), genişletme gereksinimi bulunan tarafta ankraj alınan dişlerde ölçülen lateral yönlü yer değiştirmelerin, genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Yetişkin bireylerde maksillaya tek taraflı cerrahi kesinin yapılması, maksiller yarımada tek taraflı mini vida ankrajının azaltılması ve mini vidaların asimetrik yerleştirilmesi, ankraj alınan dişlerde yer değiştirmelerin hem büyüklüğünü hem de hareketin türünü değiştirdiği görülmüştür.

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), genişletme gereksinimi bulunan tarafta ankraj alınan dişlerde hem bukkal tüberkül tepesinden ölçülen transversal yer değiştirme miktarlarının hem de apeks noktasından

elde edilen yer değiştirme değerlerinin, karşı maksiller yarımına kıyasla daha yüksek olduğu izlenmiştir. Ayrıca bu modellerde, bukkal tüberköl tepesinden yapılan ölçümler ile apeks noktasından elde edilen ölçümler arasındaki farkın daha sınırlı olması, genişletme gereksinimi bulunan tarafta ankraj alınan dişlerde devrilme eğiliminin azaldığını göstermektedir. Çalışma bulgularımızla uyumlu olarak, Karabiber ve ark. (252) osteotominin uygulandığı maksiller yarımında ankraj alınan dişlerde ortaya çıkan dental tipping miktarının, karşı maksiller yarımına kıyasla daha sınırlı düzeyde kaldığını bildirmiştir. Yazarlar, maksiller yarımın arasında gözlenen bu farklılığın; midpalatal sutur ayrılması gerçekteşmeden önce genişletme kuvvetlerinin öncelikli olarak ankraj dişleri üzerinde yoğunlaşmasına bağlı olarak dişsel yan etkilerin belirginleşmesiyle ilişkili olabileceğini vurgulamıştır. Çalışma bulgularımıza benzer şekilde Mossaz ve ark. (15) ile Shivapuja ve ark. (16) tarafından bildirilen vaka raporlarında da tek taraflı kortikotomi eşliğinde konvansiyonel hızlı maksiller genişletme uygulanan olgularda, cerrahi girişimin yapıldığı tarafta dişlerin midpalatal sutura göre yer değiştirme miktarlarının karşı maksiller yarımına oranla daha belirgin olduğu gösterilmiştir.

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi yapılan modeller (Model I, II ve III) kendi içinde değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi bulunan tarafta ankraj alınan dişlerde bukkal tüberköl tepesinden yapılan ölçümler ile apeks noktasından elde edilen ölçümler arasındaki farkın en az Model I’de olduğunu, bunu sırasıyla Model II ve Model III’ün izlediği görölmüştür. Elde edilen bulgular, maksillada tek taraflı cerrahi kesi varlığına karşın, genişletme gereksinimi bulunan tarafta mini vida desteğinin artırılmasının, ankraj alınan dişlerde devrilme eğilimini azalttığını göstermektedir.

Çalışmamızda cerrahi kesi yapılmayan modellerde (Model V, VI ve VII), genişletme gereksinimi bulunan maksiller yarımında ankraj alınan dişlerde ölçülen lateral yönlü yer değiştirmelerin, karşı maksiller yarımındaki ankraj alınan dişlere kıyasla daha fazla olduğu görölmüştür. Bu modeller, tek taraflı cerrahi kesi içeren Model I, II ve III ile karşılaştırıldığında; genişletme gereksinimi olan tarafta ankraj alınan dişlerde, bukkal tüberköl tepesinden elde edilen transversal yer değiştirme değerleri ile apeks seviyesinde ölçülen yer değiştirmeler arasındaki farkın daha belirgin hâle geldiği görölmüştür. Bu bulgu, maksillada cerrahi olarak zayıflatma yapılmayan modellerde genişletme kuvvetlerinin ankraj alınan dişler üzerinde daha fazla devrilme hareketine neden olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda tüm modellerde, genişletme gereksinimi olan tarafta ankraj alınan dişlerin apeks noktalarından ölçülen yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, lateral yer

değiştirme miktarlarının cerrahi kesi uygulanmasına ve mini vida sayısına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Apeks düzeyindeki en fazla lateral yer değiştirme Model I’de izlenmiş; bunu sırasıyla Model II, Model III, Model IV, Model VII, Model V ve Model VI takip etmiştir.

Cerrahi kesi uygulanmayan modeller kendi içinde değerlendirildiğinde, kök seviyesindeki lateral yer değiştirmenin en fazla Model IV’te olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla Model VII ve Model V izlemiş, en düşük değerler ise Model VI’da elde edilmiştir. Bu bulgular, cerrahi kesi uygulanmasının ve mini vida desteğinin artırılmasının, genişletme kuvvetlerinin kök seviyesine daha etkili iletilmesini sağladığını göstermektedir. Buna karşılık, cerrahi kesi uygulanmayan ve mini vida desteğinin azaltıldığı modellerde kuvvetlerin daha çok dişlerde devrilme hareketine neden olduğu düşünülmektedir. Özellikle bu modellerde mini vida desteği azaldıkça, kök seviyesindeki lateral yer değiştirme azalmış ve ankraj alınan dişlerde devrilme eğilimi artmıştır. Bu durum, erişkin bireylerde hızlı üst çene genişletmesi sırasında periodontal ve dentoalveoler yan etkiler açısından dikkatli olunması gerektiğini düşündürmektedir. Nitekim önceki çalışmalarda, erişkinlerde hızlı üst çene genişletmesi sonrasında bukkal kortikal kemikte fenestrasyon, periodontal doku hasarı ve dişlerin bukkal yüzeylerinde kök rezorpsiyonu gibi istenmeyen etkilerin ortaya çıkabileceği bildirilmiştir (169, 172, 274).

Çalışmamızda tüm modeller koronal düzlemden değerlendirildiğinde, maksillanın lateral bölgelerinde yer alan zigomatik ark, zigomatikomaksiller sutur ve frontozigomatik suturlarda genel olarak superior yönlü yer değiştirme eğiliminin arttığı görülmüştür. Buna karşılık, anterior ve posterior nazal spina gibi orta hatta yakın yapılarda inferior yönlü hareket eğiliminin arttığı veya superior yönlü hareketin azaldığı belirlenmiştir. Lateral iskeletsel yapılardaki superior yönlü yer değiştirmeler ile anterior ve posterior nazal spina noktalarındaki inferior yönlü hareketler birlikte değerlendirildiğinde, maksillanın koronal düzlemde paralel bir translasyon yerine rotasyonel bir hareket gösterdiği düşünülmektedir. Bulgularımıza benzer şekilde Haas (38), maksiller ekspansiyon sırasında maksiller yarımın lateral yönde birbirinden uzaklaştığını ve bu harekete palatal düzlemde inferior yönlü yer değiştirmenin eşlik ettiğini bildirmiştir.

Çalışmamızda Model IV koronal düzlemden incelendiğinde, posterior nazal spina düzeyinde anterior nazal spinaya kıyasla daha fazla inferior yer değiştirme izlenmiştir. Bu bulgu, lateral yapılardaki superior yönlü hareketlerle birlikte değerlendirildiğinde, maksillada saat yönünün tersine rotasyonel bir açılma oluştuğunu göstermektedir. Buna

karşılık Model I, II ve III'te, cerrahi kesi yapılan tarafta lateral iskeletsel yapılarda ve dental yapılarda superior yönlü yer değiştirmelerin göreceli olarak azaldığı görülmüştür. Bu durum, uygulanan cerrahi kesilerin transversal kuvvetlerin koronal düzlemde oluşturduğu rotasyonel hareketi azaltılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), genişletme gereksinimi olan tarafta anterior nazal spina noktasında posterior nazal spina noktasına göre daha fazla inferior yönlü hareket gözlenmiştir. Bu etkinin, genişletme gereksinimi olan tarafta mini vida sayısının azaltılmasıyla arttığı görülmüştür. Bulgularımız, tek taraflı cerrahi kesi uygulanmasının ve ankraj alınan mini vida sayısının maksiller kanti etkileyebileceğini; bu nedenle söz konusu değişikliklerin genel yüz simetrisi açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmamızda tüm modeller sagittal düzlemde genel olarak değerlendirildiğinde, iskeletsel yapılarda özellikle frontozigomatik ve zigomatikomaksiller sutur gibi lateral bölgelerde posterior yönde yer değiştirmelerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Medial pterigoid plak gibi daha inferior yapılarda bu posterior hareketin azaldığı, orta hatta yakın yer alan anterior nazal spina ve posterior nazal spina noktalarında ise anterior yönde yer değiştirmeler gözlenmiştir. Anterior nazal spina ve posterior nazal spina noktalarında anterior yönde yer değiştirme izlenmesi, maksillanın genişletme sırasında anterior yönde hareket edebileceğini bildiren çalışmalarla uyumludur (294).

