

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANA BİLİM DALI



KEMİK DESTEKLİ MAKSİLLER PROTRAKSİYON (BAMP)
VE
DİŞ DESTEKLİ CARRIERE MOTION APAREYİ İLE
YAPILAN SINIF III TEDAVİ ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

ORTODONTİ UZMANLIK TEZİ

DT. POURIA POURGHAZ

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

BOLU, KASIM 2025

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
Tez Onay Belgesi

Tezin Başlığı : KEMİK DESTEKLİ MAKSİLLER PROTRAKSİYON
(BAMP) VE DİŞ DESTEKLİ CARRIERE MOTION
APAREYİ İLE YAPILAN SINIF III TEDAVİ
ETKİLERİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ

Tezin Savunma Tarihi: 07.11.2025

Tezin Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

Jüri Başkanı: Doç. Dr. Orhan ÇİÇEK
Üye: Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT

DEKANLIK ONAYI

Bu tez Uzmanlık Tezi standartlarına uygun bulunmuştur.

Prof. Dr. Ali KELEŞ

DEKAN

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Tez Yazım Kılavuzu ve Şablonuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin Turnitin adlı programında enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %11'i geçmemektedir.

POURIA POURGHAZ

ÖZET

**KEMİK DESTEKLİ MAKSİLLER PROTRAKSİYON (BAMP) VE
DİŞ DESTEKLİ CARRIERE MOTION APAREYİ İLE YAPILAN SINIF III
TEDAVİ ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ
UZMANLIK TEZİ
POURIA POURGHAN
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSA BULUT)**

**BOLU, KASIM - 2025
(XV + 147)**

Bu çalışmanın amacı, iskeletsel Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde kullanılan iki farklı ortodontik yaklaşımın kemik destekli maksiller protraksiyon (BAMP) ve diş destekli Carriere Motion Class III (CM3) aparatının kraniyofasiyal yapı, diş ve sutur düzeyindeki biyomekanik etkilerini üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (SEA) yöntemiyle karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Çalışmada, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) verileri kullanılarak oluşturulan üç boyutlu kafatası modeli üzerinde iki ayrı tedavi senaryosu tasarlanmıştır. Birinci modelde diş destekli CM3 aparatı ve intermaksiller elastikler; ikinci modelde ise maksillanın bilateral infrazygomatik bölgelerine ve mandibular simfiz bölgesine yerleştirilen miniplaklar aracılığıyla uygulanan BAMP sistemi simüle edilmiştir. CM3 ve BAMP modellerinde ortalama ortopedik tedavi kuvvetlerini temsil eden sırasıyla CM3 modeli için 350 gr, BAMP modeli için 250 gr'lık elastik kuvvet vektörleri maksiller ve mandibular ankraj noktalarına uygulanmıştır. Analiz sonucunda, BAMP sisteminin maksillada belirgin anterior yönde deplasman oluşturduğu, maksiller suturlarda daha homojen stres dağılımı sağladığı ve mandibulada minimal ters yönde reaksiyon oluşturduğu tespit edilmiştir. Buna karşın CM3 aparatı, daha fazla dişsel hareket ve alveoler bölge stresine neden olmuş; iskeletsel düzeydeki etkiler sınırlı kalmıştır. Von Mises stres analizleri, BAMP grubunda stresin çoğunlukla maksiller anterolateral bölgelerde ve sutur bağlantı noktalarında yoğunlaştığını; CM3 grubunda ise stresin diş periodontal bölgelerinde lokalize olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular BAMP sisteminin, Sınıf III maloklüzyon tedavisinde iskeletsel düzeyde daha etkili ve kontrollü bir protraksiyon sağladığını; Carriere Motion aparatının ise daha çok dental düzeyde değişimlere yol açtığını göstermektedir. Bu veriler, büyüme-gelişimini tamamlamış veya sınırlı büyüme potansiyeline sahip hastalarda iskeletsel ankraja dayalı maksiller protraksiyonun, geleneksel diş destekli yaklaşımlara göre üstün bir biyomekanik etkinlik sunduğunu ortaya koymaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Sınıf III maloklüzyon, BAMP, Carriere Motion Aparatı, Sonlu Elemanlar Analizi, Von Mises stres

ABSTRACT

Finite Element Analysis of Class III Treatment Effects with Bone-Anchored Maxillary Protraction (BAMP) and Tooth-Borne Carriere Motion Appliance

SPECIALITY THESIS IN ORTHODONTICS

POURIA POURGHAZ

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY

DEPARTMENT OF ORTHODONTICS

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MUSA BULUT)

BOLU, NOVEMBER 2025

(XV + 147)

The aim of this study was to comparatively evaluate the biomechanical effects of two different orthodontic approaches used in the treatment of skeletal Class III malocclusions Bone-Anchored Maxillary Protraction (BAMP) and the tooth-borne Carriere Motion Class III (CM3) appliance on craniofacial structures, teeth, and sutures by means of three-dimensional finite element analysis (FEA).

A three-dimensional craniofacial model was reconstructed using cone-beam computed tomography (CBCT) data, and two distinct treatment scenarios were simulated. In the first model, the CM3 appliance with intermaxillary elastics was applied; in the second model, the BAMP system was simulated with miniplates placed bilaterally in the infrazygomatic crests of the maxilla and in the mandibular symphyseal region. Orthopedic elastic forces representing average clinical conditions were applied as 350 g for the CM3 model and 250 g for the BAMP model, directed between the maxillary and mandibular anchorage points.

The analysis demonstrated that the BAMP system produced a more pronounced anterior displacement of the maxilla, achieved a more homogeneous stress distribution along the maxillary sutures, and induced minimal counteractive response in the mandible. In contrast, the CM3 appliance generated greater dental movement and stress concentration within the alveolar regions, with limited skeletal effects. Von Mises stress analyses revealed that stresses were predominantly concentrated in the anterolateral regions of the maxilla and at sutural junctions in the BAMP group, whereas in the CM3 group, stresses were mainly localized in the periodontal regions of the teeth.

In conclusion, the findings indicate that the BAMP system provides a more effective and controlled skeletal protraction in the treatment of Class III malocclusion, while the Carriere Motion appliance primarily produces dental-level changes. These results suggest that skeletal anchorage-based maxillary protraction offers superior biomechanical efficiency compared to conventional tooth-borne approaches, particularly in patients with limited or completed craniofacial growth.

KEYWORDS: Class III malocclusion, BAMP, Carriere Motion Appliance, Finite Element Analysis, Von Mises Stress

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ	xiii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiv
TEŞEKKÜR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Ortodontik Maloklüzyonlar	4
2.1.1 Sagittal yöndeki anomaliler	4
2.1.2 Vertikal yöndeki anomaliler	5
2.1.3 Transversal yöndeki anomaliler.....	6
2.2 Sınıf III Malokluzyonlar	6
2.2.1 Sınıf III Malokluzyonların Sınıflandırılması	7
2.2.2 Sınıf III Malokluzyonların Epidemiyolojisi	9
2.2.3 Sınıf III Malokluzyonların Etiyolojisi	10
2.2.4 Sınıf III Maloklüzyonların Tedavi Zamanlaması	11
2.2.5 Sınıf III Maloklüzyonlarda Tedavi Yöntemleri.....	13
2.3 Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analiz Yöntemleri	25
2.3.1 Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Method / FEM).....	26
2.3.2 Sonlu Elemanlar ile İlgili Temel Kavramlar	26
2.3.3 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Çalışma Prensibi	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1 Kortikal Kemik ve Trabeküler Kemiğin Modellenmesi	38
3.2 Carriere Motion Aparenti, Şeffaf Plak, Molar Tüp, Yapıştırıcı Kompozit, Mini Plaklar, Vida, TME ve Periodontal Ligamentin Modellenmesi ve Çalışma Modellerinin Oluşturulması.....	41
3.3 Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi	48
3.4 Malzeme Tanımları.....	49
3.4.1 Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları.....	50
3.4.2 Kantitatif Model Bilgileri	52
3.5 Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu.....	52
4. BULGULAR	54
4.1 Yer Değiştirme Bulguları	55
4.1.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları	55

4.1.2 CM3 Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları	59
4.1.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları	63
4.1.4 BAMP Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları	67
4.1.5 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Yer Değiştirme Bulguları	71
4.1.6 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Yapılar ve Mandibuler Kemik Üzerindeki Yer Değiştirme Bulguları	75
4.1.7 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Yer Değiştirme Bulguları	82
4.1.8 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Yapılar ve Mandibuler Kemik Üzerindeki Yer Değiştirme Bulguları	86
4.2 Von Mises Stres Değeri Bulguları	95
4.2.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	95
4.2.2 CM3 Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	97
4.2.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	99
4.2.4 BAMP Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	101
4.2.5 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Kemikler ve Mandibulada Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	103
4.2.6 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Kemik Noktalarında ve Mandibulada Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	106
4.2.7 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	108
4.2.8 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları	110
4.3 Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi	111
4.3.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi	111
4.3.2 CM3 Simülasyonunda Mandibuler Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi	112
4.3.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi	113
4.3.4 BAMP Simülasyonunda Mandibuler Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi	113
5. TARTIŞMA	115
5.1 Amacın Tartışılması	115
5.2 Materyal ve Metodun Tartışılması	117
5.3 Bulguların Tartışılması	120

5.3.1 Yer Değiştirme Bulgularının Tartışılması	120
5.3.2 Von Mises Gerilme Bulgularının Tartışması.....	131
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	138
KAYNAKLAR.....	140



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Çalışma modeli oluşturulurken yararlanılan tomografik veri kesitleri	37
Şekil 3.2 Maksilla Kortikal Kemik (A) ve Maksilla Trabeküler Kemik (B)	38
Şekil 3.3 Mandibula Kortikal Kemik (A) ve Mandibula Trabeküler Kemik (B)	39
Şekil 3.4 Kraniofasial Kemikler (A) ve Suturlar (B)	39
Şekil 3.5 Maksilla (A) ve Mandibulada (B) mukozanın modellenmesi.....	39
Şekil 3.6 Maksiller (A) ve Mandibuler (B) Dişler	40
Şekil 3.7 Sınıf III maloklüzyonun modellenmesi	40
Şekil 3.8 Maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinin modellenmesi	42
Şekil 3.9 Mandibuler dişlerin periodontal ligamentlerinin modellenmesi.....	42
Şekil 3.10 Temporomandibular eklem (TME) modellenmesi	42
Şekil 3.11 Carriere Motion Apareyi.....	43
Şekil 3.12 Carriere Motion Apareyi ve diş arasındaki yapıştırıcı kompozitin modellenmesi	43
Şekil 3.13 Molar Tüp	43
Şekil 3.14 Molar tüp yapıştırıcı kompoziti	44
Şekil 3.15 Şeffaf Plak.....	44
Şekil 3.16 BAMP modelinde kullanılacak Maksiller (A) ve Mandibuler (B)(C) mini plaklar	45
Şekil 3.17 Minivida.....	45
Şekil 3.18 Class III Carriere Motion Apareyi Uygulaması (Model 01).....	46
Şekil 3.19 BAMP (Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon) Uygulaması	47
Şekil 3.20 Matematiksel modellerin elde edilmesi	48
Şekil 3.21 Class III Carriere Motion Apareyinin yükleme senaryosu	50
Şekil 3.22 BAMP (Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon) Uygulamasının yükleme senaryosu	51
Şekil 3.23 Sınır koşulları (X-Z eksen)	51
Şekil 3.24 Sınır koşulları (Y-Z)	52
Şekil 4.1 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	56
Şekil 4.2 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	56
Şekil 4.3 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	57
Şekil 4.4 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı	57
Şekil 4.5 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	59
Şekil 4.6 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	59
Şekil 4.7 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	60
Şekil 4.8 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı	60
Şekil 4.9 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	64

Şekil 4.10	BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	64
Şekil 4.11	BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	65
Şekil 4.12	BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	65
Şekil 4.13	BAMP Simülasyonunda mandibular dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	68
Şekil 4.14	BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	68
Şekil 4.15	BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	69
Şekil 4.16	BAMP Simülasyonunda mandibuler dişlerde magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	69
Şekil 4.17	CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	72
Şekil 4.18	CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	72
Şekil 4.19	CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	73
Şekil 4.20	CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	73
Şekil 4.21	CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	75
Şekil 4.22	CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	75
Şekil 4.23	CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	76
Şekil 4.24	CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda oluşan magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	76
Şekil 4.25	CM3 Simülasyonunda mandibulada X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	80
Şekil 4.26	CM3 Simülasyonunda mandibulada Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	80
Şekil 4.27	CM3 Simülasyonunda mandibulada Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	81
Şekil 4.28	CM3 Simülasyonunda mandibulada oluşan magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	81
Şekil 4.29	BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	83
Şekil 4.30	BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	84
Şekil 4.31	BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	84
Şekil 4.32	BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda oluşan magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı	85
Şekil 4.33	BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	88
Şekil 4.34	BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	88

Şekil 4.35 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	89
Şekil 4.36 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı	89
Şekil 4.37 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	92
Şekil 4.38 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	93
Şekil 4.39 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı	93
Şekil 4.40 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı	94
Şekil 4.41 CM3 simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises Stres miktarı	95
Şekil 4.42 CM3 simülasyonunda mandibuler dişlerde oluşan Von Mises Stres miktarı	98
Şekil 4.43 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri.....	100
Şekil 4.44 BAMP Simülasyonunda Mandibuler Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri.....	102
Şekil 4.45 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan Von Mises stres değerleri.....	104
Şekil 4.46 CM3 simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri	105
Şekil 4.47 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan von mises stres değerleri	106
Şekil 4.48 BAMP simülasyonunda mandibulada oluşan von mises stres değerleri	107
Şekil 4.49 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises Stres değerleri.....	109
Şekil 4.50 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan von mises stres değeleri	110
Şekil 4.51 CM3 simülasyonunda maksiller dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi	112
Şekil 4.52 CM3 simülasyonunda mandibuler dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi	112
Şekil 4.53 BAMP simülasyonunda maksiller dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi	113
Şekil 4.54 BAMP simülasyonunda mandibuler dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi	114

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Çalışma modelleri tablosu	46
Tablo 3.2 Malzeme özellikleri tablosu	49
Tablo 3.3 Her iki analiz modelinin düğüm ve eleman sayıları	52
Tablo 4.1 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarları	58
Tablo 4.2 CM3 Simülasyonunda mandibuler dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarları	61
Tablo 4.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları	66
Tablo 4.4 BAMP Simülasyonunda mandibuler dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları	70
Tablo 4.5 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları	74
Tablo 4.6 CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları	78
Tablo 4.7 CM3 Simülasyonunda mandibulada X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları	81
Tablo 4.8 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve yer değiştirme miktarları.....	85
Tablo 4.9 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerinde oluşan yer değiştirme miktarı.....	90
Tablo 4.10 BAMP simülasyonunda mandibuler kemikte magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerinde oluşan yer değiştirme miktarları	91
Tablo 4.11 CM3 simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu	97
Tablo 4.12 CM3 simülasyonunda mandibuler dişlerde oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu	99
Tablo 4.13 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri tablosu	101
Tablo 4.14 BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde oluşan Von Mises Stres değeri tablosu	102
Tablo 4.15 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan Von Mises stres değerleri tablosu	104
Tablo 4.16 CM3 simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri tablosu	105
Tablo 4.17 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan von mises stres değerleri tablosu.....	107
Tablo 4.18 BAMP simülasyonunda mandibulada oluşan von mises stres değerleri tablosu	108
Tablo 4.19 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu	109
Tablo 4.20 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan von mises stres değeri tablosu	111

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

%: Yüzde

3D: 3 boyut

ark.: Arkadaşları

BAMP: Bone-Anchored Maxillary Protraction

CAD: Computer Aided Design

CBCT: Cone Beam Computed Tomography

CT: Computed Tomography

CM3: Class III Carriere Motion

FEM: Finite Element Method

FEA: Finite Element Analysis

Gb: Gigabayt

Ghz: Gigahertz

Mag: Magnitude

Mm: Milimetre

MPa: Megapaskal

MRI: Magnetic Resonance Imaging

N: Newton

PDL: Periodontal Ligament

RME: Hızlı Maksiller Genişletme

SEA: Sonlu Elemanlar Analizi

Stl: Stereolithography

TME: Temporomandibular Eklem

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam süresince bana daima yol gösteren, bilgi ve birikimini hiçbir zaman esirgemeyen, akademik yaklaşımı ve yapıcı eleştirileriyle beni her zaman ileriye taşıyan, sağduyulu ve sabırlı tutumuyla ilham, öğrencisi olmaktan büyük bir onur duyduğum değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Musa BULUT'a,

Eğitimim süresince akademik bilgi birikimi, üstün öğretme becerisi, zarafeti ve pozitif yaklaşımıyla bana hem mesleki hem de insani anlamda örnek olan, mesleki vizyonuma yön veren ve daima yapıcı bir rehberlik sağlayan, çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Yasemin Nur KORKMAZ'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca bana her zaman destek olan, bilgisi, disiplini ve güler yüzlü yaklaşımıyla mesleki gelişimime önemli katkılar sağlayan, ortodonti alanında bakış açımı genişleten değerli hocam Sayın Doç. Dr. Yasin HEZENCİ'ye teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte klinik deneyim yaşama fırsatı bulduğum, tecrübelerini daima paylaşan, yapıcı ve yol gösterici tutumlarıyla destek olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Semiha ARSLAN'a,

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, bilgi ve deneyimlerini paylaşarak desteğini hissettiren, her biriyle güzel bir çalışma ortamı oluşturduğum Ortodonti Anabilim Dalı'ndaki tüm değerli meslektaşlarıma,

Bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan, sabrı, sevgisi ve içtenliğiyle en yoğun dönemlerde dahi bana güç veren, moral ve motivasyon kaynağım olan değerli arkadaşım Elif UZAK'a,

Hayatım boyunca sevgi, emek ve fedakârlıklarıyla daima arkamda duran, bugün olduğum kişi olmamı sağlayan canım annem Saeideh GHORBANGHOLI ve babam Farshid POURGHAZ'a,

Her zaman yanımda olan, beni anlayan, moral veren, fikirleriyle destek olan ve hayatımın en kıymetli parçası olan kardeşim Parham POURGHAZ'a,

Gönülden teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Diş arklarının, çene ve yüzü oluşturan kemik yapılarının kendi içlerinde ve birbirleriyle olan ilişkilerinde normalden sapmış olma durumu ortodontik anomali veya maloklüzyon olarak adlandırılır. Ortodontik anomaliler, sadece sagittal düzlemde değil; transversal ve vertikal düzlemlerde de ortaya çıkabilmekte, bu durum hem dental arkların hem de iskeletsel yapıların üç boyutlu uyumunu bozmaktadır. Ayrıca, maloklüzyonların patogenezi yalnızca sert dokularla sınırlı olmayıp, yumuşak doku morfolojisi ve fonksiyonları (dil, dudak, yanak kasları, fasiyal mimik) ile de yakından ilişkilidir (Graber ve ark., 2005).

Ortodontik maloklüzyonlar, modern ortodontinin öncüsü Edward Angle tarafından ilk olarak Sınıf I, II ve III şeklinde tanımlanmış (Angle, 1899), ilerleyen yıllarda ise bu temel sınıflama çeşitli araştırmacılar tarafından güncellenmiş ve daha ayrıntılı alt gruplara ayrılmıştır (Ackerman ve Proffit, 1969; Chen ve ark., 2016; Williams ve Stephens, 1992).

Sınıf III maloklüzyonlar, etiyolojik açıdan incelendiğinde iskeletsel, dental ve fonksiyonel kaynaklı olarak gelişebilmektedir. İskeletsel Sınıf III olgularda, maksiller hipoplazi, mandibular prognatizm veya her iki çene segmentinde görülen kombine anomaliler söz konusudur. Buna karşılık, dental Sınıf III maloklüzyonlar, çenelerin kafa kaidesine göre normal konumda olduğu durumlarda, maksiller dişlerin retrüzyonu, mandibular dişlerin protrüzyonu ya da her iki durumun birlikte varlığı ile karakterizedir. Fonksiyonel Sınıf III maloklüzyonlarda ise altta yatan neden, hastanın çeşitli faktörlere bağlı olarak mandibulayı fizyolojik konumunun ötesinde ileriye konumlandırması sonucu ortaya çıkan yalancı Sınıf III çene ilişkisidir (Proffit ve ark., 2012).

Sınıf III maloklüzyonların görülme sıklığı toplumdan topluma değişiklik göstermekte olup, genel olarak diğer ortodontik anomalilere kıyasla daha düşük prevalansa sahiptir. Ancak, bu anomaliler hem estetik hem de fonksiyonel açıdan bireyler üzerinde belirgin rahatsızlık yaratmakta ve yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir (Bernabé ve ark., 2008; Joshi ve ark., 2014). Bu durum, bireylerin maloklüzyon varlığını fark etmelerini ve tedavi arayışına yönelmelerini kolaylaştıran önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

İskeletsel Sınıf III maloklüzyonların tedavi planlaması, bireyin büyüme ve gelişim dönemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Üst çene geriliğinin baskın

olduğu olgularda sıklıkla kullanılan geleneksel ortopedik yaklaşımlar arasında reverse headgear / yüz maskesi yer alırken, mandibular fazlalığın ön planda olduğu durumlarda çenelik uygulaması tercih edilen yöntemlerdendir. Literatürde, bu konvansiyonel yaklaşımlara ek olarak çeşitli aparey tasarımları da geliştirilmiş olup, teknolojik ilerlemelerle birlikte gelecekte tedavi alternatiflerinin daha da çeşitlenmesi beklenmektedir. Öte yandan, büyüme ve gelişim sürecini tamamlamış hastalarda ise olgunun detaylı değerlendirilmesini takiben, fizyolojik sınırlar içerisinde sabit ortodontik tedavi ile kamuflaj yöntemleri uygulanmakta; daha ileri ve ciddi iskeletsel bozukluklarda ise ortognatik cerrahi tedaviler ön plana çıkmaktadır (Proffit ve ark., 2012).

Son yıllarda popülerliği hızla artan miniplak ve minivida destekli iskeletsel ankraj sistemleri, hastalara hem daha yüksek konfor sunmayı hem de tedavi etkinliğini en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir. Geleneksel reverse headgear uygulamalarında görülen ankraj kontrolü zorlukları ve tedavi sonunda elde edilen kazanımların büyük ölçüde dişsel hareketlere dayanması, araştırmacıların dikkatini iskeletsel ankraj sağlayan miniplak destekli yöntemlere yöneltmiştir. Bu yöntemlerde, belirli anatomik bölgelere yerleştirilen miniplaklar ve bunlardan ağız içine uzanan kanca sistemleri aracılığıyla reverse headgear kuvvetlerine benzer kuvvetler uygulanmakta, böylece hem iskeletsel hem de dişsel düzeyde daha kontrollü ve etkili bir tedavi sağlanabilmektedir. Büyüme gelişiminin son evresinde kliniğe başvuran Sınıf III olgularda, mevcut sınırlı büyüme potansiyelinin doğru yönde ve kontrollü kuvvetlerle yönlendirilmesi, tedavi başarısı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu dönemde uygulanan iskeletsel ankraja dayalı maksiller protraksiyon tekniklerinin, tedavi etkinliğini artırarak daha stabil ve istenilen sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (De Clerck ve ark., 2009).

Yetişkin ya da büyüme potansiyeli minimal olan bireylerde Sınıf III maloklüzyonların yönetimi, ortodontistler için önemli zorluklar barındırmaktadır. Bu alanda son yıllarda geliştirilen yeni yaklaşımlardan biri, 2015 yılında İspanya, Barselona'dan Luis Carriere tarafından tanıtılan Carriere Motion Class III (CM3) apareyidir. CM3 apareyi, daha önce geliştirilen Carriere Motion Class II (CM2) apareyinin modifiye edilmiş bir versiyonudur (Carrière, 2004; McNamara Jr ve ark., 2021). Ancak, mevcut literatürde bu tedavi yaklaşımının teorik temellerini ve

uygulanabilirliğini ayrıntılı biçimde irdeleyen çalışmaların oldukça sınırlı olduğu, dikkat çekmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı, yukarıda özetlenen bilgiler doğrultusunda, diş destekli ve kemik destekli olmak üzere iki farklı tedavi yönteminin kraniyofasiyal yapılar üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar analizi (SEA, FEM) kullanarak değerlendirmek ve elde edilen bulguları karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Çalışmada diş destekli yöntem olarak Carriere Motion Class III (CM3) apareyi, kemik destekli yöntem olarak ise üst çenede sağ ve sol infrazygomatik bölgelerde ve alt çenede mandibular simfiz bölgesine yerleştirilen miniplaklar aracılığıyla uygulanan intermaksiller elastikleri modelleyen iki ayrı senaryo tasarlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Ortodontik Maloklüzyonlar

Maloklüzyon, çenelerin (maksilla ve mandibula) yapısal uyumsuzluklarının yanı sıra dişlerin konum, sayı, şekil ve gelişim bozukluklarını da içeren, normal oklüzyondan sapma olarak tanımlanmaktadır. Bu tür anomaliler sagittal, vertikal ve transversal düzlemlerde ortaya çıkabilmektedir (Chauhan ve ark., 2013).

2.1.1 Sagittal yöndeki anomaliler

Graber'in sınıflandırmasına göre maloklüzyonlar, dişsel ve iskeletsel bozukluklar olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Dişsel sagittal maloklüzyonlarda, maksilla ile mandibulanın birbirleriyle ve kafa kaidesiyle olan ilişkileri normaldir; ancak dişlerde çeşitli malpozisyonlar gözlenmektedir. Buna karşılık, iskeletsel sagittal maloklüzyonlarda maksilla ve mandibula arasındaki ilişkiler ile bu yapıların kafa kaidesiyle olan bağlantıları bozulmuştur. Ortodontik değerlendirme sürecine sefalometrik radyografinin dahil edilmesi, dişsel ve iskeletsel anomalilerin ayırt edilerek doğru bir şekilde tanımlanmasını kolaylaştırmaktadır (Graber ve ark., 2005).

- Dişsel sınıflandırma

Angle'ın geliştirdiği sınıflandırma sistemi, maksiller birinci moların konumunun referans noktası olarak kabul edilmesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, maloklüzyonları üç ana sınıf altında toplamaktadır.

Sınıf I maloklüzyonda, maksiller ve mandibular birinci molar dişler arasında fizyolojik tüberkül–fossa ilişkisi korunmuştur. Bu durumda, maksiller birinci moların meziobukkal tüberkülü mandibular birinci moların santral fossasına yerleşir. Ancak diş diziliminde çeşitli malpozisyonlar görülebilir.

Sınıf II maloklüzyonda, mandibular birinci molar ile maksiller birinci molar arasındaki tüberkül–fossa ilişkisi, normal konumun distalinde bulunmaktadır.

Sınıf III maloklüzyonda ise mandibular birinci molar, maksiller birinci molara göre mezial konumda olup tüberkül–fossa ilişkisi bu yönde sapma göstermektedir (Angle, 1899).

- İskeletsel sınıflandırma

Sefalometrik radyografi, kranyum, yüz ve çene kemiklerinin morfolojik özelliklerinin ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yöntem sayesinde maloklüzyonun iskeletsel ve dental bileşenleri daha kapsamlı olarak analiz edilebilmektedir (Angle, 1899). Sefalometrik analiz aracılığıyla, maksilla ve mandibulanın anterior kraniyal kaideye göre anteroposterior ilişkileri belirlenmekte ve bu değerlendirme çoğunlukla ANB açısı üzerinden yapılmaktadır (Steiner, 1953). ANB açısı, maksilla ile mandibulanın sagittal düzlemdeki konumsal ilişkisini göstermektedir. Buna göre, ANB açısının 0° – 4° aralığında olması iskeletsel Sınıf I ilişkii, 4° 'nin üzerinde olması iskeletsel Sınıf II ilişkii, 0° 'nin altında bulunması ise iskeletsel Sınıf III ilişkii işaret etmektedir (Steiner, 1959).

2.1.2 Vertikal yöndeki anomaliler

- Dişsel sınıflandırma

Maksiller ve mandibular santral kesici dişlerin kesici kenarları arasındaki dikey mesafe “overbite” olarak tanımlanmaktadır. Overbite değerinin artması (deep bite), üst santral kesicilerin alt santral kesicileri normalden fazla örtmesiyle ortaya çıkar. Aşırı artmış overbite olgularında, mandibular kesicilerin palatinal mukozaya temas etmesi de söz konusu olabilir.

“Açık kapanış” (open bite) ise sentrik oklüzyon sırasında üst ve alt dişlerin bir kısmının temas etmemesi ve bu bölgede dikey yönde açıklığın bulunması şeklinde tanımlanır. Açık kapanış, ön açık kapanış ve posterior açık kapanış olmak üzere iki alt grupta incelenmektedir. Sentrik oklüzyonda üst ve alt anterior dişler arasında dikey açıklık bulunması ön açık kapanış (negatif overbite) olarak adlandırılırken; bir tarafta molar dişler arasında temas mevcutken karşı tarafta molar ve premolar dişler arasında dikey açıklığın gözlenmesi posterior açık kapanış olarak tanımlanmaktadır (Ülgen, 2000).

- İskeletsel sınıflandırma

Vertikal maloklüzyonlar, mandibulanın büyüme yönüne bağlı olarak anterior ya da posterior rotasyon göstermesiyle ilişkilendirilir (Schudy, 1968). Bu durumun değerlendirilmesinde, mandibular düzlem (GoGn) ile anterior kraniyal kaide düzlemi (SN) arasındaki açının ölçümü esas alınmaktadır. GoGn/SN açısının normal değeri $32^{\circ} \pm 6^{\circ}$ olarak kabul edilmektedir (Steiner, 1959). Ölçülen açının

normal üst sınırını aşması iskeletsel açık kapanış, alt sınırın altında kalması ise iskeletsel derin kapanış olarak tanımlanmaktadır.

2.1.3 Transversal yöndeki anomaliler

- Dişsel sınıflandırma

İdeal sentrik oklüzyonda, maksiller dişler mandibular dişleri bir kutu kapağı gibi örtmektedir. Bu ilişkinin tek taraflı (unilateral) veya çift taraflı (bilateral) olarak bozulması durumunda “yan çapraz kapanış” (lateral crossbite) ortaya çıkar. “Bukkal nonoklüzyon”, bir ya da birkaç dişin bukkal konumda bulunması nedeniyle çiğneyici yüzeylerinin antagonist dişlerle temas etmemesi ve tamamen oklüzyon dışında kalması olarak tanımlanır. Benzer şekilde, “palatinal (lingual) nonoklüzyon” ise dişlerin palatinal ya da lingual pozisyonda yer alması sonucu çiğneyici yüzeylerinin karşıt dişlerle temas edememesi ve oklüzyonun dışında kalması şeklinde ifade edilmektedir (Ülgen, 2000).

- İskeletsel sınıflandırma

İskeletsel lateral çapraz kapanış ile iskeletsel bukkal-lingual nonoklüzyon olgularında, maksiller ve mandibular kemik genişlikleri arasında belirgin bir uyumsuzluk söz konusudur. Bu uyumsuzluk, dişlerin fizyolojik temasını engelleyerek hem fonksiyonel hem de estetik açıdan çeşitli problemlere neden olabilmektedir (Ülgen, 2000).

2.2 Sınıf III Maloklüzyonlar

Edward Angle, 1899 yılında ortaya koyduğu tanımda Sınıf III maloklüzyonu, mandibulanın öne doğru konumlanması, alt dişlerin normal oklüzyon düzlemine göre yaklaşık bir premolar mesafesi ya da ileri vakalarda daha belirgin mezial yerleşimi ve alt kesici ile kanin dişlerin lingual eğimi şeklinde tarif etmiştir (Angle, 1899). Ancak bu tanım, esasen yalnızca sagittal düzlemdeki diş-çene ilişkilerini esas almakta, maloklüzyonun üç boyutlu doğasını ve transversal ya da vertikal anomalileri kapsam dışında bırakmaktadır. Nitekim ilerleyen yıllarda yapılan araştırmalar, maloklüzyonların yalnızca sagittal düzlemle sınırlı olmadığını; transversal genişlik farklılıkları, dikey boyut bozuklukları ve yumuşak doku uyumsuzluklarının da dentofasiyal anomaliler üzerinde belirleyici etkiler yarattığını ortaya koymuştur (Ackerman ve Proffit, 1969; Graber ve ark., 2005).

Günümüzde kullanılan sınıflama sistemleri, bu multidimensiyonel yaklaşımı benimseyerek maloklüzyonların hem iskeletsel hem dentoalveolar hem de yumuşak doku bileşenlerini dikkate alan, daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır (Chen ve ark., 2016). Dolayısıyla, Angle'ın tanımı tarihsel önemini korumakla birlikte, çağdaş ortodontik teşhis ve tedavi planlamasında yetersiz kalmakta ve güncel bilimsel bakış açısıyla desteklenmesi gerekmektedir.

2.2.1 Sınıf III Maloklüzyonların Sınıflandırılması

Sınıf III maloklüzyonların gelişiminde, maksilla ve mandibula arasındaki konumsal ve hacimsel uyumsuzlukların temel rol oynadığı bilinmektedir (Jacobson ve ark., 1974). Bu tür anomaliler, genellikle maksiller retrognati, mandibular prognati ya da her iki durumun birlikte görülmesiyle ortaya çıkmakta; maksillanın kafa kaidesine göre posterior pozisyonlanması veya mandibulanın kafa kaidesine göre anterior yerleşimi şeklinde klinik yansıma göstermektedir (McNamara Jr ve Bryan, 1987). Bununla birlikte, yalnızca iskeletsel yapılar değil, aynı zamanda dental faktörler de bu anomalilerin oluşumunda etkili olabilir; örneğin mandibular dişlerin protrüzyonu ya da maksiller dişlerin retrüzyonu, maloklüzyonun şiddetini artıran önemli komponentler arasında sayılmaktadır (Guyer ve ark., 1986). Literatürde Sınıf III maloklüzyonlar, pek çok araştırmacı tarafından genel olarak dental, fonksiyonel ve iskeletsel olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır (Ngan ve Moon, 2015).

i. Dişsel Sınıflama

Günümüzde ortodontide en yaygın kabul gören dental sınıflama sistemlerinden biri, 1899 yılında Dr. Edward H. Angle tarafından geliştirilmiştir (Angle, 1899). Angle, alt birinci sürekli molar dişin, üst birinci sürekli molara kıyasla normal oklüzyondan daha mezialde konumlandığı kapanış ilişkisini Sınıf III maloklüzyon olarak tanımlamıştır. Dental kaynaklı Sınıf III maloklüzyonlarda, Angle'ın tarif ettiği bu Sınıf III kapanış ilişkisi mevcut olmasına rağmen, iskeletsel yapıların konumunda belirgin bir anomaliden söz edilemez ve ANB açısı genellikle $+2^{\circ}$ ila $+4^{\circ}$ aralığında, yani normal sınırlar içerisinde kalır (Angle, 1899).

ii. İskeletsel Sınıflama

İskeletsel Sınıf III anomaliler, temel olarak morfolojik ve fonksiyonel olmak üzere iki ana alt grupta incelenmektedir (Uc, 1970).

Fonksiyonel Sınıf III Anomaliler

Fonksiyonel Sınıf III anomaliler, altta yatan etiyolojik faktörlerin (erken diş temasları, hipertrofik tonsil gibi) zamanında ortadan kaldırılmaması durumunda, temporomandibular eklemden (kondil ve glenoid fossa) kalıcı değişimlere yol açabilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle dikkatle ele alınması gereken önemli bir klinik tablodur. Bu olgularda maksilla ve mandibula, yapısal olarak normal boyut ve konumda olup, mandibula, istirahat konumundan maksimum interküspal konuma geçerken anterior yönde kayar; genellikle bu durum çapraz kapanışla beraber izlenir. Literatürde “Psödo Sınıf III” olarak da adlandırılan bu vakalarda, tedavi geciktiğinde fonksiyonel kaymanın morfolojik adaptasyonlara dönüşme riski bulunmaktadır (Graber, 1967; Nakasima ve ark., 1982).

Morfolojik Sınıf III Anomaliler

Sefalometrik radyografinin ortodontiye kazandırılması, iskeletsel Sınıf III maloklüzyonların daha net tanımlanmasına olanak sağlamıştır (Broadbent, 1931). Sefalometrik analizler ışığında Sınıf III bireylerde üç ana iskeletsel uyumsuzluk tipi tanımlanmıştır (Burns ve ark., 2010):

Prognati İnferior (Gerçek Mandibular Prognati): Mandibulanın her yönde aşırı gelişim göstermesi.

Retrognati Süperior (Yanlış Mandibular Prognati): Mandibula normal boyutlardayken, maksillanın yetersiz gelişmesi nedeniyle alt çenenin önde konumlanmış izlenimi vermesi.

Kombine Bozukluk: Maksillanın geride, mandibulanın ise önde konumlandığı durumlarda ortaya çıkan çift taraflı uyumsuzluk.

Tweed (Tweed, 1966), Sınıf III anomalileri iki ana kategoriye ayırmıştır:

Kategori A, normal mandibula ile birlikte yetersiz maksilla varlığını;

Kategori B, mandibulanın gerçekten prognatik olduğu durumu ifade etmektedir.

Ellis ve McNamara (Ellis III ve McNamara Jr, 1984), bu anomalilerin oluşumuna katkıda bulunan beş temel faktör (maksilla, mandibula, her iki çenedeki alveolar yapı ve yüzün dikey boyutu) üzerinden 243 teorik kombinasyon öngörmüş, ancak kendi araştırmalarında yetişkin bireylerde yalnızca 69 kombinasyon türüyle karşılaştıklarını rapor etmişlerdir.

Moyers (Moyers, 1988) ise etiyolojik temelde yaptığı sınıflamada Sınıf III anomalileri dental, kassal ve iskeletsel olmak üzere üç ana gruba ayırmış; burada fonksiyonel Sınıf III anomalileri “kassal Sınıf III anomaliler” başlığı altında ele almıştır.

2.2.2 Sınıf III Maloklüzyonların Epidemiyolojisi

Sınıf III anomaliler, diğer maloklüzyon türlerine kıyasla toplum genelinde daha düşük sıklıkta gözlemlense de etnik köken ve coğrafi faktörlere bağlı olarak prevalanslarında belirgin değişiklikler göstermektedir.

Hardy ve arkadaşlarının (Hardy ve ark., 2012) yürüttüğü geniş kapsamlı bir sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasına göre, Sınıf III anomalilerin görülme oranı ırklar arasında farklılık göstermektedir; en yüksek oranların Çin ve Malezya toplumlarında, en düşük oranların ise Hint toplumunda saptandığı bildirilmiştir. Güneydoğu Asya ülkelerinde Angle Sınıf III maloklüzyon prevalansı ortalama %15,8 ile zirvedeyken, Orta Doğu ülkelerinde %10,18, Avrupa’da %4,88, Afrika’da %4,59 ve Hindistan’da %1,19 olarak rapor edilmiştir.

Diğer bazı çalışmalarda Afrika ülkelerinde Sınıf III maloklüzyonun görülme oranlarının %2 ile %10,3 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilirken (Mtaya ve ark., 2009), Avrupa ülkelerinde bu oranların %2,79 ile %4,3 arasında seyrettiği ifade edilmiştir (Perillo ve ark., 2010; Šidlauskas ve Lopatienė, 2009). Latin Amerika kökenli popülasyonlarda ise Sınıf III maloklüzyon insidansı yaklaşık %5 olarak bulunmuştur (Silva ve Kang, 2001).

Türk popülasyonuna odaklanan çalışmalar şu sonuçları ortaya koymaktadır: Gelgör ve arkadaşlarının (Gelgör ve ark., 2007) 240 kişiyi kapsayan araştırmasında Sınıf III maloklüzyon insidansı %10,3 olarak belirlenmiştir. Çelikoğlu ve ekibinin 1507 birey üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada bu oran %16,7 olarak tespit edilmiştir (Celikoglu ve ark., 2010). Sayın ve Türkkahraman, 1356 kişiyle yaptıkları analizde, bireylerin %12’sinin Sınıf III maloklüzyon sergilediğini raporlamıştır (Sayın ve Türkkahraman, 2004).

Genel olarak, yapılan pek çok çalışma Asya kökenli popülasyonlarda Angle Sınıf III maloklüzyon prevalansının diğer ırklara kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir (Lew ve ark., 1993; Onyeaso, 2004; Soh ve ark., 2005; Tang, 1994; Woon ve Thong, 1989).

Öte yandan, bazı durumlarda aynı popülasyonlar içinde yapılan farklı çalışmalar arasında çelişkili bulgular raporlanmıştır. Örneğin, Nijeryalı çocuklar üzerine yapılan çalışmalardan birinde 1993 yılında Sınıf III maloklüzyon prevalansı %1,2 olarak bildirilmişken, 2004 yılında yapılan başka bir çalışmada bu oran %11,8'e kadar yükselmiştir (Dacosta, 1999; Mtaya ve ark., 2009; Otuyemi ve Abidoye, 1993).

2.2.3 Sınıf III Maloklüzyonların Etiyolojisi

Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde en önemli belirleyicilerden biri, hastanın içinde bulunduğu iskeletsel maturasyon dönemi ve maloklüzyonun altında yatan etiyojidir. Bu anomalilerin ortaya çıkışında yalnızca kalıtım değil, çevresel faktörler de önemli rol oynar ve maloklüzyonun şiddetini doğrudan etkileyebilir (Jena ve ark., 2005). Genel olarak, Sınıf III maloklüzyonun gelişimi multifaktöriyel bir karakter taşır; yani hem genetik hem de çevresel etkenlerin karmaşık etkileşimi sonucu ortaya çıkar (Battagel, 1993; Doraczynska-Kowalik ve ark., 2017; Singh, 1999). Kalıtım etkisini ortaya koyan klasik örneklerden biri, Habsburg Hanedanı'nda nesiller boyunca aktarılan mandibular prognatidir. Çeşitli çalışmalar, Sınıf III maloklüzyonun genetik aktarımında tek bir genin sorumlu olmadığını; aksine, birçok farklı gen bölgesinin etkileşimiyle oluştuğunu bildirmiştir (Litton ve ark., 1970; Watanabe ve ark., 2005). Ancak, özellikle mandibular fazlalığın baskın olduğu vakalarda tek genle geçişi savunan araştırmalar da mevcuttur (Dehesa-Santos ve ark., 2021). Litton ve arkadaşları (1970) şiddetli Sınıf III anomalilere sahip çocukların üçte birinde anne ve babada, altıda birinde ise kardeşlerde benzer bozuklukların bulunduğunu rapor etmiştir (Litton ve ark., 1970). Ayrıca, büyüme faktörleriyle ilişkili IGF-1, VEGF ve PTHrP gibi genlerin ekspresyon düzeylerindeki farklılıkların, mandibula kaynaklı Sınıf III maloklüzyon gelişiminde önemli rol oynadığı gösterilmiştir (Xue ve ark., 2010).

Çevresel etkenler de Sınıf III maloklüzyonun etiyolojisinde kritik rol oynamaktadır. Endokrin bozukluklar (örn. akromegali), kraniyofasiyal sendromlar (örn. Apert, Crouzon), konjenital anatomik defektler, hipertrofik tonsiller, üst solunum yolu problemleri (septum deviasyonu, polipler, alerji), dilin konumu ve büyüklüğü, dişlerin ektopik erüpsiyonu, süt dişlerinin erken kaybı, istenmeyen oklüzal kuvvetler, travmalar, postür bozuklukları ve psikososyal alışkanlıklar

(taklitçilik gibi) mandibulanın öne doğru konumlanmasını uyararak iskeletsel anomalilere zemin hazırlayabilir (Ngan ve Moon, 2015). Fränkel (Fränkel, 1970), üst dudağın ve buksinatör kasın aşırı kas aktivitesinin, maksiller gelişimi baskılayarak üst çene geriliğine neden olabileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, dudak-damak yarığı cerrahilerinden sonra oluşan skar dokusunun, maksillayı üç boyutta etkileyerek Sınıf III maloklüzyon gelişimine katkıda bulunduğu da bildirilmiştir (Kim ve ark., 2011).

J. Van Limborgh'un (Van Limborgh, 1972) belirttiği üzere, kraniyofasiyal gelişim beş ana faktöre bağlıdır: intrinsik genetik faktörler, lokal epigenetik faktörler, genel epigenetik faktörler, lokal çevresel faktörler ve genel çevresel faktörler. Genetik bileşenler hücre içinden kaynaklanırken, epigenetik faktörler hücre dışı yapıdan etkilenir ve çevresel faktörler dış ortamdan bağımsız olarak ortaya çıkar. Özellikle büyüme ve gelişme döneminde bu faktörler arasındaki dengenin bozulması, maloklüzyon oluşumuna zemin hazırlayabilir. Sonuç olarak, başarılı ve kalıcı bir tedavi için maloklüzyonun altında yatan etkenlerin doğru tespit edilmesi ve mümkünse ortadan kaldırılması kritik öneme sahiptir.

2.2.4 Sınıf III Maloklüzyonların Tedavi Zamanlaması

Sınıf III maloklüzyonların tedavi zamanlaması, ortodontik camiada uzun süredir tartışma konusudur. Bu konuda literatürde farklı görüşler yer almakta olup, özellikle erken dönemde başlanan tedavilerin etkileri üzerine çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Erken tedaviyi savunan araştırmacılar, büyüme çağında uygulanan ortopedik müdahalelerin iskeletsel etkilerinin daha belirgin olduğunu ve bu sayede daha kalıcı sonuçlar elde edilebildiğini belirtmişlerdir (Kim ve ark., 1999). Ancak ideal tedavi zamanlamasının belirlenebilmesi için, Sınıf III anomalilerinin oluşum mekanizmalarının, gelişim sürecindeki kritik atak dönemlerinin ve bu anomalilerin yüz profiline olan etkilerinin iyi anlaşılması gerekir. Ortodontistler arasında bazıları büyüme-gelişim döneminde yapılan ortopedik tedavilerin etkinliğini ön planda tutarken, diğerleri iskeletsel müdahale yerine erişkin dönemde sabit ortodontik tedaviyle kamuflaj veya ortognatik cerrahiyi daha uygun bir seçenek olarak görmektedir (Guyer ve ark., 1986; Sugawara ve Mitani, 1997).

Sınıf III hastalarda erken dönemde ortopedik tedaviye başlama konusundaki çekincelerin başlıca nedenlerinden biri, mandibular büyümenin öngörülmesindeki

güçlüklerdir (Ngan ve Moon, 2015). Tek bir sefalometrik görüntüyle bu büyümenin tahmini sınırlı olsa da uzun dönemli takiplerde mandibula pozisyonu, korpus uzunluğu, gonial açı ve ramus yüksekliği gibi bazı sefalometrik ölçütlerin, büyümenin ilerleyişini öngörmeye belirli bir yol gösterici olabileceği gösterilmiştir. Ancak tüm bu müdahalelere rağmen, erken ortopedik tedavi yapılmış bireylerde bile büyüme süreci sonunda cerrahi müdahale gereksinimi ortaya çıkabilmektedir (Franchi ve Baccetti, 2006; Ghiz ve ark., 2005; Nardoni ve ark., 2015). Özellikle genetik faktörlerin belirleyici olduğu durumlarda mandibular büyümenin devam edeceği ve genetik olarak programlanmış boyutlara ulaşacağı kabul edilmektedir. Bu tür vakalarda, erken dönemde başarılı bir tedavi sağlansa dahi ileride cerrahi gerekliliğin doğabileceği konusunda hastalar mutlaka bilgilendirilmelidir.

Erken dönemde uygulanan ortopedik tedavilerin temel hedefi, bireyin uzun vadede daha dengeli bir dentofasiyal gelişim süreci geçirmesini sağlamak ve yüz estetiğini iyileştirerek psikososyal gelişimini olumlu yönde desteklemektir. Bu nedenle, Sınıf III maloklüzyonların tedavisine mümkün olduğunca erken başlanmasının gerekli olduğu görüşü savunulmaktadır (McNamara Jr, 1987).

Bazı araştırmacılar, Sınıf III maloklüzyonların tedavisine, daimî birinci molarların sürmesinin hemen ardından başlanması gerektiğini ileri sürmektedir (Campbell, 1983). Tweed (Tweed, 1966) ise özellikle maksiller retrüzyonu bulunan Sınıf III olgularda, tedavinin erken karma dişlenme döneminde başlatılmasının önemini vurgulamış; aksi halde maksiller kesici dişlerin sürmesi nedeniyle maksillanın gelişiminin olumsuz etkileneceğini ve belirgin fasiyal deformitelerin ortaya çıkabileceğini belirtmiştir.

Saadia ve Torres'in (Saadia ve Torres, 2000) yaptığı bir çalışmada 3-6, 6-9 ve 9-12 yaşlarındaki toplam 112 Sınıf III birey yüz maskesi ile tedavi edilmiş; yaş grupları arasında anlamlı farklılık bulunmamasına rağmen, erken dönemde başlayan tedavinin daha hızlı ve belirgin değişiklikler sağladığı, ayrıca hasta iş birliğinin daha yüksek olabileceği ve böylece olası psikolojik etkilerin de önlenebileceği öne sürülmüştür.

Baccetti ve arkadaşları (Baccetti ve ark., 1997), 46 hastayı erken ve geç karma dişlenme dönemlerine göre iki gruba ayırarak yaptıkları çalışmada, erken dönemde elde edilen iskeletsel değişimlerin geç döneme kıyasla daha belirgin olduğunu saptamışlardır. Ancak Baik'in (Baik, 1995) çalışması, farklı yaş gruplarında uygulanan maksiller protraksiyonun etkilerinin sınırlı olduğunu ve

sefalometrik analizlerde gruplar arası anlamlı bir fark görülmediğini göstermiştir. Kajiya ve arkadaşlarının (Kajiya ve ark., 2004) ise süt ve karma dişlenme dönemindeki Sınıf III hastaları yüz maskesiyle tedavi etmiş; süt dişlenme döneminde tedavi edilen grupta maksiller ilerlemenin daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Her ne kadar birçok çalışma erken dönemde tedaviyi desteklese de bazı araştırmalar yaş ile tedavi etkileri arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığını belirtmiştir (Sung ve Baik, 1998; Takada ve ark., 1993). Öte yandan, tedavinin erken yaşta başlatılmasının süreci uzatabileceği ve bu durumun hasta kooperasyonunu olumsuz etkileyebileceğini, bu nedenle geç karma dişlenme döneminin daha uygun olabileceğini savunan görüşler de vardır (Turley, 2002).

Tanne ve arkadaşlarının (Tanne ve ark., 1993) da içinde bulunduğu bazı çalışmalarda, mandibular büyümenin öngörülememesi nedeniyle erken yaşta yapılan ortopedik ve ortodontik müdahalelerin sıklıkla yetersiz kaldığı ifade edilmiştir. Bu nedenle bazı araştırmacılar, Sınıf III maloklüzyonların tedavisinin büyüme gelişimi tamamlandıktan sonra ortognatik cerrahi ile gerçekleştirilmesi gerektiğini savunmaktadır (Arvystas, 1998; Nanda, 1990).

Tedavi zamanlamasını belirlemede sıklıkla kronolojik ve dişsel yaş referans alınsa da (Nanda, 1990; Saadia ve Torres, 2000), aynı yaş grubundaki bireylerin farklı iskeletsel gelişim evrelerinde olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, tedavi planlamasında iskeletsel yaşı kronolojik yaştan daha değerli bir kriter olduğu görüşü giderek daha fazla kabul görmektedir (Suda ve ark., 2000).

2.2.5 Sınıf III Maloklüzyonlarda Tedavi Yöntemleri

Sınıf III maloklüzyona sahip bireylerde, tedavi planlamasında yalnızca oklüzyonun düzeltilmesi değil, aynı zamanda fasiyal profilin iyileştirilmesi de önemli bir hedef olarak öne çıkmaktadır. Bu hasta grubunda profil estetiği, oklüzyon düzeltilmesinden daha ön planda değerlendirilmektedir (Arman ve ark., 2006; Kılıçoğlu ve Kırılıç, 1998). Söz konusu maloklüzyonun etkin bir şekilde yönetilebilmesi için iki temel unsurun dikkate alınması gereklidir: maloklüzyonun etiyolojik temeli ve müdahale için en uygun zamanlamanın belirlenmesi.

Büyüme-gelişme döneminde yüz iskeletini yönlendirmeye yönelik çeşitli ortopedik yaklaşımlar önerilmekte olup; çenelik, fonksiyonel aygıtlar ve yüz

maskesi bu tedavi seçeneklerinin başlıcaları arasında yer almaktadır (Deguchi ve McNamara, 1999; Ngan ve ark., 1996). Tedavi planlaması yapılırken, anomalinin hangi çene yapısından kaynaklandığı, bireyin iskeletsel büyüme evresi ve etiyolojik faktörlerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Diğer maloklüzyon türlerinde olduğu gibi, Sınıf III bozukluklarda da erken müdahaleler, geç dönemde yapılanlara kıyasla genellikle daha başarılı ve uygulanabilir olmaktadır (Baik, 1995). Özellikle erken yaşlarda kötü alışkanlıklara bağlı olarak gelişen Sınıf III vakalar, basit alışkanlık kırıcı apareylerle daha kolay ve etkili şekilde kontrol altına alınabilmektedir (Joondeph, 1993). Büyüme döneminde fonksiyonel nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan olgularda ise fonksiyonel aygıtlar ile büyümenin yönlendirilmesi mümkünken, ileri büyüme dönemlerinde hasta iş birliğine daha az bağımlı sabit ortodontik tedaviler tercih edilmektedir (Creekmore, 1978; McNamara Jr ve Huge, 1985).

