



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**SINIF III DENTOFASİYAL DEFORMİTELİ HASTALARDA
YAPILAN SİMETRİK VE ASİMETRİK MANDİBULAR
GERİLETME DURUMLARINDA TEMPOROMANDİBULAR
EKLEMDEKİ STRES DAĞILIMININ SONLU ELEMANLAR
ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Serkan SARIDAŞ

Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı

UZMANLIK BİTİRME TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Tolgahan KARA

TOKAT-2025

ETİK BEYAN

T. C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ DEKANLIĞI'NA

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım ‘Sınıf III Dentofasiyal Deformiteli Hastalarda Yapılan Simetrik ve Asimetrik Mandibular Geriletme Durumlarında Temporomandibular Eklemdaki Stres Dağılımının Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi’ adlı bu tez çalışmasında;

- 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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirdiğimi beyan ederim.

Bu çalışma için Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 16.03.2023 tarihinde, 23-KAEK-059 proje no’lu etik izni alınmıştır.

Tezi Hazırlayan

Arş. Gör. Serkan SARIDAŞ

İmza

İTHAF

Bu çalışmayı, beni her zaman motive eden, hayallerime ulaşmam için bana güç veren eşim Büşra KOÇ SARIDAŞ'a ve aileme ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca ve tez hazırlama sürecimde, her türlü desteğini benden esirgemeyen,engin bilgi ve tecrübesiyle daima bana yol gösteren değerli tez danışmanı hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tolgahan KARA'ya,

Uzmanlık eğitimim süresince gerek akademik gerekse klinik açıdan gelişip olgunlaşmama katkı sağlayan Sayın Doç. Dr. Sefa ÇOLAK ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Esengül ŞEN hocalarıma,

En zor zamanlarımda daima yanımda olan ve bana güç veren sevgili eşim Arş. Gör. Büşra KOÇ SARIDAŞ ile ailesine, canım annem Fatma SARIDAŞ'a, kıymetli babam Salih SARIDAŞ'a, varlığı ile bana güven veren canım ablam Sibel SARIDAŞ'a ve neşe kaynağım canım kardeşim Samet SARIDAŞ'a,

Tez sürecim boyunca bana yardımcı olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Nursena ÜNLÜ KUZU'ya en içten teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Arş. Gör. Serkan SARIDAŞ

TOKAT 2025

ÖZET

SINIF III DENTOFASİYAL DEFORMİTELİ HASTALARDA YAPILAN SİMETRİK VE ASİMETRİK MANDİBULAR GERİLETME DURUMLARINDA TEMPOROMANDİBULAR EKLEMDEKİ STRES DAĞILIMININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ YÖNTEMİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Sarıdaş, Serkan

Uzmanlık, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tolgahan KARA

Mayıs/2025, Sayfa Sayısı (xv + 150)

Amaç: Bu çalışmanın amacı, fasiyal asimetrisi olan ve olmayan sınıf III dentofasiyal deformiteli hastalarda, simetrik ve asimetrik mandibular geriletme işlemleri sonrasında bilateral sagittal split ramus osteotomisi (BSSRO) ile değişen çene-kondil pozisyonu sonucu; mandibular kondil, eklem diski ve glenoid fossa üzerindeki stres dağılımlarını incelemek ve ortognatik cerrahinin bu anatomik yapılar üzerindeki etkilerini üç boyutlu sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemiyle değerlendirmektir.

Gereç ve Yöntem: Çalışmamız, ortognatik cerrahi uygulanmış 2 hasta ile yürütülmüştür. Çalışmamıza dâhil edilen hastalar cerrahi planlamaya göre 2 gruba ayrılmıştır. Birinci grup (Grup 1), asimetrik mandibular geriletme yapılan hasta; ikinci grup (Grup 2), simetrik mandibular geriletme yapılan hastadan oluşmaktadır. Hastaların cerrahi öncesinde ve ortognatik cerrahiden sonra 6. ayda CBCT görüntüleri alınmıştır. Bu CBCT görüntüleri, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar analizi yöntemiyle (FEA) modellenmiştir. Elde edilen modellerden temporomandibular eklem yapıları üzerindeki streslerin daha iyi değerlendirilebilmesi için kuvvet skalasına göre renklendirilmiş anatomik kesitler elde edilmiştir. Temporomandibular eklem yapıları üzerindeki streslerin dağılımları ile ortognatik cerrahinin bu anatomik yapılar üzerindeki stres ve kuvvet dağılımlarına etkisinin modeller üzerinden analizleri yapılmıştır. Çalışmamızda

TME'ye ait anatomik landmarklar operasyon öncesi ve sonrası, sağ ve sol taraf (bilateral) olacak şekilde her iki grupta (Grup 1 ve 2) ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirilen parametreler arasında maksimum principle stres (en yüksek gerilme), von misses stres ve minimum principle stres (en yüksek sıkışma) değerleri bulunmaktadır.

Bulgular: Çalışmamızdaki her iki grupta operasyon sonrası stresler, operasyon öncesi streslere göre düşüş göstermektedir. Bu durum tüm stres tiplerinde gözlenmektedir. En yüksek stres değişimi, %55,9 ile Grup 1'in geriletme yapılmayan taraf artiküler disk üzerindeki von misses streslerinde gözlenmektedir. En düşük stres değişimi ise, %2 ile Grup 1'in geriletme yapılmayan taraf mandibular kondili üzerindeki gerilme streslerinde gözlenmektedir. Bunu, aynı grubun geriletme yapılmayan taraf glenoid fossası üzerindeki gerilim stresleri %5,9 gibi bir değerle takip etmektedir. Bir stres grubu hariç, diğer gruplardaki tüm streslerin operasyon sonrası konumlarının operasyon öncesi konumlarına göre değişmediği gözlenmiştir. Mandibular kondil ve glenoid fossadaki gerilim tipi streslerin bu yapıların anteriorlarında, sıkışma tipi streslerin ise posteriorlarında konumlandığı analiz edilmiştir. Artiküler disklerde gözlenen von misses streslerin ise disklerin anteriorlarında yoğunlaştığı gözlenmiştir. Operasyon sonrası laterale yer değiştirerek konumu değişen tek stres grubu, Grup 1'in geriletme yapılmayan taraf glenoid fossası üzerindeki en yüksek gerilim stresleridir.

Sonuç: Sonuç olarak, temporomandibular eklemi oluşturan mandibular kondil, artiküler disk ve glenoid fossa gibi ana yapılar üzerindeki stresler; BSSRO tekniği kullanılarak yapılan asimetrik ve simetrik mandibular geriletme cerrahilerinden sonra azalma göstermiştir. Ortognatik cerrahinin, mandibular asimetri ve prognatizm kaynaklı eklem içi yüksek stres seviyelerini hafifleterek temporomandibular eklem problemlerini azaltabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın en önemli sınırlandırıcı unsuru, sonlu elemanlar analizi yönteminin maliyetli olmasından kaynaklanan örneklem grubunun az olmasıdır. Konuyla ilgili daha detaylı sonuçlara ulaşmak için hasta ve model sayısının artırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ortognatik Cerrahi, Temporomandibular Eklem, Mandibular Setback, Sonlu Elemanlar Analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF STRESS DISTRIBUTION IN TEMPOROMANDIBULAR JOINT IN SYMMETRIC AND ASYMMETRIC MANDIBULAR SETBACK CASES IN PATIENTS WITH CLASS III DENTOFACIAL DEFORMITY USING FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD

SARIDAŞ, Serkan

Specialization, Department of Oral and Maxillofacial Surgery

Thesis Advisor: Dr. Lecturer Member Tolgahan KARA

May/2025, NUMBER OF PAGES (xv + 150)

Aim: The aim of this study was to investigate the stress distributions on the mandibular condyle, articular disc and glenoid fossa as a result of the changing jaw-condyle position with bilateral sagittal split ramus osteotomy (BSSRO) after symmetric and asymmetric mandibular recession procedures in patients with class III dentofacial deformity with and without facial asymmetry and to evaluate the effects of orthognathic surgery on these anatomical structures by three-dimensional finite element analysis (FEA) method.

Materials and Methods: Our study was conducted with 2 patients who underwent orthognathic surgery. The patients included in our study were divided into 2 groups according to surgical planning. The first group (Group 1) consists of patients who underwent asymmetric mandibular recession; the second group (Group 2) consists of patients who underwent symmetric mandibular recession. CBCT images of the patients were obtained before surgery and at 6 months after orthognathic surgery. These CBCT images were modeled in a computer environment using the finite element analysis method (FEA). Anatomical sections colored according to the force scale were obtained from the obtained models in order to better evaluate the stresses on the temporomandibular joint structures. The distribution of stresses on the temporomandibular joint structures and the effects of orthognathic surgery on the stress and force distributions on these anatomical structures were analyzed through the models. In our study, anatomical landmarks of TMJ

were evaluated separately in both groups (Group 1 and 2) on the right and left sides (bilateral) before and after the operation. The evaluated parameters include maximum principle stress (highest tension), von mises stress and minimum principle stress (highest compression) values.

Results: In both groups in our study, postoperative stresses decreased compared to preoperative stresses. This situation is observed in all stress types. The highest stress change is observed in the von mises stresses on the non-recession side articular disc of Group 1 with 55.9%. The lowest stress change is observed in the tensile stresses on the mandibular condyle of the non-recession side of Group 1 with 2%. This is followed by the tensile stresses on the glenoid fossa of the non-recession side of the same group with a value of 5.9%. Except for one stress group, it was observed that the postoperative locations of all stresses in the other groups did not change compared to their preoperative locations. It was analyzed that the tension type stresses in the mandibular condyle and glenoid fossa were located anteriorly to these structures, while the compression type stresses were located posteriorly. It was observed that the von mises stresses observed in the articular discs were concentrated in the anterior parts of the discs. The only stress group that changed its position by shifting laterally after the operation was the highest tensile stresses on the glenoid fossa of Group 1, which was not recessed.

Conclusion: In conclusion, the stresses on the main structures forming the temporomandibular joint, such as the mandibular condyle, articular disc and glenoid fossa, decreased after asymmetric and symmetric mandibular recession surgeries using the BSSRO technique. It is thought that orthognathic surgery can reduce temporomandibular joint problems by alleviating high intra-articular stress levels caused by mandibular asymmetry and prognathism. The most important limiting factor of this study is the small sample group due to the cost of the finite element analysis method. The number of patients and models should be increased to reach more detailed results on the subject.

Keywords: Orthognathic Surgery, Temporomandibular Joint, Mandibular Setback, Finite Element Analysis

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN.....	i
İTHAF	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. DENTOFASİYAL DEFORMİTELER	4
2.1.1. Dentofasiyal Deformitelerin Etiyolojisi	4
2.1.2. Dentofasiyal Deformitelerin Sınıflandırılması	5
2.1.3. Sınıf III Dentofasiyal Deformiteler	7
2.1.3.1. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Etiyolojisi.....	8
2.1.3.2. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Tedavisi	9
2.1.3.3. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerde Büyüme ve Prognozun Belirlenmesi.....	11
2.1.3.4. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Neden Olduğu Sorunlar	12
2.2. ORTOGNATİK CERRAHİ	12
2.2.1. Ortognatik Cerrahi Teknikler	13
2.2.1.1. Le Fort I Osteotomisi	13
2.2.1.2. Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomisi	24
2.3. TEMPOROMANDİBULAR EKLEM	34
2.3.1. Temporomandibular Eklem Anatomik Yapısı	34
2.3.2. Temporomandibular Eklem Bozuklukları	38
2.3.2.1. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Etiyolojisi	39
2.3.2.2. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Teşhisi, Tanı ve Semptomları.....	40
2.3.2.3. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Sınıflandırılması	41
2.4. ORTOGNATİK CERRAHİNİN TEMPOROMANDİBULAR EKLEME ETKİLERİ.....	43
2.5. SONLU ELEMENLAR ANALİZİ (FİNİTE ELEMENT ANALİZ – FEA)	48
2.5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Avantajları	51

2.5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Dezavantajları	51
2.5.3. Diş Hekimliği ve Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi	52
3. GEREÇ VE YÖNTEM	55
3.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLERİN OLUŞTURULMASI.....	56
3.1.1. Materyal Özelliklerinin Belirlenmesi	57
3.1.2. Ağ Yapısının Oluşturulması.....	57
3.1.3. Eleman ve Düğüm Sayılarının Belirlenmesi.....	59
3.1.4. Sınır ve Yükleme Koşullarının Belirlenmesi	63
3.2. ÇALIŞMA GRUPLARININ OLUŞTURULMASI	64
3.3. VERİLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ	65
3.4. ANALİZLERİN YAPILMASI VE ÇÖZÜMLENMESİ.....	65
4. BULGULAR.....	68
4.1. MANDİBULAR KONDİL ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI	68
4.1.1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli	68
4. 1. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli.....	82
4.2. ARTİKÜLER DİSK ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI	98
4. 2. 1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli	98
4. 2. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli	103
4.3. GLENOİD FOSSA ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI	110
4. 3. 1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli	110
4. 3. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli	117
5. TARTIŞMA.....	126
6. SONUÇ.....	139
7. KAYNAKLAR	140
8. EKLER.....	149
EK-1	149

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%	: Yüzde
ark.	: Arkadaşları
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
Pre-op	: Operasyon Öncesi
Post-op	: Operasyon Sonrası
MP	: Mandibular Prognatizm
BSSRO	: Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomisi
TMD	: Temporomandibular Eklem Bozuklukları
TME	: Temporomandibular Eklem
3D	: Üç Boyutlu
2D	: İki Boyutlu
CBCT	: Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
FEA	: Sonlu Elemanlar Analizi
İMF	: İntermaksiller Fiksasyon
ICR	: İdiopatik Kondil Rezorpsiyonu
FEA	: Finite Element Analizi
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
MR	: Manyetik Rezonans
DOF	: Degree of Freedom
Pa	: Pascal (Basınç Birimi – 1 metrekare başına düşen 1 N’luk kuvvet)
MPa	: Megapascal

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomi Tekniği	11
Şekil 2.2: Nazotrakeal Entübasyon (Sagittal Kesit Gösterimi)	14
Şekil 2.3: Le Fort I Osteotomi Tekniğinde Periost Elevasyonu İllüstrasyonu	15
Şekil 2.4: Le Fort I Tekniğinde Osteotomi Hatları (Kırmızı ile gösterilmiştir).	17
Şekil 2.5: U Şekilli Nazal Septum Osteotomu	18
Şekil 2.6: Pterygoid Osteotomların Tüberin Posterioruna Yerleştirilmesi.....	19
Şekil 2.7: Le Fort I Osteotomi Tekniğinde Down Fracture İşlemi	19
Şekil 2.8: Rowe Kemik Forsepsleri (Sağ – Sol).....	20
Şekil 2.9: Kemik Çıkıntılarının ve Prematür Kontakların Rezeksiyonu	20
Şekil 2.10: Oklüzal Cerrahi Splintin Yerleştirilmesi ve İMF'nin Sağlanması.....	22
Şekil 2.11: Mini Plak ve Vidalar Yardımıyla Rijit Fiksasyonun Sağlanması	22
Şekil 2.12: Mukozanın V – Y İlerletme Tekniği İle Süturlanması	23
Şekil 2.13: Horizontal İnsizyonun Kilitli Devamlı Sütur Tekniği İle Primer Kapatılması	23
Şekil 2.14: BSSRO Tekniğinde Başlangıç İnsizyonu	26
Şekil 2.15: BSSRO Tekniğinde Osteotomi Hattında Bulunan Nörovasküler Yapıların Ekartasyonu ve Korunması.....	27
Şekil 2.16: Lingula Mandibula Üzerinde İlk Kesi ve Osteotomi Hattı	28
Şekil 2.17: Osteotomi Hattı Boyunca Piezocerrahi ile Kesinin Derinleştirilmesi	29
Şekil 2.18: Osteotomlar Yardımı ile Kesi Hattı Boyunca Derinliğin Sağlanması	29
Şekil 2.19: Nörovasküler Demetin Distal Segmentte Bırakılması	30
Şekil 2.20: Akrilik Oklüzal Splintin Yerleştirilmesi ve İMF Sağlanması.....	31
Şekil 2.21: Rijit Fiksasyonun Sağlanması.....	32
Şekil 2.22: TME Anatomisi Sagittal Kesit.....	35
Şekil 2.23: TME Anatomisi Frontal Kesit.....	35
Şekil 2.24: Mandibular Kondil Anatomisi	36
Şekil 2.25: Artiküler Disk Anatomisi.....	37
Şekil 2.26: Artiküler Disk Pozisyonu (Ağız Kapalıyken – Ağız Açıldığında)	37
Şekil 2.27: Lateral Pterygoid Kasın Anatomisi.....	38
Şekil 2.28: Genişletilmiş Temporomandibular Eklem Rahatsızlıkları Sınıflandırılması	42
Şekil 2.29: İdiopatik Kondil Rezorpsiyonu İçin Risk Faktörleri.....	45
Şekil 2.30: Wilkes Sınıflandırma Sistemi	47

Şekil 3.1: Düğüm Noktalarına Göre Elemanlar	58
Şekil 3.2: Grup 1 Modelinin Ağ Yapısının Oluşturulması.....	59
Şekil 3.3: Grup 2 Modelinin Ağ Yapısının Oluşturulması.....	59
Şekil 3.4: Grup 1 Pre – Op Modelleri	61
Şekil 3.5: Grup 2 Pre – Op Modelleri	62
Şekil 3.6: Grup 1 Post – Op Modelleri	62
Şekil 3.7: Grup 2 Post – Op Modelleri	63
Şekil 3.8: X – Y – Z Eksenlerinin Şematizasyonu	64
Şekil 3.9: Üç Boyutlu Grup 1 Modelinin Sınır Koşulları.....	64
Şekil 3.10: Üç Boyutlu Grup 2 Modelinin Sınır Koşulları.....	64
Şekil 4.1: Pre-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	69
Şekil 4.2: Post-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	71
Şekil 4.3: Pre-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	73
Şekil 4.4: Post-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	74
Şekil 4.5: Pre-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	76
Şekil 4.6: Post-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	78
Şekil 4.7: Pre-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	80
Şekil 4.8: Post-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	81
Şekil 4.9: Pre-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	83
Şekil 4.10: Post-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst- Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	85
Şekil 4.11: Pre-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	87
Şekil 4.12: Post-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	88
Şekil 4.13: Pre-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön- Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	90

Şekil 4.14: Post-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	92
Şekil 4.15: Pre-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	94
Şekil 4.16: Post-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C).....	95
Şekil 4.17: Mandibular Kondiller Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op).....	97
Şekil 4.18: Pre-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	99
Şekil 4.19: Post-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	100
Şekil 4.20: Pre-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	101
Şekil 4.21: Post-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	102
Şekil 4.22: Pre-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	104
Şekil 4.23: Post-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	105
Şekil 4.24: Pre-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	106
Şekil 4.25: Post-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B).....	107
Şekil 4.26: Artiküler Diskler Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op).....	109
Şekil 4.27: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	110
Şekil 4.28: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	111
Şekil 4.29: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	112
Şekil 4.30: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	112
Şekil 4.31: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	114
Şekil 4.32: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	114

Şekil 4.33: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	115
Şekil 4.34: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	116
Şekil 4.35: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	117
Şekil 4.36: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	118
Şekil 4.37: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	119
Şekil 4.38: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	119
Şekil 4.39: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	121
Şekil 4.40: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	121
Şekil 4.41: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	122
Şekil 4.42: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü.....	123
Şekil 4.43: Glenoid Fossalar Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op).....	125

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1: Modelleri Oluşturan Yapıların Materyal Özellikleri.....	57
Tablo 3.2: Matematiksel Modellerde Kullanılan Düğüm ve Eleman Sayıları	60
Tablo 4.1: Mandibular Kondiller Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri..	96
Tablo 4.2: Mandibular Kondiller Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları	97
Tablo 4.3: Artiküler Diskler Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri	108
Tablo 4.4: Artiküler Diskler Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları ..	109
Tablo 4.5: Glenoid Fossalar Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri	124
Tablo 4.6: Glenoid Fossalar Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları ..	125

1. GİRİŞ

Dentofasiyal deformiteler, öncelikle çeneleri ve dişleri etkileyen; ideal yüz oranı ve dental ilişkilerden sapma olarak tanımlanmakla birlikte, birden fazla kraniofasiyal yapıyı etkileyebilmektedir (Ong, 2004). Bazı çalışmalar bu deformitelerin popülasyonun %20'sini etkilediğini, çeşitli derecelerde fonksiyon (çiğneme) ve fonasyonun (konuşma) bozulmasına, olumsuz psikolojik etkilere, temporomandibular eklemden anormal kuvvet dağılımlarına ve yine buna bağlı olarak eklemden disfonksiyonlara ve yüz estetiğinde sorunlara neden olduğunu bildirmiştir (Frost ve ark., 2000).

Mandibular prognatizm (MP) veya prognatik mandibula ile iskeletsel Sınıf III maloklüzyon, uzun süredir en ciddi dentofasiyal deformitelerden biri olarak kabul edilmektedir (Graber, 1977). Çalışmalar, Sınıf III maloklüzyonların %63 ila %73'ünün iskeletsel tip olduğunu göstermektedir (Chang, 1985). İskeletsel Sınıf III maloklüzyona sahip hastalar, simetrik ve asimetrik olmak üzere, mandibular protrüzyon, maksiller retrüzyon veya bunların bir kombinasyonunu sergileyebilir (Jacobson ve ark., 1974).

Günümüzde, ortognatik cerrahi ve ortodonti olmak üzere bu iki tedavi yönteminin kombinasyonu, maloklüzyon ve yüz deformitelerinin düzeltici tedavisinde altın standart tedavi olarak kabul görmektedir (Choi ve ark., 2010). Tanı ve planlama yöntemlerindeki ve cerrahi tekniklerdeki gelişmeler, ortognatik cerrahiyi bu deformitelerin tedavisi için güvenli ve yaygın bir teknik haline getirmiştir (Lee ve ark., 2007).

Mandibular prognatizmi olan hastalarda temporomandibular eklemlerinde (TME) klik sesi, ağrı, disk yer değiştirmesi, disk perforasyonu ve osteoartrit saptanmıştır. Biyomekanik olarak bilateral sagittal split ramus osteotomisi (BSSRO) öncesi yüz asimetrisi olan hastalarda bilateral temporomandibular eklemin içindeki stres dağılımları arasında farklılıklar mevcuttur (Miković ve ark., 2016).

Bilateral sagittal split ramus osteotomisi (BSSRO), mandibular prognatizmin düzeltilmesi için şu anda standart bir cerrahi tekniktir, ancak BSSRO'nun etkileri konusunda farklı görüşler devam etmektedir (Forssell ve ark., 2017). Bazı çalışmalar, BSSRO'nun temporomandibular bozuklukların (TMD)

giderilmesi açısından TME'nin fonksiyonel gelişimi için faydalı olduğunu göstermektedir (Fang ve ark., 2009). Aksi çalışmalar ise, BSSRO' nun anterior disk deplasmanına, bozulmuş TME fonksiyonuna ve diğer komplikasyonlara neden olabildiğini göstermektedir (Okeson, 2019). BSSRO, temporomandibular eklemler üzerindeki stresleri artırabilir, potansiyel olarak önceden var olan TME semptomlarını kötüleştirebilir veya yeni TME semptomları ortaya çıkarabilmektedir (Hoppenreijts ve ark., 1999).

Önceki çalışmaların çoğu, fasyal asimetrisi olan hastalarda iki kondil arasındaki TME boşluğu ve kondiler morfolojide önemli bir fark olduğunu göstermiştir. Asimetrik mandibular prognatizm hastalarında temporomandibular eklemlerde internal düzensizlik insidansı, simetrik mandibular prognatizm hastalarına göre daha yüksektir ve bu internal düzensizliklerin temporomandibular eklemlerdeki (TME) biyomekanik yüklerle yakından ilişkisi vardır. Bu nedenle TME stresleri hakkında biyomekanik araştırma, BSSRO'yu daha iyi anlamanın çok önemli bir yoludur (Ueki ve ark., 2000).

Fasyal asimetri vakalarında ortognatik cerrahi, TME pozisyonunu veya işlevini ve çevredeki kas işlevini büyük ölçüde etkileyebileceğinden, asimetrik mandibular prognatizmi olan hastalarda kondillerin üç boyutlu (3D) morfolojik özelliklerinin temel olarak anlaşılması tanı ve tedavi planlamasında önemlidir. TME'nin radyolojik incelemesi karmaşık anatomi, büyütme hataları ve komşu anatomik yapıların üst üste binmesi nedeniyle zordur (Paknahad ve ark., 2015).

Son zamanlarda, iki boyutlu (2D) görüntüleme tekniklerinin sınırlamalarını aşmak ve TME morfolojisini değerlendirmek için çeşitli üç boyutlu (3D) görüntüleme teknikleri kullanılmıştır (Lin ve ark., 2013). Bu nedenle, CBCT kullanarak TME'lerin morfolojik parametrelerini doğru bir şekilde ölçmek mümkündür, sonlu elemanlar analizinin oral biyomekaniğe girmesinden bu yana, yaygın olarak kullanılmaktadır ve güvenilir bir araştırma yöntemi olduğu kanıtlanmıştır (Chen ve ark., 1998).

DeneySEL stres ölçümündeki zorluklar nedeniyle, sonlu elemanlar analizi (FEA), TME'deki stres dağılımını analiz etmenin en iyi yolu olarak kabul edilmektedir (Ramos ve ark., 2011). Ayrıca, FEA modelleri mandibular hareketleri simüle etmek için kullanılmaktadır ve disk ile retrodiskal dokuların

stres dağılımlarını elde etmek için çene açma veya lateral oklüzal hareketlerin model üzerinde simülasyonları yapılmaktadır (Del Palomar & Doblare, 2006). Sonlu elemanlar analizi (FEA), TME gibi karmaşık biyolojik yapıların mekanik davranışları hakkında doğru sonuçlar sağlayabilir ve TME' lerdeki biyomekanik koşulları simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ramos ve ark., 2011).

Bu çalışmada fasiyal asimetrisi olan ve olmayan sınıf III dentofasiyal deformiteli hastalarda yapılan asimetrik ve simetrik mandibular geriletme durumlarında BSSRO sonrası değişen çene-kondil pozisyonu sonucu mandibular kondil, eklem diski ve glenoid fossa üzerindeki stres dağılımları ile ortognatik cerrahinin bu anatomik yapılar üzerindeki stres dağılımlarına etkisinin üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar analizi (FEA) ile ortaya konulması hedeflenmektedir.

Bu bağlamda yapılan çalışmanın hipotezi, fasiyal asimetrisi olan hastalarda yapılacak olan ortognatik cerrahi işlemlerin; fasiyal asimetrisi olmayan hastalarda yapılacak olan ortognatik cerrahi işlemlere göre temporomandibular eklem üzerinde daha fazla stres değişikliklerine neden olacağı yönündedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. DENTOFASIYAL DEFORMİTELER

2.1.1. Dentofasiyal Deformitelerin Etiyolojisi

Dentofasiyal deformiteler, genetik ve çevresel faktörlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkabilen karmaşık durumlar arasında yer almaktadır. Bu deformiteler, genellikle prenatal (gebelik öncesi) ve postnatal (doğum sonrası) dönemlerde ortaya çıkabilmektedir. Dentofasiyal deformitelerin ortaya çıkmasında rol oynayan etiyolojik faktörler şu şekilde gruplandırılmaktadır (Mustafa Ülgen, 2000):

- Kalıtım (Genetik):

Genetik faktörler, bireyin ebeveynlerinden aldığı genetik materyalin dentofasiyal gelişimini etkileyebilmektedir. Bir bireyin ailesel öyküsünde benzer deformitelerin bulunması, bu bireyin genetik yatkınlığını bize göstermektedir.

- Büyüme ve Gelişim Döneminde Oluşan Konjenital Anomaliler:

Embriyonik dönemde, hamilelik sırasında ve sonrasında ortaya çıkan ve henüz tam olarak anlaşılamayan nedenlere bağlı olarak gelişen konjenital anomaliler dentofasiyal deformitelere yol açabilmektedir.

- Travma:

Doğum sırasında veya sonrasında meydana gelen yaralanmalar, çeşitli travmatik olaylar dentofasiyal deformitelere neden olabilmektedir.

- Fiziksel Etkenler:

Fetal dönemde maruz kalınan çeşitli fiziksel etkenler, dentofasiyal gelişimi etkileyebilmektedir. Bu etkenler arasında radyasyon, ilaç kullanımı, hormonal dengesizlikler gibi faktörler bulunmaktadır.

- Kötü Beslenme (Malnütrisyon):

Gebelik ya da çocukluk döneminde, yetersiz vitamin ve mineral alımı dentofasiyal gelişimde sorunlara yol açmaktadır.

- Kötü Alışkanlıklar:

Parmak emme, emzik kullanımı gibi alışkanlıklar postnatal dönemde dentofasiyal gelişimi olumsuz etkileyerek diş ve çene ilişkisinde sapmalara neden olabilmektedir.

- Hastalıklar:

Bu hastalıklar, genetik faktörler, enfeksiyonlar, metabolik bozukluklar, romatolojik problemler veya nöromusküler sorunlar gibi çeşitli etiyolojik faktörlerle ilişkilendirilebilir ve dentofasiyal deformitelere neden olabilmektedirler. Dentofasiyal deformitelerin ortaya çıkmasında etkili olan hastalıklara örnek vermek gerekirse:

Genetik Hastalıklar: Down sendromu, Marfan sendromu, Kraniosinostozlar, Kistik fibrozis... vb.

Enfeksiyonlar: Rubella, Sifiliz... vb.

Metabolik Hastalıklar: Hipotiroidizm, Hiperparatiroidizm... vb.

Romatolojik Hastalıklar: Romatoid artrit, Sistemik lupus eritematozus, Ankilozan spondilit... vb.

Nöromusküler Hastalıklar: Charcot-Marie-Tooth hastalığı, Musküler distrofi... vb.

2.1.2. Dentofasiyal Deformitelerin Sınıflandırılması

Dentofasiyal deformiteler, etkilenen bölgeye göre ve etiyolojisine göre sınıflandırılmaktadır (Naini ve Gill, 2017).

- Etkilenen Bölgeye Göre Sınıflandırma:

- I. Maksiller Deformiteler: Üst çenenin yapısal veya fonksiyonel bozukluklarıdır. Bunlar:
 - a. Maksiller Retrüzyon (Sagittal Maksiller Yetersizlik)
 - b. Maksiller Protrüzyon (Sagittal Maksiller Fazlalık)
 - c. Vertikal Maksiller Yetersizlik
 - d. Vertikal Maksiller Fazlalık
 - e. Transvers Maksiller Yetersizlik
 - f. Transvers Maksiller Fazlalık
 - g. Maksiller Asimetri
 - h. Dudak Damak Yarıkları

- i. Naso-Maksiller Hipoplazi
- j. Malar-Maksiller Hipoplazi
- II. Mandibular Deformiteler: Alt çenenin yapısal veya fonksiyonel bozukluklarıdır.
 - a. Mandibular Retrognatizm (Sagittal Mandibular Yetersizlik)
 - b. Mandibular Prognatizm (Sagittal Mandibular Fazlalık)
 - c. Anterior Mandibular Büyüme Yönü
 - d. Posterior Mandibular Büyüme Yönü
 - e. Mandibular Asimetri
 - f. Kondil Agenizisi – Hipoplazisi – Hiperplazisi
 - g. Koronoid Hiperplazisi
- III. Çene Ucu Deformiteleri
 - a. Osseöz Çene Ucu Yetersizliği (Sagittal – Vertikal – Kombine)
 - b. Osseöz Çene Ucu Fazlalığı (Sagittal – Vertikal – Kombine)
- IV. Bimaksiller Deformiteler: Hem üst hem de alt çenenin yapısal veya fonksiyonel bozukluklarıdır.
 - a. Kısa Yüz Deformitesi (Hipodiverjan Deformite)
 - b. Uzun Yüz Deformitesi (Hiperdiverjan Deformite)
 - c. İskeletsel Sınıf I Anomaliler
 - d. İskeletsel Sınıf II Anomaliler
 - e. İskeletsel Sınıf III Anomaliler

Bu sınıflandırma, deformitelerin nedenini veya şiddetini değil, yalnızca etkilenen bölgeyi tanımlamaktadır.

- Etiyolojisine Göre Sınıflandırma:

- I. Konjenital (Gelişimsel) Deformiteler: Doğumdan itibaren mevcut olan deformitelerdir.
- II. Kazanılmış (Edinsel) Deformiteler: Doğumdan sonra gelişen deformitelerdir.

Konjenital deformiteler, genetik faktörler, çevresel faktörler veya bunların bir kombinasyonu ile ortaya çıkabilir. Prenatal büyüme ve gelişim döneminde, bir veya daha fazla sayıdaki faktörlerin bir süre etkisiyle

konjenital anomaliler oluşmaktadır. Dudak – Damak Yarıkları konjenital deformitelere örnek olarak verilebilir (Farkas ve ark., 2000).

Genetik faktörlere bağlı konjenital deformiteler, sıklıkla sendromlarla birlikte görülmektedirler. Çene ve diş gelişimini etkileyen sendromlardan bazıları şunlardır (Gorlin ve ark., 2001):

- Apert Sendromu
- Crouzon Sendromu
- Treacher Collins Sendromu
- Pierre Robin Sendromu
- Down Sendromu
- Kazanılmış deformiteler; travma, enfeksiyon, tümör, radyasyon tedavisi veya ortodontik tedavi gibi nedenlerle ortaya çıkabilir. Travma, çene ve diş gelişimini olumsuz etkileyen en yaygın nedendir. Çene ve diş travmalarına neden olabilecek kazalar şunlardır (Proffit ve ark., 2019):

- I. Trafik kazaları
- II. Spor yaralanmaları
- III. İş kazaları
- IV. Düşmeler

2.1.3. Sınıf III Dentofasiyal Deformiteler

Dişsel Sınıf III maloklüzyonlar ilk defa 1899 yılında modern ortodontinin babası olarak anılan Edward H. Angle tarafından tanımlanmıştır. Angle'a göre Sınıf III maloklüzyon; yeri sabit olarak kabul edilen üst birinci molar dişlere göre; alt birinci molar dişlerin daha mezialde konumlanması olarak tanımlanmıştır (Angle, 1899). Ardından sefalometrinin gelişimi ile birlikte Sınıf III maloklüzyonların iskeletsel sınıflandırması yapılmıştır. Tweed, “çenelerin boyutunun normal olduğu pseudo Sınıf III maloklüzyonlar” ve “fazla gelişmiş mandibula veya az gelişmiş maksillanın bulunduğu iskeletsel Sınıf III maloklüzyonlar” olmak üzere Sınıf III maloklüzyonları iki kategoriye ayırmıştır (Tweed, 1966; Zere ve ark., 2018).

Sefalometrik incelemeler doğrultusunda, Sınıf III maloklüzyona sahip bireyler morfolojik olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Mandibular Prognatizm: Maksillanın normal konumda olduğu, mandibulanın sagittal yönde daha ileride konumlanması ile oluşan gerçek mandibular prognatizm.
- Maksiller Retrognatizm: Mandibulanın normal konumda olduğu, maksillanın sagittal yönde daha geride olduğu durumdur.
- Maksiller Retrognatizm ve Mandibular Prognatizm Kombinasyonu: Hem maksiller retrognatizmin hem de mandibular prognatizmin bir arada olması ile oluşan şiddetli Sınıf III maloklüzyonlardır.
- Pseudo veya Dental Sınıf III Maloklüzyon: Maksilla ve mandibulanın konumlarının doğru olduğu, ancak üst keserlerin dikleştiği, alt keserlerin labiale eğimli olduğu durumlar.

Bu morfolojik ayrımlardan ilk üçü iskeletsel Sınıf III maloklüzyonlar olarak değerlendirilmektedir (Graber ve ark., 1997; M Ülgen, 2000).

2.1.3.1. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Etiyolojisi

Sınıf III maloklüzyonun etiyolojisi, tıpkı birçok maloklüzyon ve dentofasiyal deformite gibi, multifaktöriyeldir. Patolojik bir süreçten ziyade, normal kraniofasiyal gelişimin bozulması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu maloklüzyonun belirtileri, doğuştan gelen faktörler ya da genetik kalıtım ile çevresel faktörlerin karmaşık bir etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Jena ve ark., 2005; Kawala ve ark., 2007).

Sınıf III maloklüzyonun muhtemel etiyolojileri arasında genetik en büyük role sahiptir. İnsan kalıtımını inceleyen çalışmalar, mandibular büyümenin esas olarak kalıtım tarafından belirlendiğini göstermektedir. Ailevi genetik kalıtım, kraniofasiyal iskelet boyutları üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir ve bu maloklüzyonun görülme sıklığı, birçok nesilde aile bireyleri arasında daha yüksektir. Habsburg Çenesi bunun bilinen bir örneğidir (Doraczynska-Kowalik ve ark., 2017; Lippi ve ark., 2012; Proffit ve ark., 2007).

Bazı yazarlar otozomal çekinik, bazıları otozomal dominant aktarım olduğunu öne sürerken, bazıları da poligenik aktarım modelini destekler. Poligenik kalıtıma göre; bir özellik yeni nesillere iki veya daha fazla gen tarafından ve/veya farklı diğer genlerin, bazen çevresel faktörlerin de etkilemesi

sonucu geçmektedir. Yani poligenik veya multifaktöriyel kalıtım, fenotipik özelliklerin kalıtımına işaret eder ve bu fenotipik özellik iki veya daha fazla duyarlılık genine ve çevredeki etkileşime atfedilebilir (Cruz ve ark., 2008; Huang ve ark., 1981).

Çevresel faktörler, mandibular duruş alışkanlıkları, yanlış oral alışkanlıklar, nazal hava yolu tıkanıklığı, hormonal dengesizlikler, travma, süt dişlerinin erken kaybı, doğuştan anormallikler ve kas disfonksiyonu gibi çeşitli etmenlerden oluşmaktadır. Bu faktörler, mandibular konumu etkileyerek Sınıf III maloklüzyona katkıda bulunur (Litton ve ark., 1970; Rakosi ve Schilli, 1981; Sugawara ve ark., 2016).

2.1.3.2. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Tedavisi

İskeletsel sınıf III deformitelerde tedavi kararı, tedavinin dentoalveolar mi yoksa iskeletsel düzeltmeye mi yönelik olduğuna bağlı olarak değişmektedir. Bu noktada, hastanın yaşı, maloklüzyonun şiddeti, radyografik bulgular ve potansiyel büyüme yönü gibi kriterlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Zere ve ark., 2018).

İskeletsel sınıf III deformitenin, yaşamın erken dönemlerinde ortaya çıktığı, kendi kendine düzelme göstermediği ve genellikle maksiller darlık ile ilişkili olduğu kabul edilmektedir. Bundan dolayı tedavisinin süt dişlenme veya ergenlik öncesi büyüme evresi gibi erken bir dönemde yapılması önerilmektedir. Erken tedavi, uygun vakalarda iskeletsel gelişimini yönlendirmek ve ileride cerrahi müdahale ihtiyacını azaltmak açısından faydalı olabilmektedir. Ancak, erken müdahalenin de potansiyel riskleri ve komplikasyonları bulunmaktadır. Bu nedenle, karar verme süreci, multidisipliner bir yaklaşımla hastanın bireysel ihtiyaçlarına göre kişiselleştirilmelidir (Cha, 2003).

İskeletsel sınıf III deformiteye sahip bireylerin tedavi zamanlaması, kritik bir husustur. Bazı araştırmacılar, bu iskeletsel deformasyonun erken dönemde tedavisinin daha etkili olduğunu savunmaktadır (Stensland ve ark., 1988). Diğer araştırmacılar ise, hastanın büyüme ve gelişim dönemi tamamlandıktan sonra ortognatik cerrahi ile tedavi edilmesinin daha uygun olduğunu düşünmektedir (SUBTELNY, 1980).

Erken dönemde yapılan ortopedik tedavi ile iskeletsel uyumsuzluğun azaltılması, oklüzal ilişkilerin düzeltilmesi ve cerrahi tedavinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. İskeletsel sınıf III deformitenin tedavisinde, büyüme döneminde mandibulaya ortopedik kuvvetler uygulamak yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem, üst çenenin öne doğru yönlendirilmesi yoluyla iki çene arasında daha iyi bir anteroposterior ilişki elde etmeyi amaçlamaktadır. Büyümekte olan mandibulaya ortopedik kuvvetlerin etkisinin birçok çalışmada gösterilmiş olması, bu yöntemin etkili olduğunu düşündürmektedir (Sarangal ve ark., 2020).

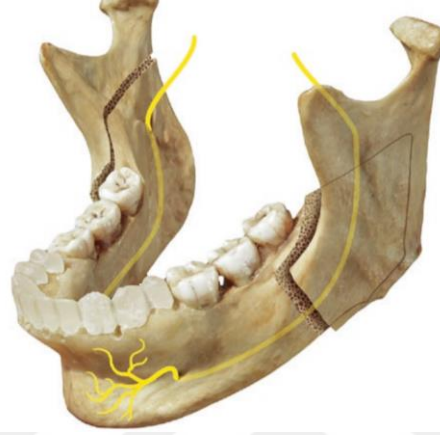
İskeletsel sınıf III deformitesi olan, büyüme ve gelişmekte olan bireyler için intraoral ve ekstraoral tedavi yöntemleri mevcuttur. Hafif ve orta derecede mandibular prognatizmi olan bireylerde, mandibulanın ileriye doğru fazla büyümesini önlemek için çenelik (chin cup) kullanılabilir. Ancak, erken dönemde chin cup tedavisinin iskeletsel değişiklikler sağlayabildiği, ancak bu değişikliklerin kalıcı olmadığı bildirilmiştir (Sarangal ve ark., 2020; Satravaha, 2022).

Maksiller yetersizliğe bağlı Sınıf III deformite tedavisinde kullanılan en etkili yöntemlerden biri de yüz maskesi (face mask) olarak bildirilmektedir. Maksiller retrüzyon ile karakterize iskeletsel Sınıf III deformitesi olan bireylere erken dönemde uygulanan yüz maskesi tedavileri, maksillanın sagittal yönde büyümesinde etkilidir. Ayrıca üst hava yollarına da olumlu katkıları bulunmaktadır (Hiyama ve ark., 2002).

İskeletsel sınıf III deformitelerin fonksiyonel tedavisinde kullanılan ağız içi aparey, Frankel tarafından geliştirilen, çeneler üzerine ortopedik; perioral kaslar üzerine miyofonksiyonel etki sağlayan Frankel III apareyidir. Bu aparey, hastanın klinik muayenesinde mandibulasının daha posteriorda konumlandığı, maksillada gelişim yetersizliği bulunan, büyüme ve gelişmekte olan sınıf III deformiteleri olan bireylerde endikedir. Bu aparey, maksiller kompleks üzerinde etkili olan kuvvetlerin etkisini azaltmayı amaçlamaktadır (McNamara Jr ve Huge, 1985).

Büyüme ve gelişimi tamamlanmış bireylerde, iskeletsel anomalinin hafif olduğu durumlarda, sadece dişsel ilişkileri düzeltmeyi amaçlayan sabit ortodontik tedaviler (kamuflej tedavileri) uygulanabilmektedir (Mitani, 1981). Ancak,

orantısız sagittal ve vertikal büyüme paterni gösteren, ciddi iskeletsel mandibular prognatizm vakalarında, iskeletsel ve fasiyal uyumsuzluğun giderilmesi için ortodontik tedavi ve ortognatik cerrahi birlikteliği gereklidir. Mandibular prognatizm vakalarının çoğunda, tek tedavi seçeneğinin ortognatik cerrahi olduğu kabul edilmektedir. Bu hastalarda, mandibulanın geriye alınmasını sağlayan BSSRO gibi cerrahi teknikler kullanılmaktadır (Proffit ve ark., 2019).



Şekil 2.1: Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomi Tekniği (Dabir ve Vahanwala, 2021)

2.1.3.3. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerde Büyüme ve Prognozun Belirlenmesi

İskeletsel Sınıf III dentofasiyal deformitelerin ortopedik tedavisinin prognozu pubertal büyüme zirvesinden önce uygulandığında olumlu sonuç vermektedir. Bu, büyümenin henüz tamamlanmadığı bu dönemde, iskeletsel yapıların daha kolay şekillendirilebileceği anlamına gelmektedir (Choi ve ark., 2017).