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), dental yapıların sagittal düzlemdeki hareketleri incelendiğinde, cerrahi kesi yapılan tarafta anterior yönde yer değiştirme eğiliminin azaldığı görülmüştür. Bu etkinin, genişletme gereksinimi bulunan maksiller yarımada mini vida sayısının artırılmasıyla daha belirgin hâle geldiği belirlenmiştir. Cerrahi kesi uygulanan modeller kendi içinde değerlendirildiğinde, Model III'te anterior bölgeye doğru artan üçgensel ayrılma paterni dikkat çekmektedir. Bu durum, Model III'te anterior bölgenin diğer cerrahi kesi uygulanan modellere kıyasla daha fazla öne gelmesine neden olmuş olabilir.

Çalışmamızda elde edilen Von Mises gerilme değerleri, MARPE uygulamalarında cerrahi kesi varlığının, mini vida sayısının ve mini vida konumunun gerilme dağılımı üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

Çalışmamızda tek taraflı cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I, II ve III), genişletme gereksinimi olan tarafta frontomaksiller, zigomatikomaksiller ve frontozigomatik suturlarda ölçülen MPa değerlerinin karşı maksiller yarımaya kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Bu bulgu, kortikotomi hattının üzerinde Von Mises

gerilmesinin azalması, hattın altında ise gerilmenin arttığını bildiren önceki sonlu eleman analizi çalışmalarıyla uyumludur (302, 310). Model I, II ve III'te medial ve lateral pterigoid plaklarda ölçülen gerilme değerlerinin genişletme gereksinimi olan tarafta görece daha yüksek kalması, cerrahi kesilerin bu bölgeyi doğrudan içermemesiyle ilişkili olabilir. Nitekim Gürsu ve Şimsek (294) SEA çalışmasında, SARPE prosedürü farklı osteotomi senaryoları oluşturularak modellenmiş ve pterigomaksiller bileşkeye osteotomi uygulanan modellerde, medial ve lateral pterigoid prosesler ve posterior maksillada ölçülen gerilme değerlerinde azalma olduğunu bildirilmiştir.

Çalışmamızda genişletme gereksinimi olan tarafta tek mini vidalı ankrajın kullanıldığı modellerde (Model II ve Model V), genişletme gereksinimi olan tarafta yer alan tek mini vida üzerinde ölçülen MPa değerlerinin arttığı görülmüştür. İzole mini vidalarda kuvvetlerin sınırlı bir temas alanına yoğunlaştığı ve bunun sonucunda stres piklerinin oluştuğu daha önceki bir çalışmada gösterilmiştir (311). Tek vidalı modellerde yalnızca mini vida çevresinde değil, aynı taraftaki dental yapılarda da Von Mises gerilme değerlerinin arttığı izlenmektedir. Ankraj yetersizliğine bağlı olarak kuvvetlerin dentoalveoler yapılara yönelmesi, dişler üzerinde artmış stres ve tipping ile sonuçlanmaktadır. Çalışma bulgularımızla uyumlu olarak, literatürde diş destekli sistemlerin ya da ankrajın yetersiz olduğu durumların ankraj dişler üzerindeki gerilmeleri ve devrilme eğilimini artırdığı bildirilmiştir (193, 312).

Çalışmamızda tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde (Model I, II, III, IV, V, VI ve VII), genişletme gereksinimi olan tarafta mini vida sayısının azalmasının dental yapılarda ölçülen Von Mises gerilme değerlerini artırdığı görülmüştür. Cerrahi kesi uygulanan modeller kendi içinde değerlendirildiğinde, ankraj alınan dişlerde ölçülen Von Mises gerilme değerlerinin en fazla Model III'te olduğu, bunu sırasıyla Model II ve Model I'in izlediği belirlenmiştir. Bu bulgu, cerrahi kesi varlığında bile mini vida desteğinin azalmasının dental yapılardaki gerilimi artırdığını göstermektedir. Cerrahi kesi uygulanmayan modeller kendi içinde değerlendirildiğinde ise dört mini vidalı ankrajın bulunduğu Model IV ve Model VII'de, genişletme gereksinimi olan taraftaki dental yapılarda daha düşük Von Mises gerilme değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık, genişletme gereksinimi olan tarafta tek mini vida kullanılan Model V'te bu değerlerin belirgin biçimde arttığı görülmüştür. Genişletme gereksinimi olan tarafta mini vida bulunmayan Model VI'da ise genişletme kuvvetlerinin büyük ölçüde dentoalveoler yapılar tarafından karşılanmasına bağlı olarak, ankraj dişler üzerindeki Von Mises gerilme değerlerinin tüm modeller arasında en yüksek seviyelere ulaştığı izlenmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mini vida sayısının azalmasına paralel olarak dental yapılarda stresin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte, genişletme gereksinimi olan tarafa uygulanan cerrahi kesinin, ankraj alınan dişler üzerindeki gerilmeleri azalttığı görülmüştür.

Çalışmamızda Model VII'de ölçülen Von Mises gerilme değerleri değerlendirildiğinde, genişletme gereksinimi olan tarafta vida çevresinde ölçülen Von Mises gerilme değerlerinin, karşı maksiller yarımındaki mini vidalara kıyasla daha düşük olduğu bulunmuştur. Bu bulgumuza benzer şekilde, Lee ve ark. (268) tarafından dört farklı kemik destekli genişletme apareyi ile gerçekleştirilen üç boyutlu sonlu elemanlar analizi çalışmasında, midpalatal sutura 3 mm lateralde kortikal kemiğe dik yerleştirilen mini vidaların çevresinde 0.362 GPa'lık maksimum gerilme oluşurken, palatal eğim boyunca oblik olarak yerleştirilen mini vidalar etrafında bu değer 0.046 GPa'ya düştüğü bildirilmiştir. Çalışmamızda mini vidalar üzerinde oluşan gerilme farklarına benzer şekilde genişletme gereksinimi olan tarafta iskeletsel yapılarda ölçülen Von Mises gerilme değerlerinin, genişletme gereksinimi olmayan tarafa kıyasla genel olarak daha yüksek olduğu izlenmiştir. Bu bulgu, genişletme apareylerinde mini vidalarla oluşturulan ankraj düzeninin iletilen transversal kuvvetlerin genişletme sırasında dentoalveoler ve iskeletsel yapılarda oluşan Von Mises gerilme değerlerini etkileyebileceğini göstermektedir.