Öte yandan, büyüme tamamlandıktan sonra ve ortodontik kamuflaj tedavisinin yetersiz kaldığı durumlarda ortognatik cerrahi uygulamaları kaçınılmaz hale gelmektedir (Campbell, 1983; Gokalp ve ark., 2010).

Sınıf III anomalilerin tedavi zamanlamasına ilişkin olarak literatürde iki temel yaklaşım ön plana çıkmaktadır. Bazı araştırmacılar, tedavinin büyüme-gelişme sürecinin erken evrelerinde başlatılmasının daha etkili sonuçlar sağlayabileceğini savunurken (Kambara, 1977; Saadia ve Torres, 2000; Sakamoto, 1981), diğer bir görüş ise tedavinin büyüme tamamlandıktan sonra, daha invaziv yöntemlerle gerçekleştirilmesinin uzun vadede daha başarılı olabileceğini ileri sürmektedir (Nanda, 1990). Bu çerçevede, hangi dönemin daha avantajlı olduğuna ilişkin görüş birliği bulunmamaktadır.

Yalnızca pubertal dönemde değil, prepubertal aşamada da uygulanan ortopedik tedavilerle temel iskeletsel bozukluklara müdahale edilerek, dengeleyici bir iskelet yapısı oluşturmak mümkündür. Bu erken müdahaleler, nöromusküler adaptasyonun gelişimini destekleyerek tedavi sonuçlarının uzun vadede korunmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, erken dönemde başlatılan tedavilerin psiko-sosyal faydaları da göz ardı edilmemelidir; bireyin yüz estetiğine ilişkin algısının olumlu yönde gelişmesi, sosyal uyumunu artırarak kendisini yaşıtlarıyla daha eşit koşullarda hissetmesine yardımcı olabilir (Campbell, 1983; Turpin III, 1981).

Sonuç olarak, Sınıf III maloklüzyonların tedavi seçenekleri; anomalinin kaynaklandığı anatomik yapı, etiyolojik nedenler, maloklüzyonun şiddeti ve bireyin büyüme-gelişim evresine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Bu kapsamda hem ağız içi hem de ağız dışı çeşitli ortodontik ve ortopedik aygıtların kullanımına dair çok sayıda uygulama literatürde yer almaktadır.

EKSTRAORAL UYGULAMALAR

Chin Cup (Çenelik)

Çenelik (chin cup) apareyi, uzun yıllardır hafif ile orta düzeyde mandibular prognatizm gösteren olgularda, mandibular büyümeyi sınırlamak ve yönlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Deguchi, 1998). Ancak bazı araştırmalarda, çeneliğin yalnız başına uzun vadeli etkilerinin sınırlı olduğu ve aktif kullanım süreci sonlandıktan sonra mandibular büyümenin başlangıçtaki paternine dönme eğiliminde olduğu belirtilmiştir (Mitani, 2002; Sugawara ve Mitani, 1997). Ayrıca, bazı çalışmalar tedavi amaçlı çenelik uygulanan bireylerle herhangi bir tedavi görmemiş bireyler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadığını bildirmiştir (Mitani, 2002; Wendell ve ark., 1985). Çenelik tedavisinde amaç, uygulanan kuvvetin kondil merkezlerine iletilerek mandibular büyümenin kontrol altına alınması ve mandibulada aşağıya ve geriye doğru bir rotasyon sağlanmasıdır. Bununla birlikte, bu tedavi sonucunda alt yüz yüksekliğinde artış gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, çenelik esasen mandibular büyümeyi yavaşlatmaya yönelik bir yaklaşım olup, Sınıf III maloklüzyonların önemli bir bölümünde görülen maksiller hipoplazi durumlarında tercih edilmemelidir (Mitani ve Fukazawa, 1986; Ritucci ve Nanda, 1986).

Yüz Maskesi

Maksillanın öne doğru hareketini sağlamak amacıyla geliştirilen ilk ortopedik apareylerin kullanımı 1800'lü yıllara dayanmaktadır. 1866 yılında Norman W. Kingsley, dudak damak yarıklı bireylerin tedavisinde kullanılan ısıрма plakları üzerine elastik kuvvetler uygulamış; ardından 1875'te Potpeschnigg, maksillayı anterior yönde hareket ettirmek üzere bugün "reverse headgear" olarak bilinen ilk örnekleri geliştirmiştir (Proffit ve ark., 2012).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yüz maskesine benzer yapıya sahip ilk tasarım ise 1970'li yıllarda Delaire tarafından ortaya konmuştur. Delaire'in yüz

maskesi; alın bölgesinden destek alan üst bölüm, mental bölgeye dayanan çenelik ve bu iki bölümü birleştiren prelabial ark olmak üzere üç ana parçadan oluşur. Bu tasarım sayesinde maksillada aşağıya ve geriye doğru rotasyonel bir hareket elde edilir (Delaire, 1971).

Petit ise Delaire'ın modelini geliştirerek, iki yandaki metal barları midsagittal düzlemde birleştirmiş ve yine alın ile çene ucundan destek alan, daha kompakt bir yapı olan Petit Tipi yüz maskesini tanıtmıştır (Petit, 1982). Bu apacey günümüzde özellikle maksiller retrüzyon vakalarında sıkça tercih edilen ekstraoral ortopedik aygıtlardan biri olmuştur. Zamanla, klasik yüz maskelerinin istenmeyen etkilerini azaltmak amacıyla çeşitli modifikasyonlar geliştirilmiştir.

Örneğin, Tübingen tipi yüz maskesi alın ve çene ucundan ankraj almakta, burnun sağ ve sol tarafından uzanan iki çelik bar içermektedir (Doğan ve Ertürk, 1991). Nanda, 1980 yılında çenelik ve facebow'dan oluşan, baştan ankraj alan yeni bir protraksiyon headgear'ı tanımlamıştır. Facebow'un dış kolları maksiller premolar dişlerin kök hizasına yerleştirilerek maksillanın istenmeyen rotasyonlarının önüne geçilmeye çalışılmış, elastik kuvvetler yerine facebow'dan faydalanılmıştır. Uygulama sonucunda B noktası çevresinde kemik rezorpsiyonu, maksillanın öne hareketi, maksiller dişlerde protrüzyon ve keserlerde flaring, mandibuler keserlerde ise lingual devrilme gibi etkiler rapor edilmiştir (Nanda, 1980).

1994'te Grummons, geleneksel modellerde temporomandibular eklem üzerine binen olası olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla; oksipital, frontal ve suborbital bölgelerden destek alan Grummons yüz maskesini geliştirmiştir (Hegmann ve Rüther, 2003). Benzer şekilde Keleş ve Alcan da yüz maskesinin eklem üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla alın bölgesinden dış ankraj alan, ağız içinde ise ekspansiyon vidası içeren, maksiller dişleri kaplayan akrilik plak ve özel bükülmüş facebow'dan oluşan bir modifiye apacey tanımlamışlardır (Alcan ve ark., 2000).

Göyenç ve Ersoy ise Delaire tipi yüz maskesini, maksiller dişlerin tamamını saran hareketli akrilik plaka yerleştirilen bir face bow ile birleştirerek uygulamış ve elastik kuvveti maksillanın direnç merkezine yönlendirmiştir (Göyenç ve Ersoy, 2004).

2006'da Altuğ ve Arslan, üst çenede tüm dişleri kapsayan ve genişletici vida içeren bir akrilik plak ile premolar hizasında yer alan hook'lerden oluşan, alt çenede

ise posterior dişleri kapsayan bir akrilik ankraj yapısına sahip, servikal ve çene ucundan dış destek alan yeni bir modifiye yüz maskesi tasarlamışlardır (Altug ve Arslan, 2006).

Reverse Headgear Kullanım Endikasyonları;

- Maksilla kaynaklı iskeletsel Sınıf III maloklüzyonların ortopedik tedavisinde
- Ortognatik cerrahi sonrası maksillanın pozisyonunu korumak için retansiyon amacıyla
- Minimum ankraj gerektiren olgularda
- Dudak-damak yarığına sahip hastaların ortopedik tedavisinde.

(Cozzani, 1981; Nanda, 1980; Nienkemper ve ark., 2013; Showkatbakhsh ve ark., 2012)

Reverse Headgear'in Dento-Fasiyal Etkileri

- Maksillanın anterior deplasmanı
- Maksillanın saat yönünün tersine rotasyonu
- Mandibulada saat yönünde rotasyonu
- Yüz profilinde iyileşme
- Maksiller keser dişlerde protrüzyon
- Mandibuler keser dişlerde retrüzyon
- Yüz yüksekliğinde artış

(da Silva Filho ve ark., 1998; Ishii ve ark., 1987; Kapust ve ark., 1998; Macdonald ve ark., 1999)

Yüz Maskesi ile Kombine İskeletsel Ankraj Uygulamaları

Diş destekli yüz maskesi (reverse headgear) tedavilerinde, istenen iskeletsel etkilerin yanı sıra bazı istenmeyen dişsel hareketler de görülebilmektedir. Bu dişsel değişiklikler, bazen ortopedik hedeflerin maskelenmesine veya tedavi sonucunun beklenenden sapmasına neden olabilmektedir. Mini vida ve mini plak gibi iskeletsel ankraj sistemlerinin ortodontide yaygınlık kazanmasıyla birlikte, bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmaya yönelik olarak iskelet destekli reverse headgear (RH) uygulamaları önem kazanmaya başlamıştır. Bu sayede, özellikle dişsel ankraja bağlı istenmeyen hareketlerin azaltılması hedeflenmektedir.

Bu alandaki ilk örneklerden biri Enacar ve arkadaşları (Enacar ve ark., 2003) tarafından sunulmuştur. Maksiller hipoplaziye ve ileri derecede oligodontiye sahip bir olguda hem mevcut dişlerden hem de alveolar bölgeye yerleştirilmiş titanyum vidalardan destek alınarak RH apareyi kullanılmıştır.

Kircelli ve Pektas (Kircelli ve Pektas, 2008) ise maksillanın lateral nazal duvarına yerleştirilen miniplaklara bağlanan intraoral kancalardan destek alarak, dişlerle temas etmeyen bir RH tedavisi gerçekleştirmiştir. Bu uygulamanın sonucunda, geç karışık dişlenme dönemindeki hastalarda orta yüz bölgesinde anlamlı bir ilerleme ve buna paralel olarak yumuşak dokuda hacim artışı gözlemlenmiştir.

Şar ve arkadaşları (Şar ve ark., 2011), gerçekleştirdikleri çalışmada üç gruba ayrılan örneklem üzerinde karşılaştırmalı bir analiz yapmıştır: Birinci grupta lateral nazal duvara yerleştirilen miniplaklarla desteklenen RPE + RH tedavisi, ikinci grupta yalnızca RPE apareyinin kancalarından uygulanan RH ve üçüncü grupta ise tedavi uygulanmayan kontrol grubu yer almıştır. Bulgulara göre, iskeletsel ankraj kullanılan grupta maksiller protraksiyon daha belirgin olurken, yalnızca RPE'den destek alınan grupta mandibulanın posterior rotasyonu ve yüz yüksekliğinde artışla birlikte maksiller dişlerde proklinasyon ve mezializasyonun daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

İnfrazigomatik bölge de iskeletsel ankraj amacıyla miniplak yerleşimi açısından uygun bir alan olarak değerlendirilmiştir. Cha ve arkadaşları (Cha, 2003), bu bölgeye yerleştirilen plaklardan ağız içine uzanan kancalar aracılığıyla RH uygulamış ve sonrasında sabit ortodontik tedavi ile takip ederek maksillomandibular ilişkide uzun dönemli stabilite sağlandığını rapor etmiştir.

Benzer şekilde, Lee ve ekibinin (Lee ve ark., 2009) kısa dönemli karşılaştırmalı çalışmasında, infrazigomatik bölgeden alınan ankraj ile uygulanan RH tedavisinin, RPE+RH protokolüne göre maksiller ilerlemede daha etkin olduğu; mandibulanın posterior rotasyonunun daha az ve maksiller kesicilerin proklinasyonunun daha sınırlı olduğu belirlenmiştir. Bu bölgeden yerleştirilen miniplakların ayrıca sabit tedavi sürecinde molar distalizasyonuna ihtiyaç duyulan durumlarda veya mandibulanın yeniden öne geldiği relaps vakalarında tekrar kullanılabileceği ifade edilmiştir (Proffit ve ark., 2019).

Tripathi ve çalışma arkadaşları (Tripathi ve ark., 2016), geleneksel RH tedavisi ile iskeletsel ankraj destekli RH tedavisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada,

iskeletsel ankraj grubunda A noktası ileri yönde daha fazla yer değiştirmiş; buna karşın konvansiyonel tedavide maksiller kesici dişlerin eğiminde daha belirgin değişiklikler saptanmıştır.

Aslan ve arkadaşları (Aslan ve ark., 2013) ise, maksillada anterior ve posterior bölgelerdeki dört farklı noktaya mini vida yerleştirerek bunlar arasından geçirilen tel üzerine F kroşeler bükmüş ve bu yapıya 300 g kuvvetle, oklüzal düzleme 30° açıyla reverse headgear uygulamışlardır. Bu yaklaşımla 2 mm'lik maksiller ilerleme elde edildiği bildirilmiştir.

İNTRAORAL UYGULAMALAR

Sınıf III Elastikler

Sınıf III tedavisinde kullanılan intermaksiller elastiklerin etkilerinden biri, üst molar dişlerde ekstrüzyon meydana getirmesidir. Bu durum mandibulada saat yönünde bir rotasyona yol açar. Her ne kadar bu rotasyon iskeletsel ilişkiler üzerinde olumlu bir etki yaratabilse de, genel anlamda çene yapıları üzerindeki etkisi sınırlı kalmakta ve belirgin bir ortopedik değişim sağlanamamaktadır (Creekmore, 1978).

Frankel III

Frankel III aygıtının, perioral doku ve kasları etkileyerek myofonksiyonel etkiyle birlikte Sınıf III anomalileri tedavi edebileceği bildirilmiştir, fakat bu yöntemle elde edilen etkinin mandibulada saat yönünde rotasyonu ve alt keserlerin retrüzyonu kaynaklı olduğu ve de apareyin etkilerinin çoğunlukla dentoalveoler düzeyde sınırlı kaldığı, ortopedik etkisinin ise yeterli olmadığı belirtilmiştir (Baik ve ark., 2004; Biren ve Erverdi, 1993).

Diş Destekli Class III Carriere Motion Apareyi

Büyümesi durmuş ya da çok sınırlı büyüme potansiyeline sahip bireylerde Sınıf III maloklüzyonun tedavisi, ortodontistler açısından kendine özgü zorluklar barındırır. Bu tür vakalar için son yıllarda geliştirilen tedavi yaklaşımlarından biri, 2015 yılında İspanya'nın Barselona kentinden Luis Carriere tarafından tanıtılan Carriere Motion Class III (CM3) apareyidir. CM3 apareyi, Carriere Motion Class II (CM2) sisteminin bir modifikasyonu olup, mandibular kanin dişlerinin mezial yüzeyine ve alt birinci molar dişlere sabitlenen çift taraflı barlardan oluşur. Molar dişlerin klinik kronlarının orta kısmına yerleştirilen düz pedlerin, alt molarların

distalizasyonunu kolaylaştırmak amacıyla tasarlandığı düşünülmektedir. Tedavi sırasında hastaların, alt köpek dişlerinden öne doğru uzanan kancalardan üst çenedeki en distal molarlara yapıştırılmış kanca ya da butonlara bağlanan güçlü intermaksiller Sınıf III elastiklerini, mümkün olduğunca tam zamanlı kullanmaları beklenir. Üst çenede ise, molarları da saracak şekilde tasarlanan şeffaf bir pekiştirme plağı (invisible retainer) ankraj sağlamak amacıyla uygulanır (McNamara Jr ve ark., 2021).

Carriere Motion Class III apareyiyle ilgili literatürdeki veri kısıtlılığı göz önüne alındığında, yapılan bir çalışmada (McNamara Jr ve ark., 2021), büyüme potansiyeli nispeten düşük olan Sınıf III hastalarda CM3 apareyinin oluşturduğu tedavi etkileri ayrıntılı biçimde ortaya konulmuştur. Bu çalışmaya göre, Carriere Motion Class III (CM3) apareyinin ağırlıklı olarak dentoalveoler düzeyde etkili olduğunu ve iskeletsel değişikliklerin oldukça sınırlı kaldığını ortaya koymuştur. Özellikle alt çenenin posterior segmentinde sağlanan distalizasyon ve üst dental arkta elde edilen ileri yöndeki hareketlerin, Sınıf III maloklüzyonun düzeltilmesinde anlamlı katkılar sağladığı belirlenmiştir.

CM3 Apareyinin Dental Etkileri

(McNamara Jr ve ark., 2021)

- Mandibular dişlerde (kanin–molar segment) distalizasyon
- Maksiller dişlerde (Üst molar ve keserler) ileri yönde hareket
- Mandibular kesici dişlerde lingual eğim artışı

CM3 Apareyinin İskeletsel Etkileri

(McNamara Jr ve ark., 2021)

- SNB açısında hafif azalma
- Mandibular pozisyonda hafif bir retraksiyon
- ANB açısında artış
- Alt anterior yüz yüksekliğinde artış
- Oklüzal düzlemde rotasyon: Saat yönünün tersine (CCW) rotasyon

Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon (BAMP)

BAMP (Bone-Anchored Maxillary Protraction), geleneksel yüz maskesi tedavisinin yarattığı dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiş modern bir yaklaşımdır. Bu yöntem sayesinde hem maksillanın ileri yönde hareketi sağlanmakta hem de mandibular büyüme kontrol altına alınabilmektedir. Tüm bu etkiler, dentoalveoler yapıda minimal değişikliklerle elde edilebilmektedir. Günümüzde BAMP protokolü, iskeletsel Sınıf III maloklüzyonun tedavisinde giderek daha yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Kamath ve ark., 2022).

Sınıf III maloklüzyonun düzeltilmesinde uygulanan iki aşamalı tedavi yaklaşımında, ilk aşamada ortopedik apareylerle iskeletsel uyumsuzluk giderilir; ardından sabit ortodontik mekaniklerle tedavi devam eder. Bu amaçla kullanılan ortopedik apareylerden biri olan yüz maskesi, kuvvet iletiminde dişleri dayanak olarak kullanır ve bu durum, alt kesici dişlerde retroklinasyon, üst kesici dişlerde proklinasyon, üst molarların mezial yönde yer değiştirmesi ve ekstrüzyon gibi olumsuz etkiler yaratabilir (Lin ve ark., 2018). Ayrıca mandibulanın saat yönünde rotasyonuna, alt yüz yüksekliğinde artışa, overjet'in düzeltilmesine ve aşırı kapanış vakalarında açık kapanışla birlikte profil iyileşmesine neden olabilir.

Geleneksel yüz maskesi tedavisinde gözlemlenen istenmeyen etkilerin en aza indirgenmesi amacıyla, uygulanan ortopedik kuvvetlerin doğrudan maksillofasiyal kompleks üzerine iletilmesini mümkün kılan iskeletsel ankraj sistemleriyle yüz maskesi kullanımı önerilmiştir. Bu doğrultuda, mini plaklar aracılığıyla sağlanan iskeletsel ankraja dayalı tedavi yaklaşımı, literatürde "Tip 1 BAMP" (Bone Anchored Maxillary Protraction) protokolü olarak tanımlanmaktadır (Kamath ve ark., 2022).

De Clerck ve çalışma arkadaşları (De Clerck ve ark., 2009), iskeletsel Sınıf III maloklüzyonun düzeltilmesine yönelik olarak, maksillanın infrazygomatik bölgesi ile mandibulanın simfiz bölgesine yerleştirilen mini plaklar arasında sürekli olarak (24 saat) kullanılan Sınıf III elastiklere dayalı yeni bir intraoral tedavi yaklaşımı geliştirmiştir. Bu yöntem, Tip 2 BAMP protokolü olarak adlandırılmaktadır.

BAMP tedavisinin iki temel tipi:

- **Tip 1 BAMP:** Maksillanın infrazygomatik bölgesine iki miniplak yerleştirilmesi ve proktraksiyon amacıyla yüz maskesi kullanılması.

- **Tip 2 BAMP:** Hem maksillanın infrazigomatik bölgesine hem de mandibular simfiz bölgesine ikişer miniplak yerleştirilmesi ve proktraksiyonun intermaksiller Sınıf III elastiklerle sağlanması.

BAMP Tedavi Zamanlaması

BAMP tedavisinin ideal uygulanma zamanı, maksiller kemiğin olgunlaşma sürecine girdiği ve mandibular kaninlerin sürmeye başladığı dönem olan geç karışık dişlenme ya da erken daimî dişlenme evresidir. Bu dönem, iskeletsel yanıtın optimal düzeyde elde edilebilmesi açısından en uygun zaman aralığı olarak kabul edilmektedir (Cornelis ve ark., 2008; De Clerck ve ark., 2010; De Clerck ve ark., 2009; Heymann ve ark., 2010).

BAMP Tedavisinin Etkileri

İskeletsel Maksiller Bileşen: BAMP, geleneksel maksiller ilerletme yöntemlerine modern ve biyomekanik açıdan daha kontrollü bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu protokol, etkisini doğrudan maksilla üzerinde göstererek, ilgili yapının sagittal düzlemde bütüncül bir şekilde öne yer değiştirmesini sağlamaktadır. Literatürde bildirilen verilere göre, bu öne hareket miktarı Tip 1 BAMP uygulamalarında ortalama 4,87 mm, Tip 2 BAMP protokolünde ise 5,81 mm olarak rapor edilmiştir (Elnagar ve ark., 2016). Tip 2 BAMP grubunda maksillanın yaklaşık 3,7 mm öne hareket ettiği gözlenmişken, RME/FM grubunda bu değer sadece 2,6 mm olarak tespit edilmiştir (Hino ve ark., 2013).

De Clerck ve arkadaşları (De Clerck ve ark., 2009), BAMP tedavisi sonrasında A noktasında 4 mm, orbitale noktasında 2 mm ve pterigomaksiller fissür (PTM) düzeyinde 3 mm ileri yönlü hareketin yanı sıra maksillada saat yönünde bir rotasyon meydana geldiğini bildirmiştir. Bu bulgular, Bacetti ve çalışma arkadaşlarının yürüttüğü araştırma ile de desteklenmiştir. İlgili çalışmada, Tip 2 BAMP uygulaması sonrasında maksillada istatistiksel olarak anlamlı ve belirgin düzeyde yatay yönde deformasyon olduğu tespit edilmiştir (Baccetti ve ark., 2011).

Mandibular Bileşen üzerindeki etkileri: Hem Tip 1 hem de Tip 2 BAMP protokollerinin, mandibulanın öne doğru büyümesi üzerinde sınırlayıcı etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Tip 2 BAMP tedavisi uygulanan olgularda, B noktası ve Pogonion üzerinde yaklaşık 2 mm düzeyinde bir büyüme inhibisyonu ile

mandibulada saat yönünün tersine bir rotasyon gözlemlenmektedir (De Clerck ve ark., 2010). Tip 1 BAMP ile karşılaştırıldığında, Tip 2 protokolü mandibulanın daha belirgin bir şekilde posteriora yer değiştirmesine ve mandibular düzlem açısında azalmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte, intraoral iskeletsel ankraja dayalı maksiller protraksiyon uygulamalarında, Sınıf III elastiklerin etkisiyle kondilin retro-diskal dokulara baskı yapması sonucunda temporomandibular eklemden geçici ya da kalıcı fonksiyonel bozuklukların gelişebileceği belirtilmiştir (Major ve ark., 2012). Heymann ve arkadaşları (Heymann ve ark., 2010), BAMP tedavisinin kondil bölgesinde rezorptif remodelinge yol açabileceğini rapor etmiştir.

Suturlar üzerindeki etkileri: BAMP uygulamasının, maksillanın çevresindeki suturlar üzerinde biyomekanik etki gösterdiği ve özellikle bu suturlarda meydana gelen distraksiyonun maksillanın öne alınmasında kritik rol oynadığı bildirilmektedir (Kamath ve ark., 2022). Angelieri ve arkadaşları (Angelier ve ark., 2017) tarafından tanımlanan zigomatikomaksiller suturun kalsifikasyon evrelerine göre, A ve B evresinde bulunan bireylerde BAMP tedavisi ya da yüz maskesi ile hızlı üst çene genişletme (RME) kombinasyonu uygulandığında, maksiller protraksiyonun daha ileri düzeyde elde edilebildiği belirtilmiştir.

Dentoalveolar Etkiler: BAMP tedavisine eşlik eden dentoalveolar değişikliklerin, iskeletsel düzeydeki uyumsuzlukların düzeltilmesine destekleyici nitelikte katkı sağladığı bildirilmektedir. De Clerck ve çalışma arkadaşları (De Clerck ve ark., 2010), tedavi edilmeyen bireylerle karşılaştırıldığında Tip 2 BAMP tedavisi sonucunda overjetin ortalama 3,8 mm düzeldiğini, molar ilişkide 4,8 mm'lik bir iyileşme elde edildiğini ve kapanış derinliğinde 1,5 mm artış ile birlikte mandibular kesici dişlerde 1,7°'lik proklinasyon meydana geldiğini bildirmiştir. Tip 1 BAMP tedavisinde alt kesici dişlerde retroklinasyon gözlemlenirken, Tip 2 BAMP uygulamalarında hafif düzeyde proklinasyon rapor edilmiştir (Elnagar ve ark., 2016). Ayrıca, kesici diş-mandibular düzlem açısının Tip 2 BAMP ile arttığı, Tip 1 BAMP protokolünde ise azaldığı bildirilmiştir (Cornelis ve ark., 2021). Bununla birlikte, her iki BAMP protokolünde de maksilla ve mandibulanın intermolar genişliği ile maksiller ark genişliği açısından istatistiksel olarak anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. Ayrıca, mandibular ark derinliğinin, hem iskeletsel ankraj destekli yüz maskesi uygulamalarında hem de tedavi edilmemiş bireylerde azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir (Elnagar ve ark., 2017).

Sabit Ortodontik Kamuflaj Tedavisi

Sınıf III maloklüzyonun hafif formlarında ve yüz estetiğinin ciddi düzeyde etkilendiği olgularda, sabit ortodontik tedavi yöntemleri kullanılarak kamuflaj tedavileri uygulanabilir (Georgalis ve Woods, 2015; Park ve ark., 2017). Bu tür tedavi protokolleri sayesinde, dişlerin konumlandırılması yoluyla çeşitli iskeletsel problemler dışarıdan fark edilmeyecek şekilde maskelenebilir. Ayrıca, uygun şekilde planlandığında bu müdahaleler, periodontal yapılar üzerinde olumsuz bir etkiye yol açmaksızın, belirgin dişsel ve yumuşak doku değişimleri elde etme imkânı sunar.

Ancak kamuflaj tedavilerinde başarılı sonuçlar elde edebilmek için, dişlerin bazal kemik yapıları içerisindeki pozisyonlarının ve hareket kabiliyetlerinin doğru şekilde analiz edilmesi büyük önem taşır. Bu sayede hem tanı aşamasında hem de tedavi planlamasında gerçekçi hedefler belirlenebilir, olası olumsuz sonuçların önüne geçilebilir (Burns ve ark., 2010).

Ortognatik Cerrahi İçeren Sabit Tedaviler

Büyüme ve gelişim sürecini tamamlamış, iskeletsel olarak belirgin Sınıf III maloklüzyona sahip bireylerde ortognatik cerrahi, tedavi planlamasında tercih edilen temel yaklaşımlardan biri haline gelmiştir (Mulier ve ark., 2021). Başlangıçta bu maloklüzyonun esas nedeninin mandibular fazlalık olduğu düşünülerek cerrahi müdahaleler genellikle alt çene üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak zamanla maksiller gerilik gibi farklı iskeletsel bileşenlerin de etkili olduğu anlaşılmış ve cerrahi girişimler üst çeneyi de kapsayacak şekilde çeşitlenmiştir (Lee ve ark., 2017).

Günümüzde en yaygın kullanılan ortognatik cerrahi yöntemleri arasında, üst çeneyi öne taşıyan Le Fort I osteotomisi ve alt çeneye uygulanan Obwegeser'in tanımladığı bilateral sagittal split osteotomisi yer almaktadır (Obwegeser, 1963). Le Fort I osteotomisi üzerine yapılan ve üç yıl süreyle takip edilen 25 farklı çalışmanın sonuçları, bu tekniğin yüksek düzeyde stabilite sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, cerrahi sonrası olası relapsın en büyük risk faktörleri; maksillanın ileri yönde aşırı ilerletilmesi ve inferior yönde yeniden konumlandırılması olarak bildirilmiştir (Dowling ve ark., 2005).

Bilateral sagittal split osteotomisi geçiren 80 hastanın sefalometrik kayıtları üzerinden yapılan bir diğer çalışmada, olası nükslerin büyük oranda cerrahiden sonraki ilk altı ayda gerçekleştiği gözlemlenmiş ve genel anlamda belirgin bir relaps yaşanmadığı rapor edilmiştir (Mobarak ve ark., 2000).

Ortognatik cerrahi uygulamaları, sabit ortodontik tedavi ile yürütülmektedir. Vakanın klinik ihtiyaçlarına göre bu ortodontik tedavi süreci cerrahiden önce ya da sonra gerçekleştirilebilir. Bu sayede dişlerin uygun konumlara getirilmesi ve oklüzyonun dengelenmesi sağlanır (Peiro-Guijarro ve ark., 2016; Slavnic ve Marcusson, 2010). Konuya ilişkin yapılan bazı araştırmalarda, cerrahiden önce uygulanan ortodontik tedavinin, ameliyat sonrası stabilite üzerinde olumlu etkiler yaratabileceği belirtilmişken; bazı çalışmalar ise bu etkinin anlamlı olmadığını öne sürmektedir (Kim ve ark., 2014; Ko ve ark., 2011).

2.3 Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analiz Yöntemleri

Bir cisme uygulanan kuvvetlerin hangi bölgelerde yoğunlaştığını belirlemek ve bu doğrultuda yapının formunun nasıl şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymak amacıyla kullanılan yöntemler, genel olarak stres analiz yöntemleri olarak tanımlanır. Bu analizler, yapı üzerinde meydana gelebilecek gerilme ve deformasyonların incelenmesini kapsamaktadır ve analitik, deneysel ya da sayısal tekniklerle gerçekleştirilebilmektedir. Analitik yöntemlerde, matematiksel modeller ve bu modellere ait çözüm denklemleri kullanılarak sonuçlar elde edilirken; sayısal yöntemler arasında en yaygın olanı sonlu elemanlar analizidir. Deneysel yaklaşımlar ise doğrudan yapı üzerinden alınan ölçümler aracılığıyla gerilme dağılımının incelenmesini ifade eder (Caputo ve ark., 1974).

Gerilme analizleri, bir yapıya etki eden dış kuvvetlerin hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu saptamak ve bu bilgiden hareketle yapının daha dayanıklı hale getirilmesi için uygun geometrik tasarımların belirlenmesini amaçlar (Knoell, 1977). Diş hekimliği alanında ise bu analiz yöntemleri; tedavi sırasında uygulanan kuvvetlerin, çene ve diş gibi biyolojik yapılarda oluşturduğu gerilme ve gerinimlerin dağılımını değerlendirmek, bu yapıların mekanik tepkilerini öngörmek ve uygun klinik uygulamalara zemin hazırlamak için kullanılmaktadır (Veli, 2012).

Günümüzde diş hekimliği pratiğinde sıklıkla başvuru alan stres analiz yöntemleri şunlardır:

- Deney hayvanları kullanılarak yapılan biyomekanik analizler
- Fotoelastisite yöntemi
- Gerinim ölçer (strain-gauge) tekniği
- Holografik interferometri ile lazer temelli stres ölçümü

- Kırılğan vernik kaplama yöntemi
- Radyotelemetrik ölçüm sistemleri
- Sonlu elemanlar analizi (Finite Element Method, FEM)

2.3.1 Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Method / FEM)

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık mühendislik ve biyomekanik yapıların bilgisayar destekli ortamda modellenmesini ve analiz edilmesini mümkün kılan güçlü bir sayısal yöntemdir. Bu analiz, bir yapının tamamını küçük, sonlu sayıdaki parçalara (elemanlara) bölerek her bir eleman üzerinde oluşan fiziksel etkilerin hesaplanmasına olanak tanır (Weaver ve ark., 1984).

Başlangıçta havacılık ve uzay mühendisliği gibi ileri teknoloji gerektiren alanlarda geliştirilen bu yöntem, günümüzde tıp ve diş hekimliği de dahil olmak üzere çok çeşitli disiplinlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. FEM metodu, incelenecek yapının üç boyutlu modellemesinin oluşturulmasıyla başlar; bu model, genellikle bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi yöntemlerle elde edilen anatomik verilerin sayısal ortama aktarılmasıyla gerçekleştirilir. Ardından, bu yapı uygun bir ağ yapısına dönüştürülür; bu süreçte, düğüm noktaları ve elemanlar aracılığıyla modelin geometrik ve fiziksel özellikleri tanımlanır. Malzeme özellikleri (örneğin, elastisite modülü, Poisson oranı) tanımlanarak, uygun sınır koşulları ve yükleme senaryoları uygulanır. Böylece, yapı üzerindeki gerilme, yer değiştirme, deformasyon gibi tepkiler simüle edilebilir (Geng ve ark., 2001).

Yöntemin başarısı, oluşturulan modelin gerçek sistemle ne ölçüde örtüştüğüne ve malzeme tanımlarının doğruluğuna bağlıdır. Diş hekimliği alanında; dental implantlar, restoratif materyaller, ortodontik kuvvet uygulamaları, endodontik tedavi sonrası oluşan stres dağılımları gibi pek çok alanda kullanılmakta olup, biyomekanik etkilerin güvenli ve etik biçimde değerlendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Mackerle, 2004).

2.3.2 Sonlu Elemanlar ile İlgili Temel Kavramlar

Sonlu elemanlar analizinin doğru ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için, analiz sürecinde kullanılan temel kavramların ve teknik terimlerin iyi anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Bu kavramların bilinmesi, hem değerlendirme sürecinde

hata riskini azaltır hem de elde edilen verilerin daha sağlıklı yorumlanmasına katkı sağlar.

Kuvvet

Kuvvet; yön, doğrultu ve şiddet gibi vektörel özelliklere sahip, bir maddenin hareketini ya da şekilsel yapısını değiştirme potansiyeli olan fiziksel etkidir. Maddenin kuvvet etkisine maruziyeti sonucunda basma ya da çekme biçiminde deformasyonlar ortaya çıkabilir. Tıp ve ortodonti alanlarında, uygulanan kuvvetler genellikle 'gram-kuvvet (gf)' birimiyle tanımlanmakta olup, literatürde çoğunlukla sadece 'gram' ifadesi tercih edilmektedir (Mow ve Huiskes, 2005).

Gerilme (Stres)

Bir cisme uygulanan dış kuvvetin etkisiyle, cismin belirli bir kesitinde oluşan iç kuvvetin birim alana düşen miktarına gerilme (stres) adı verilir. Gerilme, cisim içindeki iç kuvvetlerin dış kuvvetlere karşı geliştirdiği direnç olup “σ” ya da “S” simgeleriyle gösterilir (McNeill, 1997). Gerilmenin birimi genellikle Pascal (Pa) olmakla birlikte, diş hekimliğinde küçük ölçümler söz konusu olduğundan, daha çok megapascal (MPa ya da N/mm²) kullanımı tercih edilir. (1 MPa = 10⁶ Pa). Gerilme hesaplaması şu şekilde yapılır:

$$\text{Stres } (\sigma) = \text{Kuvvet } (F) / \text{Alan } (A) = \text{N/mm}^2 = \text{MPa}$$

Gerilme, genel olarak üç grupta sınıflandırılır:

Basma Gerilmesi (compressive stress): Ters yönde fakat aynı doğrultuda etki eden kuvvetlerin cismi sıkıştırmasıyla oluşur.

Çekme Gerilmesi (tensile stress): Aynı yön ve doğrultudaki kuvvetlerin cismi uzatmasıyla meydana gelir.

Makaslama gerilmesi (shear stress): Farklı yön ve doğrultuda etki eden kuvvetlerin, cismin moleküllerini yüzeye paralel yönde kaydırmasıyla oluşur (Craig ve ark., 1975).

Asal Gerilme (Principal Stress)

Cisme etkiyen tüm gerilmeler alana dik olan basma ve çekme gerilmelerinden oluşuyor ve makaslama gerilmeleri de sıfır değerinde ise, bu durumda oluşan gerilme asal gerilme olarak tanımlanır (Franklin, 1998). Fakat kuvvet altındaki cisimlerde genellikle tek tip bir gerilme nadiren görülürken genellikle üç gerilme tipinin de birlikte bulunduğu birleşik gerilme durumu gözlenmektedir.

Maksimum asal gerilme, en yüksek çekme kuvvetini temsil eder ve pozitif değerle ifade edilir.

Minimum asal gerilme, en büyük basma kuvvetini gösterir ve negatif olarak ifade edilir.

Analiz sırasında pozitif değerler çekme, negatif değerler ise basma gerilmelerini işaret eder. Mutlak değeri daha büyük olan asal gerilme türü, ilgili düğümde baskın gerilme olarak kabul edilir.

Özellikle kemik, diş ve cam gibi kırılğan materyallerde asal gerilme değerleri, yapının dayanım sınırlarının aşılma riskini belirlemek açısından kritik öneme sahiptir.

Eşdeğer Gerilme (Von Mises Gerilmesi)

Von Mises gerilmesi, bir malzemenin belirli bir iç enerji seviyesini aştığında plastik deformasyona uğramaya başlayacağı varsayımı ile geliştirilmiş bir ölçüttür. Yani malzemenin elastik sınırlarını aşıp kalıcı şekil değişimine uğradığı eşik değeri ifade eder. Ayrıca, tek eksenli yüklemelerde malzemenin çekme ve kırılma dayanımını belirlemek için de kullanılır. Gerilmelerin üç boyutlu dağılımını tek bir skalar değerle ifade edebilme imkânı sunarak, araştırmacılara analiz sürecinde büyük kolaylık sağlar (Cattaneo ve ark., 2003).

$$\sigma_e = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

Gerinim (Strain)

Gerinim, bir yapı üzerine uygulanan kuvvet sonucu meydana gelen şekil değişiminin, orijinal boyuta oranıdır. Kuvvet etkisiyle oluşan gerilmeye bağlı olarak ortaya çıkan bu deformasyon, herhangi bir birimle değil, boyutsuz bir oranla ifade edilir. Gerinim şu formülle hesaplanır:

$$\text{Strain } (\epsilon) = \Delta L / L_0$$

Gerinimler elastik veya plastik olmak üzere ikiye ayrılır. Elastik gerinim sonucunda yapı eski formuna dönebilirken, plastik gerinim kalıcı şekil değişikliklerine yol açar. Bu durum aşırı deformasyonlarda kopma ya da kırılmayla sonuçlanabilir.

Gerilme / Gerinim Eğrisi (Stress / Strain Curve)

Bu eğri, bir malzemenin kuvvet karşısındaki davranışını grafiksel olarak gösterir. Elde edilen eğriden elastikiyet sınırı, oransal sınır gibi karakteristik değerler okunabilir.

Gerilme / gerinim eğrisi yorumlanırken aşağıdaki bazı terimler karşımıza çıkar:

- Elastiklik Sınırı (Elastic limit): Yapının kalıcı deformasyon göstermeden dayanabileceği maksimum gerilme seviyesidir (Nanda, 2005).
- Oransal Sınır (Proportional Limit): Cismin plastik deformasyona uğramadan önce stabil kalabildiği maksimum gerilimin tanımıdır. (Cattaneo ve ark., 2003).
- Homojen Cisim: Materyal içerisinde her bir noktadaki elastik özelliklerin eşit olarak dağıldığı cisimlerdir (Cattaneo ve ark., 2003).
- İzotropi ve Anizotropi: İzotropi, bir cismin farklı yönleri ve doğrultularında aynı elastik özellikleri göstermesi olarak ifade edilir. İzotrop cisimler farklı doğrultulardan uygulanan kuvvetler sonucu oluşan çekme, basma ve makaslama gerilmelerinde aynı elastiklik modülüne sahip iken, anizotrop cisimler ise farklı elastiklik modülüne sahiptirler (Shakib ve ark., 1991).

Elastisite Modülü (Young Modülü)

Elastisite modülü; gerilimin gerinime oranı olarak tanımlanır ve cismin elastikiyet sınırları içerisinde dayanıklılığını belirleyen bir katsayıdır. Elastik limitin altındaki yüklemeler için gerilim ve stres arasındaki bağlantıyı young modülü belirler (Franklin, 1998) ve şu şekilde hesaplanır;

$$E = \sigma / \epsilon$$

Elastiklik modülü her cisim için başka değerler almaktadır. Bu değer yükseldikçe materyalin uzamaya karşı gösterdiği direnç de daha fazla olacaktır. Young modülü arttıkça, materyalin iç direnci ve katılığı da doğru orantılı olacak şekilde artacaktır. Yüksek young modülüne sahip bir materyalle, düşük young modülüne sahip bir materyale eşit kuvvet uygulandığında elastisite modülü yüksek olan cisimde daha az deformasyon ortaya çıkar (O'Brien, 2002).

Poisson Oranı (Poisson's Ratio)

Cisimlere çekme ya da basma kuvvetleri uygulandığında, elastik sınırlar içinde kalan bir malzemenin enine yöndeki birim deformasyonunun boyuna yöndeki birim deformasyona oranı Poisson oranı olarak tanımlanır. Bu oran, aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$\text{Poisson Oranı } (\nu) = \text{Enine Gerinim} / \text{Boyuna Gerinim} = \text{Lateral Strain} / \text{Axial Strain}$$

Basit bir örnekle açıklanacak olursa; bir malzemeye çekme kuvveti uygulandığında, bu kuvvetin etkidiği doğrultuda boyca bir uzama gözlemlenirken, buna karşılık materyalin eninde daralma meydana gelir. Tersine, basma kuvveti uygulandığında boyca kısalma olurken, eninde genişleme oluşur. Poisson oranı, bir malzemenin dış kuvvetler altında nasıl şekil değiştireceğini ve bu değişimlerin yönsel özelliklerini sayısal olarak değerlendirmeye olanak sağlayan önemli bir mekanik parametredir (Franklin, 1998).

Eleman (Element) ve Düğüm (Node)

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan üç boyutlu modeller, karmaşık yapıların daha basit bileşenlere bölünmesiyle oluşturulur. Bu daha küçük yapısal birimler “eleman” olarak adlandırılır. Her eleman, “düğüm” olarak tanımlanan ve çözümlemenin temelini oluşturan özel noktalara bağlanarak modellenir. Düğümler, elemanların uçlarında yer alır ve çoğunlukla bilinmeyen parametrelerin (örneğin yer değiştirme, gerinim) tanımlandığı hesaplama noktalarıdır. Elemanlar; boyutsal özelliklerine (örneğin tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu, dönel elemanlar), geometrik biçimlerine (örneğin üçgen, dörtgen, paralelkenar), sahip oldukları düğüm sayısına ve analiz probleminin doğasına göre sınıflandırılır (Geng ve ark., 2001). İhtiyaca göre farklı yapı ve kompleksitede elemanlar tasarlanabilir. Örneğin, dört adet düğüm noktasına sahip bir eleman, “dört düğümlü eleman” olarak adlandırılır ve bu tür isimlendirme, modelleme detay seviyesini ve çözüm hassasiyetini belirlemede önemli bir kriterdir.

Sınır Koşulları (Boundary Conditions)

Sonlu elemanlar analizinde sınır koşulları, bir model üzerindeki yer değiştirme (translasyon) ve gerilme (stres) gibi fiziksel büyüklüklerin tanımlandığı sınırlayıcı şartları ifade eder. Bu koşullar, modelin hangi bölgelerine kuvvet uygulanacağını ve hangi noktalarının sabitlenerek hareketsiz bırakılacağını belirler.

Yapının fiziksel gerçekliğe uygun şekilde modellenebilmesi için, sınır koşulları dikkatle tanımlanmalıdır. Analiz sürecinde, kuvvetlerin hangi noktalardan uygulandığı göz önünde bulundurularak uygun sınır şartları belirlenir ve modele entegre edilir (Franklin, 1998; Marghitu, 2001).

Sünek malzemeler

Kopmadan önce belirli bir miktar elastik deformasyon geçirip uzayabilen malzemelerdir. Tokluk açısından değerlendirecek olursak bu tip malzemeler gevrek malzemelere göre daha toktur ve kırılmadan önce uzama – şekil değiştirme kabiliyetleri olduğu için daha fazla enerji depolayabilirler. Von Mises Stress’e bakıp bu bölgede gerilme veya sıkışma demek mümkün değildir. Bu strese bakıp bölgedeki stres yoğunluğunun fazla olduğunu söyleyebiliriz.

Mag = Magnitude

Bileşke yer değiştirme anlamına gelir. 3 eksenli yer değiştirmemiz vardır (x,y,z). Bunların karelerinin toplamının kare kökü bu değeri vermektedir. ($\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) Yön belirtmez. Toplam bileşke yer değiştirme bir cismin üzerindeki etki eden tüm yer değiştirmelerin vektörel toplamıdır. Skaler bir büyüklüktür.

Bileşke kuvveti hesaplanması program komutlarından magnitude ölçüm metodu ile elde edilmektedir. Aşağıda verilen görselde yukarıda hesaplanan değer otomatik olarak ölçülerek gösterilmiştir.

E’li Gösterim

Exponent gösterim sayıyı üstlü olarak ifade etmek için kullanılır. Genelde çok basamaklı sayıları daha kısa bir şekilde ifade etmek için kullanılır. Örneğin: $2.124 \text{ E-}02 = 2.124 \times 10^{-2} = 0.02124 \text{ mm}$ anlamına gelir.

2.3.3 Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Çalışma Prensibi

Sonlu elemanlar analizinin temel çalışma prensibi, karmaşık yapıların daha küçük ve basitleştirilmiş geometrik bileşenlere (elemanlara) ayrılarak analitik olarak çözümlenmesine dayanır. Bu sayısal yöntem sayesinde, fiziksel sistemler üzerinde doğrudan deneysel uygulama yapılmaksızın güvenilir sonuçlara ulaşmak mümkün hale gelmektedir. Analiz süreci belirli aşamalar çerçevesinde sistematik olarak ilerler ve her basamak, modelin doğruluğunu ve simülasyonun gerçekliğe yakınlığını etkiler (Marghitu, 2001).

Sonlu elemanlar analizinin genel uygulama basamakları şu şekilde sıralanabilir:

- Analiz edilecek problemin veya senaryonun tanımlanması
- Geometrik modelin oluşturulması
- Matematiksel ağ (mesh) yapısının geliştirilmesi
- Malzeme özelliklerinin modele entegre edilmesi
- Sınır koşullarının belirlenmesi
- Kuvvet parametrelerinin tanımlanması ve yüklemenin gerçekleştirilmesi
- Elde edilen verilerin çözülerek sonuçların değerlendirilmesi

Problemin veya Kurgunun Özelliklerinin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar analizine başlamadan önce en kritik adım, üzerinde çalışılacak olan problemin doğru tanımlanmasıdır. Tanım aşamasında yapılacak hatalar, modellemenin hatalı yapılmasına ve dolayısıyla elde edilen sonuçların geçersiz olmasına yol açabilir. Problem tanımı; analiz türü, hedeflenen yapısal bölge, kuvvet yönü ve sınır koşullarının belirlenmesi gibi temel özellikleri kapsamalıdır.

Geometrik Modelin Oluşturulması

Gerçeğe en yakın sonuçların elde edilebilmesi, oluşturulan modelin biyolojik veya mühendislik açısından gerçek yapıyı doğru yansıtmalarıyla mümkündür. Biyomekanik sistemlerde geometrik modelleme genellikle üç farklı yöntemle yapılmaktadır:

- MRI ve BT tabanlı modelleme: Kesitsel görüntülerin dijital ortama aktarılmasıyla üç boyutlu yapının yeniden oluşturulmasıdır. Özellikle biyolojik dokuların modellenmesinde tercih edilir.
- Tarayıcı destekli modelleme: Fiziksel nesnelerin iki veya üç boyutlu tarayıcılarla sayısallaştırılması yöntemidir.
- Manuel modelleme: CAD (Computer-Aided Design) tabanlı yazılımlar kullanılarak, kullanıcı tarafından yapıların dijital ortamda elle çizilmesidir. Bu teknik, protezler, implantlar, ortodontik apareyler gibi özel yapılar için tercih edilebilir (Chen ve ark., 2006; Oliveira ve ark., 2004).

Matematiksel Modelin Oluşturulması (Ağ Yapısının Oluşturulması)

Sürekliplik gösteren fiziksel problemlerin çözümünde, sistem teorik olarak sonsuz sayıda bilinmeyen içerdüğinden, bu durum analitik olarak doğrudan çözümlemeyi güçleştirmektedir. Sonlu elemanlar analizinde bu karmaşıklık, problemi daha küçük ve yönetilebilir alt parçalara bölerek sınırlı sayıda bilinmeyene indirmek suretiyle aşılmaktadır. Bu işlem, modelin sonlu sayıda geometrik eleman ile temsil edilmesi ve her elemanın tanımlı düğüm noktalarıyla ilişkilendirilmesiyle gerçekleştirilir. Sayısal modellemeye aktarılan bu yapı, özel yazılımlar aracılığıyla otomatik olarak veya kullanıcı tarafından manuel biçimde dijitalize edilerek ağ (mesh) yapısına dönüştürölmektedir. Manuel ağ yapısı üretimi, araştırmacıya daha fazla kontrol ve düzenleme imkânı sunmakla birlikte, bu yöntem işlem süresini ciddi biçimde uzatmaktadır (Richmond ve ark., 2005).

Ağ yapısının tasarımı, analiz edilecek problemin türüne ve modelin boyutsal özelliklerine göre değişiklik gösterir. Hassas ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için, kullanılan elemanların sayısının yeterli olması, eleman geometrilerinin modele uygun biçimde seçilmesi ve düzgün bir yerleşimle tanımlanması gereklidir (Moaveni, 2011).

Özellikle biyomekanik temelli analizlerde, bir ya da iki boyutlu elemanlar yapının biyolojik gerçekliğini fazlasıyla sadeleştirdüğinden dolayı nadiren tercih edilmektedir. Bu nedenle günümüzde çoğunlukla üç boyutlu ya da daha karmaşık eleman tipleri tercih edilmekte, bu da ağ yapısındaki düğüm noktalarının sayısını artırmaktadır. Düğüm sayısındaki bu artış; daha yüksek bellek gereksinimi, çözölmeli gereken daha fazla denklem ve buna bağlı olarak daha uzun işlem süresi anlamına gelmektedir.

Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Sonlu elemanlar analiz yöntemi, biyolojik yapıların mekanik özelliklerini sayısal modellere entegre edebilme kapasitesi sayesinde önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu yöntem, özellikle yapının elastik davranışlarını simöle ederek gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesine imkân tanır. Lineer analizlerde, modelin doğruluğunu belirleyen başlıca iki malzeme parametresi Poisson Oranı ve Elastisite Modölüdür. Bu değerler, her malzeme için karakteristiktir ve deneysel çalışmalarda belirlenmektedir (Richmond ve ark., 2005).

Lineer olmayan (nonlinear) analizlerde ise zamanla değişen mekanik tepkiler göz önüne alınır. Bu bağlamda, viskoelastik özellik gösteren malzemeler için, zamana bağlı deformasyon davranışları modele tanımlanarak yüklemelere karşı yapısal tepkiler daha doğru şekilde öngörülebilir hale getirilir. Ancak ortodonti ve diş hekimliği uygulamalarında kullanılan birçok materyal, genellikle elastik davranış gösterdiğinden, bu alanlardaki analizlerde çoğunlukla lineer denklemlere dayalı yaklaşımlar tercih edilmektedir (Moaveni, 2011).

Sınır Koşullarının Tanımlanması

Modelin sağlıklı bir şekilde analiz edilebilmesi için, sınır koşullarının doğru şekilde tanımlanması gereklidir. Sınır koşulları; modelin hangi bölgelerinin sabitlendiğini ve kuvvetin nerelere uygulandığını belirler.

Gerçek biyolojik sistemlerin modellenmesinde, sınır koşullarının dikkatli belirlenmesi, elde edilecek çözümün tek ve fiziksel olarak geçerli olması için gereklidir. Modelin, elastik sınırlar içerisinde kalacak şekilde tanımlanması bu aşamada önem kazanır (Franklin, 1998; Marghitu, 2001).