Ancak, hastaya erken tedavi uygulanamaz ise; iskeletsel sınıf III deformite, büyümeyle daha da kötüleşebilir. Bu nedenle, iskeletsel sınıf III deformitede, dengeli bir iskelet ilişkisi elde etmek amacıyla erken tedavi önerilmektedir ve bu sayede ileride ortognatik cerrahi gibi daha karmaşık tedavilere duyulan ihtiyaç en aza indirgenmiş olunur (Campbell, 1983; Wells ve ark., 2006).

2.1.3.4. İskeletsel Sınıf III Dentofasiyal Deformitelerin Neden Olduğu Sorunlar

- Fonksiyonel, Klinik ve Sağlık Problemleri

İskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteler, mastikasyon (çığneme) ve fonasyon (konuşma) gibi fonksiyonel hareketleri olumsuz etkileyebilir; periodontal dokuların bozulmasına (dişeti hastalıklarına), oklüzal travmaya (bruksizm) ve temporomandibular eklem rahatsızlıklarına (klik sesi, ağrı, disk yer değiştirmesi, disk perforasyonu ve osteoartrit) yol açabilmektedir (Sanromán ve ark., 1998; Shaw ve ark., 1980).

- Estetik ve Psikososyal Problemler

İskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteler, kişinin yüz estetiğini de olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuz durumun, hastalarda psikososyal strese neden olduğu, buna bağlı olarak kişinin özgüveninin ve sosyal hayatının negatif yönde etkilendiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. İskeletsel dentofasiyal deformitesi olan bireylerin özgüvenlerinin ve yaşam kalitelerinin; iskeletsel dentofasiyal deformitesi olmayan bireylere göre daha düşük olduğu saptanmıştır (Frejman ve ark., 2013; Laufer ve ark., 1976; Soh ve Narayanan, 2013).

2.2. ORTOGNATİK CERRAHİ

Ortognatik cerrahi, ciddi dentofasiyal deformiteleri tedavi etmek için yapılan oldukça yaygın kullanılan bir prosedürdür. Ortognatik terimi, "düzgün" anlamına gelen "orthos" ve "çene" anlamına gelen "gnathos" kelimelerinden türemiştir. Çığneme ve konuşmayı iyileştirmede sağladığı fonksiyonel faydaların yanında, hastaların yüz estetiğini ve psikososyal refahını da önemli ölçüde geliştirmektedir. Başarılı sonuçlar için uzun vadeli ve rijit bir fiksasyon esastır ve titiz bir ön ameliyat hazırlığı ve planlaması ile titiz bir cerrahi teknik gerektirir (Kim, 2017).

Genel olarak güvenli bir cerrahi olsa da relaps, nekroz, dişlerde vitalite kaybı, maksiller sinüzit, malpozisyon, nonunion, vasküler komplikasyonlar ve temporomandibular eklem bozuklukları gibi komplikasyonlar ortognatik cerrahi teknikler sonrası sıklıkla gözlenmektedir (Frischia ve ark., 2017; Zaroni ve ark., 2019).

Ortognatik cerrahi, multidisipliner bir yaklaşım gerektiren karmaşık bir cerrahi işlemdir. Bu multidisipliner yaklaşım, ortognatik cerrahinin başarısında kilit bir rol oynar. Bu multidisipliner ekip genellikle ortodontistler, çene-yüz cerrahları, anesteziistler, psikologlar ve hasta bakıcılarından oluşmaktadır. Cerrahi teknikler ve yaklaşımlar, hastanın özel durumuna bağlı olarak değişebilir, bu nedenle her hasta için özelleştirilmiş bir tedavi planı oluşturulmalıdır (Naini, 2011).

2.2.1. Ortognatik Cerrahi Teknikler

Ortognatik cerrahi, çene-yüz cerrahisinde sıklıkla başvurulanan bir cerrahi tekniktir. 20. yüzyılın başlarından bu yana ortognatik cerrahi yöntemleri giderek daha da mükemmel hale gelmiştir. Çok sayıda cerrah, üst ve alt çeneyi de içine alan iskeletsel dentofasiyal deformiteleri düzeltmek için birbirinden farklı cerrahi teknikler geliştirmişlerdir. Günümüzde mandibulada en yaygın olarak bilateral sagittal split ramus osteotomisi (BSRRO), maksillada ise Le Fort I osteotomisi tercih edilmektedir.

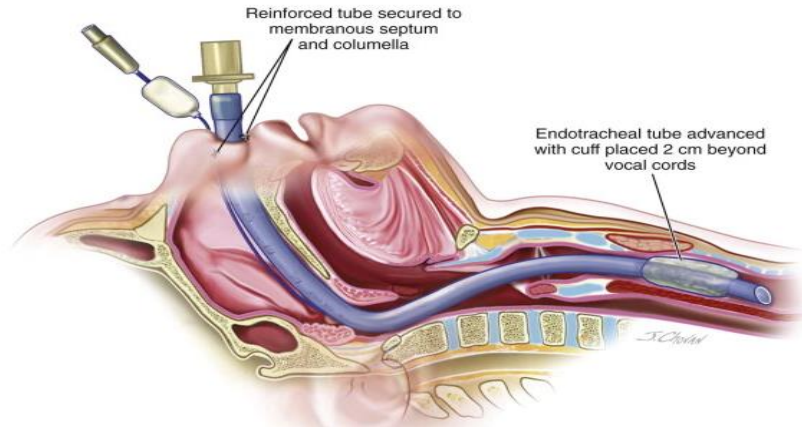
2.2.1.1. Le Fort I Osteotomisi

Bu teknik, ortognatik cerrahi müdahaleler içerisinde en sık başvurulanan uygulamalardan biridir. Le Fort I osteotomisinin kullanım alanı oldukça geniştir. Bu teknik, güvenilir ve etkili bir cerrahi yöntemdir. Bu tekniğin güvenilirliği, tekniğin uzun yıllardır kullanılıyor olmasından ve yüksek başarı oranına sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Midtling ve Turvey, 2022).

- Endikasyonları (Buchanan ve Hyman, 2013; Park ve ark., 2016; Wu ve ark., 2023)
 - a) İskeletsel sınıf II dentofasiyal deformitelerin düzeltilmesi,
 - b) İskeletsel sınıf III dentofasiyal deformitelerin düzeltilmesi,
 - c) Fasiyal asimetrielerin cerrahi olarak düzeltilmesi,
 - d) Midfasiyal hipoplazi ve vertikal maksiller fazlalık gibi diğer dentofasiyal deformitelerin tedavisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Cerrahi Teknik

Le Fort I osteotomisinin başarısı sadece cerrahi müdahalenin kendisine değil, aynı zamanda titizlikle özen gösterilen pre-op hazırlık aşamasına da bağlıdır. Pre-op antibiyotik profilaksisi, post-op yara enfeksiyonu riskini minimize etmek için uygulanmalıdır. Hasta, nötral baş pozisyonu için omuz rulosu ile sırtüstü yatırılır. Hasta, nazotrakeal entübasyon tüpü (RAE tüpü) ile nazotrakeal olarak entübe edilmektedir, böylece ameliyat esnasında hastanın oklüzyonu kolaylıkla kontrol edilebilirken; burun deformasyonunun da önüne geçilmiş olunur. Maksillanın hareketinin kranial iskelete göre ölçülebilmesi için işleme başlamadan önce eksternal yüz referans noktaları belirlenmelidir. Bu, genellikle medial kanthus seviyesinde glabella üzerine yapılan bir çizgiyle veya nazofrontal bileşke seviyesine yerleştirilen bir K-tel ile yapılır. Bu referans noktası belirlendikten sonra, maksillanın preoperatif ölçümleri dişlerden veya ortodontik braketlerden hem sol hem de sağ taraftan alınmalıdır. Daha sonra, hastanın boğazına nemli gazlı bez yerleştirilerek işlem esnasında ortaya çıkan katı ve sıvı materyallerin aspirasyonu ve yutulması gibi komplikasyonların önüne geçilmiş olunur. İnsizyon öncesi hemostazı sağlamak için tüm bukkal bölgelerde vestibül sulkus ve daha derinine 1:100000'lik adrenalin içeren lokal anestezi enjeksiyonu yapılır (Weiss ve ark., 2021).

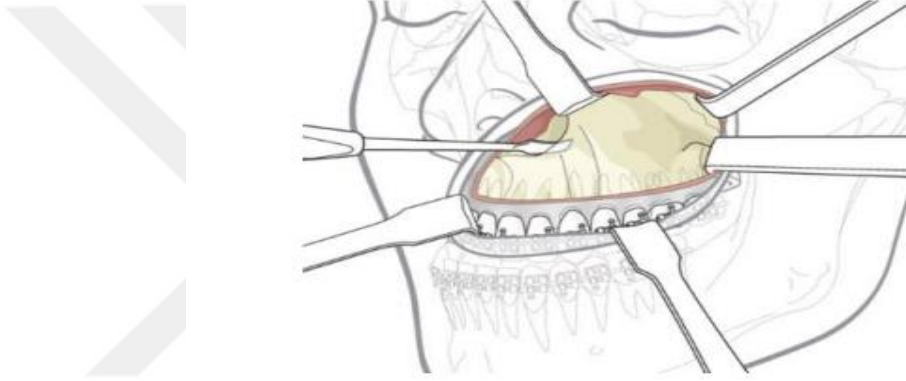


Şekil 2.2: Nazotrakeal Entübasyon (Sagittal Kesit Gösterimi) (Weiss ve ark., 2021)

Başlangıç yumuşak doku insizyonu, bir taraf zigomatikomaksiller buttressinden başlayarak orta hattı geçerek karşı taraftaki zigomatikomaksiller

buttress bölgesine kadar; alveol kemikte 5 mm'lik bir non-keratinize diş eti bırakılarak mukogingival birleşimin üzerinden olacak şekilde yapılır. Bu kesi #15 nolu bistüri, elektrokoter veya lazer ile yapılabilir (Buchanan ve Hyman, 2013).

Kemiğe ulaşmak amacıyla periost elevatörü kullanılarak mukoperiosteal flap kaldırılır ve mukoza tüber arkasına, pterygoid çıkıntılara doğru dikkatlice genişletilir. Pterygoid venöz kompleksinden kaynaklanabilecek kanamaları önlemek için, posteriorda pterygomaxillary fissüre kadar titiz bir subperiosteal ayırım gerçekleştirilmelidir. İnsizyonun inferior kısmında doku diseksiyonu yapılmaz (Sullivan, 2016).



Şekil 2.3: Le Fort I Osteotomi Tekniğinde Periost Elevasyonu İllüstrasyonu (Naini ve Gill, 2017)

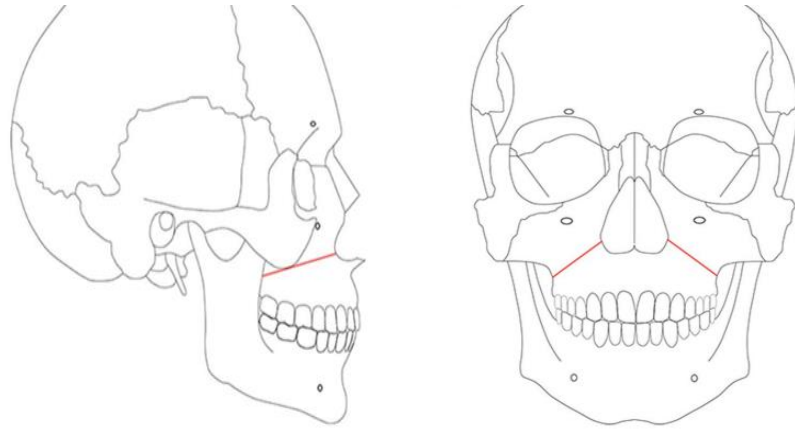
Daha sonra flap anteriorda infraorbital damar-sinir paketini açığa çıkarmak için dikkatli bir şekilde, kanama kontrolü amacıyla bir tampon yardımıyla yavaşça yukarı doğru diseke edilir. Bukkal mukozanın retraksiyonu için Langenbeck retraktörler tercih edilirken, infraorbital sinirlerin korunması için hassas ve kontrollü hareketler esastır. Aşırı veya yanlış retraksiyon, potansiyel olarak geçici neuropraxi (sinir iletiminde geçici kayıp) gibi komplikasyonlara yol açabilir (Sullivan, 2016).

Spina nazalis anterior, ameliyat esnasında belirlenerek dikkatlice bu bölgedeki nazal periost, nazal taban ve lateral nazal duvarlar eleve edilmelidir. Bu işlem, genellikle bir Ward periost elevatörü, Mitchell's trimmer veya Howarth periost elevatörü yardımıyla gerçekleştirilir. Nazal mukoza, burun boşluğunu kaplayan ince bir zardır. Osteotomi esnasında nazal mukozayı korumak için nazal

kavitenin lateral duvarına Howarth ekartörü yerleştirilmelidir. Diseksiyona burun tabanından lateral duvarlara kadar ve medialde nazal septuma kadar devam edilmelidir. Diseksiyon, nazal mukozaya zarar vermeyecek şekilde dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Diseksiyon sırasında, burun kanamasını önlemek için intranazal tampon veya gazlı bez kullanılabilir. Down fracture öncesinde bu mukozayı periosttan ayırmak, osteotomi hattının nazal mukoza ile temasını önler, kanama ve mukozanın perforasyon riskini azaltır (Eshghpour ve ark., 2018).

Osteotomi hatlarını işaretlemek düzgün ve istenildiği şekilde kemik kesisi oluşturmak için büyük önem taşımaktadır. Osteotomi hatları iki yöntemle işaretlenebilir. Bunlardan birincisi steril kalemdir. Bu basit yöntem, cerrahın hassas çizgilerle kesimi manuel olarak işaretlemesini içerir. Hızlı ve uygun maliyetlidir ancak kesinliği yüksek devirli frez yöntemine göre daha düşüktür. İkincisi ise yüksek devirli tur aleti ve frez kullanılarak yapılan işaretleme yöntemidir. Hassas bir frez kullanılarak, kemiğin üzerine osteotomi çizgisi hassas ve düzgün bir şekilde kazılır. Bu yöntem daha kesindir ancak steril kalem yöntemine göre biraz daha fazla zaman alır ve ısı oluşturacağı için serum soğutması altında yapılmalıdır (Atac, 2019; Jang ve ark., 2013).

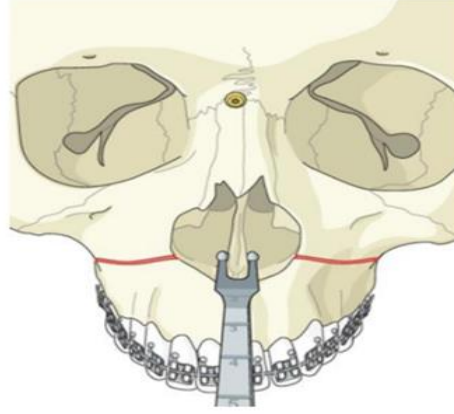
Osteotomi tasarımı sırasında diş köklerini korumak kritik önem taşımaktadır. Başlangıç osteotomisi kesisi, testere veya piezocerrahi ile maksiller kanin dişin ortalama 26 mm uzunluğundaki kök boyu referans alınarak, kök apeksinin yaklaşık 5 mm süperiorundan; zigomatikomaksiller buttressin en konveks olduğu yerden başlatılarak apertura priformis bölgesine doğru mümkün olduğunca önceden işaretlenen hat boyunca, bilateral olacak şekilde yapılmalıdır. Bu sayede maksiller diş köklerinin hasarı önlenmiş olunur. Prensipte olarak Le Fort I osteotomisi repozisyonu kolaylaştırmak için oklüzal düzleme paralel olacak şekilde, anteriorda apertura priformisten zigomatik kemik desteğine ulaşıldığında da aşağı doğru, posteriordaki pterigoid çıkıntılara kadar bilateral olarak devam ettirilir. Ayrıca, osteotomi hattı piriform açıklığın seviyesinde her zaman concha nasalis inferiorun altından gerçekleştirilmelidir. Bu, nasolakrimal kanalda meydana gelebilecek olası zararları engeller (Atac, 2019; Jang ve ark., 2013).



Şekil 2.4: Le Fort I Tekniğinde Osteotomi Hatları (Kırmızı ile gösterilmiştir). (Kurohara ve ark., 2019)

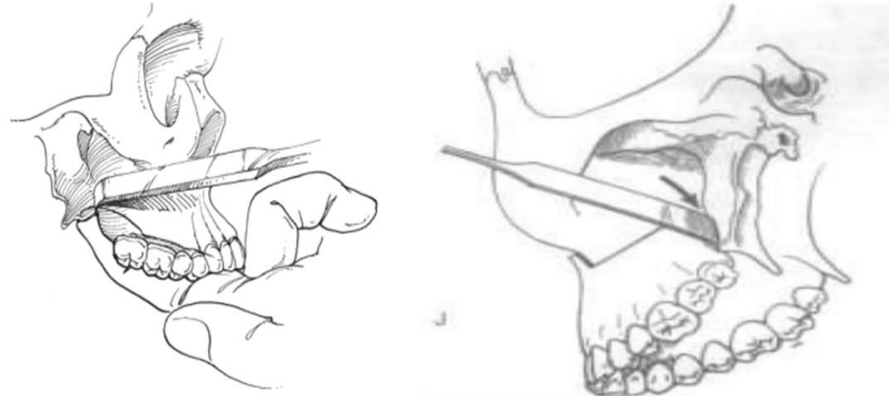
Lateral nazal duvarların osteotomisi yapılırken nazal osteotomların hattı, piriform kenarlardan posteriora ve hafifçe laterale yönlendirilir, bu aşamada nazal kavitenin posteriora doğru genişlediği unutulmamalıdır. Nazal kavitenin dış duvarı, posteriorda palatinal kemiğin perpendiküler laminasına kadar ayrılır, bu noktada posteriora ilerletilen osteotomun ses tonunda tok bir kemik sesi alındığında osteotomi işlemi durdurulmalıdır, arteria palatina descendensin laserasyon riski nedeniyle çok geriye gitmemeye özen gösterilmelidir (Seo ve Choi, 2021).

Sonrasında U şekilli nazal septum osteotomu; septum kırırdağı, vomer ile maksiler, palatal cristal kemik birleşimini ayırmak için orta hatta septumun hemen altına yerleştirilir ve anterior nazal spinadan, posterior nazal spinaya kadar osteotomi tamamlanır. Bu işlemler esnasında nazotrakeal entübasyon tüpüne zarar vermemeye özen gösterilmelidir. Alar cinch sütür ve septal sütür atılabilmesi için anterior nazal spinada yeteri kadar kemik bırakılmalı, tamamen uzaklaştırılmamalıdır. Bununla birlikte anterior nazal spinanın tamamen uzaklaştırılmasının yumuşak dokuda ve burun ucunda değişiklikler meydana getirebileceği unutulmamalıdır (Çoban ve ark., 2021; Seo ve Choi, 2021).



Şekil 2.5: U Şekilli Nazal Septum Osteotomu (Buchbinder ve ark., 2015)

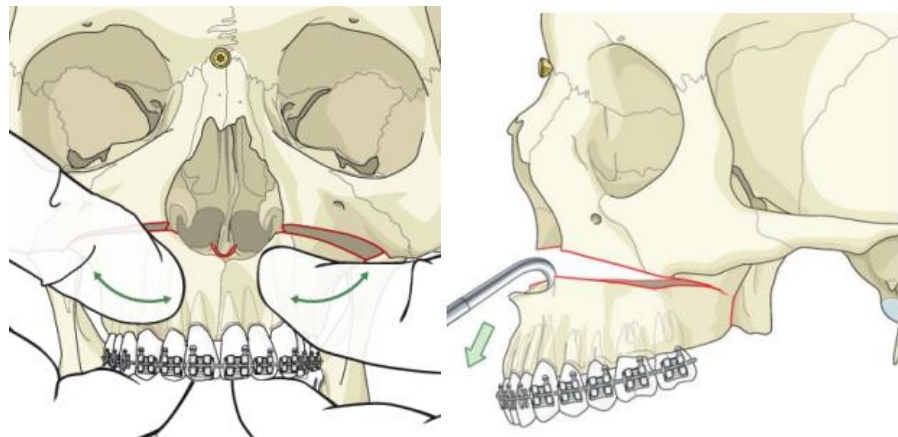
Nazal osteotomiler yapıldıktan sonra, bilateral olarak pterygoid plakalar küçük, keskin ve eğimli pterygoid osteotomlar yardımıyla tüber maksilladan ayrılır. Pterygoid osteotomilerinin kesinlikle subperiosteal bir kesim gerçekleştirmesi gerekmektedir. Maksilla ile pterygoid plakalar arasında posterior bölgede yeterli derinlikte kesim yapılması, osteotominin düzgün ilerlemesini sağlar ve kranial yönde oluşabilecek kırık riskini azaltır. Pterygoid osteotomların kranial yerine, aşağıya (kaudal) doğru yönlendirilmesi tercih edilmektedir. Bu yaklaşım, pterygoid plakalar ile kafa tabanı arasındaki kritik anatomik yapılara yaklaşma riskini azaltmaktadır. Bu osteotomi esnasında intraoral olarak tüber maksillanın posterioruna mukoza üzerine yerleştirilen başparmak yardımıyla tam bir pterygoid plaka ayrımının hissedilmesi sağlanabilir. Bu teknik, damar ve sinir yapılarını korur ve kontrolsüz kanama riskini minimize etmektedir. Osteotom ile kemik kesisi sırasında ses tonunda oluşan değişiklik ve palpasyonda hissedilen direnç kaybı, pterygoid ayrımaların gerçekleştiğine işaret eder. Bu geribildirimler cerrahi sürecini yönlendirmede faydalıdır. Pterygomaxillar ayrım, her iki tarafta da aynı teknik ve hassasiyetle tekrarlanmalıdır (Dos Santos Alves ve ark., 2019; Kramer ve ark., 2004; Rzayev, 2017).



Şekil 2.6: Pterygoid Osteotomların Tüberin Posterioruna Yerleştirilmesi

(Fonseca, 2017)

Daha sonra down fracture denilen maksillanın anteriorundan aşağı yönde kuvvet uygulanarak hareketlendirilmesi işlemine geçilecektir. Osteotomi hattı boyunca tüm kesileri tamamlanmış maksiller segment ilk olarak bimanuel olacak şekilde aşağı yönde kuvvetlice bastırılarak down fracture işlemi yapılır; ardından bu işlem sonucu serbestleşen segment Rowe kemik forsepsi yardımıyla kuvvet uygulanarak tamamen serbestleştirilerek planlanan hareket miktarı verilmeye çalışılır. Tüm bu süreçte, dokuların aşırı gerilmesinden kaçınmak ve optimal kan akışını korumak için fazla kuvvet uygulamamaya özen gösterilmelidir (Hausamen, 2001; Naini ve Gill, 2017).



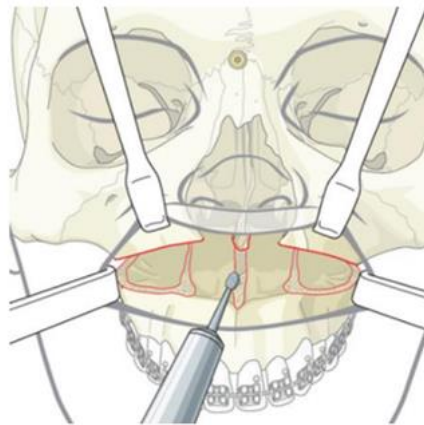
Şekil 2.7: Le Fort I Osteotomi Tekniğinde Down Fracture İşlemi

(Buchbinder ve ark., 2015)



Şekil 2.8: Rowe Kemik Forsepsleri (Sağ – Sol)

Tedavi planlamasına göre istenen hareketin yapılmasına engel teşkil eden tüm kemik çıkıntıları ve prematür temaslar serum soğutması altında yüksek devirli döner alet ve frez yardımıyla veya kemik pensiyle rezeke edilmelidir. Maksiller gömme planlanıyorsa, anterior maksiller kemik ile birlikte septum ve vomerin de uygun miktarlarda rezeksiyonu gerçekleştirilmelidir. Bu müdahale, kararlı bir kemik tabanının oluşumuna ve septal deviasyon riskini minimize etmeye yöneliktir. Bu aşamada, geniş inferior veya horizontal hareketler planlanıyorsa, sabit ve hareketli segmentler arasındaki boşlukların doldurulması ve stabilitenin artırılması amacıyla blok kemik greftleme seçenekleri değerlendirilmelidir (Seo ve Choi, 2021).



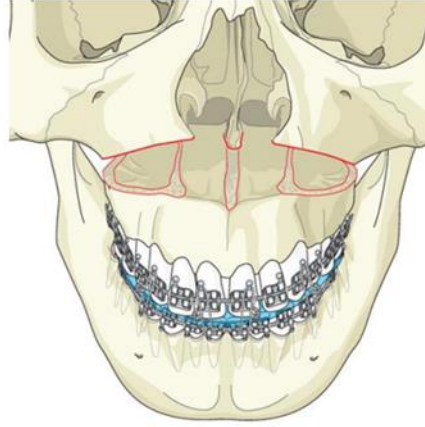
Şekil 2.9: Kemik Çıkıntılarının ve Prematür Kontakların Rezeksiyonu
(Buchbinder ve ark., 2015)

Mandibulanın aşağıdan yukarı doğru bastırılması ile temporomandibular kondiller, glenoid fossalardaki yerlerine oturtulur. Bu sırada önceden işaretlenmiş referans noktaları ölçülerek istenen maksiller hareketin sağlanmış olup olmadığı tespit edilmelidir. İstenilen maksiller hareketler, nazolabial kıvrımların yeniden konumlandırılması, oklüzal düzlemdeki eğimin düzeltilmesi veya burun ucunun yükseltilmesi gibi spesifik hedeflere göre belirlenir. Cerrahi ekip, oklüzal cerrahi splint yardımı ile milimetrik hassasiyetle kemik hareketlerini kontrol ederek bu hedeflere ulaşmayı amaçlamalıdır. Amaçlanan hareket miktarına ulaşıldığı teyit edildikten sonra intermaksiller fiksasyona (İMF) geçilmelidir (Buchanan ve Hyman, 2013; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000).

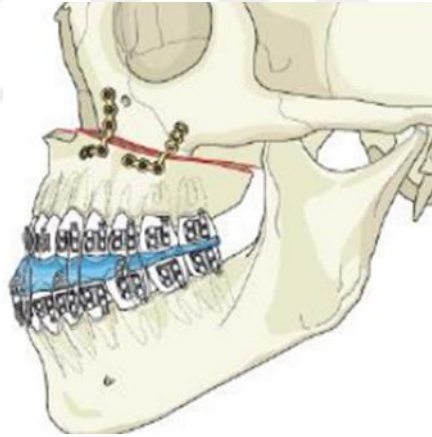
Ortodontik cerrahi splint ile maksillaya istenilen hareket miktarı verilerek çeşitli yöntemler ile intermaksiller fiksasyon sağlanmaktadır. Maksilla, planlanan pozisyona getirildiğinde çeşitli fiksasyon araçları, maksillayı yeni pozisyonunda sabitlemek için kullanılabilir. Kemik segmentlerinin fiksasyonu için günümüzde titanyumdan veya rezorbe olabilen materyallerden yapılan miniplak ve minividalar kullanılmaktadır. Maksillanın stabilizasyonu, genellikle her iki taraf zigomatikomaksiller butress ile nasomaksiller butress bölgelerine yerleştirilen toplamda dört adet olacak şekilde minividalarla fiksasyonu gerçekleştirilen miniplaklarla sağlanmaktadır (Kaur ve ark., 2021).

Maksiller kemiğin farklı bölgelerindeki kalınlık farklılıkları nedeniyle miniplak seçimi önem taşır. Nasomaksiller butress bölgesinde ince kemik anatomisi nedeniyle L şekilli miniplakların kullanımı tavsiye edilmekteyken, zigomatik butress bölgesinde gözlenen daha kalın kemikte ise 1.5 mm kalınlığındaki miniplakların kullanımı önerilmektedir. Miniplaklar, kemik konturlarına uygun bir biçimde şekillendirilmelidirler. Minividaların seçimi de kemiğin kalınlığına göre belirlenmektedir. Diş köklerine yakın ve ince kemik anatomisinin olduğu bölgelerde 3–5 mm uzunluğunda minividalar tercih edilirken, daha kalın kemik bölgelerinde 7–9 mm uzunluğunda minividalar kullanılmaktadır. Bu durum, rijit fiksasyonun optimal düzeyde sağlanmasını amaçlarken; komplikasyon riskini minimize etmeye yardımcı olmaktadır. Fiksasyon aşamasında iyi soğutma, kemiğin aşırı ısınmasını ve doku nekrozunu önlemek için önem arz etmektedir. Cerrahi donanım ve teknikler bu hassasiyete

uygun olmalıdır. Mümkün olduğunca, plak ve vidaların ameliyat sonrası hastaya rahatsızlık vermeyecek şekilde olmasına ve çıkıntı yapmamasına dikkat edilmelidir (Atac, 2019; Puthumana ve ark., 2022).



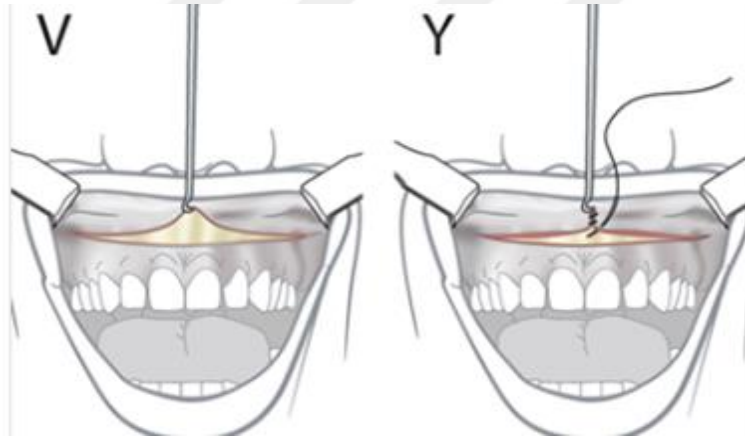
Şekil 2.10: Okzal Cerrahi Splintin Yerleştirilmesi ve İMF'nin Sağlanması (Buchbinder ve ark., 2015)



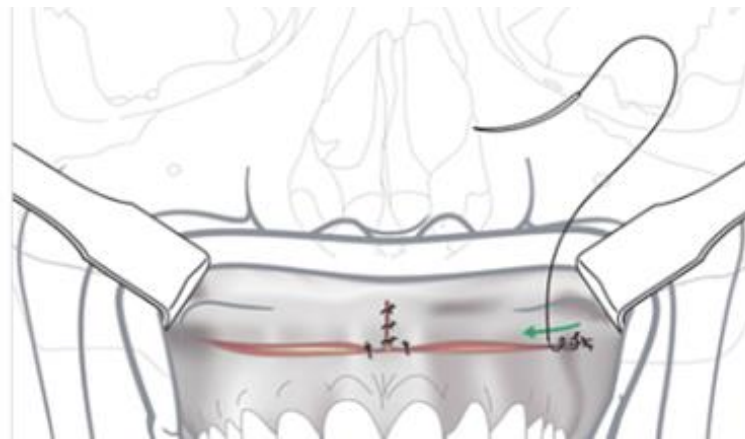
Şekil 2.11: Mini Plak ve Vidalar Yardımıyla Rijit Fiksasyonun Sağlanması (Buchbinder ve ark., 2015)

Optimal fonksiyonel sonuçlara uygun olan ortodontik ilişkinin sağlandığı teyit edildikten sonra, kanama kontrolü yapılarak, yaranın kapatılması aşamasına geçilir. Sıklıkla tercih edilen yöntem, 3.0 veya 4.0 kalınlığında Vicryl® gibi rezorbe olabilen bir sütur materyalinin kullanılmasıdır (Milor ve ark, 2004; Yamashita ve ark., 2020).

Mukoza insizyonu V-Y tekniği ile kapatılmaktadır. Özellikle geniş horizontal hareketler içeren prosedürlerin ardından, üst dudak doğal dolgunluğunun korunması kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, V-Y ilerletme tekniği, mukoza dokusunun ön kısmını süperior ve anteriora doğru ilerleterek, estetik açıdan ideal üst dudak konturunu yeniden kazandırılmasında faydalıdır. Böylece üst dudak uzunluğu korunmuş olunur. Maksillanın gömülmesi veya ilerletilmesi sonrasında burun genişliği artışını azaltmak için alar cinch sütur tekniği kullanılabilir. Bu teknik, lateral nazal duvarların kollapsını önler ve post-op dönemde olası burun tabanı genişlemesini minimize etmektedir (Howley ve ark., 2011; Van Opstal ve ark., 2023).



Şekil 2.12: Mukozanın V – Y İlerletme Tekniği İle Süturlanması (Naini ve Gill, 2017)



Şekil 2.13: Horizontal İnsizyonun Kilitli Devamlı Sütur Tekniği İle Primer Kapatılması (Naini ve Gill, 2017)

- Komplikasyonları (Kotaniemi ve ark., 2021; Ülker ve ark., 2023)
 - a) Venöz, arterial ve kapiller hemoraji,
 - b) Lokal ve sistemik enfeksiyon,
 - c) Dental harabiyet,
 - d) Nörosensörial hasar,
 - e) Maksillanın yanlış repozisyonlandırılması,
 - f) İstenmeyen estetik sonuçlar ve relaps,
 - g) Fiksasyon problemleri,
 - h) Malunion / nonunion,
 - i) İstenmeyen nazal değişiklikler (septum deviasyonu),
 - j) Nasolakrimal kanal disfonksiyonu
 - k) Ölümdür.

Genel olarak, ortognatik cerrahinin riski yaş, genel sağlık durumu ve planlanan prosedür dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Ancak güvenilir bir cerrahi ekip, kapsamlı hasta değerlendirmesi ve titiz teknik uygulama ile komplikasyonlar minimize edilebilir. Hastalar ameliyat kararını verirken, kendilerine özgü risk ve faydaları doktorları ile detaylı bir şekilde tartışmalı ve tüm sorularının yanıtını almalıdır. Bu açık iletişim ve bilgi paylaşımı, güvenli ve başarılı bir ortognatik cerrahi deneyimi için temel koşuldur (Behnia ve ark., 2021).

2.2.1.2. Bilateral Sagittal Split Ramus Osteotomisi

Bilateral sagittal split ramus osteotomisi (BSSRO), mandibulaya yönelik gerçekleştirilen ortognatik cerrahi tekniklerden en sık başvurulanan yöntemdir. Geliştirilmesinden bu yana, modern çene cerrahisinin köşe taşı haline gelmiş ve birçok çene cerrahinin günlük pratiğinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Mandibular hiperplazi veya hipoplaziyi tedavi etmek için intraoral vertikal ramus osteotomisi veya distraksiyon osteogenezisi gibi alternatif teknikler mevcut olsa da BSSRO mandibular deformiteleri tedavi etmek için altın standart olarak kabul edilir. Bu teknik, anterior – posterior yönde alt çene hareketlerini sağlamanın yanı sıra alt çene asimetrisini düzeltmek için de kullanılabilir (Huppa ve Mack, 2016).

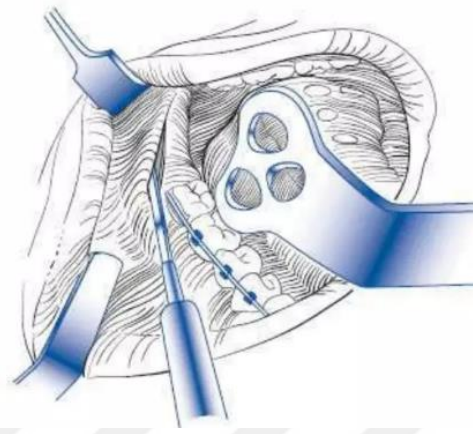
- Endikasyonları (Huppa ve Mack, 2016; Reyneke ve Ferretti, 2016)
 - a) Mandibular ilerletme (iskeletsel sınıf II dentofasiyal deformitede),
 - b) Minimal veya orta derecede mandibular geriletme durumları (iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformitede),
 - c) Horizontal mandibular fazlalık, yetersizlik ve/veya asimetri durumlarının düzeltilmesinde,
 - d) Fonksiyonel ve estetik bir oklüzyonun sağlanması amacıyla dental maloklüzyonların tedavisinde,
- Cerrahi Teknik

Hasta, supin pozisyonda masaya yerleştirilir ve genel anestezi nazotrakeal entübasyon yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Daha sonra yüz ve boyun bölgesinin prosedür için aseptik olması amacıyla povidon iyodür solüsyonu ile boyanması işlemi gerçekleştirilir. İşlem süresince konforu sağlamak için hasta pozisyonu uygun şekilde ayarlanmalı ve solunum yolu güvenliği temin edilmelidir. Aspirasyon riskinin önüne geçilmesi amacıyla hastanın boğazına nemli gazlı bezden oluşan bir boğaz tamponu yerleştirilmelidir. Daha sonra yine aseptik ortam oluşması amacıyla ağız içi, povidon iyodür – serum karışımı ile yapılmalıdır (Mani, 2021; Monson, 2013).

Lokal anestezi uygulaması için kısa süre etkili ve vazokonstriktör içeren lokal anestezik ile bilateral inferior alveolar sinir blokajı yapılmalıdır. İlave olarak cerrahi işlemin sonuna doğru uzun etkili bir anestezik kullanılabilir. Bu blokaj anesteziye ek olarak mandibula posteriorda bukkal ve lingual bölgenin submukozal dokusuna ve yükselen ramusun anterior kenarı boyunca infiltrasyon anesteziyi uygulanmalıdır (Mani, 2021; Monson, 2013).

Cerrahi alan üzerindeki mukozanın direkt görüşünü sağlamak amacıyla bukkal ve lingual bölgelere uygun ekartörler (Langenbeck – Weider Ekartörleri) yerleştirilmelidir. İntraoral insizyon için referans noktaları olarak ramusun anterior kenarı ve eksternal oblik sırtın lateral kenarı kullanılmaktadır. İnsizyonun yapılacağı tarafın karşı tarafına oklüzyon yükseltici blok yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Eksternal oblik sırt boyunca, yükselen ramusun ortasından başlanarak aşağıya doğru insizyona başlanır ve birinci molar dişin bukkalinde sonlanır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021).

Başlangıç insizyonu, mandibular segmentlerin fiksasyonu sonrası flebin kolay kapatılmasına izin verecek şekilde lateralden uygulanmalıdır. Bu sayede mandibula posterior bölgenin vestibülünde yeterli keratinize yapışık dişeti dokusu korunmuş olunur (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021).



Şekil 2.14: BSSRO Tekniğinde Başlangıç İnsizyonu (Bloomquist ve ark., 2022)

Periost elevatörü kullanılarak periost kaldırılır ve coronoid çentiğe kadar ramusun anterior yüzeyi ve eksternal oblik sırt açığa çıkarılır. Daha sonra yine periost elevatörü yardımıyla ramusun ve mandibula corpusunun bukkal yüzeyindeki tüm yumuşak dokular diseke edilir. Diseksiyon mandibular gövdenin alt kenarına ve ramusun medialine (lingual yüzeyi) kadar devam ettirilir. Yine mental siniri korumak için de mental foramenin etrafında dikkatli bir şekilde künt diseksiyon yapılmalıdır. Mental foramen, birinci ve ikinci premolar dişlerin apeksleri arasındaki alanda bulunmaktadır. Medial ramusun görüntülenebilmesi için subperiosteal diseksiyon internal oblik sırt boyunca devam ettirilir. Ramusun lingual yüzeyi, mandibular kondil başının önüne ve inferior alveolar sinire dikkat edilerek, lingula mandibulayı açıkta bırakacak şekilde periost elevatörü ile künt diseksiyonla açığa çıkarılmalıdır. Ardından ramusun anterior kenarına uç çatalı Fork ekartörü; mandibulanın alt kenarı boyunca da J – ekartör (Obwegeser kanal retraktörü) yerleştirilerek, anteroposterior yönde ileri – geri hareket yaptırılarak, mandibula basisine tutunan tüm kas-bağ dokusu bağlantıları ayrılır. Mandibular ilerletme cerrahisinde, relaps olasılığını azaltmak için corpus bölgesindeki tüm

kas ataçmanlarının diseksiyonu önem taşımaktadır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Paunonen ve ark., 2018).

Lingula mandibulanın pozisyonunu doğrulamak ve inferior alveolar siniri korumak amacıyla künt diseksiyonun ardından ucu kör bir sinir ekartörü kullanılabilir. Siniri herhangi bir hasardan korumak için, nörovasküler demetin hemen yukarısına bir kanal retraktörü yerleştirilebilir (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Monson, 2013).

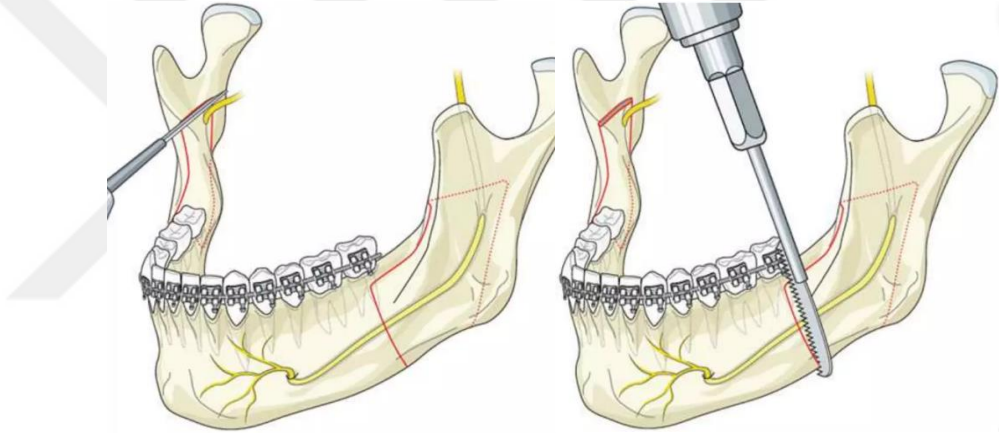


Şekil 2.15: BSSRO Tekniğinde Osteotomi Hattında Bulunan Nörovasküler Yapıların Ekartasyonu ve Korunması (Naini ve Gill, 2017)

Tüm yumuşak doku diseksiyonu ve retraksiyonu tamamlandıktan sonra osteotomi aşamasına geçilir. İlk olarak küçük bir periost elevatörü, ramusun medialine yerleştirilerek pedikülü korumak ve geri çekmek amacıyla kullanılır. Lingula mandibula, genellikle oklüzal düzlemin 1 cm yukarısında ve ramusun medialinde, anteroposterior mesafesinin yarısı ile üçte ikisi arasında yer almaktadır. Pedikül korunduktan sonra, kortikal kemikten süngerimsi kemiğe kadar derinleşen referans noktaları oluşturulur (Promma ve ark., 2017).

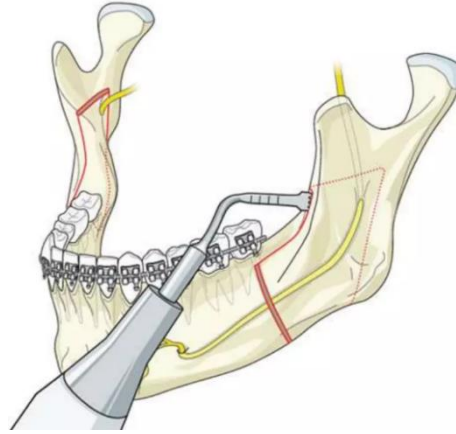
Bu işlem, yuvarlak rond frez yardımıyla eksternal oblik sırt ve mandibula corpusun anterolateral yüzeyinde serum soğutması altında döner turlu aletle yapılır. Bu noktalar, osteotomi hattının düzgün yapılabilmesi için rehber görevi görmektedir. İlk kesi, turlu alet ve lindemann frez kullanılarak lingula mandibula üzerindeki kortikal kemikten süngerimsi kemiğe doğru kullanılan frezin çapı kadar derinlikte yapılır. Bu kesi, mandibular foramenin arkasına doğru uzanmalıdır ancak ramusun posterior kenarına kadar gitmesine gerek yoktur. Kesi

daha sonra eksternal oblik sırt boyunca diagonal olarak lateral – inferior yönde, ikinci molar diş bölgesine doğru devam ettirilir. Bazı cerrahlar, intraoral plakalara daha iyi erişim sağlamak için kesiği birinci azı bölgesine doğru daha anteriora taşımayı tercih edebilmektedir. Vertikal osteotomi ise birinci ve ikinci molar diş arasındaki hizada bukkal korteks boyunca dikey olarak mandibula basisine kadar uzatılır. Vertikal kesi yapılırken, basis üzerindeki yumuşak dokular obwegeser kanal retraktörü kullanılarak korunmalıdır. Cerrahın tecrübesine ve tercihinine bağlı olarak bu kesi, piezocerrahi veya turlu alet ve fissür frez ile yapılabilir. Kesinin derinliği minimum olmalı, sadece spongioz kemiğe ulaşacak kadar olmalıdır. Ardından tüm kesilerin süngerimsi kemiğe ulaştığından emin olunmak için kesi hatları kontrol edilmelidir (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021).