Bu tez çalışmasının limitasyonlarından biri, SEA, biyomekanik davranışın değerlendirilmesinde güçlü bir yöntem olsa da kemik remodelingi, rezorpsiyon ve sutur iyileşmesi gibi biyolojik dokuların zamana bağlı adaptif yanıtlarını tam olarak yansıtamamaktadır. Modelde kemik dokular anizotropik olarak tanımlanmış olsa da gerçek biyolojik heterojenlik ve bireysel kemik yoğunluğu farklılıkları tam olarak simüle edilememiştir. Diğer bir limitasyon ise temas yüzeyleri belirli varsayımlar altında tanımlandığından, klinik koşullarda mini vida-kemik ara yüzünde ve osteotomi yüzeylerinde oluşabilecek biyolojik dirençler modele tam olarak yansıtılamamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı MARPE apareyleri ve tek taraflı cerrahi kesinin maksillofasiyal kompleks üzerindeki yer değiştirme etkileri ile Von Mises gerilme değerlerinin SEA yöntemiyle değerlendirildiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Model I–III’te genişletme gereksinimi olan tarafa uygulanan tek taraflı cerrahi kesinin, ilgili maksiller yarımında gerilme dağılımını azaltıcı yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu modellerde, kesi uygulanan taraftaki mini vidalar, ankraj alınan dişler ve iskeletsel yapılarda ölçülen von Mises gerilme değerlerinin, karşı maksiller yarıma kıyasla genel olarak daha düşük olduğu görülmüştür.
2. Cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I–III), cerrahi kesi hattı üzerinde ölçülen von Mises gerilme değerlerinin azaldığı; buna karşılık cerrahi kesi hattının inferiorunda ve karşı maksiller yarımında gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
3. Cerrahi kesi uygulanmayan modellerde (Model IV–VII), genişletme kuvvetinin doğrudan ankraj ünitesine iletilmesi nedeniyle, genişletme gereksinimi olan tarafta mini vidalar ve ankraj alınan dişler üzerinde ölçülen gerilme değerlerinin cerrahi kesi uygulanan modellere kıyasla arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, cerrahi destek olmaksızın uygulanan genişletmenin dental yapılarda ve mini vida çevresinde daha fazla stres birikimine neden olabileceği düşünülmüştür.
4. Cerrahi kesi uygulanan modeller arasında yapılan karşılaştırmada, Model III’te genişletme gereksinimi olan tarafta ANS ve PNS noktalarında ölçülen lateral yöndeki yer değiştirme farkının Model I’e kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, genişletme gereksinimi olan tarafta cerrahi destekle birlikte kullanılan mini vida sayısının anterior ve posterior bölgelerdeki genişleme paternini değiştirebileceği şeklinde değerlendirilmiştir.
5. Mini vida sayısının ikiye düşürüldüğü modellerde (Model III ve VI), mini vidaların genişletme gereksinimi olan tarafta kullanılmaması nedeniyle dental yapılarda devrilme eğiliminin arttığı ve lokal Von Mises gerilme yoğunluklarının ankraj alınan dişler çevresinde daha belirgin hâle geldiği belirlenmiştir. Bu bulgu doğrultusunda, genişletme gereksinimi olan tarafta

mini vida sayısının azaltılmasının dentoalveoler yapılar üzerindeki etkileri artırabileceği düşünülmüştür.

6. Genişletme gereksinimi olan tarafta tek mini vida kullanılan modellerde (Model II ve Model V), ilgili mini vida üzerinde ölçülen Von Mises gerilme değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Mini vida çevresindeki gerilme seviyesindeki bu artışın, mini vida stabilitesini olumsuz etkileyebilecek bir durum olduğu düşünülmüştür.
7. Model VII'de, mini vidaların midpalatal sutura koronal düzlemde dik yerleştirildiği tarafta, mini vidalar üzerinde ölçülen von Mises gerilme değerlerinin karşı maksiller yarımaya kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna karşılık, aynı taraftaki iskeletsel yapılarda ölçülen gerilme değerlerinin genel olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, mini vida yerleştirme açısının genişletme kuvvetlerinin mini vidalar ve iskeletsel yapılar arasındaki dağılımını etkileyebileceğini düşündürmektedir.
8. Genişletme gereksinimi bulunan tarafta ANS noktasında ölçülen transversal yer değiştirme miktarlarının, karşı maksiller yarımaya kıyasla daha fazla olduğu modeller Model I, II, III, V ve VII olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, tek taraflı cerrahi kesinin ve/veya mini vidaların asimetric konumlandırılmasının maksiller genişletme tedavilerinde transversal yönde asimetric genişlemeye neden olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.
9. Simetric olarak kurgulanan Model IV dışında tüm modellerde, genişletme gereksinimi bulunan tarafta ankraj alınan dişlerde karşı maksiller yarımaya kıyasla daha fazla lateral yönde yer değiştirme gözlenmiştir. Bu etkinin, tek taraflı cerrahi kesi uygulanan ve mini vida sayısının artırıldığı Model I'de ankraj alınan dişlerde daha paralel bir hareket ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna karşın, genişletme gereksinimi olan tarafta cerrahi kesi yapılmayan ve mini vida kullanılmayan Model VI'da transversal yöndeki yer değiştirme farkının daha çok ankraj alınan dişlerdeki devrilme hareketiyle oluştuğu görülmüştür.
10. Tüm modellerde (Model I–VII) lateral yönde rotasyonel ayrılma paterni gözlenmiş; ancak cerrahi kesi uygulanan modellerde (Model I–III), genişletme gereksinimi olan tarafta bu rotasyonel etkinin daha sınırlı olduğu saptanmıştır. Bu bulgu doğrultusunda, cerrahi desteğin maksiller segmentlerdeki rotasyonel hareketi azaltabileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, cerrahi kesi uygulamaları ve farklı MARPE aparey ile oluşturulan genişletme kuvvetlerinin, uygulama anında maksillofasiyal kompleks üzerinde meydana getirdiği gerilme ve yer değiştirme dağılımlarını göstermektedir. SEA yöntemiyle elde edilen bulgular idealize edilmiş model koşulları altında değerlendirilmiş olup; bireysel anatomik farklılıklar, alveol kemiğinin morfolojik yapısı, sutural maturasyon düzeyi ve hastaya özgü biyolojik yanıtlar klinik ortamda farklı sonuçlara yol açabilmektedir. Klinik ortamda farklılıklar oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte, bu çalışmanın klinik çalışmalarla desteklenmesi ve bu yöntemler üzerinde daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

1. McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 2000;117(5):567-70.
2. McNamara JA, Brudon WL, Kokich VG. Orthodontics and dentofacial orthopedics: Needham Press Ann Arbor, Mich; 2001.
3. Binder RE. Correction of posterior crossbites: diagnosis and treatment. Pediatric Dentistry. 2004;26(3):266-72.
4. Posnick JC. Principles and practice of orthognathic surgery: Elsevier Health Sciences; 2013.
5. Kutin G, Hawes RR. Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. American journal of orthodontics. 1969;56(5):491-504.
6. Thilander B, Myrberg N. The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. European Journal of Oral Sciences. 1973;81(1):12-20.
7. Egermark-Eriksson I, Carlsson GE, Magnusson T, Thilander B. A longitudinal study on malocclusion in relation to signs and symptoms of cranio-mandibular disorders in children and adolescents. The European Journal of Orthodontics. 1990;12(4):399-407.
8. Heikinheimo K, Salmi K. Need for orthodontic intervention in five-year-old Finnish children. Proceedings of the Finnish Dental Society Suomen Hammaslaakariseuran toimituksia. 1987;83(4):165-9.
9. Dimberg L, Lennartsson B, Arnrup K, Bondemark L. Prevalence and change of malocclusions from primary to early permanent dentition: a longitudinal study. The Angle Orthodontist. 2015;85(5):728-34.
10. Ileri Z, Basciftci FA. Asymmetric rapid maxillary expansion in true unilateral crossbite malocclusion: a prospective controlled clinical study. The Angle Orthodontist. 2015;85(2):245-52.
11. Laudemann K, Petruchin O, Mack MG, Kopp S, Sader R, Landes CA. Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with or without pterygomaxillary disjunction based upon preoperative and post-expansion 3D computed tomography data. Oral and maxillofacial surgery. 2009;13(3):159-69.
12. Marshall SD, Southard KA, Southard TE, editors. Early transverse treatment. Seminars in Orthodontics; 2005: Elsevier.