Kuvvet Özelliklerinin Tanımlanması ve Denklemlerin Çözülmesi

Sınır koşulları tanımlanarak analiz için uygun hale getirilen sonlu elemanlar modeli üzerine, belirlenen bölgelere dış kuvvetler uygulanmak suretiyle doku veya materyal içerisinde oluşan stres ve gerilim dağılımları hesaplanır. Uygulanan kuvvetlerin hem yön hem de büyüklük açısından vektörel özellik taşıması, modelin farklı kesit veya noktalarında meydana gelen mekanik etkilerin ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine imkân tanır. Bu sayede, yapısal tepkilerin lokal ya da genel düzeyde analiz edilmesi mümkün hale gelir.

Sonuçların Yorumlanması

Kuvvet uygulaması sonrasında, modelde tanımlı her bir düğüm ve eleman için sistem tarafından oluşturulan matematiksel denklemler çözülerek sayısal sonuçlar elde edilir. İyi yapılandırılmış bir model binlerce denklem içerdiğinden, bu büyük veri kümesini anlamlandırmak amacıyla genellikle renk skalaları ya da animasyon tabanlı görselleştirme teknikleri kullanılmaktadır. Elde edilen renk haritaları, sayısal değerlerle eşleştirilerek yapının maruz kaldığı kuvvetlerin oluşturduğu stres, deformasyon ve gerilim dağılımları görsel olarak yorumlanabilir hale getirilir. Bazı analiz yazılımları, modele ait deplasman (yer değiştirme) verilerini doğrudan çıktı olarak sunmakta ve bu veriler, özellikle

dinamik yüklemeler altında yapılan analizlerde sonuçların değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Lineer ve Nonlinear Analizler

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan matematiksel yaklaşımlar, yapıların fiziksel tepkilerine bağlı olarak lineer ya da nonlinear modeller üzerinden yürütülmektedir. Lineer analizlerde, yapı üzerinde meydana gelen gerilme ve gerinim arasındaki ilişki doğrusaldır ve elastik sınırlar içerisinde kalır. Bu tür analizler, homojen ve izotropik malzemelerin incelenmesinde yeterli olabilir. Ancak biyolojik dokuların çoğu heterojen, viskoelastik ve kompleks yapıdadır; bu nedenle bu tür yapılar için nonlinear analiz yöntemleri tercih edilmektedir.

Nonlinearlık, analiz sistemlerinde üç temel başlık altında sınıflandırılmaktadır:

- I. Materyal Nonlinearlığı: Bu tür nonlinearlık, yapının mekanik özelliklerinin uygulanan kuvvet seviyesine göre değişkenlik göstermesiyle ilgilidir. Yani, malzemenin elastik davranışı zaman, sıcaklık, yön ve kuvvet şiddetine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Özellikle intraoral yumuşak dokular, periodontal bağ dokuları, suturalar ve temporomandibular eklem diski gibi biyolojik yapılar bu kategoriye dâhildir (Wakabayashi ve ark., 2008).
- II. Objeler arası ilişkilerin değişimine bağlı Nonlinearlık: Bu durum, iki farklı yapının temas halinde olduğu bölgelerde ortaya çıkar. Örneğin ağız içindeki dişler arası ilişkiler ya da bir materyalin biyolojik dokuyla temas ettiği yüzeylerde görülebilir. Temas yüzeylerinin geometriye göre sürekli değişiklik göstermesi, analizde farklı gerilme dağılımlarına ve temas davranışlarına neden olur (Cattaneo ve ark., 2005).
- III. Geometrik Nonlinearlık: Bu tip nonlinearlık, özellikle şekil değişimine uğrayarak orijinal geometrisinden uzaklaşan yapıların analizinde önem kazanır. Ortodontik tedavilerde kullanılan ark telleri gibi ince yapılar, yüklemeye bağlı olarak zaman içerisinde eğilme, bükülme veya burulma gibi deformasyonlara uğrayarak geometrik olarak lineer davranıştan sapabilirler (Wakabayashi ve ark., 2008).

Sonuç olarak, nonlinear analizler, lineer varsayımlar altında çözülmesi mümkün olmayan kompleks yapıların modellenmesi için vazgeçilmez bir yöntem

haline gelmiştir. Biyomekanik ve dental alanlarda, özellikle viskoelastik davranış gösteren dokuların ve dinamik yüklemelerin analizinde, bu yöntem sayesinde daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

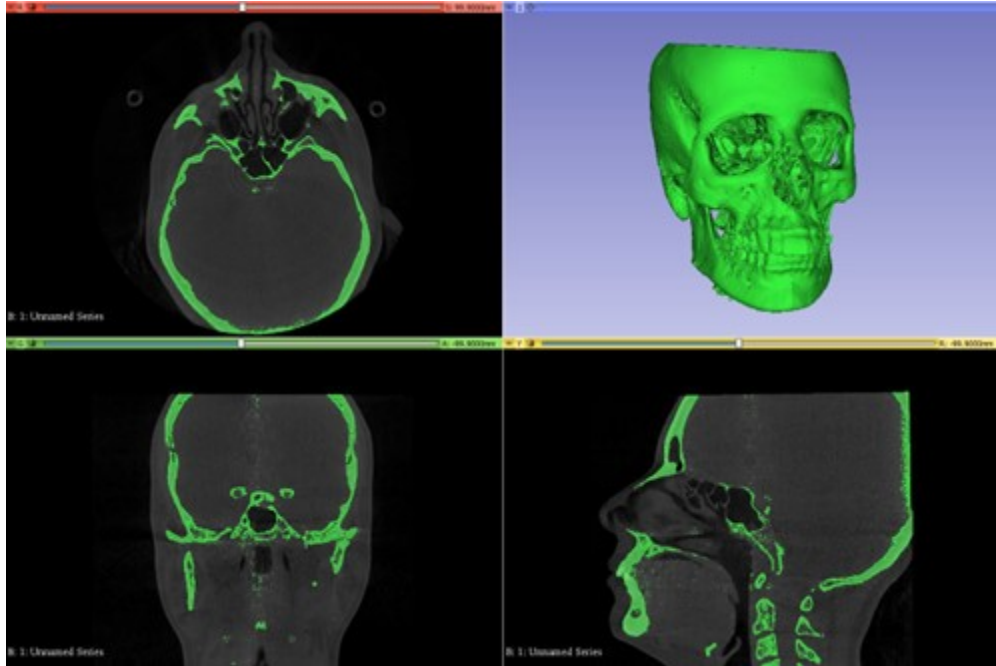


3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim dalında gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi ve matematiksel anlamda uygun katı ağ yapısına dönüştürülmesi, Üç boyutlu sonlu elemanlar analizi modellerinin oluşturulması ve sonlu elemanlar stres analizi işlemi; 2.40 GHz saat hızında INTEL Xeon E-2286 işlemcili, 64 GB ECC belleğe sahip HP iş istasyonlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan kemik modeli Visible Human Project (The National Library of Medicine, FACT SHEETS Office of Communications and Public Liaison National Library of Medicine, Maryland, USA) verisi kullanılarak elde edilmiştir.

Tomografi verisinden kemik ve diş modellerinin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır. Tomografi verisinden .stl modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır. Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri Blender yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması faaliyetleri ALTAIR Hypermesh yazılımı ile gerçekleştirilmiştir; oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için ALTAIR Optistruct (ALTAIR, Troy, MI, USA) çözücüsü kullanılmıştır.



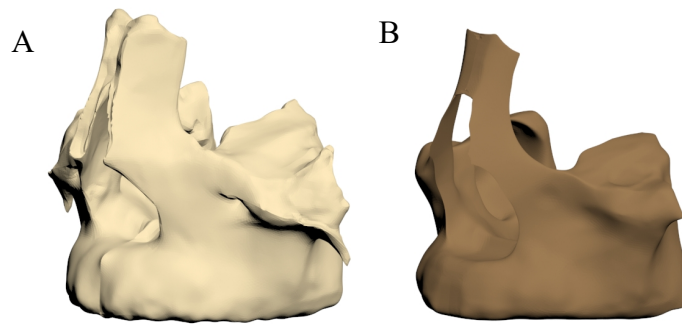
Şekil 3.1 Çalışma modeli oluşturulurken yararlanılan tomografik veri kesitleri

3.1 Kortikal Kemik ve Trabeküler Kemiğin Modellenmesi

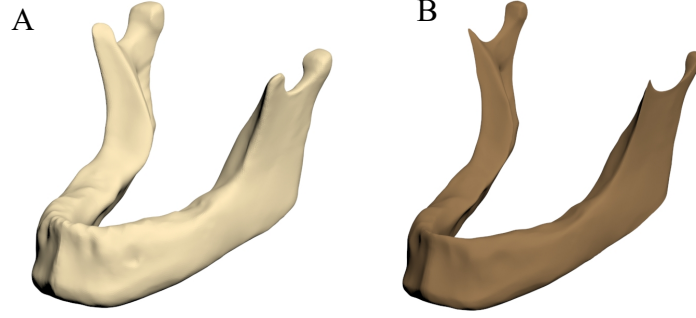
Çalışmada kullanılan maksilla ve mandibula kemik ve diş modelinin oluşturulması için; Visible Human Project tomografi verisi 0.33 mm kesit kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen tomografi verileri DICOM (.dcm) formatında 3DSlicer yazılımına aktarılmıştır. DICOM formatındaki CT verisi, 3DSlicer yazılımında uygun Hounsfield değerlerine göre ayrıştırılmıştır (Threshold Aralığı: 426,50 – 3193,04). İstenmeyen bölgeler ve artefaktlar, 'Erase' ve 'Scissors' parametreleri kullanılarak temizlenmiştir. DICOM verilerinin işlenmesi sürecinde en zor olan kısım, uygun threshold aralığının belirlenmesi ve istenmeyen bölgelerin temizlenmesi olmuştur. Uygun segmentlere ayrılan veriler, segmentasyon işlemi ile üç boyutlu modellere dönüştürülmüş ve modeller .stl formatında dışa aktarılmıştır.

Üç boyutlu modeller Blender yazılımına aktarılmıştır ve burada maksiller kemik modeline önce içe doğru 2 mm offset verilerek 2 mm kalınlığında kortikal kemik oluşturulmuştur. Kalınlığı ayarlanan üç boyutlu mandibuler kortikal kemiğinin iç yüzeyi referans alınarak trabeküler kemik elde edilmiştir.

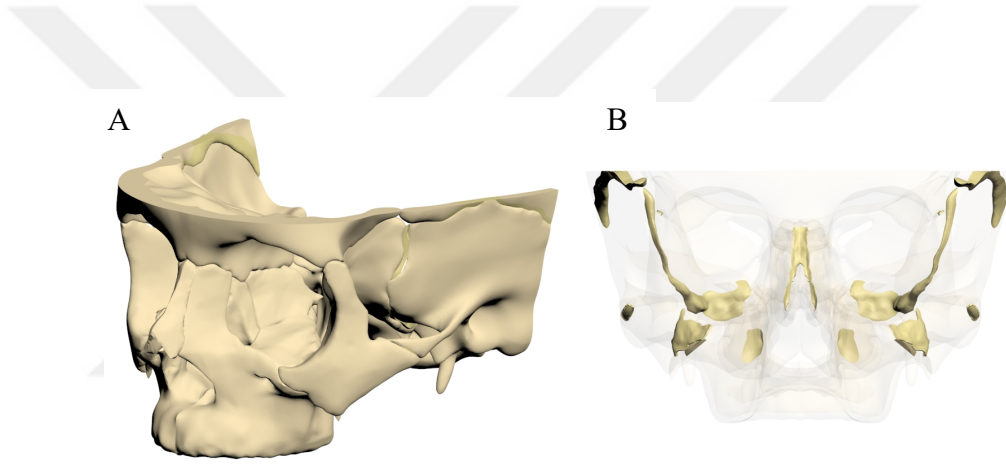
Kortikal kemik modelinde 2 mm offset verilerek 2 mm kalınlığında mukoza modeli oluşturulmuştur. Kemik modelleri iskeletsel Class III olacak şekilde modellenmiştir. Hazırlanan tüm modeller Blender yazılımında 3 boyutlu uzayda doğru koordinatlara yerleştirilip modelleme işlemi tamamlanmıştır.



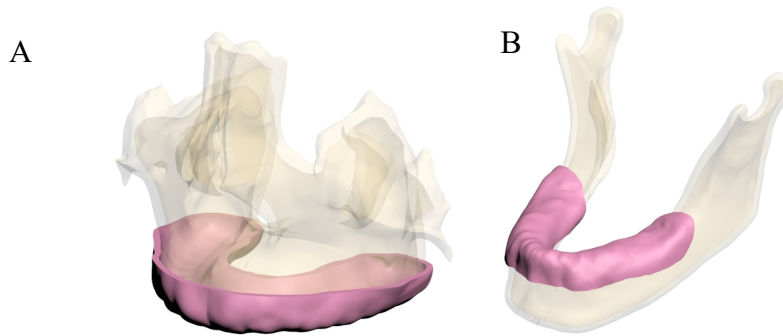
Şekil 3.2 Maksilla Kortikal Kemik (A) ve Maksilla Trabeküler Kemik (B)



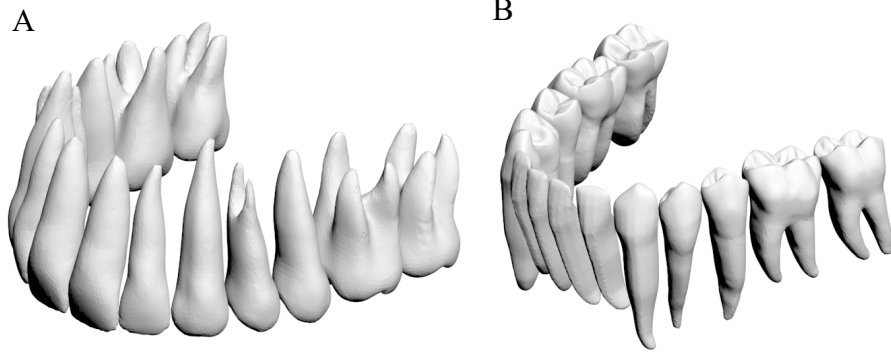
Şekil 3.3 Mandibula Kortikal Kemik (A) ve Mandibula Trabeküler Kemik (B)



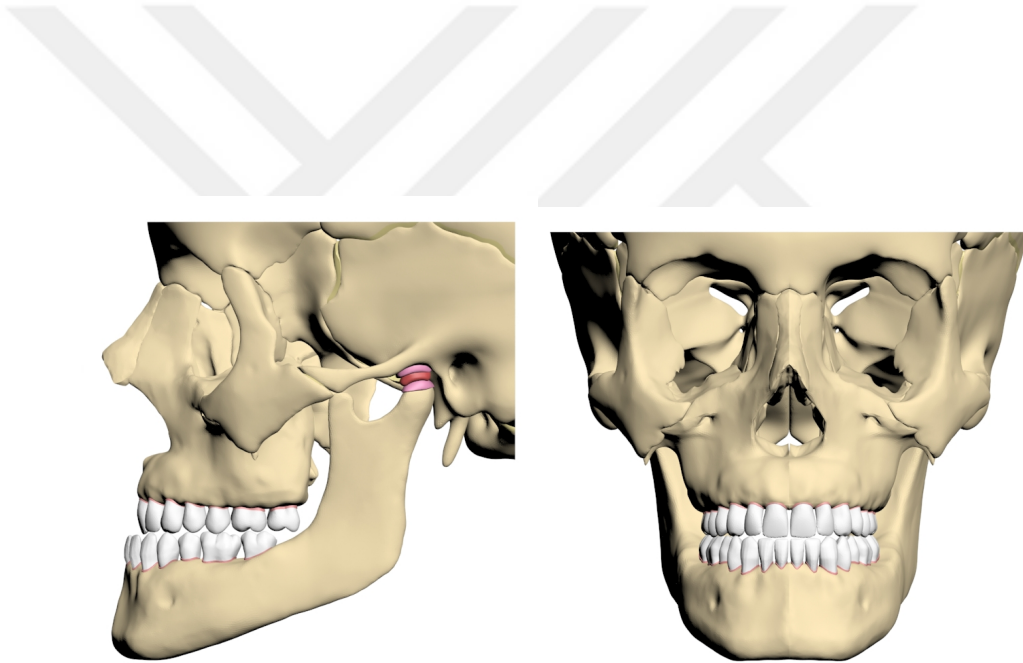
Şekil 3.4 Kraniyofasiyal Kemikler (A) ve Suturlar (B)



Şekil 3.5 Maksilla (A) ve Mandibulada (B) mukozanın modellenmesi



Şekil 3.6 Maksiller (A) ve Mandibuler (B) Dişler



Şekil 3.7 Sınıf III maloklüzyonun modellenmesi

3.2 Carriere Motion Apareyi, Şeffaf Plak, Molar Tüp, Yapıştırıcı Kompozit, Mini Plaklar, Vida, TME ve Periodontal Ligamentin Modellenmesi ve Çalışma Modellerinin Oluşturulması

Çalışmada kullanılan Carriere Motion apareyi Blender yazılımında modellenmiştir. Aparey konum olarak mandibular birinci molar dişin bukkal yüzeyinin orta noktasından mandibular kanin dişin kronunun orta noktasına yerleştirilmiştir.

Molar tüp, American Orthodontics, Sheboygan, WI, ABD katalog verileri esas alınarak Blender yazılımında modellenmiştir.

Aparey ve molar tüpün yerleşimi sonrası dişin kronu ile arasındaki kalan bölgeye yapıştırıcı kompozit malzeme tamamlayacak şekilde Blender yazılımında modellenmiştir.

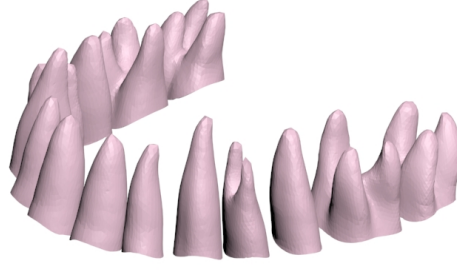
Maksillada bulunan şeffaf plak kalınlığı 1 mm alınarak Blender yazılımında modellenmiştir.

BAMP modelinde kullanılan mini plaklar mandibulada iki ve maksillada üç vida deliği olacak şekilde Blender yazılımında modellenmiştir. Plakların fiksasyonu için kullanılan vidalar 2.3 x 5 mm (çap x boy) ölçülerinde modellenmiştir.

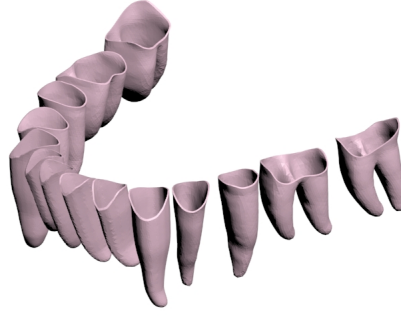
Artiküler disk ise temporal kartilaj ile kondiler kartilaj arasına gelecek şekilde Blender yazılımında modellenmiştir.

Dişlerin dış yüzeyi referans alınarak bütün yüzeylerde 0.2 mm kalınlığında periodontal ligamentler modellenmiştir.

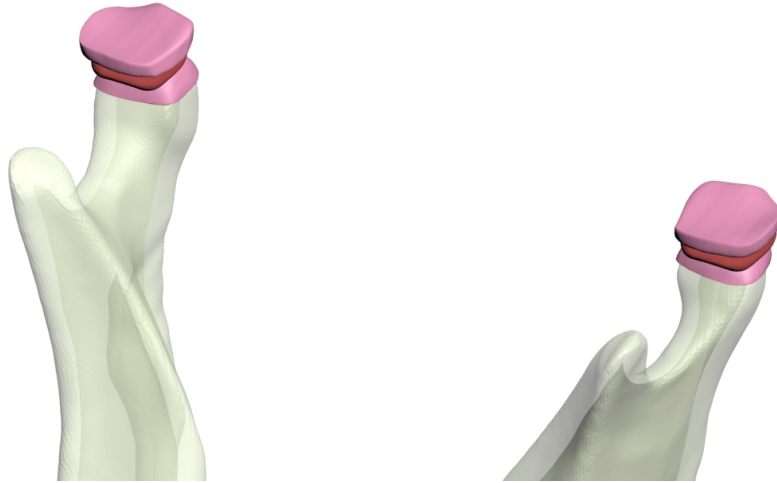
Modeller arasında kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için ALTAIR Hypermesh yazılımında mesh yapıları arasında uyumlandırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.8 Maksiller dişlerin periodontal ligamentlerinin modellenmesi



Şekil 3.9 Mandibuler dişlerin periodontal ligamentlerinin modellenmesi



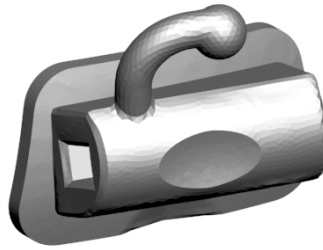
Şekil 3.10 Temporomandibular eklemin (TME) modellenmesi



Şekil 3.11 Carriere Motion Apareyi



Şekil 3.12 Carriere Motion Apareyi ve diş arasındaki yapıştırıcı kompozitin modellenmesi



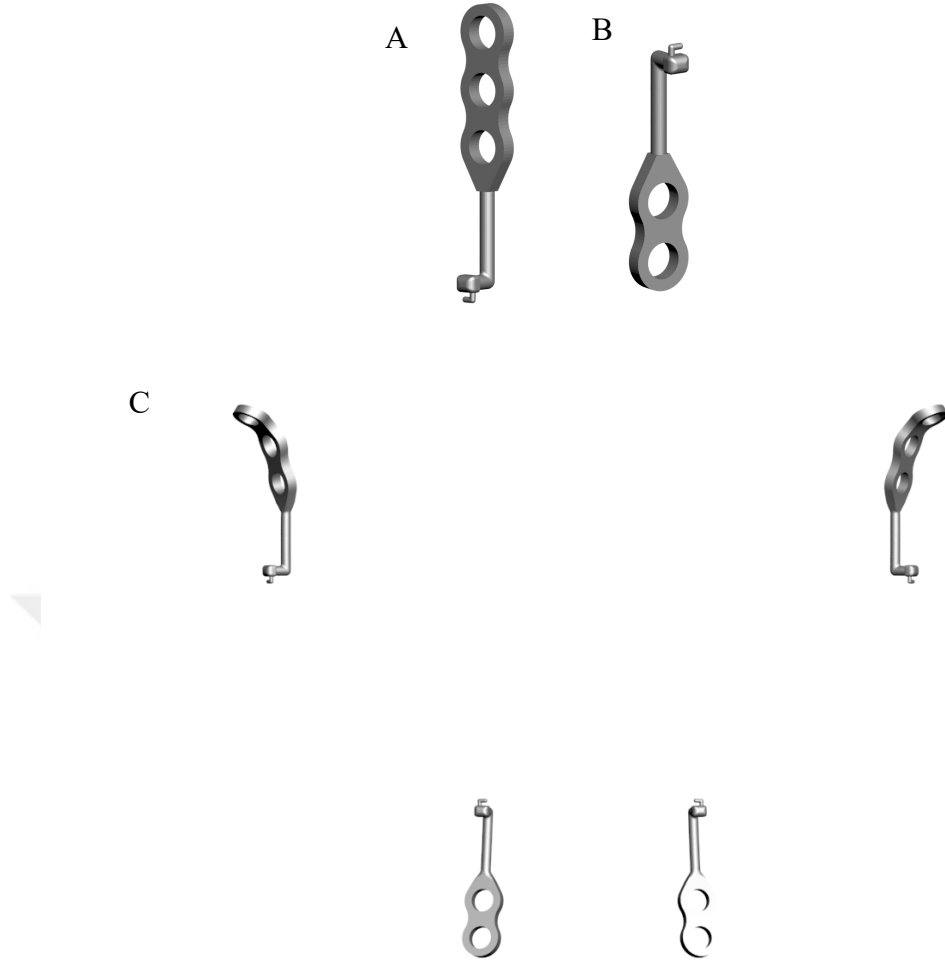
Şekil 3.13 Molar Tüp



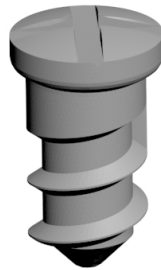
Şekil 3.14 Molar t p yapıştırıcı kompoziti



Şekil 3.15 Şeffaf Plak



Şekil 3.16 BAMP modelinde kullanılacak Maksiller (A) ve Mandibuler (B)(C) miniplaklar

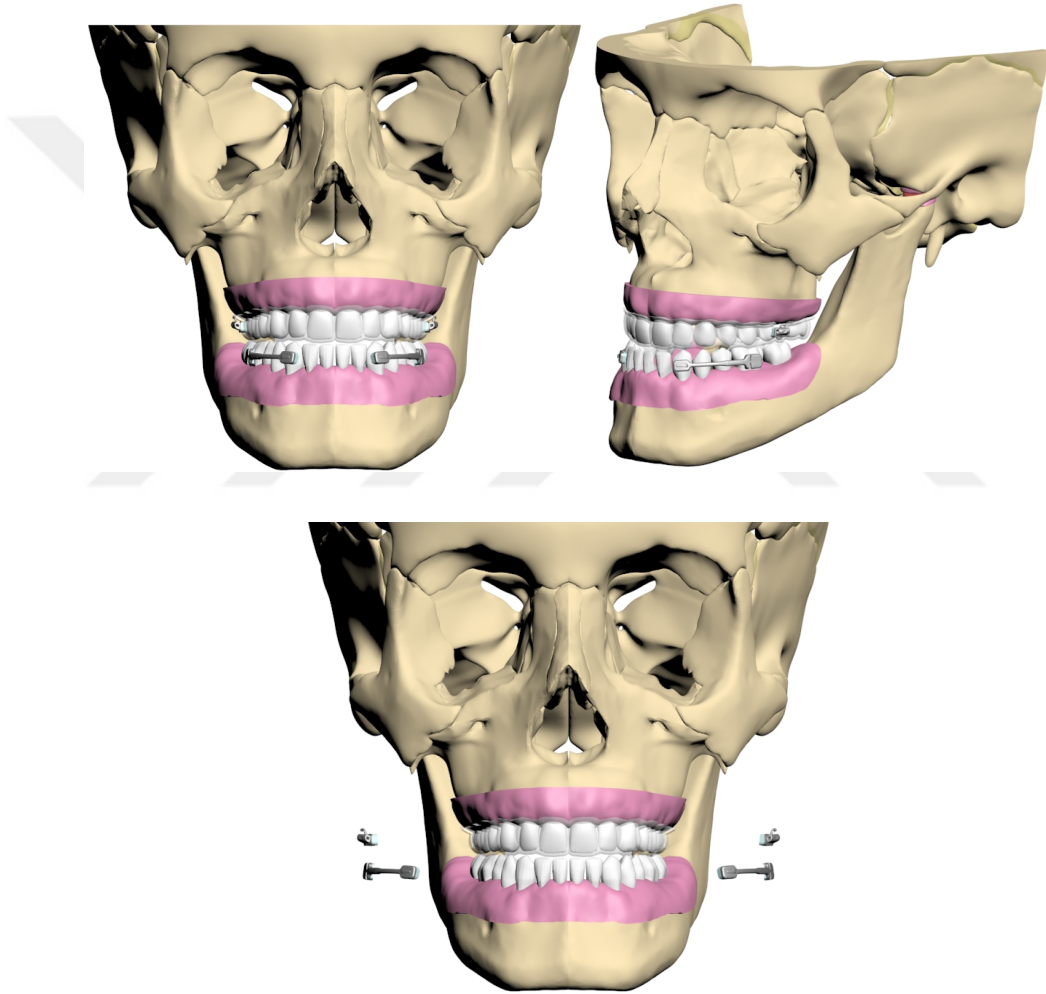


Şekil 3.17 Minivida

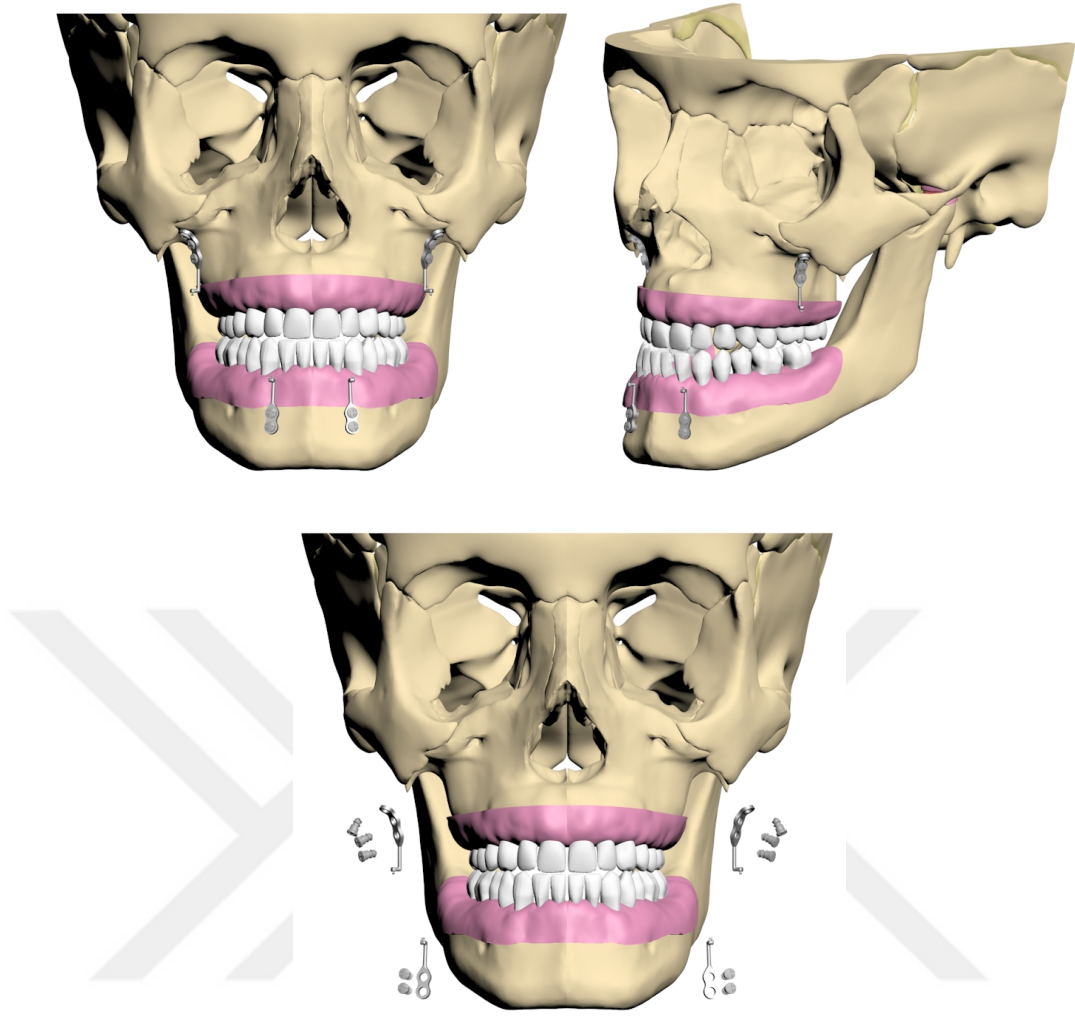
Çalışma Modelleri

Tablo 3.1 Çalışma modelleri tablosu

	Modeller
Model 01	Class III Carriere Motion Apareyi Uygulaması
Model 02	BAMP (Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon) Uygulaması



Şekil 3.18 Class III Carriere Motion Apareyi Uygulaması (Model 01)

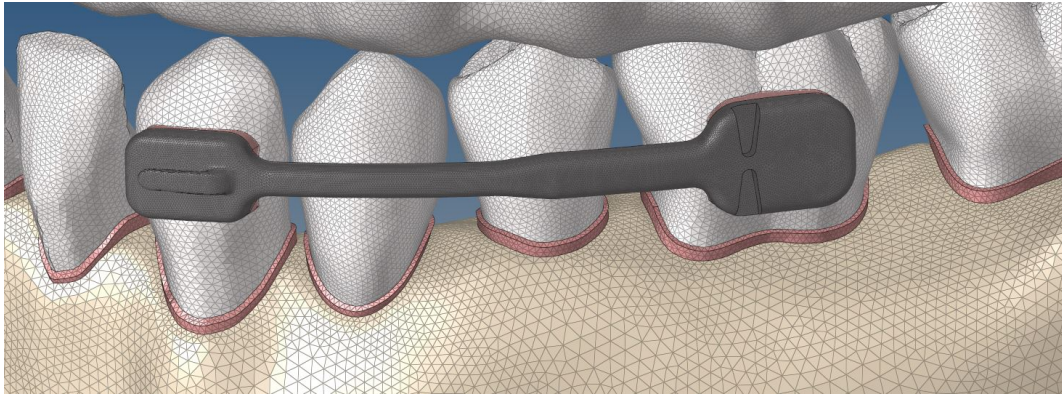


Şekil 3.19 BAMP (Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon) Uygulaması

3.3 Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi

Matematiksel modeller, geometrik modellerin mesh adı verilen basit ve küçük parçalara bölünmesiyle oluşmaktadır. Blender yazılımında modelleme işlemi tamamlandıktan sonra modeller ALTAIR Hypermesh yazılımıyla matematiksel olarak oluşturulup analize hazır hale getirilmiştir. Çalışmada matematiksel modeller (mesh yapıları) oluşturulurken 0.1-0.25 mm aralığında (oldukça hassas) tria (üçgen) mesh boyutları kullanılmıştır. Tüm modellerin yüzey mesh'leri tria adını verilen üçgen mesh'ler ile mesh'lendikten sonra, objelerin katı mesh'leri tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) tipte katı mesh ile oluşturulmuştur.

Analizlerin yapılabilmesi için, ALTAIR Hypermesh yazılımında hazırlanan matematiksel modeller ALTAIR Optistruct çözücüsüne aktarılmıştır.



Şekil 3.20 Matematiksel modellerin elde edilmesi

3.4 Malzeme Tanımları

Analizlerde elastik modül ve poisson oranı verilen malzemelerin doğrusal (lineer) malzeme özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3.2’de gösterildiği gibi analizi yapılan modelin malzeme özellikleri sayısal olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.2 Malzeme özellikleri tablosu

Malzeme	Elastik Modül (MPa)	Poisson Oranı
Kortikal Kemik	13.700	0,30
Trabeküler Kemik	1.370	0,30
Diş	18.600	0,31
Peridontal Ligament	68	0,45
Mukoza	3	0,45
Sutur	7	0,4
Artikuler Disk	44,1	0,4
Yapıştırıcı Kompozit	8.823	0,25
TME Kartilaj	0,79	0,49
CM3 Apareyi ve Molar Tüp	200.000	0,3
BAMP Mini Plaklar	105.000	0,33
Şeffak Plak	528	0,36
Mini Vida	205.000	0,29

3.4.1 Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları

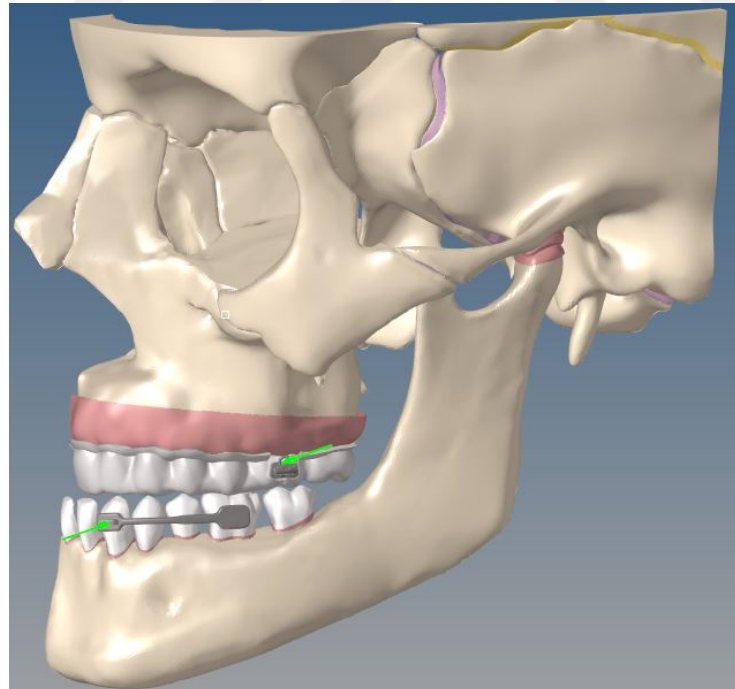
CM3 modelinde, mandibuler kanin ve molara sabitlenen CM3 apareyi ile maksiller molarda bulunan tüp arasında elastik kuvveti simüle eden 350 gr (3.432 N) büyüklüğünde kuvvet uygulanmıştır.

BAMP modelinde, maksiller zygomatik bölge ve mandibular simfiz bölgelerine uygulanan miniplaklar arasındaki elastik kuvveti simüle eden 250 gr (2.451 N) büyüklüğünde kuvvet uygulanmıştır.

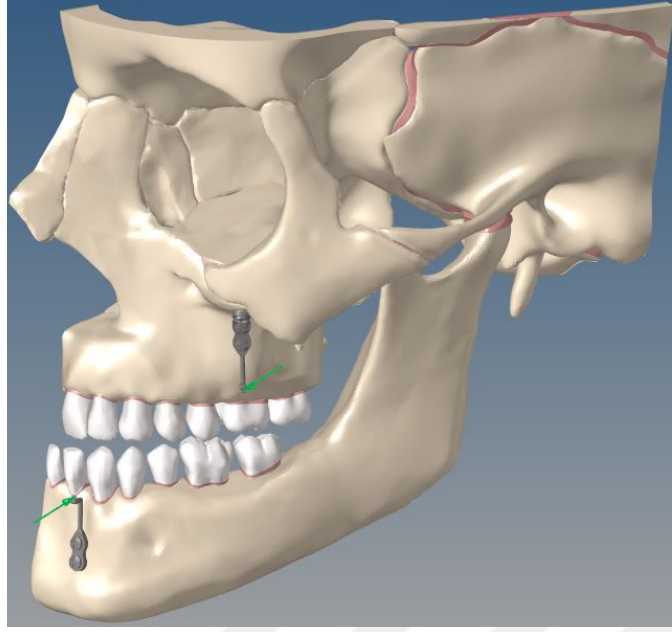
Modeller maksiller kemiğin superior ve posterior bölgesinde ve mandibulada bulunan düğüm noktalarından her üç eksendeki hareketi engellenecek şekilde tüm serbestlik dereceleri kısıtlanarak sabitlenmiştir.

Modelde bulunan bütün parçalara; X ekseninde, Y-Z düzlemine göre simetrik olacak şekilde sınır koşulu uygulanmıştır.

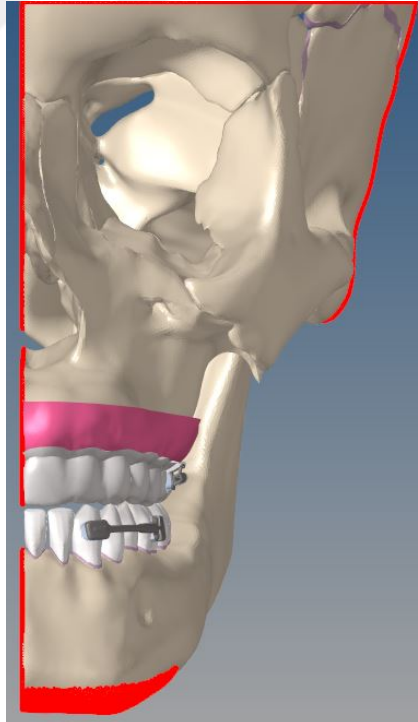
Belirtilen kuvvet ve sınır koşulları altında iki non-lineer statik analiz çözdürülmüştür.



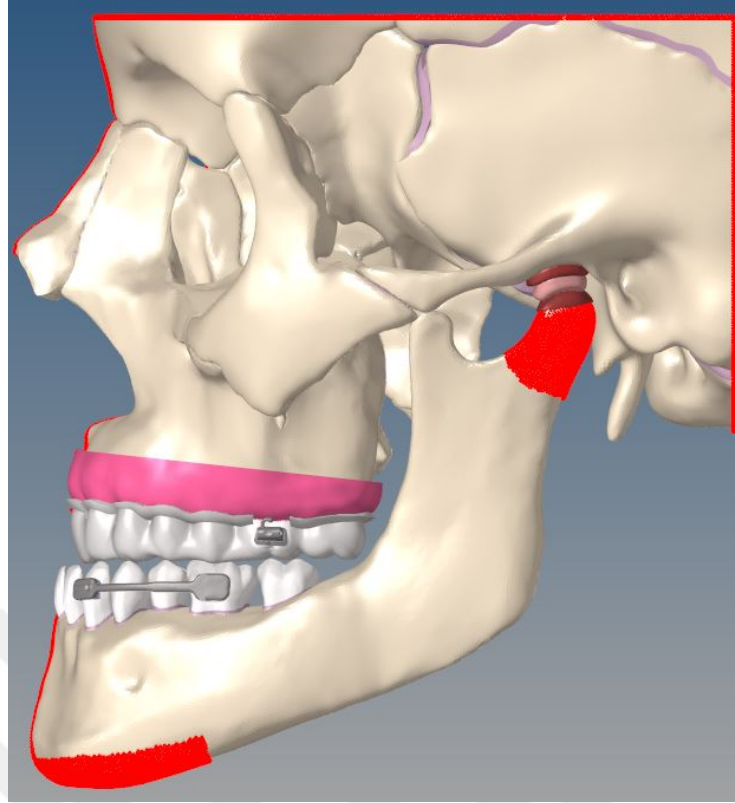
Şekil 3.21 Class III Carriere Motion Apareyinin yükleme senaryosu



Şekil 3.22 BAMP (Kemik Destekli Maksiller Protraksiyon) Uygulamasının
yükleme senaryosu



Şekil 3.23 Sınır koşulları (X-Z eksen)



Şekil 3.24 Sınır koşulları (Y-Z)

3.4.2 Kantitatif Model Bilgileri

Oluşturulan iki analiz modeli için düğüm ve eleman sayıları bilgileri aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 3.3 Her iki analiz modelinin düğüm ve eleman sayıları

	Total Düğüm Sayısı	Total Element Sayısı
Model 01	1.137.509	4.352.499
Model 02	1.042.333	3.991.239

3.5 Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu

Oluşturulan matematiksel modellerde analizlerin yapılabilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için, modeli oluşturan parçaların birbirleriyle olan yüzey ilişkilerinin analiz programında tanımlanması gerekmektedir.

Dişler ve şeffaf plak arasındaki sürtünme katsayısı $\mu = 0,2$ olarak tanımlanmıştır. Diğer tüm temas eden komponentler arasında FREEZE tipi kontak

tanımı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım parçaların hareketi esnasında tam korelasyon ile hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır.



4. BULGULAR

Bu bölümde, maksiller protraksiyon amacıyla kullanılan Diş Destekli Class III Carriere Motion (CM3) apareyi ile Kemik Destekli BAMP uygulamalarının maksilla, mandibula ve dentisyon üzerine aktardığı kuvvetlerin biyomekanik etkilerini ortaya koymak üzere gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizine ait bulgular sunulmaktadır. Çalışmada elde edilen veriler ışığında, her iki apareyin oluşturduğu stres dağılımları, deplasman yönelimleri ve ilgili maksillofasiyal yapılarda gözlenen farklı tepkiler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Araştırmada iki farklı model kullanılmıştır. Modellerde apareylerin ilk aktivasyonu sonrası oluşan stres ve yer değiştirmeler sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Her iki apareyin çene ve yüz kemikleri, kraniyofasiyal suturlar ve dişler üzerindeki etkileri; maksiller ve mandibular dişlerdeki toplam yer değiştirme miktarları ile bu hareketlerin sagittal (Y eksen), transversal (X eksen) ve vertikal (Z eksen) düzlemlerdeki dağılımları analiz edilmiştir. Ayrıca maksiller ve mandibular kemikte belirli anatomik noktaların yer değiştirmeleri de değerlendirmeye alınmış; her iki kemikte Von Mises stres dağılımı ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan koordinat sistemi şu şekilde tanımlanmıştır: X eksen bukkopalatinal yönü, Y eksen mesiodistal yönü, Z eksen ise oklüzogingival (vertikal) yönü temsil etmektedir. Tüm dişlerde intrüzyon ve ekstrüzyon hareketlerinin Z ekseninde gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinden elde edilen değerler, apareyler aracılığıyla kuvvetlerin diş, kemik ve çevre dokulara iletmeye başlandığı andaki biyomekanik durumu yansıtmaktadır. Yer değiştirme ve Von Mises stres dağılımlarını gösterebilmek amacıyla renk skalası kullanılmıştır. Bu skalada kırmızı renk, ilgili bölgede stresin veya deplasmanın en yoğun olduğu alanları; koyu mavi renk ise incelenen yönde en düşük değerlerin kaydedildiği bölgeleri temsil etmektedir. Çalışmada Von Mises stres değerleri MPa, yer değiştirme miktarları ise mm cinsinden belirtilmiştir.

4.1 Yer Değiştirme Bulguları

4.1.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları

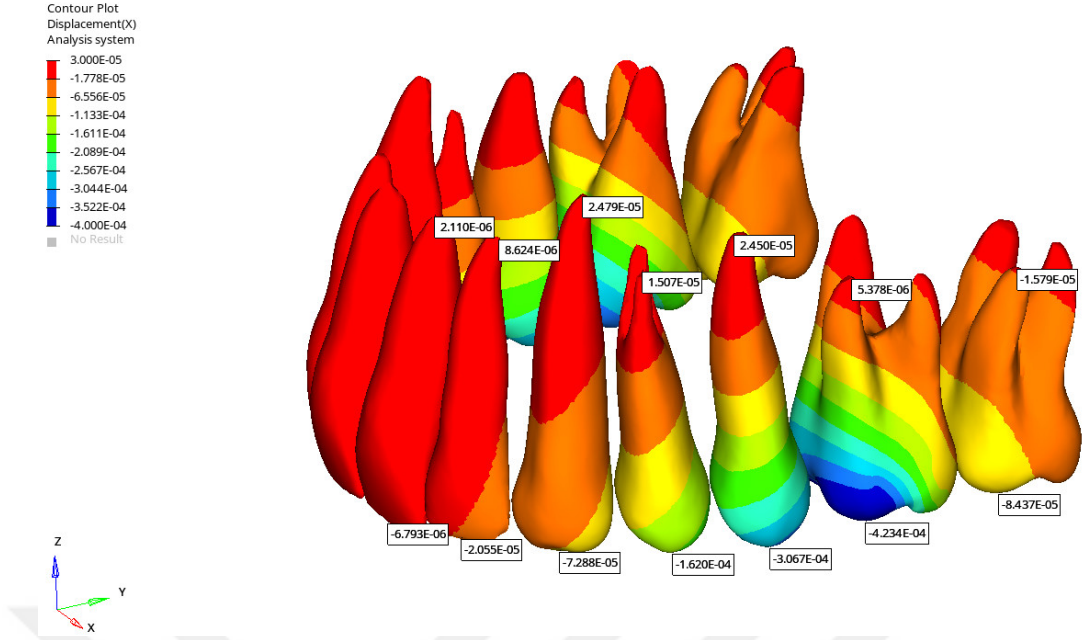
Analiz sonucuna göre üst çene dişlerinde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (mag) yer değiştirme Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 incelendiğinde, maksiller dişlerde en belirgin yer değiştirmenin Y eksenini, yani mesiodistal doğrultuda meydana geldiği görülmektedir. Tüm dişlerde Y ekseninde negatif yönde değerler kaydedilmiş olup, bu durum dişlerin mezial (anterior) yöne doğru hareket ettiğini göstermektedir. Y eksenindeki en yüksek yer değiştirme değeri 1. molar dişte ($-1.48E-03$ mm meziobukkal tüberkül, $-9.88E-04$ mm apeks) ölçülmüş, bunu 2. molar ($-1.44E-03$ mm) ve santral kesici ($-1.43E-03$ mm) dişler izlemiştir.

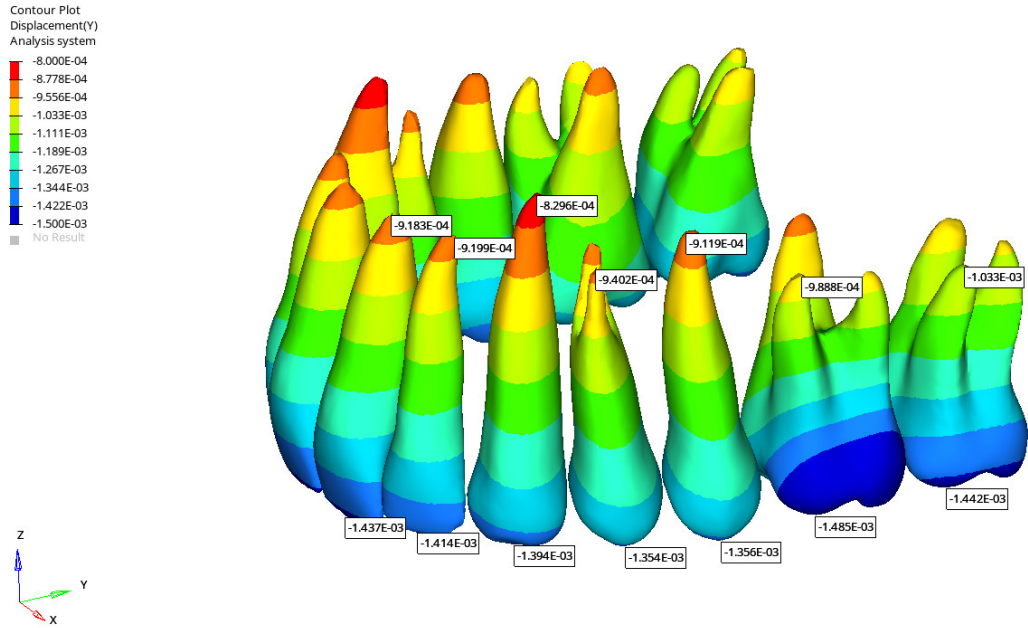
X eksenini (bukkopalatinal doğrultu) değerlendirildiğinde, tüm dişlerde negatif değerlerin kaydedildiği ve dolayısıyla hareketin palatinal yönde gerçekleştiği belirlenmiştir. En yüksek palatinal yer değiştirme 1. molar dişte ($-4.23E-04$ mm meziobukkal tüberkül) görülmüştür.

Z eksenini (oklüzogingival/vertikal doğrultu) incelendiğinde, anterior ve posterior bölgelerde zıt yönlü hareketler gözlenmiştir. Anterior dişlerde pozitif Z eksenini değerlerinin (örneğin santral kesici kenar $+5.21E-04$ mm, apeks $+4.09E-04$ mm) baskın olması, bu dişlerde gingival yönde yani intrüzyon eğilimi olduğunu göstermektedir. Buna karşın posterior dişlerde, özellikle 1. molar ($-2.13E-04$ mm meziobukkal tüberkül, $-1.21E-04$ mm apeks) ve 2. molar ($-2.80E-04$ mm meziobukkal tüberkül, $-3.49E-04$ mm apeks) dişlerde negatif Z değerleri, oklüzal yönde yani ekstrüzyon eğiliminin baskın olduğunu ortaya koymaktadır.

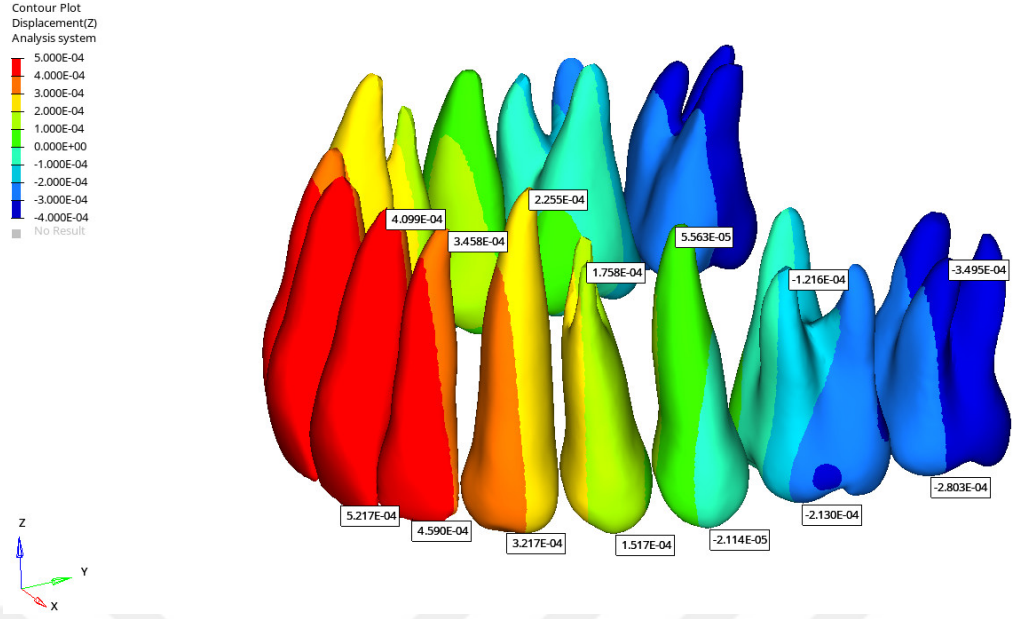
X, Y ve Z eksenlerindeki yer değiştirmeler değerlendirildiğinde, maksiller dişlerde baskın hareket yönü mezial ($-Y$) olup, buna eşlik eden palatinal sapma ($-X$) ve anterior bölgede intrüzyon ($+Z$) / posterior bölgede ekstrüzyon ($-Z$) eğilimleri mevcuttur.