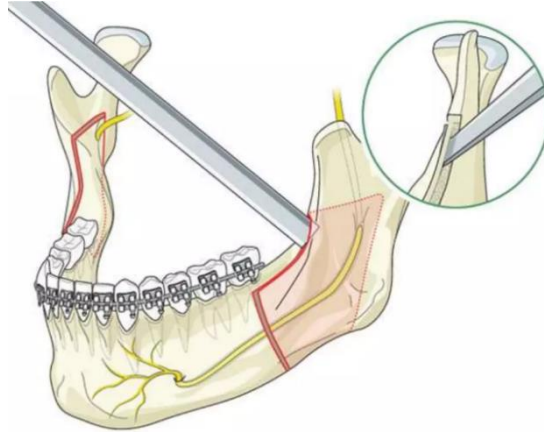
Şekil 2.16: Lingula Mandibula Üzerinde İlk Kesi ve Osteotomi Hattı

(Buchbinder ve ark., 2015)



Şekil 2.17: Osteotomi Hattı Boyunca Piezocerrahi ile Kesinin Derinleştirilmesi (Buchbinder ve ark., 2015)

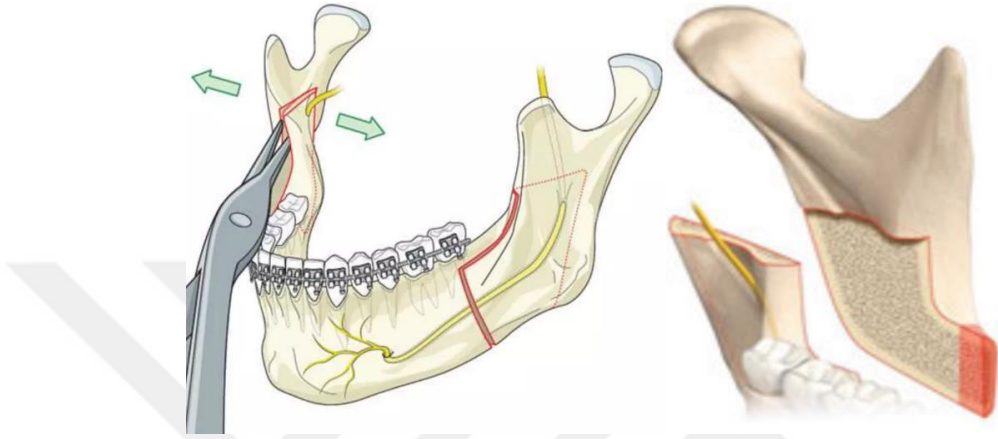
Osteotomi işlemine spongioz kemikte küçük osteotomlar ile başlanır. Daha sonra sırasıyla aynı hat boyunca daha büyük osteotomlar kullanılır. Osteotomi işlemi esnasında, inferior alveolar sinir – damar paketine zarar vermemek için osteotomlar kortikal plakanın altına doğru lateral olarak yönlendirilmelidir. Osteotomi işlemi anteriordan posteriora doğru ilerleyerek tamamlanır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Monson, 2013).



Şekil 2.18: Osteotomlar Yardımı ile Kesi Hattı Boyunca Derinliğin Sağlanması (Buchbinder ve ark., 2015)

Daha büyük osteotomlar kullanıldıktan sonra kemik segmentleri, smith spreaderi kullanılarak yavaşça birbirinden ayrılır. Bu ayırma işlemi esnasında kemik segmentleri birbirlerinden uzaklaştıkça inferior alveolar sinirin pozisyonu

kontrol edilmelidir. Nörovasküler demetin distal segmentte kalması için özen gösterilmelidir. Proksimal segmentte takılı kalması durumunda nazıkçe serbest bırakılmalıdır (Mani, 2021).



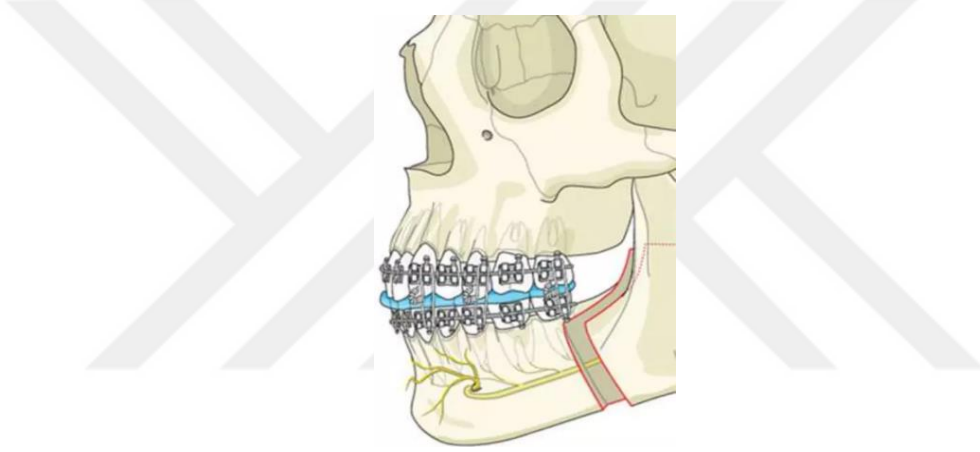
Şekil 2.19: Nörovasküler Demetin Distal Segmentte Bırakılması
(Buchbinder ve ark., 2015)

Bunun için künt uçlu bir periost elevatörü kullanılabilir. Ardından segmentlerin tamamen ayrıldığından (distal segmentin serbestleştiği el ile kontrol edilebilir) ve kondil başının hala proksimal segmente bağlı olduğundan emin olunmalıdır. Tüm işlemler aynı sırayla karşı tarafa da tekrarlanır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Monson, 2013).

Bilateral sagittal split ramus osteotomisi hem mandibular forward (ilerletme) hem de mandibular set-back (geriye alınması) için kullanılabilir. Mandibula ileri alınacaksa, medial pterygoid kasın künt uçlu bir periost elevatörü yardımıyla, insersiyoyu yaptığı distal segmentin alt kenarından diseksiyonu yapılmalıdır. Mandibula geriye alındığında, kondiler segmentin (proksimal segment) posteriora yer değiştirmesini önlemek için medial pterygoid ve masseter çığneme kaslarının insersiyoyu yaptıkları pterygomasseterik bileşke noktasında diseksiyonları yapılmalıdır. Bilateral sagittal split ramus osteotomi işleminde pterygomasseterik bileşkenin diseksiyon işlemi antegonial çentiğe kadar minimize edilmelidir. Aşırı yapılan diseksiyon işlemi, avasküler nekroz olasılığını arttırmaktadır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021).

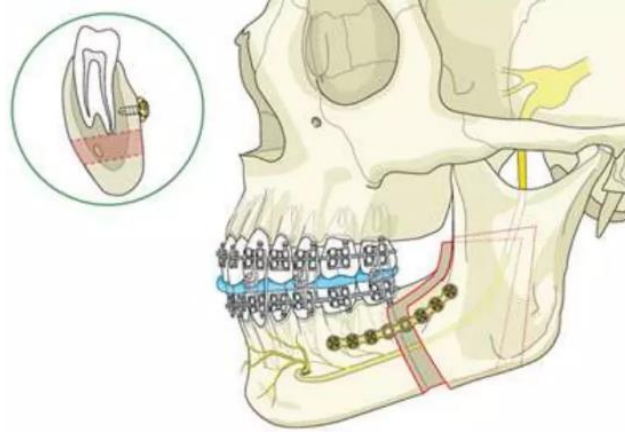
Mandibular set – back durumlarında, kondiler segmentin (proksimal segment) lateral plakası, distal segmentin üzerine örtmektedir. Proksimal segmentin bu fazla gelen plaka kısmı kesilerek alınır ve proksimal segment herhangi bir gerilim olmadan distal segmentin üzerine oturtulur (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021).

Akrilik oklüzal splint kullanılarak intermaksiller fiksasyon sağlandıktan sonra, kemik segmentleri pasif pozisyonda olacak şekilde yerleştirilir. İyi bir osteosentez süreci için kemik segmentlerinin rijit internal fiksasyonla sabitlenmeleri oldukça önemlidir (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Monson, 2013).



Şekil 2.20: Akrilik Oklüzal Splintin Yerleştirilmesi ve İMF Sağlanması
(Buchbinder ve ark., 2015)

Rijit fiksasyonun sağlanması amacıyla bikortikal lag vida teknikleri veya barlı – barsız mini plaklar ve monokortikal mini vidalar sıklıkla tercih edilen materyallerdir. Genellikle tek taraf için iki veya üç adet bikortikal lag vida veya dört delikli barlı – barsız mini plaklar ve bunlara uygun dört adet mini vidalar kullanılmaktadır (Mani, 2021).



Şekil 2.21: Rijit Fiksasyonun Sağlanması (Buchbinder ve ark., 2015)

Günümüzde fiksasyon vidalarını yerleştirmek için, ciltte skar oluşumunu önlemek amacıyla, ekstraoral bir yaklaşım tekniği olan transbukkal yaklaşımdan kaçınılmaktadır. Günümüzde cerrahlar, Luhr ve Fritzsche tarafından önerildiği gibi, transbukkal yaklaşımdan kaçınarak cerrahiyi tamamen intraoral olarak gerçekleştirmek amacıyla dik açılı drill sistemlerini ve tornavidaları kullanılmaktadır. Bazı cerrahlar, post – op intermaksiller fiksasyonu bir hafta kadar tutabilirken, bazıları rijit internal fiksasyon yapıldıktan sonra çıkarmaktadır (Huppa ve Mack, 2016; Mani, 2021; Monson, 2013).

Bazı çalışmalarda, BSSRO sonrası rijit internal fiksasyon amacıyla dört delikli mini plaklar ve monokortikal mini vidaların kullanımının, %18 civarında relaps oranı ile daha fazla stabilite sağladığı bulunmuştur. Monokortikal mini vidalar kullanıldığında, inferior alveoler sinirin hasar görme olasılığı daha düşüktür. Bu vidalar ameliyat sırasında herhangi bir istenmeyen yanlış pozisyon olması durumunda daha kolay yeniden ayarlanma imkânı sağlamaktadır (Kuik ve ark., 2019; Mani, 2021).

Rijit internal fiksasyon sonrası kanama kontrolü yapılmalı ve kullanılan plak ve vidaların üzerlerinin suture edilerek primer kapatılması gerekmektedir. Post – op ödem ve enfeksiyon riskinin azaltılması amacıyla dren takılması tavsiye edilmektedir. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra hastanın boğazındaki nemli tampon alınmalı ve hasta anestezi ekibi tarafından ekstübe edilmelidir (Mani, 2021).

- Komplikasyonları (Sahoo ve ark., 2017; Verweij, 2017)

- a) Bilateral sagittal split ramus osteotomisi sonrasında en sık görülen komplikasyon, inferior alveolar sinirin dağılım alanında geçici veya kalıcı nörosensörial kayıp olmasıdır.
- b) Bu teknikte facial sinirin de zarar görme ihtimali de mevcuttur, ancak bu çok daha az görülür ve literatürdeki çoğu yazar tarafından bu ihtimalin %1'in altında olduğu belirtilmektedir.
- c) İntra – op ve post – op hemorajiler,
- d) Mandibulanın bölünmesi esnasında istenmeyen bir kırık paterninin oluşması yani bad split oluşması,
- e) Fiksasyon materyallerinin kırılması veya gevşemesi,
- f) Malunion (kötü kaynaşma) veya nonunion (kaynaşmanın olmaması),
- g) Mandibular set–back uygulanan hastalarda oral kavitenin hacmi azalmakta ve dil kendisine yeterli bir alan bulamamaktadır. Bu hastalarda üst solunum yollarında obstrüktif problemlerin gözlenmesi,
- h) Mandibulanın yanlış repozisyonlandırılması,
- i) Post – op ödem,
- j) Lokal ve sistemik enfeksiyonlar,
- k) İstenmeyen estetik sonuçlar ve relaps (nüks),
- l) Post – op dental maloklüzyonlar,
- m) Dental harabiyet,
- n) Ölüm,
- o) Temporomandibular eklem problemlerinin gözlenmesi (idiopatik kondil rezorpsiyonu),

Bilateral sagittal split ramus osteotomisi sonrası eklem sağlığını etkileyen ana faktörler; cinsiyet, alt çenenin ilerletilme miktarı ve saat yönünün tersine rotasyon derecesidir. Bazı çalışmalarda ise bilateral sagittal split ramus osteotomisi kullanılarak yapılan mandibular ilerletme operasyonlarından sonra hastaların %8'inde ameliyat sonrası kondil rezorpsiyonu gözlemlendiği bildirilmiştir. Genç hastalar kondil değişiklikleri veya rezorpsiyonu açısından risk altındadırlar. Ameliyat sonrası ilk birkaç ayda ağrı ve temporomandibular eklem seslerinin ortaya çıkması, sonraki aylarda kondilde değişikliklerin yaşanacağını önemli bir göstergesidir. Kadınlarda bilateral sagittal split ramus osteotomisi

sonrası kondil rezorpsiyonuna yatkınlığın, östrojen ve prolaktin hormonlarının biyolojik yanıtı modüle etmesiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Kobayashi ve ark., 2012; Mani, 2021).

Yine aynı şekilde kondil başlarının da temporal fossada uygun pozisyonlarında konumlandırılmadan segmentlerin rijit fiksasyonu, çeşitli komplikasyonlara yol açabilmektedir. Kondil başlarının doğru pozisyonda olmaması; proksimal segmentin rotasyonuna ve nihayetinde relapsa, maloklüzyonlara (çapraz kapanış), temporomandibular eklem semptomlarının kötüleşmesine ve kondil başının yeniden şekillenmesine neden olabilmektedir (Kim, 2017; Monson, 2013).

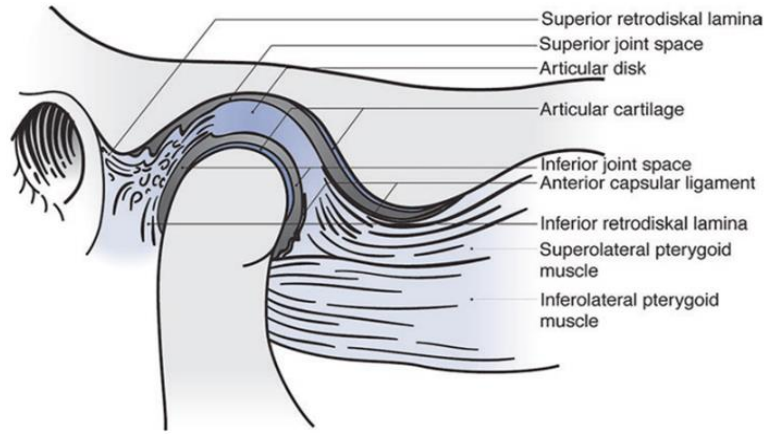
2.3. TEMPOROMANDİBULAR EKLEM

2.3.1. Temporomandibular Eklem Anatomik Yapısı

Temporomandibular eklem (TME), insan vücudundaki en karmaşık yapılar arasında yer almaktadır ve bilateral olarak mandibula ile temporal kemik arasında gerçekleşen bir eklem tipidir. TME, tek düzlemde menteşe hareketi yapması nedeniyle ginglimoid eklem sınıfına dâhil edilse de kayma hareketi yapması nedeniyle de artrodial eklem sınıfına da girmektedir. Bu nedenle hem rotasyon hem de kayma hareketi yapabilen "ginglymoartroidal eklem" olarak adlandırılmaktadır (Okeson, 2020).

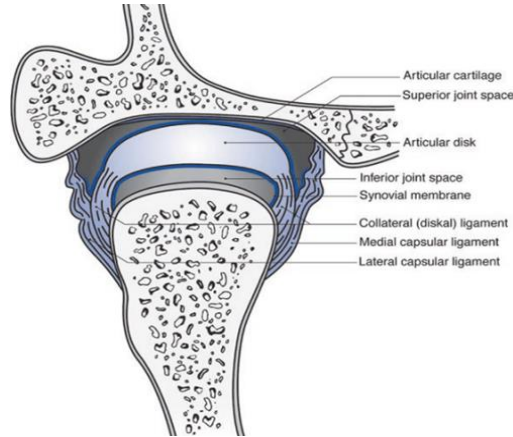
Temporomandibular eklem kompleksini; mandibular kondil başı ile yerleştiği temporal kemikteki artiküler fossa (fossa glenoidalis – mandibular fossa) adı verilen özelleşmiş kemik yüzeyleriyle, artiküler disk, retrodiskal dokular, sinovyal zar, ligamentler, eklem kapsülü ve çiğneme kas grupları oluşturmaktadır (Okeson, 2020).

TME' nin anatomisine bakıldığında dört adet eklem yüzeyi gözlenmektedir. Bunlar süperiordan inferiora doğru sırasıyla temporal kemiğin eklem yüzeyi (artiküler fossa), artiküler diskin üst ve alt yüzeyi, mandibular kondilin eklem yüzeyidir. Kondil ve artiküler fossa yüzeyleri ince bir fibrokartilaj kıkırdak tabaka ile kaplıdır (Okeson, 2020).



Şekil 2.22: TME Anatomisi Sagittal Kesit (Han ve Liebllich, 2022)

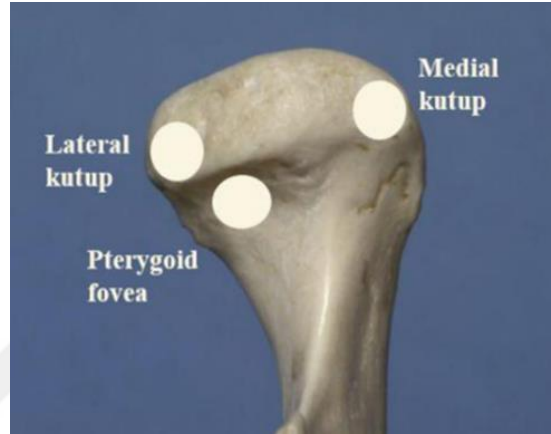
Artiküler fossanın anteriorunda artiküler eminens adı verilen dens yapıda bir kemik çıkıntısı bulunmaktadır. Bu çıkıntı kondilin translasyon yani kayma hareketini gerçekleştirdiği yapıdır. Glenoid fossayı anteriorundan kısıtlayan artiküler eminensin diklik açısı, mandibular kondilin fonksiyonel hareket yolunun limitasyonlarını belirler. Eklem kapsülü ve lateral temporomandibular ligament, artiküler eminens' in lateralinde yer alan artiküler tüberkül ile bağlantı yapmaktadır (Okeson, 2020; Wilkie ve Al-Ani, 2022).



Şekil 2.23: TME Anatomisi Frontal Kesit (Han ve Liebllich, 2022)

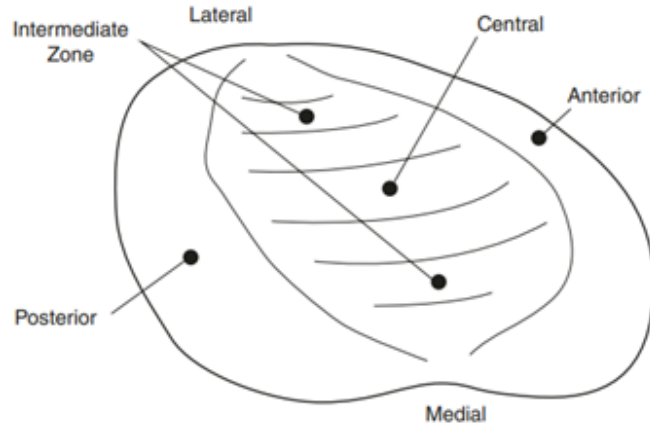
Kondil yüzeylerine yukarıdan bakıldığında elips şeklinde görünmektedirler. Medio – lateral genişlikleri antero – posterior uzunluklarından daha fazladır. Mandibular kondilin anterior ve süperior yüzeyleri ekleme katılır, ancak posterior yüzeyi ekleme katılmaz. Kondil yüzeyleri medial ve lateral tarafta pürüzlü bir yapıya sahiptir. Bu pürüzlü alanlara, artiküler disk ve kapsülün lifleri

yapışmaktadır. Eklem yüzeyinin inferior ve medial kısmında, translasyon hareketi sırasında mandibulanın protrüziv hareketine yardımcı olan lateral pterygoid kasın tutunduğu "pterygoid fovea" olarak adlandırılan bir alan bulunmaktadır (Wilkie ve Al-Ani, 2022).



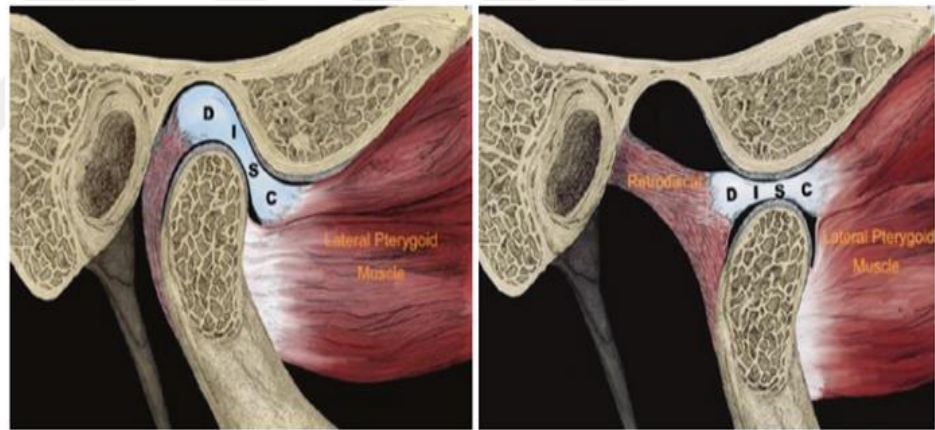
Şekil 2.24: Mandibular Kondil Anatomisi (White ve Pharoah, 2013)

İki kemiğin arasında bulunan, birbirlerine temas ederek aşınmalarını önleyen bilaminar yapı, artiküler diskdir. Artiküler disk, medial ve lateral taraflarda güçlü kollateral ligamentler ile kondile tutunurken, anteriorda eklem kapsülüne ve lateral pterygoid kasın üst karnına bağlanmıştır. Bu durum TME boşluğunun, artiküler disk ile süperior (üst) ve inferior (Yaltırık et al.) olmak üzere iki ana eklem boşluğuna ayrılmasına neden olmuştur. Eklem diski, kan damarı ve sinir innervasyonundan yoksun yoğun fibröz kıvrımda bir yapıdır. Artiküler diske sagittal den bakıldığında 3 banda ayrılmaktadır. Anterior bant ağız kapalı iken kondilin hemen önünde yer almaktadır. Merkez ve ortadaki bant en ince olanıdır ve intermediyate zone olarak adlandırılmaktadır. Posterior bant ise ağız kapalı konumda iken diskin en yukarı pozisyonunda konumlanan kalın kısmını oluşturmaktadır. Genellikle posterior bölge anterior bölgeden bir miktar daha kalındır. Sağlıklı bir TME’ de kondilin artiküler yüzeyi diskin intermediyate bölgesine denk gelmektedir. Yine korondan bakıldığında diskin medial tarafı lateraline göre daha kalındır (Han ve Lieblich, 2022; Okeson, 2020).



Şekil 2.25: Artiküler Disk Anatomisi (Han ve Liebllich, 2022)

Artiküler disk, posteriorda damar ve sinirden zengin bir ligament aracılığıyla temporal kemiğe bağlanmaktadır. Bu ligamente retrodiskal doku ve ya posterior ataçman denilmektedir (Wilkie ve Al-Ani, 2022).



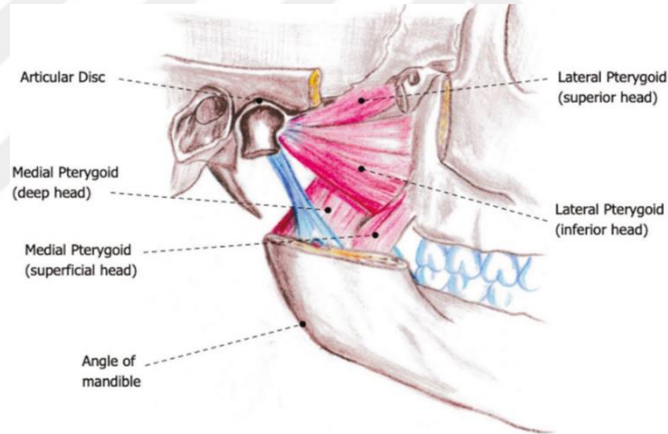
Şekil 2.26: Artiküler Disk Pozisyonu (Ağız Kapalıyken – Ağız Açıldığında) (Warburton, 2021)

Sinovyal membran (zar); üst ve alt eklem boşluklarının iç yüzeylerinin fibröz membranını döşemektedir. Tüm eklem içi yapıları saran, ince ve damardan zengin bir membrandır. Bu zar, sinovyal sıvının üretilmesinden sorumludur. Bu sıvı, avasküler özellik gösteren TME' nin iç yüzeylerinin beslenmesinde ve kayganlaştırılmasında görev almaktadır (Han ve Liebllich, 2022).

TME, kasların ve sınırlayıcı ligamentlerin izin verdiği ölçüde hareket edebilir. TME' nin medial ve lateral yüzeylerini çevreleyen ve kemikle sıkı bir

şekilde bağlanan fibröz konnektif bir doku olan eklem kapsülü (kapsüler ligament), oldukça iyi innerve olur ve iyi bir vasküler yapı göstermektedir. Kapsüler ligament, eklem içerisinde medial, lateral ve inferior yönde meydana gelen ayırıcı kuvvetlere direnç göstermektedir. Yine eklem boşluklarının etrafını sararak sinovyal sıvıyı eklem içerisinde tutmaktadır (Han ve Liebllich, 2022).

Lateral pterygoid kasın süperior karnı, sphenoid kemiğin ala majörünün lateral yüzeyinin alt kenarından ve infratemporal krestten orijin alır ve yatay bir şekilde geriye ve dışa doğru uzanarak eklem kapsülüne, artiküler diskin antero – medialine ve kondil boynundaki fovea pterygoidea' ya insersiyoyu yapmaktadır. Kasıldığında disk ve kondili öne ve içe doğru hareket ettirir. Ana görevi, mandibulanın tek taraflı fonksiyonu yani çiğneme esnasında kondil – disk kompleksinin bir bütün halde hareket etmesini sağlayarak stabilize etmektir (Okeson, 2020; Wilkie ve Al-Ani, 2022).



Şekil 2.27: Lateral Pterygoid Kasın Anatomisi (Drake ve ark., 2020)

2.3.2. Temporomandibular Eklem Bozuklukları

Temporomandibular eklem bozuklukları (TMD), morfolojik ve fonksiyonel bozukluklarla ilişkili bir grup dejeneratif kas – iskelet sistemi rahatsızlıklarıdır. TMD, eklem içi disk yer değişimlerini, yapısal bozukluklarını ve ilişkili kasların işlevsel bozukluklarını içermektedir. En sık belirti ve bulguları arasında fonksiyon esnasında ağrılı eklem sesleri (klik ve krepitasyon), mandibular hareketlerde azalma, deviasyon veya defleksiyonun gözlenmesi, baş ve/veya kas ağrısı bulunmaktadır (Okeson, 2020).

Genel popülasyonda, yaklaşık her dört kişiden birisinde (toplam nüfusun % 25'i) TMD semptomları gözlenmektedir, ancak bu durumdan etkilenenlerin yalnızca küçük bir kısmının (% 10 kadarı) tedaviye başvuracak kadar ciddi semptomlara sahip olduğu gözlenilmiştir (Gauer ve Semidey, 2015; Okeson, 2020).

TMD semptomları kadınlarda erkeklerden belirgin şekilde daha fazla gözlenmektedir; kadın – erkek oranı 2:1 ile 8:1 arasında değişmektedir. Semptom gösteren hastaların çoğu 20 – 40 yaş aralığındadır (Gauer ve Semidey, 2015; Okeson, 2020).

2.3.2.1. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Etiyolojisi

Temporomandibular eklem bozukluklarının (TMD) etiyolojisi; biyolojik, çevresel, sosyal, duygusal ve bilişsel etkenleri içeren multifaktöriyel ve kompleks bir durumdur. TME ile sürekli ilişkili faktörler arasında diğer ağrı durumları (kronik baş ağrıları gibi), fibromiyalji, otoimmün hastalıklar, uyku apnesi ve psikiyatrik hastalıklar da bulunmaktadır (Gauer ve Semidey, 2015).

TMD' nin oluşmasına zemin hazırlayan birçok faktör bulunmaktadır. TMD ile ilişkili beş etiyolojik faktör bulunmaktadır. Bunlar; oklüzyon, travma, emosyonel stres, derin ağrı duyusu ve parafonksiyonel alışkanlıklardır. Bunlardan TMD riskini arttıran faktörler, predispozan (hazırlayıcı) faktörler; başlamasına neden olan faktörler, initiating (başlatıcı) faktörler; iyileşmeyi bozan ve hastalığın ilerlemesine katkıda bulunan faktörler ise perpetuating (sürdürücü) faktörler olarak gruplandırılmaktadırlar (Okeson, 2020).

Emosyonel stres, kas tonusunda artışa neden olarak diş sıkma (clenching) ve gıcırdatma (bruksizm) gibi eklem üzerinde hasara neden olabilecek parafonksiyonel aktivitelerin gelişmesine neden olabilmektedir. Çalışmalar, psikolojik olarak depresyonda olan bireylerin TMD riskinin iki kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Yine sigara kullanımı, 30 yaşından küçük kadınlarda TMD riskini arttırmaktadır (Gauer ve Semidey, 2015; Okeson, 2020).

Oklüzyon, TMD için bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Farklı maloklüzyon tiplerine sahip olan hastalarda, eklemlle ilgili hastalıkların belirti ve

semptomlarına kısmen de olsa sahip oldukları rapor edilmiştir (Michelotti ve ark., 2019).

Maksillofasiyal bölgedeki travmalar, eklem sisteminde fonksiyonel bozukluklara yol açan etkenlerden biridir. Bu travmalar, makrotravma ve mikrotravma olmak üzere iki farklı türde ortaya çıkar. Makrotravma, ilgili bölgeye doğrudan gelen ani kuvvetlerdir. Mikrotravma ise uzun süre boyunca tekrarlanan küçük kuvvetlerdir (Okeson, 2020).

Ağrı duyusu, vücudun bir yaralanmaya veya yaralanma tehdidine karşı verdiği yanıt olarak tanımlanabilir. Ağrıyı oluşturan impulslar, beyin sapını uyararak koruyucu kas kasılması olarak bilinen bir kas tepkisi oluşturmaktadır. Diş, sinüs ve kulak ağrısı bu koruyucu kas kasılmasına neden olabilmektedir. Sürekli bir derin ağrı duyusu kaynağı, TMD için bir etiyolojik faktör olarak karşımıza çıkabilmektedir (Okeson, 2020).

Diğer etkenler arasında geçirilmiş ortodontik tedavi ve/veya ortognatik cerrahi öyküsü, Whiplash sendromu, genetik faktörler, IL – 1 beta ve TNF – alfa gibi sitokinlerin oluşturduğu inflamasyon, TME hipermobilitesi, cinsiyet ve hormonal faktörler de etiyolojide önemli bir rol oynamaktadırlar (Michelotti ve ark., 2019).

2.3.2.2. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Teşhisi, Tanı ve Semptomları

TMD' nin tanı sürecinde standardizasyon sağlamak ve etkili tedavi planları oluşturmak amacıyla tanı kriterlerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak üzere uzman bir ekip, iki eksenli bir çerçeve oluşturan TMD sınıflandırmasını ortaya koymuştur. Bu sistem, hem en sık görülen TME bozukluklarının değerlendirilmesi ve teşhisine yönelik fiziksel teşhis kriterlerini (Eksen – I); hem de psikososyal ve davranışsal faktörlerin taranması için öz bildirim anketlerini (Eksen – II) içermektedir (Michelotti ve ark., 2019).

TME bozukluklarının DC/TMD teşhis kriterlerine göre tanısı ve orofasiyal bölgedeki diğer ağrı durumlarından ayırt edilmesi için en güvenilir yöntem; ayrıntılı anamnezin, kapsamlı klinik muayenenin ve endikasyon durumunda TME radyografik bulgularının birlikte değerlendirilmesidir. Fiziksel tanı (Eksen I) ile

birlikte, güvenilir ve geçerli bir Eksen II profilinin oluşturulması için psikososyal faktörlerin değerlendirilmesinde standardize anketler kullanılmaktadır (Peck ve ark., 2014).

TME bozukluklarının belirti ve semptomları, hastanın adaptasyon kabiliyetine ve etiyolojik faktörlerin etki derecesine bağlı olarak kişiden kişiye değişmektedir. Bazı kişilerde sadece bir semptom görülürken, bazılarında ise birden fazla semptom aynı anda eşlik edebilmektedir. Semptomların etki derecesi, hafiften şiddetliye kadar değişkenlik gösterebilirken; geçici veya kalıcı olabilir (Michelotti ve ark., 2019; Okeson, 2020).

- a) Diş, çene kemiği, eklem, kulak, yüz veya baş bölgesinde ağrı,
- b) Mandibular hareketlerde zorluk veya kısıtlanma,
- c) Anormal eklem sesleri (klik/popping ve krepitasyon)
- d) Kas spazmları ve myofasiyal ağrı
- e) Trismus
- f) Deviasyon ve/veya defleksiyon
- g) Yüzde şişlik ve/veya asimetri
- h) Radyografilerde eklem bölgesinde anormal yapılar ve deformitelerin gözlenmesi
- i) Eklem aralığının daralması
- j) Disk adezyonu / dislokasyonu / perforasyonu
- k) Kondil ve/veya disk rezorpsiyonu

Bu belirtilerden bir veya daha fazlasının varlığı, TMD' yi düşündürmelidir.

2.3.2.3. Temporomandibular Eklem Bozukluklarının Sınıflandırılması

Günümüze kadar TMD ile ilgili birçok sınıflandırma yapılmıştır. Bell tarafından oluşturulan, Okeson tarafından modifiye edilerek değiştirilen sınıflandırma ile Wilkes' in oluşturduğu sınıflandırma sistemi günümüzde geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Gauer ve Semidey, 2015).

Yakın zamanda yayımlanan DC/TMD kriterleri, güvenilirlik ve geçerlilik açısından önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu kriterler, en yaygın TME bozukluklarını kapsayan bir çerçeve sunmaktadır. DC/TMD teşhis kriterlerinin

yanı sıra, diğer TMD alt tiplerini sınıflandırmak için daha genişletilmiş bir taksonomi geliştirilmiştir (Michelotti ve ark., 2019).

Sonuç olarak TMD, birçok şekilde sınıflandırılmış ancak Bell tarafından 1986'da ortaya atılan, Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi ile Uluslararası Baş Ağrısı Derneği tarafından (American Academy of Orofacial Pain and International Headache Society) geliştirilen ve 2019 yılında Okeson' un modifiye ettiği sınıflandırma, günümüzde halen geçerli olan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma Amerikan Diş Hekimleri Birliği (ADA) tarafından da kabul görmektedir (Okeson, 2020; Peck ve ark., 2014).

Temporomandibular Eklem Rahatsızlıkları	Çiğneme Kaslarına Ait Bozukluklar	Baş Ağrısı	İlgili Yapılara Ait Bozukluklar
I. Eklem Ağrısı a. Artralji b. Artrit II. Eklem Düzensizlikleri a. Disk Düzensizlikleri • Redüksiyonlu Disk Deplasmanı • Aralıklı Kilitlenmeli Redüksiyonlu Disk Deplasmanı • Ağız Açıklığı Kısıtlı Redüksiyonsuz Disk Deplasmanı • Ağız Açıklığı Kısıtlı Olmayan Redüksiyonsuz Disk Deplasmanı b. Disk Düzensizlikleri Hariç Hipomobilité Bozuklukları • Adezyonlar/Adherens • Ankiloz 1) Fibröz 2) Osseöz c. Hipermobilité Düzensizlikleri • Dislokasyonlar 1) Sublüksasyon 2) Lüksasyon III. Eklem Hastalıkları a. Dejeneratif Eklem Hastalığı • Osteoartritis • Osteoartritis b. Sistemik Artritler c. İdiopatik Kondil Rezorpsiyonu /Kondilizis d. Osteokondritis Dissekans e. Osteonekroz f. Neoplazm g. Sinoviyal Kondromatozis IV. Kırıklar V. Konjenital/Gelişimsel Düzensizlikler a. Aplazi b. Hipoplazi c. Hiperplazi	I. Kas Ağrısı a. Miyalji • Lokal Miyalji • Miyofasiyal Ağrı b. Tendonit c. Miyozit d. Kas Spazmı II. Kas Kontraktürü III. Kas Hipertrofisi IV. Neoplazmlar V. Hareket Bozuklukları a. Orofasiyal Diskinezi b. Oromandibular Distoni VI. Sistemik Etkenlere Bağlı Kas Ağrıları a. Fibromiyalji	I. TMD ile İlişkili Baş Ağrısı	I. Koronoid Hiperplazisi

Şekil 2.28: Genişletilmiş Temporomandibular Eklem Rahatsızlıkları

Sınıflandırılması (Peck ve ark., 2014)

2.4. ORTOGNATİK CERRAHİNİN TEMPOROMANDİBULAR EKLEME ETKİLERİ

Ortognatik cerrahi, dentofasiyal deformitelerin düzeltilmesinin yanı sıra; yüz estetiği, solunum yolu ve temporomandibular eklem fonksiyonlarında iyileşme sağlayan kapsamlı bir cerrahi girişimdir (Yaltırık ve ark., 2017). Ancak literatürde, ortognatik cerrahi sonrası temporomandibular eklem bozukluklarının iyileştiğini gösteren birçok çalışmanın yanında, semptomlarda belirgin bir iyileşme göstermeyen ve hatta daha da kötüye gittiğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Jung ve ark., 2015).

Ortognatik cerrahi sonrası relaps, stabilite kaybı, temporomandibular eklem disfonksiyonu gibi bazı komplikasyonlar görülebilmektedir. Biyomekanik açıdan bakıldığında bu problemler, osteotomi bölgesindeki ve temporomandibular eklemdaki operasyon sonrası oluşan stres ve deformasyon değişiklikleriyle ilişkilendirilmektedir. Mandibula üzerinde gerçekleştirilen osteotomi işlemleri sonucunda temporomandibular eklemin anatomik yüzeylerinde meydana gelen anormal kuvvetler; eklem kapsülüne, eklem yüzeylerine ve/veya diske zarar vermektedir (Liu ve ark., 2018).

Kondiler rezorpsiyon her türlü osteotomiden sonra ortaya çıkabilmektedir. Vakaların %68' inde bimaxiller ortognatik cerrahiden sonra, %25' inde BSSRO' dan sonra ve vakaların %7' sinde ise izole Le Fort I osteotomisinden sonra görülmektedir. Maksiller impaction ve üst oklüzal planın saat yönünün tersine rotasyonu, kondilleri posterior yönde yeni bir pozisyona yerleştirmeye zorladığı için kondiler rezorpsiyon riski taşımaktadır (Catherine ve ark., 2016).

Günümüz ortognatik cerrahisinde en sık tercih edilen yöntemlerden biri olan bilateral sagittal split ramus osteotomi (BSSRO) tekniğinin ise, kondil pozisyonunda ve ekseninde belirgin değişikliklere yol açabileceği; bundan dolayı da temporomandibular eklem bozukluklarına ve iskeletsel relapsa zemin hazırlayabileceği düşünülmektedir. Bimaxiller ortognatik cerrahinin en sık rastlanan ikinci komplikasyonu temporomandibular eklem bozukluklarıdır (Gulcek ve ark., 2023).

Bilateral sagittal split ramus osteotomisi sonrası eklem sağlığını etkileyen ana faktörler; cinsiyet, mandibulanın hareket ettirilme miktarı ve saat yönünün

tersine rotasyon derecesidir. Bazı çalışmalarda ise bilateral sagittal split ramus osteotomisi kullanılarak yapılan mandibular ilerletme operasyonlarından sonra hastaların %8'inde ameliyat sonrası kondil rezorpsiyonu gözlemlendiği bildirilmiştir. Ameliyat sonrası ilk birkaç ayda ağrı ve temporomandibular eklem seslerinin ortaya çıkması, sonraki aylarda kondilde değişikliklerin yaşanacağını önemli bir göstergesidir. Kadınlarda bilateral sagittal split ramus osteotomisi sonrası kondil rezorpsiyonuna yatkınlığın, östrojen ve prolaktin hormonlarının biyolojik yanıtı modüle etmesiyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Kobayashi ve ark., 2012; Mani, 2021).

Vertikal ramus osteotomi prosedüründe kondillerin pasif yerleşimi, BSSRO tekniğine göre, rijit ve/veya semi – rijit fiksasyonda oluşan yanlış kondiler konumlanma ve torklanma riskini elimine ettiği için TME sağlığı açısından daha az zararlı olduğu hipotezi öne sürülmüştür. Aynı zamanda, vertikal ramus osteotomisi sonrası yapılan intermaksiller fiksasyon eklemlerin istirahat ve boşaltım dönemini zorunlu kılarak, kronik inflamasyon nedeniyle hasar gören eklem yüzeylerinin fizyolojik bir şekilde iyileşmesine ve yeniden şekillenmesine izin vermektedir (Toh ve Leung, 2022).

Ortognatik cerrahi sonucunda kondillerde oluşan konumsal değişiklikler, kondil yüzeyinde fiziksel basınç kuvvetleri oluşturmaktadır. Bu basınç kuvvetleri sonucunda, yeni fonksiyonel gereksinimlere adaptasyon olarak kondil remodelasyonu (yeniden şekillenmesi) gerçekleşmektedir (Gulcek ve ark., 2023).

Eklem yeniden şekillenme süreci fizyolojik kapasitesini aştığında, hastada önceden temporomandibular eklem disfonksiyonu olup olmadığına bakılmaksızın patolojik yeniden şekillenme meydana gelebilir. Bu durumda şu iki istenmeyen durum gelişmektedir (Verhelst ve ark., 2019):

- I. Dejeneratif İntraartiküler Eklem Hastalıkları: Bu durum eklem diskini ve eklem yüzeylerini kademeli olarak yıkıma uğratmaktadır. Ağrı, sınırlı ağız açıklığı ve eklem sesleri gibi semptomlar ile kendini göstermektedir.
- II. Kondil Rezorpsiyonu: Bu durum ramus/kondil yüksekliğinin ve toplam kondiler hacmin azalması ile karakterizedir. Posterior yüz yüksekliğinin kaybı ve anterior open bite ile kendini göstermektedir. Kondil

rezorpsiyonunda eklem fonksiyonu genellikle korunmaktadır. Ağrı ve eklem sesi gibi semptomlar gözlenmeyebilmektedir.

Dejeneratif eklem hastalığına ilerleyebilecek temporomandibular eklem rahatsızlıklarının post – op görülme sıklığı %6,7 ile %25 arasında olduğu bildirilmektedir. Postoperatif kondiler rezorpsiyon oranları ise %1 ile %31 arasında değişmektedir. Kondil rezorpsiyonu, ameliyattan 6 ay ile 2 yıl sonra ortaya çıkabilir. Genç yaş ve kadın cinsiyet, postoperatif kondiler rezorpsiyon için en sık görülen hasta ile ilişkili risk faktörlerinden ikisidir. Çoğunlukla ikinci ve üçüncü dekatlarda genç kadınlarda ortaya çıkmaktadır. İlerleyici kondiler rezorpsiyonunun, bimaxiller osteotomiden sonra görülen geç dönem iskeletsel relapsın gelişmesine neden olan geri dönüşümsüz bir komplikasyon olduğu tespit edilmiştir (Verhelst ve ark., 2019).