13. Toroglu MS, Uzel E, Kayalioglu M, Uzel İ. Asymmetric maxillary expansion (AMEX) appliance for treatment of true unilateral posterior crossbite. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2002;122(2):164-73.
14. 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.
15. Mossaz C, Byloff F, Richter M. Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *The European Journal of Orthodontics*. 1992;14(2):110-6.
16. Shivapuja P, Lepczyk J, Finn L. Transverse maxillary asymmetry treated with unilateral surgically assisted rapid palatal expansion—a case report. *J Indian Orthod Soc*. 2006;40:176-88.
17. 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.
18. 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.
19. Kapetanović A, Theodorou CI, Bergé SJ, Schols JG, Xi T. Efficacy of Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) in late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *European journal of orthodontics*. 2021;43(3):313-23.
20. Carvalho P, Moura L, Trento G, Holzinger D, Gabrielli M, Gabrielli M, et al. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a systematic review of complications. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020;49(3):325-32.
21. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Moschik C, Sfogliano L, Elkenawy I, Pan HC, et al. Zygomaticomaxillary modifications in the horizontal plane induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with CBCT images. *Progress in orthodontics*. 2018;19(1):41.
22. Ludwig B, Baumgaertel S, Bowman SJ. Mini-implants in orthodontics: innovative anchorage concepts. (No Title). 2008.

23. Baik H-S, Kang Y-G, Choi YJ. Miniscrew-assisted rapid palatal expansion: a review of recent reports. *Journal of the World federation of orthodontists*. 2020;9(3):S54-S8.
24. Sarraj M, Akyalcin S, He H, Xiang J, AlSaty G, Celenk-Koca T, et al. Comparison of skeletal and dentoalveolar changes between pure bone-borne and hybrid tooth-borne and bone-borne maxillary rapid palatal expanders using cone-beam computed tomography. *APOS Trends Orthod*. 2021;11:32-40.
25. Lee S-Y, Choi YJ. Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study. *KOREAN ASSOC ORTHODONTISTS 603 TRAPALACE II, 1327 SEOCHO-DONG, SEOCHO-GU ...*; 2017. p. 213-4.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Proffit WR, Fields H, Larson B, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics*, 6e: South Asia Edition-E-Book: Elsevier Health Sciences; 2019.
31. Kunz F, Linz C, Baunach G, Böhm H, Meyer-Marcotty P. Expansion patterns in surgically assisted rapid maxillary expansion: Transpalatal distractor versus hyrax appliance. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2016;77(5):357-65.
32. Moyers RE. *Handbook of orthodontics*: Year Book Medical Publishers, Incorporated; 1988.

33. Simpson W, Thompson R. Rapid maxillary expansion: By Donald J. Timms. Quintessence Books, 1981. pp. 140, price£ 20.00. Churchill Livingstone; 1982.
34. Angell E. Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. Dent Cosmos. 1860;1:540-4.
35. Brown GV, AB D, MD C. The application of orthodontia principles to the prevention of nasal disease: Philadelphia,: SS White Dental Manufacturing Company; 1903.
36. Timms DJ. The dawn of rapid maxillary expansion. The Angle Orthodontist. 1999;69(3):247-50.
37. Derichsweiler H. Die gaumennahtsprengung. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1953;14(1):5-23.
38. 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.
39. Lines PA. Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. American journal of orthodontics. 1975;67(1):44-56.
40. 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.
41. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. The Angle Orthodontist. 1965;35(3):200-17.
42. Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. The Angle Orthodontist. 1964;34(4):256-60.
43. Biederman W. A hygienic appliance for rapid expansion. JPO: the journal of practical orthodontics. 1968;2(2):67-70.
44. Timms DJ. Rapid maxillary expansion. (No Title). 1981.
45. 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. Clinical Case Reports. 2023;11(6):e7572.
46. Kim KB, Helmkamp ME. Miniscrew implant-supported rapid maxillary expansion. Journal of Clinical Orthodontics: JCO. 2012;46(10):608-12; quiz 31.
47. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 1987;91(1):3-14.
48. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. Contemporary orthodontics: Elsevier Health Sciences; 2006.

49. UZUNER FD. Ortodontide Dental ve İskeletsel Genişletme: Akademisyen Kitabevi; 2022.
50. Stavropoulos D, Bartzela T, Bronkhorst E, Mohlin B, Hagberg C. Dental agenesis patterns of permanent teeth in Apert syndrome. *European journal of oral sciences*. 2011;119(3):198-203.
51. Stavropoulos D, Bartzela T, Tarnow P, Mohlin B, Kahnberg K-E, Hagberg C. Dental agenesis patterns in Crouzon syndrome. *swedish dental journal*. 2011;35(4):195-201.
52. Reitsma JH, Ongkosuwito EM, Buschang PH, Prah-Andersen B. Facial growth in patients with Apert and Crouzon syndromes compared to normal children. *The Cleft palate-craniofacial journal*. 2012;49(2):185-93.
53. Reitsma JH, Elmi P, Ongkosuwito EM, Buschang PH, Prah-Andersen B. A longitudinal study of dental arch morphology in children with the syndrome of Crouzon or Apert. *European journal of oral sciences*. 2013;121(4):319-27.
54. Choi T, Kragt L, Goos J, Mathijssen I, Wolvius E, Ongkosuwito E. Deviating dental arch morphology in mild coronal craniosynostosis syndromes. *Clinical Oral Investigations*. 2019;23(7):2995-3003.
55. Klingel D, Hohoff A, Kwiecien R, Wiechmann D, Stamm T. Growth of the hard palate in infants with Down syndrome compared with healthy infants—A retrospective case control study. *PLoS One*. 2017;12(8):e0182728.
56. Veloso NC, Mordente CM, de Sousa AA, Palomo JM, Yatabe M, Oliveira DD, et al. Three-dimensional nasal septum and maxillary changes following rapid maxillary expansion in patients with cleft lip and palate: A case-series analysis. *The Angle Orthodontist*. 2020;90(5):672-9.
57. Ülgen M. Ortodontik tedavi prensipleri. 1993.
58. Huh A, Horton MJ, Cuenco KT, Raoul G, Rowleson AM, Ferri J, et al. Epigenetic influence of KAT6B and HDAC4 in the development of skeletal malocclusion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;144(4):568-76.
59. Higley L. Crossbite--mandibular malposition. *ASDC journal of dentistry for children*. 1968;35(3):221-3.
60. O'Byrne BL, Sadowsky C, Schneider B, BeGole EA. An evaluation of mandibular asymmetry in adults with unilateral posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1995;107(4):394-400.

61. Allen D, Rebellato J, Sheats R, Ceron AM. Skeletal and dental contributions to posterior crossbites. *The Angle Orthodontist*. 2003;73(5):515-24.
62. Bell RA, Kiebach TJ, editors. Posterior crossbites in children: Developmental-based diagnosis and implications to normative growth patterns. *Seminars in Orthodontics*; 2014: Elsevier.
63. 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.
64. Melink S, Vagner MV, Hocevar-Boltezar I, Ovsenik M. Posterior crossbite in the deciduous dentition period, its relation with sucking habits, irregular orofacial functions, and otolaryngological findings. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010;138(1):32-40.
65. Grabowski R, Kundt G, Stahl F. Interrelation between occlusal findings and orofacial myofunctional status in primary and mixed dentition: Part III: Interrelation between malocclusions and orofacial dysfunctions. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2007;68(6):462-76.
66. 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.
67. Kharbanda OP. *Orthodontics: diagnosis and management of malocclusion and dentofacial deformities*, E-Book: Elsevier Health Sciences; 2019.
68. Graber T. Sucking habits and their relation to posterior crossbite in 4-year-old children: Thomas Modeer, Lars Odenrick, and Anders Lindner *Scand. J. Dent. Res.* 90: 323–328, 1982. *American Journal of Orthodontics*. 1985;88(1):81.
69. KÖUHLER L, HOLST K. Malocclusion and sucking habits of four-year-old children. *Acta Pædiatrica*. 1973;62(4):373-9.
70. Kisling E, Krebs G. Patterns of occlusion in 3-year-old Danish children. *Community dentistry and oral epidemiology*. 1976;4(4):152-9.
71. Dhull KS, Verma T, Dutta B. Prevalence of deleterious oral habits among 3-to 5-year-old preschool children in Bhubaneswar, Odisha, India. *International journal of clinical pediatric dentistry*. 2018;11(3):210.
72. Felcar JM, Bueno IR, Massan ACS, Torezan RP, Cardoso JR. Prevalence of mouth breathing in children from an elementary school. *Ciencia & saude coletiva*. 2010;15(2):427.