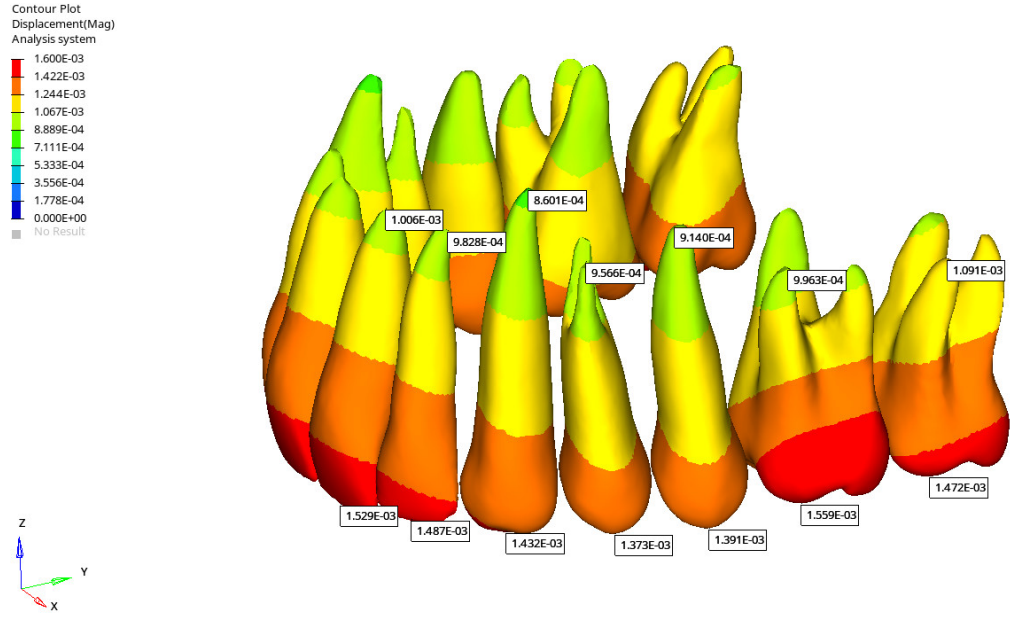
Şekil 4.1 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.2 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.3 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.4 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.1 CM3 Simülasyonunda maksiller dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarları

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Santral kesici	Kesici Kenar	-6,79E-06	-1,43E-03	5,21E-04	1.52E-03
	Apeks	2,11E-06	-9,18E-04	4,09E-04	1.00E-03
Lateral kesici	Kesici Kenar	-2,05E-05	-1,41E-03	4,59E-04	1.48E-03
	Apeks	8,62E-06	-9,19E-04	3,45E-04	9.82E-04
Kanin	Kesici Kenar	-7,28E-05	-1,39E-03	3,21E-04	1.43E-03
	Apeks	2,47E-05	-8,29E-04	2,25E-04	8.60E-04
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	-1,62E-04	-1,35E-03	1,51E-04	1.37E-03
	Apeks	1,50E-05	-9,40E-04	1,75E-04	9.56E-04
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	-3,06E-04	-1,35E-03	-2,11E-05	1.39E-03
	Apeks	2,45E-05	-9,11E-04	5,56E-05	9.14E-04
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	-4,23E-04	-1,48E-03	-2,13E-04	1.55E-03
	Apeks	5,37E-06	-9,88E-04	-1,21E-04	9.96E-04
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	-8,43E-05	-1,44E-03	-2,80E-04	1.47E-03
	Apeks	-1,57E-05	-1,03E-03	-3,49E-04	1.50E-03

Bileşke yer değiştirme miktarları incelendiğinde, CM3 modelinde maksiller dişlerin tamamında anlamlı düzeyde bileşke (magnitüde) yer değiştirme meydana geldiği görülmüştür. En fazla toplam yer değiştirme kesici kenar ve tüberkül tepelerinde gözlenmiş olup, bu durum uygulanan kuvvetlerin diş kronları üzerinde daha etkin olduğunu göstermektedir.

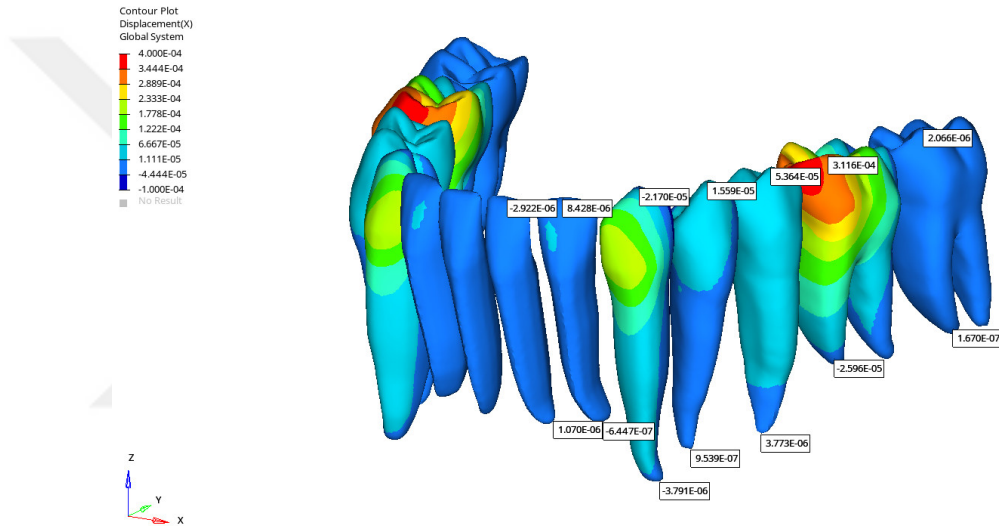
Kron bölgesinde en yüksek bileşke yer değiştirme değeri 1. molarlarda (1.55E-03 mm) kaydedilmiştir. Bu diş sırasıyla santral kesici (1.52E-03 mm) ve lateral kesici (1.48E-03 mm) takip etmiştir.

Apeks seviyelerinde ise en yüksek bileşke yer değiştirme 2. molarlarda (1.50E-03 mm) gözlenmiştir. Bu değer, diğer tüm dişlerin apeks hareketlerinden belirgin şekilde yüksektir ve posterior segmentteki köklerin kuvvet hattı boyunca daha fazla yer değiştirdiğini göstermektedir. Anterior dişlerde apeks hareketleri

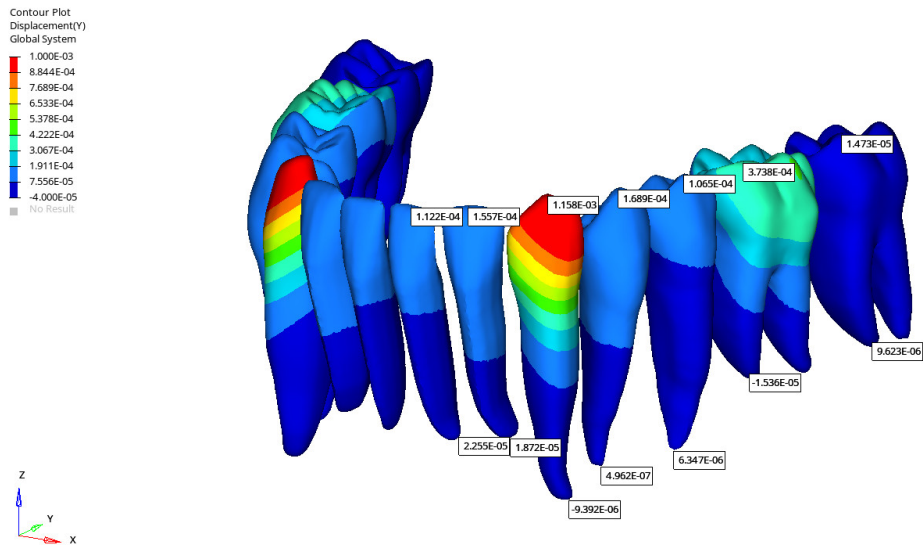
kesici kenar ve tüberkül tepelerine göre daha düşük bulunmuştur; örneğin santral diş kesici kenarında $1.52E-03$ mm iken apeks $1.00E-03$ mm'dir.

4.1.2 CM3 Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları

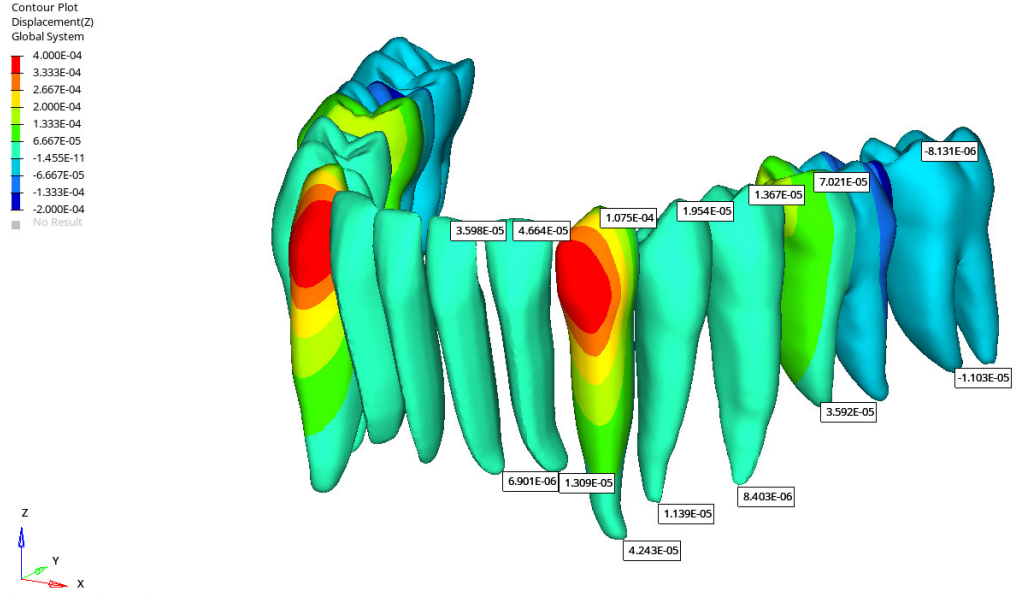
Analiz sonucuna göre alt çene dişlerinde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitude (mag) yer değiştirme Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



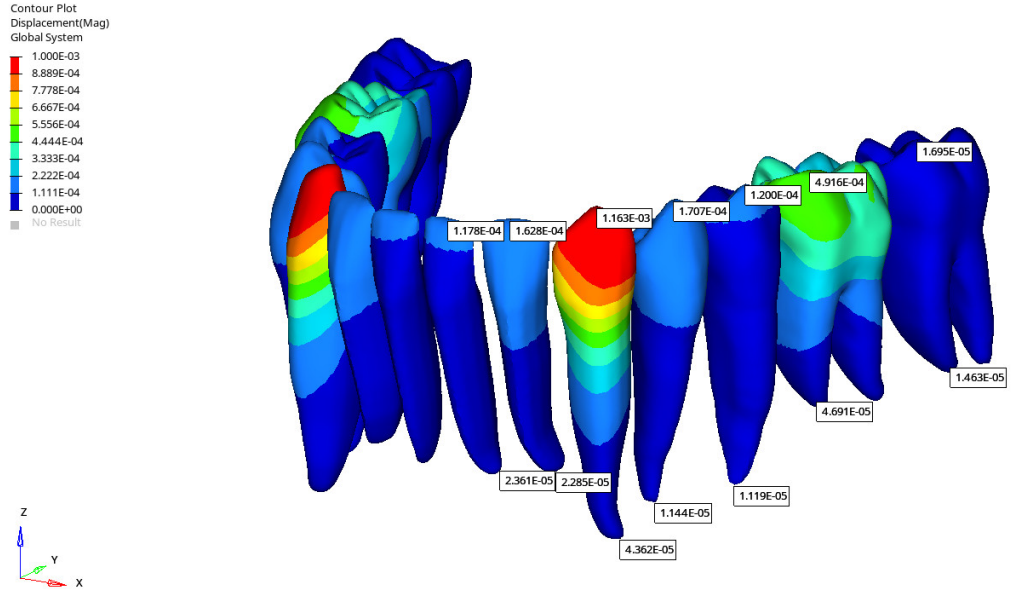
Şekil 4.5 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.6 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.7 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.8 CM3 simülasyonunda mandibular dişlerde oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.2 CM3 Simülasyonunda mandibuler dişlerde X, Y ve Z eksenlerinde oluşan ve magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarları

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Santral kesici	Kesici Kenar	-2.92E-06	1.12E-04	3.59E-05	1,17E-04
	Apeks	1.07E-06	2.25E-05	6.90E-06	2,36E-05
Lateral kesici	Kesici Kenar	8.42E-06	1.55E-04	4.66E-06	1,62E-04
	Apeks	-6.44E-07	1.87E-05	1.30E-05	2,28E-05
Kanin	Kesici Kenar	-2.17E-05	1.15E-03	1.07E-04	1,16E-03
	Apeks	-3.79E-06	-9.39E-06	4.24E-05	4,36E-05
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	1.55E-05	1.68E-04	1.95E-05	1,70E-04
	Apeks	9.53E-07	4.96E-07	1.13E-05	1,14E-05
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	5.36E-05	1.06E-04	1.36E-05	1,20E-04
	Apeks	3.77E-06	6.34E-06	8.40E-06	1,11E-05
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	3.11E-04	3.73E-04	7.02E-05	4,91E-04
	Apeks	-2.59E-05	-1.53E-05	3.59E-05	4,69E-05
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	2.06E-05	1.47E-05	-8.13E-06	1,69E-05
	Apeks	1.67E-07	9.62E-06	-1.10E-05	1,46E-05

Tablo 4.2 incelendiğinde, CM3 uygulamasının mandibular arkta belirgin bir distalizasyon örüntüsü oluşturduğu görülmektedir. Y eksen (+Y=distal, -Y=mezial) açısından, en yüksek kron düzeyi distal hareket kaninde (İ: 1.15E-03 mm) saptanmış; bunu 1. molar (İ: 3.73E-04 mm) ve lateral kesici (İ: 1.55E-04 mm) izlemiştir. Kaninde apeksin hafifçe mezial yönde yer değiştirmesi (A: -9.39E-06 mm), belirgin distal tipping paternine işaret eder. 1. molar da benzer şekilde kron distal, kök ucu mezial (A: -1.53E-05 mm) yönelim göstererek tipping baskınlığını desteklemektedir. 2. molar da distal yer değiştirmenin çok düşük düzeyde olduğu (İ: 1.47E-05 mm; A: 9.62E-06 mm) ve meziobukkal tüberkül–apeks değerlerinin birbirine yakın seyrettiği dikkate alındığında, bu dişte küçük ölçekli, daha gövdesel (bodily) bir komponent bulunduğu söylenebilir. Santral ve lateral kesicilerde kron düzeyinde

distalizasyon, köke göre anlamlı biçimde yüksek olup (ör. santral İ: $1.12E-04$ mm vs. A: $2.25E-05$ mm), kron-dominant distal tipping ile uyumludur; premolarlarda ise apeks değerlerinin çok küçük kalması hafif distal ve sınırlı kök katılımı paternini göstermektedir.

X eksenini (+X=bukkal, -X=lingual) değerlendirmesinde, 1. moların belirgin bukkal kron, lingual kök yer değiştirmesi bukkal tipping eğilimini ortaya koymaktadır. 2. premolar ve 1. premolar hafif bukkal yönelim gösterirken, kaninin lingual komponenti daha sınırlı düzeydedir. Kesicilerde bukkolingual deplasmanlar çok küçük kalmış, klinik açıdan anlamlı bir transvers devrilme beklenmeyecek düzeyde seyretmiştir.

Z eksenini (+Z=ekstrüzyon, -Z=intrüzyon) açısından CM3, mandibular arkta genel olarak ekstrüzyon bir eğilim yaratmıştır. Kanin ve 1. molar belirgin ekstrüzyon sergileyerek, sınıf III elastik biyomekaniğiyle uyumlu molar ve kanin dişlerinde vertikal artışı göstermektedir. Santral kesicide de ekstrüzyon mevcuttur. 2. molarda intrüzyon eğilimi gözlenmiştir.

CM3 apareyinin mandibular dişlerde oluşturduğu magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarları incelendiğinde, dişlerin konumuna göre farklılık gösterdiği görülmektedir. En yüksek insizal bileşke yer değiştirme değeri kaninde ($1.16E-03$ mm) kaydedilmiştir. Bu diş sırasıyla 1. molar ($4.91E-04$ mm) ve lateral kesici ($1.62E-04$ mm) takip etmektedir. Bu bulgular, kuvvetlerin mandibular arkta özellikle kanin ve 1. molar bölgelerinde yoğunlaştığını, yani elastik kuvvet hattının öncelikli olarak bu iki diş üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Kanin dışında insizal hareketin apeks hareketine oranla oldukça yüksek olması ($1.16E-03$ mm vs. $4.36E-05$ mm), belirgin bir distal tipping etkisini ortaya koymaktadır.

Apeks seviyesinde, tüm dişlerdeki bileşke yer değiştirme miktarlarının koronal bölgeye kıyasla belirgin biçimde düşük olduğu gözlenmiştir. En yüksek apeks yer değiştirme değeri 1. molarda ($4.69E-05$ mm) tespit edilmiş; bunu kanin ($4.36E-05$ mm) ve santral kesici ($2.36E-05$ mm) izlemiştir. Bu durum, kök seviyesindeki hareketin sınırlı kaldığını, kuvvetlerin çoğunlukla kron seviyesinde yoğunlaştığını göstermektedir.

4.1.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları

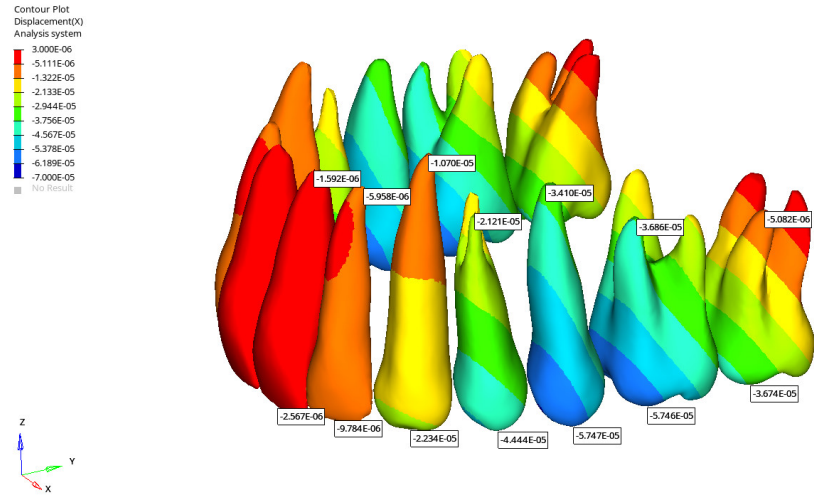
Analiz sonucuna göre üst çene dişlerinde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 incelendiğinde, BAMP uygulamasında maksiller dişlerin tamamında mesiodistal ekseninde (Y ekseninde) mezial yönde bir yer değişimi olduğu görülmektedir. Bu etki ön bölgede santral ($-6,45E-04$ mm / $-4,56E-04$ mm) ve lateral kesicide ($-6,36E-04$ mm / $-4,58E-04$ mm) belirgin olup, kanin ($-6,40E-04$ mm / $-4,28E-04$ mm) ve premolar-molar bölgeye doğru benzer büyüklüklerde devam etmektedir. Özellikle 1. molarda apeks düzeyindeki mezial yer değişimi ($-4,78E-04$ mm), insizal/oklüzal düzeye ($-6,24E-04$ mm) yakın olup, posterior bölgenin kök düzeyinde de anlamlı katılım gösterdiğini düşündürmektedir.

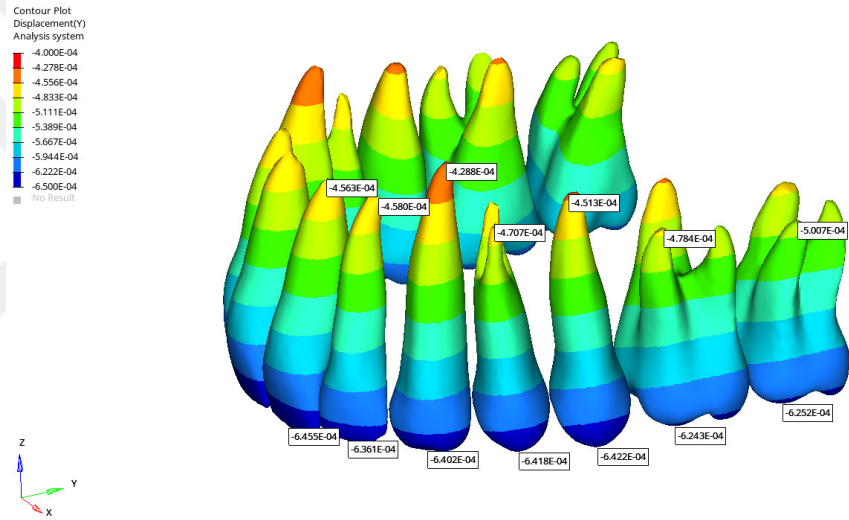
Bukkopalatinal ekseninde (X), tüm dişlerde palatinal yönde ($-X$) yer değişimi saptanmıştır. Bu palatinal bileşen anterior bölgede küçük iken, posteriora doğru artmakta ve özellikle apeks düzeyinde de benzer palatinal sapma eşlik etmektedir. Bu bulgu, BAMP kuvvetlerinin maksiller dişlerde hafif bir palatinal eğilme/linguale devrilme bileşeni oluşturduğunu ve bunun posterior segmente doğru arttığını göstermektedir.

Oklüzogingival ekseninde (Z) anterior-posterior farklılaşma belirgindir. Ön bölgede kesicilerde intrüzyon yönünde ($+Z$) yer değiştirme izlenmiştir. Posterior uçta 1. molarda belirgin ekstrüzyon ($-9,94E-05$ / $-9,99E-05$ mm) dikkat çekicidir. Bu dağılım, BAMP'un ön segmentte intrüziv, posterior segmentte ise hafif ekstrüzif bir dikey yanıt oluşturduğunu; başka bir deyişle maksiller düzlemi çok sınırlı bir saat yönü rotasyon eğilimiyle etkilediğini düşündürmektedir.

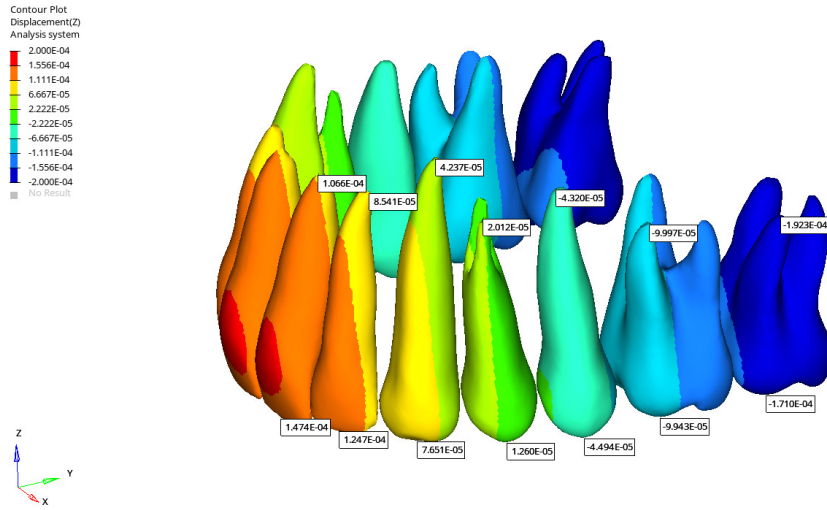
Özetle; Y ekseninde tüm dişlerde mezial yönde ve benzer büyüklükte bir translasyon paterninin bulunması, BAMP'nin iskeletsel vektörünün dentisyona da homojen biçimde iletildiğini; X ekseninde palatinal bileşenin posteriora doğru artması, özellikle premolar-molar bölgedeki hafif linguale devrilme eğilimini; Z ekseninde ön bölgede intrüzyon, arka bölgede ekstrüzyonu göstermektedir.



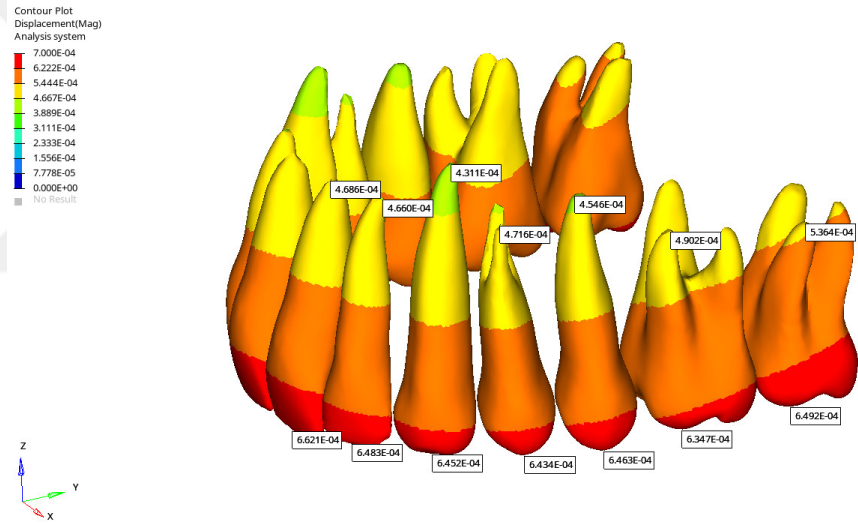
Şekil 4.9 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.10 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.11 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.12 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Santral kesici	Kesici Kenar	-2,56E-06	-6,45E-04	1,47E-04	6,62E-04
	Apeks	-1,59E-06	-4,56E-04	1,06E-04	4,68E-04
Lateral kesici	Kesici Kenar	-9,78E-06	-6,36E-04	1,24E-04	6,48E-04
	Apeks	-5,95E-06	-4,58E-04	8,54E-05	4,66E-04
Kanin	Kesici Kenar	-2,23E-05	-6,40E-04	7,65E-05	6,45E-04
	Apeks	-1,07E-05	-4,28E-04	4,23E-05	4,31E-04
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	-4,44E-05	-6,41E-04	1,26E-05	6,43E-04
	Apeks	-2,12E-05	-4,70E-04	2,01E-05	4,71E-04
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	-5,74E-05	-6,42E-04	-4,49E-05	6,46E-04
	Apeks	-3,41E-05	-4,51E-04	-4,32E-05	4,54E-04
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	-5,74E-05	-6,24E-04	-9,94E-05	6,34E-04
	Apeks	-3,68E-05	-4,78E-04	-9,99E-05	4,90E-04
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	-3,67E-05	-6,25E-04	-1,71E-04	6,49E-04
	Apeks	-5,08E-06	-5,00E-04	-1,92E-04	5,36E-03

BAMP uygulamasında maksiller dişlerin tamamında oluşan bileşke (magnitude) yer değiştirmelerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ön bölgedeki santral (6,62E-04 mm) ve lateral kesici (6,48E-04 mm) dişlerdeki koronal hareketler, kanin (6,45E-04 mm) ve premolar dişlerle benzer düzeydedir. Bu bulgu, BAMP sisteminde kuvvetin dişler arasında dengeli bir şekilde dağıldığını ve protraksiyonun tüm maksiller dişlere homojen biçimde aktarıldığını göstermektedir. Posterior bölgeye ilerledikçe 1. molar (6,34E-04 mm) ve 2. molar (6,49E-04 mm) dişlerdeki koronal bileşke hareketlerin de benzer büyüklükte seyretmesi, BAMP'nin kuvvet aktarımında anterior-posterior yönlü kayıpların minimal olduğunu göstermektedir.

Apeks seviyesinde değerlendirildiğinde, ön grup dişlerdeki yer değiştirmeler (santral: 4,68E-04 mm, lateral: 4,66E-04 mm, kanin: 4,31E-04 mm) posterior bölgeye doğru kademeli bir artış göstermektedir. Özellikle 1. molarda

4,90E-04 mm'ye ve 2. molarda 5,36E-03 mm'ye ulaşan apeks hareketi dikkat çekicidir. Bu sonuç, posterior segmentte kök düzeyinde belirgin bir yer değiştirme bileşeninin ortaya çıktığını ve kuvvetlerin alveoler düzeyde etkin bir şekilde iletilildiğini ortaya koymaktadır.

4.1.4 BAMP Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Yer Değiştirme Bulguları

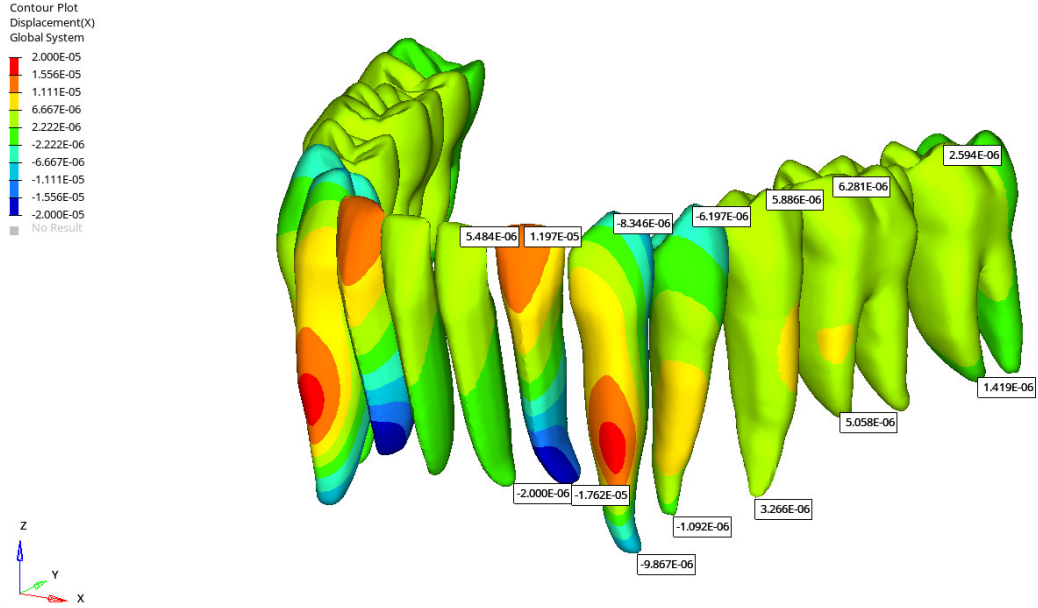
Analiz sonucuna göre üst çene dişlerinde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitute (mag) yer değiştirme Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 incelendiğinde, BAMP uygulamasında mandibuler dişlerin tamamında en belirgin yer değiştirme bileşeninin Y ekseninde olduğu görülmektedir. Distalizasyonun en yüksek olduğu dişler santral ve lateral kesicilerdir. Bu değerler kanin ve premolarlardan belirgin olarak yüksektir. Molar bölgede distal hareket azalarak 1. molarda ve 2. molarda en düşük seviyeye inmektedir. Bu patern, BAMP elastiklerinin anterior mandibuler segmente daha yüksek yatay bileşen aktardığını, posterior segmentte ise distalizasyonun sınırlı kaldığını göstermektedir.

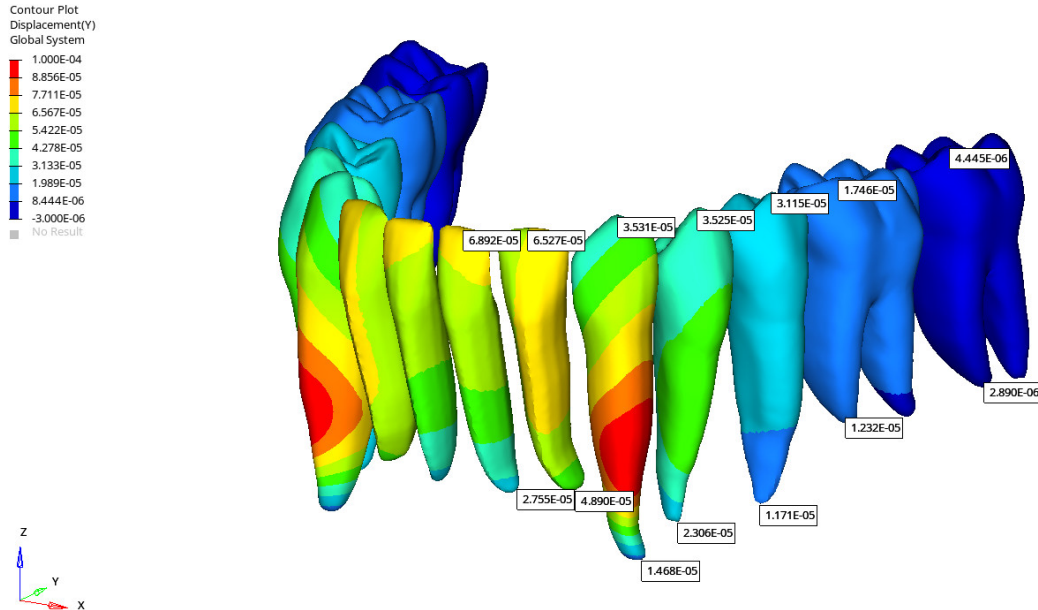
X eksenini yer değiştirmeleri tüm dişlerde çok küçük mertebelerde meydana gelmiştir. Yine de ön segmentte hafif bukkal sapma izlenirken, kanin ve 1. Premolarda zayıf lingual eğilim dikkati çekmektedir. Molarlar için X bileşeni düşük pozitif değerlerde seyretmektedir.

Z ekseninde ön segmentte koronal düzeyde hafif ekstruzyon, eğilimi vardır. Kanin için bu patern daha belirgindir. Premolar ve molarlarda Z bileşeni çok düşük olup klinik anlamı sınırlıdır; 2. molarda değerler yaklaşık sifıra yakındır.

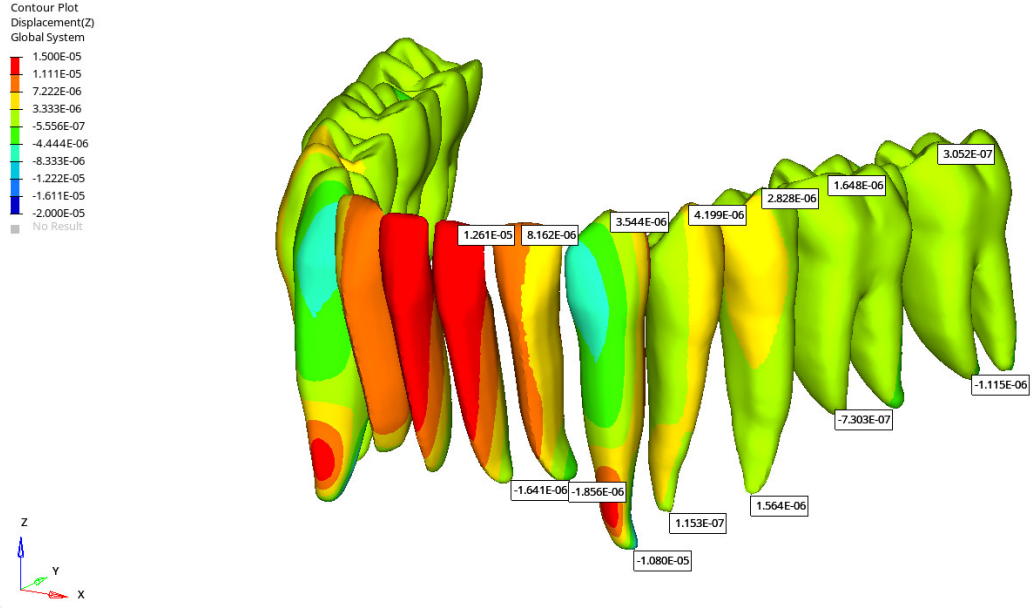
Özetle; BAMP simülasyonunda mandibuler arkta distalizasyon en fazla ön segmentte, giderek azalan biçimde posteriora doğru izlenmiştir. Bukko-lingual sapmalar ihmal edilebilir düzeydedir. Vertikal yönde ön bölgede kron düzeyinde minimal ekstruzyon paternine karşılık posterior bölgede stabil bir davranış mevcuttur. Bu dağılım, BAMP'ın mandibuler ön segmentte yatay (Y) bileşeni baskın, posterior segmentte ise kontrollü ve düşük deplasman üreten bir kuvvet aktarımı sağladığını göstermektedir.



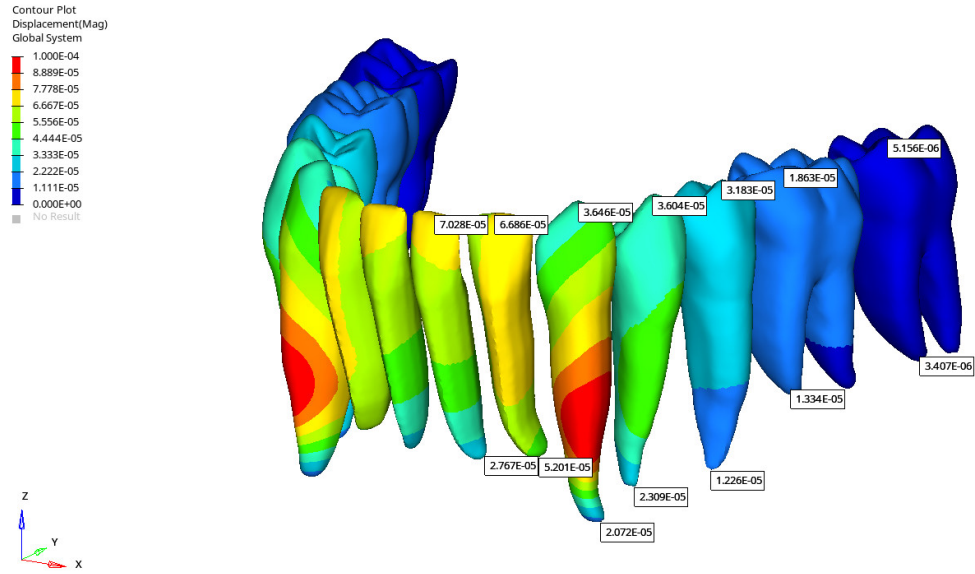
Şekil 4.13 BAMP Simülasyonunda mandibular dişlerde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.14 BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.15 BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.16 BAMP Simülasyonunda mandibuler dişlerde magnitudo (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.4 BAMP Simülasyonunda mandibuler dişlerde X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitude yer değiştirme miktarları

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Santral kesici	Kesici Kenar	5,48E-06	6,89E-05	1,26E-05	7,02E-05
	Apeks	-2,00E-06	2,75E-05	-1,64E-06	2,76E-05
Lateral kesici	Kesici Kenar	1,19E-05	6,52E-05	8,16E-06	6,68E-05
	Apeks	-1,76E-05	4,89E-05	-1,85E-06	5,20E-05
Kanin	Kesici Kenar	-8,34E-06	3,53E-05	3,54E-06	3,64E-05
	Apeks	-9,86E-06	1,46E-05	-1,08E-05	2,07E-05
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	-6,19E-06	3,52E-05	4,19E-06	3,60E-05
	Apeks	-1,09E-06	2,30E-05	1,15E-07	2,30E-05
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	5,88E-06	3,11E-05	2,82E-06	3,18E-05
	Apeks	3,26E-06	1,17E-05	1,56E-06	1,22E-05
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	6,28E-06	1,74E-05	1,64E-06	1,18E-05
	Apeks	5,05E-06	1,23E-05	-7,30E-07	1,33E-05
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	2,59E-06	4,44E-06	3,05E-07	5,15E-06
	Apeks	1,41E-06	2,89E-06	-1,11E-06	3,40E-06

BAMP uygulaması sonrasında mandibuler dişlerde meydana gelen bileşke (magnitude) yer değiştirmelerin genel olarak ön bölgeden posteriora doğru azaldığı görülmektedir. En yüksek koronal hareket santral kesicide izlenmiş, bunu lateral kesici çok yakın bir değerle takip etmiştir.

Kanin ve birinci premolar dişlerde hem kron seviyesinde hem apeks hareketlerinin kesicilere göre belirgin şekilde azaldığı, buna karşın premolar kök düzeyinde hareketin hafifçe arttığı gözlenmiştir.

Molar bölgede yer değiştirmeler oldukça sınırlı düzeydedir. Birinci molar dişte apeks hareketinin insizale kıyasla bir miktar yüksek olması, bu bölgede kuvvetin daha çok kök düzeyinde absorbe edildiğini göstermektedir. İkinci molar ise hem insizal hem apeks seviyelerinde tüm dişler arasında en düşük hareket değerlerini sergileyerek, BAMP kuvvetlerinin posterior mandibulada minimal etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, BAMP uygulamasında mandibuler dişlerde oluşan yer değiştirmeler ön bölgede belirgin, posterior bölgede ise sönümlenen bir dağılım göstermektedir.

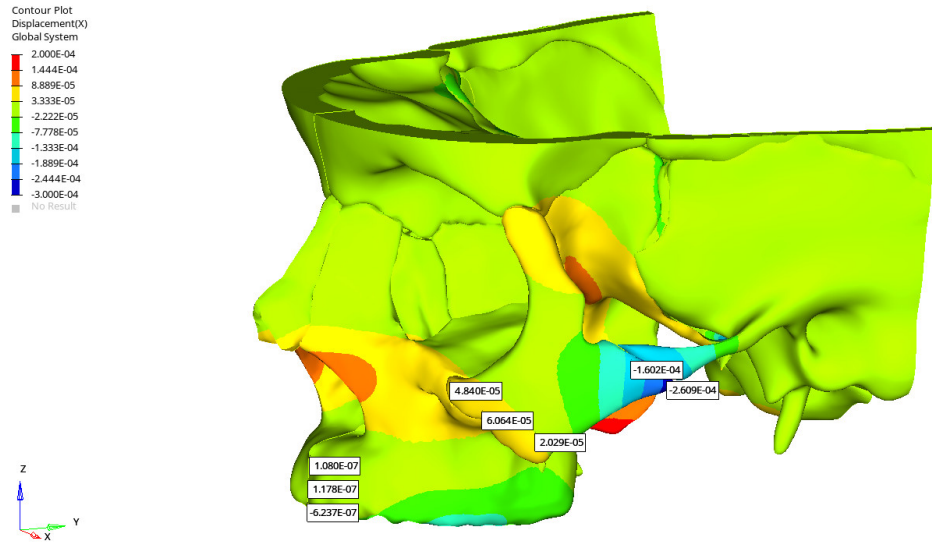
4.1.5 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Yer Değiştirme Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal suturlarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (mag) yer değiştirme Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

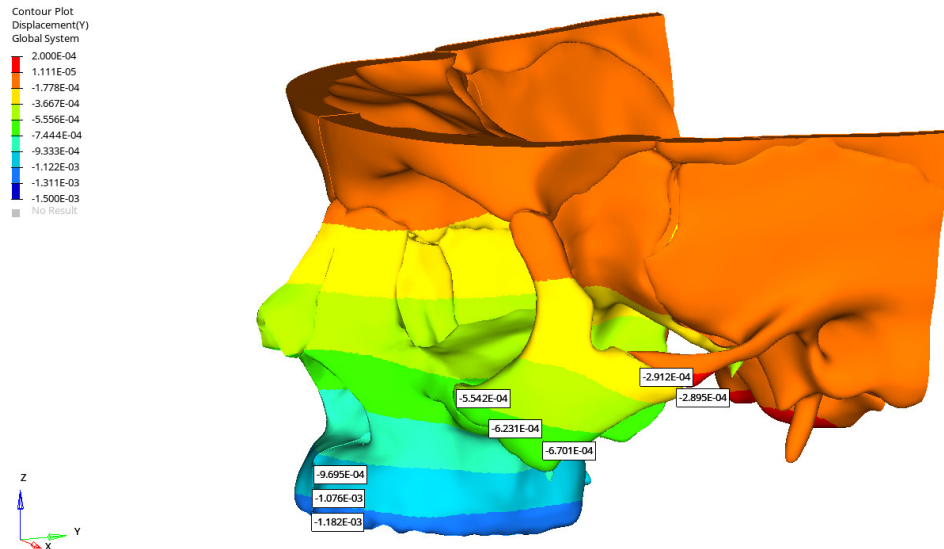
Tablo 4.5 incelendiğinde, Diş Destekli CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlar üzerinde en belirgin yer değiştirmenin Y ekseninde (mesiodistal yönde, distal yön pozitif, mezial yön negatif) gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle intermaksiller sutur boyunca hareketin belirginliği dikkat çekmektedir. Üstten alta doğru (superior–mid–inferior) incelendiğinde, yer değiştirmenin kademeli olarak arttığı, en yüksek mezial deplasmanın inferior segmentte meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Zigomatikomaksiller sutur bölgelerinde ise Y ekseninde mezial yönlü bir hareket pateni sürmekte, ancak bu hareketin miktarı intermaksiller sutura göre azalmaktadır. Özellikle inferior segmentte, Z ekseninde negatif (insizal yönlü) yer değiştirme görülmesi, bu bölgedeki kuvvet bileşenlerinin aşağıya ve dışa yönlendiğini, yani zigomatik desteğin kuvvetin bir kısmını vertikal yönde absorbe ettiğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 uygulaması sonucunda kuvvetlerin kraniofasiyal suturlara iletimi en fazla intermaksiller suturun inferior segmentinde, ardından zigomatikomaksiller suturun orta ve inferior kısımlarında yoğunlaşmıştır. Zigomatikotemporal bölgedeki değerlerin düşük olması, bu alanın kuvvet aktarımında daha pasif bir rol üstlendiğini göstermektedir.



Şekil 4.17 CM3 simülasyonunda kraniofasial suturlarda X ekseninde oluşan yer
değişirme miktarı

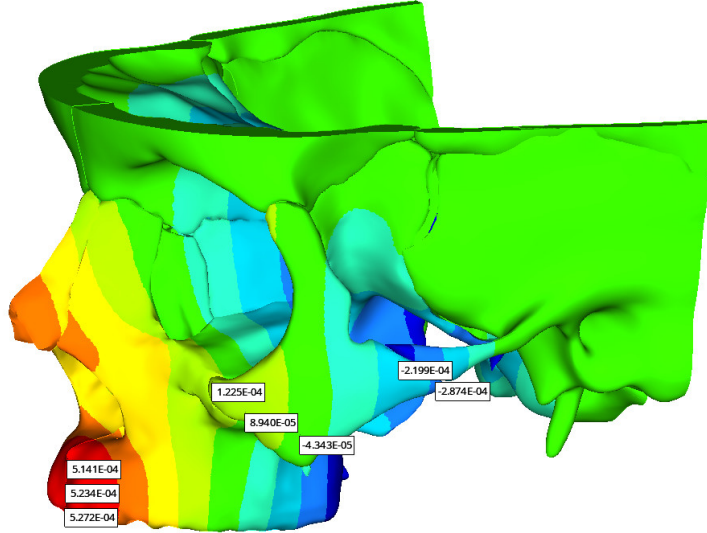


Şekil 4.18 CM3 simülasyonunda kraniofasial suturlarda Y ekseninde oluşan yer
değişirme miktarı

Contour Plot
Displacement(Z)
Global System

5.000E-04
3.889E-04
2.778E-04
1.667E-04
5.556E-05
-5.556E-05
-1.667E-04
-2.778E-04
-3.889E-04
-5.000E-04

■ No Result

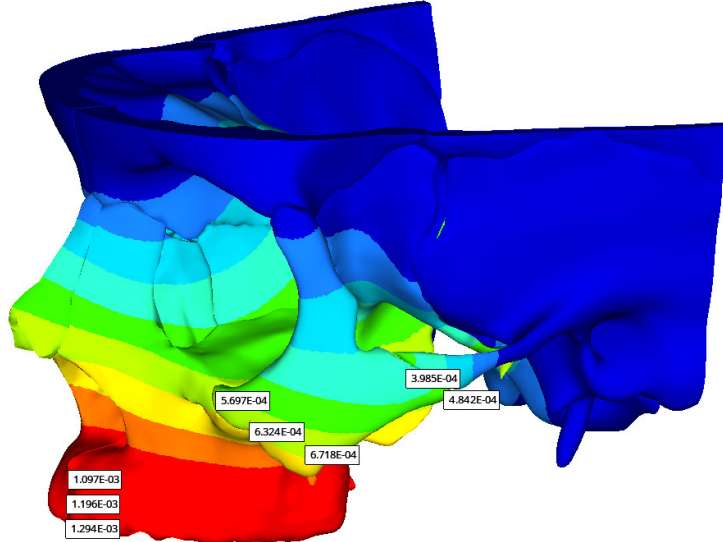


Şekil 4.19 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı

Contour Plot
Displacement(Mag)
Global System

1.000E-03
8.889E-04
7.778E-04
6.667E-04
5.556E-04
4.444E-04
3.333E-04
2.222E-04
1.111E-04
0.000E+00

■ No Result



Şekil 4.20 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.5 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitude yer değiştirme miktarları

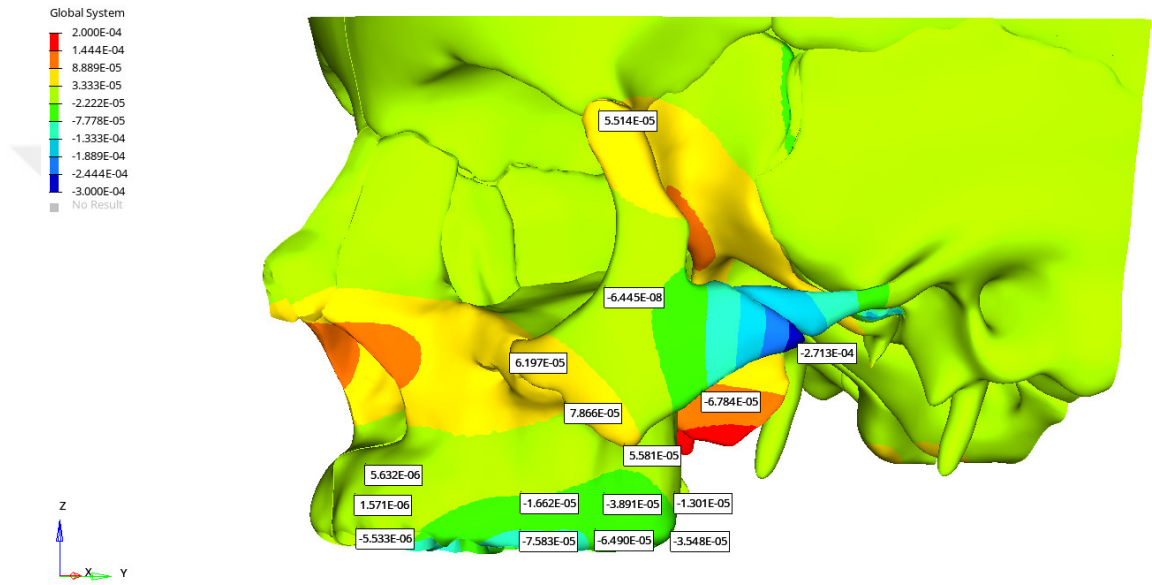
Anatomik Bölge	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
İntermaksiller sutur (superior)	1.08E-07	-9.69E-04	5.14E-04	1.09E-03
İntermaksiller sutur (mid)	1.17E-07	-1.07E-03	5.23E-04	1.19E-03
İntermaksiller sutur (inferior)	-6.23E-07	-1.18E-03	5.27E-04	1.29E-03
Zigomatikomaksiller sutur (superior)	4.84E-05	-5.54E-04	1.22E-04	5.69E-04
Zigomatikomaksiller sutur (mid)	6.06E-05	-6.23E-04	8.94E-05	6.32E-04
Zigomatikomaksiller sutur (inferior)	2.02E-05	-6.70E-04	-4.34E-05	6.71E-04
Zigomatikotemporal sutur (superior)	-1.60E-04	-2.91E-04	-2.19E-04	3.98E-04
Zigomatikotemporal sutur (inferior)	-2.60E-04	-2.89E-04	-2.87E-04	4.84E-04

CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan bileşke (magnitude) yer değiştirme değerlerinin, kuvvetlerin maksillofasiyal kompleks üzerindeki dağılımını belirgin biçimde yansıttığı görülmektedir. En yüksek yer değiştirme değerleri intermaksiller sutur boyunca kaydedilmiştir. Bu bölgede yer değiştirme, superior segmentten inferior segmente doğru kademeli olarak artış göstermekte, en yüksek bileşke yer değiştirme intermaksiller suturun inferior bölümünde izlenmektedir.