Hastaya Bağlı Faktörler	Cerrahiye Bağlı Faktörler
I. Önceden var olan temporomandibular eklem disfonksiyonu öyküsü	I. Bimaxiller ortognatik cerrahi
II. Sistemik rahatsızlıklar (otoimmün ve bağ dokusu hastalığı gibi)	II. Mandibular hareket miktarının fazla olması (> 10)
III. İskeletsel sınıf II dentofasiyal deformite varlığı	III. Mandibular proksimal segmentlerin saat yönünün tersine rotasyonu
IV. Artmış mandibular düzlem açısı (> 40)	IV. Kondillerde aşırı mekanik stres varlığı
V. Posteriora eğimli kondiler boyun varlığı	V. Kondiler yer değiştirme
VI. 15 – 35 yaş aralığı ve kadın cinsiyet	VI. Uzun süreli intermaksiller fiksasyon uygulanması

Şekil 2.29: İdiopatik Kondil Rezorpsiyonu İçin Risk Faktörleri (He ve ark., 2019)

Kondil yapısında gözlenen remodelingler fonksiyonel ve disfonksiyonel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Disfonksiyonel remodeling, eklemde veya oklüzyonda önemli değişikliklere yol açarak kondil yüksekliğinin azalmasına ve maloklüzyonlara neden olmaktadır. Disfonksiyonel remodeling, kondil rezorpsiyonu olarak da bilinir ve sistemik veya lokal; iltihabi veya travmaya bağlı olarak gelişebilir. Net bir neden bulunamazsa, idiyopatik kondil rezorpsiyonu (ICR) olarak sınıflandırılmaktadır (Jung ve ark., 2015).

İdiopatik kondiler rezorpsiyon ayrıca idiyopatik kondilizis, kondiler atrofi, agresif kondiler rezorpsiyon, edinsel kondiler hipoplazi ve ponpon kız sendromu

olarak da adlandırılmaktadır. İdiopatik kondiler rezorpsiyon, progresif kondiler rezorpsiyona neden olabilecek tüm lokal ve sistemik olası durumlar dışlandıktan sonra konulan bir teşhistir. Osteoartrit, reaktif artrit, enfeksiyon, travmatik yaralanma gibi lokal; romatoid artrit, skleroderma, sistemik lupus eritematozus ve psöriatik artrit gibi sistemik durumlar dışlanmalıdır. İdiopatik kondiler rezorpsiyon vakalarının önemli bir kısmı ortognatik cerrahiyi takiben görülmüştür. Tam nedeni bilinmemekle birlikte etiyojisinde; 3 ana neden teorisi öne sürülmektedir. Bunlar (Mitsimponas ve ark., 2018; Young, 2017):

- I. Hormonal değişikliklerin yol açtığı nekroz,
- II. Fonksiyonel alışkanlıklara bağlı eklem içerisinde artan patolojik mekanik streslere ve travmalara bağlı avasküler nekroz (ortodontik ve/veya ortognatik cerrahi öyküsü),
- III. Remodeling yeteneğinin kaybına bağlı rezorpsiyon.

Bu durum konik ışıklı bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerinde, uyumsuz kondil – fossa ilişkisi, rezorpsiyon ve kemik korteksinde süreklilik olmaması ile manyetik rezonans (MR) görüntülemeye ise, mandibular kondilde kemik kaybı, kemik kütlede azalma, kondil şeklinin giderek değişmesi, diskin anterior deplasmanı, üst ve alt eklem boşluklarında amorf yumuşak doku ataçmanlarının oluşumu ile karakterizedir. Genellikle arka yüz yüksekliğinin azalmasına neden olarak maloklüzyon, temporomandibular eklem disfonksiyonu ve ağrıya yol açmaktadır (Sagong ve Steinbacher, 2019).

Asimetrik mandibular geriletme durumları, proksimal ve distal segmentler arasındaki boşluğun kapatılması için yapılacak olan hareket miktarının farklı olması, mandibular kondillerde farklı konumsal değişikliklere yol açmaktadır. Segmentler arasındaki boşluğun arttığı, daha az geriletme yapılan tarafta, mandibular kondilin daha fazla pozisyonel değişikliğe uğradığı gözlenmiştir. Bu durum kondiller üzerinde farklı mekanik kuvvetlere yol açabilir. Asimetrik mandibular set – back operasyonu sonrasında kondiler yer değiştirmenin uzun vadeli etkileri bilinmemektedir. Bazı çalışmalarda, farklı kondiler yer değiştirmenin temporomandibular eklem rahatsızlıklarına yol açabileceği gösterilmiştir (C.-H. Park ve ark., 2022).

Temporomandibular eklemin internal düzensizlikleri, mandibular asimetri durumlarında sık karşılaşılan bir problemidir. Mandibular asimetrinin düzeltilmesi için yapılan asimetrik mandibular geriletme durumlarında, disk hafif öne doğru yer değiştirirken, kondil posteriora doğru hareket etmektedir. Kondil başı ile artiküler fossa arasındaki ilişkinin korunduğu çalışmalarla ortaya konulmuştur. Geriletme miktarının artması kondilde daha fazla posterior rotasyona neden olurken, rijit fiksasyon proksimal ve distal segmentler arasındaki boşlukları ortadan kaldırarak kondil başının içe doğru rotasyonuna yol açabilir (Kawakami ve ark., 2009).

Wilkes sınıflandırma sistemi, TME içi düzensizliklerin erken, ara ve geç dönemde verdiği klinik ve radyografik bulgular değerlendirilerek yapılmıştır (Han ve Lieblich, 2022).

Dönem	Bulgular
Evre I (Erken Evre)	Resiprokal klik sesi yok, mandibular hareketler esnasında ağrı veya zorlanma yok, radyografik olarak hafif derecede anterior disk deplasmanı gözlenmektedir.
Evre II (Erken/Ara Evre)	Resiprokal klik sesi var, mandibular hareketler esnasında hafif veya orta şiddette ağrı ve periyodik kilitlenme gözlenir, radyografik olarak hafif derecede anterior disk deplasmanı gözlenmektedir.
Evre III (Ara Evre)	Akut ağrı, eklem bölgesinde hassasiyet, mandibular hareketlerde kısıtlanma ve devamlı kilitlenme gözlenir, radyografik olarak diskin pozisyonunda değişiklik, diskte deformasyon ve adezyonlar gözlenmektedir.
Evre IV (Ara /Geç Evre)	Kronik ağrı, mandibular hareketlerde kısıtlanma, radyografik olarak diskin pozisyonunda ve şeklinde değişiklikler, kondilin şeklinde değişiklik (kondil rezorpsiyonu) ve çok sayıda adezyon varlığı.
Evre V (Geç Evre)	Kronik ağrı, mandibular hareketlerde kısıtlanma, krepitasyon sesi, radyografik olarak anterior disk deplasmanı, disk perforasyonu, sert dokularda büyük deformasyonlar.

Şekil 2.30: Wilkes Sınıflandırma Sistemi (Han ve Lieblich, 2022)

Yine aynı şekilde kondil başlarının da temporal fossada uygun pozisyonlarında konumlandırılmadan segmentlerin rijit fiksasyonu, çeşitli

komplikasyonlara yol açabilmektedir. Kondil başlarının doğru pozisyonunda olmaması; proksimal segmentin rotasyonuna ve nihayetinde relapsa, maloklüzyonlara (çapraz kapanış), temporomandibular eklem semptomlarının kötüleşmesine ve kondil başının yeniden şekillenmesine neden olabilmektedir (Kim, 2017; Monson, 2013).

2.5. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ (FİNİTE ELEMENT ANALİZ – FEA)

Sonlu elemanlar analizi (FEA), çalışmalarda biyomekanik analizler için giderek önem kazanan ve günümüzde öne çıkan bir araştırma aracıdır. Karmaşık yapıların modellenmesi ve mekanik özelliklerinin analizi için kullanılan en üst düzey yöntemlerdendir. Üst üste binen yapıların görüntülenmesini ve anatomik yapıların özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bu yapılara uygulanan kuvvetin konumunu, büyüklüğünü ve yönünü belirlemeye izin verirken; ölçülebilen stres noktalarını da saptayabilmektedir. Analiz edilen yapıların fiziksel özelliklerini etkilemediği için kolayca tekrarlanabilir (Trivedi, 2014).

Sonlu elemanlar analizi (FEA), herhangi bir geometrik yapıdaki gerilme ve deformasyonları analiz etmek için kullanılan sayısal bir analiz yöntemidir. Yapı, düğümler aracılığıyla birbirine bağlanan "sonlu elemanlar" olarak adlandırılan elemanlara ayrılmaktadır. Elemanların tipi, düzeni ve toplam sayısı sonuçların doğruluğunu etkilemektedir. Genel olarak izlenen adımlar, sonlu elemanlar modelinin oluşturulması, ardından istenen ayarların doğru bir şekilde simüle edilebilmesi için uygun malzeme özelliklerinin, kuvvetlerin ve sınır koşullarının belirlenmesidir. İlgili yapıyı modellemek ve simüle etmek için çeşitli mühendislik yazılım paketleri mevcuttur (Mohammed ve Desai, 2014).

Son zamanlarda dijital görüntüleme sistemlerinin (BT ve MR) gelişmesiyle birlikte, sert ve yumuşak dokuların geometrik ve yapısal özelliklerine ilişkin kişiye özgü verilerin bir FEA modeline aktarılması mümkün hale gelmiştir. Böylece, güvenilir sonuçlar veren doğru anatomik modeller oluşturulabilir. BT ve MR görüntüleri sert ve yumuşak dokuları üç boyutlu olarak

mikro seviyede görüntülemektedir. Bireysel kas kuvvetlerini FEA modellemesine simüle etmek zordur (Trivedi, 2014).

Sonlu elemanlar analizi süreci, üç aşamaya ayrılmaktadır (Mohammed ve Desai, 2014):

- Ön işlem aşaması
- Çözüm aşaması
- Son işlem aşaması

Ön işlem aşaması aşağıdaki adımları içermektedir:

I. Elemanların Tipini Tanımlama

Modelin doğruluğuyla doğru orantılıdır.

II. Malzemelerin Özelliklerini Tanımlama

Seçilen malzemelere fiziksel özellikler atanmaktadır. Young modülü ve Poisson oranı atanacak minimum fiziksel özelliklerdir. Bu özellikler, belirli bir yük uygulamasından sonra malzemelerin davranışını belirleyecektir.

III. Modeller Oluşturma

3 boyutlu BT/CBCT taraması ve/veya 3 boyutlu lazer taraması kullanılarak elde edilmektedir. Vital ve yumuşak dokular için 3 boyutlu tarayıcı tercih edilmektedir, cansız yapılar için ise 3 boyutlu lazer tarayıcı kullanılmaktadır.

IV. Ağ Yoğunluğunu Tanımlama

Eleman sayısı arttıkça, sonlu elemanlar modeli daha hassas hale gelecektir. Daha fazla sayıda eleman oluşturmak zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle, doğruluğu kısa sürede arttırmak için çalışmaların odak noktası olan alanlar (hedeflenen yapılar), diğer alanlara göre daha fazla sayıda eleman kullanılarak modellenmektedir.

Çözüm aşaması aşağıdaki adımları içermektedir:

I. Sınır Koşullarının Belirlenmesi

Sınır koşulları, modelin geometrisi üzerindeki kısıtlamaları ve yüklenme senaryosunu tanımlayan matematiksel ifadedir. Bir nevi, modelin

gerçek dünyadaki davranışını taklit etmek için uygulanan gerekli kısıtlamalardır. Örneğin, FEA modelinde bir elemana kuvvet uygulandığında, bu eleman serbestçe hareket eden rijit bir cisim gibi davranarak deformasyona uğramadan sadece ötelemeli veya dönmeli hareket gerçekleştirmektedir. Ancak gerçek hayattaki malzemelerin böyle bir davranışı yoktur. Sınır koşulları, bu gerçekçi olmayan davranışı önlemek ve elemanların birbirleriyle etkileşimini tanımlamak için kullanılmaktadır. Sınır koşulları, modelin bir kenarının tamamen sabitlenmesi, belirli bir yönde hareket ettirilmesi veya bir yüzeye temas kuvveti uygulanması gibi çeşitli şekillerde tanımlanabilir.

II. Denklemlerin Çözümü

Sınır koşulları tanımlandıktan sonra, denklemler çözülmektedir. Bu çözüm genellikle doğrusal olmayan denklem sistemlerinin çözümüne ihtiyaç duyduğu için sayısal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, her bir elemanın nodlarında gerilme (tension) ve yer değiştirme (translasyon) değerleri elde edilir. Bu değerler, gerilmeden kaynaklanan iç kuvvetlerin ve modelin deformasyonunun incelenmesine olanak tanımaktadır.

Son işlem aşaması aşağıdaki adımları içermektedir:

I. Grafik Çıkışı

Bu yöntem, bilgi aktarımındaki etkinliği nedeniyle genellikle tercih edilmektedir. Tipik olarak, modeldeki stres veya gerilme dağılımını temsil etmek için renk kodlu kontur grafikleri kullanılmaktadır. Ardından bu grafikler yorumlanarak nicel analiz yapılır. Renk spektrumu genellikle kırmızıdan maviye kadar uzanır, kırmızı maksimum çekme gerilimi yaşayan bölgeleri, mavi ise maksimum basınç gerilimi altındaki alanları göstermektedir.

II. Sayısal Çıkış

Bu format, verileri tablolara veya metin dosyalarına benzer şekilde tamamen sayısal bir biçimde sunmaktadır. Modeldeki belirli konumlarda

malzemeye etki eden ana stresleri veya gerilmeleri niceliksel olarak göstermektedir.

III. Animasyonlu Çıkış

Bu yöntem, sonuçları dinamik olarak sergilemek için animasyondan yararlanmaktadır. Bu yaklaşım, karmaşık durumları ve/veya modelde zamana bağlı oluşan stres dağılımlarını görselleştirmek için kullanılmaktadır.

2.5.1. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Avantajları

- a) FEA, doğrusal ve doğrusal olmayan, katı ve akışkan yapısal etkileşimlerin tümüne uygulanabilmektedir.
- b) Karmaşık problemler, daha küçük problemlere bölünebilmektedir.
- c) Herhangi bir kesme işlemi gerektirmeyen, non – invaziv bir yöntemdir.
- d) Cerrahi işlemlerde başarı oranını arttırmaktadır. FEA kullanılarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Bunun için operasyon öncesi, sırasında ve sonrasında modeller kullanılmaktadır.
- e) Modellerin üretiminde, fiziksel özellikleri etkilenmez.
- f) FEA teknikleri, ameliyat öncesi planlamada stereo – litografik modellerin (3 Boyutlu Yazıcı ile Katı Modellerin Oluşturulduğu Teknik) yerini alabilir ve bu sayede daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır.
- g) Statik ve dinamik analiz yapma imkânı tanımaktadır.
- h) FEA yöntemi daha az zaman alıcıdır, bu sayede tamamlanması çok uzun süren karmaşık çalışmalar daha kısa sürede değerlendirilmektedir.
- i) Kapsamlı enstrümantasyon gerektirmez.
- j) Operatöre, yapılan çalışmayı istediği sayıda tekrar edilebilme imkânı sunmaktadır (Bandela ve Kanaparthi, 2020; Mohammed ve Desai, 2014).

2.5.2. Sonlu Elemanlar Analiz Yönteminin Dezavantajları

- a) Yanlış veriler, bilgiler ve yorumlamalar yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir.

- b) Karmaşık anatomileri ve mekanik davranışları hakkında tam bilgi eksikliği nedeniyle insan yapılarını modellemek son derece zordur. Sonuçlar, sürece dâhil olan personele bağlı olacaktır.
- c) Dişler, periodontal ligamentler aracılığıyla alveolar kemiğe tutunmaktadır. Bu ligamentler sabit ve rijit olarak varsayılmaktadır. Bu varsayım bazı hataları da beraberinde getirmektedir (Bandela ve Kanaparthi, 2020; Mohammed ve Desai, 2014).

2.5.3. Diş Hekimliği ve Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi

Dental ve kraniofasiyal yapılardaki mekanik fonksiyonel yüklerin etkilerini değerlendirmek için kullanılan farklı metodolojiler arasında geleneksel yöntemler, fotoelastik modeller, holografik lazerler, matematiksel analitik modeller, deneysel analiz ve FEA yer almaktadır. Kraniofasiyal yapılara benzer in vitro modeller üretmenin zorluğu, bunları oluşturan elementlerin çeşitliliğinden ve özellikle şekillerinin anatomik düzensizliğinden kaynaklanmaktadır. Bu sınırlamaların yanı sıra, özel laboratuvar, ekipman ve cihazlara ihtiyaç duyulması, bazı geleneksel yöntemlerin etkinliği konusunda şüphe uyandırarak analizi zorlaştırmaktadır (Prado ve ark., 2014).

FEA, insan kas – iskelet sistemini değerlendirmek, kemik remodellingini ve kemikleşme süreçlerini incelemek, iskelet biyomekaniğini araştırmak, fonksiyonel morfoloji ve evrimsel antropolojiyi çalışmak için tıp ve diş hekimliği alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analiz yöntemleri, ortodonti alanında diş hareketlerini incelemek, kraniofasiyal kompleksteki anatomik landmarklara kuvvetlerin etkilerini araştırmak, dental implantlara gelen mekanik yüklerin etkisini değerlendirmek ve adli tıp uygulamalarında modeller üzerinden yüksek güvenilirlikle çalışmaya izin vermektedir. FEA, spongioz ve kompakt kemik dokusunda mikroskobik düzeyde kullanıldığında mekanik reseptörlerin özelliklerini araştırmaktadır. Böylece kemik morfolojisini ve remodellingini kontrol eden temel faktörlerin anlaşılmasını önemli ölçüde geliştirmektedir (Lisiak-Myszke ve ark., 2020; Prado ve ark., 2014).

Sonlu elemanlar analizi (FEA), diş hekimliğinin çeşitli alanlarında değerli bir araç haline gelmiştir. İn – vivo (canlı üzerinde) çalışmalarla gerçekleştirilmesi

zor ve/veya etik açıdan sakıncalı olan klinik senaryoların simülasyonu sağlanabilmektedir. İmplantoloji, protetik diş hekimliği, ortodonti, ağız, diş ve çene cerrahisi ve adli diş hekimliği gibi disiplinler alanlarda FEA' dan önemli ölçüde faydalanılmaktadır (Prado ve ark., 2014).

Son yıllarda dental ve oral yapılarda oluşan mekanik baskı ve gerilmeleri belirlemek ve bu yapıların mekaniksel mukavemetini artırmak amacıyla diş yapılarının stres analizi ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Oral ve fasiyal yapılar, görsel anlamda sınırlı erişime sahip karmaşık biyomekaniksel sistemlerdir. Bu nedenle ortodonti, orofasiyal cerrahi, restoratif diş hekimliği, endodonti, protetik diş hekimliği gibi anabilim dallarında ağız ortamının çoğu biyomekaniksel araştırması, in vitro olarak laboratuvar ortamında yapılmaktadır (Meira ve ark., 2019; Mohammed ve Desai, 2014).

Sonlu elemanlar analizi (FEA) yöntemi, düzensiz geometriye sahip ve heterojen malzeme özellikleri içeren katı cisimlere uygulanabilme avantajına sahip, modern bir sayısal stres analiz yöntemidir. Bu tür sayısal teknikler, bireysel dokuların tepkileri ve etkileşimleri hakkında daha iyi bir anlayış sağlamaktadır. Sonlu elemanlar analizi (FEA), karmaşık biyolojik problemleri daha kolay matematiksel çözüme kavuşturduğu için evrendeki karmaşık problemleri çözmenin matematiksel bir yoludur (Meira ve ark., 2019).

Yapıdaki stresi ve zorlanmayı hesaplamak için bir dizi hesaplama prosedürü içermektedir. Bu prosedürler, problem alanını çok daha küçük ve basit alanlara bölerek oral ve maksillofasiyal yapıyı yeterli şekilde modellemeyi mümkün kılmaktadır (Mohammed ve Desai, 2014).

FEA, ortognatik cerrahi vakalarında bilateral sagittal split ramus osteotomisi sonrası çeşitli fiksasyon sistemleri ve kemik segmentleri üzerinde oluşan stres ve gerilim kuvvetlerini ölçmek için sıklıkla kullanılmıştır (Lisiak-Myske ve ark., 2020).

Kraniofasiyal iskelet yapısının eklem yerleri, mekanik kuvvetlerin sürekli etkisi altında büyüyüp işlev görmektedir. Kraniofasiyal suturalar ve temporomandibular eklemler harici olarak uygulanan mekanik kuvvetlere cevap vererek yeniden şekillenebilirler. Bu bulguların önemi ve bu biyomekanik kavramların klinik uygulamaları, iskeletsel dentofasiyal deformatelerin ve

maloklüzyonların tedavisinde ve tedavi sonrası idamenin sağlanmasında büyük önem taşımaktadır (Prado ve ark., 2014).

Dentofasiyal iskeleti oluşturan kemik ve diğer bağ dokularının değişen mekanik ortamlara uyum sağlamasını sağlayan hücresel ve moleküler mekanizmaları anlamak, ortodonti ve dentofasiyal cerrahi alanlarında uygulanan biyomühendislik prensipleri açısından temel bir gerekliliktir. FEA, uygulanan ortognatik cerrahi tekniklerinden sonra dentofasiyal yapıların boyut, şekil ve konum değişiklikleri dâhil olmak üzere; kraniofasiyal dokuların davranışları hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca FEA, temporomandibular eklem rotasyon ve translasyon hareketleri sırasında disk, kondil başı ve ligamentlerin yer değiştirmelerini simüle ederek ortognatik cerrahi sonrası bu anatomik yapılar üzerine gelen kuvvetlerin ve dağılımlarının ölçülmesini mümkün kılmaktadır. FEA, nihai sonuçların planlanması ve analizine yardımcı olması nedeniyle de ortognatik cerrahi tedavilerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Bandela ve Kanaparthi, 2020; Lisiak-Myszke ve ark., 2020).

Temporomandibular eklem anatomisinin değerlendirilmesinde, FEA ve CBCT kombinasyonu sıklıkla kullanılmaktadır. Temporomandibular eklem rahatsızlıkları multifaktöriyel bir etiyolojiye sahiptir. Bruksizm ve travma bu faktörlerden bazılarıdır. FEA, temporomandibular eklem çevresindeki stres ve gerilme ilişkilerini araştırma kabiliyeti nedeniyle değerli bir araç haline gelmektedir. FEA, bunlara ek olarak temporomandibular eklem replasman tedavisinin sonuçlarının değerlendirilmesi ve uyku apnesi tedavisinde kullanılan mandibular ileri kaydırma cihazlarının analizi için de kullanılmaktadır (Shivakumar ve ark., 2021).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırma, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı ve Ay Tasarım Ltd. Şti. tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamız, 2021 ve 2022 yılları içerisinde Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'nda ortognatik cerrahi uygulanmış 2 hasta ile yürütülmüştür. Preoperatif ortognatik planlamaları yapılarak cerrahiye hazır hale getirilmiş olan hastalar çalışmaya dâhil edilmiştir.

Çalışmamıza dâhil edilen hastalar cerrahi planlamaya göre 2 gruba ayrılmıştır.

1. Grup: Asimetrik mandibular geriletme yapılan hasta

2. Grup: Simetrik mandibular geriletme yapılan hasta

Çalışmaya dahil edilme kriterleri:

- Bireylerin büyüme ve gelişimini tamamlamış olması,
- Mandibular aşırı büyümenin neden olduğu iskeletsel sınıf III maloklüzyona sahip bireyler,
- Simetrik ve asimetrik mandibular geriletme uygulanan bireyler olmasına dikkat edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilmeme kriterleri:

- Önceden geçirilmiş ortognatik veya temporomandibular eklem cerrahisi öyküsü bulunan bireyler,
- Travma veya sendroma bağlı mandibular prognatizm gözlenen bireyler,
- BSSRO ile eş zamanlı genioplasti yapılan bireyler çalışma dışında tutulmuştur.

Hastaların cerrahi öncesinde ve ortognatik cerrahiden sonra 6. ayda CBCT görüntüleri alınmıştır. Operasyon öncesi CBCT görüntüsü ile operasyon sonrası 6. aydaki CBCT görüntüleri, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar analizi yöntemiyle (FEA) modellenmiştir. Elde edilen modellerden temporomandibular eklem yapıları üzerindeki streslerin daha iyi değerlendirilebilmesi için anatomik kesitler elde edilmiştir. Temporomandibular eklem yapıları üzerindeki streslerin

dağılımları ile ortognatik cerrahinin bu anatomik yapılar üzerindeki stres ve kuvvet dağılımlarına etkisinin modeller üzerinden analizleri yapılmıştır.

Fasiyal asimetrisi olan ve olmayan iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteli hastalarda yapılan asimetrik ve simetrik mandibular geriletme durumlarında, BSSRO sonrası değişen çene-kondil pozisyonu sonucu; mandibular kondil, artiküler disk ve glenoid fossa üzerindeki stres dağılımları ile ortognatik cerrahinin bu anatomik yapılar üzerindeki stres dağılımlarına etkisi üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar analizi yöntemi (FEA) ile ortaya konulmuştur.

Üç boyutlu sonlu elemanlar analizinin bilgisayar ortamında çözümü için katı modelleme (solid modelling), ağ yapısının oluşturulması (mesh generation), eleman ve düğüm noktalarının belirlenmesi (elements and nodes), sınır koşullarının tayini (boundary conditions), modelin çözümü (model solution), analizlerin gösterimi (postprocessing) aşamaları takip edilmiştir.

3.1. ÜÇ BOYUTLU MODELLERİN OLUŞTURULMASI

3 boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi ve daha homojen hale getirilmesi, 3 boyutlu katı modelin oluşturulması ve sonlu elemanlar stres analizi işlemi için Intel Xeon® R CPU 3,30 GHz işlemci, 500 gb hard disk, 14 GB RAM donanımlı ve Windows 7 Ultimate Version Service Pack 1 işletim sistemi olan bilgisayardan, Rhinoceros 4.0 (3670 Woodland Park Ave N, Seattle, WA 98103 USA) 3 boyutlu modelleme yazılımından, VRMesh Studio (VirtualGrid Inc, Bellevue City, WA, USA) ve Autodesk Fusion (Software media & entertainment manufacturing & industrial bioscience, Mill Valley, California, USA) analiz programından yararlanılmıştır.

Modeller, VRMesh yazılımı ile geometrik olarak oluşturulduktan sonra analize hazır hale getirilmeleri ve analizlerinin yapılması için, stl formatında Autodesk Fusion (Software media & entertainment manufacturing & industrial bioscience, Mill Valley, California, USA) yazılım programına aktarılmıştır. stl formatı 3 boyutlu modelleme programları için evrensel değer taşımaktadır. stl formatında düğümlerin koordinat bilgileri de saklanması sayesinde programlar arasında aktarım yapılırken bilgi kaybı olmamaktadır.

3.1.1. Materyal Özelliklerinin Belirlenmesi

Autodesk Fusion yazılımı ile uyumlu hale getirildikten sonra oluşturulan modellerin hangisinin maksillaya ve hangisinin mandibulaya ait olduğunu yazılım programına tanıtmak gerekmektedir. Programda katı cisimlerin özellikleri lineer, elastik, homojen ve izotropik kabul edilmiştir. Modelleri oluşturan yapıların her birine, fiziksel özelliklerini tanımlayan materyal değerleri (Elastiklik Modülü ve Poisson Oranı) verilmiştir (Tablo 3. 1.).

Tablo 3. 1: Modelleri Oluşturan Yapıların Materyal Özellikleri

	Young Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Kortikal Kemik	13700	0,3
Spongioz Kemik	1370	0,3
Artiküler Disk	44,1	0,4
Retrodiskal Ligament	0,49	0,49
Artiküler Kapsül	0,49	0,49
Artiküler Kartilaj	0,79	0,49

Not. 1 MPa = 1.000.000 Pa, Young Modülü = Malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Poisson Oranı = Materyalin Deformasyon Oranıdır.

MPa = Megapascal, Pa = Pascal.

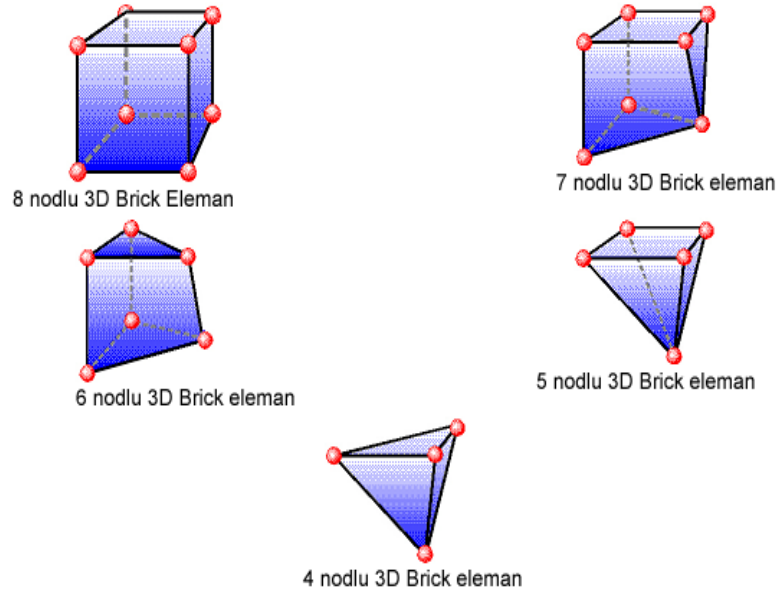
3.1.2. Ağ Yapısının Oluşturulması

VR Mesh yazılımında yapılan modeller, Autodesk Fusion yazılımına .stl şeklinde yüzey verisi olarak atılmıştır. Autodesk Fusion yazılımında analizlerinin yapılabilmesi için, içi dolu şekilde meshlenmesi gerekmektedir.

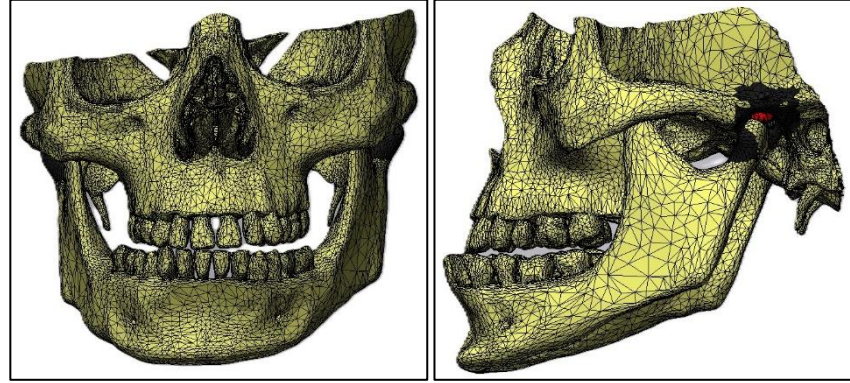
Meshleme işleminde, modeller mümkün olabildiğince 8 düğüm noktalı (brick tipi) elemanlardan oluşturulmuştur. Modellerdeki yapıların merkezine

yakın bölgelerde gerektiğinde yapının tamamlanabilmesi için daha az düğüm noktalı elemanlar kullanılmıştır. Bu modelleme tekniği sayesinde hesaplamayı kolaylaştırmak üzere mümkün olan en yüksek düğüm noktalı elemanlar ile en yüksek kalitede ağ yapısı oluşturulmasına çalışılmıştır. Çene modellerinde bulunan ve analiz işlemini zorlaştıran dik ve dar bölgeler çizgisel elemanlardan arındırılarak düzenli hale getirilmiştir.

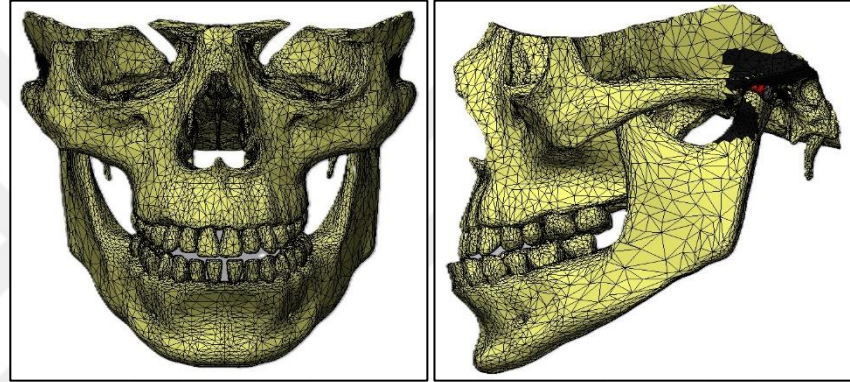
Burada modeller Bricks ve Tetrahedra elemanlar şeklinde katı modele çevrilmiştir. Bricks ve Tetrahedra katı modelleme sisteminde Autodesk Fusion yazılımı, modelde oluşturabildiği kadar 8 nodlu elemanlar kullanılmaktadır. 8 nodlu elemanların gerekli detaya ulaşamadığı durumlarda 7 nodlu, 6 nodlu, 5 nodlu ve 4 nodlu elemanlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.1: Düğüm Noktalarına Göre Elemanlar



Şekil 3.2: Grup 1 Modelinin Ağ Yapısının Oluşturulması



Şekil 3.3: Grup 2 Modelinin Ağ Yapısının Oluşturulması

Tüm modeller lineer, homojen ve izotropik materyaller olarak kabul edilmektedir. Bir materyalin homojen olması, mekanik özelliklerinin yapısal her elemanda benzer olduğunu gösterir. İzotropik ise, yapısal elemanın her yönde materyal özelliklerinin aynı olduğu durumu tanımlamaktadır. Lineer elastisite; yapının deformasyon veya strain'inin uygulanan kuvvetler altında oransal olarak değişkenlik göstermesidir.

3.1.3. Eleman ve Düğüm Sayılarının Belirlenmesi

Çalışmanın gerçekçi sonuçlar vermesi için programın el verdiği ölçüde, seçtiğimiz çene kemiğinin modelinin boyutlarını göz önüne alarak mümkün olduğunca fazla eleman sayısı seçilmiştir.

Tablo 3.2: Matematiksel Modellerde Kullanılan Düğüm ve Eleman Sayıları

	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı
Grup 1	1745917	1082690
Grup 2	1648630	1031133

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

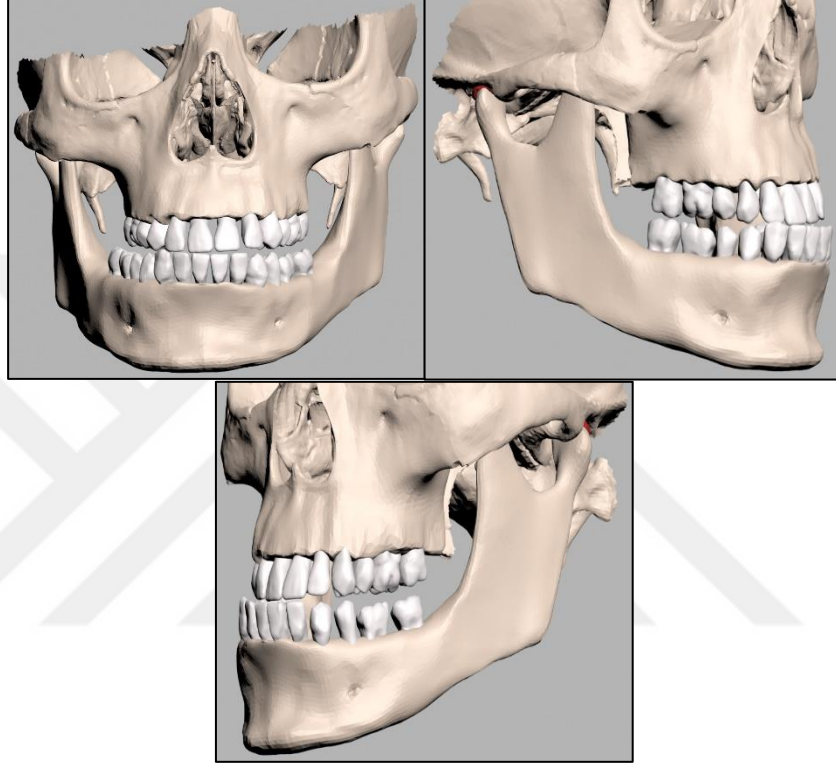
Çalışmada tedarik edilen kortikal kemik, artiküler disk, diş parçaları ile .stl formatında elde edilen modeller, Rhinoceros 4.0 (3670 Woodland Park Ave N, Seattle, WA 98103 USA) yazılımına gönderilmiştir.

Maxilla ve mandibulaya ait geometrik modellerin oluşturulması için, hastaların konik ışınlı bilgisayarlı tomografileri çekilmiştir. Çene kemikleri, konik ışınlı bilgisayarlı tomografide (KaVo OP 3DTM Vision, V17, CBCT, Biberach, Germany) taranmıştır. Taramaların herbirinde 120 kVp, 3.8 mA’de 40 saniyelik tarama ile 601 kesit elde edilmiştir. Daha sonra hacimsel veri 0.2 mm kesit kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen kesitler, DICOM 3.0 formatında export edilmiştir. Export edilen kesitler 3D – Doctor (Able Software Corp., MA, USA) yazılım programına alınmıştır.

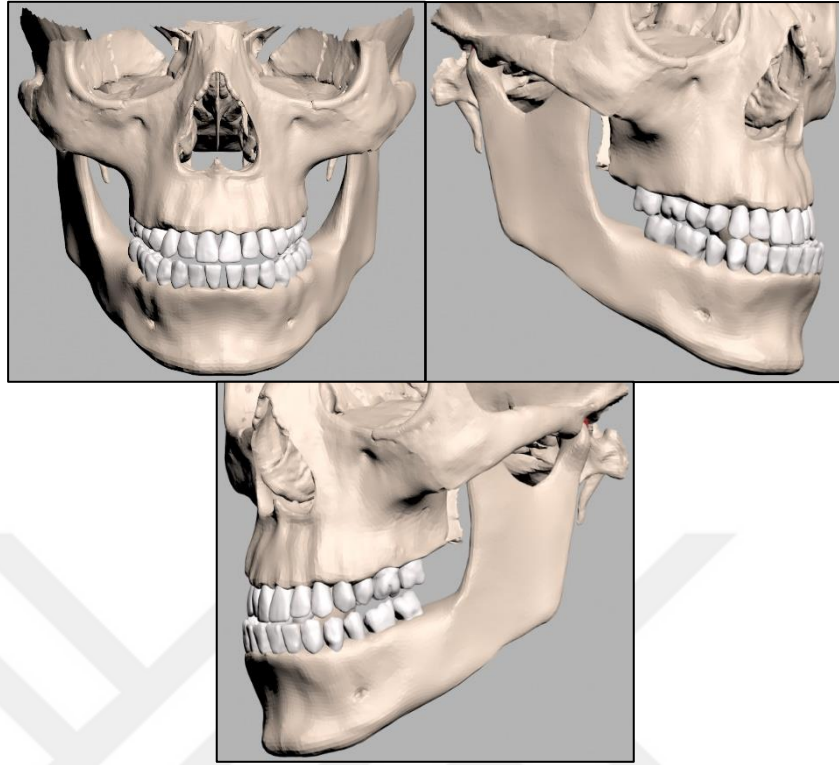
3D – Doctor yazılımı, manyetik rezonans ve bilgisayarlı tomografi olmak üzere pek çok görüntüleme yöntemi ile elde edilen görüntülerin, bilgisayar ortamında yeniden oluşturulabildiği bir yazılım programıdır. Yazılım ile yeniden oluşturulan görüntüler üzerinde sadeleştirme ve yeniden biçimlendirme gibi değişiklikler yapılabilmektedir.

3D – Doctor yazılımında kesitler üzerindeki kemik dokuları “interactive segmentation” yöntemiyle ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan kesitler “Complex Render” yöntemiyle 3 boyutlu modeller haline getirilmişlerdir. Elde edilen 3 boyutlu modeller, 3D – Doctor yazılımındaki sadeleştirme yöntemleri ile düşük hafıza tüketen ve düzgün oranlara sahip elemanlardan oluşan, pürüzsüz bir yüzey haline getirilerek mandibulaların modelleme işlemi tamamlanmıştır. 3 boyutlu modeller 3D – Doctor yazılımından .stl formatında export edilmiştir. Çalışmada önemli olan bölgeler; bilateral artiküler disk, glenoid fossa, mandibular kondil ve

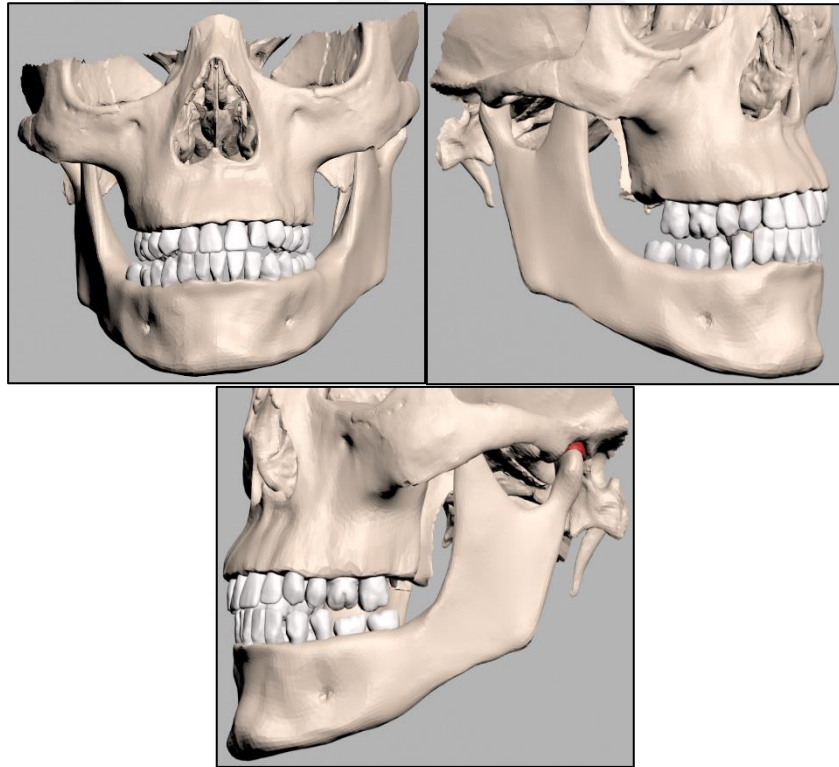
temporomandibular eklemlerdir. CBCT verilerinde bu detaylar olmadığı için elimizde ki modellemeler CBCT verilerini referans alarak revize edilmiş ve hekim onayından geçmiştir. Yapılan modellemeler Rhinoceros yazılımında 3 boyutlu olarak uzayda doğru koordinatlara yerleştirilmiş ve modelleme işlemi tamamlanmıştır.