73. Abreu RR, Rocha RL, Lamounier JA, Guerra ÂFM. Prevalence of mouth breathing among children. *Jornal de pediatria*. 2008;84:467-70.
74. De Menezes VA, Leal RB, Pessoa RS, Pontes RMES. Prevalence and factors related to mouth breathing in school children at the Santo Amaro project-Recife, 2005. *Brazilian journal of otorhinolaryngology*. 2006;72(3):394-8.
75. Grippaudo C, Paolantonio EG, Antonini G, Saulle R, La Torre G, Deli R. Association between oral habits, mouth breathing and malocclusion. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*. 2016;36(5):386.
76. Harari D, Redlich M, Miri S, Hamud T, Gross M. The effect of mouth breathing versus nasal breathing on dentofacial and craniofacial development in orthodontic patients. *The Laryngoscope*. 2010;120(10):2089-93.
77. Proffit WR, Fields H, Larson B, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics-E-Book: Contemporary Orthodontics-E-Book: Elsevier Health Sciences*; 2018.
78. Moyers RE. *Handbook of orthodontics*. (No Title). 1988.
79. Björk A, Krebs A, Solow B. A method for epidemiological registration of malocclusion. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1964;22(1):27-41.
80. Kurol 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.
81. Moyers R. *Handwork of Orthodontics 4th Edition Year Book*. Medical Publishers Inc; 1988.
82. McDonald RE, Avery DR. *Dentistry for the child and adolescent*. (No Title). 1978.
83. Mitchell L. *An introduction to orthodontics*. United States. Oxford University Pres; 1998.
84. Betts N, Vanarsdall R, Barber H, Higgins-Barber K, Fonseca R. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery*. 1995;10(2):75-96.
85. Foster TD. *A textbook of orthodontics*. (No Title). 1975.
86. Pinkham J, Casamassimo P, Fields H, Mc Tigue D, Nowak A. *Pediatric dentistry: infancy through adolescence*. Evaluation. 2005;20(20):20.
87. PH N. The functional shift of the mandible in unilateral posterior crossbite and the adaptation of the temporomandibular joints: a pilot study. *Eur J Orthod*. 1999;21:155-66.

88. 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.
89. Lam PH, Sadowsky C, Omerza F. Mandibular asymmetry and condylar position in children with unilateral posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999;115(5):569-75.
90. Ugolini A, Agostino P, Silvestrini-Biavati A, Harrison JE, Batista KB. Orthodontic treatment for posterior crossbites. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2021(12).
91. Leonardi R, Muraglie S, Bennici O, Cavallini C, Spampinato C. Three-dimensional analysis of mandibular functional units in adult patients with unilateral posterior crossbite: A cone beam study with the use of mirroring and surface-to-surface matching techniques. *The Angle Orthodontist*. 2019;89(4):590-6.
92. INGERVALL B, THILANDER B. Activity of temporal and masseter muscles in children with a lateral forced bite. *The Angle Orthodontist*. 1975;45(4):249-58.
93. Myers DR, Barenie JT, Bell RA, Williamson EH. Condylar position in children with functional posterior crossbites: before and after crossbite correction. *Pediatr Dent*. 1980;2(3):190-4.
94. Kecik D, Kocadereli I, Saatci I. Evaluation of the treatment changes of functional posterior crossbite in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;131(2):202-15.
95. Rilo B, da Silva JL, Mora MJ, Cadarso-Suárez C, Santana U. Midline shift and lateral guidance angle in adults with unilateral posterior crossbite. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;133(6):804-8.
96. Hesse KL, Årtun J, Joondeph DR, Kennedy DB. Changes in condylar position and occlusion associated with maxillary expansion for correction of functional unilateral posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;111(4):410-8.
97. Tsanidis N, Antonarakis G, Kiliaridis S. Functional changes after early treatment of unilateral posterior cross-bite associated with mandibular shift: a systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2016;43(1):59-68.

98. Takada J-i, Miyamoto JJ, Yokota T, Ono T, Moriyama K. Comparison of the mandibular hinge axis in adult patients with facial asymmetry with and without posterior unilateral crossbite. *European Journal of Orthodontics*. 2015;37(1):22-7.
99. Iodice G, Danzi G, Cimino R, Paduano S, Michelotti A. Association between posterior crossbite, skeletal, and muscle asymmetry: a systematic review. *European Journal of Orthodontics*. 2016;38(6):638-51.
100. Langberg BJ, Arai K, Miner RM. Transverse skeletal and dental asymmetry in adults with unilateral lingual posterior crossbite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;127(1):6-15.
101. Vig PS. *Orthodontics: Current principles and techniques*: Thomas M. Graber and Brainerd F. Swain. St. Louis, 1985, The CV Mosby Company. Mosby; 1985.
102. da Silva Filho OG, Santamaria Jr M, Filho LC. Epidemiology of posterior crossbite in the primary dentition. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2007;32(1):73-8.
103. Brunelle J, Bhat M, Lipton J. Prevalence and distribution of selected occlusal characteristics in the US population, 1988–1991. *Journal of dental research*. 1996;75(2_suppl):706-13.
104. Holm AK. A longitudinal study of dental health in Swedish children aged 3–5 years. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*. 1975;3(5):228-36.
105. Ravn J, Nielsen L. Crossbite in primary dentition. *Tandlaegebladet*. 1971;75(4):268-75.
106. 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.
107. Helm S. Malocclusion in Danish children with adolescent dentition: an epidemiologic study. *American journal of orthodontics*. 1968;54(5):352-66.
108. Basciftci F, Demir A, Uysal T, Sari Z. Prevalence of orthodontic malocclusions in Konya region school children. *Turk J Orthod*. 2002;15(2):92-8.
109. Gelgör İE, Karaman İA, Ercan E. Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *European journal of dentistry*. 2007;1(03):125-31.
110. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;133(2):290-302.

111. Menon S, Manerikar R, Sinha R. Surgical management of transverse maxillary deficiency in adults. *Journal of maxillofacial and oral surgery*. 2010;9(3):241-6.
112. Betts NJ. Surgically assisted maxillary expansion. *Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics of North America*. 2016;24(1):67-77.
113. 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.
114. Mullen SR, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;132(3):346-52.
115. Howes AE. Case analysis and treatment planning based upon the relationship of the tooth material to its supporting bone. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*. 1947;33(8):499-533.
116. 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.
117. Rakosi T, Jonas I, Graber TM. Color atlas of dental medicine, Orthodontic-Diagnosis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1994;105(6):613.
118. Lehman Jr JA, Haas AJ, Haas DG, Kaban LB. Surgical orthodontic correction of transverse maxillary deficiency: a simplified approach. *Plastic and reconstructive surgery*. 1984;73(1):67-8.
119. Ricketts RM, editor *The wisdom of the bioprogressive philosophy*. *Seminars in Orthodontics*; 1998: Elsevier.
120. Grummons DC, Van de Coppel MK. A frontal asymmetry analysis. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 1987;21(7):448-65.
121. Janson GR, Metaxas A, Woodside DG, de Freitas MR, Pinzan A. Three-dimensional evaluation of skeletal and dental asymmetries in Class II subdivision malocclusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;119(4):406-18.
122. Ricketts RM, Bench RW, Hilgers JJ, Schulhof R. An overview of computerized cephalometrics. *American Journal of Orthodontics*. 1972;61(1):1-28.
123. Lagravère MO, Hansen L, Harzer W, Major PW. Plane orientation for standardization in 3-dimensional cephalometric analysis with computerized