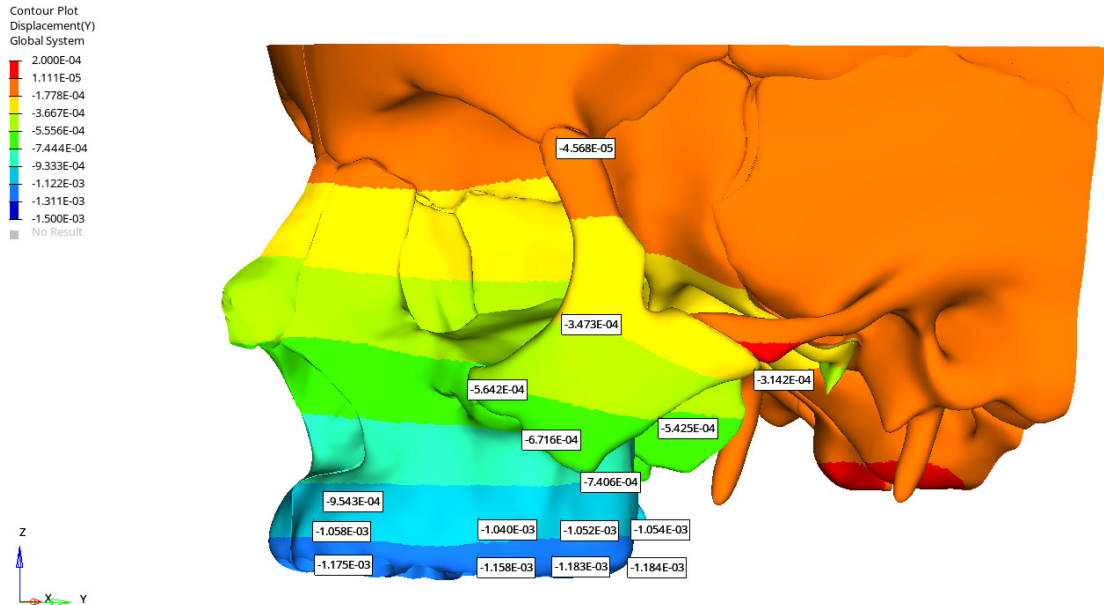
Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 aparatının oluşturduğu kuvvetlerin kraniofasiyal kompleks içinde ön–alt bölgelerde (intermaksiller ve zigomatikomaksiller suturlar) yoğunlaştığı, posterior üst bölgelerde (zigomatikotemporal sutur) ise etkisinin azaldığı görülmektedir.

4.1.6 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Yapılar ve Mandibuler Kemik Üzerindeki Yer Değiştirme Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal yapılar ve mandibuler kemik üzerindeki X, Y ve Z eksenlerinde oluşan hareketler ve magnitude (mag) yer değiştirmeler Şekil 4.21, Şekil 4.22, 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de gösterilmiştir.



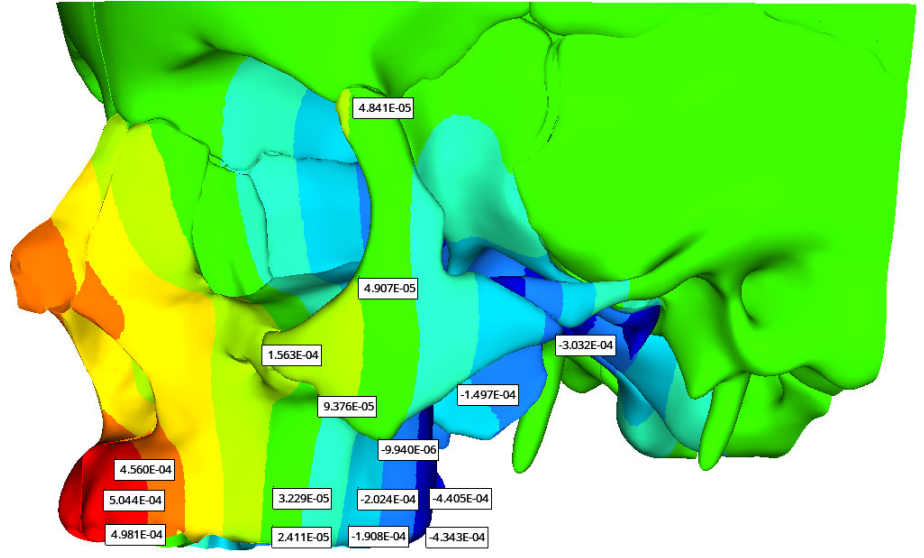
Şekil 4.21 CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.22 CM3 Simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı

Contour Plot
Displacement(Z)
Global System

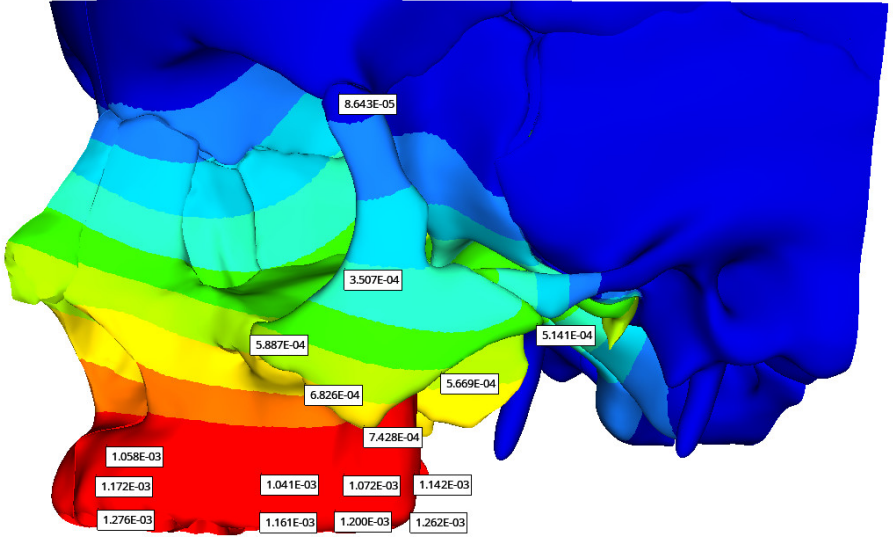
5.000E-04
3.889E-04
2.778E-04
1.667E-04
5.556E-05
-5.556E-05
-1.667E-04
-2.778E-04
-3.889E-04
-5.000E-04
No Result



Şekil 4.23 CM3 Simülasyonunda kraniofasial yapılarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı

Contour Plot
Displacement(Mag)
Global System

1.000E-03
8.889E-04
7.778E-04
6.667E-04
5.556E-04
4.444E-04
3.333E-04
2.222E-04
1.111E-04
0.000E+00
No Result



Şekil 4.24 CM3 Simülasyonunda kraniofasial yapılarda oluşan magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.6 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda kraniyofasiyal yapılarda meydana gelen yer değiştirmelerin, kuvvetin yönü ve uygulama noktasına bağlı olarak farklı segmentlerde değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

Maksiller kemik düzeyinde en belirgin hareketin Y ekseninde (mesiodistal yönde) mezial yönlü olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Prosthion, alveoler proçes (posterior) ve PNS bölgelerinde yüksek mezial yer değiştirmeler gözlenmiştir. Maksillanın ön segmentinde (ANS, A noktası, Prosthion) Y eksenindeki bu hareketin daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Kuvvetler anterior bölgede yoğunlaşmıştır.

X eksenini (bukkopalatinal yön) incelendiğinde, genel olarak posterior bölgelerde (alveoler proçes posterior ve zigomatik proçes) palatinal yönlü (negatif X) hareketlerin, anterior bölgelerde ise bukkal yönlü (pozitif X) küçük yer değiştirmelerin meydana geldiği görülmektedir.

Z eksenini (oklüzogingival yön) değerlendirildiğinde, anterior bölgelerde (ANS, A noktası, Prosthion) yukarı yönlü (pozitif Z) hareketler belirgindir. Buna karşın posterior bölgelerde (tüber, alveoler proçes posterior, PNS) negatif değerlerle temsil edilen aşağı yönlü hareket eğilimleri görülmektedir. Bu bulgu, CM3 aparatının maksillayı posterior rotasyona zorladığını göstermektedir.

Zigomatik kemik düzeyinde ise maksiller proçes bölgelerinde mezial yönlü (negatif Y) ve hafif bukkal yönlü (pozitif X) hareketler gözlenmiştir. Bu durum, zigomatik kemik ile maksilla arasındaki bağlantının kuvvet iletiminde aktif rol oynadığını ve zigomatik kompleksin CM3 kuvvetlerine karşı öne ve dışa yönelimli bir tepki verdiğini göstermektedir. Buna karşın temporal proçeste tüm eksenlerde mezial ve palatinal yönlü yer değiştirmeler belirgindir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 aparatının maksiller kemik üzerinde oluşturduğu kuvvet paterninin ön bölgede intrüzyon ve mezial hareket, arka bölgede ekstrüzyon ve palatinal hareket yönünde olduğu; buna paralel olarak zigomatik kompleksin ön-alt bölümlerinde daha aktif yer değiştirme, posterior bölgelerde ise sınırlı tepki sergilediği görülmektedir.

Tablo 4.6 CM3 Simülasyonunda kraniyofasiyal yapılarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde yer değiştirme miktarları

Anatomik bölge		Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Maksiller kemik	ANS	5,63E-06	-9,54E-04	4,56E-04	1,05E-03
	A noktası	1,57E-06	-1,05E-03	5,04E-04	1,17E-03
	Prosthion	-5,53E-06	-1,17E-03	4,98E-04	1,27E-03
	Tüber	5,58E-05	-1,05E-03	-4,34E-04	1,26E-03
	Zigomatik proçes	-3,89E-05	-7,40E-04	-9,94E-06	7,42E-04
	Alveoler proçes (premolar bölge)	-7,58E-05	-1,15E-03	2,41E-05	1,16E-03
	Alveoler proçes (posterior)	-6,49E-05	-1,18E-03	-1,90E-04	1,20E-03
	PNS	-1,14E-03	-1,05E-03	-4,40E-04	1,14E-03
Zigomatik kemik	Frontal proçes	5,51E-05	-4,56E-05	4,84E-05	8,64E-05
	Maksiller proçes (süperior)	6,19E-05	-5,64E-04	1,56E-04	5,88E-04
	Maksiller proçes (inferior)	7,86E-05	-6,71E-04	9,37E-05	6,82E-04
	Temporal proçes	-2,71E-04	-3,14E-04	-3,03E-04	5,14E-04

CM3 simülasyonunda kraniyofasiyal yapılarda oluşan bileşke (magnitüde) yer değiştirme değerlerinin dağılımı, apareyin kuvvet iletim paternini ve maksillofasiyal kompleks üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Maksiller kemik düzeyinde en yüksek bileşke yer değiştirme Prosthion ve Tüber bölgelerinde gözlenmiştir. Bu iki anatomik nokta, CM3 apareyinin kuvvet hattına yakın konumlanmaları nedeniyle, kuvvetin en yoğun şekilde iletildiği alanları temsil etmektedir.

A noktası, alveoler proçes ve PNS bölgelerinde elde edilen bileşke yer değiştirmeler birbirine oldukça yakın olup, bu durum kuvvetin maksiller kemik boyunca homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Alveoler proçesin hem premolar hem posterior bölgesinde benzer düzeyde hareket tespit edilmesi, maksiller alveolün kuvvet aktarımına aktif şekilde katıldığını ve özellikle diş destekli kuvvet uygulamalarında alveoler kemiğin dinamik yanıt verdiğini göstermektedir.

Zigomatik proçes bölgesinde ölçülen bileşke yer değıştirme, maksiller kemik noktalarına kıyasla daha düşük olmakla birlikte anlamlı düzeydedir.

Zigomatik kemik bölgeleri incelendiğinde, en yüksek bileşke yer değıştirme maksiller proçesin inferior segmentinde, en düşük değeri ise frontal proçeste kaydedilmiştir. Bu durum, kuvvetin zigomatik kompleks boyunca alt bölgelere daha etkili şekilde iletildiğini, superior segmentlerde ise kuvvetin sönümlendiğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 apareyi maksiller kemikte anterior-posterior doğrultuda dengeli bir yer değıştirme paterni oluştururken, zigomatik kemiklerde kuvvetin alt segmentlerde daha belirgin, üst segmentlerde ise azalan bir etki gösterdiği saptanmıştır. Bu sonuçlar, CM3 apareyinin kuvvet hattının öncelikle maksiller alveoler ve tüber bölgesine yönlendiğini, bu kuvvetlerin ise zigomatik kompleksin inferior kısmına kademeli olarak aktarıldığını göstermektedir.

Tablo 4.7 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda mandibulada yer değıştirmelerin ağırlıklı olarak Y (mesiodistal) ekseninde ve anterior bölge lehine yoğunlaştığı görülür.

En yüksek distal yer değıştirme anterior alveoler proçeste saptanmış; bunu mental tüberkül ve protuberentia mentalis izlemiştir. Simfiz ve mental foramen bölgelerinde distal hareket daha sınırlıyken, basis mandibula neredeyse durağan kalmıştır.

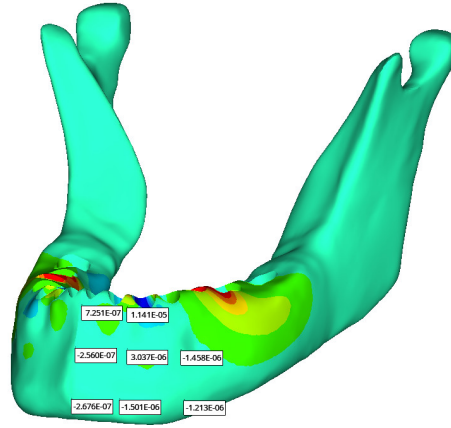
Z (oklüzogingival) eksenini açısından, en belirgin +Z boyunca hareket yine anterior alveoler proçeste gözlenmiştir; ardından simfiz ve protuberentia mentalis gelmektedir. Mental foramen ve mental tüberkül düzeylerinde daha düşüktür; basis mandibula ise vertikal yönde en düşük değeri vermiştir.

X (bukkolingual) eksenini yer değıştirmeleri tüm bölgelerde çok küçük ve çoğunlukla ihmal edilebilir düzeydedir. Anterior alveoler proçeste hafif bukkal sapma (+X) izlenirken, mental bölgelerdeki değeri sıfıra yakın (ve kısmen -X) olup lingual yönde minimal eğilim göstermektedir.

Özetle, CM3 simülasyonunda mandibular yer değıştirme paterni, ön alveoler kompleksin posteriora ve hafif insizale doğru taşındığı; bazal mandibulanın ise (özellikle basis) stabil kaldığı bir biyomekanik yanıt göstermektedir.

Contour Plot
Displacement(X)
Global System

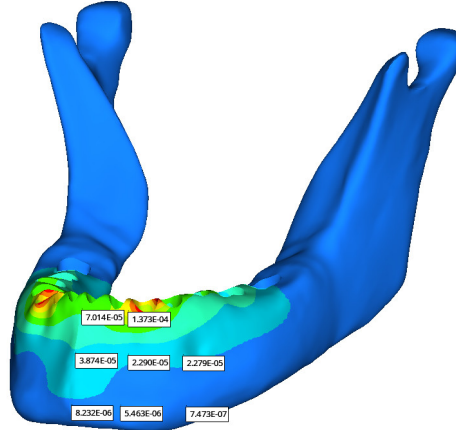
6.000E-05
4.889E-05
3.778E-05
2.667E-05
1.556E-05
4.444E-06
-6.667E-06
-1.778E-05
-2.889E-05
-4.000E-05
No Result



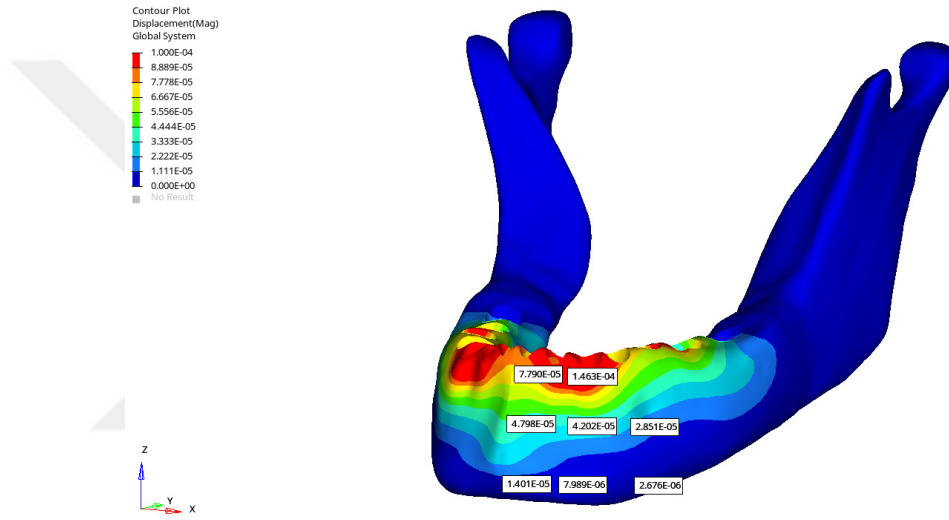
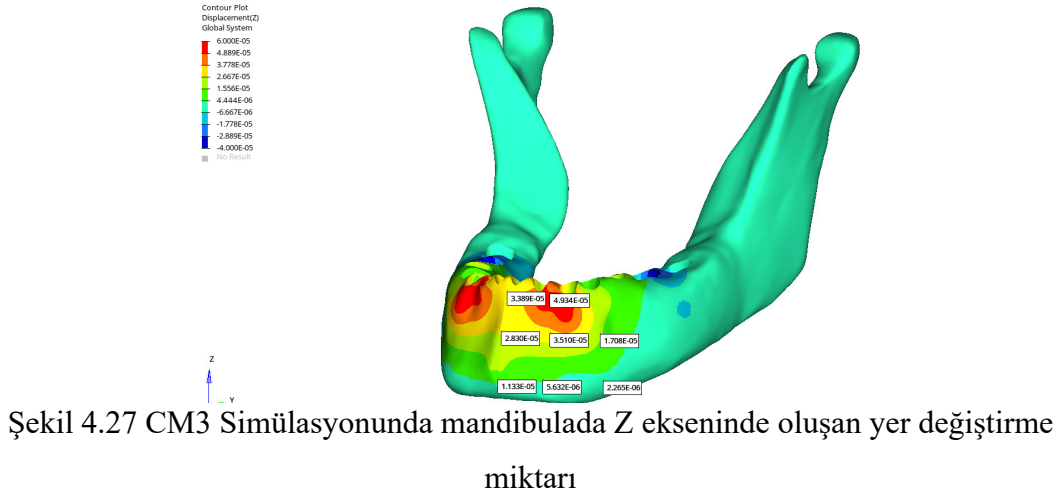
Şekil 4.25 CM3 Simülasyonunda mandibulada X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı

Contour Plot
Displacement(Y)
Global System

2.000E-04
1.733E-04
1.467E-04
1.200E-04
9.333E-05
6.667E-05
4.000E-05
1.333E-05
-1.333E-05
-4.000E-05
No Result



Şekil 4.26 CM3 Simülasyonunda mandibulada Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Tablo 4.7 CM3 Simülasyonunda mandibulada X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitude yer değiştirme miktarları

	Anatomik landmark	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Mandibula	Alveoler proçes (anterior)	1,14E-05	1,37E-04	4,93E-05	1,46E-04
	Simfiz	3,03E-06	2,29E-05	3,51E-05	4,20E-05
	Protuberentia Mentalis	-2,56E-07	3,87E-05	2,83E-05	4,79E-05
	Mental tuberkül	-2,67E-07	8,23E-05	1,13E-05	1,40E-05
	Mental foramen	-1,45E-06	2,27E-05	1,70E-05	2,85E-05
	Basis mandibula	-1,21E-06	7,47E-07	2,26E-06	2,67E-06

Tablo 4.7 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda mandibula üzerinde meydana gelen magnitüde yer değiştirme değerlerinin, kuvvetin öncelikli olarak mandibular ön segmentte yoğunlaştığı görülmektedir.

En yüksek bileşke yer değiştirme, belirgin farkla anterior alveoler proçes bölgesinde kaydedilmiştir. Bu bulgu, CM3 aparatının uyguladığı kuvvet hattının mandibular ön segmentte etkili olduğunu ve özellikle dişsel düzeyde distal yönlü bir hareket eğilimi oluşturduğunu göstermektedir.

Simfiz ve protuberentia mentalis bölgelerinde ölçülen yer değiştirmeler birbirine yakın ve orta düzeydedir.

Mental tüberkül ve mental foramen bölgelerinde tespit edilen bileşke yer değiştirmeler, anterior alveoler kompleks ve simfize göre oldukça düşüktür.

Basis mandibula ise tüm anatomik noktalar arasında en düşük yer değiştirme değerine sahip olup, mandibulanın bazal kısmının stabil ve rijit bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

4.1.7 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Yer Değiştirme Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal suturlarda X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve magnitüde (mag) yer değiştirme Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

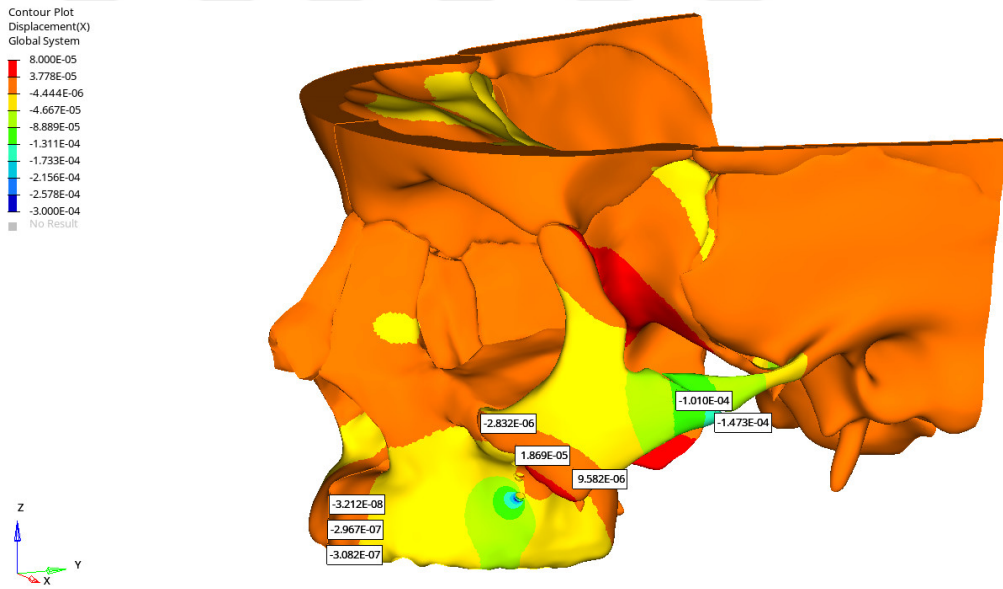
Tablo 4.8 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturların üç eksendeki yer değiştirme değerleri, kuvvetin maksiller kompleks boyunca daha homojen ve kontrollü bir biçimde dağıldığını göstermektedir.

İntermaksiller sutur boyunca (superior, mid ve inferior segmentler) hareketin en belirgin eksen Y (mesiodistal) yönüdür. Tüm segmentlerde değerlerin negatif yönde olması, kuvvetin distalden mezial yöne, yani maksiller kompleksin anteriora doğru translasyonel hareketine işaret etmektedir. Ayrıca, Z ekseninde tüm segmentlerde pozitif yönde yer değiştirme tespit edilmiştir. Üç segment arasındaki değerlerin birbirine çok yakın olması, kuvvetin sutur boyunca homojen bir dağılım gösterdiğini ve BAMP uygulamasının maksiller stabiliteyi koruyarak hareket sağladığını göstermektedir.

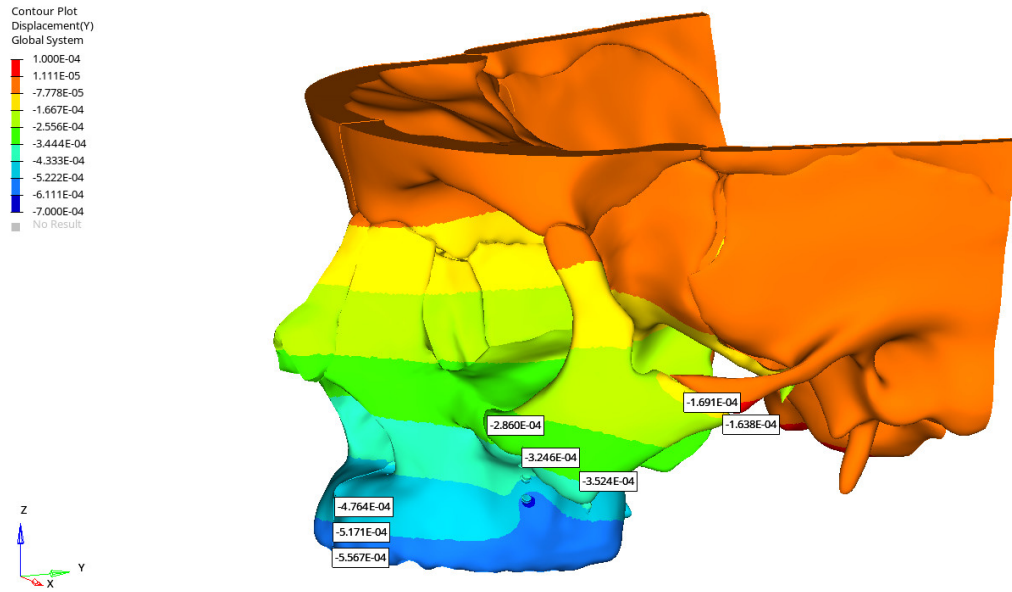
Zigomatikomaksiller sutur incelendiğinde, tüm segmentlerde Y ekseninde negatif (mezial yönlü) yer değiştirme gözlenmiştir; bu durum, kuvvetin zigomatik

bölgede de anteriora doğru bir deplasman göstermektedir. Ancak X (bukkopalatinal) ekseninde küçük değerlerin hem pozitif hem negatif yönde değişmesi, bu bölgede çok sınırlı transversal (bukkal-palatal) hareket meydana geldiğini gösterir.

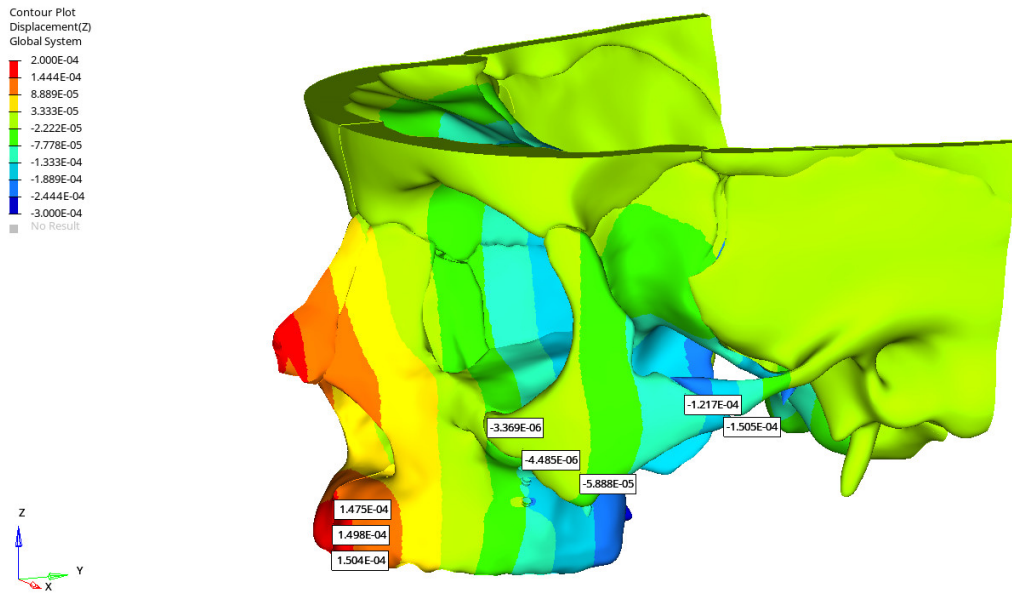
Zigomatikotemporal sutur segmentlerinde (superior ve inferior), tüm eksenlerdeki değerlerin nispeten yüksek olması dikkat çekicidir. X ekseninde negatif yönlü hareketler, bu suturun palatinal yönde deplase olduğunu gösterirken; Y ekseninde gözlenen negatif değerler, kuvvetin burada da anteriora doğru iletildiğini doğrulamaktadır. Z ekseninde ise belirgin negatif değerler, vertikal değerlerin artış eğiliminin en fazla zigomatikotemporal hattın alt segmentinde oluştuğunu göstermektedir. Bu, BAMP uygulamasının maksillayı öne doğru taşıırken aynı zamanda zigomatik kompleksin alt kısmında aşağı yönlü bir bileşen oluşturduğunu göstermektedir.



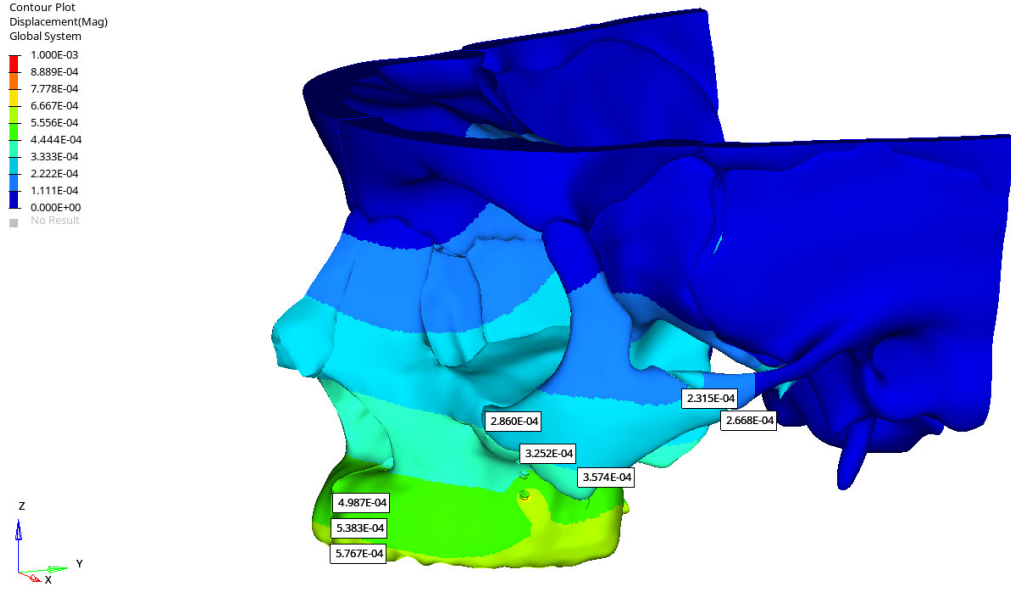
Şekil 4.29 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.30 BAMP Simülasyonunda Kraniofasial Suturlarda Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.31 BAMP Simülasyonunda Kraniofasial Suturlarda Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.32 BAMP Simülasyonunda Kraniofasial Suturlarda oluşan magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.8 BAMP Simülasyonunda kraniofasial suturlarda magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerindeki hareketler ve yer değiştirme miktarları

Anatomik Bölge	Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitüde
İntermaksiller sutur (superior)	-3,21E-08	-4,76E-04	1,47E-04	4,98E-04
İntermaksiller sutur (mid)	-2,96E-07	-5,17E-04	1,49E-04	5,38E-04
İntermaksiller sutur (inferior)	-3,08E-07	-5,56E-04	1,50E-04	5,76E-04
Zigomatikomaksiller sutur (superior)	-2,83E-06	-2,86E-04	-3,36E-06	2,86E-04
Zigomatikomaksiller sutur (mid)	1,86E-05	-3,24E-04	-4,48E-06	3,25E-04
Zigomatikomaksiller sutur (inferior)	9,58E-06	-3,52E-04	-5,88E-05	3,57E-04
Zigomatikotemporal sutur (superior)	-1,01E-04	-2,91E-04	-1,21E-04	2,31E-04
Zigomatikotemporal sutur (inferior)	-1,47E-04	-2,89E-04	-1,50E-04	2,66E-04

Tablo 4.8 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda kraniofasial suturların bileşke (magnitüde) yer değiştirme değerleri, kuvvetin maksiller kompleks boyunca öncelikli olarak intermaksiller sutur hattında yoğunlaştığını göstermektedir.

En yüksek bileşke yer değıştirme değeri, intermaksiller suturun inferior segmentinde gözlenmiştir. Orta (mid) ve üst (superior) segmentlerde ise benzer ancak azalan değerlerin kaydedilmesi, BAMP sisteminde sutur boyunca kuvvetin homojen fakat dereceli biçimde iletildiğini göstermektedir.

Zigomatikomaksiller sutur segmentleri incelendiğinde, tüm bölgelerde intermaksiller hatta kıyasla daha düşük bileşke yer değıştirme değeri görülmektedir.

Zigomatikotemporal sutur (superior) bölgesinde elde edilen bileşke yer değıştirme değeri, tüm suturlar arasında en düşük düzeyde kalmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, BAMP uygulamasında en belirgin yer değıştirme intermaksiller sutur hattında, özellikle inferior segmentte meydana gelmiştir. Zigomatikomaksiller suturda daha düşük ancak dengeli bir hareket paterni gözlenirken, zigomatikotemporal bölgede minimal bir yer değıştirme saptanmıştır. Bu sonuçlar, kemik destekli maksiller protraksiyonun kuvveti öncelikli olarak maksillanın ön ve alt bölgelerine yönlendirdiğini, buna karşın lateral ve posterior bağlantılarda daha kontrollü bir biyomekanik yanıt oluşturduğunu göstermektedir.

4.1.8 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Yapılar ve Mandibuler Kemik Üzerindeki Yer Değıştirme Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal yapılar ve mandibuler kemik üzerindeki X, Y ve Z eksenlerinde oluşan hareketler ve magnitude (mag) yer değıştirmeler Şekil 4.33, Şekil 4.34, 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda kraniofasiyal yapıların üç eksenindeki yer değıştirme değeri, maksiller kompleksin kuvvete karşı öncelikli olarak anterior ve süperior yönlü bir translasyon sergilediğini göstermektedir.

Maksiller kemik düzeyinde, özellikle Y ekseninde (mesiodistal yönde) tüm anatomik noktaların negatif değerler göstermesi, kuvvetin distalden mezial yöne, yani maksillanın anteriore (öne) doğru hareket ettiğini ortaya koymaktadır.

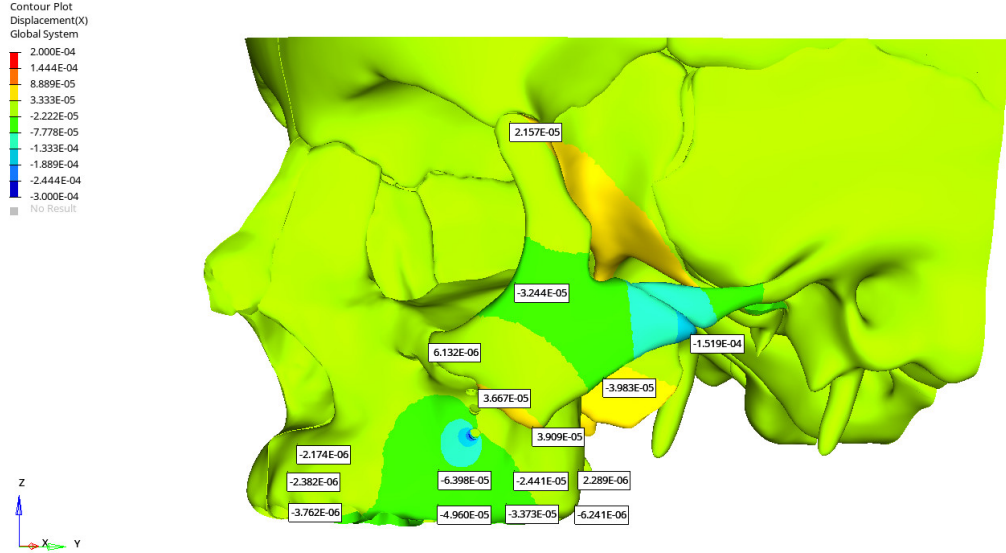
Z ekseninde (oklüzogingival yönde) ANS, A noktası ve Prosthion bölgelerinde pozitif değerlerin bulunması, bu bölgelerde hafif saat yönünün tersine hareket eğilimi olduğunu göstermektedir. Buna karşın tüber, alveoler proçes

(özellikle posterior) ve PNS bölgelerinde negatif Z değerleri görülmektedir; bu durum, maksiller arka segmentin kuvvet hattının posterior bölgede aşağı yönlü bileşen içerdiğini göstermektedir.

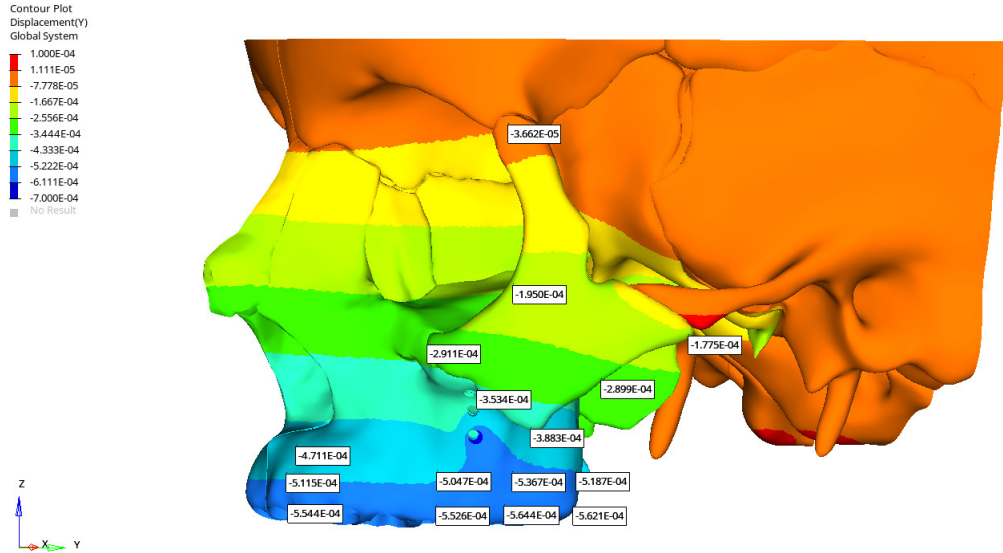
X ekseninde (bukkopalatinal yönde) ise anterior segmentlerde (ANS, A noktası, Prosthion) minimal negatif değerler gözlenmiş, bu da hafif palatinal yönde içe eğilimi göstermektedir. Buna karşın tüberde pozitif X değeri bulunması, posterior maksillanın bukkal yönde dışa doğru hareket ettiğini, yani maksiller kompleksin genelinde hafif bir rotasyonel patern geliştiğini göstermektedir.

Zigomatik kemik düzeyinde yer değiştirmeler daha sınırlı olmakla birlikte, yönelimin maksiller segmentlerle benzer bir doğrultuda olduğu görülmektedir. Frontal proçeste pozitif X ve Z değerleri, bu bölgenin bukkal ve hafif yukarı yönde hareket ettiğini; Y ekseninde negatif değer ise anterior yönlü translasyonu göstermektedir. Ancak Z ekseninde değerlerin çok düşük olması, bu bölgelerde vertikal hareketin minimal olduğunu göstermektedir. Temporal proçesin tüm eksenlerde negatif değerler göstermesi, zigomatik kemikle temporal kemiğin birleştiği hattın posterior ve inferiora doğru çok sınırlı bir deplasman sergilediğini, bu bölgenin yüksek rijitlik göstererek maksiller hareketi dengelediğini göstermektedir.

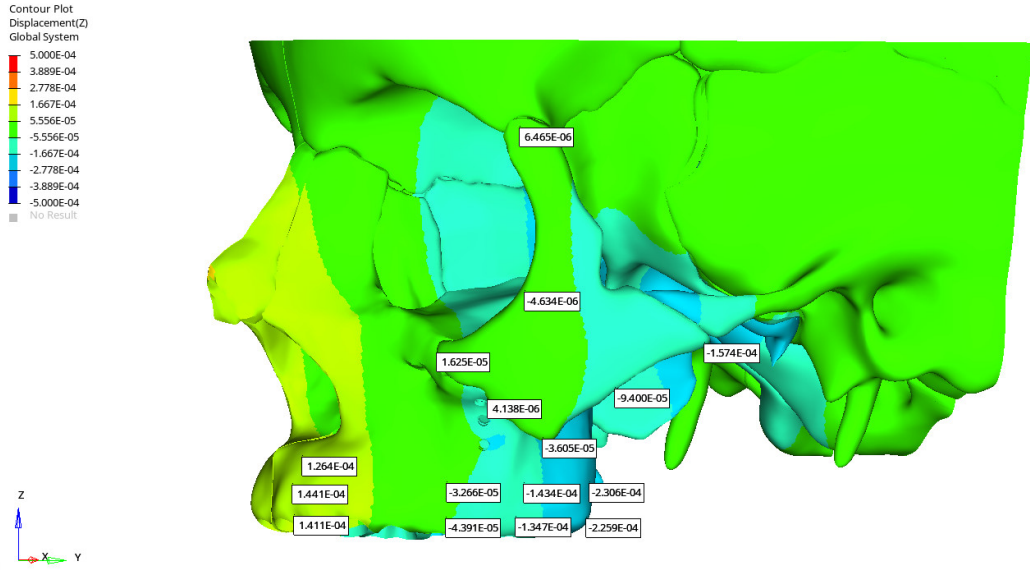
Genel olarak değerlendirildiğinde, BAMP simülasyonunda maksiller kompleksin anteroinferior bölümleri (A noktası, Prosthion, alveoler proçes) belirgin yer değiştirme gösterirken, zigomatik kompleks daha sınırlı bir hareket sergilemiştir.



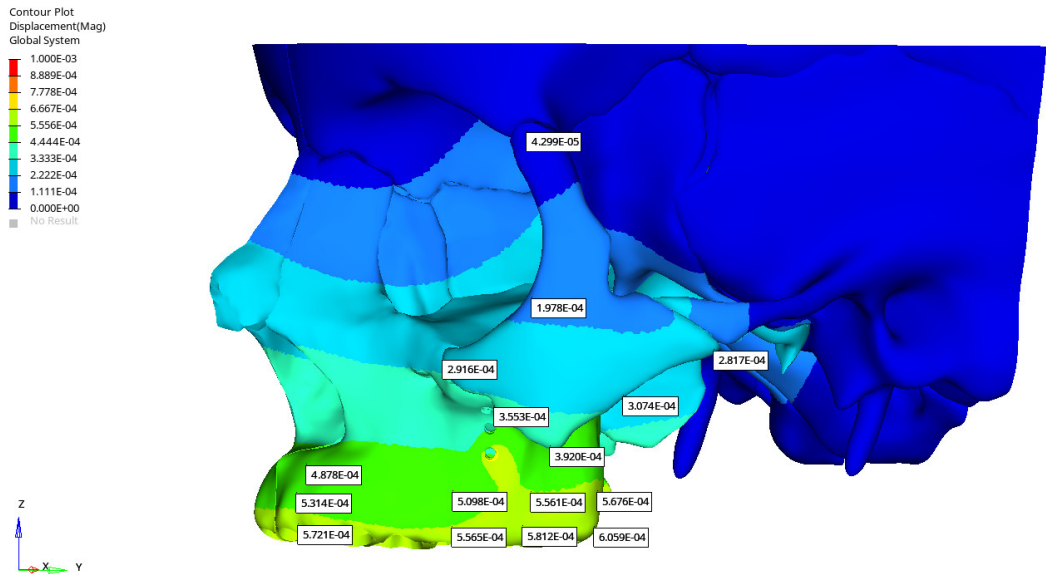
Şekil 4.33 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.34 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.35 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.36 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde oluşan magnitude (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.9 BAMP Simülasyonunda kraniofasiyal yapılar üzerinde magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerinde oluşan yer değiştirme miktarı

Anatomik bölge		Yer Değiştirme miktarı (X)	Yer Değiştirme miktarı (Y)	Yer Değiştirme miktarı (Z)	Yer Değiştirme Magnitude
Maksiller kemik	ANS	-2,17E-06	-4,71E-04	1,26E-04	4,87E-04
	A noktası	-2,38E-06	-5,11E-04	1,44E-04	5,31E-04
	Prosthion	-3,76E-06	-5,54E-04	1,41E-04	5,72E-04
	Tüber	3,90E-05	-5,62E-04	-2,30E-04	6,05E-04
	Zigomatik proçes	-2,44E-05	-3,88E-04	-3,60E-05	3,92E-04
	Alveoler proçes (premolar bölge)	-4,96E-05	-5,52E-04	-4,39E-05	5,56E-04
	Alveoler proçes (posterior)	-3,37E-05	-5,64E-04	-1,34E-04	5,81E-04
	PNS	-1,30E-05	-5,62E-04	-2,25E-04	5,67E-04
Zigomatik kemik	Frontal proçes	2,15E-05	-3,66E-05	6,46E-06	4,29E-05
	Maksiller proçes (süperior)	6,13E-06	-2,91E-04	1,62E-05	2,91E-04
	Maksiller proçes (inferior)	3,66E-05	-3,53E-04	4,13E-06	3,55E-04
	Temporal proçes	-1,51E-04	-1,77E-04	-1,57E-04	2,81E-04

BAMP simülasyonunda kraniofasiyal yapıların magnitüde yer değiştirme değerleri, uygulanan kuvvetlerin maksiller kompleks üzerinde genel bir anterosuperior yönelimli translasyon oluşturduğunu göstermektedir.

Maksiller kemik bölgesinde en yüksek bileşke yer değiştirme değeri tüber bölgesinde görülmüştür. Bu bulgu, uygulanan kuvvetin maksillanın posterior bölgesine de etkin biçimde iletildiğini ve BAMP sisteminin yalnızca anterior bölgeyi değil, tüm maksiller yapıyı bir bütün olarak etkilediğini ortaya koymaktadır.

Tüber'i takiben en yüksek değerler alveoler proçes (posterior), Prosthion ve PNS bölgelerinde kaydedilmiştir. ANS ve A noktası bölgelerinde ise bileşke yer değiştirme değerlerinin nispeten daha düşük olması, maksillanın anterior-superior kısmında hareketin sınırlı kaldığını ve bu alanın stabilizasyon merkezi gibi davrandığını göstermektedir.

Zigomatik proçes, maksiller kemik içinde diğler anatomik bölgelere kıyasla daha düşük bir yer değıştirme sergilemiştir. Benzer şekilde, zigomatik kemik üzerinde de hareket miktarları maksillaya göre belirgin şekilde düşüktür. Zigomatik kemik bölgeleri arasında maksiller proçes (inferior) en yüksek bileşke yer değıştirmeyi gösterirken, frontal proçes en düşük değeri sergilemiştir. Bu bulgu, kuvvetin zigomatik kompleks içinde alt bölgelere daha fazla iletildiğini, üst bölgelerin ise stabil bağlantı noktaları olarak davrandığını göstermektedir.

Genel olarak değlerlendirildiğinde, BAMP uygulamasında maksiller kompleksin tamamında anteriora yönelimli bir translasyonel hareket meydana gelirken, zigomatik kemikte hareketin belirgin şekilde azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.10 BAMP simülasyonunda mandibuler kemikte magnitüde ve X, Y ve Z eksenlerinde oluşan yer değıştirme miktarları

	Anatomik Landmark	Yer Değıştirme miktarı (X)	Yer Değıştirme miktarı (Y)	Yer Değıştirme miktarı (Z)	Yer Değıştirme Magnitüde
Mandibula	Alveoler proçes (anterior)	4,94E-06	7,27E-05	2,35E-06	7,29E-05
	Simfiz	8,71E-05	3,17E-04	-3,63E-05	3,31E-04
	Protuberentia Mentalis	-2,55E-07	3,56E-05	2,56E-05	4,39E-05
	Mental tuberkül	-2,50E-07	3,82E-06	5,55E-06	6,74E-06
	Mental foramen	1,58E-05	2,93E-05	2,61E-06	3,34E-05
	Basis mandibula	-3,72E-07	2,52E-07	-3,76E-07	5,86E-07

Tablo 4.10 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda mandibular kemikteki anatomik landmark'ların üç ekseninde (X, Y, Z) gösterdiği yer değıştirme değlerleri, uygulanan maksiller protraksiyon kuvvetlerine mandibulanın ters yönde ve sınırlı düzeyde tepki verdiğini göstermektedir.

Y eksenini (mesiodistal yön) değlerlendirildiğinde, tüm anatomik bölgelerde pozitif değlerler elde edilmiştir. Bu durum, mandibulanın distal (geriye) yönde çok sınırlı bir translasyon hareketi sergilediğini göstermektedir. En yüksek distal yönlü hareketin simfiz bölgesinde gözlenmesi, mandibulanın ön segmentinde kuvvetin etkisinin daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

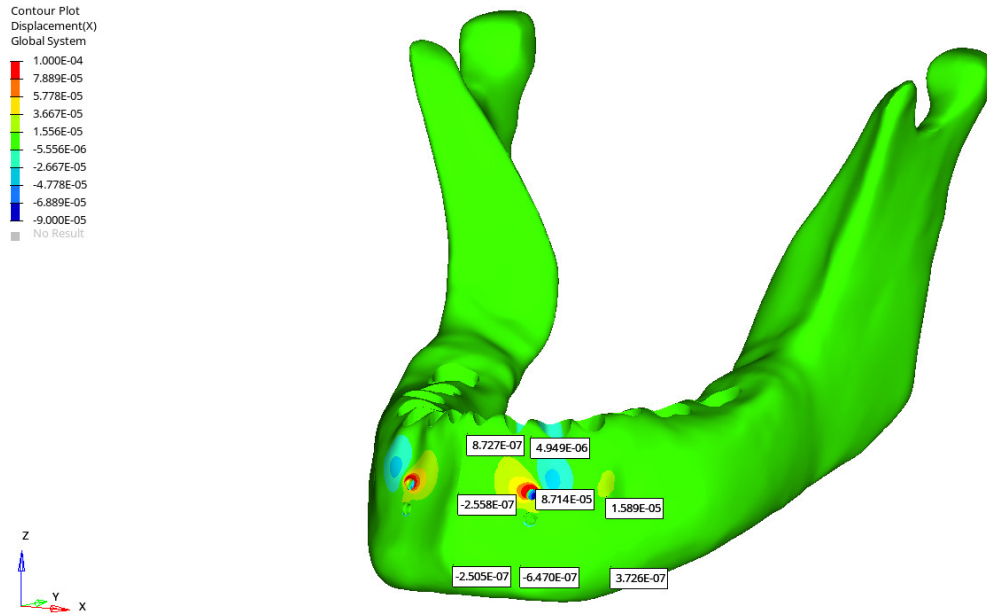
X eksenini (bukko-lingual yön) açısından değlerlendirildiğinde, genel olarak değlerlerin çok düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Bu bulgu, mandibular

yapının transversal yönde stabil kaldığını ve kuvvetin bukkal veya lingual yönlere anlamlı bir bileşen oluşturmadığını göstermektedir.

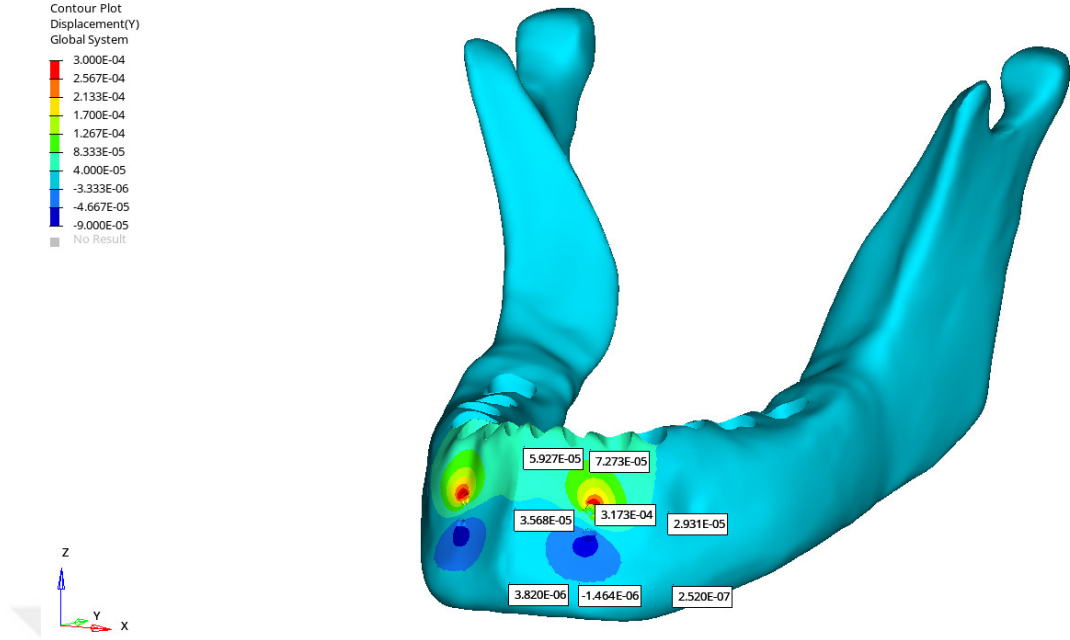
Z eksenini (oklüzogingival yön) incelendiğinde, simfiz bölgesinde negatif bir değer dikkat çekmektedir; bu durum, mandibular ön bölgenin aşağı yönlü (inferior) çok hafif bir deplasman sergilediğini göstermektedir. Buna karşın diğer bölgelerdeki değerlerin düşük ve pozitif olması, mandibular korpusun ve bazal segmentlerin genel olarak vertikal stabilite gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Özellikle mental foramen ve protuberentia mentalis bölgelerinde düşük düzeyli pozitif yer değiştirmeler, kuvvetin bu bölgelerde hafif bir anterior yönelim oluşturduğunu; basis mandibula seviyesinde ise neredeyse sıfıra yakın hareket değerleri, mandibular bazal kemiğin kuvvetlere karşı yüksek direnç gösterdiğini ifade etmektedir.