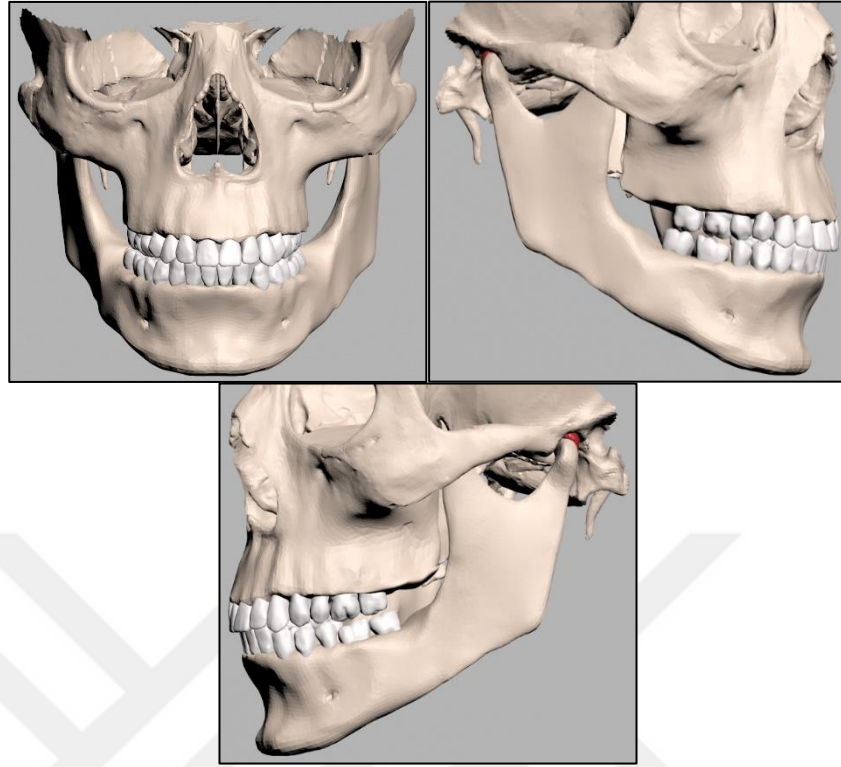
Şekil 3.4: Grup 1 Pre – Op Modelleri



Şekil 3.5: Grup 2 Pre – Op Modelleri



Şekil 3.6: Grup 1 Post – Op Modelleri



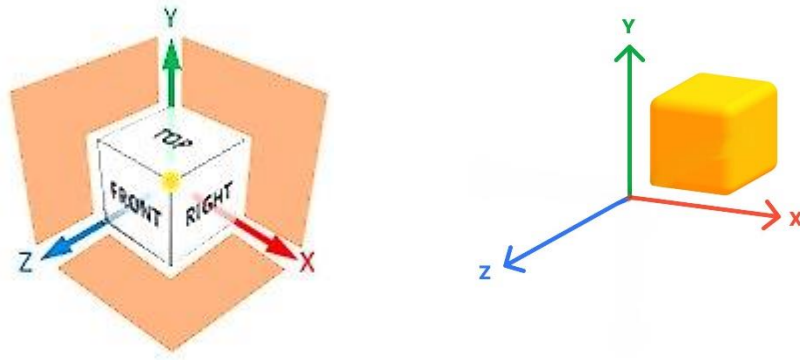
Şekil 3.7: Grup 2 Post – Op Modelleri

3.1.4. Sınır ve Yükleme Koşullarının Belirlenmesi

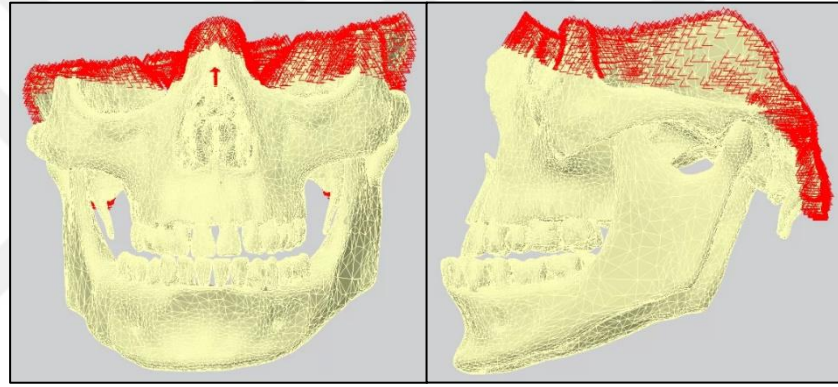
Rhinoceros yazılım programında yapılan modellemeler, 3 boyutlu olarak ve koordinatları korunarak Autodesk Fusion yazılımına aktarılmıştır.

Modeller çevresinde bulunan kırmızı alanlar sınır koşullarını (boundary conditions) belirtmektedirler. Ön ve arka kafa kaideleri etrafında bulunan sınır koşulları modelin uzayda hareketini engellemek için sabitleme amacıyla konulmuştur (Şekil 3. 9. ve 3. 10.). Bu kafa kaideleri etrafında modellerin x – y – z eksenlerinde DOF (Degree of freedom) 0° olacak şekilde sabitlemesi yapılmıştır.

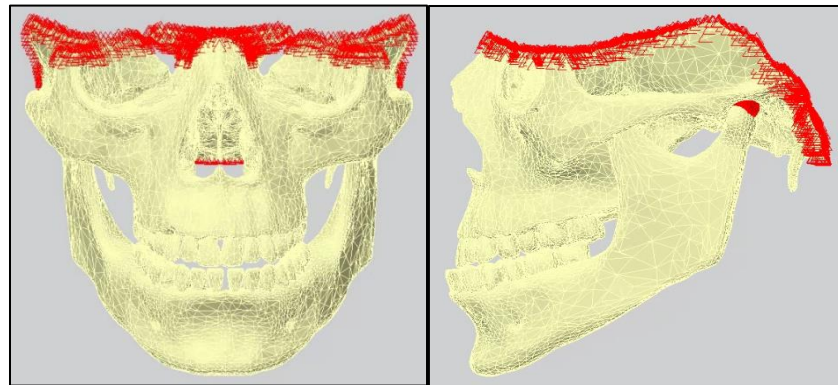
Bu eksenlerden x ve z ekseni, horizontal düzlem üzerinde bulunurken; sırasıyla sağ tarafı ve anterior yönü işaret etmektedirler. Vertikal düzlem üzerinde bulunan ve süperior yönü işaret eden eksen ise y eksenidir (Şekil 3. 8.).



Şekil 3.8: X – Y – Z Eksenlerinin Şematizasyonu



Şekil 3.9: Üç Boyutlu Grup 1 Modelinin Sınır Koşulları



Şekil 3.10: Üç Boyutlu Grup 2 Modelinin Sınır Koşulları

3.2. ÇALIŞMA GRUPLARININ OLUŞTURULMASI

Grup 1 için: Maksilla 6 mm öne; mandibula sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm geriye asimetrik bir şekilde hareket ettirilmiştir. Bu gruptaki modeller

çalışmamızda, Grup 1 – Preoperative ve Grup 1 – Postoperative olarak iki başlıkta incelenmiştir.

Grup 2 için: Maksilla orta hattı düzeltmek için 2 mm sola, 6 mm öne; Mandibula simetrik bir şekilde bilateral olarak 3 mm geriye alınmıştır. Bu gruptaki modeller çalışmamızda, Grup 2 – Preoperative ve Grup 2 – Postoperative olarak iki başlıkta incelenmiştir.

3.3. VERİLERİN İSTATİKSEL ANALİZİ

Sonlu elemanlar stres analizleri sonucunda elde edilen değerler, varyansı olmayan matematiksel hesaplamalar sonucu ortaya çıktığından istatistiksel analizler yapılamaz. Burada önemli olan, kesit görüntülerinin ve düğümlerdeki stres miktarının ve dağılımlarının hassas bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır.

3.4. ANALİZLERİN YAPILMASI VE ÇÖZÜMLENMESİ

Sonlu elemanlar stres analizleri sonunda Autodesk Fusion bilgisayar programı, oluşan 25 farklı stresin değerini verebilmektedir. Önemli olan hangi stres değerinin değerlendirileceği ve elde edilen stres değerlerinin hangi kriterler ile karşılaştırılacağına bilinmesidir. Uygulanan kuvvetler sonucunda oluşan stresler normal stresler (gerilme ve sıkışma stresi – σ ile sembolize edilmiştir) ve kesme stresleri (τ ile sembolize edilmiştir) olmak üzere iki grupta toplanmaktadır.

Bir adet üç boyutlu stres elemanının x, y, z düzlemlerine bir adet normal stres ve iki adet kesme stresi etki etmektedir. Kesme stresleri, $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ şeklinde gösterilebilir. Dolayısıyla herhangi bir üç boyutlu elemanın stres durumu, üç normal ve üç kesme stresi komponenti şeklinde tanımlanmaktadır.

Üç boyutlu elemanlarda en büyük stres değeri bütün kesme stres bileşenlerinin sıfır olduğu durumda oluşmaktadır. Bir eleman bu konumda olduğunda normal streslere Principle Stres (asal gerilim) denilmektedir. Principle Stres; maksimum principle stres, intermediate principle stres ve minimum principle stres olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Genellikle; σ_1 en büyük pozitif değeri, σ_3 en küçük negatif değeri ve σ_2 ise ara bir değeri göstermektedir. Bu

değerler sıraya konulacak olunursa; $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ şeklinde bir sıralama ortaya çıkmaktadır.

σ_1 : Maksimum principle stresi simgeler, pozitif değerdir ve tipik olarak en yüksek gerilme stresini simgelemektedir.

σ_3 : Minimum principle stresi simgeler, negatif değerdir ve tipik olarak en yüksek sıkışma stresini simgelemektedir.

Analiz sonuçlarında artı değerler gerilme streslerini (maksimum principle stresleri), eksi değerler ise sıkışma streslerini (minimum principle stresleri) belirtmektedirler. Bir stres elemanında hangi stres tipinin mutlak değeri daha büyük ise, stres elemanı o stres tipinin etkisi altındadır ve değerlendirilmesi gerekende o stres tipidir.

Analiz sonuçları değerlendirilirken analizi yapılan materyalin mekanik özellikleri göz önüne alınarak değerlendirmede kullanılacak olan yöntem seçilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde; kırılğan materyaller (kemik, greft materyalleri vb. gibi) için asal gerilim (principle stres – Mpa cinsinden) değerleri; esnek ve çekilebilir materyaller için (artiküler disk, kaslar vb. gibi) Von Misses stres (equivalent stres) değerleri kullanılmış ve renkli skalalar ile gösterilmiştir.

Asal değerler içerisinde elde edilecek olan, en yüksek değer (maximum principal stres) modelde oluşan gerilme (çekme) tip gerilimi; en düşük değer (minimum principal stress) ise modelde oluşan sıkışma tip gerilimi ifade etmektedir.

Kemik gibi kırılğan materyaller için principal stres değerleri önemlidir. Çünkü: Maksimum principle stres, en yüksek gerilme dayanıklılığına eşit veya daha büyük değerde olduğunda ve yine minimum principle stresin mutlak değeri, en yüksek sıkışma dayanıklılığına eşit veya daha büyük olduğu durumlarda başarısızlık oluşmaktadır.

Von Misses Stres değeri; artiküler disk gibi esneklik gösterebilen (ductile) materyaller için, deformasyonun başlangıcı olarak tanımlanmaktadır ve 3 principle stres değeri ile hesaplanmaktadır;

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

Von Misses stres değerleri sayesinde, oluşan stresler nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilebilir. Ayrıca Von Misses Stres değerleri artiküler disk ve kartilaj yapıları üzerinde oluşan stres dağılımları ve yoğunlaşma alanları hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla kullanılmaktadır. Von Misses değerleri ile tüm yapıda oluşan stres değerleri hakkında bilgi elde edinilmektedir.

Von Misses değerleri, plastik deformasyondan sorumlu distorsiyon enerjisi ile ilgilidir. Yield noktasını (akma dayanımı) tanımlamak için kullanılır. Akma dayanımı veya akma gerilimi bir malzeme özelliğidir ve malzemenin plastik olarak deforme olmaya başladığı akma noktasına karşılık gelen gerilimdir. Bir yapıya yield noktasının altında bir kuvvet uygulandığında malzeme elastik olarak deforme olacak ve uygulanan gerilim kaldırıldığında orijinal şekline geri dönecektir. Yield noktası geçildikten sonra, yapıda deformasyonun bir kısmı kalıcı ve geri dönüşümsüz olarak kalacaktır ve bu da plastik deformasyon olarak alandırılmaktadır. Bir materyalin yield noktasının aşılması durumunda materyal elastik davranış gösteremeyip, deformasyona maruz kalmaktadır.

Çalışmamızda Von Misses Stres ve Maksimum Principal Stres değerleri pozitif değerler olup renk skalasında maviden kırmızıya doğru kuvvet değerleri artış göstermektedir. Görsellerde renkli skalanın yanında yer alan ‘1st principal’ ifadesi, maksimum principal stres değerini ifade etmektedir. Von Misses ve Maksimum Principal Stres değerlerinin basınç birimleri Pa’dır.

Minimum Principal Stres değerleri negatif değerlerdir. Mutlak değerleri alınarak stres yoğunluğu hesaplanmaktadır ve renk skalasında kırmızıdan maviye doğru stres yoğunluğu artış göstermektedir. Görsellerde renkli skalanın yanında yer alan ‘3rd principal’ ifadesi, minimum principal stres değerini ifade etmektedir. Basınç birimi Pa’dır.

Çalışmamızda TME’ye ait anatomik landmarklar operasyon öncesi ve sonrası, sağ ve sol taraf (bilateral) olacak şekilde her iki grupta da (Grup 1 ve 2) ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Yine her iki grupta analiz sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için; mandibular kondilin üst – n – arka cephelerden sonuçları, artiküler diskin üst – alt cephelerden sonuçları ve glenoid fossa ile artiküler eminensin alt cepheden analiz sonuçları çalışmaya renkli skalalı görseller ile dahil edilmiştir.

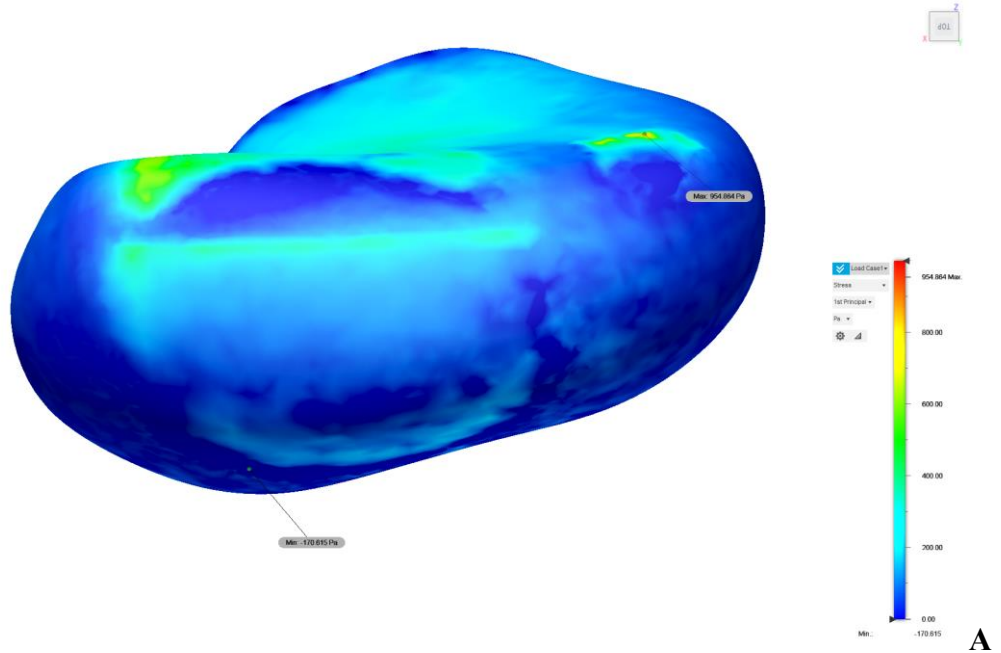
4. BULGULAR

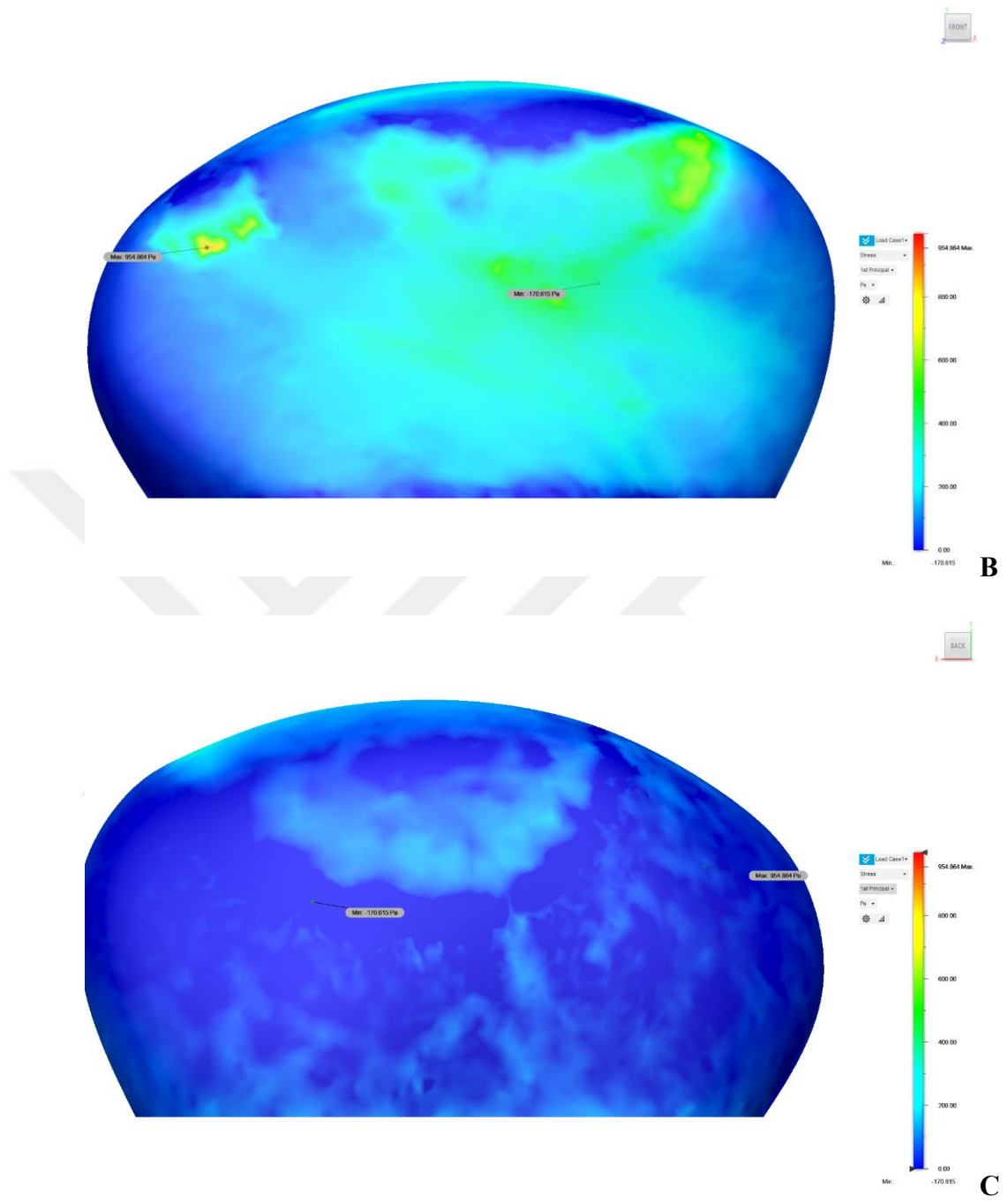
4.1. MANDİBULAR KONDİL ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI

Çalışmamızda mandibular kondil kesitleri üst, ön ve arka cephe olmak üzere üç farklı yönden elde edilen görüntüler ile değerlendirilmiştir. Her bir grubun aynı cepheden elde edilen pre – op ve post – op kesit görüntüleri, sağ ve sol taraf olacak şekilde kendi aralarında incelenmiştir. Değerlendirilen parametreler arasında maksimum principle stres (en yüksek gerilme) ve minimum principle stres (en yüksek sıkışma) değerleri bulunmaktadır.

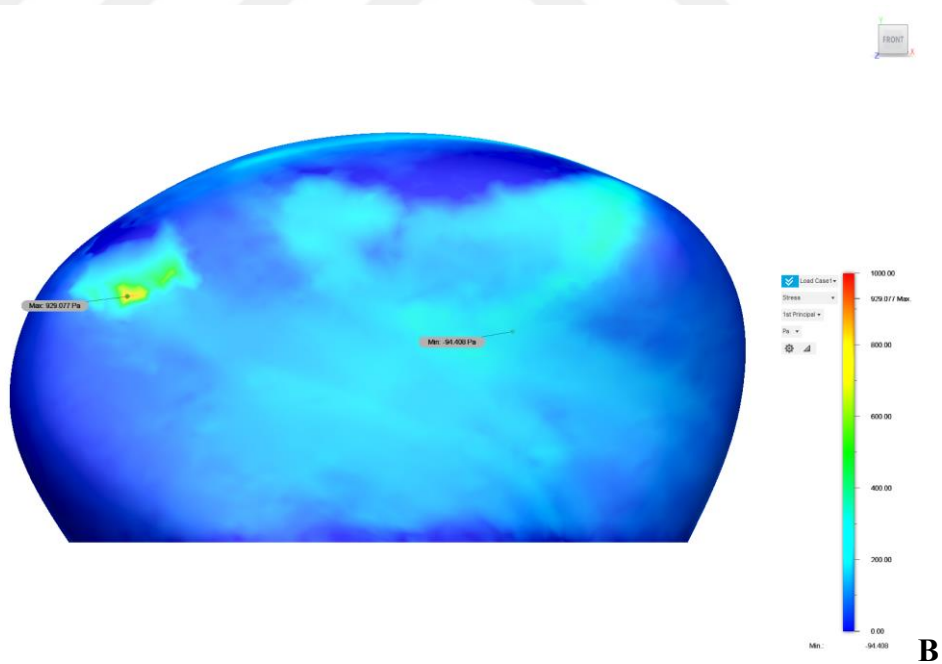
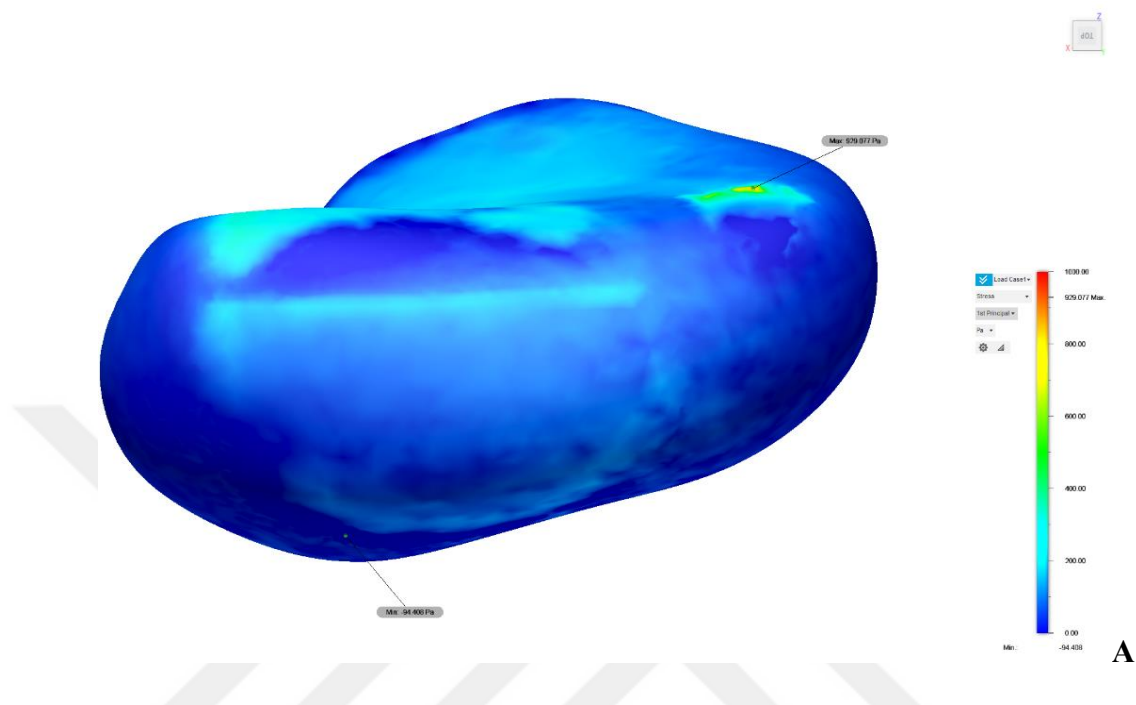
Analiz sonuçlarında artı değerler gerilme streslerini (maksimum principal stresleri), eksi değerler ise sıkışma streslerini (minimum principal stresleri) belirtmektedirler. Bir stres elemanında hangi stres tipinin mutlak değeri daha büyük ise, stres elemanı o stres tipinin etkisi altındadır ve değerlendirilmesi gerekende o stres tipidir.

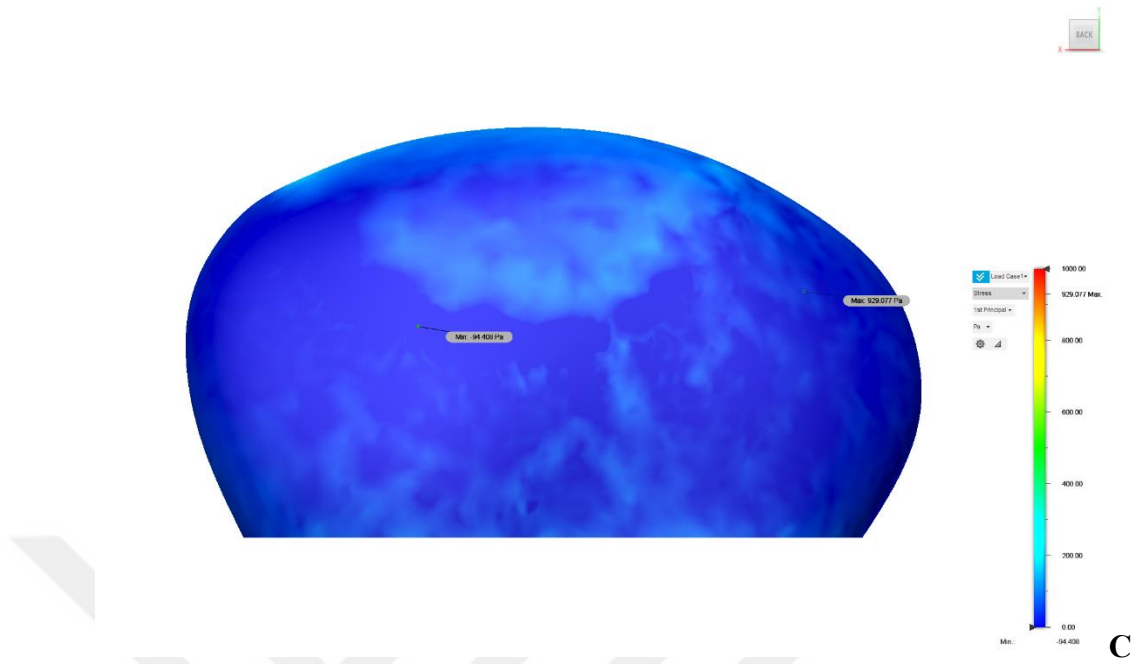
4.1.1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli





Şekil 4.1: Pre-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri
Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

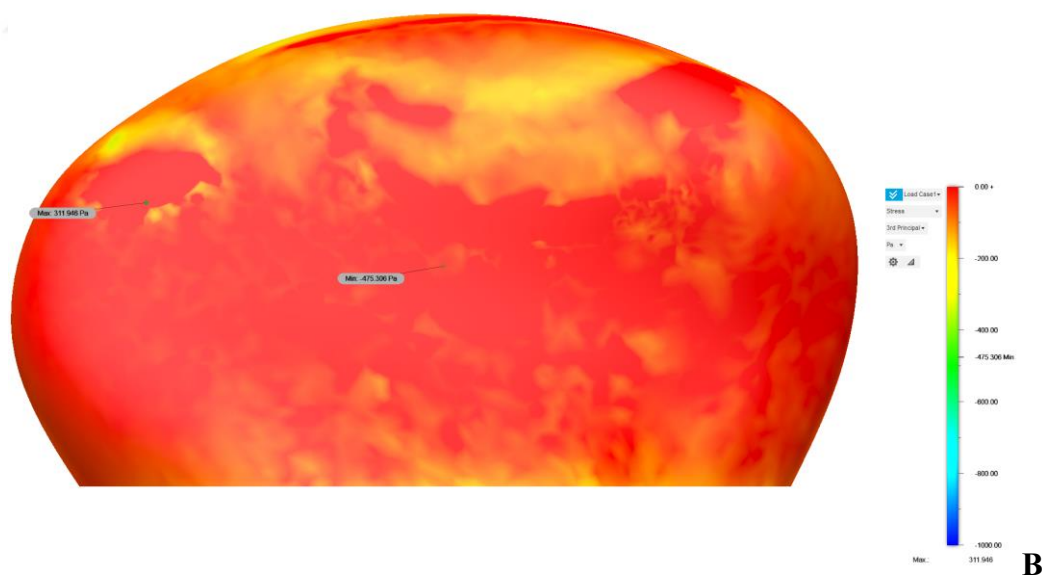
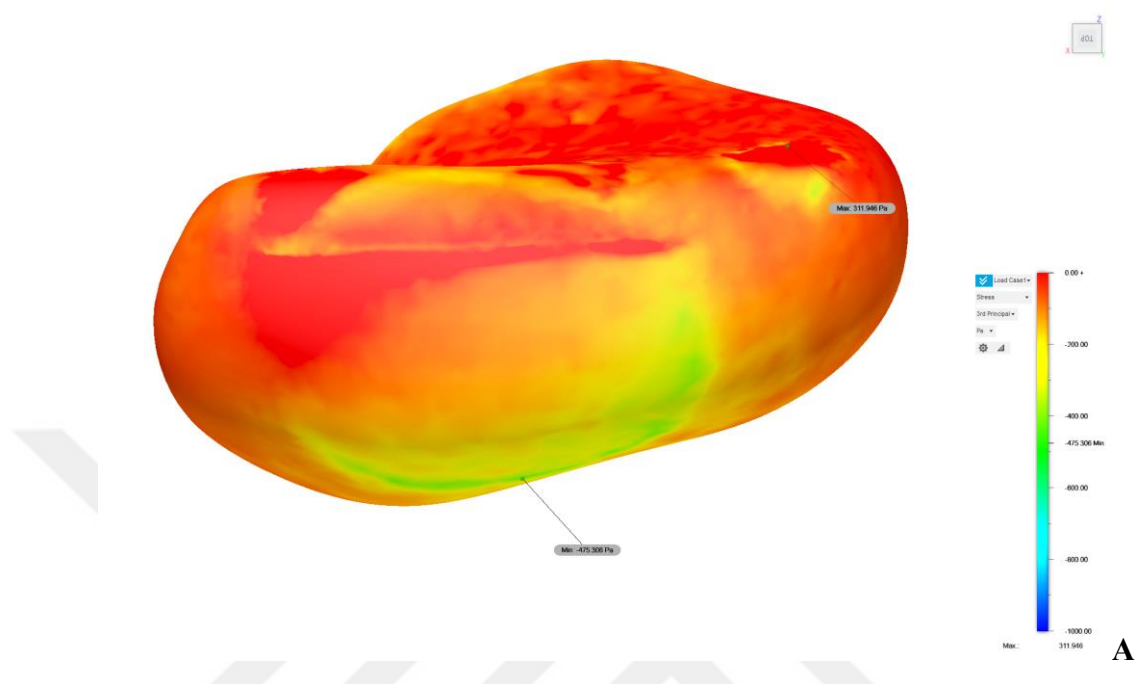


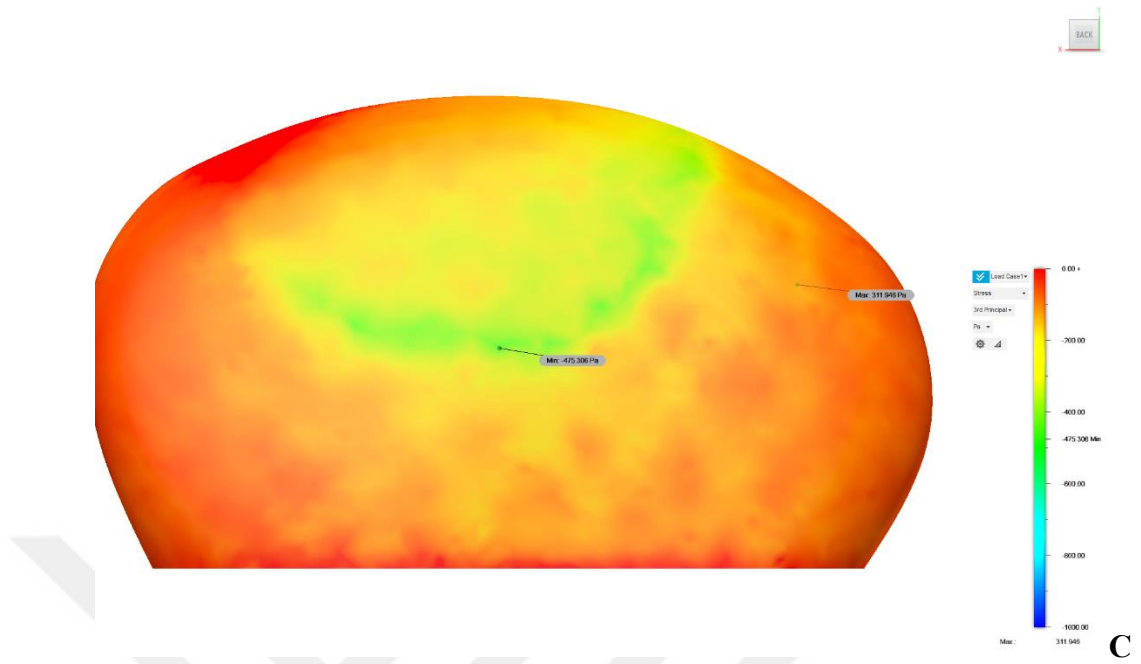


Şekil 4.2: Post-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

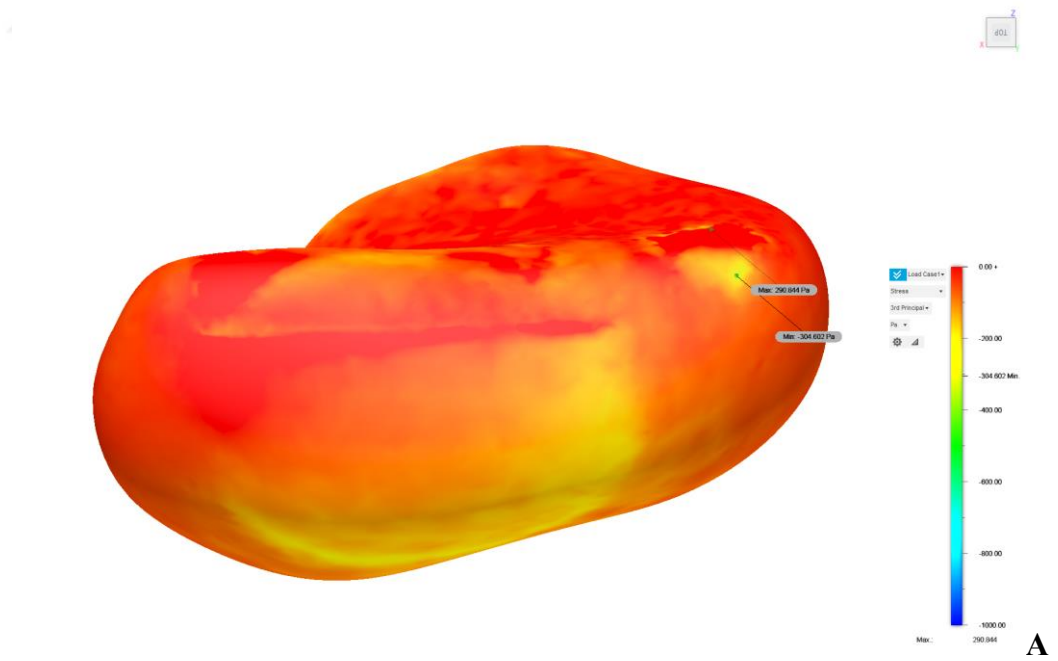
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sağ taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, mandibular kondil başının anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 1. ve Şekil 4. 2.).

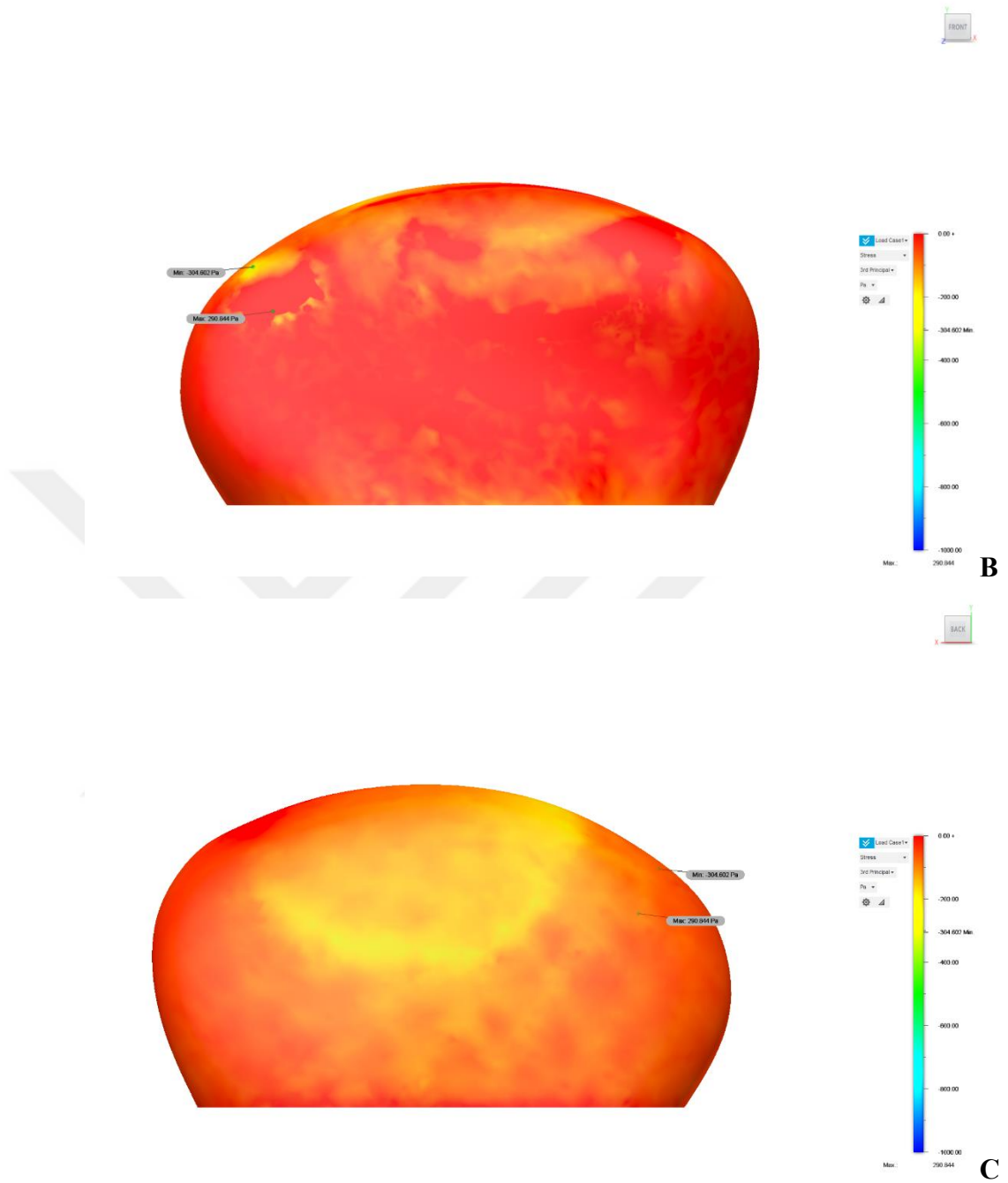
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve en yüksek maksimum principal (gerilim) stres değerinin kondilin anterolateralinde 954.864 Pa'dan → 929.077 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 1. ve Şekil 4. 2.).





Şekil 4.3: Pre-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)





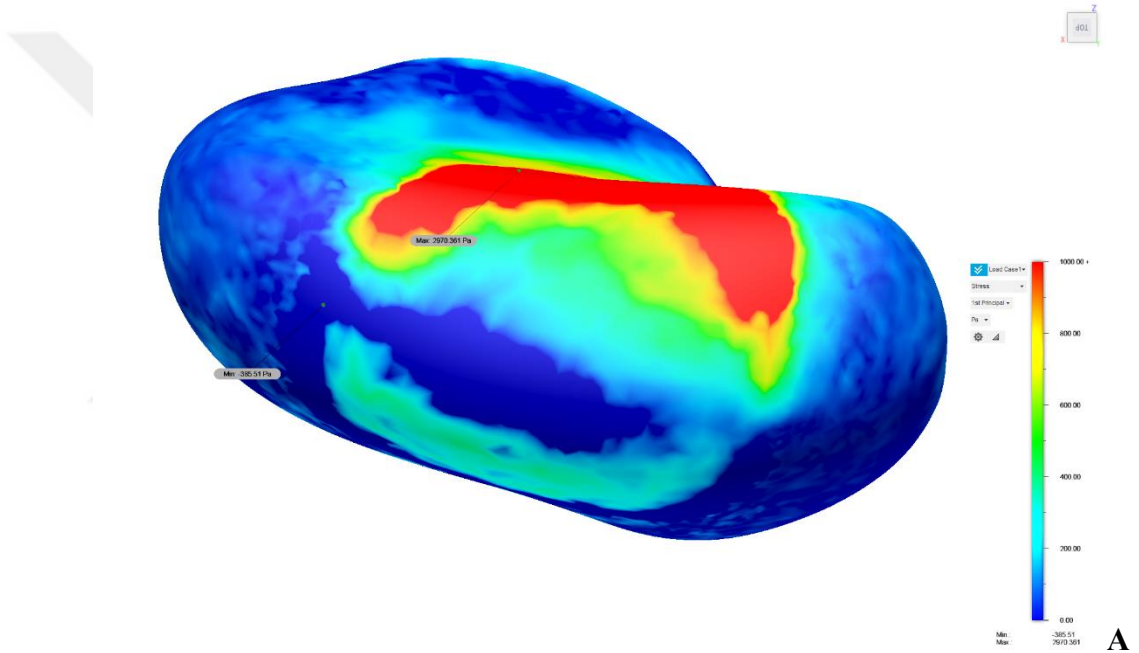
Şekil 4.4: Post-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

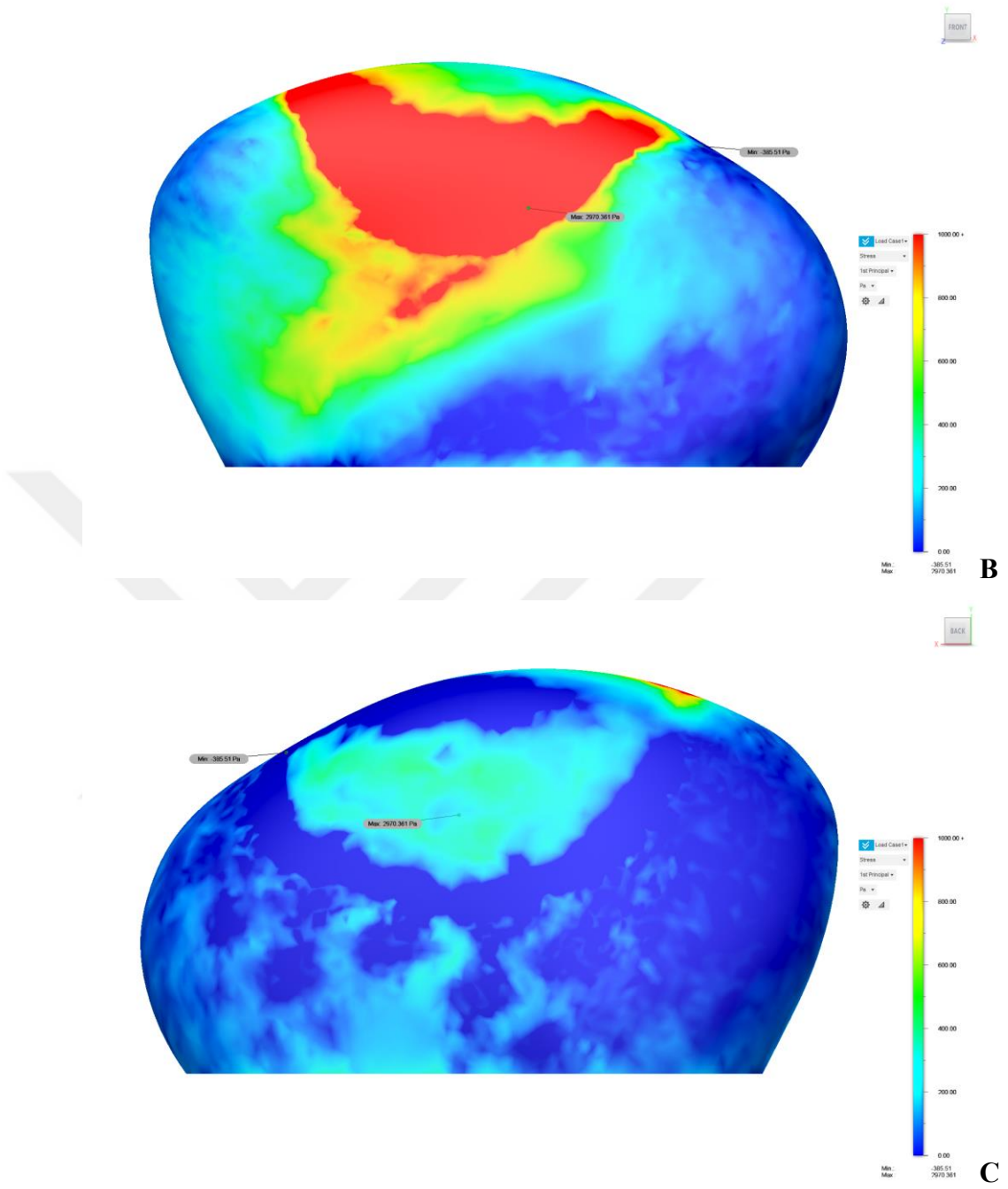
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sağ taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi kondil başının posteriorunda en

yüksek minimum principal (sıkışma) stres değeri -475.306 Pa olarak gözlenirken; operasyon sonrası bu değer kondil başının anterolateral köşesinde -304.602 Pa olarak gözlenmektedir.