- tomography imaging. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 2006;129(5):601-4.
124. Harrell Jr WE. Three-dimensional diagnosis and treatment planning: The use of 3D facial imaging and 3D cone beam CT in orthodontics and dentistry. Australas Dent Pract. 2007;18:102-13.
 125. Tamburrino RK, Boucher NS, Vanarsdall RL, Secchi A. The transverse dimension: diagnosis and relevance to functional occlusion. RWISO J. 2010;2(1):13-22.
 126. Suzuki H, Moon W, Previdente LH, Suzuki SS, Garcez AS, Consolaro A. Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): the quest for pure orthopedic movement. Dental press journal of orthodontics. 2016;21:17-23.
 127. Angelieri F, Cevidane LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara Jr JA. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2013;144(5):759-69.
 128. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. Contemporary Orthodontics, 5e: Elsevier India; 2012.
 129. Larsson E. The effect of dummy-sucking on the occlusion: a review. The European Journal of Orthodontics. 1986;8(2):127-30.
 130. 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.
 131. de Silva Fo OG, 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.
 132. 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;15:54-8.
 133. 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.
 134. Malandris M, Mahoney E. Aetiology, diagnosis and treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. International journal of paediatric dentistry. 2004;14(3):155-66.

135. Petrén S, Bondemark L, Söderfeldt B. A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite. *The Angle Orthodontist*. 2003;73(5):588-96.
136. 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.
137. 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):52.
138. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C. Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2005;75(2):155-61.
139. 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.
140. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 1965;35(3):178-86.
141. Halıcıoğlu K, Yavuz İ. Literatür derlemesi: üst çene genişletmesinde apareyler ve felsefeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2011(4):32-9.
142. Akkaya S, Lorenzon S, Üçm 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.
143. Mew J. In favor of semirapid expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;112(4):20A-1A.
144. 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.
145. Ramoglu SI, Sari Z. Maxillary expansion in the mixed dentition: rapid or semi-rapid? *The European Journal of Orthodontics*. 2010;32(1):11-8.
146. Atac ATA, Karasu HA, Aytac D. Surgically assisted rapid maxillary expansion compared with orthopedic rapid maxillary expansion. *The Angle orthodontist*. 2006;76(3):353-9.
147. 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.

148. Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American journal of orthodontics*. 1970;57(3):219-55.
149. 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.
150. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara Jr JA. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 2001;71(5):343-50.
151. 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.
152. Grassia V, d'Apuzzo F, Jamilian A, Femiano F, Favero L, Perillo L. Comparison between rapid and mixed maxillary expansion through an assessment of arch changes on dental casts. *Progress in orthodontics*. 2015;16(1):20.
153. Sarver DM, Johnston MW. Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989;95(6):462-6.
154. Ten Cate A, Freeman E, Dickinson J. Sutural development: structure and its response to rapid expansion. *American journal of orthodontics*. 1977;71(6):622-36.
155. Ekström C, Henrikson CO, Jensen R. Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *American journal of orthodontics*. 1977;71(4):449-55.
156. 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.
157. Wertz RA. Changes in nasal airflow incident to rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 1968;38(1):1-11.
158. 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.
159. Tanne K, Matsubara S, Sakuda M. Location of the centre of resistance for the nasomaxillary complex studied in a three-dimensional finite element model. *British Journal of Orthodontics*. 1995;22(3):227-32.
160. Staggers JA, Germane N, Legan H. Clinical considerations in the use of protraction headgear. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 1992;26(2):87-91.
161. Miki M. An experimental research on the directional control of the nasomaxillary complex by means of external force--two dimensional analysis on the sagittal plane

- of the craniofacial skeleton (author's transl). *Shika gakuho Dental Science Reports*. 1979;79(8):1563-97.
162. Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American journal of orthodontics*. 1970;58(1):41-66.
 163. 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.
 164. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Moschik C, Mallya SM, Pan HC, Alkahtani MR, et al. Midfacial changes in the coronal plane induced by microimplant-supported skeletal expander, studied with cone-beam computed tomography images. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018;154(3):337-45.
 165. Timms D, Preston C, Daly P. A computed tomographic assessment of maxillary movement induced by rapid expansion—a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*. 1982;4(2):123-7.
 166. Melsen B, Melsen F. The postnatal development of the palatomaxillary region studied on human autopsy material. *American journal of orthodontics*. 1982;82(4):329-42.
 167. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American journal of orthodontics*. 1977;72(1):42-52.
 168. Odenrick L, Karlander OD, Eva Lilja, Pierce OD, Angela, FRACDS OD, Kretschmar U. Surface resorption following two forms of rapid maxillary expansion. *The European Journal of Orthodontics*. 1991;13(4):264-70.
 169. Garib DG, Henriques JFC, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2006;129(6):749-58.
 170. 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.
 171. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JY, Kim J, Taylor G. Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion.

- American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2007;132(4):428. e1-. e8.
172. 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.
 173. Cureton SL, Cuenin M. Surgically assisted rapid palatal expansion: orthodontic preparation for clinical success. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 1999;116(1):46-59.
 174. 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.
 175. Agarwal A, Mathur R. Maxillary expansion. International journal of clinical pediatric dentistry. 2010;3(3):139.
 176. Mommaerts M. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 1999;37(4):268-72.
 177. Cope JB, editor Temporary anchorage devices in orthodontics: a paradigm shift. Seminars in orthodontics; 2005: Elsevier.
 178. Chang JZ-C, Chen Y-J, Tung Y-Y, Chiang Y-Y, Lai EH-H, Chen W-P, et al. Effects of thread depth, taper shape, and taper length on the mechanical properties of mini-implants. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2012;141(3):279-88.
 179. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 2003;124(4):373-8.
 180. Wilmes B, Su Y-Y, Drescher D. Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants. The Angle Orthodontist. 2008;78(6):1065-70.
 181. 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.
 182. Koudstaal MJ, Smeets JB, Kleinrensink G-J, Schulten AJ, van der Wal KG. Relapse and stability of surgically assisted rapid maxillary expansion: an anatomic biomechanical study. Journal of oral and maxillofacial surgery. 2009;67(1):10-4.

183. 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.
184. Gerlach KL, Zahl C. Transversal palatal expansion using a palatal distractor. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2003;64(6):443-9.
185. Harzer W, Schneider M, Gedrange T. Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw—pilot study with case presentation. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2004;65(5):419-24.
186. Koudstaal M, Van der Wal K, Wolvius E, Schulten A. The Rotterdam Palatal Distractor: introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2006;35(1):31-5.
187. Seitz O, Landes CA, Philipp DJ, Sader R, Klein CM. Reliable surgically assisted rapid palatal expansion by maxillary widening device. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2008;19(3):846-9.
188. Ramieri G, Spada M, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2005;34(4):357-63.
189. 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.
190. Huang X, Han Y, Yang S. Effect and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion: a systematic review and meta-analysis. *Korean Journal of Orthodontics*. 2022;52(5):334-44.
191. Graber T, Vanarsdall RL, Vig K. Current principles and techniques. *Orthodontic Book, USA*. 2005:607-11.
192. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. Application and effectiveness of a mini-implant-and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod*. 2010;11(4):323-30.
193. Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Drescher D. Maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination. *Progress in orthodontics*. 2013;14(1):5.