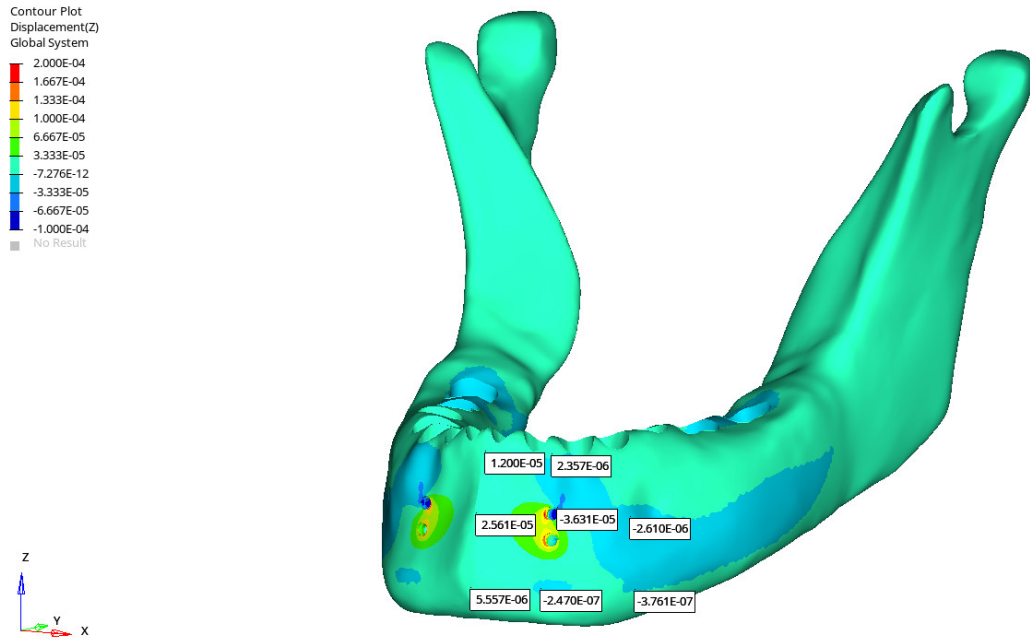
Genel olarak değerlendirildiğinde, BAMP uygulamasında mandibula, maksiller kompleksin anteriora hareketine kompensatuar ve minimal bir hareketle yanıt vermiştir. Bu yanıtın en belirgin olduğu bölge simfiz, en stabil kaldığı bölge ise basis mandibula olmuştur.



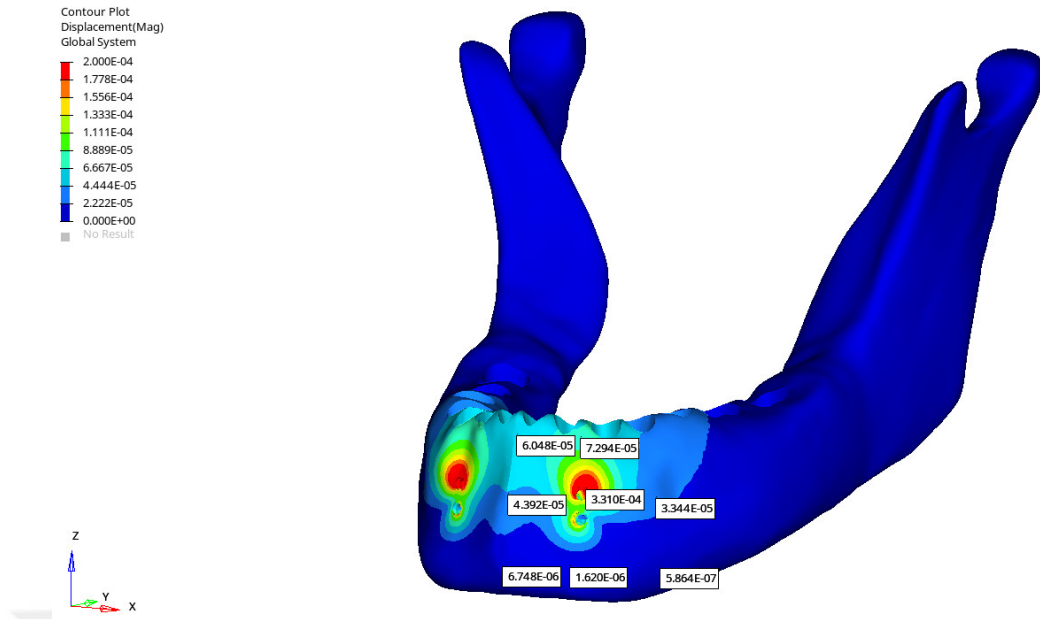
Şekil 4.37 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde X ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.38 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde Y ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.39 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde Z ekseninde oluşan yer değiştirme miktarı



Şekil 4.40 BAMP simülasyonunda mandibula üzerinde oluşan magnitüde (bileşke) yer değiştirme miktarı

Tablo 4.10 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda mandibular kemik üzerindeki bileşke yer değiştirme değerleri, mandibulanın genel olarak sınırlı ve kompensatuar nitelikte bir hareket sergilediğini göstermektedir.

En yüksek yer değiştirme değeri simfiz bölgesinde gözlenmiştir. Simfizi takiben alveoler proçesin anterior kısmı ikinci en yüksek yer değiştirme değerini sergilemiştir.

Protuberentia mentalis ve mental foramen bölgelerinde gözlenen daha düşük yer değiştirme değerleri, kuvvetin bu alanlarda daha sınırlı şekilde iletilildiğini göstermektedir.

Mental tuberkül bölgesinde yer değiştirme miktarı oldukça düşüktür; bu durum, kuvvet hattının bu bölgeyi doğrudan etkilemediğini ve hareketin öncelikli olarak alveoler ve simfiz bölgelerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Basis mandibula bölgesinde ise yer değiştirme değeri neredeyse sıfıra yakın olup, mandibular bazal kemiğin maksiller protraksiyon kuvvetlerine karşı tamamen stabil kaldığı anlaşılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Kemik Destekli BAMP uygulamasında mandibula üzerinde oluşan yer değiştirmeler anterior bölgede sınırlı düzeyde, posterior ve bazal bölgelerde ise minimal düzeydedir.

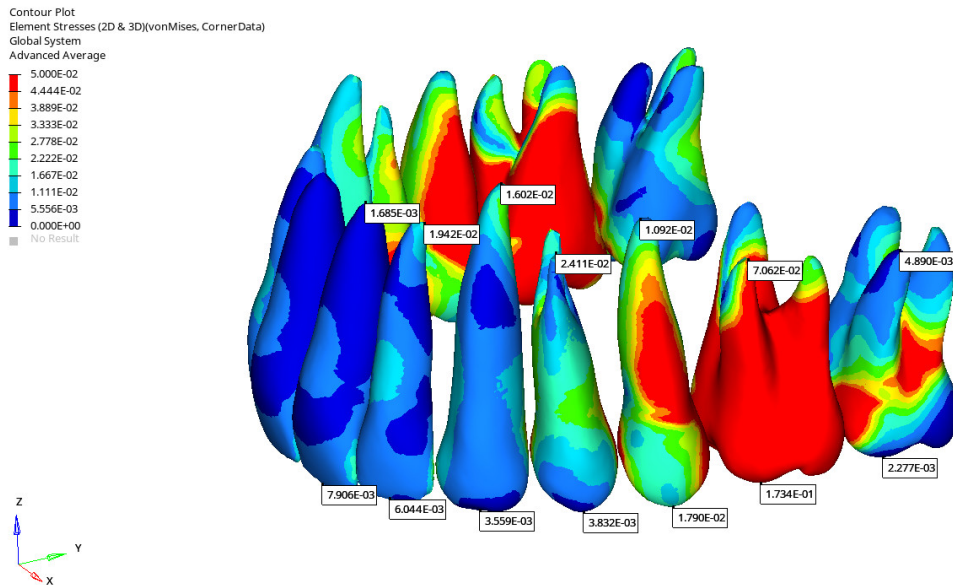
4.2 Von Mises Stres Değeri Bulguları

4.2.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre maksiller dişlerde oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.41 ve Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises stres dağılımlarının hem koronal hem apeks bölgelerinde belirgin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, uygulanan ortopedik kuvvetlerin maksiller dişler üzerinde heterojen bir stres dağılımı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Koronal bölge değerlendirildiğinde, en yüksek Von Mises stres değerinin 1. molar dişte ortaya çıktığı görülmektedir ($1,73\text{E}-01$). Bu bulgu, CM3 apareyinin kuvvet aktarım merkezinin posterior bölgede yoğunlaştığını ve 1. moların primer yük taşıyıcı diş konumunda olduğunu göstermektedir. 1. moları takiben, 2. premolar dişte yüksek düzeyde stres tespit edilmiştir; bu durum, posterior dişlerin kuvvet hattına yakın konumlanması nedeniyle yük iletiminde aktif rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 4.41 CM3 simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises Stres miktarı

Ön bölgeye bakıldığında, santral ve lateral kesici dişler düşük stres değerleri göstermiştir. Bu bulgu, uygulanan kuvvetlerin ön bölgeye daha az iletilindiğini ve ön

segmentte daha çok reaktif (sekonder) stres oluştuğunu göstermektedir. Kanin dişinde de benzer şekilde orta düzey stres saptanmıştır.

Apeks bölgesi incelendiğinde, en yüksek stres değerinin 1. premolar dişte olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, premolar bölgenin kök seviyesinde kuvvetlerin daha doğrudan iletilmesini ve bu dişlerin dentoalveoler gerilmenin odak noktası olduğunu göstermektedir.

Premolarları sırasıyla lateral kesici ve kanin dişler takip etmiştir; bu bölgelerdeki yüksek apeks stresleri, özellikle kök çevresinde periodontal ligamentin mekanik yüklenmeye maruz kaldığını göstermektedir. Posterior dişlerde ise 1. moların yüksek koronal stresine rağmen, apeks bölgesinde daha düşük stres göstermiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 apareyi uygulaması sırasında oluşan Von Mises stres dağılımı posterioara doğru artış göstermektedir. 1. molar ve 2. premolar dişler hem koronal hem kök düzeyinde en fazla stres birikimini göstermiştir. Buna karşın, anterior dişler düşük stres değerleriyle sistemde daha pasif konumda yer almıştır. Bu bulgular, CM3 apareyinin kuvvet etkisinin posterior segment merkezli olduğunu ve stresin anterior bölgelere sekonder olarak iletilmesini ortaya koymaktadır.

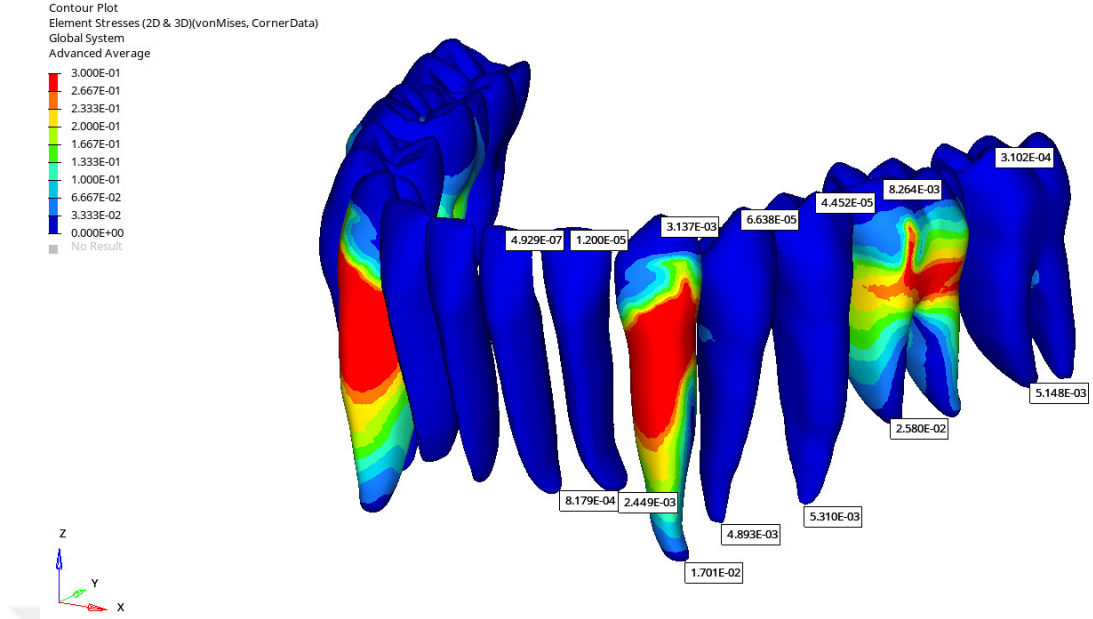
Tablo 4.11 CM3 simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Von Mises Stres değeri (MPa)
Santral kesici	Kesici Kenar	7.90E-03
	Apeks	1.68E-03
Lateral kesici	Kesici Kenar	6.04E-03
	Apeks	1.94E-02
Kanin	Kesici Kenar	3.55E-03
	Apeks	1.60E-02
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	3.83E-03
	Apeks	2.41E-02
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	1.79E-02
	Apeks	1.09E-02
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	1.73E-01
	Apeks	7.06E-02
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	2.27E-03
	Apeks	4.89E-03

4.2.2 CM3 Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre mandibuler dişlerde oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.42 ve Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda mandibuler dişlerde Von Mises gerilmesinin koronal (insizal/oklüzal) düzeyde genel olarak düşük, kök (apeks) düzeyinde ise belirgin şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek apeks gerilmesi 1. molarla saptanmış olup, bu diş mandibuler arkın primer yük taşıyıcısı konumundadır. 1. moları, sırasıyla kanin, 2. premolar ve 1. premolar izlemektedir. Ön grup dişlerde (santral ve lateral kesici) apeks gerilmeleri daha sınırlı kalmış, özellikle santral kesicide değerler oldukça düşüktür.



Şekil 4.42 CM3 simülasyonunda mandibuler dişlerde oluşan Von Mises Stres miktarı

Koronal düzeyde (insizal/oklüzal) ise en yüksek gerilmeler kanin ve 1. molarlarda görülmüş, diğer dişlerde düşük–çok düşük düzeyde seyretmiştir. Bu dağılım, CM3 ile uygulanan kuvvetlerin mandibulada özellikle posterior kök çevresine ve kanin bölgesine yoğunlaştığını; kesicilerde ise hem koronal hem kök seviyesinde minimal gerilme oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 4.12 CM3 simülasyonunda mandibuler dişlerde oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Von Mises Stres değeri (MPa)
Santral kesici	Kesici Kenar	4,92E-07
	Apeks	8,17E-04
Lateral kesici	Kesici Kenar	1,20E-05
	Apeks	2,44E-03
Kanin	Kesici Kenar	3,13E-03
	Apeks	1,70E-02
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	6,63E-05
	Apeks	4,89E-03
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	4,45E-05
	Apeks	5,31E-03
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	6,26E-03
	Apeks	2,58E-02
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	3,10E-04
	Apeks	5,14E-03

4.2.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

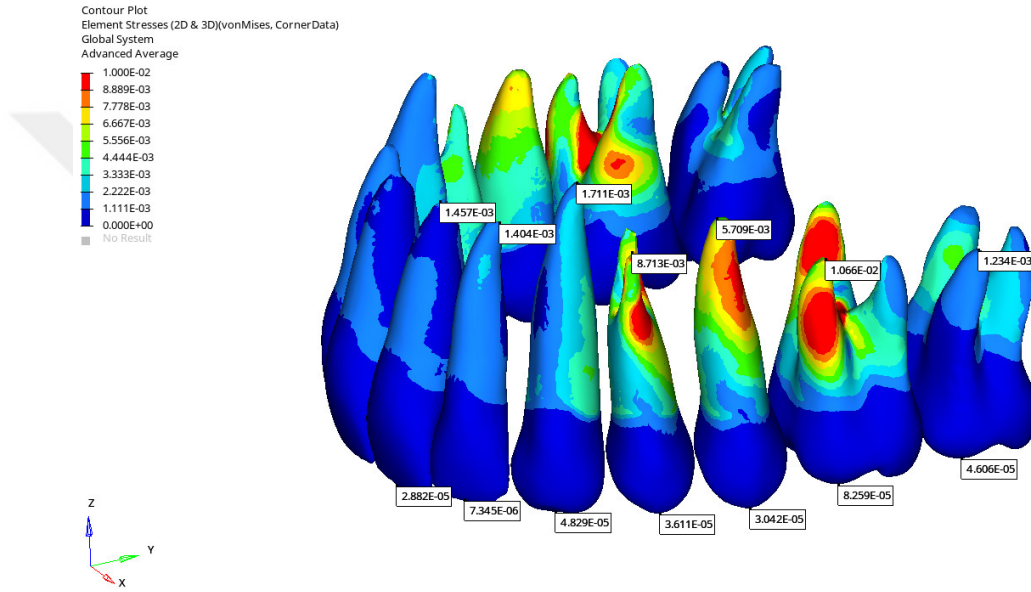
Analiz sonucuna göre maksiller dişlerde oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.43 ve Tablo 4.23'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda maksiller dişlerde oluşan Von Mises stres dağılımının hem koronal hem apeks bölgelerinde önemli farklılıklar sergilediği görülmektedir. Uygulanan ortopedik kuvvetler sonucunda stresin genel olarak posterior dişlerde yoğunlaştığı, anterior dişlerde ise daha homojen ve düşük düzeyde dağıldığı tespit edilmiştir.

Koronal bölge incelendiğinde, en yüksek stresin 1. molarda gözlemlendiği, bunu kanin ve 2. molar dişlerin izlediği belirlenmiştir. Ön grup dişlerde (santral ve lateral kesiciler) stres değerlerinin oldukça düşük bulunması, bu dişlerin kuvvet

hattından uzak olmaları nedeniyle kuvvet aktarımına minimal katkı sağladıklarını göstermektedir.

Apeks bölgesinde ise stres dağılımı daha belirgin bir patern sergilemiştir. En yüksek stres değeri 1. molar, ikinci sırada ise 1. premolar gözlenmiştir. Bu iki bölgedeki artmış apeks stresleri, kuvvetin maksillanın posterior segmentlerinden kemik ve periodontal dokulara etkin şekilde iletildiğini göstermektedir. Bununla birlikte 2. Premolar ve kanin dişlerde de orta düzeyde stres birikimi saptanmıştır. Buna karşın santral ve lateral kesici dişlerin apeks seviyesinde stres değerleri düşük kalmıştır.



Şekil 4.43 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Özetle, BAMP simülasyonunda Von Mises stres dağılımı, maksiller arka posterior ağırlıklı bir kuvvet iletim modeli göstermektedir.

Tablo 4.13 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri tablosu

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Von Mises Stres değeri (MPa)
Santral kesici	Kesici Kenar	2,88E-05
	Apeks	1,45E-03
Lateral kesici	Kesici Kenar	7,34E-06
	Apeks	1,40E-03
Kanin	Kesici Kenar	4,82E-05
	Apeks	1,71E-03
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	3,61E-05
	Apeks	8,71E-03
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	3,04E-05
	Apeks	5,70E-03
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	8,25E-05
	Apeks	1,06E-02
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	4,60E-05
	Apeks	1,23E-03

4.2.4 BAMP Simülasyonunda Mandibular Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

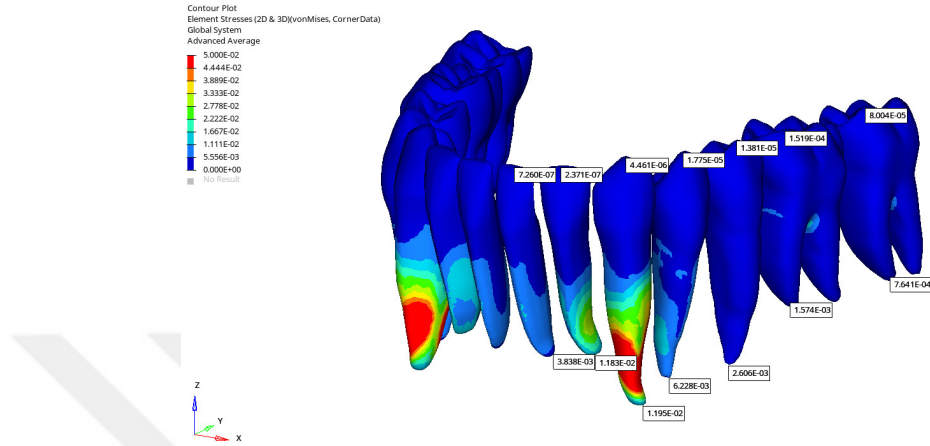
Analiz sonucuna göre mandibuler dişlerde oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.44 ve Tablo 4.14’te gösterilmiştir.

Tablo 4.14 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde oluşan Von Mises stres dağılımının ön segmentte daha yüksek, posteriora doğru azalan bir patern sergilediği görülmektedir.

Koronal bölgede en yüksek stres değeri 1. molarda gözlenmiştir; Ancak genel olarak koronal düzeydeki streslerin düşük seyretmesi, kuvvetlerin dişlerin koronal kısmında değil daha çok kök ve periodontal düzeyde yoğunlaştığını göstermektedir. Kesici dişlerde (özellikle santral ve lateral) insizal stres değerleri oldukça düşüktür.

Apeks bölgesi incelendiğinde ise belirgin bir stres artışı dikkat çekmektedir. En yüksek Von Mises stres değerleri kanin (1,19E-02 MPa) ve lateral kesici

(1,18E-02 MPa) dişlerde tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki yoğun stres birikimi, anterior mandibulanın BAMP kuvvet hattı altında daha fazla gerilime maruz kaldığını göstermektedir. Kanin ve lateral kesiciyi sırasıyla 1. premolar ve 2. premolar dişler takip etmektedir. Posterior bölgeye gidildikçe (özellikle 1. ve 2. molar dişlerde) apeks streslerinin belirgin biçimde azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.44 BAMP Simülasyonunda Mandibuler Dişlerde Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Tablo 4.14 BAMP simülasyonunda mandibular dişlerde oluşan Von Mises Stres değeri tablosu

Dişler	Seçilen Düğüm Noktası	Von Mises Stres değeri (MPa)
Santral kesici	Kesici Kenar	7,25E-07
	Apeks	3,83E-03
Lateral kesici	Kesici Kenar	2,37E-07
	Apeks	1,18E-02
Kanin	Kesici Kenar	4,46E-05
	Apeks	1,19E-02
1.Premolar	Bukkal Tüberkül	1,77E-05
	Apeks	6,22E-03
2.Premolar	Bukkal Tüberkül	1,38E-05
	Apeks	2,60E-03
1.Molar	Meziobukkal Tüberkül	1,51E-04
	Apeks	1,57E-03
2.Molar	Meziobukkal Tüberkül	8,00E-05
	Apeks	7,64E-04

4.2.5 CM3 Simülasyonunda Kraniofasiyal Kemikler ve Mandibulada Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal kemik noktalarında ve mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.45, Şekil 4.46, Tablo 4.15 ve Tablo 4.16’da gösterilmiştir.

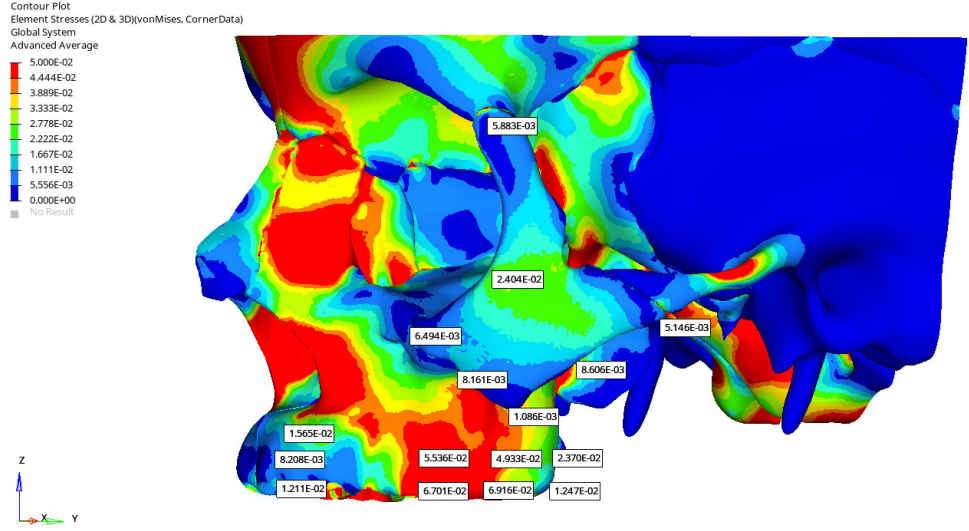
Tablo 4.15 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda kraniofasiyal yapılarda oluşan Von Mises stres dağılımının, özellikle maksiller kemik bölgesinde belirgin şekilde lokalize olduğu görülmektedir. Uygulanan kuvvetlerin dişler üzerinden iletilmesi nedeniyle, stresin en fazla dentoalveoler yapılarda yoğunlaştığı; zigomatik kemik bölgelerinde ise daha düşük ve homojen değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Maksiller kemik bölgesinde, en yüksek Von Mises stres değerleri alveoler proçesin posterior ($6,91E-02$ MPa) ve premolar ($6,70E-02$ MPa) bölgelerinde gözlenmiştir. Bu bulgu, CM3 apareyinde uygulanan kuvvetlerin, diş destekli olması sebebiyle özellikle posterior dişlerin alveoler kemiğine doğrudan yansıdığını göstermektedir. PNS ($2,37E-02$ MPa) ve ANS ($1,56E-02$ MPa) noktalarında da belirgin stres birikimi izlenmiştir.

Tüber ve Prosthion bölgelerinde orta düzey stresler tespit edilmiş, A noktası ve zigomatik proçes bölgelerinde ise stresin belirgin biçimde azaldığı görülmüştür. Bu dağılım, Carriere Motion kuvvet hattının özellikle posterior alveoler bölgeden anterior maksillaya doğru azalan bir şekilde yayıldığını ortaya koymaktadır.

Zigomatik kemikte, Von Mises stres değerleri genel olarak düşüktür ve maksimum stres maksiller proçes (inferior) bölgesinde gözlenmiştir. Bu durum, kuvvet aktarımının diş kaynaklı olması nedeniyle zigomatik yapıya sınırlı ölçüde iletildiğini göstermektedir. Frontal, süperior maksiller ve temporal proçeslerdeki düşük stres değerleri (yaklaşık $5-8E-03$ MPa aralığında), bu bölgelerin yük transferinde ikincil rol oynadığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 sisteminde Von Mises streslerin diş destekli kuvvet aktarımı sonucu maksiller alveoler kemiğe odaklandığı, zigomatik ve çevresel kraniofasiyal yapılarda ise daha düşük düzeyde bir stres dağılımı meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.45 CM3 simülasyonunda kraniofasial kemik noktalarında oluşan Von Mises stres değerleri

Tablo 4.15 CM3 simülasyonunda kraniofasial kemik noktalarında oluşan Von Mises stres değerleri tablosu

		Von Mises Stres (MPa)
Maksiller kemik	ANS	1,56E-02
	A noktası	8,20E-03
	Prosthion	1,21E-02
	Tüber	1,24E-02
	Zigomatik proçes	1,08E-03
	Alveoler proçes (premolar bölge)	6,70E-02
	Alveoler proçes (posterior)	6,91E-02
	PNS	2,37E-02
Zigomatik kemik	Frontal proçes	5,88E-03
	Maksiller proçes (süperior)	6,49E-03
	Maksiller proçes (inferior)	8,16E-03
	Temporal proçes	5,14E-03

Tablo 4.16 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres dağılımının, kuvvetlerin ön bölge ve alveoler yapılarda yoğunlaştığını ortaya koyduğu görülmektedir. Bu durum, CM3 apareyinde uygulanan elastik kuvvetlerin mandibulada özellikle anterior segmentteki dişlerin

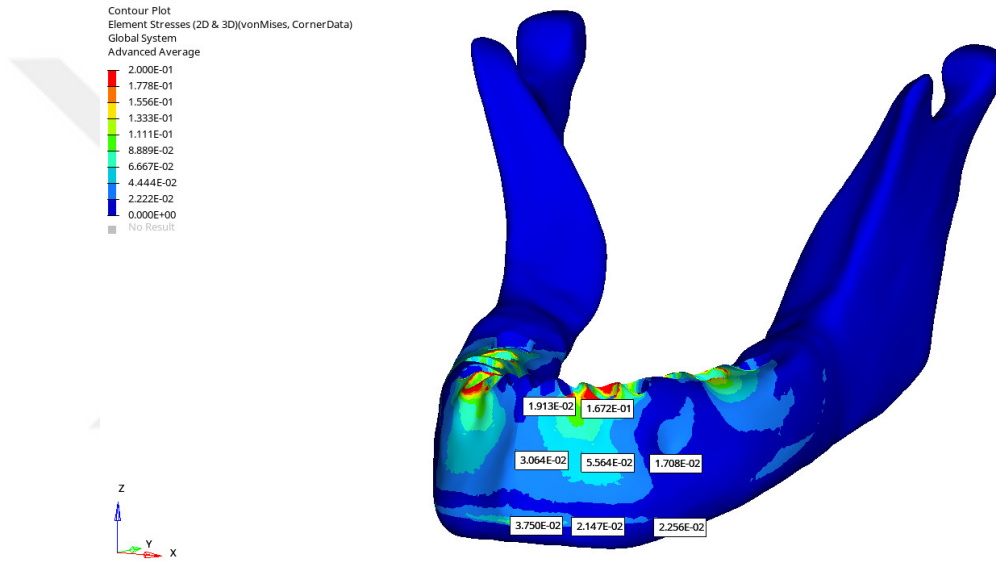
alveoler kemiklerine ve simfiz bölgesine daha fazla yük bindirdiğini göstermektedir.

Alveoler proçesin anterior bölgesi, tüm mandibular anatomik noktalar arasında en yüksek stres değerine ($1,67E-01$ MPa) sahiptir.

Simfiz ($5,56E-02$ MPa) ve Protuberentia Mentalis ($3,06E-02$ MPa) bölgelerinde de belirgin stres birikimi gözlenmiştir.

Mental tuberkül ($3,75E-02$ MPa) ve mental foramen ($1,70E-02$ MPa) bölgelerinde orta düzey stres değerleri tespit edilmiştir.

Basis mandibula bölgesinde ise düşük-orta düzey stres ($2,25E-02$ MPa) izlenmiştir.



Şekil 4.46 CM3 simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri

Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 apareyinde mandibulada stresin en fazla ön alveoler ve simfiz bölgelerinde toplandığı, posterior ve bazal bölgelerde ise daha düşük gerilim değerlerinin olduğu görülmektedir.

Tablo 4.16 CM3 simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri tablosu

	Anatomik Landmark	Von Mises Stres (MPa)
Mandibula	Alveoler proçes (anterior)	$1,67E-01$
	Simfiz	$5,56E-02$
	Protuberentia Mentalis	$3,06E-02$
	Mental tuberkül	$3,75E-02$
	Mental foramen	$1,70E-02$
	Basis mandibula	$2,25E-02$

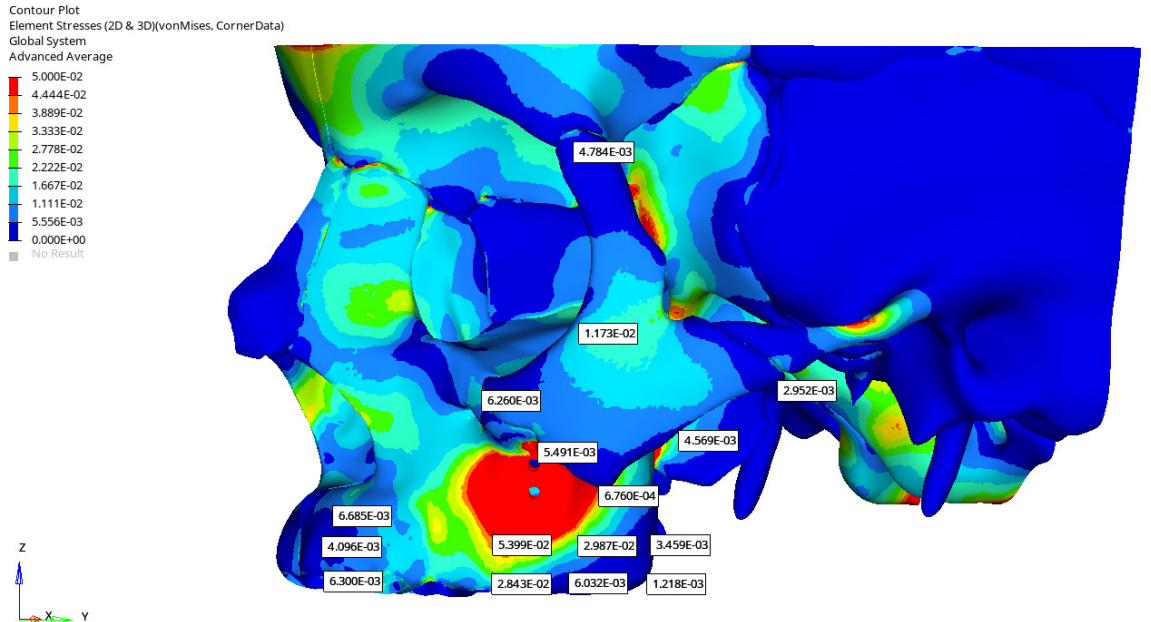
4.2.6 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Kemik Noktalarında ve Mandibulada Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal kemik noktalarında ve mandibulada oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.47, Şekil 4.48, Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de gösterilmiştir.

Tablo 4.17 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda kraniofasiyal kemiklerde Von Mises streslerinin ağırlıklı olarak maksiller dentoalveoler bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Maksiller kemikte en yüksek stres değeri alveoler proçesin premolar bölgesinde kaydedilmiştir. Prosthion ve ANS düzeylerinde orta–yüksek stresler izlenmiştir. Posterior alveoler proçes ve PNS bölgelerinde ise stres düzeyleri daha düşüktür.

Tüber ve zigomatik proçes çevresinde saptanan düşük stres değerleri, pterigomaksiller ve zigomatik bağlantıların BAMP altında aşırı yüklenmediğini göstermektedir.

Zigomatik kemikte maksiller proçes (süperior ve inferior) ile frontal proçes bölgelerinde orta düzey stresler kaydedilmiş; temporal proçes en düşük değerleri göstermiştir.



Şekil 4.47 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan von mises stres değerleri

Genel olarak, BAMP ile oluşturulan stres paterninin, premolar bölgesi odaklı ve anterior maksiller dentoalveoler yapılarda belirgin olduğu; posterior

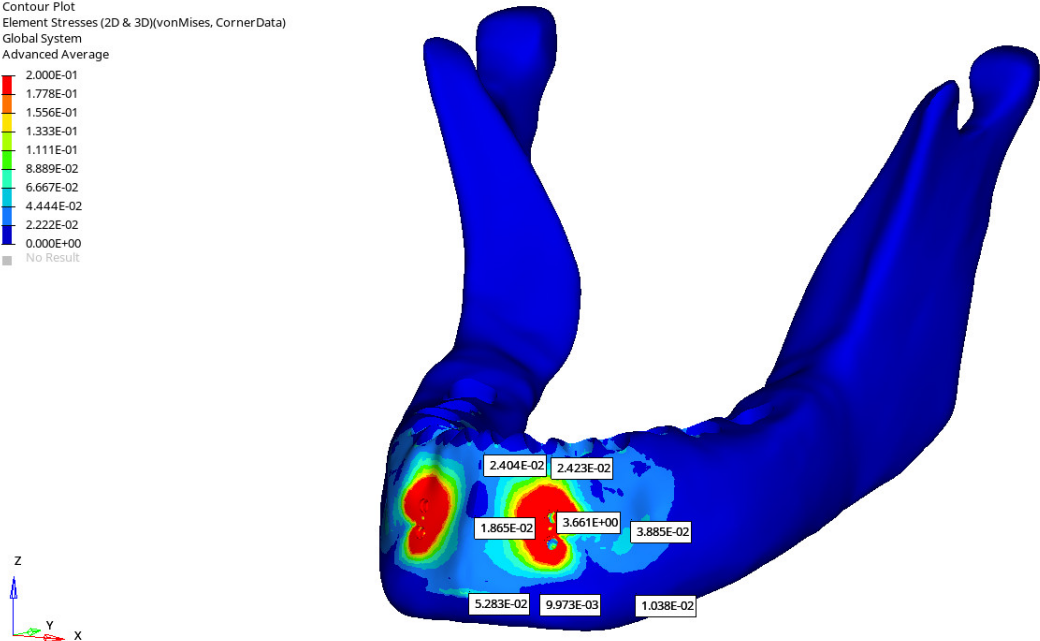
maksiller ve zigomatik bölgelerde ise daha düşük–orta düzeylerde seyrettiği söylenebilir.

Tablo 4.17 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal kemik noktalarında oluşan von mises stres değerleri tablosu

		Von Mises Stres (MPa)
Maksiller kemik	ANS	6,68E-03
	A noktası	4,09E-03
	Prosthion	6,30E-03
	Tüber	1,21E-03
	Zigomatik proçes	6,76E-04
	Alveoler proçes (premolar bölge)	2,84E-02
	Alveoler proçes (posterior)	6,03E-03
	PNS	3,45E-03
Zigomatik kemik	Frontal proçes	4,78E-03
	Maksiller proçes (süperior)	6,26E-03
	Maksiller proçes (inferior)	5,49E-03
	Temporal proçes	2,95E-03

Contour Plot
Element Stresses (2D & 3D)(vonMises, CornerData)
Global System
Advanced Average

2.000E-01
1.778E-01
1.556E-01
1.333E-01
1.111E-01
8.889E-02
6.667E-02
4.444E-02
2.222E-02
0.000E+00
No Result



Şekil 4.48 BAMP simülasyonunda mandibulada oluşan von mises stres değerleri

Tablo 4.18 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda mandibulada oluşan Von Mises stres değerlerinin, kuvvetlerin uygulanma yönüne bağlı olarak ön mandibuler bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle simfiz bölgesinde (3,66

MPa) oldukça yüksek stres değerlerinin gözlenmesi, BAMP sisteminde kullanılan iskeletsel ankrajların oluşturduğu çekme kuvvetlerinin mandibular ön segmentte belirgin bir gerilim konsantrasyonu meydana getirdiğini göstermektedir.

Alveoler proçesin anterior bölgesi ($2,42E-02$ MPa) ile mental bölge yapıları (mental tuberkül = $5,28E-02$ MPa; mental foramen = $3,88E-02$ MPa) orta düzey stres değerleri sergilemiştir.

Protuberentia mentalis ($1,86E-02$ MPa) ve basis mandibula ($1,03E-02$ MPa) bölgelerinde ise stres seviyeleri daha düşük bulunmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, BAMP sisteminde mandibulada streslerin en yoğun şekilde simfiz bölgesinde toplandığı, bunu mental ve alveoler ön segmentlerin izlediği, posterior ve bazal alanlarda ise stresin azaldığı görülmektedir. Bu patern, iskeletsel ankrajlı kuvvetlerin mandibulaya daha homojen ve kontrollü bir biçimde yayıldığını, ancak biyomekanik olarak ön segmentte maksimum gerilim yanıtı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 4.18 BAMP simülasyonunda mandibulada oluşan von mises stres değerleri tablosu

	Anatomik Landmark	Von Mises Stres (MPa)
Mandibula	Alveoler proçes (anterior)	$2,42E-02$
	Simfiz	$3,66E+00$
	Protuberentia Mentalis	$1,86E-02$
	Mental tuberkül	$5,28E-02$
	Mental foramen	$3,88E-02$
	Basis mandibula	$1,03E-02$

4.2.7 CM3 Simülasyonunda Kraniofasial Suturlarda Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasial suturlarda oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.49 ve Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

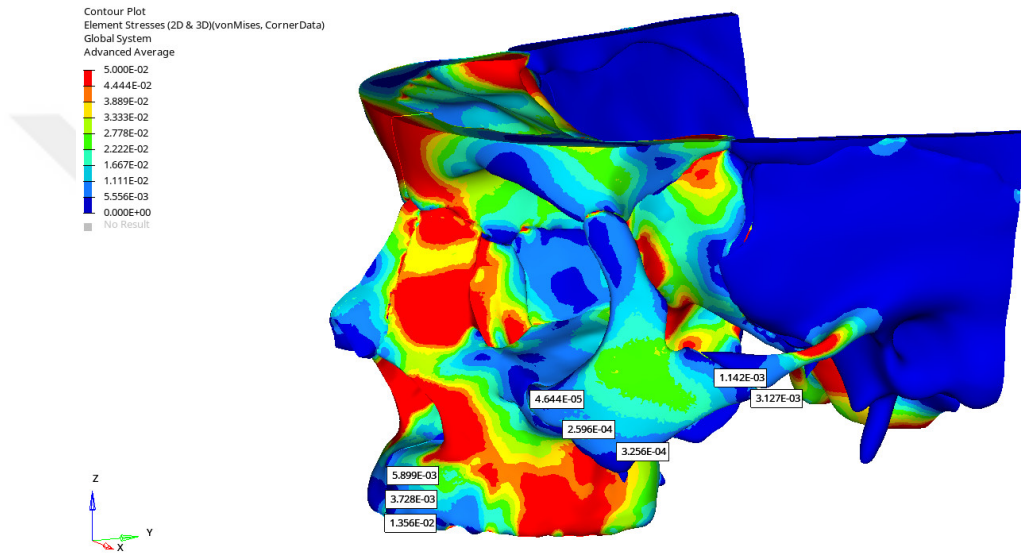
Tablo 4.19 incelendiğinde, CM3 simülasyonunda kraniofasial suturlarda oluşan Von Mises stres dağılımının, kuvvetlerin maksiller kompleks üzerindeki aktarımına bağlı olarak özellikle intermaksiller sutur boyunca yoğunlaştığı görülmektedir.

En yüksek stres değeri intermaksiller suturun inferior bölgesinde kaydedilmiştir. Superior ve mid seviyelerdeki intermaksiller sutur

streslerinin daha düşük olması, kuvvetin yukarı doğru dağılımının sınırlı olduğunu ve stresin maksilla alt sınırına yakın bölgelerde toplandığını göstermiştir.

Zigomatikomaksiller sutur boyunca değerlendirildiğinde, tüm seviyelerde oldukça düşük stres değerleri elde edilmiştir.

Zigomatikotemporal sutur incelendiğinde, özellikle inferior bölgesinde superior bölgeye göre daha yüksek stres birikimi gözlenmiştir. Bu farklılık, mandibuladan gelen elastik çekim kuvvetlerinin maksilla–zigomatik kompleksin alt kısmına daha fazla iletildiğini, buna karşılık üst bölümlerde daha sınırlı bir stres transferi gerçekleştiğini ortaya koymuştur.



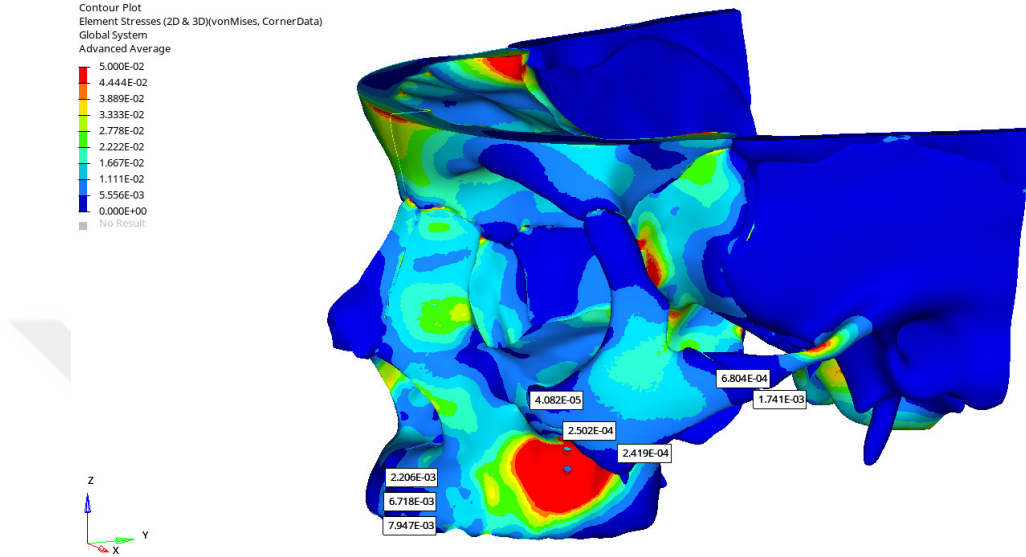
Şekil 4.49 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises Stres değerleri

Tablo 4.19 CM3 simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises Stres değerleri tablosu

Anatomik Bölge	Von Mises Gerilme (MPa)
İntermaksiller sutur (superior)	5.89E-03
İntermaksiller sutur (mid)	3.72E-03
İntermaksiller sutur (inferior)	1.35E-02
Zigomatikomaksiller sutur (superior)	4.64E-05
Zigomatikomaksiller sutur (mid)	2.59E-04
Zigomatikomaksiller sutur (inferior)	3.25E-04
Zigomatikotemporal sutur (superior)	1.14E-03
Zigomatikotemporal sutur (inferior)	3.12E-03

4.2.8 BAMP Simülasyonunda Kraniofasiyal Suturlarda Oluşan Von Mises Stres Değeri Bulguları

Analiz sonucuna göre kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises stres değerleri Şekil 4.50 ve Tablo 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.50 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan von mises stres değerleri

Tablo 4.20 incelendiğinde, BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan Von Mises stres dağılımının, kuvvetlerin iskeletsel ankrajlar aracılığıyla iletilmesi sonucu maksiller ve zigomatik sutur komplekslerinde daha dengeli bir şekilde yayıldığı görülmektedir.

En yüksek stres değerleri, intermaksiller suturun inferior ve orta (mid) bölümlerinde kaydedilmiştir.

Superior seviyedeki intermaksiller sutur bölgesi daha düşük stres değerleri sergilemiştir. Böylece BAMP’ın oluşturduğu kuvvetin maksilla boyunca aşamalı bir stres azalışı gösterdiği söylenebilir.

Zigomatikomaksiller sutur boyunca stres değerlerinin düşük olması, bu bağlantı hattının kuvvet aktarımında ikincil bir rol üstlendiğini göstermiştir. Ancak inferior bölgedeki hafif artış, kuvvetlerin maksilla–zigomatik geçişinde minimal bir stres birikimi oluşturduğunu göstermektedir.

Zigomatikotemporal sutur incelendiğinde, inferior bölgesinde superiora kıyasla daha yüksek stres saptanmıştır.

Genel olarak, BAMP simülasyonunda Von Mises stres dağılımı, intermaksiller sutur hattında belirgin, zigomatik suturlarda ise sınırlı bir şekilde gözlenmiştir.

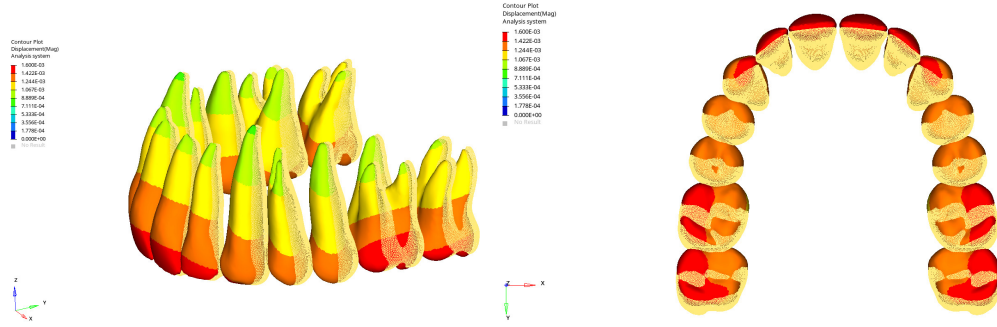
Tablo 4.20 BAMP simülasyonunda kraniofasiyal suturlarda oluşan von mises stres değeri tablosu

Anatomik Bölge	Von Mises Gerilme (MPa)
İntermaksiller sutur (superior)	2,20E-03
İntermaksiller sutur (mid)	6,71E-03
İntermaksiller sutur (inferior)	7,94E-03
Zigomatikomaksiller sutur (superior)	4,08E-05
Zigomatikomaksiller sutur (mid)	2,50E-04
Zigomatikomaksiller sutur (inferior)	2,41E-04
Zigomatikotemporal sutur (superior)	6,80E-04
Zigomatikotemporal sutur (inferior)	1,74E-03

4.3 Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi

4.3.1 CM3 Simülasyonunda Maksiller Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi

Şekil 4.51 üzerinde gösterilen bileşke yer değiştirme dağılımı incelendiğinde, kırmızı ve turuncu tonların maksiller santral ve lateral kesicilerin insizal bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

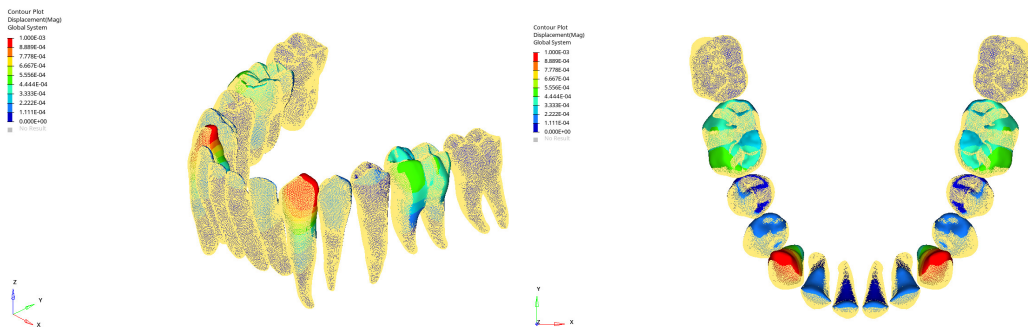


Şekil 4.51 CM3 simülasyonunda maksiller dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi

Bu alanlar, yaklaşık $1,4E-03$ mm seviyesinde, en yüksek yer değiştirme miktarını temsil etmektedir. Sarı ve yeşil bölgeler orta düzeyde hareketi, açık yeşil ve mavi tonlar ise minimal yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Anterior bölgedeki dişler, özellikle kesici dişler, kaninlere ve posterior dişlere kıyasla daha fazla yer değiştirme göstermektedir. Kaninlerde hareket miktarı orta düzeyde olup, premolar ve molar bölgelerde düşük düzeydedir.

4.3.2 CM3 Simülasyonunda Mandibuler Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi

Şekil 4.52 incelendiğinde, mandibular dişlerde uygulanan kuvvetler sonucunda meydana gelen yer değiştirme dağılımı görülmektedir. Renk skalası, deplasman büyüklüğünü temsil etmekte olup, kırmızı bölgeler en yüksek yer değiştirme değerlerini, mavi tonlar ise en düşük değerleri ifade etmektedir.



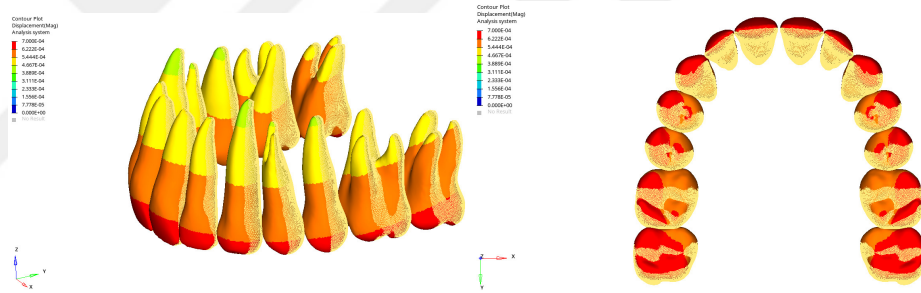
Şekil 4.52 CM3 simülasyonunda mandibuler dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi

Analiz sonucunda en belirgin yer değiştirme, özellikle sol alt ikinci premolar ve birinci molar bölgesinin bukkal yüzeylerinde tespit edilmiştir. Bu bölgelerde

kırmızı ve turuncu tonların yoğunluğu, bukkal yönde anlamlı bir hareket olduğunu göstermektedir. Anterior bölgede yer alan kesici ve kanin dişlerde ise yer değiştirme değerleri daha düşük seviyededir ve renk dağılımı genellikle sarı-yeşil tonlarda olup minimal hareketi işaret etmektedir. Posterior bölgenin lingual yüzeylerinde mavi ve yeşil tonların görülmesi, bu bölgelerde bukkal yönde değil, ters yönde (lingual) veya daha sınırlı yer değiştirme olduğunu göstermektedir.