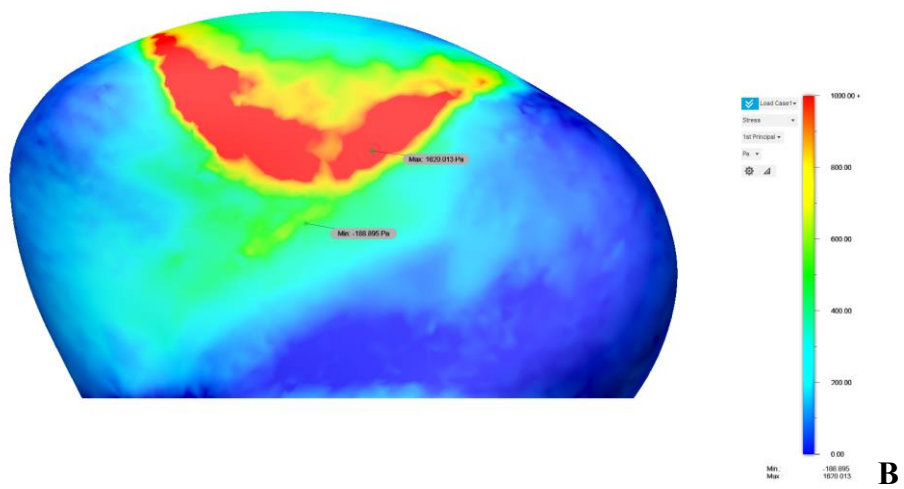
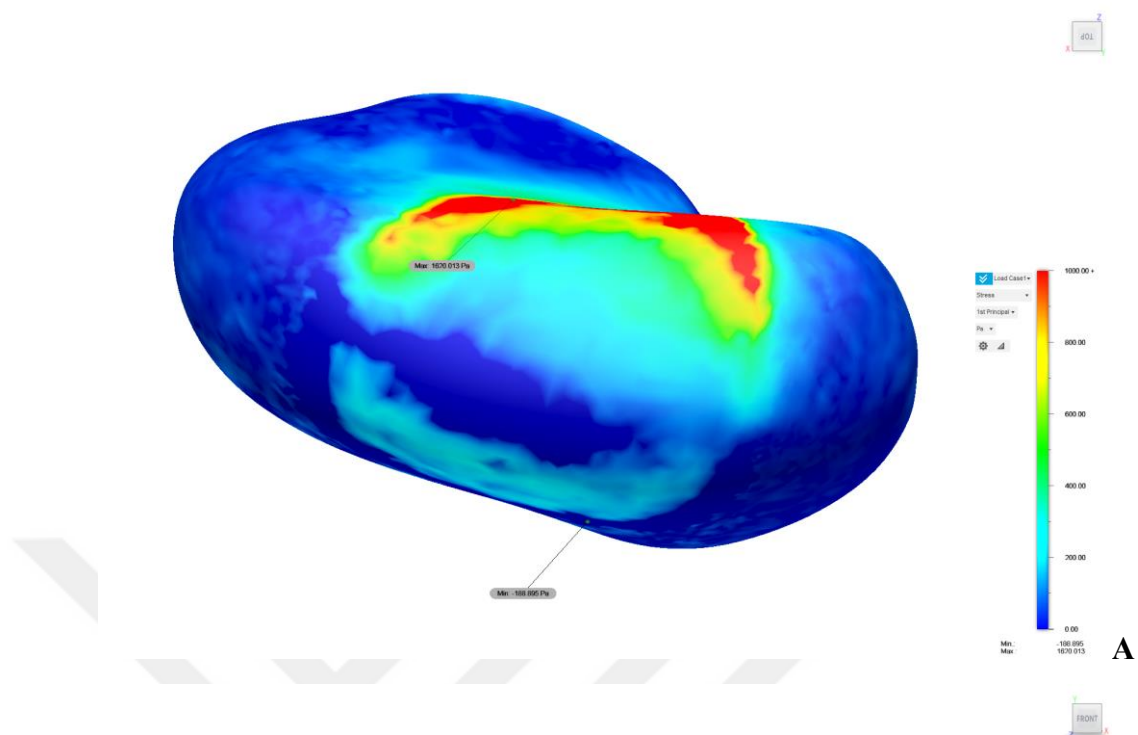
Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda mandibular kondilde gözlenen sıkışma değeri düşüş göstermiştir. (Şekil 4. 3. ve Şekil 4. 4.).

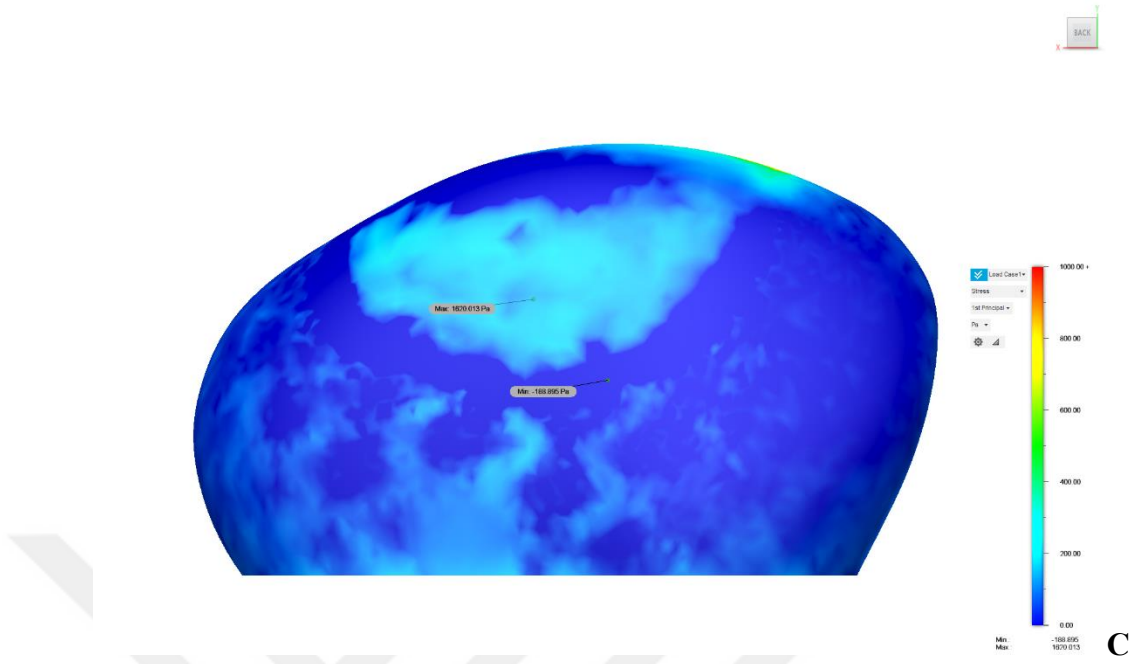
Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 1 vaka modelinin sağ taraf kondili, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.





Şekil 4.5: Pre-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri
Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

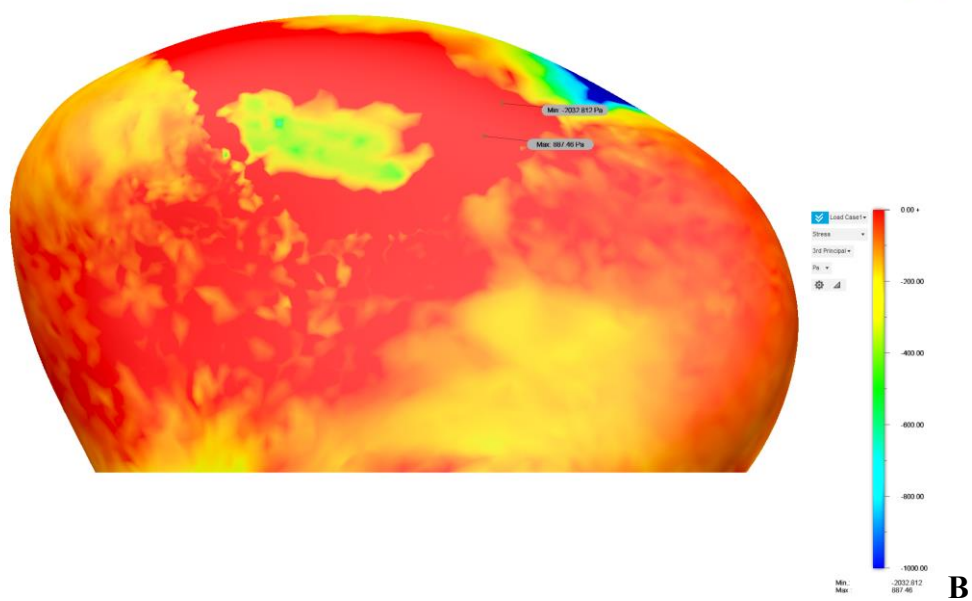
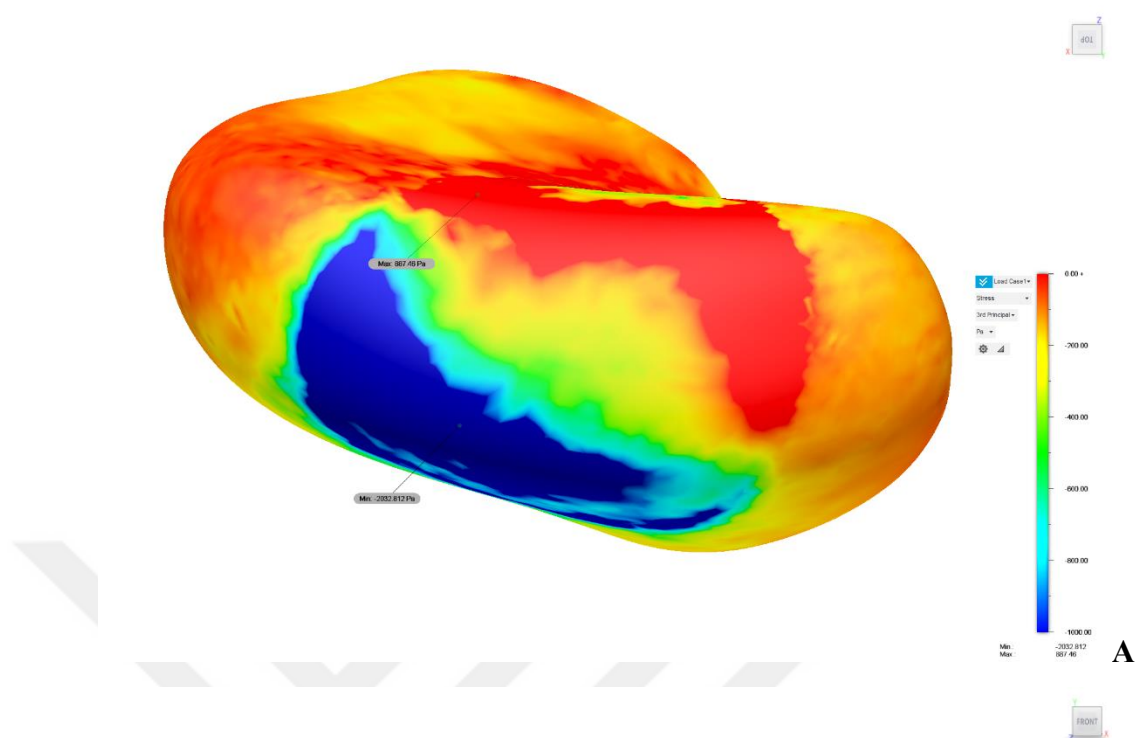


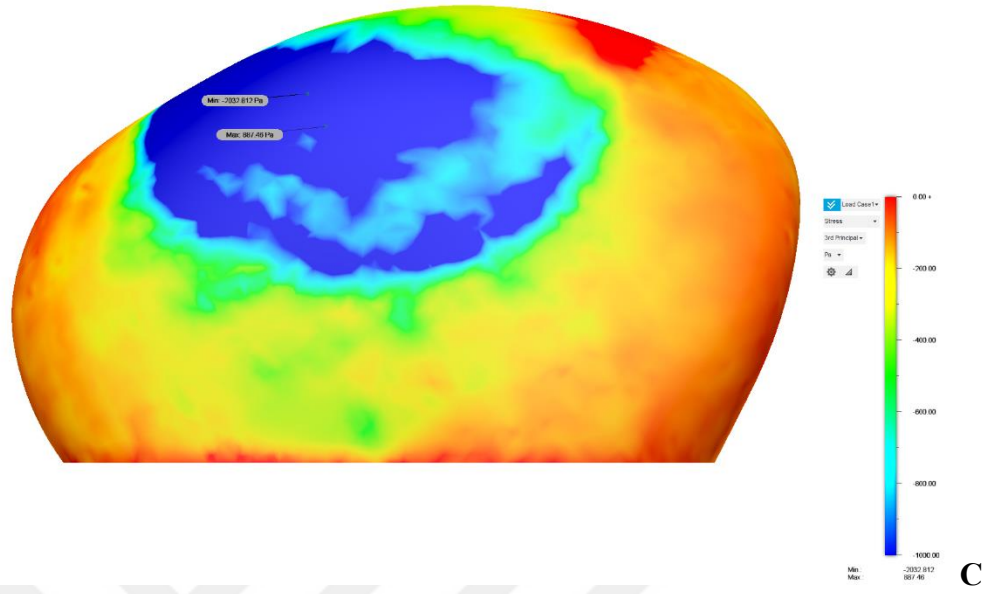


Şekil 4.6: Post-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

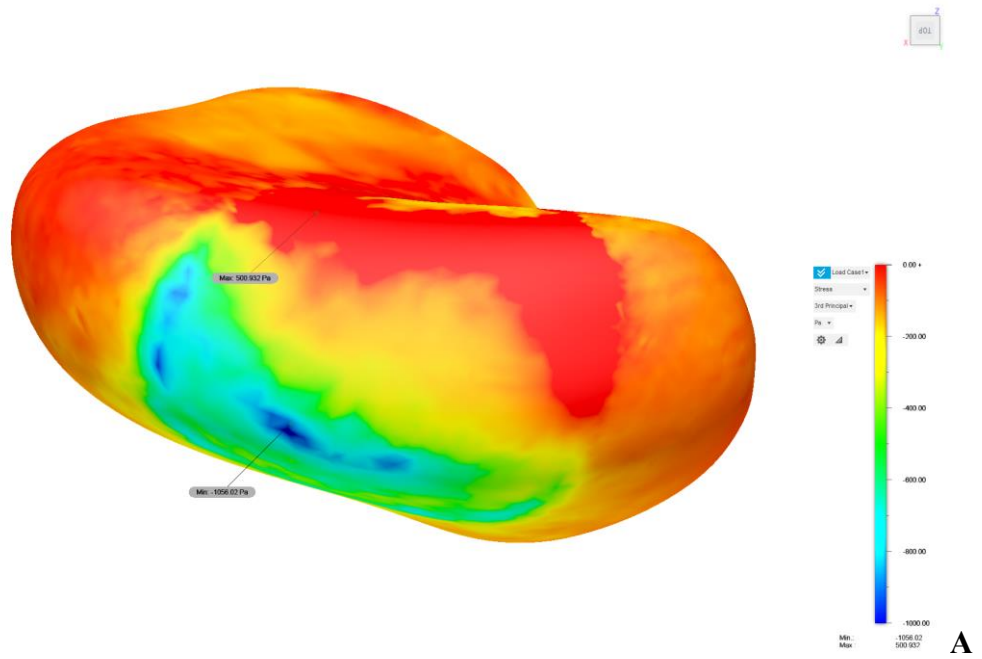
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sol taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, maksimum principal (gerilim) stres değeri en yüksek, kondilin anterior kenarında gözlenmiştir (Şekil 4. 5. ve Şekil 4. 6.).

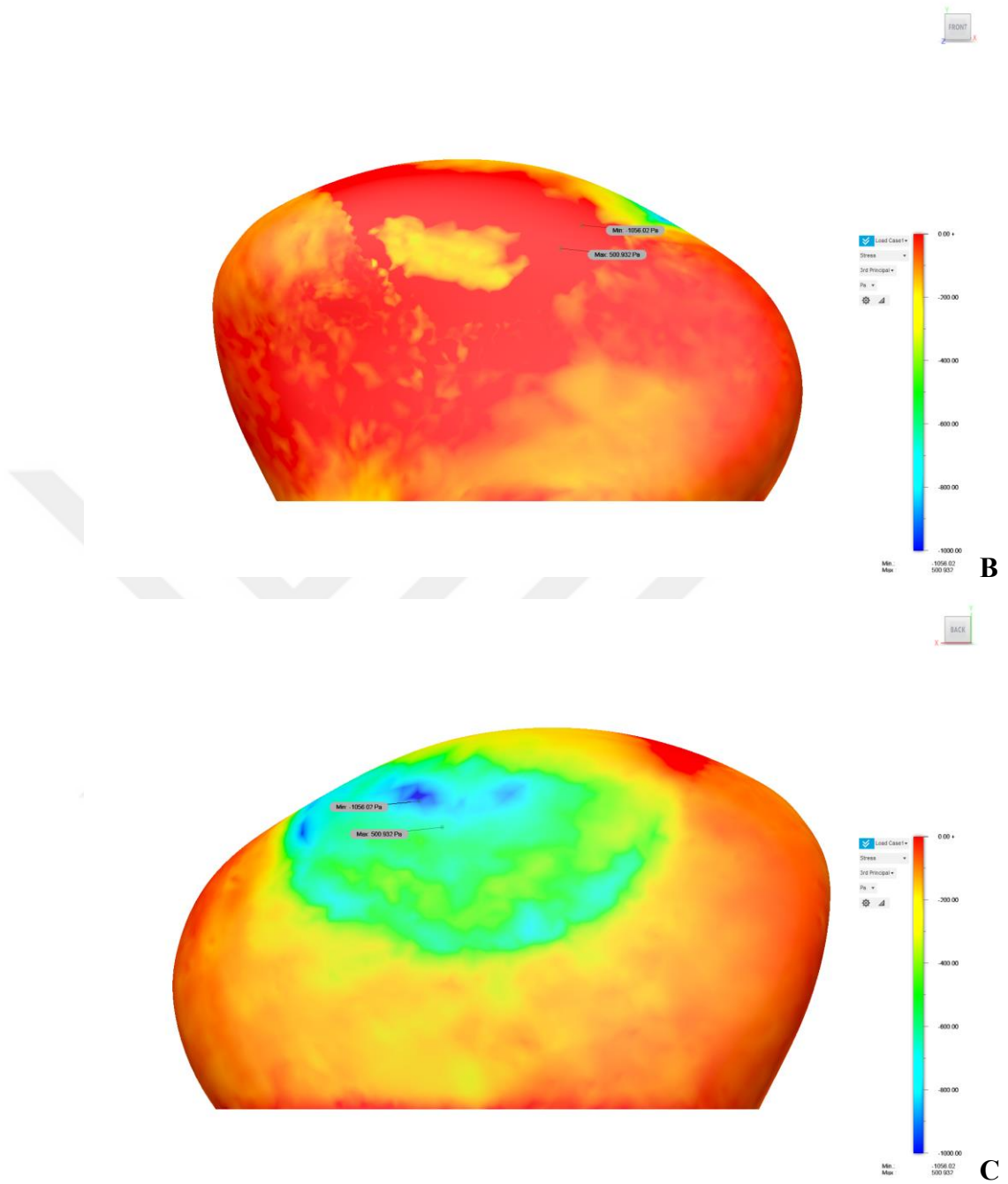
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve en yüksek maksimum principal (gerilim) stres değerinin kondilin anterior kenarında 2970.361 Pa'dan → 1620.013 Pa'a gerileyerek operasyon sonrası düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 5. ve Şekil 4. 6.).





Şekil 4.7: Pre-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)





Şekil 4.8: Post-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sol taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, kondil başının posterior kenarında en yüksek

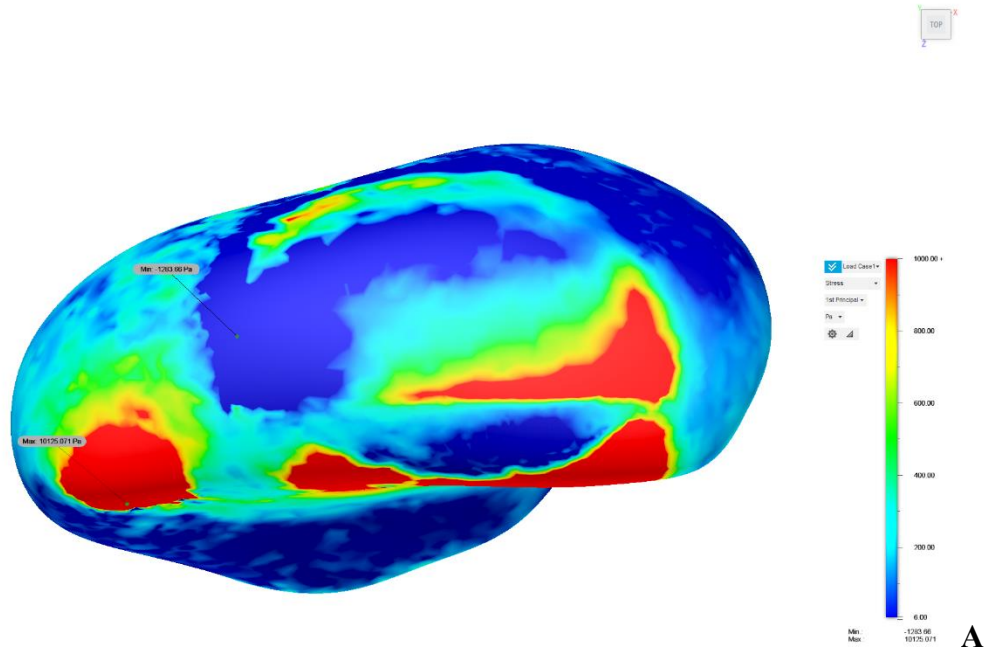
minimum principal (sıkışma) stres değerleri gözlenmektedir (Şekil 4. 7. ve Şekil 4. 8.).

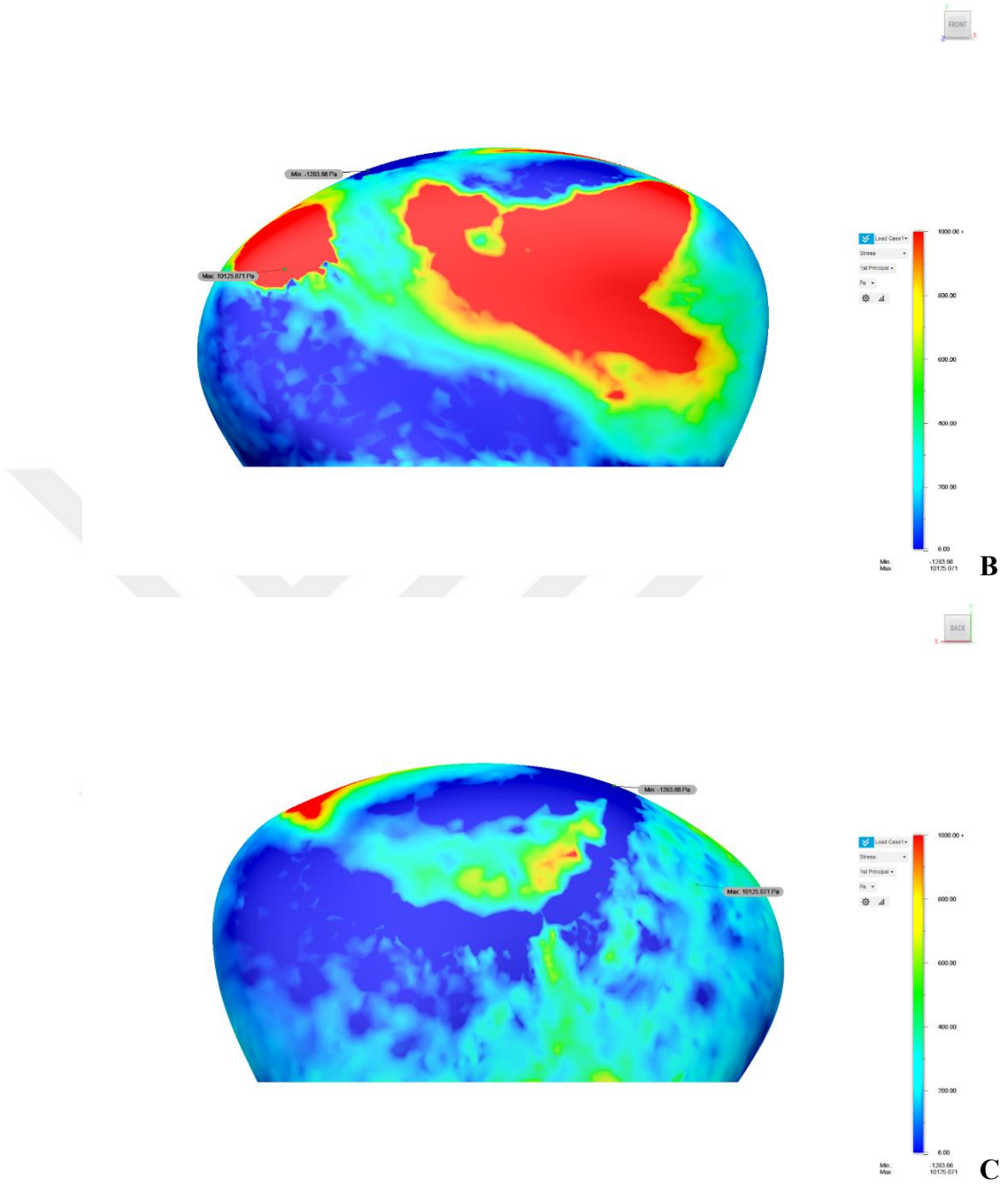
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -2032.812 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -1056.02 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 7. ve Şekil 4. 8.).

Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda kondil başının posterior kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

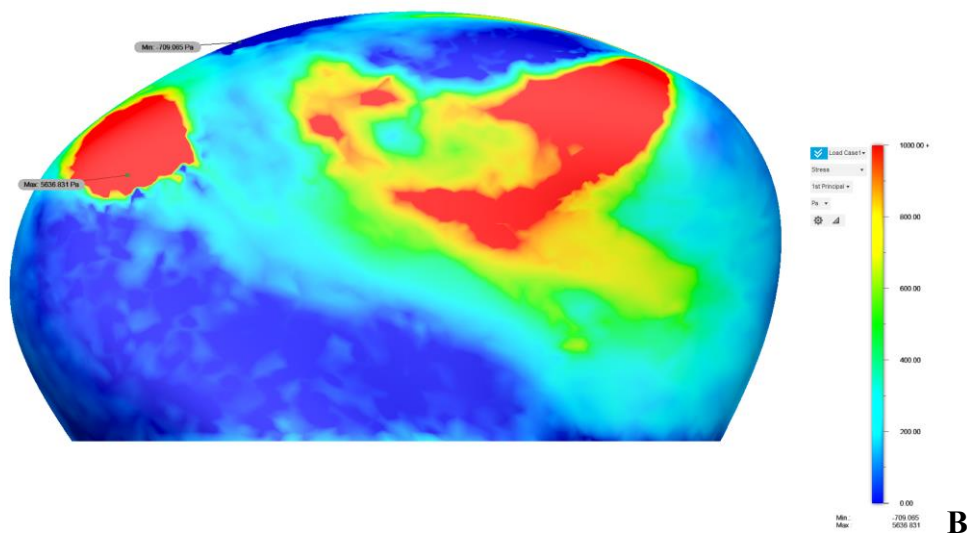
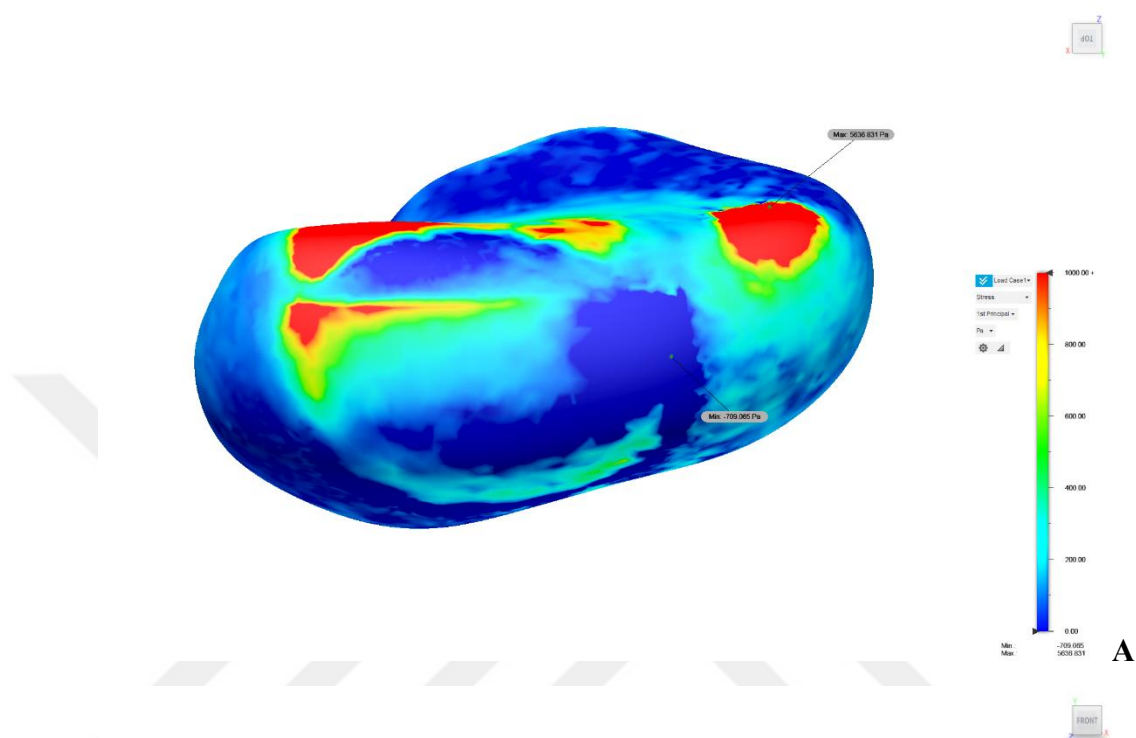
Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 1 vaka modelinin sol taraf mandibular kondili, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.

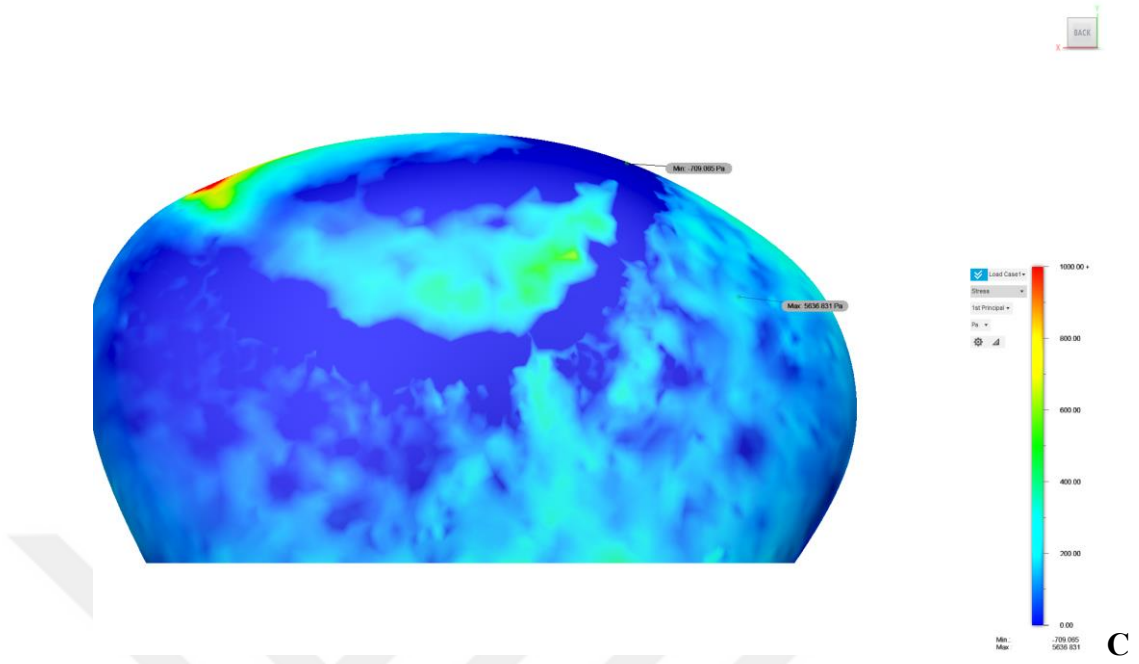
4. 1. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli





Şekil 4.9: Pre-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri
Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

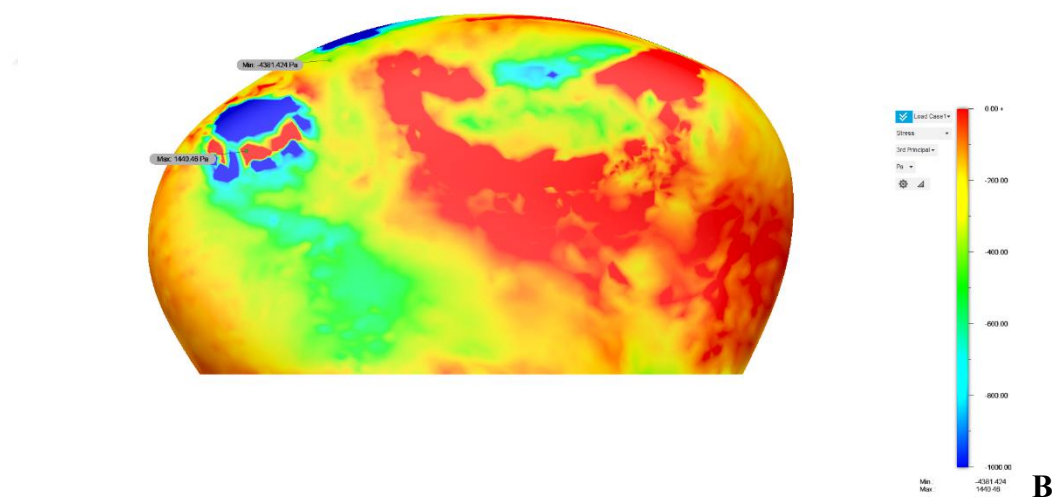
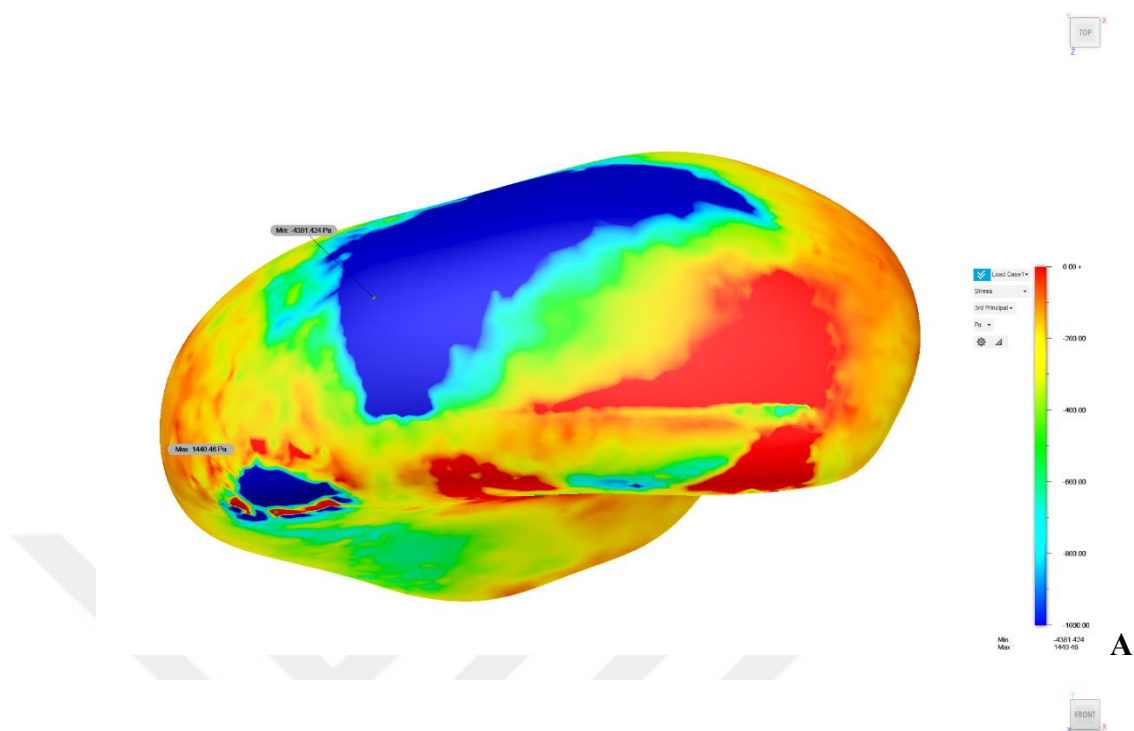


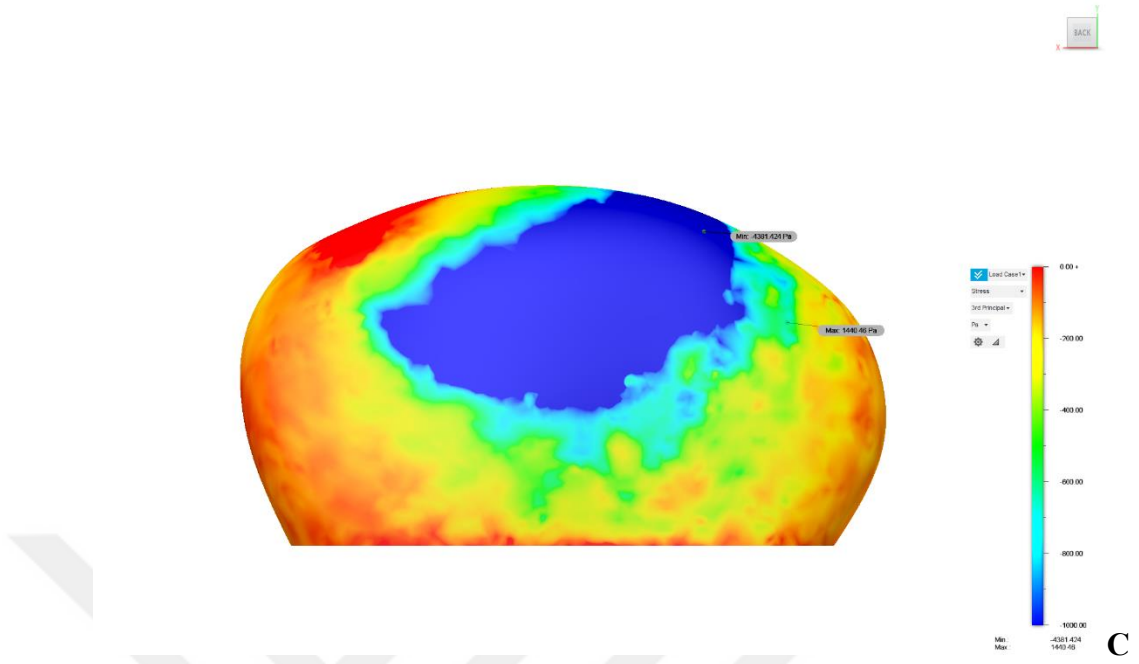


Şekil 4.10: Post-op Sağ Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

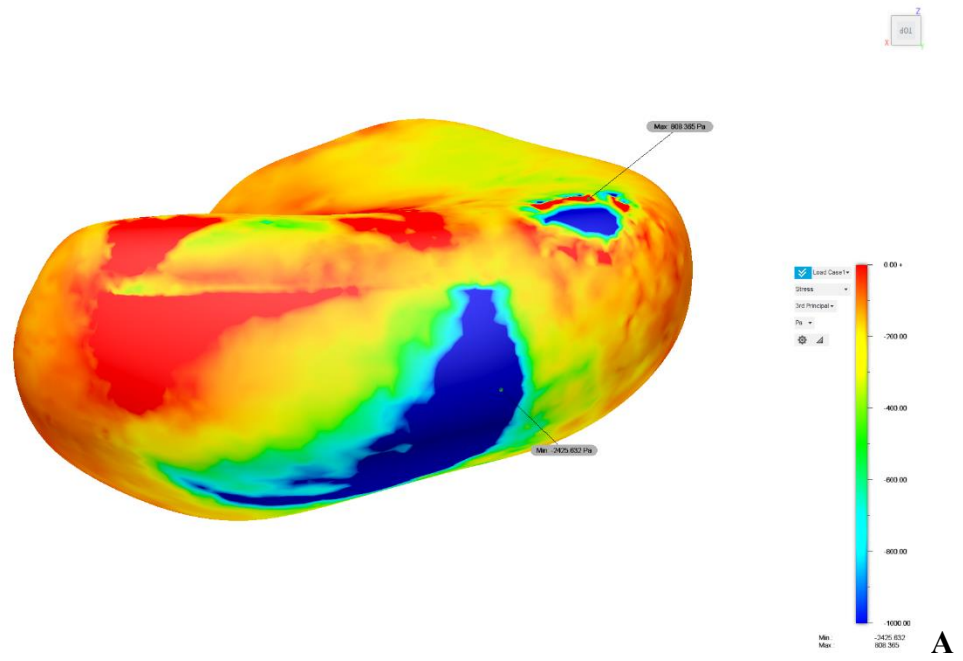
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sağ taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, mandibular kondil başının anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 9. Ve Şekil 4. 10.).

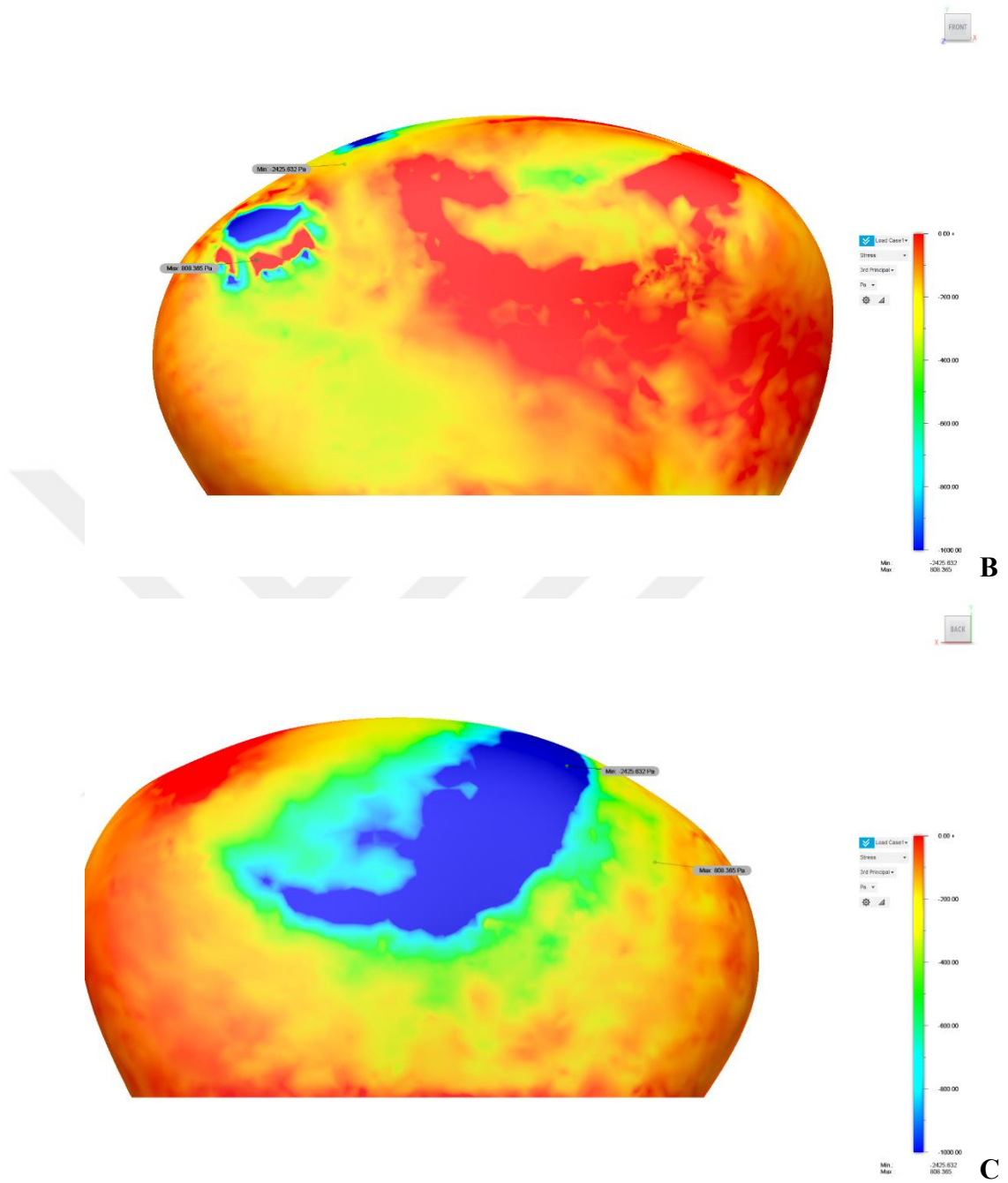
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve en yüksek maksimum principal (gerilim) stres değerinin kondilin anterolateralinde 10125.071 Pa'dan → 5636.831 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 9. Ve Şekil 4. 10.).