194. Wilmes B, Drescher D. A miniscrew system with interchangeable abutments. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 2008;42(10):574-95.
195. Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M. A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage. *J Clin Orthod*. 2009;43(8):494-501.
196. 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.
197. Kyung S, Hong S, Park Y. Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 2003;37(1):22-6.
198. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Dörtbudak O, Haas R. Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clinical oral implants research*. 2000;11(6):595-601.
199. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;132(6):783-8.
200. Wilmes B, Ludwig B, Vasudavan S, Nienkemper M, Drescher D. The T-zone: median vs. paramedian insertion of palatal mini-implants. *J Clin Orthod*. 2016;50(9):543-51.
201. Fayed MMS, Pazera P, Katsaros C. Optimal sites for orthodontic mini-implant placement assessed by cone beam computed tomography. *The Angle Orthodontist*. 2010;80(5):939-51.
202. Kim H-J, Yun H-S, Park H-D, Kim D-H, Park Y-C. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;130(2):177-82.
203. Lee JS, Kim JK, Park Y-C, Vanarsdall Jr RL. Orthodontic Mini-Implants.
204. Gorback N, Infante C. A combined orthodontic and surgical procedure for rapid palatal expansion in skeletally mature patients. *Journal of Clinical Orthodontics: JCO*. 1975;9(1):56-8.
205. Kanomi R, Deguchi T, Kakuno E, Takano-Yamamoto T, Roberts WE. CBCT of skeletal changes following rapid maxillary expansion to increase arch-length with a development-dependent bonded or banded appliance. *The Angle Orthodontist*. 2013;83(5):851-7.
206. Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics*. 1980;77(5):500-7.

207. 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.
208. 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.
209. 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.
210. Moss J. Rapid expansion of the maxillary arch. II. Indications for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics*. 1968;2(5):215.
211. 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.
212. Lázaro-Abdulkarim A, Hernández-Alfaro F, Puigdollers-Pérez A, Giralt-Hernando M, Elnayef B, Valls-Ontañón A. Is efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion in mid to late adolescents and young adults related to craniofacial sutures opening? A systematic review and meta-analysis. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*. 2025;30(2):e271.
213. Bell W, Jacobs J. Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency. *Journal of Oral Surgery (American Dental Association: 1965)*. 1979;37(12):897-902.
214. Heiss J. Ueber die chirurgische Untersteutzung der Dehnung im komprimierten Oberkiefer. *Deutsch Zahnaeszteblatt*. 1954;8:560.
215. Köle H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1959;12(5):515-29.
216. Converse JM, Horowitz SL. The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *American journal of orthodontics*. 1969;55(3):217-43.
217. Steinhauser E. Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *Journal of oral surgery (American Dental Association: 1965)*. 1972;30(6):413-22.
218. Bell WH, Epker BN. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *American journal of orthodontics*. 1976;70(5):517-28.
219. 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.

220. 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.
221. Kennedy DB, Osepchook M. Unilateral posterior crossbite with mandibular shift: a review. *Journal-Canadian Dental Association*. 2005;71(8):569.
222. Bindayel NA. Simple removable appliances to correct anterior and posterior crossbite in mixed dentition: Case report. *The Saudi Dental Journal*. 2012;24(2):105-13.
223. Oulderyou A, Ngan P, Alsharif K, Merdji A, Mukdadi OM. Finite element modeling of asymmetric expansion using ATOZTM expander. *Plos one*. 2025;20(6):e0325975.
224. Dzingale J, Mehta S, Chen P-J, Yadav S. Correction of unilateral posterior crossbite with U-MARPE. *Turkish journal of orthodontics*. 2020;33(3):192.
225. Geramy A. Initial stress produced in the periodontal membrane by orthodontic loads in the presence of varying loss of alveolar bone: a three-dimensional finite element analysis. *The European Journal of Orthodontics*. 2002;24(1):21-33.
226. 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.
227. Moratal D. Finite element analysis: BoD–Books on Demand; 2010.
228. Ebrahimi F. Finite element analysis: new trends and developments: BoD–Books on Demand; 2012.
229. Moaveni S. Finite element analysis theory and application with ANSYS, 3/e: Pearson Education India; 2011.
230. Asaro R, Lubarda V. Mechanics of solids and materials: Cambridge University Press; 2006.
231. O'Brien WJ. Dental materials and their selection: Quintessence Chicago; 2002.
232. McCabe JF, Walls AW. Applied dental materials: John Wiley & Sons; 2013.
233. Marghitu DB. Mechanical engineer's handbook: Elsevier; 2001.
234. Sung SJ, Baik HS, Moon YS, Yu HS, Cho YS. A comparative evaluation of different compensating curves in the lingual and labial techniques using 3D FEM. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2003;123(4):441-50.
235. 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. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara: Hacettepe Üniversitesi. 2007.
236. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: a finite element study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;123(4):367-73.
237. 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.
238. Hughes TJ. The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis: Courier Corporation; 2012.
239. Toms SR, Lemons JE, Bartolucci AA, Eberhardt AW. Nonlinear stress-strain behavior of periodontal ligament under orthodontic loading. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2002;122(2):174-9.
240. Bi Z. Finite element analysis applications: a systematic and practical approach: Academic Press; 2017.
241. 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.
242. Yang I-H, Chang Y-I, Kim T-W, Ahn S-J, Lim W-H, Lee N-K, et al. Effects of cleft type, facemask anchorage method, and alveolar bone graft on maxillary protraction: a three-dimensional finite element analysis. *The Cleft palate-craniofacial journal*. 2012;49(2):221-9.
243. Owen DRJ. Finite elements in plasticity: theory and practice. Pineridge Press Limited. 1980;285.
244. Lang LA, Wang R-F, Kang B, White SN. Validation of finite element analysis in dental ceramics research. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;86(6):650-4.
245. Ateş EM, Pamukçu H, Koç O, Altıparmak N. Effects of different expansion appliances and surgical incisions on maxillary expansion: a finite element analysis. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*. 2024;125(5):101936.
246. Koç O, Pamukçu H, Kocabalkan AA. Comparison of 3 different bone-borne type expansion appliances used in surgically-assisted rapid palatal expansion: a finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2023;163(3):e23-e33.

247. Labunet A, Iosif C, Kui A, Vigu A, Sava S. Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion: A Scoping Review of Influencing Factors, Side Effects, and Soft Tissue Alterations. *Biomedicines*. 2024;12(11):2438.
248. 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. *The Angle Orthodontist*. 2021;91(1):36-45.
249. 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):34.
250. Kim KA, Oh SH, Kim BH, Kim SJ. Asymmetric nasomaxillary expansion induced by tooth-bone-borne expander producing differential craniofacial changes. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2019;22(4):296-303.
251. Elkenawy I, Fijany L, Colak O, Paredes NA, Gargoum A, Abedini S, et al. An assessment of the magnitude, parallelism, and asymmetry of micro-implant-assisted rapid maxillary expansion in non-growing patients. *Progress in orthodontics*. 2020;21(1):42.
252. Karabiber G, Yılmaz HN, Nevzatoğlu Ş, Uğurlu F, Akdoğan T. Three-dimensional evaluation of surgically assisted asymmetric rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;155(5):620-31.
253. Hassan AH, AlGhamdi AT, Al-Fraidi AA, Al-Hubail A, Hajrassy MK. Unilateral cross bite treated by corticotomy-assisted expansion: two case reports. *Head & face medicine*. 2010;6(1):6.
254. Al-Ouf K, Krenkel C, Hajeer M, Sakka S. Osteogenic uni-or bilateral form of the guided rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2010;38(3):160-5.
255. Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1987;92(6):499-505.
256. Lee K-G, Ryu Y-K, Park Y-C, Rudolph DJ. A study of holographic interferometry on the initial reaction of maxillofacial complex during protraction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;111(6):623-32.