4.3.3 BAMP Simülasyonunda Maksiller Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi

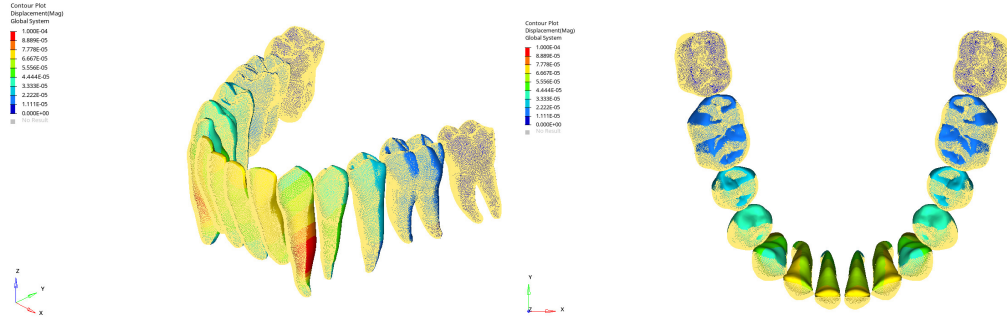
Şekil 4.53 incelendiğinde, maksiller dişler üzerinde uygulanan kuvvetlerin diş kronlarında daha yüksek seviyede yer değiştirme oluşturduğunu, kök bölgelerinde ise yer değiştirmenin oldukça sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.53 BAMP simülasyonunda maksiller dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi

Özellikle anterior dişlerde insizal bölgelerde kayda değer yer değiştirmeler gözlenmiş, posterior dişlerde ise hareketin daha homojen ancak oklüzal bölgelerde belirgin olduğu izlenmiştir.

4.3.4 BAMP Simülasyonunda Mandibuler Dişler Üzerinde Oluşan Yer Değiştirmenin Hareket Gösterimi



Şekil 4.54 BAMP simülasyonunda mandibuler dişler üzerinde oluşan yer değiştirmenin hareket gösterimi

Şekil 4.54'e bakıldığında, mandibuler dişler üzerinde kuvvetlerin etkisinin anterior bölgede daha yoğun olduğunu göstermektedir. Santral ve lateral kesicilerin kök bölgelerinde belirgin yer değiştirmeler kaydedilmiş, premolar bölgede orta düzeyde, posterior molarlarda ise sınırlı hareketler gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA

5.1 Amacın Tartışılması

Maksiller protraksiyonda etkinliği ve mandibular prognatizmin ilerlemesini kısmen engellemesi, yüz maskesini özellikle maksiller retrognatiye bağlı iskeletsel Sınıf III anomalilerin tedavisinde en sık tercih edilen yöntemlerden biri haline getirmiştir (Baccetti ve ark., 2000; Baccetti ve ark., 1998). Geleneksel yüz maskesi uygulamalarında, alın ve çene ucundan alınan ekstraoral destek aracılığıyla, sıklıkla hızlı maksiller ekspansiyon (RME) apareyine bağlanan intraoral ankraj ünitelerine elastiklerle kuvvet aktarılmakta ve maksillanın öne doğru hareketi sağlanmaktadır. Bununla birlikte, dental ankraja dayalı bu sistemler çeşitli istenmeyen yan etkiler de ortaya çıkarmaktadır. Uygulanan kuvvetin bir kısmı periodontal ligament içerisinde absorbe olduğu için, hedeflenen kuvvetin doğrudan suturalara iletilmesi güçleşmektedir. Ayrıca, tedavinin iskeletsel etkilerini azaltacak şekilde maksiller molarların mezializasyonu ve ekstrüzyonu, maksiller keserlerin protrüzyonu ve mandibular keserlerin retrüzyonu gibi istenmeyen diş hareketleri oluşabilmektedir (Kapust ve ark., 1998; Mermigos ve ark., 1990; Pangrazio-Kulbersh ve ark., 1998). Bir diğer önemli sınırlılık, apareyin ekstraoral olması ve özellikle preadölesan dönemdeki çocuklardan yüksek düzeyde kooperasyon gerektirmesidir; ancak bu yaş grubunda düzenli uyumun sağlanması oldukça güçtür (Katyal ve ark., 2016; Kircelli ve Pektas, 2008). Tüm bu dezavantajlar nedeniyle, araştırmacılar hem istenmeyen dental etkileri azaltmak hem de estetik açıdan daha kabul edilebilir çözümler sunmak amacıyla, ağız dışından görünmeyen ve iskeletsel destekle çalışan alternatif sistemler geliştirmeye çalışmışlardır (De Clerck ve ark., 2009; Wilmes ve ark., 2011).

Konvansiyonel diş destekli apareyler, istenmeyen dentoalveoler değişikliklere yol açmakta ve tedavi etkinlikleri çoğunlukla süt dişlenme veya erken karışık dişlenme dönemleri ile sınırlı kalmaktadır (Cevdanes ve ark., 2010; Maspero ve ark., 2012). Buna karşın, iskeletsel ankraja dayalı yaklaşımlar, bu tür dişsel yan etkileri azaltarak tedavinin geç karışık ya da daimî dişlenme döneminde de başarılı bir şekilde uygulanabilmesine olanak tanımıştır (De Clerck ve ark., 2009; Hong ve ark., 2005; Kaya ve ark., 2011). Miniplakların uygulanması ve çıkarılması, cerrahi flep açılmasını gerektiren invaziv bir işlem niteliğindedir. Bu apareylerin bilateral olarak yerleştirilmesi durumunda ise operasyon süreci hem

maliyet hem de cerrahi girişimin invazivlik ve risk düzeyi açısından iki kat artış göstermektedir (Katyal ve ark., 2016). Bu durum, özellikle büyüme çağındaki bireyler için görece agresif bir prosedür olarak değerlendirilmektedir.

Bu noktada, Carrière Motion Class III apareyi ve BAMP protokolü, farklı biyomekanik avantajlar sunan alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Carrière Motion, estetik açıdan daha kabul edilebilir ve non-invaziv bir çözüm sağlarken, BAMP protokolü doğrudan suturalara kuvvet ileterek iskeletsel etkinliği artırmaktadır. Böylece her iki yöntem de konvansiyonel yüz maskesi ve dental ankrajlı sistemlerin sınırlılıklarını aşmayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, BAMP'ın invaziv cerrahi gerekliliği ile Carrière Motion'ın daha çok dentoalveoler etkiler üzerinden sonuç vermesi, bu iki yaklaşımın etkinlik ve uygulanabilirliğinin karşılaştırılmasını önemli kılmaktadır.

Günümüzde ortodontide, maksiller retrognatiye bağlı Sınıf III olguların tedavisinde temel hedef, maksillanın iskeletsel olarak ileri konumlandırılması ve bunun dentoalveoler yan etkilerden arındırılmış biçimde sağlanmasıdır. Bu bağlamda, iskeletsel ankraja dayalı yaklaşımların daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, hasta kooperasyonunu artırdığı ve doğrudan iskeletsel etki oluşturduğu öne sürülen intermaksiller elastik kullanımına dayalı yöntemlerin gerçek etkinliği konusunda belirsizlikler sürmektedir. Dolayısıyla, bu tedavi protokollerinin etkinliğini ortaya koymak için daha fazla sayıda klinik çalışma ve bilimsel araştırmaya ihtiyaç vardır.

Literatür incelemesi sonucunda, intermaksiller elastiklerle uygulanan kemik ankrajlı maksiller protraksiyon ve Carrière Motion Class III apareyine yönelik çalışma sayısının oldukça sınırlı olduğu belirlenmiştir. Özellikle bu sistemlerin biyomekanik etkilerini irdeleyen sonlu elemanlar analizine dayalı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Mevcut boşluğu gidermek amacıyla, Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde kullanılan CM3 apareyi ile BAMP yöntemlerinin biyomekanik etkilerinin, in vitro koşullarda gerilme dağılımlarını değerlendirmede avantaj sağlayan sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak karşılaştırmalı biçimde incelenmesi bu çalışmanın amacı olarak belirlenmiştir.

5.2 Materyal ve Metodun Tartışılması

Ortodontide güvenilir bir matematiksel yöntem olarak kabul edilen sonlu elemanlar analizi, uygulanan kuvvetlerin yönü ile kraniomaksiller kompleksin yer değiştirmesi ve stres dağılımı arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır (Gautam ve ark., 2009; Lee ve ark., 2011). Ayrıntılı ve gerçekçi simülasyonların elde edilebilmesi için, sonlu elemanlar modelinin yüksek düzeyde rafine edilmesi büyük önem taşımaktadır. Modelin doğruluğu ise esasen oluşturulan geometrik yapının hassasiyetine ve kullanılan hesaplama ağının kalitesine bağlıdır (Tanne ve ark., 1993). Çalışmamızda, bilgisayarlı tomografi verileri kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmiş ve bu veriler dijital hacim rekonstrüksiyonu ile üç boyutlu geometrik modele dönüştürülmüştür. Böylece hem CM3 apareyi hem de BAMP için kuvvet uygulamalarının kraniomaksiller yapılarda oluşturduğu stres ve yer değiştirme paternleri gerçeğe yakın biçimde simüle edilebilmiştir. Literatürde, bilgisayarlı tomografi temelli verilerin sonlu elemanlar modellemesi için güvenilir bir kaynak olduğu vurgulanmaktadır (İşeri ve ark., 1998; Jafari ve ark., 2003).

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen sonlu eleman modellerinin eleman ve düğüm sayıları zamanla önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, Miyasaka-Hiraga ve arkadaşları (Miyasaka-Hiraga ve ark., 1994) 1776 elemandan oluşan bir kafatası modeli sunarken, Holberg ve arkadaşları (Holberg ve ark., 2007) 53.555 tetrahedral eleman ve 97.550 düğümden oluşan daha ayrıntılı bir model geliştirmiştir. Boryor ve arkadaşları (Boryor ve ark., 2008) ise 2.403.023 eleman ve 514.224 düğümden oluşan oldukça karmaşık bir kafatası modelini kullanmışlardır. Genel olarak, hekzahedral elemanlar karmaşık geometrilerde daha güvenilir kabul edilse de geniş hacimli hesaplamalarda tetrahedral elemanların yaygın biçimde tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada, CM3 apareyi ile BAMP yöntemlerinin biyomekanik etkilerini karşılaştırmak amacıyla yüksek çözünürlüklü bir sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan yaklaşık 4,3 milyon elemandan ve 1,1 milyon düğümden oluşan model, bu alanda ulaşılan en yüksek çözünürlüklü modellerden biri olup, biyomekanik sonuçların daha gerçekçi biçimde elde edilmesine ve her iki apareyin kraniyofasiyal bölgede oluşturduğu stres dağılımları ve yer değiştirme paternleri gerçeğe daha yakın koşullarda incelenebilmiştir.

Ayrıca, çalışmada kullanılan malzeme özelliklerinin ayrı ayrı tanımlanması (kortikal kemik, trabeküler kemik, periodontal ligament, mukoza, TME kartilajı, aparey materyalleri vb.) literatürdeki birçok FEM çalışmasına kıyasla daha kapsamlı bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu ayrıntılı tanımlama, uygulanan kuvvetlerin sadece kemik dokularda değil, yumuşak dokular ve ankraj elemanları üzerindeki etkilerinin de gerçekçi biçimde simüle edilmesini sağlamıştır.

Bir diğer güçlü yön, CM3 ve BAMP sisteminin aynı koşullarda modellenerek karşılaştırılmasıdır. CM3 apareyinde mandibular kanin ve molar arasında, BAMP modelinde ise maksiller zigomatik bölge ve mandibular simfiz bölgesine yerleştirilen miniplaklar arasında tanımlanan kuvvetler, literatürde klinik uygulamalara karşılık gelen değerler esas alınarak modellenmiştir. Bu yaklaşım, her iki sistemin biyomekanik etkilerinin doğrudan karşılaştırılabilmesine imkân tanımıştır.

Çalışmamızın metodolojik kısıtlılıkları arasında, modellerin homojen ve izotropik malzeme özellikleriyle tanımlanması, biyolojik dokuların viskoelastik doğasını tam olarak yansıtamaması sayılabilir. Ayrıca, hasta varyasyonları (yaş, kemik yoğunluğu, büyüme paternleri) göz önüne alınmamış ve standart bir model üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, kullanılan yüksek çözünürlüklü ağ yapısı, ayrıntılı malzeme tanımlamaları ve klinik uygulamalara uygun yükleme senaryoları sayesinde elde edilen sonuçların güvenilir olduğu ve literatüre katkı sunduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu metodolojik yaklaşım sayesinde Carrière Motion Class III ve BAMP apareylerinin biyomekanik etkileri, üç boyutlu ve ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılabilmiş; stres dağılımı ve yer değiştirme paternleri literatürdeki daha düşük çözünürlüklü modellere göre daha gerçekçi biçimde ortaya konmuştur.

Temporomandibular eklem, hem rotasyon hem de translasyon hareketlerini gerçekleştirebilen ve bu özelliği ile insan vücudundaki en karmaşık eklemlerden biri olarak kabul edilen ginglimoartroidal bir yapıdır (JD, 1988; Okeson ve Ckeson, 2013). Ancak, TME'nin ligamentler, disk, eklem sıvısı ve kapsül gibi çok sayıda karmaşık bileşeni bulunması, bu yapının tüm detaylarıyla üç boyutlu bir geometrik modele dönüştürülmesini oldukça güç hale getirmektedir. Bu çalışmada, metodolojik sınırlar göz önünde bulundurularak yalnızca artiküler disk modele dahil edilmiş, diğer yapılar ise analiz dışında bırakılmıştır. Bununla birlikte, her üç

modelde de aynı varsayımlar ve kısıtlamalar uygulanmış olduğundan, yapılan karşılaştırmaların tutarlılığı korunmuş ve elde edilen sonuçların anlamlılığı güvence altına alınmıştır.

De Clerck ve Bacetti (De Clerck ve ark., 2010), ortalama yaşı 11.10 olan 21 Sınıf III maloklüzyonlu olguda;

Nguyen ve ark. (Nguyen ve ark., 2011) ise 9–13 yaş aralığında 25 maksiller yetersizlik vakasında zigomatik buttress bölgelerine ve mandibulada kanin ile lateral kesici dişler arasına yerleştirilen miniplaklar aracılığıyla intermaksiller Sınıf III elastikler kullanmışlardır. Bu çalışmalarda, doku iyileşmesine olanak tanımak amacıyla başlangıçta her bir tarafa 150 g kuvvet uygulanmış, yaklaşık üçüncü ay itibarıyla bu kuvvet 250 g'a çıkarılmıştır.

Mevcut tez çalışmasında ise, tomografi verilerinden elde edilen üç boyutlu model üzerinde benzer anatomik bölgeler referans alınarak üst çenede zigomatik buttress bölgesine, alt çenede ise kanin ve lateral kesici dişler arasına miniplaklar yerleştirilmiştir. Literatürde bildirilen uygulamalara (De Clerck ve ark., 2010; Nguyen ve ark., 2011) paralel biçimde üst çenede üç, alt çenede iki adet miniplak 2.3 mm çapında ve 5 mm uzunluğunda vidalarla sabitlenmiştir. Ancak çalışmamız in vitro karakterde olduğu ve biyolojik iyileşme süreci söz konusu olmadığı için, başlangıçtan itibaren her bir tarafa doğrudan 250 g kuvvet uygulanmıştır.

Gentile ve ark. (Gentile ve ark., 2023) tarafından bildirilen bir olgu serisinde, CM3 apareyinin uygulama protokolü ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Çalışmada, mandibular kanin ile birinci molar arasına yerleştirilen aparey, üst çenede şeffaf plak ankrajı ile desteklenmiş ve sınıf III elastiklerle sagittal düzlemde düzelme amaçlanmıştır. Tedavi süreci ilerledikçe farklı boyutlarda nikel-titanyum ark telleri kullanılmış, elastiklerin yönü ve kuvvetleri değiştirilmiş ve yaklaşık 25 aylık tedavi sonucunda stabil bir oklüzyon elde edilmiştir. Ancak yazarlar, tedavinin ilk aşamasında geçici bir açık kapanışın ortaya çıktığını ve bunun sabit ortodontik tedavinin ilerleyen dönemlerinde düzeldiğini vurgulamışlardır. Bu tez çalışmasında ise Gentile ve ark.'nın klinik protokolünde tanımlanan biyomekanik prensipler sonlu elemanlar modeli üzerine aktarılmıştır. CM3 apareyi mandibular kanin ve molar bölgesine yerleştirilmiş, üst çenede şeffaf plak ile ankraj sağlanmış ve intermaksiller elastikler kullanılmıştır.

McNamara Jr ve ark. (McNamara Jr ve ark., 2021) tarafından yürütülen retrospektif klinik araştırmada, ergen ve erişkin Sınıf III bireylerde CM3 apareyinin

ilk tedavi aşaması olarak uygulanması ve ardından sabit ortodontik tedaviyle devam eden süreç değerlendirilmiştir. Çalışmaya yalnızca üç farklı zaman noktasında (T1: tedavi başlangıcı, T2: CM3 apareyinin çıkarılması sonrası, T3: sabit tedavi bitiminde) lateral sefalogramı bulunan hastalar dahil edilmiştir. Ayrıca, bireylerin kronolojik yaşından ziyade servikal vertebra maturasyon düzeyi dikkate alınmış, T1 kayıtlarında en az CS-4 evresine ulaşmış olması temel dahil edilme kriteri olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, örneklemin büyüme potansiyelinin minimal düzeyde olmasını garanti etmeyi hedeflemiştir. Klinik protokolde, her bireyde CM3 apareyinin mandibular kanin ile birinci molar arasına yerleştirilmesi ve üst çenede şeffaf plak ankrajı sağlanması temel adımlar arasında yer almıştır. Araştırmacılar, yaklaşık 375 g kuvvet üreten elastiklerin sürekli kullanımını önermiştir. Bu kuvvet düzeyi, intermaksiller düzeltmenin erken dönemde sağlanmasına katkıda bulunmuştur. Ancak, çalışmada biyomekanik yüklerin doğrudan ölçülmemiş olması ve kuvvet aktarımının hasta kooperasyonu gibi klinik değişkenlere bağlı kalması, elde edilen bulguların yorumu açısından dikkate alınması gereken metodolojik sınırlılıklar arasında yer almaktadır. Bu tez çalışmasında ise Mc Namara ve ark.'nın tanımladığı klinik protokol, sonlu elemanlar modeline aktarılmış ve böylece CM3 apareyinin biyomekanik etkileri izole edilerek değerlendirilmiştir (McNamara Jr ve ark., 2021).

5.3 Bulguların Tartışılması

5.3.1 Yer Değiştirme Bulgularının Tartışılması

CM3 simülasyonunda elde edilen üç eksenli yer değiştirme analizleri, apareyin hem maksiller hem de mandibular arkta segmental olarak odaklanmış, ancak genel anlamda dengeli bir kuvvet aktarımı sağladığını ortaya koymaktadır. Maksiller arkta Y eksenli boyunca anterior dişlerdeki yer değiştirme miktarlarının posterior dişlerle benzer düzeyde olması, elastik kuvvetlerin ark boyunca homojen şekilde iletildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, apeks bölgelerinde tespit edilen düşük deplasman değerleri, alveoler kemiğin kök seviyesindeki stabilizatör etkisini ve hareketin büyük oranda kron seviyesinde gerçekleştiğini doğrulamaktadır. X eksenli yönündeki kuvvet bileşenleri, CM3 apareyinin elastik çekim hattı boyunca maksiller arkta hafif bir palatinal moment oluşturduğunu ve özellikle posterior dişlerde bukkal devrilmeye karşı

kompanse edilebilir bir palatinal eğilme hareketi meydana getirdiğini göstermektedir. Ön bölgede bu hareketin sınırlı düzeyde kalması, kuvvetin esas etkisinin posterior segmentte yoğunlaştığını düşündürmektedir. Z ekseninde ise, aparatın elastik hattının eğiminden kaynaklanan posterior ekstrüzyon–anterior intrüzyon kombinasyonu, maksiller düzlemde hafif posterior rotasyon momenti oluşturmuştur. Bu dikey bileşenlerin etkisiyle posterior segmentte minimal ekstrüzyon, anterior segmentte ise kontrollü intrüzyon eğilimi gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, CM3 aparatı posterior merkezli ancak ark boyunca homojen dağılımlı bir biyomekanik kuvvet modeli sergilemektedir.

Mandibular arkta ise, CM3 sisteminin kuvvet aktarım paterninin belirgin bir distalizasyon eğilimi ve kron-dominant hareket karakteri gösterdiği belirlenmiştir. Y ekseninde en yüksek distal hareket kaninde gözlenmiş, bunu 1. molar ve lateral kesici takip etmiştir. Kanin ve 1. molarlarda kronun distale, apeksin hafif mezial yönde hareket etmesi, klasik distal tipping paternini doğrulamaktadır. Buna karşın, 2. molarlarda düşük düzeyde distal hareket ve birbirine yakın meziobukkal tüberkül–apeks değerleri, kısmen gövdesel (bodily) bir hareket bileşeninin varlığına işaret etmektedir. Anterior segmentte ise kron seviyesindeki distalizasyonun köke kıyasla belirgin biçimde fazla olması, distal tipping’in baskın hareket tipi olduğunu göstermektedir. X ekseninde elde edilen veriler, CM3 aparatının mandibular arkta bukkal yönelimli bir kuvvet bileşeni oluşturduğunu ortaya koymuştur. Özellikle 1. molarlarda gözlenen bukkal kron–lingual kök hareketi, bukkal tipping davranışını desteklerken; premolarlarda hafif bukkal yer değiştirme, kaninde ise sınırlı düzeyde lingual eğilim tespit edilmiştir. Kesicilerdeki bukkolingual deplasmanlar minimal olup, transvers yönde anlamlı bir devrilme gözlenmemiştir.

Z ekseninde en yüksek dikey yer değiştirmeler, CM3 sisteminin mandibular arkta genel bir ekstrüzyon eğilimi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kanin ve 1. molarlarda gözlenen belirgin ekstrüzyon, Sınıf III elastik biyomekanik sisteminin vertikal bileşeniyle uyumludur ve bu dişlerin elastik çekim hattının odak noktaları olduğunu göstermektedir. 2. molarlarda ise hafif intrüzyon eğilimi kaydedilmiştir. Bileşke yer değiştirme analizleri, en yüksek koronal deplasmanın kaninde gerçekleştiğini, bunu 1. molar ve lateral kesicinin izlediğini göstermektedir. Kaninde koronal hareketin apeks hareketine oranla belirgin

biçimde yüksek olması, distal tipping'in baskınlığını bir kez daha doğrulamaktadır. Tüm mandibular dişlerde apeks seviyesindeki deplasmanların koronal değerlere göre oldukça düşük olması, kök düzeyinde stabilitenin korunduğunu ve kuvvetlerin esas etkisinin kron seviyesinde eğilme momentleri aracılığıyla aktarıldığını göstermektedir.

CM3 simülasyonunda maksillofasiyal kompleks boyunca görülen yer değiştirmeler, ön-alt yönelimli, segmental ve dengeli bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle intermaksiller sutur boyunca belirgin mezial yer değiştirmeler gözlenmiş, bu bölge kuvvet iletiminde primer taşıyıcı yapı olarak öne çıkmıştır. İntermaksiller suturda yer değiştirme miktarının superior seviyeden inferiora doğru artması, maksillanın öne ve aşağıya yönlü blok hareket eğilimini göstermektedir. Zigomatikomaksiller suturda benzer ancak daha düşük düzeyli mezial hareketler izlenmiş, inferior segmentte Z ekseninde görülen negatif (aşağı yönlü) yer değiştirme, zigomatik kompleksin kuvvetin bir kısmını vertikal olarak absorbe ettiğini düşündürmüştür. Buna karşın zigomatikotemporal suturda minimal değerler elde edilmesi, bu bölgenin kuvvet transferinde ikincil ve pasif bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Maksiller kemik düzeyinde en yüksek yer değiştirmelerin Prosthion, alveoler proçes ve PNS bölgelerinde meydana geldiği, kuvvetin ön maksiller segmentte yoğunlaştığı saptanmıştır. X ekseninde posterior bölgelerde palatinal, anterior bölgelerde hafif bukkal yönelimler gözlenmiş; bu durum, CM3 apareyinin maksillayı posterior rotasyona zorlayan bir moment oluşturduğunu göstermektedir. Zigomatik kompleksin inferior segmentlerinde anlamlı yer değiştirmeler kaydedilirken, üst segmentlerde etkiler azalmış ve kuvvetin alt zigomatik alanlarda sönümlendiği belirlenmiştir.

Mandibular düzeyde yer değiştirmeler, ön alveoler kompleksin distale ve hafif insizale yönlü hareketiyle karakterizedir. En yüksek deplasman anterior alveoler proçeste kaydedilmiş; simfiz, mental tüberkül ve protuberentia mentalis bölgelerinde ise orta düzey hareketler izlenmiştir. Basis mandibula neredeyse durağan kalarak, bazal mandibulanın rijit yapısını korumuştur. Z ekseninde anterior segmentte gözlenen ekstrüzyon, mandibulanın ön-alt bölgesinde hafif rotasyonel bir yanıt oluştuğunu göstermektedir.

Wonkwang Üniversitesi'nde yürütülen ve iki vaka raporunun karşılaştırıldığı çalışmada (An ve ark., 2020), büyüme dönemindeki çocuklarda

anterior çapraz kapanışın tedavisinde Tandem Traction Bow Appliance (TTBA) ve CM3 apareylerinin etkinliği değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, her iki apareyin de SNA ve ANB açılarında artış sağladığını, maksiller kesici eğimlerinde düzelme oluşturduğunu ve fasiyal estetik ile fonksiyonel oklüzyonda iyileşme elde edildiğini bildirmişlerdir. Bulgular, TTBA ve CM3 apareylerinin iskeletsel ve dentoalveoler düzeyde benzer tedavi sonuçları oluşturduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, mevcut literatürde CM3 apareyinin etkinliğini uzun dönemli olarak değerlendiren sınırlı sayıda çalışma bulunduğu, bu nedenle ileriye dönük iyi tasarlanmış karşılaştırmalı araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.

Gentile ve ark. (Gentile ve ark., 2023) tarafından sunulan klinik çalışmada bildirildiği üzere, CM3 apareyi ile tedavi edilen Sınıf III olgusunda yaklaşık 25 aylık tedavi süresinin sonunda molar ve kanin ilişkileri sınıf I oklüzyona getirilmiş, ideal overjet ve overbite elde edilmiştir. Dental orta hatların yüz orta hattı ile uyumlu hale gelmesi ve dental çapraşıklıkların giderilmesi, tedavi hedeflerinin büyük ölçüde karşılandığını göstermektedir. Sefalometrik veriler incelendiğinde, ANB açısının başlangıçta $-1,7^\circ$ iken $-1,2^\circ$ 'ye yükselmesi, iskeletsel düzeyde belirgin bir iyileşmenin oluşmadığını ancak mevcut durumun kötüleşmesinin engellendiğini göstermektedir. Üst keserlerin vestibüler pozisyonunda hafif bir gerileme (U1-SN: $120^\circ \rightarrow 118^\circ$) ve mandibulanın anterior rotasyon eğilimi gözlenmiştir. Wits değerlendirmesinde anlamlı bir değişiklik rapor edilmemiştir. Bu klinik bulgular, mevcut çalışmadaki CM3 sonlu elemanlar analizi sonuçlarıyla biyomekanik eğilim açısından yüksek düzeyde uyum göstermektedir. Simülasyon verilerinde de CM3 apareyinin, maksillada anterior mezial ve posterior palatinal yönlü kuvvet bileşenleriyle posterior rotasyon momenti oluşturduğu, mandibulada ise anterior alveoler bölgede belirgin distalizasyon ve ekstrüzyon paterninin geliştiği görülmüştür. Bu durum, Gentile ve ark.'nın klinik olarak tanımladığı kanin ekstrüzyonu ve alt molar intrüzyonu sonucu oluşan mandibular rotasyonel değişikliklerle doğrudan paralellik göstermektedir. Ayrıca, her iki çalışmada da CM3 etkisinin temel olarak dentoalveoler düzeyde şekillendiği, maksillada ön segment odaklı kuvvet aktarımıyla sınırlı iskeletsel katkı sağlandığı sonucuna varılmıştır.

McNamara ve ark. (McNamara Jr ve ark., 2021) ile Podda ve ark. (Podda ve ark., 2025) tarafından yapılan çalışmalar da benzer şekilde, CM3'ün erişkin veya minimal büyüme potansiyeli olan hastalarda sınırlı iskeletsel değişiklikler

oluşturduğunu, esas katkısının ise keser ve molar dişlerin pozisyonel düzenlenmesi yoluyla dentoalveoler kompanzasyon olduğunu bildirmiştir. Sonuç olarak, CM3 apareyi erişkin veya minimal büyüme potansiyeli bulunan hastalarda cerrahi dışı bir alternatif olarak değerlendirilebilmekte ve özellikle dentoalveoler düzeyde etkili sonuçlar ortaya koymaktadır. Ancak, bu apareyin iskeletsel katkısının sınırlı olduğu hem literatür hem de bizim modelimizin bulgularıyla uyumludur.

BAMP simülasyonunda elde edilen yer değiştirme bulguları hem dentoalveoler hem de kraniyofasiyal yapılarda kuvvetlerin öncelikli olarak anterior ve inferior yönlerde, dengeli ve kontrollü biçimde dağıldığını göstermektedir. Maksiller dişlerde üç eksen boyunca izlenen yer değiştirme paternleri, iskeletsel ankrajlı protraksiyon kuvvetlerinin homojen biçimde dişlere aktarıldığını ve dentoalveoler kompleksin bir bütün olarak hareket ettiğini ortaya koymaktadır. Y ekseninde tüm dişlerde saptanan belirgin mezial translasyon, maksiller dentisyonun blok halinde anteriora taşındığını göstermekte; posterior segmentte (özellikle 1. ve 2. molar) apeks düzeyinde gözlenen anlamlı mezial hareket ise kuvvetin kök seviyesine kadar etkili bir biçimde iletilildiğini ve alveoler kemiğin aktif olarak bu sürece katıldığını göstermektedir. X ekseninde posteriora doğru artan palatinal eğilim, hafif linguale devrilme momentinin varlığını düşündürmektedir. Z ekseninde ise ön segmentte intrüzyon, posterior segmentte ekstrüzyon paterninin izlenmesi, maksiller düzlemin hafif saat yönü rotasyon eğilimi gösterdiğine işaret etmektedir. Bu hareket bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesi, BAMP sisteminin maksiller dişlerde mezial translasyon, posterior palatinal devrilme ve anterior intrüzyon unsurlarından oluşan dengeli bir üç boyutlu hareket paterni oluşturduğunu göstermektedir.

Mandibular dişlerde gözlenen yer değiştirmeler ise, ön segmentte yoğun distalizasyon ve posteriora doğru azalan kuvvet aktarımı ile karakterizedir. Y ekseninde en yüksek distal hareketin kesici dişlerde meydana gelmesi, elastik çekim hattının ön mandibuler bölgeye daha belirgin yatay bileşen aktardığını ortaya koymaktadır. Buna karşın kanin, premolar ve molar bölgelerdeki yer değiştirme miktarlarının giderek azalması, posterior segmentin kuvvet iletiminde daha pasif ve stabil davrandığını göstermektedir. X ekseninde yalnızca ön segmentte hafif bukkal, kanin ve premolar düzeyinde minimal lingual eğilimlerin görülmesi, transversal yönde klinik olarak anlamlı bir deformasyonun

oluşmadığını düşündürmektedir. Z ekseninde ön segmentte hafif ekstrüzyon eğilimi, özellikle kanin bölgesinde belirginleşmiştir; buna karşın posterior bölgede dikey hareketlerin ihmal edilebilir düzeyde kalması, mandibular düzeyde dikey kontrolün korunduğunu göstermektedir. Ayrıca bileşke yer değiştirme değerlerinin anterior bölgeden posteriora doğru azalması, BAMP kuvvetlerinin mandibular ön segmentte yoğunlaşıp posterior bölgede sönümlendiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 1. molarda apeks hareketinin krona göre daha yüksek olması, bu bölgede kuvvetin alveoler kemik tarafından absorbe edildiğini ve dentoalveoler düzeyde denge sağlandığını düşündürmektedir.

Kraniyofasiyal süturlarda gözlenen yer değiştirme paternleri, uygulanan iskeletsel kuvvetlerin maksiller kompleks boyunca homojen, kontrollü ve ön-alt yönelimli biçimde dağıldığını göstermektedir. İntermaksiller suture hattında Y ekseninde belirgin mezial yönlü hareket, maksiller kompleksin anteriora doğru blok şeklinde translasyonel hareketini ortaya koymaktadır. Aynı sutureda Z ekseninde pozitif yönde ve segmentler arasında benzer büyüklükte değerlerin elde edilmesi, kuvvetin sutural düzlem boyunca dengeli biçimde iletildiğini ve BAMP sisteminin maksiller stabiliteyi koruyarak protraksiyon sağladığını göstermektedir. Zigomatikomaksiller sutureda daha düşük ancak dengeli bir anterior hareket paterni izlenmiş, bu da zigomatik kompleksin kuvvet aktarımında destekleyici ancak sınırlı rol oynadığını göstermiştir. Zigomatikotemporal sutureda özellikle inferior segmentte gözlenen belirgin Z eksenli (aşağı yönlü) hareket, maksiller protraksiyonun zigomatik kompleksin alt kısmında hafif bir inferior bileşen oluşturduğunu, buna karşın superior segmentteki düşük değerlerin posterior-üst bağlantıların kuvveti sönümlendiğini ortaya koymaktadır.

Kraniyofasiyal yapıların genel yer değiştirme analizinde, maksiller kompleksin anterosüperior yönelimli translasyonel bir hareket sergilediği belirlenmiştir. Maksiller kemikte Y ekseninde tüm anatomik noktaların mezial yönde hareket etmesi, protraksiyon kuvvetlerinin maksillayı blok halinde öne taşıdığını; Z ekseninde anterior bölgelerde yukarı, posterior bölgelerde aşağı yönlü yer değiştirmelerin izlenmesi ise maksillanın öne ve yukarıya doğru dönme-translasyon kombinasyonu gerçekleştirdiğini göstermektedir. Zigomatik kompleks düzeyinde hareketlerin sınırlı kalması, bu bölgenin maksiller hareketi dengeleyen rijit bir bağlantı alanı olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Bileşke yer değiştirme açısından tüber, alveoler süreç ve Prosthion bölgelerinde saptanan

yüksek değerler, kuvvetlerin yalnızca anterior bölgede değil posterior maksillada da etkin biçimde iletilildiğini doğrulamaktadır.

Mandibula düzeyinde ise, BAMP kuvvetlerine karşı kompensatuar nitelikte ve düşük şiddetli bir yanıt gözlenmiştir. Y ekseninde tüm bölgelerde saptanan distal yönlü küçük hareketler, mandibulanın maksiller protraksiyona pasif biçimde eşlik ettiğini; en yüksek yer değiştirme değerlerinin simfiz bölgesinde gözlenmesi ise, ön mandibular segmentin kuvvete en duyarlı bölge olduğunu ortaya koymuştur. Basis mandibula seviyesindeki minimal hareket değerleri, mandibular bazal kemiğin yüksek stabilite sergilediğini göstermektedir.

Sonuç olarak, BAMP uygulaması maksiller kompleksin tamamında anterosüperior yönlü, dengeli ve kontrollü bir translasyon oluştururken, mandibulada ön segment odaklı, düşük şiddetli kompensatuar bir distal hareket meydana getirmiştir. Bu bulgular, BAMP sisteminin kuvvetleri öncelikle maksiller alveoler ve tüber bölgelerinde yoğunlaştırarak, zigomatik ve posterior bağlantılarda kontrollü bir dağılım sağladığını; mandibulada ise dengeleyici bir stabilizasyon ve minimal deformasyonla iskeletsel uyum yarattığını göstermektedir. Böylece, BAMP sistemi Sınıf III maloklüzyonun düzeltiminde hem iskeletsel hem dentoalveoler düzeyde öngörülebilir, simetrik ve biyomekanik olarak dengeli bir protraksiyon mekanizması sağlamaktadır.

De Clerck ve ark. (De Clerck ve ark., 2010) tarafından yapılan klinik çalışmada, BAMP protokolüyle tedavi edilen bireylerde maksillanın yaklaşık 4 mm'lik belirgin bir iskeletsel ilerleme gösterdiği, orbitale ve pterygomaksiller bölgelerde anlamlı anterior translasyonlar olduğu ve mandibulanın saat yönü rotasyon göstermeden minimal kompensatuar retrüzyon sergilediği bildirilmiştir. Bizim çalışmamızın sonlu elemanlar analizine dayalı bulguları yönsele açıdan bu sonuçlarla büyük ölçüde uyumlu olup, maksiller kompleksin tamamında anterior yönde homojen bir translasyon paterninin meydana geldiği, intermaksiller sutur hattında özellikle inferior segmentte belirgin yer değişimlerinin olduğu saptanmıştır. Ayrıca, streslerin alveoler ve premolar bölgelerde yoğunlaşması De Clerck'in orbitale düzeyinde tanımladığı etki alanından farklılık göstermekte olup, bu durum kuvvetin modelde daha lokalize biçimde uygulanmasıyla açıklanabilir. Mandibuler düzeyde her iki çalışmada da sagittal stabilitenin korunduğu ve rotasyonel değişimin oluşmadığı görülmekle birlikte De Clerck alt kesicilerde belirgin proklinasyon rapor ederken bu simülasyonda yalnızca minimal bir

protrüzyon eğilimi saptanmıştır. Ayrıca, klinik çalışmada dikey değişiklikler ihmal edilebilir düzeyde bildirilmişken, bu analizde ön bölgede hafif intrüzyon, posterior bölgede ise sınırlı ekstrüzyon eğilimi gözlenmiştir

Cevidanes ve ark. (Cevidanes ve ark., 2010) tarafından yapılan çalışmada, BAMP'ın RME/FM yöntemine kıyasla maksillada 2–3 mm daha fazla ileri hareket sağladığını ve intermaksiller sagittal ilişkisinin yaklaşık 2,5 mm daha fazla düzeldiğini rapor etmişlerdir. Analiz sonuçlarında BAMP sistemi, maksiller kompleksin tamamında anteriora yönelimli ve homojen bir translasyon oluşturmuş, intermaksiller sutur hattında en fazla yer değiştirme inferior segmentte izlenmiştir. Bu durum, kuvvetlerin maksillanın ön-alt bölümünde yoğunlaştığını ve Cevidanes ve ark.'nın belirttiği maksiller ilerleme artışının biyomekanik temelini desteklemektedir. Cevidanes ve ark. mandibulanın saat yönünde rotasyon göstermediğini ve alt kesicilerde retroklinasyon oluşmadığını bildirmiştir. Mandibular düzeyde her iki çalışmada da benzer bir patern gözlenmiştir. Cevidanes ve ark. mandibulanın sagittal pozisyonunun korunarak dikey kontrolün sağlandığını belirtirken, bu çalışmada mandibular hareketlerin minimal düzeyde ve kompensatuar nitelikte olduğu saptanmıştır. Simfiz bölgesinde küçük bir distalizasyon dışında anlamlı bir rotasyon veya tipping hareketi izlenmemiştir. Alt kesicilerde retroklinasyon gözlenmemesi de her iki çalışmanın ortak sonucudur. Simülasyonda mandibular dişlerin yer değiştirmeleri ön segmentte çok küçük kalmış, posterior bölgede ise sönümlenmiştir.

Tiwari ve arkadaşlarının (Tiwari ve Mustafa, 2024) yaptığı bir çalışmada, maksiller hipoplaziye sahip dudak-damak yarıklı bireylerde, BAMP tedavisinin dento-iskeletsel, yumuşak doku ve fonksiyonel etkileri incelenmiştir. Ortalama yaşı 11,9 olan 18 hasta, 12 aylık BAMP tedavisi ile değerlendirilmiştir. Bulgular, 20 sefalometrik parametrede anlamlı değişiklik ortaya koymuştur. Maksiller ileri hareket belirgin şekilde artmış (SNA açısında $3,03^\circ$; Ptm-A uzunluğunda 3,65 mm; N-perp to A ölçümünde 4,02 mm), dental overjetle ise ortalama 3,86 mm düzelme sağlanmıştır. Mandibulada ise sagittal konumda geriye hareket (SNB'de $1,38^\circ$ ve N-perp to Pog'da 1,16 mm azalma) ve gonial açıda $3,8^\circ$ kapanma gözlenmiştir. Çalışmada hava yolu hacmi, konuşma fonksiyonu ve TME bulgularında tedavi öncesi ve sonrası arasında anlamlı farklılık tespit edilmemiştir. Araştırmacılar, BAMP tedavisinin dudak-damak yarıklı bireylerde belirgin ortopedik maksiller protraksiyon sağladığını, mandibular büyümenin sagittal ve dikey yönde kontrol

altına alındığını ve estetik açıdan olumlu sonuçlar elde edilirken fonksiyonel sistemler üzerinde olumsuz bir etki gözlenmediğini vurgulamışlardır.

Yatabe ve ark. (Yatabe ve ark., 2017) hem dudak-damak yarıklı hem de dudak-damak yarıksız Sınıf III bireylerde BAMP'ın maksillayı öne (1,66 mm) ve aşağıya (1,21 mm) doğru kaydırıldığını rapor etmişlerdir. Bu yönelimin, mevcut araştırmada sonlu elemanlar analiziyle saptanan kuvvet aktarım paternleriyle örtüştüğü söylenebilir. Modelde de benzer biçimde, maksiller kompleksin anterior doğrultuda translasyon sergilediği, mandibulanın ise ters yönde sınırlı bir reaksiyonla dengelendiği gözlenmiştir. Garib ve ark.'nın çalışmasında dikkat çeken nokta, tedavinin uzun dönemde stabil seyrettiği ve ortognatik cerrahiye gerek bırakmadığıdır; bu, BAMP sisteminin yalnızca başlangıçta değil, büyüme süreci boyunca da etkisini sürdürebilen kalıcı bir ortopedik yanıt oluşturduğunu göstermektedir. Mevcut modelde elde edilen stres dağılımları da bu klinik gözlemi destekler biçimde, maksiller yapılar boyunca kuvvetin düzenli ve kontrollü bir şekilde iletilildiğini, özellikle alveoler ve sutural bölgelerde dengeli bir biyomekanik yanıt geliştiğini ortaya koymuştur.

Kamath ve ark.'nın (Kamath ve ark., 2022) BAMP üzerine yaptığı kapsamlı derleme çalışmasında, kemik destekli maksiller protraksiyonun geleneksel yüz maskesi tedavisine göre hem mekanik hem de biyolojik açıdan belirgin üstünlükler sunduğu vurgulanmıştır. Derlemede, klasik dentoankorajlı yüz maskesi uygulamalarında görülen çene ucunun aşağı ve geriye rotasyonu, maksiller kesici proklinasyonu, mandibular kesici retroklinasyonu ve posterior dişlerde istenmeyen mezializasyon gibi yan etkilerin BAMP yöntemiyle büyük ölçüde ortadan kaldırıldığı belirtilmiştir. Bu değerlendirme, mevcut çalışmadaki sonlu elemanlar analizinde gözlenen kuvvet dağılımı ve hareket paternleriyle doğrudan örtüşmektedir; çünkü analiz sonuçlarında da kuvvetlerin maksiller dişlerde dengeli biçimde yayıldığı, mandibulada ise rotasyonel etkilerin sınırlı kaldığı ve dikey kontrolün korunduğu görülmüştür. Ayrıca Kamath ve ark.'nın literatür özetinde, BAMP'ın mandibular büyümeyi sınırlarken maksiller yapıları etkili biçimde öne taşıdığı ve bu sayede dentoalveoler düzeyde minimal değişimle iskeletsel düzeltme sağladığı vurgulanmıştır. Mevcut çalışmanın bulguları da bu görüşü destekler nitelikte olup hem dişsel hem de sutural düzeyde kuvvet aktarımının kontrollü bir biçimde gerçekleştiğini, stresin özellikle intermaksiller sutur hattında yoğunlaştığını göstermiştir. Buna karşın, klinik çalışmaların aksine bu analizde

büyüme etkisi dışlandığından, ortaya çıkan patern tamamen mekanik kuvvet iletimine dayanmaktadır.

Vichare ve ark.'nın (Vichare ve Vichare, 2024) maksiller hipoplazili bir olguda uyguladıkları BAMP tedavisini sundukları vaka raporunda, yöntemin 13 yaşındaki bir hastada hem iskeletsel hem de estetik düzeyde tatmin edici bir sonuç sağladığı bildirilmiştir. Tedavi süreci toplam 20 ay sürmüş, 14 aylık aktif protraksiyon fazı sonrasında maksiller uzunlukta 10 mm artış, ANB açısında –11°'den –5°'e iyileşme ve gonial açıda 1°'lik azalma gözlenmiştir. Bu bulgular, BAMP sisteminin yalnızca maksillayı öne taşımakla kalmayıp mandibular büyüme yönünü de yeniden düzenlediğini göstermiştir. Mevcut çalışmada elde edilen sonlu elemanlar analizi sonuçları, bu klinik paternle yönsel olarak paralellik göstermektedir; zira modelde de maksiller kompleksin anterosüperior yönde translasyonel hareket sergilediği, mandibulanın ise ters yönde hafif ve kontrollü bir reaksiyonla yanıt verdiği saptanmıştır. Bununla birlikte, vaka raporunda bildirilen maksiller uzama ve açısal değişikliklerin aksine, bu çalışmada hareketlerin büyüklüğü daha sınırlı kalmış ve kuvvetin zamana bağlı kümülatif etkisi gözlemlenmemiştir. Bu fark, sonlu elemanlar modelinin yalnızca ilk kuvvet aktivasyonuna ve statik mekanik yanıtına odaklanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Vichare ve Vichare'nin çalışmasında, BAMP protokolünün mandibular büyümeyi tamamen baskılamadan yönlendirdiği, özellikle gonial açıdaki azalmanın yüz profilini olumlu etkilediği vurgulanmıştır; bu durum, mevcut analizde gözlenen mandibular ön segmentte minimal distalizasyon ve vertikal stabilitenin korunması ile mekanik açıdan örtüşmektedir.

Bu iki simülasyon karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, CM3 apareyinin etkileri daha çok dişsel seviyede yoğunlaşmış; özellikle maksiller kesiciler ve molarlarda koronal bölgelerde belirgin yer değiştirmeler ortaya çıkmıştır. Buna karşılık BAMP, kuvvetleri sutural düzeyde daha etkin iletmış, maksiller kompleksin anterior ve posterior bölgelerinde blok halinde bir hareket oluşturmuştur. Klinik açıdan bakıldığında, CM3 tedavisi dentoalveoler kompensasyona dayalı bir mekanizma ile kısa sürede sınıf III ilişkisini kamufle edebilmekte; ancak iskeletsel etkiler sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık BAMP, intermaksiller ve zigomatik suturlar üzerinden daha belirgin ortopedik katkı sağlayarak maksillayı blok halinde öne taşımaktadır.

Baccetti ve ark. (Baccetti ve ark., 2011), morfometrik analiz çalışmasında, büyüme dönemindeki Sınıf III bireylerde uygulanan BAMP protokolünün kraniyofasiyal yapı üzerinde oluşturduğu şekil ve boyutsal değişiklikler detaylı biçimde incelenmiştir. Araştırmada, tedavi grubunda maksiller kompleksin tamamında belirgin bir horizontal anterior deplasman olduğu, bu etkinin yalnızca A noktası ve anterior nazal spinle sınırlı kalmayıp, posterior nazal spin ve pterigomaksiller fissüre kadar uzandığı belirtilmiştir. Mandibular bölgede ise daha ılımlı bir horizontal retraksiyongözlenmiş; her iki çenede de dikey boyutta anlamlı bir deformasyon izlenmemiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmadaki sonlu elemanlar analizi bulgularıyla yönsel olarak büyük ölçüde örtüşmektedir. Burada da BAMP kuvvetlerinin maksiller kompleks boyunca anterosüperior yönlü homojen bir hareket oluşturduğu, mandibulada ise ters yönde sınırlı bir yanıt geliştiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, Baccetti ve ark.'nın klinik örnekleminde maksiller deformasyonun özellikle posterior segmentlerde (PNS ve pterigomaksiller bölgeler) belirginleştiği, mevcut çalışmada ise stresin daha çok intermaksiller sutur hattı ve alveoler bölgelerde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Bu fark, sonlu elemanlar modelinin kuvvet uygulama noktalarının daha lokalize olması ve yumuşak doku etkilerinin dışlanmasıyla kaynaklanabilir. Ayrıca, her iki çalışma da BAMP'ın dikey yönelimde istenmeyen değişiklik yaratmadığını, mandibular düzlem açısında artışa neden olmadığını ortaya koymaktadır. Baccetti ve ark.'nın büyüme döneminde gözlediği geniş hacimli morfometrik deformasyonlar, mevcut analizde gözlenen mekanik deplasman yönleriyle tutarlıdır ancak bu çalışma, o etkileri büyüme ve zaman faktörlerinden bağımsız biçimde, statik biyomekanik etki düzeyinde tanımlamaktadır.

Podda ve ark.'nın (Podda ve ark., 2025) sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasında, büyüme dönemindeki Sınıf III bireylerde iskeletsel ankraj ile konvansiyonel (diş destekli) ankraj protokollerinin klinik sonuçları karşılaştırılmış ve özellikle BAMP yönteminin kısa dönem etkinliğine dikkat çekilmiştir. Çalışmada, iskeletsel ankraj kullanan gruplarda SNA açısında ortalama $+2.5^\circ$, ANB açısında $+2.5^\circ$, Wits ölçümünde $+4.7$ mm'lik artışlar gözlenmiş; buna karşın vertikal değişimlerin (SN-MP açısı) daha iyi kontrol edildiği bildirilmiştir. Diş destekli (RME + FM) protokollerde ise üst kesici proklinasyonu ($U1-PP +5.6^\circ$) ve alt kesici retroklinasyonu ($IMPA -0.8^\circ$) gibi belirgin dentoalveoler yan etkilerle birlikte daha fazla overjet artışı elde edildiği, ancak bu durumun uzun dönem

stabiliteyi zayıflattığı vurgulanmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen sonlu elemanlar analizi bulguları, Podda ve ark.'nın sistematik değerlendirmesinde bildirilen biyomekanik eğilimleri doğrudan destekler niteliktedir. Analiz sonuçlarında, BAMP sisteminin kuvvetleri dişlerden ziyade sutural ve kortikal kemik yapılar üzerinden ileterek maksiller kompleksin ön yönelimli translasyonunu sağladığı, buna karşılık mandibulada yalnızca sınırlı bir distal tepki olduğu gözlenmiştir. Bu mekanik kuvvet yönelimi, meta-analizde tanımlanan “dentoalveoler yan etkilerin minimalizasyonu ve vertikal kontrolün korunması” bulgularıyla örtüşmektedir. Ayrıca her iki çalışmada da iskeletsel ankrajın, maksiller ilerlemeyi artırırken mandibular rotasyonu engelleyen daha dengeli bir kuvvet aktarımı sunduğu görülmüştür. Bununla birlikte, Podda ve ark. uzun dönem verilerin yetersizliğine ve örneklem çeşitliliğine dikkat çekmiştir; bu durum, mevcut analizde de gözlenen statik (anlık) kuvvet simülasyonunun klinik süreklilik açısından temsili sınırlarını işaret etmektedir.

5.3.2 Von Mises Gerilme Bulgularının Tartışması

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen CM3 simülasyonunda elde edilen Von Mises stres bulguları incelendiğinde, stresin özellikle maksiller birinci molar meziobukkal tüberkül bölgesinde ve premolar apekslerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Posterior dişler ön segmentlere göre daha yüksek yük taşıyıcı alanlar olarak öne çıkmış, anterior dişlerde ise nispeten daha düşük stres değerleri kaydedilmiştir. Mandibulada benzer şekilde, anterior alveoler proçes ve simfiz bölgelerinde stres birikimi belirginleşmiş, lateral ve bazal alanlarda ise stresin azaldığı gözlenmiştir. Bu dağılım, CM3'ün kuvvet aktarımında dentoalveoler yapılara ve mandibular ön segmente daha yoğun etki ettiğini göstermektedir.