Şekil 4.11: Pre-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)





Şekil 4.12: Post-op Sağ Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

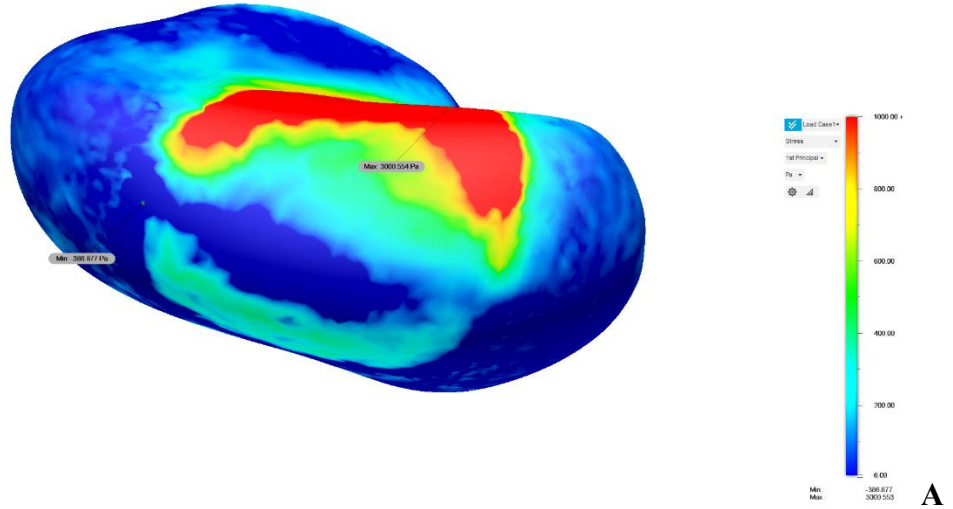
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sağ taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri

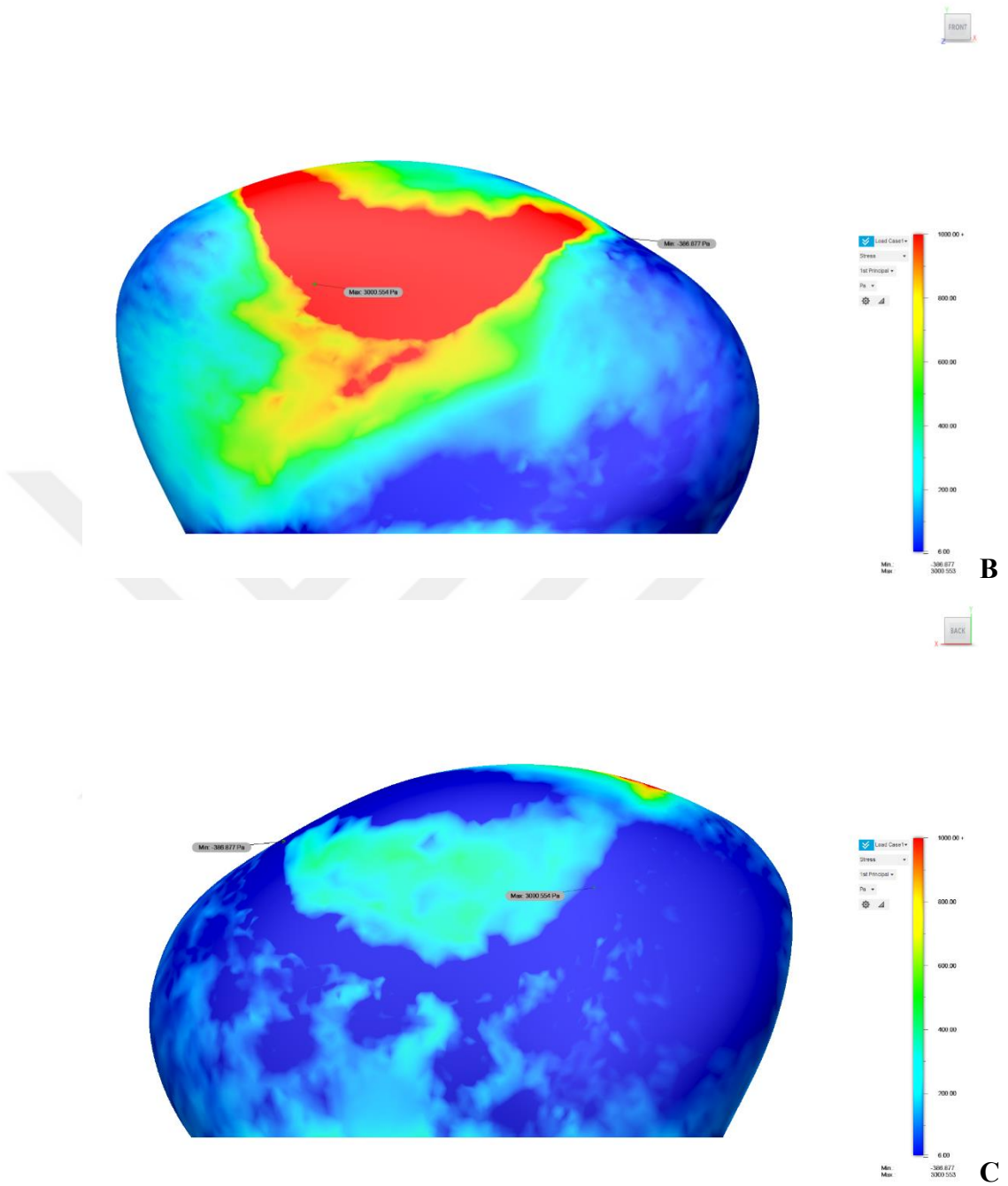
incelendiğinde, mandibular kondil başının posterior kenarının en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 11. ve Şekil 4. 12.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -4381.424 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -2425.632 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 11. ve Şekil 4. 12.).

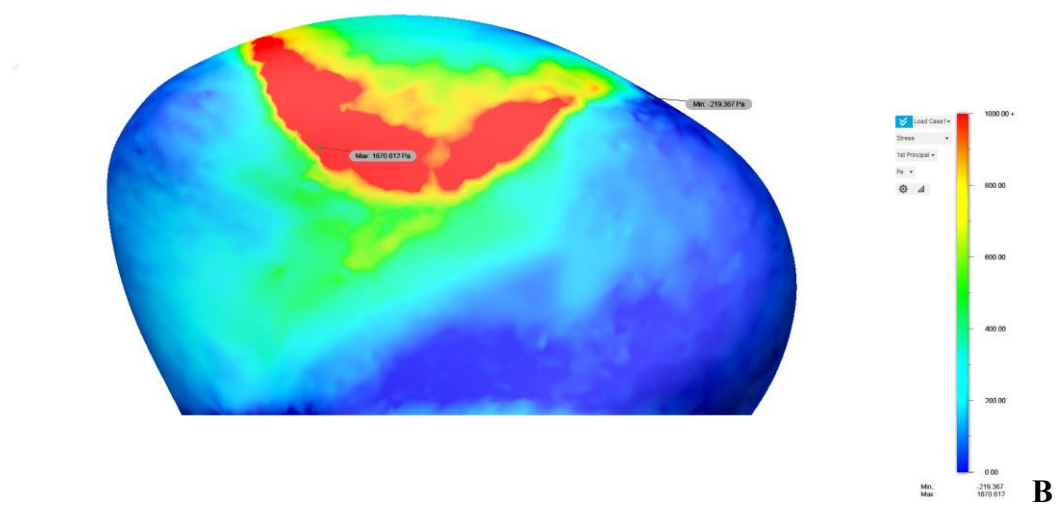
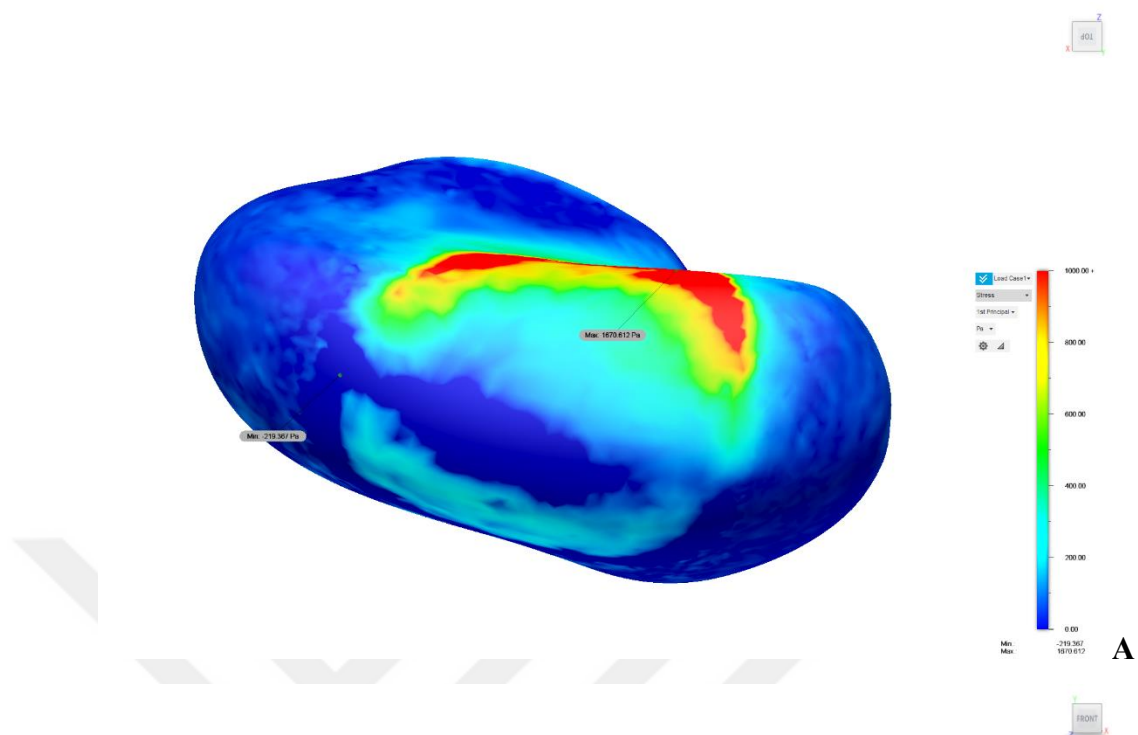
Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda kondil başının posterior kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

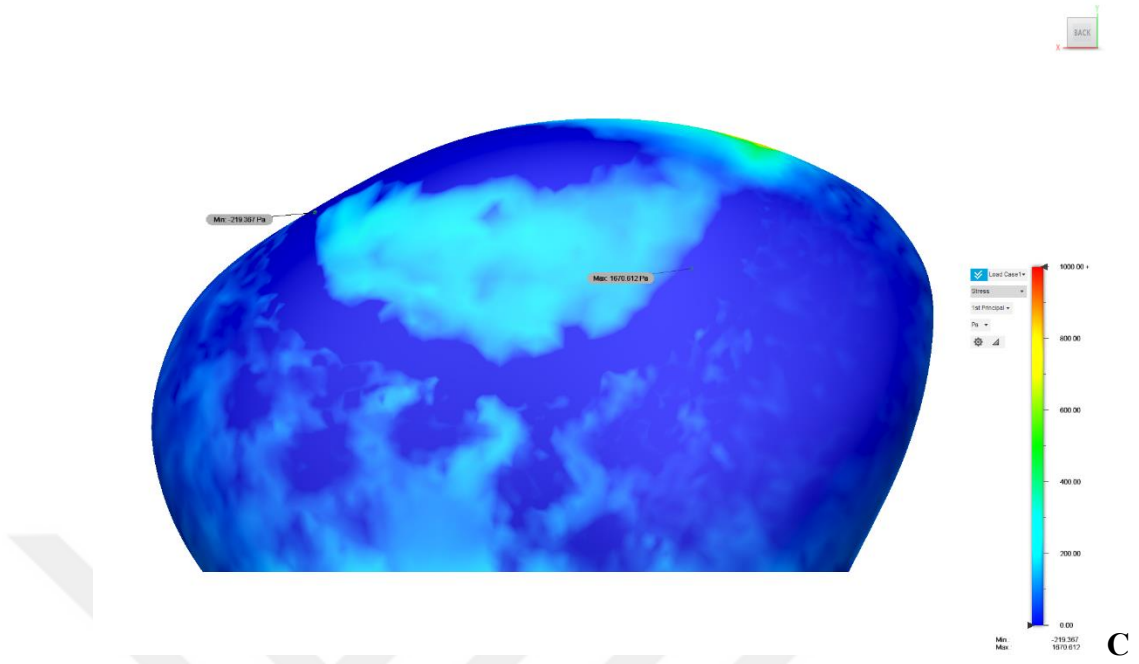
Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 2 vaka modelinin sağ taraf mandibular kondili, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.





Şekil 4.13: Pre-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri
Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

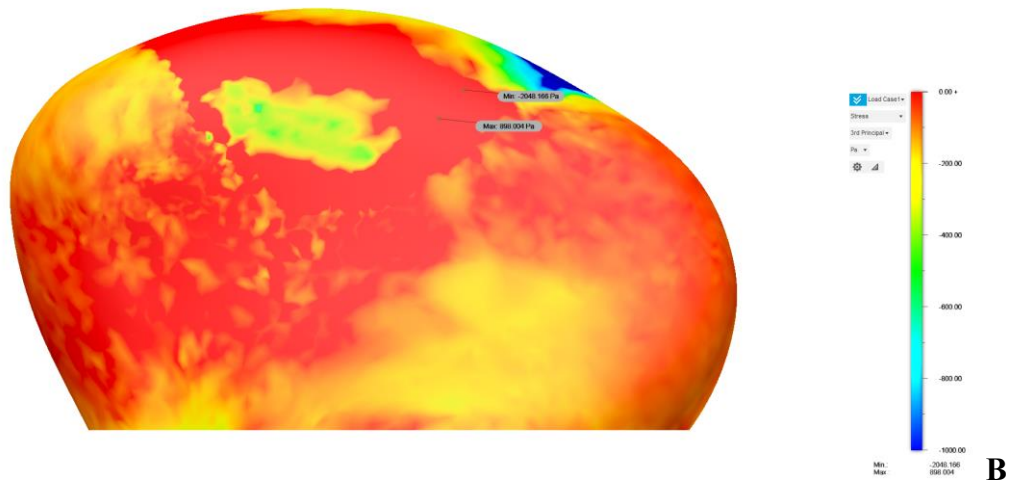
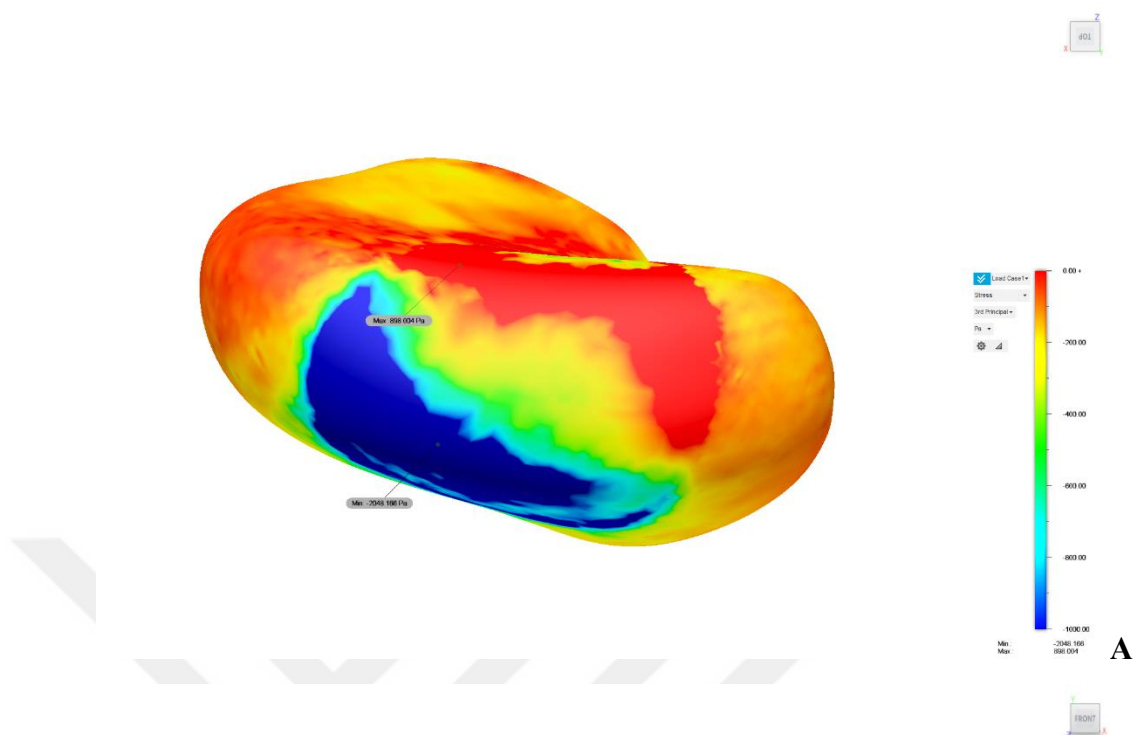


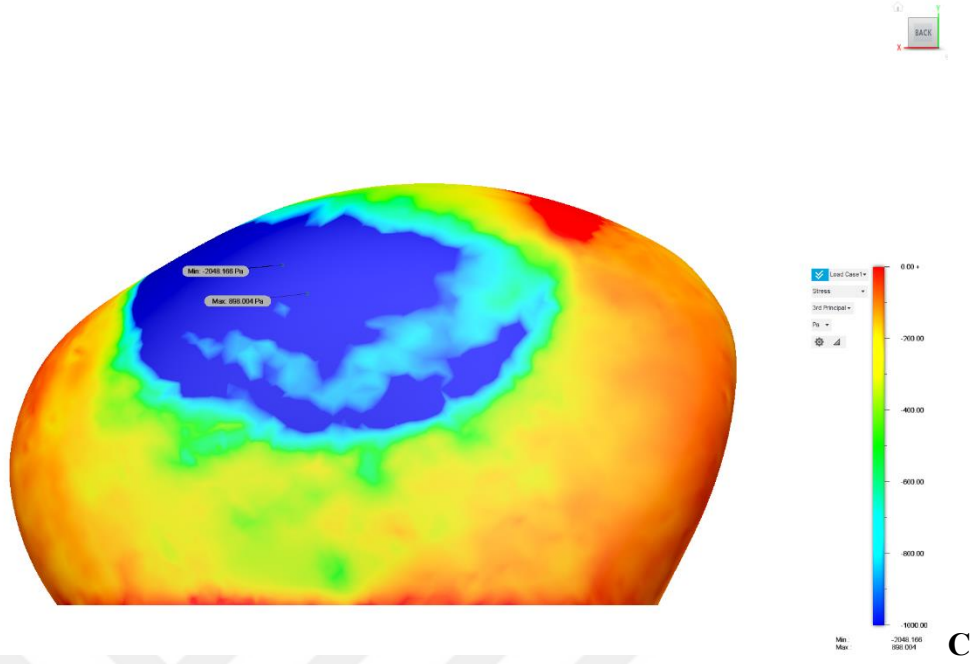


Şekil 4.14: Post-op Sol Kondil Maksimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

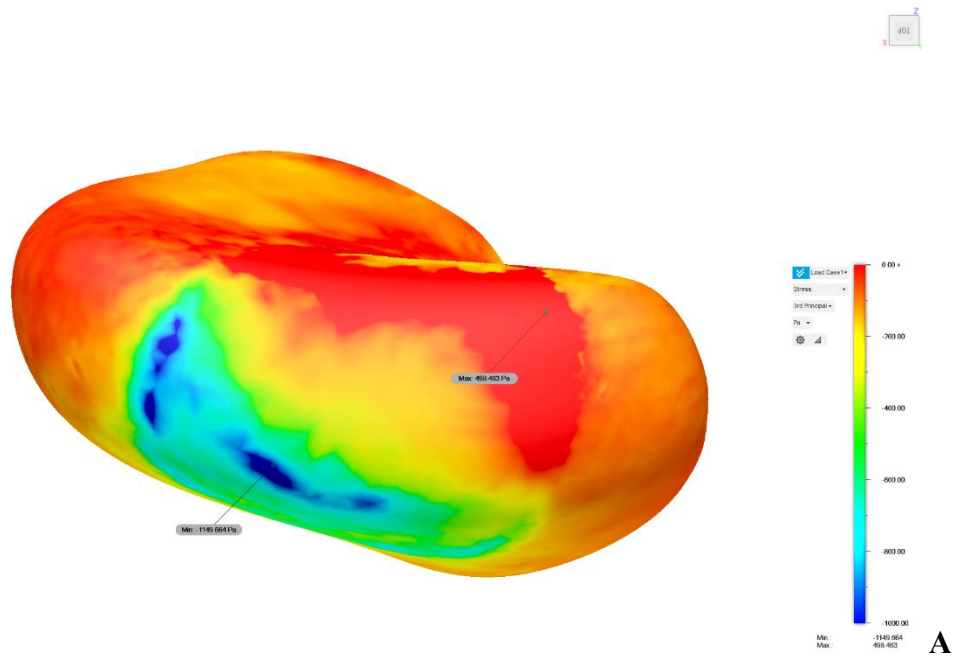
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sol taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, mandibular kondil başının anteromedial köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 13. ve Şekil 4. 14.v.

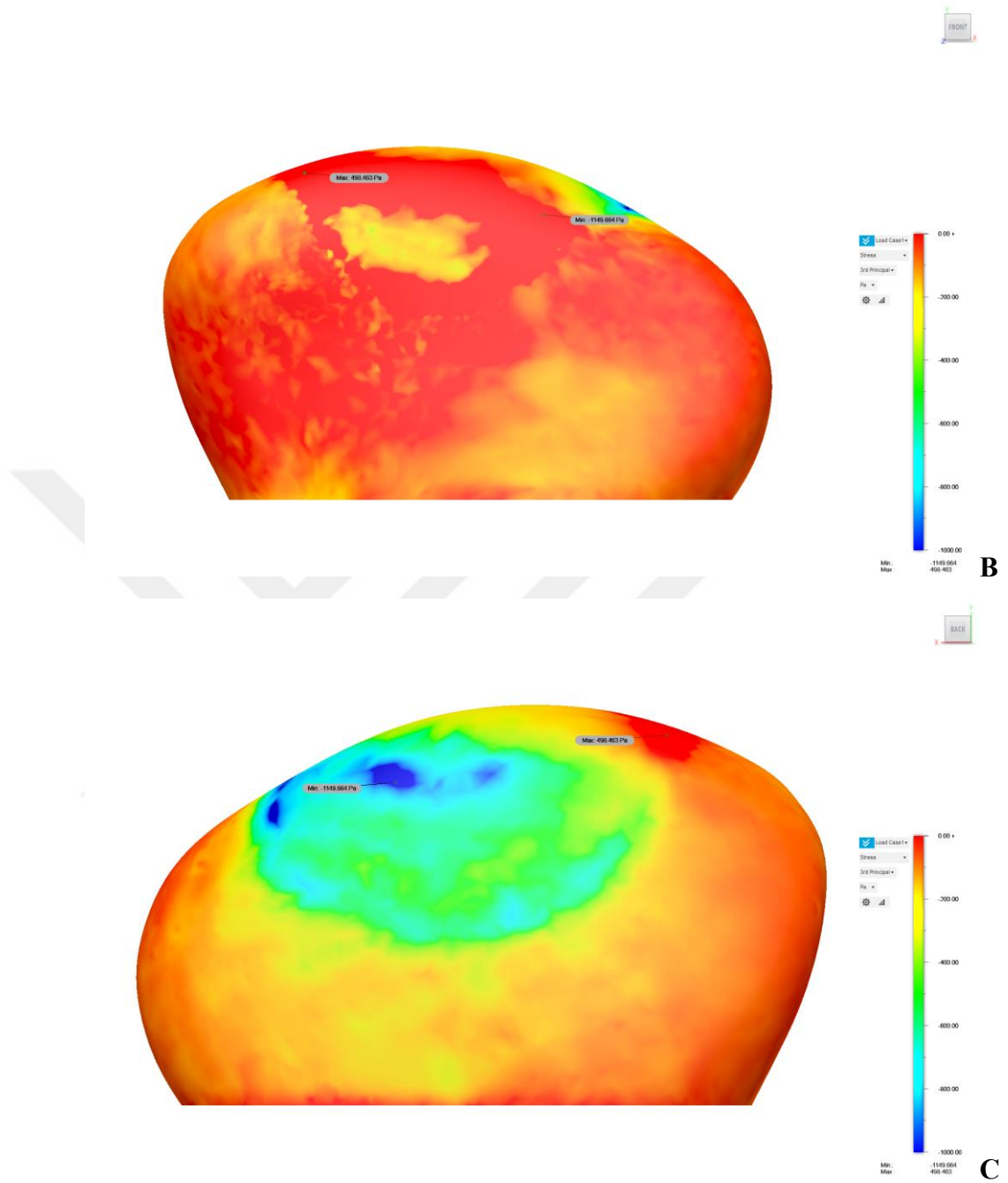
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve en yüksek maksimum principal (gerilim) stres değerinin kondilin anteromedialinde 3000.554 Pa'dan $\rightarrow$ 1670.612 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 13. ve Şekil 4. 14.).





Şekil 4.15: Pre-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)





Şekil 4.16: Post-op Sol Kondil Minimum Principal Görüntü Kesitleri Sırasıyla Üst-Ön-Arka Yüzey Görünümleri (A-B-C)

Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sol taraf kondilinin; süperior, anterior ve posterior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri

incelendiğinde, mandibular kondil başının posterior kenarının en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 15. ve Şekil 4. 16.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -2048.166 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -1149.664 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 15. ve Şekil 4. 16.).

Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda kondil başının posterior kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 2 vaka modelinin sol taraf mandibular kondili, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.

Tablo 4.1: Mandibular Kondiller Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri

		Grup 1		Grup 2	
Sağ	Max.PS	Pre-op	954,864 Pa	Pre-op	10125,071 Pa
		Post-op	929,077 Pa	Post-op	5636,831 Pa
	Min.PS	Pre-op	-475,306 Pa	Pre-op	-4381,424 Pa
		Post-op	-304,602 Pa	Post-op	-2425,632 Pa
Sol	Max.PS	Pre-op	2970,361 Pa	Pre-op	3000,554 Pa
		Post-op	1620,13 Pa	Post-op	1670,612 Pa
	Min.PS	Pre-op	-2032,812 Pa	Pre-op	-2048,166 Pa
		Post-op	-1056,02 Pa	Post-op	-1149,664 Pa

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Max.PS = Maksimum Principal Stres (En Yüksek Gerilim Stresi), Min.PS = Minimum Principal Stres (En Yüksek Sıkışma Stresi), Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası, Pa = Pascal.

Tablo 4.2: Mandibular Kondiller Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları

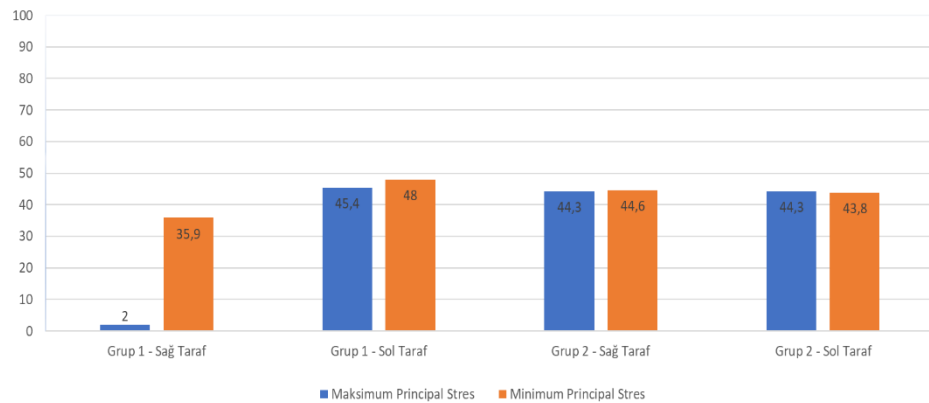
		Grup 1		Grup 2	
Sağ	Max.PS	Pre-op	Anterolateral	Pre-op	Anterolateral
		Post-op	Anterolateral	Post-op	Anterolateral
	Min.PS	Pre-op	Posterior	Pre-op	Posterior
		Post-op	Anterolateral	Post-op	Posterior
Sol	Max.PS	Pre-op	Anterior	Pre-op	Anteromedial
		Post-op	Anterior	Post-op	Anteromedial
	Min.PS	Pre-op	Posterior	Pre-op	Posterior
		Post-op	Posterior	Post-op	Posterior

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol =6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Max.PS = Maksimum Principal Stres (En Yüksek Gerilim Stresi), Min.PS = Minimum Principal Stres (En Yüksek Sıkışma Stresi), Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası.

Şekil 4.17: Mandibular Kondiller Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op)

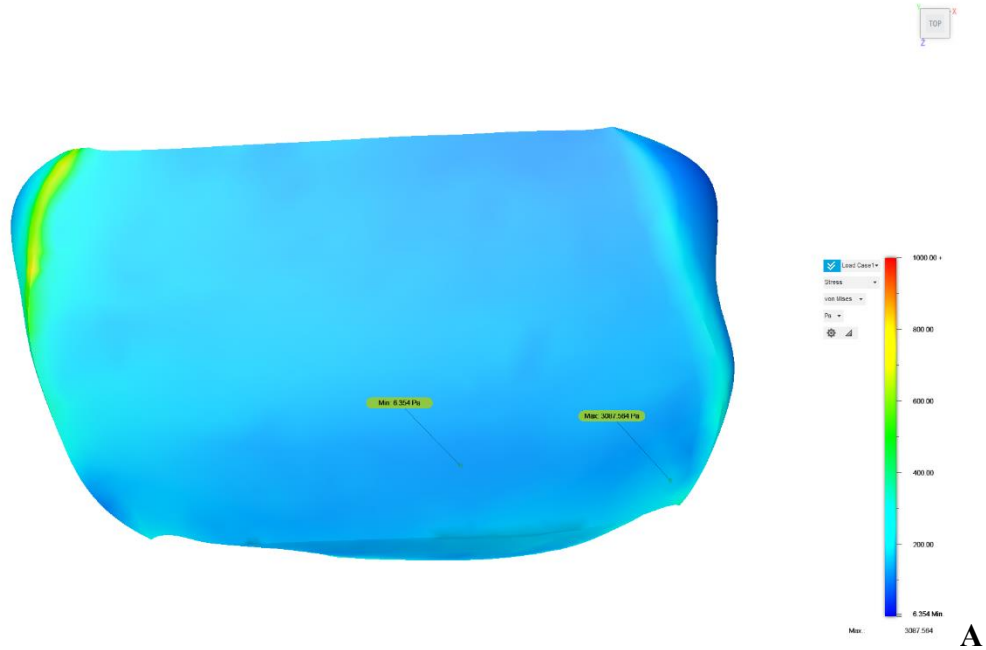


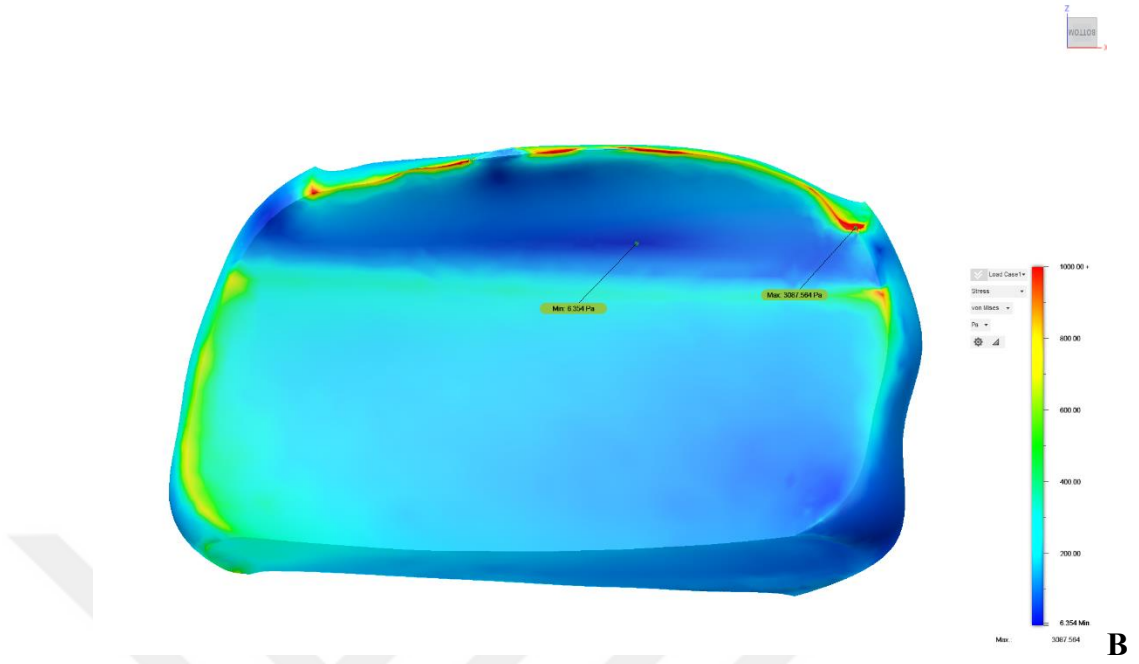
4.2. ARTİKÜLER DİSK ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI

Çalışmamızda artiküler disk kesitleri üst ve alt cephe olmak üzere iki farklı yönden elde edilen görüntüler ile değerlendirilmiştir. Her bir grubun aynı cepheden elde edilen pre – op ve post – op kesit görüntüleri, sağ ve sol taraf olacak şekilde kendi aralarında incelenmiştir. Değerlendirilen parametreler arasında Von Misses Stres (equivalent stres) değerleri bulunmaktadır.

Analiz sonuçlarında Von Misses Stres değerleri pozitif değerler olup renk skalasında maviden kırmızıya doğru kuvvet değerleri artış göstermektedir. Von Misses stres değerleri sayesinde, oluşan stresler nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilebilir. Ayrıca artiküler disk üzerinde oluşan stres dağılımları ve yoğunlaşma alanları hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla kullanılmaktadır.

4. 2. 1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli





Şekil 4.18: Pre-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla
Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

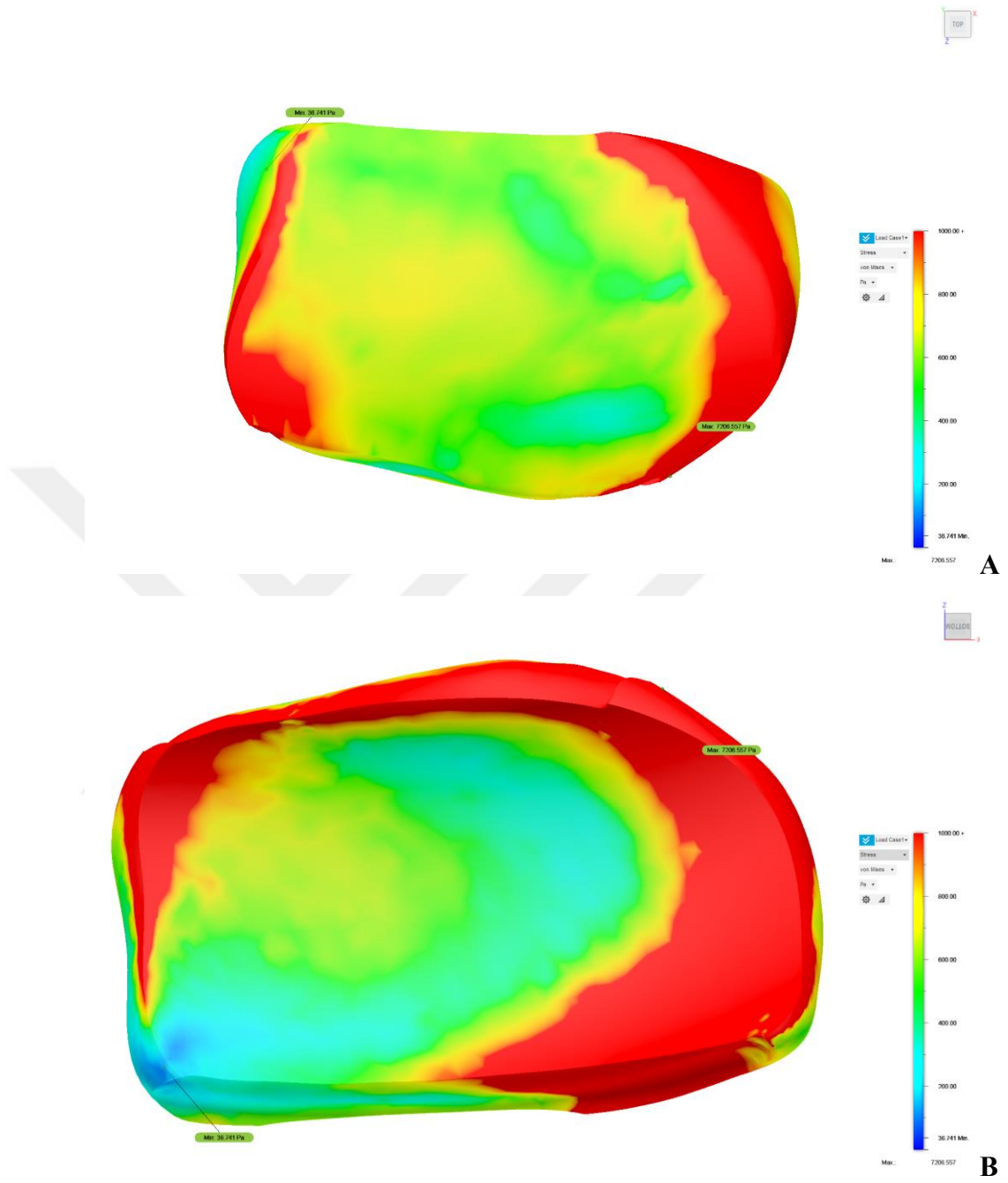




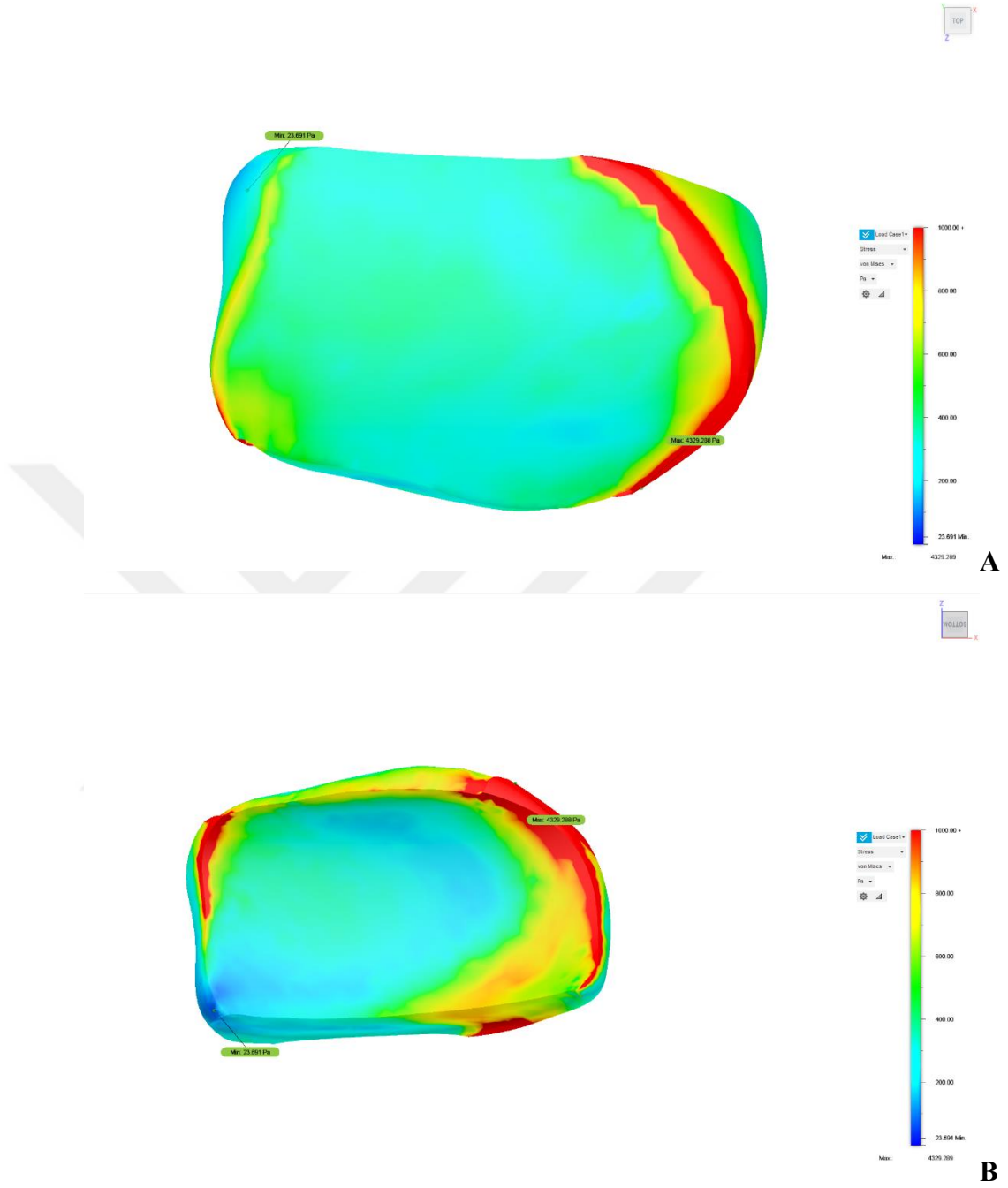
Şekil 4.19: Post-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sağ taraf artiküler diskinin; süperior ve inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde von misses stres değerleri incelendiğinde, artiküler diskin anteromedial köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 18. ve Şekil 4. 19.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında von misses stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve en yüksek von misses stres değerinin artiküler diskin anteromedialinde 3087.564 Pa'dan → 1361.071 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 18. ve Şekil 4. 19.).