257. Knop L, Gandini Jr LG, Shintcovsk RL, Gandini MREAS. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental press journal of orthodontics*. 2015;20:119-25.
258. Tanne K, Miyasaka J, Yamagata Y, Sachdeva R, Tsutsumi S, Sakuda M. Three-dimensional model of the human craniofacial skeleton: method and preliminary results using finite element analysis. *Journal of biomedical engineering*. 1988;10(3):246-52.
259. McGuinness N, Wilson AN, Jones M, Middleton J, Robertson NR. Stresses induced by edgewise appliances in the periodontal ligament—a finite element study. *The angle orthodontist*. 1992;62(1):15-22.
260. Kojima Y, Fukui H. Numerical simulation of canine retraction by sliding mechanics. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2005;127(5):542-51.
261. Ammar HH, Ngan P, Crout RJ, Mucino VH, Mukdadi OM. Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011;139(1):e59-e71.
262. 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.
263. Holberg C, Rudzki-Janson I. Stresses at the cranial base induced by rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist*. 2006;76(4):543-50.
264. 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):8.
265. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, Geiger M, Kilic F, Sander M, 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).
266. Erkmen E, Ataç M, 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.

267. 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.
268. 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.
269. 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.
270. Unuvar Y, Calis A, Koc O. Comparison of the biomechanical effect of distal implants placed at different angles in the all-on-four technique: a nonlinear finite element analysis. *Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery*. 2024;102:157.
271. 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.
272. 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.
273. 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.
274. Lo Giudice A, Barbato E, Cosentino L, Ferraro CM, Leonardi R. Alveolar bone changes after rapid maxillary expansion with tooth-borne appliances: a systematic review. *European Journal of Orthodontics*. 2018;40(3):296-303.
275. Pham V, Lagravère MO. Alveolar bone level changes in maxillary expansion treatments assessed through CBCT. *International orthodontics*. 2017;15(1):103-13.
276. 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.

277. 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.
278. Toklu MG, Germec-Cakan D, Tozlu M. Periodontal, dentoalveolar, and skeletal effects of tooth-borne and tooth-bone-borne expansion appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2015;148(1):97-109.
279. Celenk-Koca T, Erdinc AE, Hazar S, Harris L, English JD, Akyalcin S. Evaluation of miniscrew-supported rapid maxillary expansion in adolescents: a prospective randomized clinical trial. *The Angle Orthodontist*. 2018;88(6):702-9.
280. Bazargani F, Magnuson A, Ludwig B. Effects on nasal airflow and resistance using two different RME appliances: a randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics*. 2018;40(3):281-4.
281. Yildirim M, Akin M. Comparison of root resorption after bone-borne and tooth-borne rapid maxillary expansion evaluated with the use of microtomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;155(2):182-90.
282. Bud ES, Bică CI, Păcurar M, Vaida P, Vlasa A, Martha K, et al. Observational study regarding possible side effects of miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE) with or without the use of corticopuncture therapy. *Biology*. 2021;10(3):187.
283. Frenna B, Grimaldi R, Fiandaca S, Basha R, Caprio M, Rizzo GEM, et al. Diagnostic Assessment of Periodontal and Dentoalveolar Complications Following Mini-Screw-Assisted Rapid Palatal Expansion in Adults and Late Adolescents: A Systematic Review. *Diagnostics*. 2026;16(2):352.
284. Ruan N, Hua F, Xiong H, He H. Factors influencing pterygomaxillary suture split after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in late adolescents and young adults: A cone-beam computed tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2025.
285. Jeon JY, Choi S-H, Chung CJ, Lee K-J. The success and effectiveness of miniscrew-assisted rapid palatal expansion are age-and sex-dependent. *Clinical oral investigations*. 2022;26(3):2993-3003.
286. Chun J-H, de Castro ACR, Oh S, Kim K-H, Choi S-H, 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.
287. 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.
 288. Becker K, Unland J, Wilmes B, Tarraf NE, Drescher D. Is there an ideal insertion angle and position for orthodontic mini-implants in the anterior palate? A CBCT study in humans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;156(3):345-54.
 289. Pimentel AC, Manzi MR, Barbosa AJP, Cotrim-Ferreira FA, Carvalho PEG, de Lima GF, et al. Mini-Implant Screws for Bone-Borne Anchorage: A Biomechanical In Vitro Study Comparing Three Diameters. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2016;31(5).
 290. Arveda N, Migliorati M, De Mari A, Valvecchi FF, Schiavetti I, Annarumma F, et al. Miniscrew-assisted slow palatal expansion with bone borne expander in adult patients: a case control study on consecutively treated patients. *The Angle Orthodontist*. 2025;95(5):513-21.
 291. Morselli P. Surgical maxillary expansion: a new minimally invasive technique. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 1997;25(2):80-4.
 292. Isaacson RJ, Murphy TD. Some effects of rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients. *The Angle Orthodontist*. 1964;34(3):143-54.
 293. van Ingen Brown G. *The Surgery of Oral and Facial Diseases and Malformations: Their Diagnosis and Treatment: Including Plastic Surgical Reconstruction*: Kimpton; 1938.
 294. Gürsu M, Şimşek MB. Stress and displacement dynamics in surgically assisted rapid maxillary expansion: a comprehensive finite element analysis of various osteotomy techniques. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14(2):449.
 295. Cihaner D, Karabulut D, Dogan Onur O, Cansiz E, Arslan YZ. Evaluation of Treatment Protocols in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion by Finite Element Analysis. *Medicina*. 2024;60(9):1400.
 296. MacLaine JK, Thickett EM, Power SM. Nationwide survey of surgically assisted rapid maxillary expansion. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;51(8):841-4.

297. Goldenberg DC, Alonso N, Goldenberg FC, Gebrin ES, Amaral TS, Scanavini MA, et al. Using computed tomography to evaluate maxillary changes after surgically assisted rapid palatal expansion. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2007;18(2):302-11.
298. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *The European Journal of Orthodontics*. 2004;26(4):403-9.
299. Memikoglu TUT, Işeri H. Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *The Angle Orthodontist*. 1999;69(3):251-6.
300. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2009;135(4):507-15.
301. Tang H, Liu P, Liu X, Hou Y, Chen W, Zhang L, et al. Skeletal width changes after mini-implant–assisted rapid maxillary expansion (MARME) in young adults. *The Angle Orthodontist*. 2021;91(3):301-6.
302. Ulusoy Ç, Dogan M. A new method for the treatment of unilateral posterior cross-bite: a three-dimensional finite element stress analysis study. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1):31.
303. 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.
304. de Oliveira CB, Ayub P, Ledra IM, Murata WH, Suzuki SS, Ravelli DB, et al. Microimplant assisted rapid palatal expansion vs surgically assisted rapid palatal expansion for maxillary transverse discrepancy treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2021;159(6):733-42.
305. Akin M, Akgul YE, Ileri Z, Basciftci FA. Three-dimensional evaluation of hybrid expander appliances: a pilot study. *The Angle Orthodontist*. 2016;86(1):81-6.
306. 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.
307. Zong C, Tang B, Hua F, He H, Ngan P, editors. Skeletal and dentoalveolar changes in the transverse dimension using microimplant-assisted rapid palatal expansion (MARPE) appliances. *Seminars in Orthodontics*; 2019: Elsevier.

308. Song K-T, Park JH, Moon W, Chae J-M, Kang K-H. Three-dimensional changes of the zygomaticomaxillary complex after mini-implant assisted rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;156(5):653-62.
309. Winsauer H, Walter A, Scherfler M, Ploder O. What are the limits of microimplant-assisted palatal expanders? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151(1):3-4.
310. Ensarioğlu A, Demirkaya AA. Orbital Compartment Stress Responses Related to Rapid Maxillary Expansion: A Finite Element Analysis. *Turkish Journal of Orthodontics*. 2025;38(3):161.
311. Oliveira PLE, Soares KEM, ANDRADE RMd, OLIVEIRA GCd, Pithon MM, ARAÚJO MTdS, et al. Stress and displacement of mini-implants and appliance in Mini-implant Assisted Rapid Palatal Expansion: analysis by finite element method. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2021;26(04):e21203.
312. Inchingolo AD, Ferrara I, Viapiano F, Netti A, Campanelli M, Buongiorno S, et al. Rapid maxillary expansion on the adolescent patient: Systematic review and case report. *Children*. 2022;9(7):1046.

EKLER

EK-1. Etik Kurul Onayı