Gentile ve ark.'nın (Gentile ve ark., 2023) olgu sunumunda, iskeletsel Sınıf III maloklüzyona sahip 16 yaşındaki bir erkek hasta, CM3 apareyi ve sabit ortodontik braket sistemi (SLX 3D) ile tedavi edilmiştir. Yaklaşık 25 aylık tedavi süreci sonunda hastada sınıf I molar ve kanin ilişkisi, ideal overjet ve overbite elde edilmiş; ANB açısında -1.7° 'den -1.2° 'ye sınırlı bir artış, SN-MP açısında 29° 'dan 26° 'ya düşüş ve üst kesicilerde hafif retrüzyon (U1-SN $120^\circ \rightarrow 118^\circ$) rapor edilmiştir. Çalışmada, CM3 apareyinin hem dental hem de kısmen iskeletsel düzeyde etkili olduğu, alt molarların intrüzyonu ve alt kaninlerin ekstrüzyonuna

bağlı olarak fonksiyonel kondiler yeniden konumlanma ve profil iyileşmesi sağladığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, elde edilen değişimlerin büyük ölçüde dentoalveoler adaptasyon kaynaklı olduğu ve iskeletsel düzeltmenin sınırlı kaldığı vurgulanmıştır. Mevcut çalışmadaki sonlu elemanlar analizinde, Von Mises stres dağılımı CM3 sisteminin biyomekanik karakteristiğini destekler niteliktedir. Analiz bulgularında, stresin maksiller posterior alveoler bölgelerde (özellikle 1. molar ve 2. premolar) yoğunlaştığı, anterior segmentlerde ise düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür; bu durum, Gentile ve ark.'nın çalışmasında bildirilen sınırlı maksiller protraksiyon ve dişsel hareket ağırlıklı değişim sonuçlarıyla uyumludur. Mandibulada ise en yüksek stresin 1. molar ve kanin bölgelerinde gözlenmesi, klinik olarak bildirilen kanin ekstrüzyonu ve mandibular ante-rotasyon ile paralellik göstermektedir. Ayrıca simülasyonda kraniyofasiyal suturlarda düşük stres değerleri kaydedilmiştir; bu da çalışmada vurgulanan iskeletsel etkilerin minimal olduğu ve düzeltmenin esasen alveoler ve oklüzal düzeyde gerçekleştiği bulgusunu desteklemektedir. Bununla birlikte, Gentile'nin olgusundaki profil iyileşmesi ve fonksiyonel oklüzyon kazanımı, simülasyonda modellenemeyen yumuşak doku adaptasyonu ve nöromüsküler denge gibi biyolojik faktörlerin katkısıyla açıklanabilir.

Sonuç olarak, CM3 apareyinin sonlu elemanlar analizi bulguları ile literatürde raporlanan klinik sonuçları karşılaştırıldığında, her iki yaklaşım da Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde belirgin dentoalveoler etkiler ortaya koymakta; ancak BAMP'a kıyasla iskeletsel stres dağılımı daha sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle CM3, özellikle dentoalveoler düzeyde etkili bir aparey olarak değerlendirilebilirken, sutural ve kraniyofasiyal stres aktarımı açısından BAMP kadar güçlü bir seçenek sunmamaktadır.

Alpaydın (Alpaydin, 2024), yaptığı çalışmada CM3 apareyi ile şeffaf plak apareyinin Sınıf III maloklüzyonlarda oluşturduğu distalizasyon paternlerini, sonlu elemanlar analizi yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada her iki apareyde de kuvvetler maksiller dişlerden ankraj alınarak mandibular dişlere aynı yön ve büyüklükte uygulanmış; mandibular kaninden ikinci molara kadar dişlerin yer değiştirme miktarları ve periodontal ligament üzerindeki Von Mises stres dağılımları analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, her iki apareyde de distalizasyon yönelimi benzer bulunmuş, ancak CM3 apareyinin oluşturduğu distal hareket miktarı daha yüksek saptanmıştır. Ayrıca en yüksek Von Mises stres değerinin her

iki apareyde de kanin bölgesinin meziobukkal kısmında yoğunlaştığı bildirilmiştir. Bu bulgular, CM3'ün biyomekanik olarak etkin bir distalizasyon kuvveti sağladığını ve şeffaf plakların benzer mekanik davranış sergileyebileceğini göstermektedir. Mevcut çalışmadaki CM3 simülasyon bulguları, Alpaydın'ın sonlu elemanlar analizine ait sonuçlarla büyük ölçüde örtüşmektedir. Bizim modelimizde de mandibular kanin ve 1. molar bölgelerinde yüksek Von Mises stres değerleri kaydedilmiş; buna karşılık kesici dişlerde düşük, posterior kök çevresinde belirgin stres birikimi gözlenmiştir. Bu dağılım, Alpaydın'ın rapor ettiği distalizasyon hattının kanin merkezli kuvvet aktarım paternini doğrular niteliktedir. Bununla birlikte, bizim simülasyonumuzda CM3'ün posterior segmentte oluşturduğu stres düzeyleri Alpaydın'ın modeline kıyasla daha belirgindir; bu farkın, bizim modelimizde kuvvetlerin maksiller dentisyon ve alveoler kemiğe doğrudan iletildiği, dolayısıyla çift çene etkileşimini de içeren daha kompleks bir yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmamızda ayrıca BAMP simülasyonu sonucunda elde edilen von Mises stres dağılımları, özellikle maksiller ve mandibular kemiklerde gerilme alanlarının farklı anatomik bölgelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Maksillada intermaksiller sutur ve posterior alveoler proçes bölgelerinde streslerin daha belirgin olduğu, mandibulada ise anterior alveoler proçes ve simfiz bölgelerinin daha yüksek stres değerleri sergilediği saptanmıştır. Bu bulgular, uygulanan kuvvetlerin hem anterior hem de posterior bölgelerde farklı biyomekanik yanıtlar oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, Garg ve çalışma arkadaşlarının (Garg ve ark., 2023) intraoral iskeletsel ankrajlı maksiller protraksiyon (I-SAMP) üzerine yaptıkları sonlu elemanlar analizinde de kuvvetlerin iletiminde özellikle zigomatikotemporal, zigomatikomaksiller ve sfenozigomatik suturların kritik rol üstlendiğini rapor etmişlerdir. Çalışmada elastiklerin farklı açılardan (10°, 20°, 30°) uygulanması değerlendirilmiş ve açının küçülmesiyle birlikte zigomatikomaksiller kompleksin daha ileriye doğru yer değiştirdiği, dolayısıyla sutur bölgelerindeki stres ve deplasman dağılımının daha yoğunlaştığı bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise BAMP uygulamasında von Mises streslerinin özellikle intermaksiller suturda ve alveoler bölgelerde yoğunlaşması, I-SAMP çalışmasında tanımlanan “kritik sutur bölgeleri” bulgularıyla uyumludur. Ancak, bizim çalışmamızda mandibulada da anlamlı stres birikimleri gözlenmiş olup (örneğin

anterior alveoler proçes), I-SAMP çalışmasının mandiblada yalnızca minimal deplasman ve saat yönlü rotasyon rapor etmesiyle karşılaştırıldığında farklılık göstermektedir. Bu durum, kullanılan kuvvetlerin yönü ve büyüklüğü ile modelleme koşullarının farklılığından kaynaklanıyor olabilir.

Yan ve ark.'nın (Yan ve ark., 2013) yaptıkları sonlu elemanlar analizinde, maksiller protraksiyonun dişsel ve iskeletsel ankraj farklılıkları araştırılmıştır. Çalışmada 500 gr kuvvet, 0°, 10°, 20° ve 30° açılardan uygulanmış ve ankraj tipine bağılı olarak farklı biyomekanik yanıtlar elde edilmiştir. Özellikle posterior suturlarda stres birikiminin iskeletsel ankraj (infrazigomatik buttress) modelinde daha yüksek olduğu, anterior bölgelerde ise dişsel ankraj modelinde streslerin daha çok yoğunlaştığı rapor edilmiştir. Bu sonuç, mevcut çalışmamızda gözlenen bulgularla uyumludur; zira bu çalışmada da posterior bölgelerde (PNS ve tüber çevresi) stres dağılımının belirginleştiğı, anterior bölgelerde ise görece sınırlı kaldığı ortaya konmuştur.

Suresh ve ark.'nın (Suresh ve ark., 2021) sonlu elemanlar analizinde, BAMP protokolünü MARPE (mikroimplant destekli hızlı maksiller genişletme) ile birlikte ve MARPE olmaksızın karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, her iki protokolde de kraniyofasiyal yapılarda üç boyutlu değişimler meydana geldiğini, ancak MARPE'nin eklenmesiyle maksiller protraksiyonun daha belirginleştiğini ve Von Mises stres değerlerinin anlamlı şekilde arttığını bildirmişlerdir. Özellikle zigomatikomaksiller suturda stres değerlerinin MARPE ile birlikte 4,3 MPa seviyelerine ulaştığı, buna karşın MARPE'siz protokolde yalnızca 1,13 MPa ölçüldüğü rapor edilmiştir. Ayrıca, pterygomaksiller, zigomatikotemporal ve frontonazal suturlar da MARPE'nin eklenmesiyle daha yüksek stres değerleri göstermiştir. Bizim çalışmamızda BAMP uygulaması sırasında intermaksiller sutur ve maksiller posterior bölgelerde belirgin stres artışı gözlenmiş, zigomatikomaksiller suturun ise kuvvet iletiminde kritik bir rol üstlendiğı ortaya konmuştur. Suresh ve arkadaşlarının çalışmasında MARPE'nin sağladığı ek genişletme, suturlarda stresin daha homojen ve yüksek düzeyde dağılımını sağlamıştır. Özellikle MARPE'nin eklenmesiyle Von Mises stres değerlerinin artması, klinik uygulamalarda maksiller protraksiyonun etkinliğini artırabilecek potansiyel bir avantaj sunmaktadır.

Vracar ve ark. (Vracar ve ark., 2021), BAMP'ın çevre kraniyofasiyal suturlar üzerindeki etkilerini ex-vivo modelde değerlendirmişlerdir. Çalışmada

domuz kafatasları üzerinde miniplak ve molar tüpler klinik prosedüre benzer şekilde uygulanmış, ardından artan kuvvetlerde elastikler ile BAMP ve Yüz maskesi karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, BAMP'ın zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal suturlarda yüz maskesine kıyasla sırasıyla yaklaşık 5 kat ve 2 kat daha fazla deformasyona yol açtığını göstermiştir. Ayrıca nasofrontal suturda da BAMP grubunda anlamlı düzeyde yüksek deformasyon saptanmıştır. Araştırmacılar, her iki yöntemin suturlar üzerinde etkili olduğunu; ancak BAMP'ın özellikle zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal bölgelerinde daha güçlü sutural ayrılma sağladığını ve bunun da maksiller protraksiyon başarısını açıklayan biyomekanik bir avantaj sunduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmadaki BAMP simülasyonunun sutural stres dağılımı bulgularıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Bizim analizimizde en yüksek Von Mises streslerinin intermaksiller suturun inferior ve orta segmentlerinde yoğunlaştığı, zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal suturlarda ise daha düşük ancak dengeli bir stres aktarımı gerçekleştiği gözlenmiştir. Her iki çalışmada da kuvvetlerin zigomatik kompleks üzerinden anterosüperior yönlü bir translasyon ve sutural açılma paternine yol açtığı görülmektedir. Bununla birlikte, Vracar ve ark.'nın ex-vivo ortamda ölçtüğü mikro düzeyde sutural deformasyon değerleri, mevcut çalışmadaki dijital sonlu elemanlar modelinde hesaplanan Von Mises stres değerlerinden farklı büyüklüklerde seyretmektedir. Bu fark, canlı dokulardaki viskoelastik yanıt ve kemik-sutur arayüzünün üç boyutlu rijitliği gibi biyolojik faktörlerin modelde sınırlı biçimde temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Hino ve çalışma arkadaşları (Hino ve ark., 2013), RME/FM (hızlı maksiller ekspansiyon + yüz maskesi) ile BAMP'un maksilla ve zigomatik yapılar üzerindeki etkilerini üç boyutlu analizle karşılaştırmışlardır. Çalışmada 46 Sınıf III maloklüzyonlu hasta değerlendirilmiş; RME/FM grubunda 21, BAMP grubunda ise 25 olgu incelenmiştir. Sonuçlara göre, maksilla ve zigomaların ortopedik protraksiyonu RME/FM grubunda ortalama 2,6 mm, BAMP grubunda ise 3,7 mm olup istatistiksel olarak anlamlı fark göstermiştir. Maksiller kesicilerdeki dental değişim ise RME/FM'de 3,2 mm, BAMP'ta 4,3 mm olarak bulunmuştur. RME/FM uygulanan hastaların yaklaşık yarısında iskeletsel değişimden daha belirgin dental kompensasyon gözlenirken, BAMP grubunda bu oran daha düşük kalmıştır. Ayrıca maksillanın dikey yönde deplasmanı RME/FM grubunda daha sık (%33) görülmüş, BAMP grubunda ise %17 oranında tespit edilmiştir. Araştırmacılar, her iki tedavi

yaklaşımının da maksilla ve zigomaların protraksiyonunu sağladığını, ancak BAMP'ın daha fazla iskeletsel etki oluşturduğunu ve dikey yönlü istenmeyen hareketlerin daha sınırlı olduğunu vurgulamışlardır.

Al Dayeh ve ark. (Al Dayeh ve ark., 2019), BAMP ve Yüz Maskesi'nin zigomatikomaksiller sutur ile nazofrontal sutur üzerindeki etkilerini ex-vivo bir modelde karşılaştırmışlardır. Çalışmada domuz başları kullanılarak her iki tedavi yönteminde sutural deformasyon ölçülmüştür. Bulgular, BAMP uygulamasının Yüz Maskesi'ne kıyasla daha yüksek düzeyde sutural separasyona yol açtığını göstermiştir. Tek taraflı uygulamalarda, her iki yöntemde de ipsilateral zigomatikomaksiller sutur ve nazofrontal suturda gerilme, karşı tarafta ise kompresyon gözlenmiş, ancak bu etkilerin büyüklüğü BAMP grubunda daha fazla gözlenmiştir. Çift taraflı uygulamalarda ise her iki yöntem de zigomatikomaksiller suturda gerilme oluşturmuş, yine BAMP grubunda etkiler daha belirgin olmuştur. nazofrontal suturdaki deformasyon yönü ise farklılık göstermiş; BAMP'ta çoğunlukla gerilme, Yüz Maskesi'nde ise çoğunlukla kompresyon tespit edilmiştir. Araştırmacılar, BAMP'ın orta yüzün öne doğru yer değiştirmesi ile uyumlu bir deformasyon paterni oluşturduğunu, buna karşın Yüz Maskesi'nin daha çok maksillanın yukarı ve geriye rotasyonuna neden olduğunu bildirmiştir.

Shyagali ve ark. (Shyagali ve ark., 2023), yaptıkları sonlu elemanlar analizinde, Sınıf III iskeletsel maloklüzyona sahip büyüme dönemindeki hastalarda BAMP, posterior bite plane ve RME ile birlikte uygulandığında kraniyofasiyal bölgede oluşturduğu stres dağılımları ve deplasmanlar incelenmiştir. Oluşturulan üç boyutlu modelde (105.189 düğüm, 481.066 eleman), uygulanan kuvvetler sonucunda maksillanın belirgin şekilde öne (0,692 mm) ve transvers yönde genişlediği; mandibulanın ise geriye doğru (0,204 mm) deplase olduğu görülmüştür. Ayrıca maksilla ve mandibula ön bölgeleri, dentisyon ve nazal kemikte saat yönünün tersine rotasyon izlenmiştir. Mandibulada en büyük yukarı yönlü hareketin simfiz bölgesinde meydana geldiği rapor edilmiştir. Çalışmada kemiklerin büyük kısmında tensil stresler gözlenmiş olup, bu streslerin en yüksek seviyede maksilla ve maksiller dentisyonunda yoğunlaştığı saptanmıştır. Araştırmacılar, BAMP'ın RME ve posterior bite plane ile kombine edildiğinde maksillanın ileri yönde hareketini ve mandibulanın geriye deplasmanını desteklediğini, ayrıca kraniyofasiyal yapılarda yaygın ve klinik olarak olumlu kabul edilebilecek tensil stresler oluşturduğunu bildirmişlerdir. Bu bulgular, BAMP'ın

biyomekanik etkilerinin büyüme dönemindeki Sınıf III hastalarda iskeletsel düzeltmeleri destekleyici yönde olduğunu göstermektedir.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

- 1- BAMP simülasyonunun öne çıkan sonucu, maksillanın mandibulaya oranla daha belirgin bir yer değiştirme göstermesidir. Bu, maksiller protraksiyonun iskeletsel temelde başarılı bir şekilde sağlandığını göstermekte ve literatürde belirtilen iskeletsel sınıf III düzeltmedeki etkinliği işaret etmektedir.
- 2- BAMP tedavisinde mandibular posterior dişlerin büyük ölçüde stabil kaldığı; buna karşılık, mandibular anterior dişlerde nispeten düşük seviyede bir yer değiştirme görüldüğü tespit edilmiştir. Bu bulgu, BAMP tedavisinin alt dişler üzerindeki istenmeyen hareketleri büyük oranda kısıtlayabildiğini işaret etmektedir.
- 3- BAMP simülasyonunda maksilla üzerindeki yer değiştirmelerin zigomatik kemikle kıyaslandığında daha büyük olduğu raporlanmıştır. Bu, BAMP yaklaşımının iskeletsel etkisinin özellikle maksilla üzerinde yoğunlaştığını ve üst çene bölgesinde istenen düzeyde deformasyon elde edilebildiğini göstermektedir.
- 4- Suturlar ve kemik yapıları arasındaki yer değiştirme büyüklüklerinin benzer düzeyde olması, uygulanan kuvvetlerin hem sutur aralıklarında hem de kortikal/trabeküler kemik dokularında dengeli bir deformasyon oluşturduğunu göstermektedir.
- 5- CM3 modelinde oluşan yer değiştirme ve gerilmeler incelendiğinde, mandibular dişlerin distalizasyonu sırasında kanin dışında bukkal yönde kuvvet vektörü olduğu gözlemlenmiştir.
- 6- CM3 yaklaşımında kuvvet uygulamasının daha büyük olması ve diş köklerinin maksillayı etkilemesinden ötürü sadece dişsel konum değişiklikleriyle sınırlı kalmadığı, iskeletsel yapılarda da stres meydana getirebildiği saptanmıştır.
- 7- CM3 simülasyonunda mandibuler arkta distalizasyon için elastik kuvvetin doğrudan maksiller molar tüp üzerinden uygulanması, özellikle maksiller birinci molar diş üzerinde yoğun stres birikimine neden olmuştur. Ancak premolar ve ikinci molar üzerinde bu stresin kademeli olarak dağıldığı da kaydedilmiştir. Birinci molardaki yüksek stres birikimi, uzun vadede kök rezorpsiyonu veya periodontal riskleri

artırabilir. Aligner veya aksesuar aparatların doğru konumlandırılmasına dikkat edilmelidir.



KAYNAKLAR

- Ackerman, J. L., & Proffit, W. R. (1969). The characteristics of malocclusion: a modern approach to classification and diagnosis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 56(5), 443-454.
- Al Dayeh, A., Williams, R. A., Trojan, T. M., & Claro, W. I. (2019). Deformation of the zygomaticomaxillary and nasofrontal sutures during bone-anchored maxillary protraction and reverse-pull headgear treatments: an ex-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 156(6), 745-757.
- Alcan, T., Keles, A., & Erverdi, N. (2000). The effects of a modified protraction headgear on maxilla. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 117(1), 27-38.
- Alpaydin, M. T. (2024). Comparison of different distalization patterns in Class III malocclusions. *Int Dent J*, 74, S148-S149.
- Altug, Z., & Arslan, A. D. (2006). Skeletal and dental effects of a mini maxillary protraction appliance. *Angle Orthod*, 76(3), 360-368.
- An, S.-Y., Park, S.-Y., Jeon, E.-Y., & Shim, Y.-S. (2020). Application of New Appliances for Management of Growing Class III Malocclusion Child: Comparazation Case Reports. *J Dent Hyg Sci*, 20(2), 118-124.
- Angelieri, F., Franchi, L., Cevidanes, L. H., Hino, C. T., Nguyen, T., & McNamara Jr, J. (2017). Zygomaticomaxillary suture maturation: A predictor of maxillary protraction? Part I-A classification method. *Orthod Craniofac Res*, 20(2), 85-94.
- Angle, E. H. (1899). Classification of malocclusion. *J Am Dent Assoc*, 41, 350-357.
- Arman, A., Toygar, T. U., & Abuhijleh, E. (2006). Evaluation of maxillary protraction and fixed appliance therapy in Class III patients. *Eur J Orthod*, 28(4), 383-392.
- Arvystas, M. G. (1998). The rationale for early orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(1), 15-18.
- Aslan, B. I., Qasem, M. A., & Dinçer, M. (2013). Maxillary protraction in a case with miniscrew bone anchorage. *J Orthop Res*, 1(2), 77.
- Baccetti, T., De Clerck, H., Cevidanes, L., & Franchi, L. (2011). Morphometric analysis of treatment effects of bone-anchored maxillary protraction in growing Class III patients. *Eur J Orthod*, 33(2), 121-125.
- Baccetti, T., Franchi, L., & McNamara Jr, J. A. (2000). Treatment and posttreatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 118(4), 404-413.
- Baccetti, T., Franchi, L., McNamara Jr, J. A., & Tollaro, I. (1997). Early dentofacial features of Class II malocclusion: a longitudinal study from the deciduous through the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 111(5), 502-509.
- Baccetti, T., McGill, J. S., Franchi, L., McNamara Jr, J. A., & Tollaro, I. (1998). Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(3), 333-343.
- Baik, H. S. (1995). Clinical results of the maxillary protraction in Korean children. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 108(6), 583-592.
- Baik, H. S., Jee, S. H., Lee, K. J., & Oh, T. K. (2004). Treatment effects of Fränkel functional regulator III in children with Class III malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 125(3), 294-301.
- Battagel, J. M. (1993). The aetiological factors in Class III malocclusion. *Eur J Orthod*, 15(5), 347-370.
- Bernabé, E., Sheiham, A., & de Oliveira, C. M. (2008). Condition-specific impacts on quality of life attributed to malocclusion by adolescents with normal occlusion and Class I, II and III malocclusion. *Angle Orthod*, 78(6), 977-982.
- Biren, S., & Erverdi, N. (1993). Cephalometric evaluation of maxillary retrognathism cases treated with FR-3 appliance. *J Marmara Univ Dent Fac*, 1(4), 354-360.
- Boryor, A., Geiger, M., Hohmann, A., Wunderlich, A., Sander, C., Sander, F. M., & Sander, F. G. (2008). Stress distribution and displacement analysis during an intermaxillary disjunction—a three-dimensional FEM study of a human skull. *J Biomech*, 41(2), 376-382.
- Broadbent, B. H. (1931). A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod*, 1(2), 45-66.
- Burns, N. R., Musich, D. R., Martin, C., Razmus, T., Gunel, E., & Ngan, P. (2010). Class III camouflage treatment: what are the limits? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(1), 9. e1-9. e13.

- Campbell, P. M. (1983). The dilemma of Class III treatment: early or late? *Angle Orthod*, 53(3), 175-191.
- Caputo, A. A., Chaconas, S. J., & Hayashi, R. K. (1974). Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 65(3), 250-259.
- Carrière, L. (2004). A new Class II distalizer. *J Clin Orthod*, 38(4), 224-231.
- Cattaneo, P., Dalstra, M., & Melsen, B. (2005). The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement. *J Dent Res*, 84(5), 428-433.
- Cattaneo, P. M., Dalstra, M., & Melsen, B. (2003). The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123(4), 367-373.
- Celikoglu, M., Akpınar, S., & Yavuz, I. (2010). The pattern of malocclusion in a sample of orthodontic patients from Turkey. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 15(5), e791-796.
- Cevidanes, L., Baccetti, T., Franchi, L., McNamara Jr, J. A., & De Clerck, H. (2010). Comparison of two protocols for maxillary protraction: bone anchors versus face mask with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*, 80(5), 799-806.
- Cha, K.-S. (2003). Skeletal changes of maxillary protraction in patients exhibiting skeletal class III malocclusion: a comparison of three skeletal maturation groups. *Angle Orthod*, 73(1), 26-35.
- Chauhan, D., Sachdev, V., Chauhan, T., & Gupta, K. K. (2013). A study of malocclusion and orthodontic treatment needs according to dental aesthetic index among school children of a hilly state of India. *J Int Soc Prev Community Dent*, 3(1), 32-37.
- Chen, F., Terada, K., Hanada, K., & Saito, I. (2006). Anchorage effect of palatal implants under various forces: A finite element study. *Orthod Waves*, 65(1), 1-8.
- Chen, Y.-J., Yao, C.-C., Chang, Z.-C., Lai, H.-H., Lu, S.-C., & Kok, S.-H. (2016). A new classification of mandibular asymmetry and evaluation of surgical-orthodontic treatment outcomes in Class III malocclusion. *J Craniomaxillofac Surg*, 44(6), 676-683.
- Cornelis, M. A., Scheffler, N. R., Mahy, P., Siciliano, S., De Clerck, H. J., & Tulloch, J. C. (2008). Modified miniplates for temporary skeletal anchorage in orthodontics: placement and removal surgeries. *Int J Clin Oral Maxillofac Surg*, 66(7), 1439-1445.
- Cornelis, M. A., Tepedino, M., Riis, N. d. V., Niu, X., & Cattaneo, P. M. (2021). Treatment effect of bone-anchored maxillary protraction in growing patients compared to controls: a systematic review with meta-analysis. *Eur J Orthod*, 43(1), 51-68.
- Cozzani, G. (1981). Extraoral traction and Class III treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 80(6), 638-650.
- Craig, R. G., Peyton, F. A., & Asgar, K. (1975). *Restorative dental materials*. CV Mosby Company.
- Creekmore, T. (1978). Class III treatment planning. *J Clin Orthod*, 12(9), 650-655.
- da Silva Filho, O. G., Magro, A. C., & Capelozza Filho, L. (1998). Early treatment of the Class III malocclusion with rapid maxillary expansion and maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(2), 196-203.
- Dacosta, O. (1999). The prevalence of malocclusion among a population of northern Nigeria school children. *West Afr J Med*, 18(2), 91-96.
- De Clerck, H., Cevidanes, L., & Baccetti, T. (2010). Dentofacial effects of bone-anchored maxillary protraction: a controlled study of consecutively treated Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 138(5), 577-581.
- De Clerck, H. J., Cornelis, M. A., Cevidanes, L. H., Heymann, G. C., & Tulloch, C. J. (2009). Orthopedic traction of the maxilla with miniplates: a new perspective for treatment of midface deficiency. *Int J Clin Oral Maxillofac Surg*, 67(10), 2123-2129.
- Deguchi, T. (1998). Force distribution of the temporomandibular joint and temporal bone surface subjected to the head-chin cup force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114(3), 277-282.
- Deguchi, T., & McNamara, J. A. (1999). Craniofacial adaptations induced by chin cup therapy in Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 115(2), 175-182.
- Dehesa-Santos, A., Iber-Diaz, P., & Iglesias-Linares, A. (2021). Genetic factors contributing to skeletal class III malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*, 25, 1587-1612.
- Delaire, J. (1971). Manufacture of the "orthopedic mask". *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*, 72(5), 579-582.
- Doğan, S., & Ertürk, N. (1991). Use of the face mask in the treatment of maxillary retrusion—a case report. *J Orthod*, 18(4), 333-338.
- Doraczynska-Kowalik, A., Nelke, K. H., Pawlak, W., Sasiadek, M. M., & Gerber, H. (2017). Genetic factors involved in mandibular prognathism. *J Craniofac Surg*, 28(5), e422-e431.

- Dowling, P. A., Espeland, L., Sandvik, L., Mobarak, K. A., & Hogevoid, H. E. (2005). LeFort I maxillary advancement: 3-year stability and risk factors for relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 128(5), 560-567.
- Ellis III, E., & McNamara Jr, J. A. (1984). Components of adult Class III malocclusion. *Int J Clin Oral Maxillofac Surg*, 42(5), 295-305.
- Elnagar, M. H., Elshourbagy, E., Ghobashy, S., Khedr, M., & Evans, C. A. (2016). Comparative evaluation of 2 skeletally anchored maxillary protraction protocols. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 150(5), 751-762.
- Elnagar, M. H., Elshourbagy, E., Ghobashy, S., Khedr, M., & Evans, C. A. (2017). Dentoalveolar and arch dimension changes in patients treated with miniplate-anchored maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 151(6), 1092-1106.
- Enacar, A., Giray, B., Pehlivanoglu, M., & Iplikcioglu, H. (2003). Facemask therapy with rigid anchorage in a patient with maxillary hypoplasia and severe oligodontia. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123(5), 571-577.
- Franchi, L., & Baccetti, T. (2006). Prediction of individual mandibular changes induced by functional jaw orthopedics followed by fixed appliances in Class II patients. *Angle Orthod*, 76(6), 950-954.
- Fränkel, R. (1970). Maxillary retrusion in Class 3 and treatment with the function corrector 3. *Eur J Orthod*.
- Franklin, F. (1998). Stress analysis. *Mechanical Engineers' Handbook*. In: Wiley Interscience.
- Garg, D., Rai, P., Tripathi, T., & Kanase, A. (2023). Effects of different force directions of intra-oral skeletally anchored maxillary protraction on craniomaxillofacial complex, in Class III malocclusion: a 3D finite element analysis. *Dental Press J Orthod*, 27, e2220377.
- Gautam, P., Valiathan, A., & Adhikari, R. (2009). Skeletal response to maxillary protraction with and without maxillary expansion: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 135(6), 723-728.
- Gelgör, İ. E., Karaman, İ. A., & Ercan, E. (2007). Prevalence of malocclusion among adolescents in central anatolia. *European J Dent*, 1(03), 125-131.
- Geng, J.-P., Tan, K. B., & Liu, G.-R. (2001). Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent*, 85(6), 585-598.
- Gentile, A., Ferrara, D., Maci, M., & Ciavarella, D. (2023). Correction of Class III Malocclusion Treated with Carriere® Motion™. *Case Rep Dent*, 2023(1), 8848581.
- Georgalis, K., & Woods, M. G. (2015). A study of Class III treatment: orthodontic camouflage vs orthognathic surgery. *Aust Orthod J*, 31(2), 138-148.
- Ghiz, M. A., Ngan, P., & Gunel, E. (2005). Cephalometric variables to predict future success of early orthopedic Class III treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 127(3), 301-306.
- Gokalp, H., Güney, V., & Kurt, G. (2010). Late growth period orthopedic therapy versus bimaxillary surgery for correction of skeletal class III. *J Craniofac Surg*, 21(3), 741-747.
- Göyenc, Y., & Ersoy, Ş. (2004). The effect of a modified reverse headgear force applied with a facebow on the dentofacial structures. *Eur J Orthod*, 26(1), 51-57.
- Graber, T. (1967). Panoramic radiography in orthodontic diagnosis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 53(11), 799-821.
- Graber, T., Vanarsdall, R. L., & Vig, K. (2005). Current principles and techniques. *Orthodontic Book, USA*, 607-611.
- Guyer, E. C., Ellis III, E. E., McNamara Jr, J. A., & Behrents, R. G. (1986). Components of Class III malocclusion in juveniles and adolescents. *Angle Orthod*, 56(1), 7-30.
- Hardy, D. K., Cubas, Y. P., & Orellana, M. F. (2012). Prevalence of angle class III malocclusion: A systematic review and meta-analysis.
- Hegmann, M., & Rütther, A.-K. (2003). The Grummons face mask as an early treatment modality within a class III therapy concept. *J Orofac Orthop*, 64(6), 450-456.
- Heymann, G. C., Cevidanes, L., Cornelis, M., De Clerck, H. J., & Tulloch, J. C. (2010). Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(2), 274-284.
- Hino, C. T., Cevidanes, L. H., Nguyen, T. T., De Clerck, H. J., Franchi, L., & McNamara Jr, J. A. (2013). Three-dimensional analysis of maxillary changes associated with facemask and rapid maxillary expansion compared with bone anchored maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144(5), 705-714.
- Holberg, C., Mahaini, L., & Rudzki, I. (2007). Analysis of sutural strain in maxillary protraction therapy. *Angle Orthod*, 77(4), 586-594.

- Hong, H., Ngan, P., Li, H. G., Qi, L. G., & Wei, S. H. (2005). Use of onplants as stable anchorage for facemask treatment: a case report. *Angle Orthod*, 75(3), 453-460.
- Ishii, H., Morita, S., Takeuchi, Y., & Nakamura, S. (1987). Treatment effect of combined maxillary protraction and chin cap appliance in severe skeletal Class III cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 92(4), 304-312.
- Işeri, H., Tekkaya, A. E., Öztan, Ö., & Bilgic, S. (1998). Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod*, 20(4), 347-356.
- Jacobson, A., Evans, W., Preston, C., & Sadowsky, P. (1974). Mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 66(2), 140-171.
- Jafari, A., Shetty, K. S., & Kumar, M. (2003). Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces—a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod*, 73(1), 12-20.
- JD, R. (1988). Occlusal parafunction. *A textbook of occlusion*, 249-261.
- Jena, A., Duggal, R., Mathur, V., & Parkash, H. (2005). Class-III malocclusion: genetics or environment? A twins study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 23(1), 27-30.
- Joondeph, D. R. (1993). Early orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 104(2), 199-200.
- Joshi, N., Hamdan, A. M., & Fakhouri, W. D. (2014). Skeletal malocclusion: a developmental disorder with a life-long morbidity. *J Clin Orthod*, 6(6), 399.
- Kajiyama, K., Murakami, T., & Suzuki, A. (2004). Comparison of orthodontic and orthopedic effects of a modified maxillary protractor between deciduous and early mixed dentitions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(1), 23-32.
- Kamath, A., Sudhakar, S. S., Kannan, G., Rai, K., & Sb, A. (2022). Bone-anchored maxillary protraction (BAMP): a review. *J Orthod Sci*, 11(1), 8.
- Kambara, T. (1977). Dentofacial changes produced by extraoral forward force in the *Macaca irus*. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 71(3), 249-277.
- Kapust, A. J., Sinclair, P. M., & Turley, P. K. (1998). Cephalometric effects of face mask/expansion therapy in Class III children: a comparison of three age groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(2), 204-212.
- Katyal, V., Wilmes, B., Nienkemper, M., Darendeliler, M., Sampson, W., & Drescher, D. (2016). The efficacy of Hybrid Hyrax-Mentoplate combination in early Class III treatment: a novel approach and pilot study. *Aust Orthod J*, 32(1), 88-96.
- Kaya, D., Kocadereli, I., Kan, B., & Tasar, F. (2011). Effects of facemask treatment anchored with miniplates after alternate rapid maxillary expansions and constrictions; a pilot study. *Angle Orthod*, 81(4), 639-646.
- Kılıçoğlu, H., & Kırılıç, Y. (1998). Profile changes in patients with class III malocclusions after Delaire mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 113(4), 453-462.
- Kim, C.-S., Lee, S.-C., Kyung, H.-M., Park, H.-S., & Kwon, T.-G. (2014). Stability of mandibular setback surgery with and without presurgical orthodontics. *Int J Clin Oral Maxillofac Surg*, 72(4), 779-787.
- Kim, J.-H., Viana, M. A., Graber, T. M., Omerza, F. F., & BeGole, E. A. (1999). The effectiveness of protraction face mask therapy: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 115(6), 675-685.
- Kim, J.-W., Park, S.-H., Jang, J.-H., Kim, M.-R., & Kim, S.-J. (2011). Maxillary distraction osteogenesis in the management of cleft lip and palate: report of 2 cases. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 37(4), 321-328.
- Kircelli, B. H., & Pektas, Z. Ö. (2008). Midfacial protraction with skeletally anchored face mask therapy: a novel approach and preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133(3), 440-449.
- Knoell, A. (1977). A mathematical model of an in vitro human mandible. *Journal of biomechanics*, 10(3), 159-166.
- Ko, E. W.-C., Hsu, S. S.-P., Hsieh, H.-Y., Wang, Y.-C., Huang, C. S., & Chen, Y. R. (2011). Comparison of progressive cephalometric changes and postsurgical stability of skeletal Class III correction with and without presurgical orthodontic treatment. *Int J Clin Oral Maxillofac Surg*, 69(5), 1469-1477.
- Lee, C.-H., Park, H.-H., Seo, B.-M., & Lee, S.-J. (2017). Modern trends in Class III orthognathic treatment: A time series analysis. *Angle Orthod*, 87(2), 269-278.
- Lee, H., Ting, K., Nelson, M., Sun, N., & Sung, S.-J. (2009). Maxillary expansion in customized finite element method models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136(3), 367-374.

- Lee, J.-W., Park, K.-H., Kim, S.-H., Park, Y.-G., & Kim, S.-J. (2011). Correlation between skeletal changes by maxillary protraction and upper airway dimensions. *Angle Orthod*, 81(3), 426-432.
- Lew, K., Foong, W., & Loh, E. (1993). Malocclusion prevalence in an ethnic Chinese population. *Aust Dent J*, 38(6), 442-449.
- Lin, Y., Guo, R., Hou, L., Fu, Z., & Li, W. (2018). Stability of maxillary protraction therapy in children with Class III malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*, 22(7), 2639-2652.
- Litton, S. F., Ackermann, L. V., Isaacson, R. J., & Shapiro, B. L. (1970). A genetic study of Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 58(6), 565-577.
- Macdonald, K. E., Kapust, A. J., & Turley, P. K. (1999). Cephalometric changes after the correction of Class III malocclusion with maxillary expansion/facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 116(1), 13-24.
- Mackerle, J. (2004). Finite element modelling and simulations in dentistry: a bibliography 1990–2003. *Comput Methods Appl Mech Eng*, 7(5), 277-303.
- Major, M. P., Wong, J. K., Saltaji, H., Major, P. W., & Flores-Mir, C. (2012). Skeletal anchored maxillary protraction for midface deficiency in children and early adolescents with Class III malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *J World Fed Orthod*, 1(2), e47-e54.
- Marghitu, D. B. (2001). *Mechanical engineer's handbook*. Elsevier.
- Maspero, C., Galbiati, G., Perillo, L., Favero, L., & Giannini, L. (2012). Orthopaedic treatment efficiency in skeletal Class III malocclusions in young patients: RME-face mask versus TSME. *Eur J Orthod*, 13(3), 225-230.
- McNamara Jr, J. A. (1987). An orthopedic approach to the treatment of Class III malocclusion in young patients. *J Clin Orthod*, 21(9), 598-608.
- McNamara Jr, J. A., & Bryan, F. A. (1987). Long-term mandibular adaptations to protrusive function: an experimental study in Macaca mulatta. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 92(2), 98-108.
- McNamara Jr, J. A., Franchi, L., McClatchey, L. M., Kowalski, S. E., & Cheeseman, C. C. (2021). Evaluation of adolescent and adult patients treated with the Carriere Motion Class III appliance followed by fixed appliances. *Angle Orthod*, 91(2), 149-156.
- McNamara Jr, J. A., & Hulse, S. A. (1985). The functional regulator (FR-3) of Fränkel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 88(5), 409-424.
- McNeill, C. (1997). Science and practice of occlusion. (*No Title*).
- Mermigos, J., Full, C. A., & Andreasen, G. (1990). Protraction of the maxillofacial complex. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98(1), 47-55.
- Mitani, H. (2002). Early application of chintrap therapy to skeletal Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 121(6), 584-585.
- Mitani, H., & Fukazawa, H. (1986). Effects of chintrap force on the timing and amount of mandibular growth associated with anterior reversed occlusion (Class III malocclusion) during puberty. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 90(6), 454-463.
- Miyasaka-Hiraga, J., Tanne, K., & Nakamura, S. (1994). Finite element analysis for stresses in the craniofacial sutures produced by maxillary protraction forces applied at the upper canines. *J Orthod*, 21(4), 343-348.
- Moaveni, S. (2011). *Finite element analysis theory and application with ANSYS*, 3/e. Pearson Education India.
- Mobarak, K. A., Krogstad, O., Espeland, L., & Lyberg, T. (2000). Long-term stability of mandibular setback surgery: a follow-up of 80 bilateral sagittal split osteotomy patients. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*, 15(2), 83-95.
- Mow, V. C., & Huiskes, R. (2005). *Basic orthopaedic biomechanics & mechano-biology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Moyers, R. (1988). handbook of orthodontics 4 th edition. In: Chicago book medel publisher.
- Mtaya, M., Brudvik, P., & Åström, A. N. (2009). Prevalence of malocclusion and its relationship with socio-demographic factors, dental caries, and oral hygiene in 12-to 14-year-old Tanzanian schoolchildren. *Eur J Orthod*, 31(5), 467-476.
- Mulier, D., Gaitán Romero, L., Führer, A., Martin, C., Shujaat, S., Shaheen, E., Politis, C., & Jacobs, R. (2021). Long-term dental stability after orthognathic surgery: a systematic review. *Eur J Orthod*, 43(1), 104-112.

- Nakasima, A., Ichinose, M., Nakata, S., & Takahama, Y. (1982). Hereditary factors in the craniofacial morphology of Angle's Class II and Class III malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 82(2), 150-156.
- Nanda, R. (1980). Biomechanical and clinical considerations of a modified protraction headgear. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 78(2), 125-139.
- Nanda, R. (2005). *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. J Res Health Sci.
- Nanda, S. K. (1990). Growth patterns in subjects with long and short faces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98(3), 247-258.
- Nardoni, D. N., Siqueira, D. F., Cardoso, M. d. A., & Capelozza Filho, L. (2015). Cephalometric variables used to predict the success of interceptive treatment with rapid maxillary expansion and face mask. A longitudinal study. *Dental Press J Orthod*, 20(1), 85-96.
- Ngan, P., Hägg, U., Yiu, C., Merwin, D., & Wei, S. H. (1996). Soft tissue and dentoskeletal profile changes associated with maxillary expansion and protraction headgear treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 109(1), 38-49.
- Ngan, P., & Moon, W. (2015). Evolution of Class III treatment in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 148(1), 22-36.
- Nguyen, T., Cevidanes, L., Cornelis, M. A., Heymann, G., De Paula, L. K., & De Clerck, H. (2011). Three-dimensional assessment of maxillary changes associated with bone anchored maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 140(6), 790-798.
- Nienkemper, M., Wilmes, B., Pauls, A., & Drescher, D. (2013). Maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination. *Prog Orthod*, 14, 1-8.
- O'Brien, W. J. (2002). *Dental materials and their selection* (Vol. 10). Quintessence Chicago.
- Obwegeser, H. (1963). The indications for surgical correction of mandibular deformity by the sagittal splitting technique. *Br J Oral Surg*, 1, 157-171.
- Okeson, J. P., & Ckeson, J. P. (2013). *Management of temporomandibular disorders and occlusion*. Elsevier/Mosby St. Louis, MO.
- Oliveira, N. L., Da Silveira, A. C., Kusnoto, B., & Viana, G. (2004). Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(3), 354-362.
- Onyiaso, C. O. (2004). Prevalence of malocclusion among adolescents in Ibadan, Nigeria. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(5), 604-607.
- Otuyemi, O., & Abidoye, R. (1993). Malocclusion in 12-year-old suburban and rural Nigerian children. *Community dent health*, 10(4), 375-380.
- Pangrazio-Kulbersh, V., Berger, J., & Kersten, G. (1998). Effects of protraction mechanics on the midface. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114(5), 484-491.
- Park, J. H., Yu, J., & Bullen, R. (2017). Camouflage treatment of skeletal Class III malocclusion with conventional orthodontic therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 151(4), 804-811.
- Peiro-Guijarro, M. A., Guijarro-Martinez, R., & Hernandez-Alfaro, F. (2016). Surgery first in orthognathic surgery: a systematic review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 149(4), 448-462.
- Perillo, L., Masucci, C., Ferro, F., Apicella, D., & Baccetti, T. (2010). Prevalence of orthodontic treatment need in southern Italian schoolchildren. *Eur J Orthod*, 32(1), 49-53.
- Petit, H. (1982). The prognathic syndrome: a complete treatment plan around the facial mask. *Revue d'orthopedie dento-faciale*, 16(4), 381-411.
- Podda, R., Imondi, F., De Stefano, A. A., Horodyski, M., Vernucci, R. A., & Galluccio, G. (2025). Clinical Outcomes of Skeletal Anchorage Versus Conventional Anchorage in the Class III Orthopaedic Treatment in Growing Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Turk J Orthod*, 38(2), 133.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B., & Sarver, D. (2019). Contemporary orthodontics. Sixth Edit. In: Philadelphia: Elsevier Inc.
- Proffit, W. R., Fields Jr, H. W., & Sarver, D. M. (2012). *Contemporary Orthodontics*, 5e. Elsevier India.
- Richmond, B. G., Wright, B. W., Grosse, I., Dechow, P. C., Ross, C. F., Spencer, M. A., & Strait, D. S. (2005). Finite element analysis in functional morphology. *Anat Rec (Hoboken)*, 283(2), 259-274.
- Ritucci, R., & Nanda, R. (1986). The effect of chin cup therapy on the growth and development of the cranial base and midface. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 90(6), 475-483.
- Saadia, M., & Torres, E. (2000). Sagittal changes after maxillary protraction with expansion in class III patients in the primary, mixed, and late mixed dentitions: a longitudinal retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 117(6), 669-680.

- Sakamoto, T. (1981). Effective timing for the application of orthopedic force in the skeletal Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 80(4), 411-416.
- Sayin, M., & Türkkahraman, H. (2004). Malocclusion and crowding in an orthodontically referred Turkish population. *Angle Orthod*, 74(5), 635-639.
- Schudy, F. F. (1968). The control of vertical overbite in clinical orthodontics. *Angle Orthod*, 38(1), 19-39.
- Shakib, F., Hughes, T. J., & Johan, Z. (1991). A new finite element formulation for computational fluid dynamics: X. The compressible Euler and Navier-Stokes equations. *Comput Methods Appl Mech Eng*, 89(1-3), 141-219.
- Showkatbakhsh, R., Jamilian, A., Ghassemi, M., Ghassemi, A., Taban, T., & Imani, Z. (2012). The effects of facemask and reverse chin cup on maxillary deficient patients. *J Orthod*, 39(2), 95-101.
- Shyagali, T. R., Patidar, R., Gupta, A., Kapoor, S., & Tiwari, A. (2023). Evaluation of stresses and displacement in the craniofacial region as a reaction to bone-anchored maxillary protraction in conjugation with posterior bite plane and rapid maxillary expansion in patients with Class III malocclusion: A finite element analysis study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 164(2), 253-264.
- Šidlauskas, A., & Lopatienė, K. (2009). The prevalence of malocclusion among 7–15-year-old Lithuanian schoolchildren. *Medicina*, 45(2), 147.
- Silva, R. G., & Kang, D. S. (2001). Prevalence of malocclusion among Latino adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 119(3), 313-315.
- Singh, G. (1999). Morphologic determinants in the etiology of class III malocclusions: a review. *Clin Anat*, 12(5), 382-405.
- Slavnic, S., & Marcusson, A. (2010). Duration of orthodontic treatment in conjunction with orthognathic surgery. *Swed Dent J*, 34(3), 159-166.
- Soh, J., Sandham, A., & Chan, Y. H. (2005). Occlusal status in Asian male adults: prevalence and ethnic variation. *Angle Orthod*, 75(5), 814-820.
- Steiner, C. C. (1953). Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 39(10), 729-755.
- Steiner, C. C. (1959). Cephalometrics in clinical practice. *Angle Orthod*, 29(1), 8-29.
- Suda, N., Ishii-Suzuki, M., Hirose, K., Hiyama, S., Suzuki, S., & Kuroda, T. (2000). Effective treatment plan for maxillary protraction: is the bone age useful to determine the treatment plan? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 118(1), 55-62.
- Sugawara, J., & Mitani, H. (1997). Facial growth of skeletal class III malocclusion and the effects, limitations, and long-term dentofacial adaptations to chin cap therapy. *Smerni Orthod*, 11(1), 1-10.
- Sung, S. J., & Baik, H. S. (1998). Assessment of skeletal and dental changes by maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114(5), 492-502.
- Suresh, S., Sundareswaran, S., & Sathyanadhan, S. (2021). Effect of microimplant assisted rapid palatal expansion on bone-anchored maxillary protraction: a finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 160(4), 523-532.
- Şar, Ç., Arman-Özçırpıcı, A., Uçkan, S., & Yazıcı, A. C. (2011). Comparative evaluation of maxillary protraction with or without skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(5), 636-649.
- Takada, K., Petdachai, S., & Sakuda, M. (1993). Changes in dentofacial morphology in skeletal Class III children treated by a modified maxillary protraction headgear and a chin cup: a longitudinal cephalometric appraisal. *Eur J Orthod*, 15(3), 211-221.
- Tang, E. L. (1994). Occlusal features of Chinese adults in Hong Kong. *Aust Orthod J*, 13(3), 159-163.
- Tanne, K., Lu, Y. C.-L., Tanaka, E., & Sakuda, M. (1993). Biomechanical changes of the mandible from orthopaedic chin cup force studied in a three-dimensional finite element model. *Eur J Orthod*, 15(6), 527-533.
- Tiwari, S., & Mustafa, K. (2024). Bone-anchored maxillary protraction in cleft maxillary hypoplasia: An evaluation of dentoskeletal, soft-tissue, and functional effects. *J Cleft Lip Palate Craniofacial Anomalies*, 11(2), 102-111.
- Tripathi, T., Rai, P., Singh, N., & Kalra, S. (2016). A comparative evaluation of skeletal, dental, and soft tissue changes with skeletal anchored and conventional facemask protraction therapy. *J Orthod Sci*, 5(3), 92-99.
- Turley, P. K. (2002). Managing the developing Class III malocclusion with palatal expansion and facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 122(4), 349-352.

- Turpin III, D. (1981). Early class III treatment. *81st Annual Session, American Association of Orthodontists*.
- Tweed, C. H. (1966). Clinical orthodontics. (No Title).
- Uc, D. (1970). Morphological variability of skeletal Class III relationships as revealed by cephalometric analysis. *Trans Eur Orthodont Soc*, 131-143.
- Ülgen, M. (2000). *Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim, tanı*. Yeditepe Üniversitesi.
- Van Limburgh, J. (1972). The role of genetic and local environmental factors in the control of postnatal craniofacial morphogenesis. *Acta Morphol Neerl Scand*, 10, 37-47.
- Vichare, S., & Vichare, G. (2024). Treatment of maxillary hypoplasia with bone anchored maxillary protraction (BAMP)-A case report. *Journal of Orthodontic Science*, 13(1), 12.
- Vracar, T. R., Claro, W., Vracar II, M. E., Jenkins, R. S., Bland, L., & Al Dayeh, A. (2021). Sutural deformation during bone-anchored maxillary protraction. *J Oral Biol Craniofac Res*, 11(3), 447-450.
- Wakabayashi, N., Ona, M., Suzuki, T., & Igarashi, Y. (2008). Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *Journal of dentistry*, 36(7), 463-471.
- Watanabe, M., Suda, N., & Ohyama, K. (2005). Mandibular prognathism in Japanese families ascertained through orthognathically treated patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 128(4), 466-470.
- Weaver, W., Johnston, P. R., & Douglas, A. (1984). Finite elements for structural analysis. In: American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
- Wendell, P. D., Nanda, R., & Nakamura, S. (1985). The effects of chin cup therapy on the mandible: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 87(4), 265-274.
- Williams, A., & Stephens, C. (1992). A modification to the incisor classification of malocclusion. *J Orthod*, 19(2), 127-130.
- Wilmes, B., Nienkemper, M., Ludwig, B., Kau, C. H., & Drescher, D. (2011). Early Class III treatment with a hybrid hyrax-mentoplate combination. *J Clin Orthod*, 45(1), 15-39.
- Woon, K.-C., & Thong, Y.-L. (1989). Permanent dentition occlusion in Chinese, Indian and Malay groups in Malaysia. *Aust Orthod J*, 11(1), 45-48.
- Xue, F., Wong, R., & Rabie, A. (2010). Genes, genetics, and Class III malocclusion. *Orthod Craniofac Res*, 13(2), 69-74.
- Yan, X., He, W., Lin, T., Liu, J., Bai, X., Yan, G., & Lu, L. (2013). Three-dimensional finite element analysis of the craniomaxillary complex during maxillary protraction with bone anchorage vs conventional dental anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 143(2), 197-205.
- Yatabe, M., Garib, D. G., Faco, R. A. S., de Clerck, H., Janson, G., Nguyen, T., Cevidane, L. H. S., & Ruellas, A. C. (2017). Bone-anchored maxillary protraction therapy in patients with unilateral complete cleft lip and palate: 3-dimensional assessment of maxillary effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 152(3), 327-335.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.024>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Pouria POURGHAZ

ÖĞRENİM DURUMU

Lisans: 2020, Başkent Üniversitesi

Uzmanlık: 2025, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ortodonti Anabilim Dalı