Şekil 4.20: Pre-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla
Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)



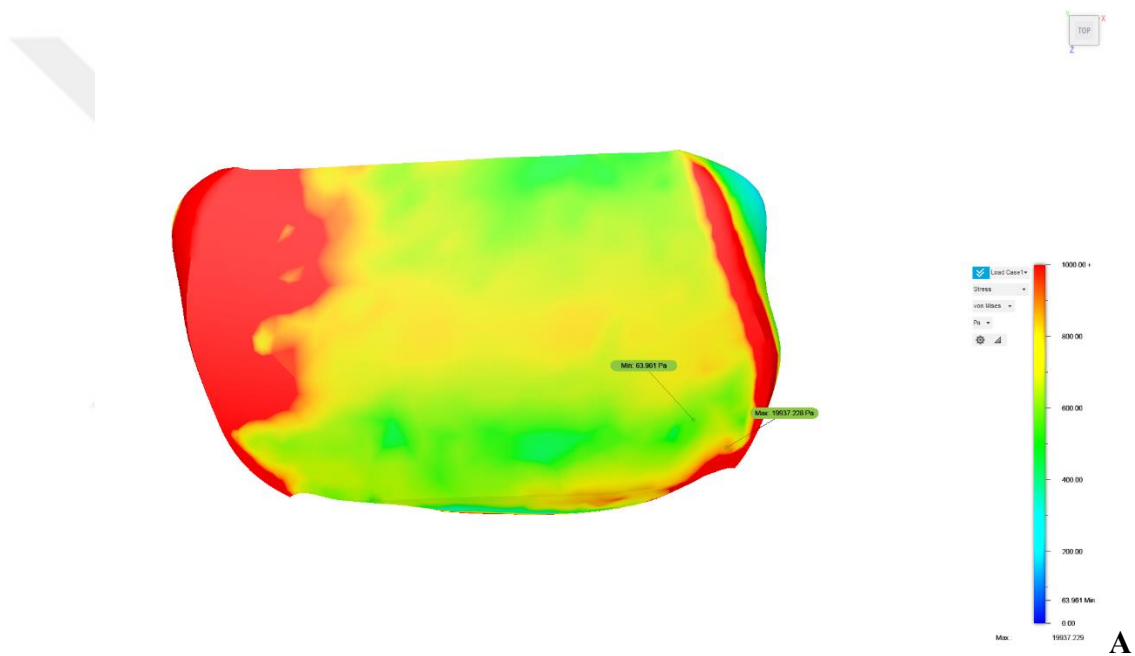
Şekil 4.21: Post-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

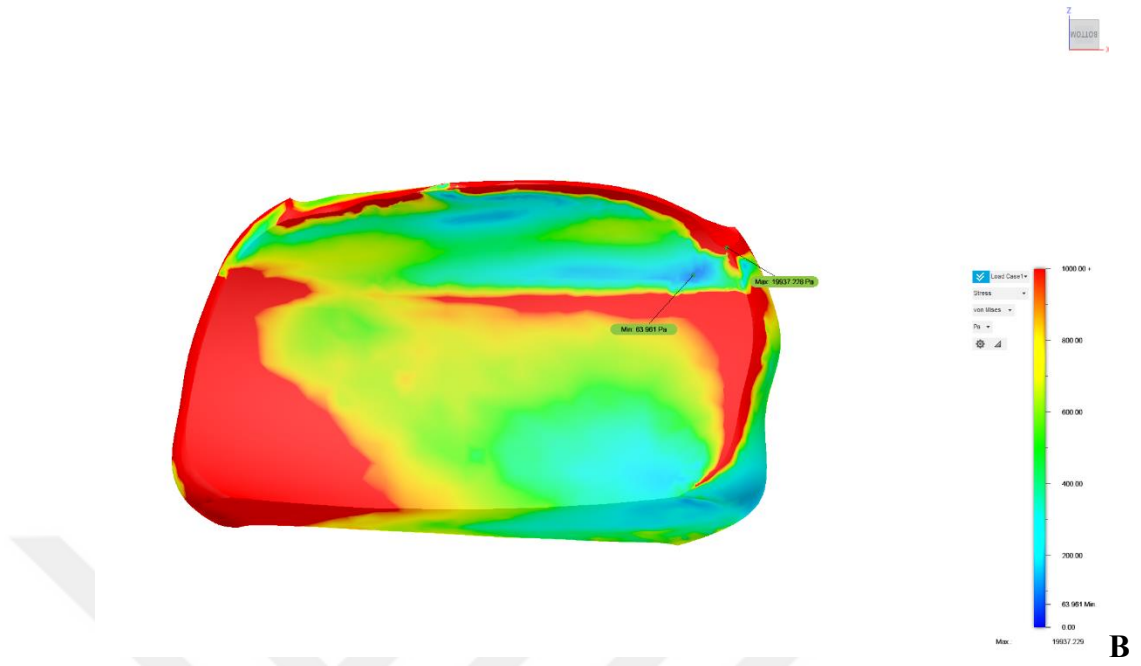
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sol taraf artiküler diskinin; süperior ve inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde von misses stres değerleri

incelendiğinde, artiküler diskin anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 20. ve Şekil 4. 21.).

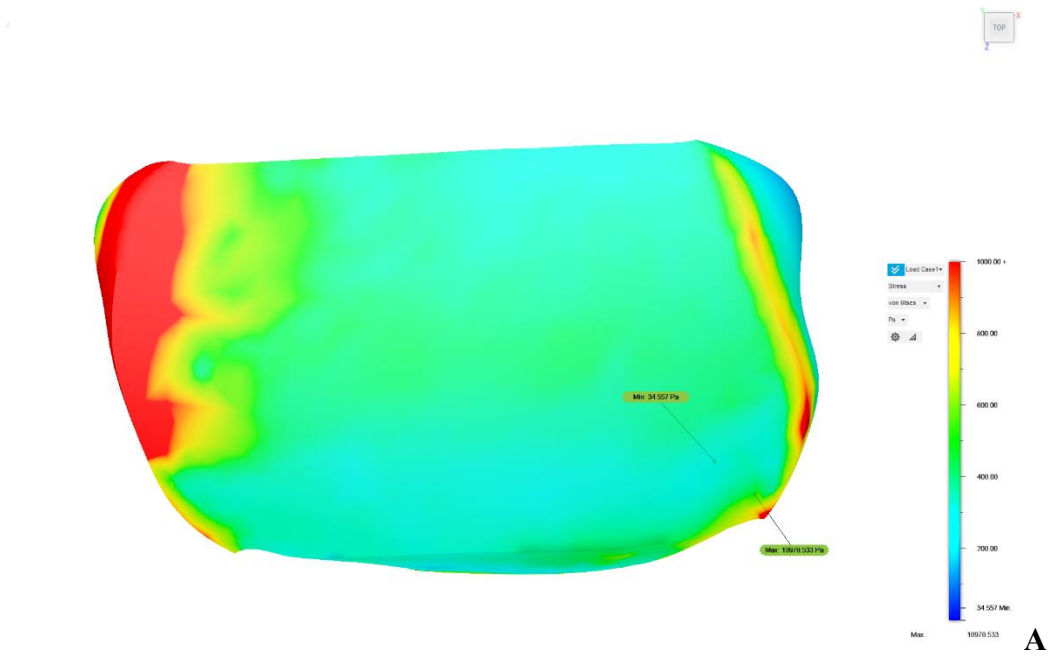
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında von misses stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve en yüksek von misses stres değerinin artiküler diskin anterolateralinde 7206.557 Pa'dan → 4329.288 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 20. ve Şekil 4. 21.).

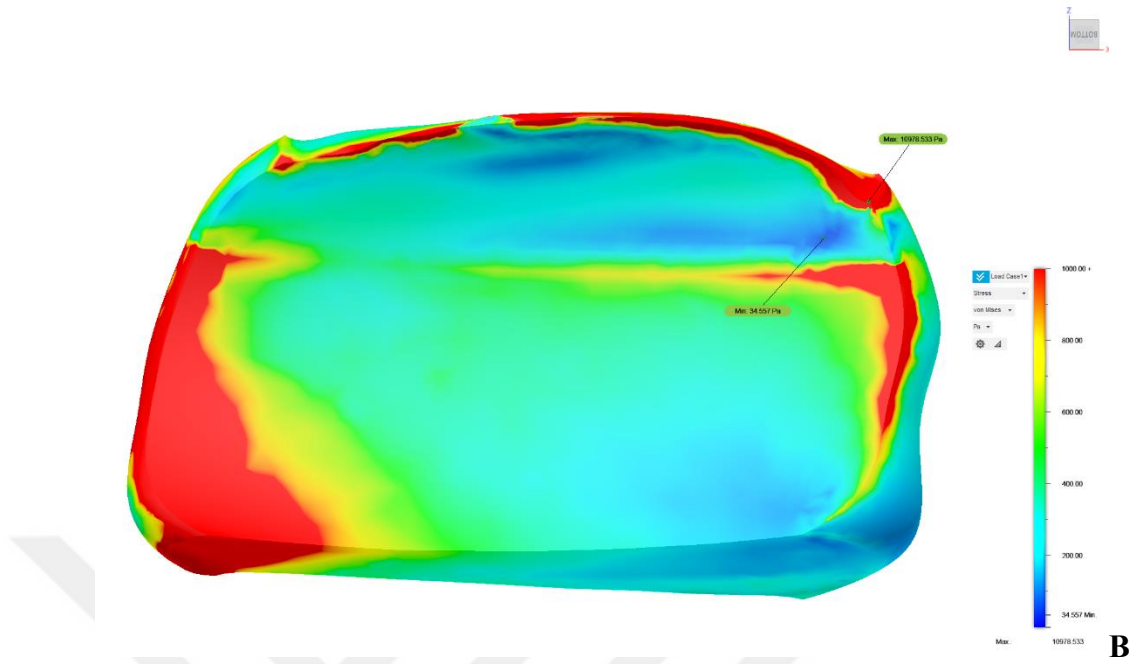
4. 2. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli





Şekil 4.22: Pre-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla
Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

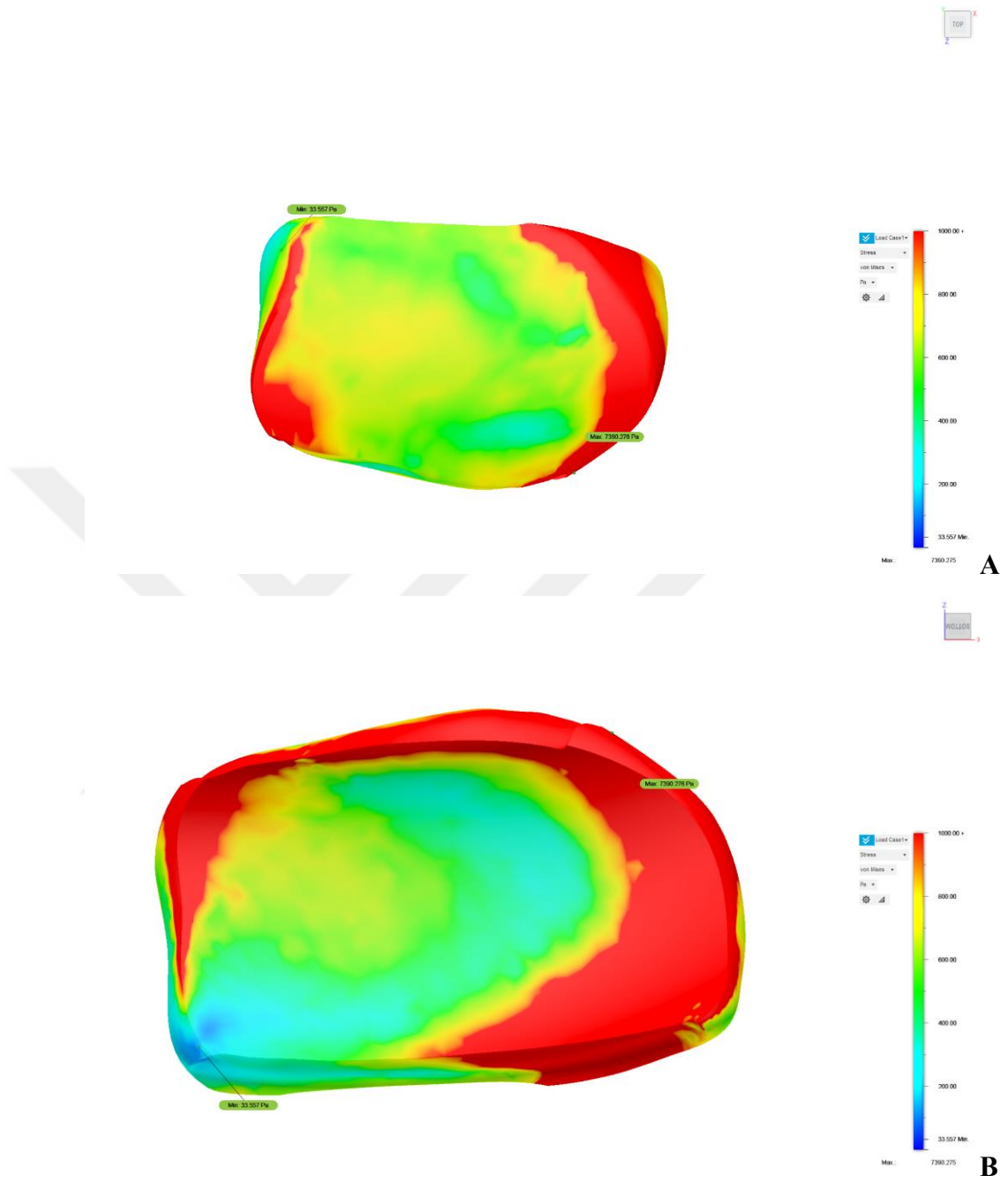




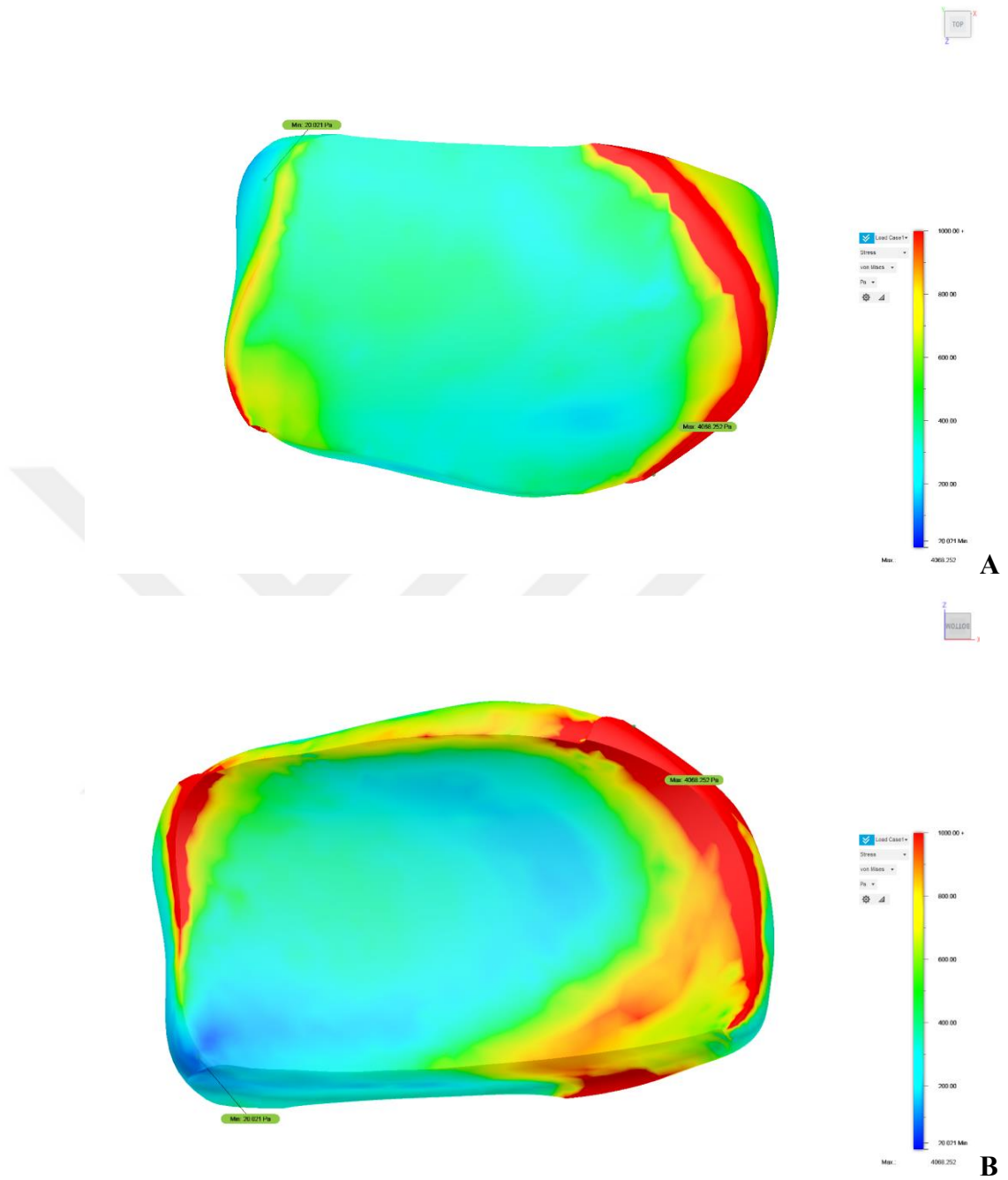
Şekil 4.23: Post-op Sağ Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sağ taraf artiküler diskinin; süperior ve inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde von misses stres değerleri incelendiğinde, artiküler diskin anteromedial köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 22. ve Şekil 4. 23.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında von misses stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve en yüksek von misses stres değerinin artiküler diskin anteromedialinde 19937.228 Pa'dan → 10978.533 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 22. ve Şekil 4. 23.).



Şekil 4.24: Pre-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla
Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)



Şekil 4.25: Post-op Sol Artiküler Disk Von Misses Stres Değerleri Sırasıyla Üst-Alt Yüzey Görünümleri (A-B)

Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sol taraf artiküler diskinin; süperior ve inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde von misses stres değerleri

incelendiğinde, artiküler diskin anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 24. ve Şekil 4. 25.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında von misses stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve en yüksek von misses stres değerinin artiküler diskin anterolateralinde 7390.276 Pa'dan $\rightarrow$ 4068.252 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 24. ve Şekil 4. 25.).

Sonuç olarak asimetrik ve simetrik mandibular geriletme gruplarının pre-op ve post-op model görüntüleri incelendiğinde her iki tarafta (sağ ve sol), operasyon sonrası 6. ayda artiküler disk üzerindeki von misses stres değerlerinde düşüş olduğu analiz edilmiştir. Her iki grubun hem pre-op hem de post-op sağ taraflarındaki en yüksek von misses stres değerleri artiküler diskin anteromedialinde gözlemlenirken, yine her iki grubun hem pre-op hem de post-op sol tarafındaki en yüksek von misses stres değerleri artiküler diskin anterolateralinde gözlemlenmektedir.

Tablo 4.3: Artiküler Diskler Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri

		Grup 1		Grup 2	
Sağ	<i>Von Misses</i>	<i>Pre-op</i>	3087,564 Pa	<i>Pre-op</i>	19937,228 Pa
		<i>Post-op</i>	1361,071 Pa	<i>Post-op</i>	10978,533 Pa
Sol	<i>Von Misses</i>	<i>Pre-op</i>	7206,557 Pa	<i>Pre-op</i>	7390,276 Pa
		<i>Post-op</i>	4329,288 Pa	<i>Post-op</i>	4068,252 Pa

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası, Pa = Pascal.

Tablo 4.4: Artiküler Diskler Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları

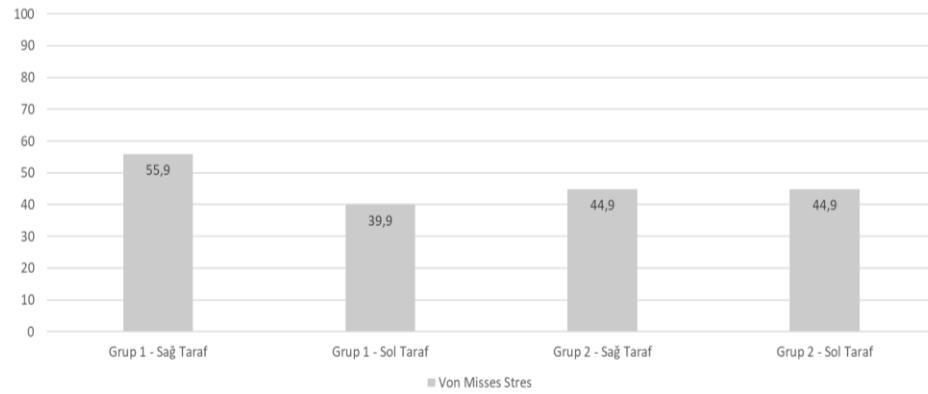
		Grup 1		Grup 2	
Sağ	<i>Von Misses</i>	<i>Pre-op</i>	Anteromedial	<i>Pre-op</i>	Anteromedial
		<i>Post-op</i>	Anteromedial	<i>Post-op</i>	Anteromedial
Sol	<i>Von Misses</i>	<i>Pre-op</i>	Anterolateral	<i>Pre-op</i>	Anterolateral
		<i>Post-op</i>	Anterolateral	<i>Post-op</i>	Anterolateral

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası.

Şekil 4.26: Artiküler Diskler Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op)

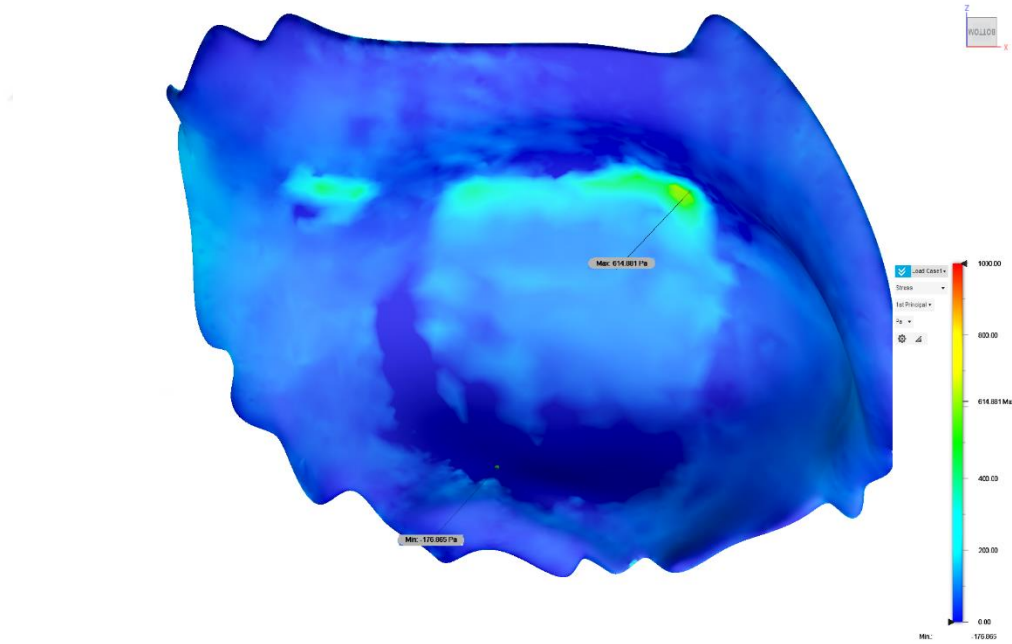


4.3. GLENOİD FOSSA ÜZERİNDE OLUŞAN STRES DAĞILIMLARI

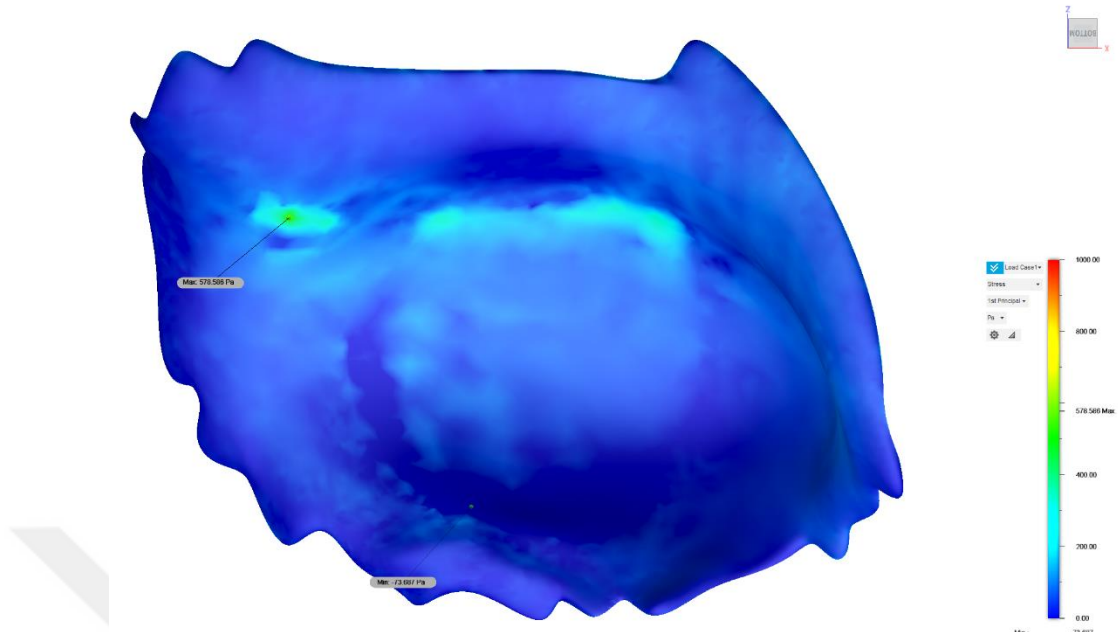
Çalışmamızda glenoid fossa kesitleri alt cephe olmak üzere tek yönden elde edilen görüntüler ile değerlendirilmiştir. Her bir grubun aynı cepheden elde edilen pre – op ve post – op kesit görüntüleri, sağ ve sol taraf olacak şekilde kendi aralarında incelenmiştir. Değerlendirilen parametreler arasında maksimum principle stres (en yüksek gerilme) ve minimum principle stres (en yüksek sıkışma) değerleri bulunmaktadır.

Analiz sonuçlarında artı değerler gerilme streslerini (maksimum principal stresleri), eksi değerler ise sıkışma streslerini (minimum principal stresleri) belirtmektedirler. Bir stres elemanında hangi stres tipinin mutlak değeri daha büyük ise, stres elemanı o stres tipinin etkisi altındadır ve değerlendirilmesi gerekende o stres tipidir.

4. 3. 1. Asimetrik Mandibular Geriletme (Grup 1) Vaka Modeli



Şekil 4.27: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

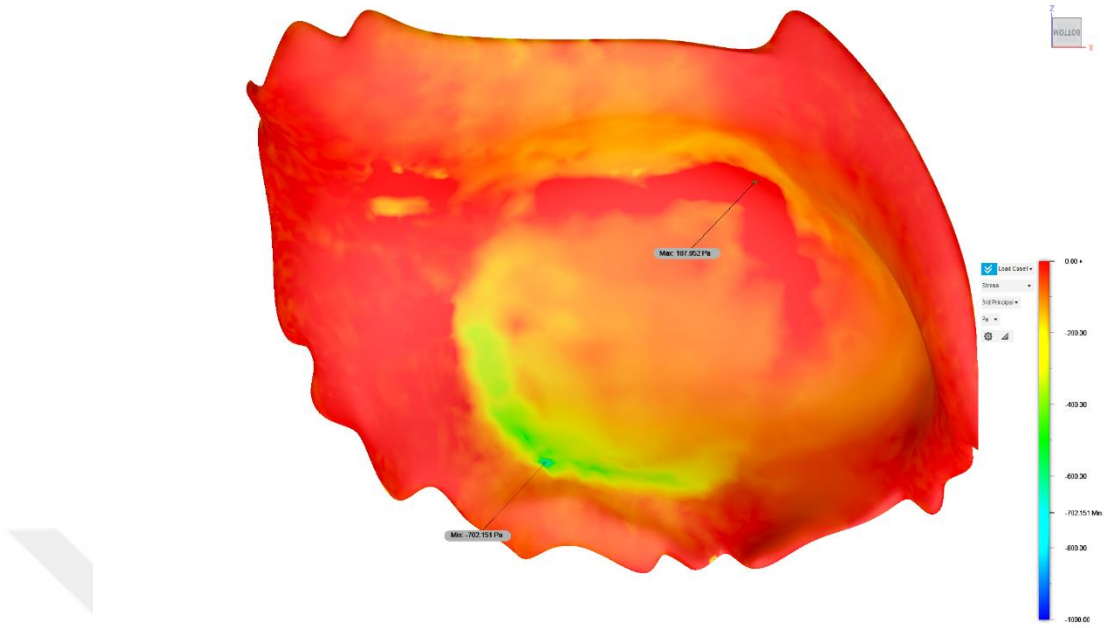


Şekil 4.28: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

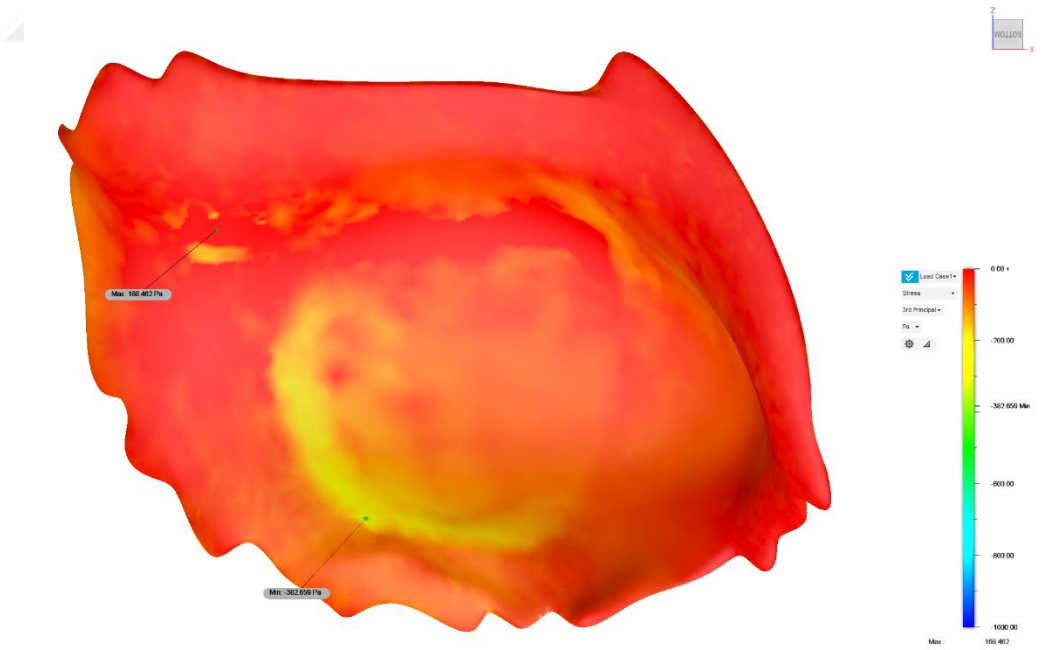
Asimetrik mandibular gerileme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sağ taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın anteromedial köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 27.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak daha anterior ve laterale yer değiştirerek glenoid fossanın anterolateral köşesinde konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 28.).

Pre-op ve post-op görüntüler incelendiğinde en yüksek maksimum principal (gerilim) stres değerlerinin fossanın anteromedialinde 614.881 Pa'dan → fossanın anterolateral köşesinde 578.586 Pa'a gerileyerek düşüş gösterdiği analiz edilmiştir (Şekil 4. 27. ve Şekil 4. 28.).



Şekil 4.29: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü



Şekil 4.30: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

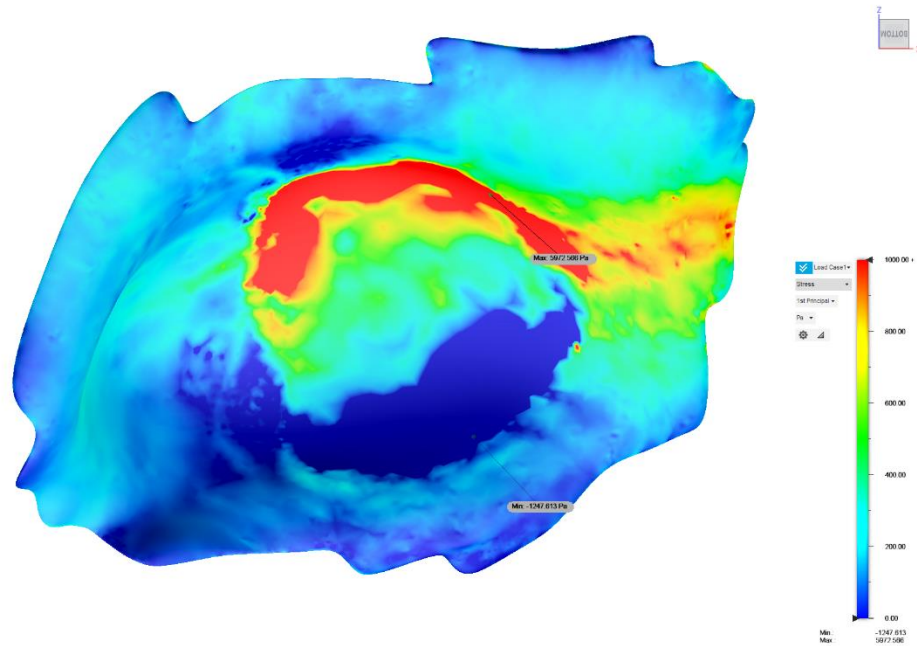
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sağ taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın posterolateral köşesinin en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 29.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda minimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın posterolateral köşesinde konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 30.).

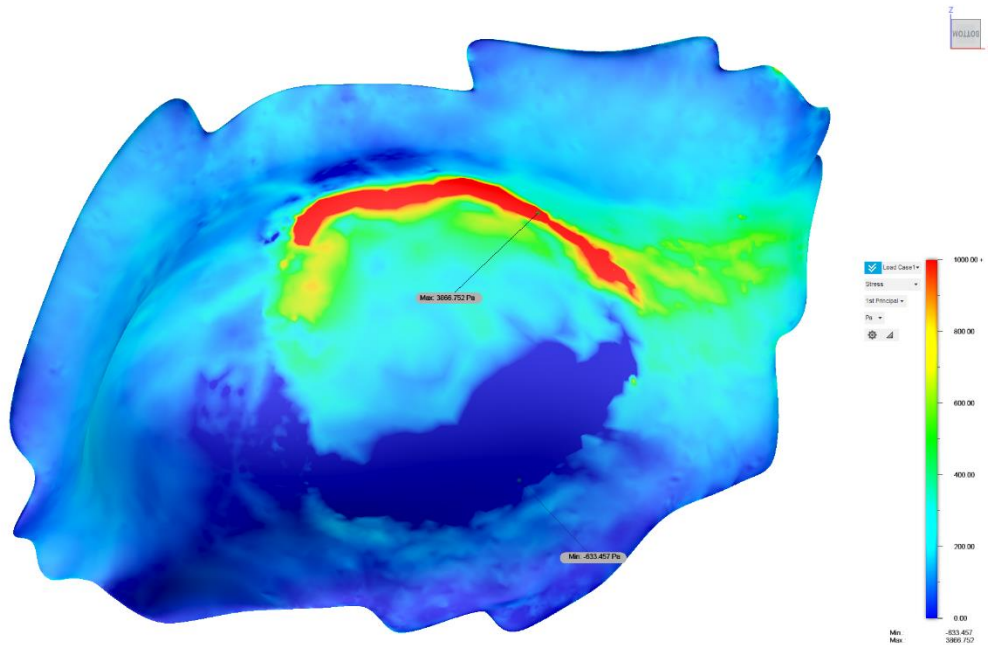
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -702.151 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -382.659 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 29. ve Şekil 4. 30.).

Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda glenoid fossanın posterolateral köşesinde gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 1 vaka modelinin sağ taraf glenoid fossası, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.



Şekil 4.31: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

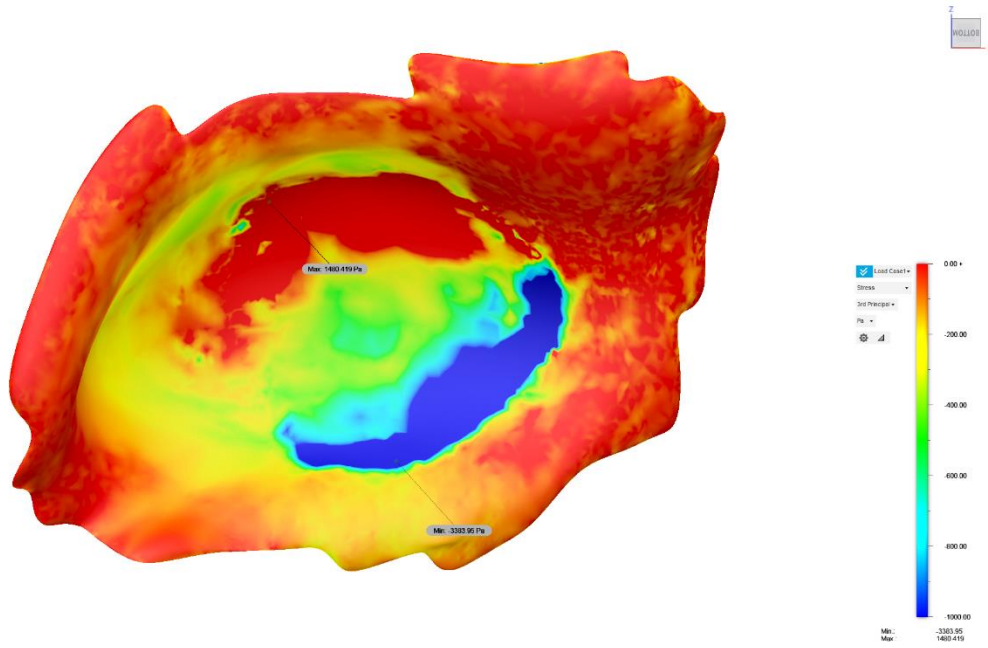


Şekil 4.32: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

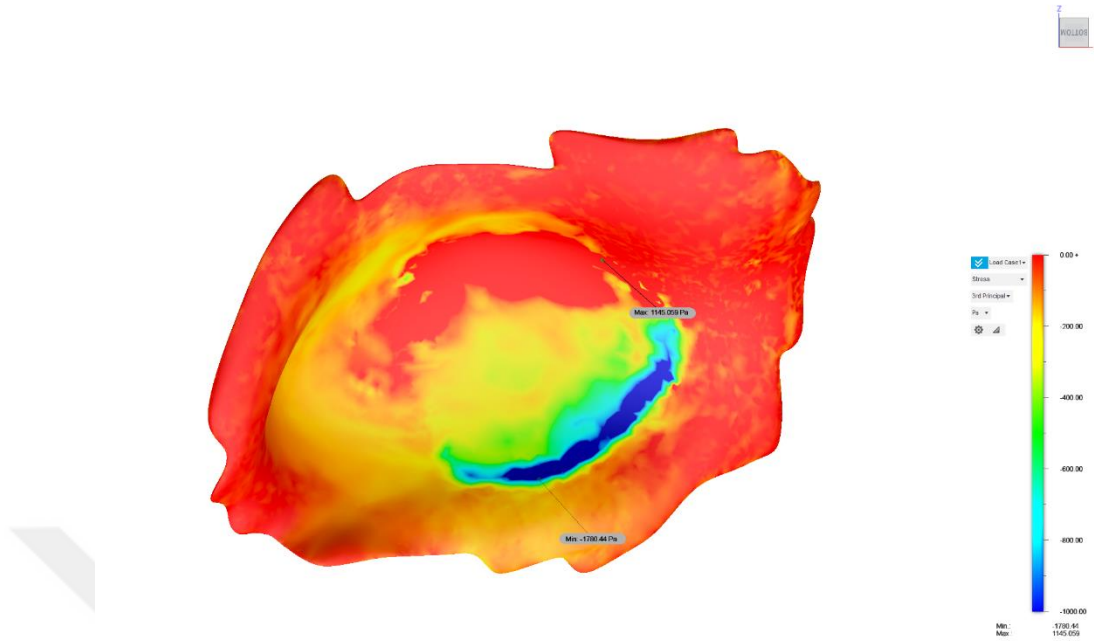
Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sol taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 31.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın anterolateral köşesinde konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 32.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi 5972.566 Pa olan en yüksek gerilme stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda 3866.752 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 31. ve Şekil 4. 32.).



Şekil 4.33: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü



Şekil 4.34: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

Asimetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 0 mm, sol tarafta 6 mm setback) vakanın sol taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın posterolateral kenarında en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 33.).

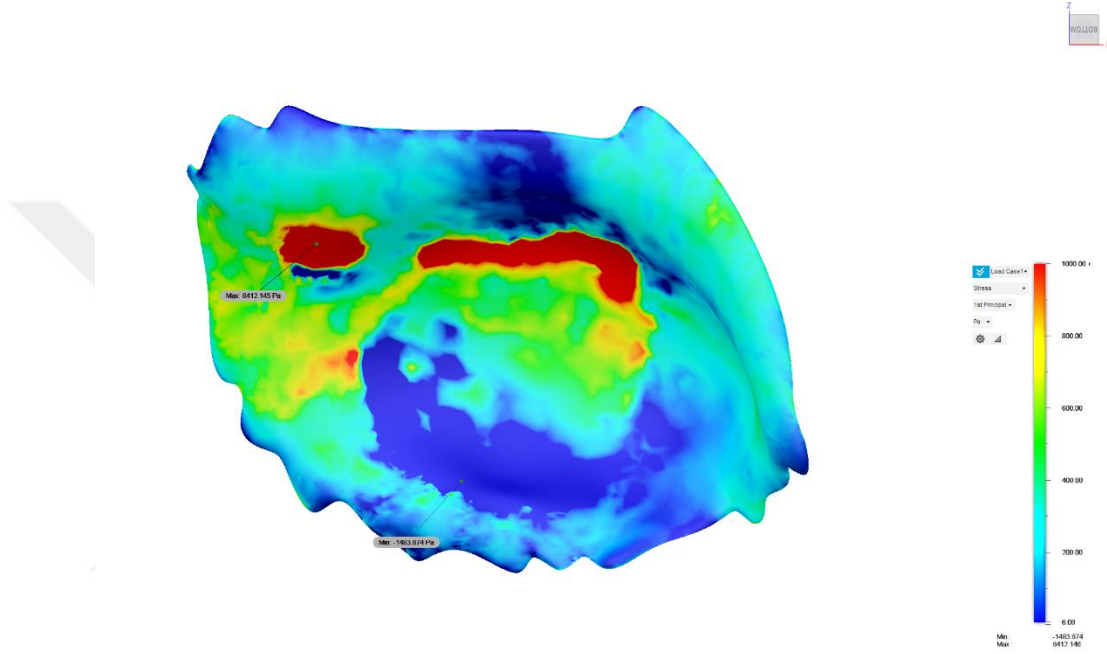
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda minimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın posterolateral kenarında konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 34.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -3383.95 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -1780.44 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 33. ve Şekil 4. 34.).

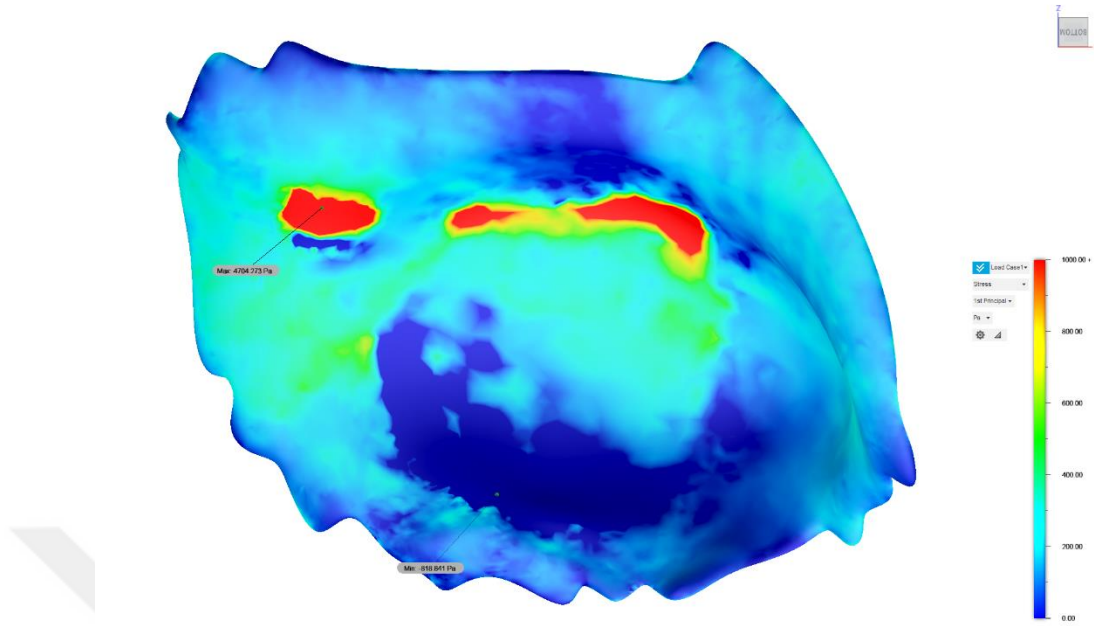
Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda glenoid fossanın posterolateral kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 1 vaka modelinin sol taraf glenoid fossası, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.

4. 3. 2. Simetrik Mandibular Geriletme (Grup 2) Vaka Modeli



Şekil 4.35: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

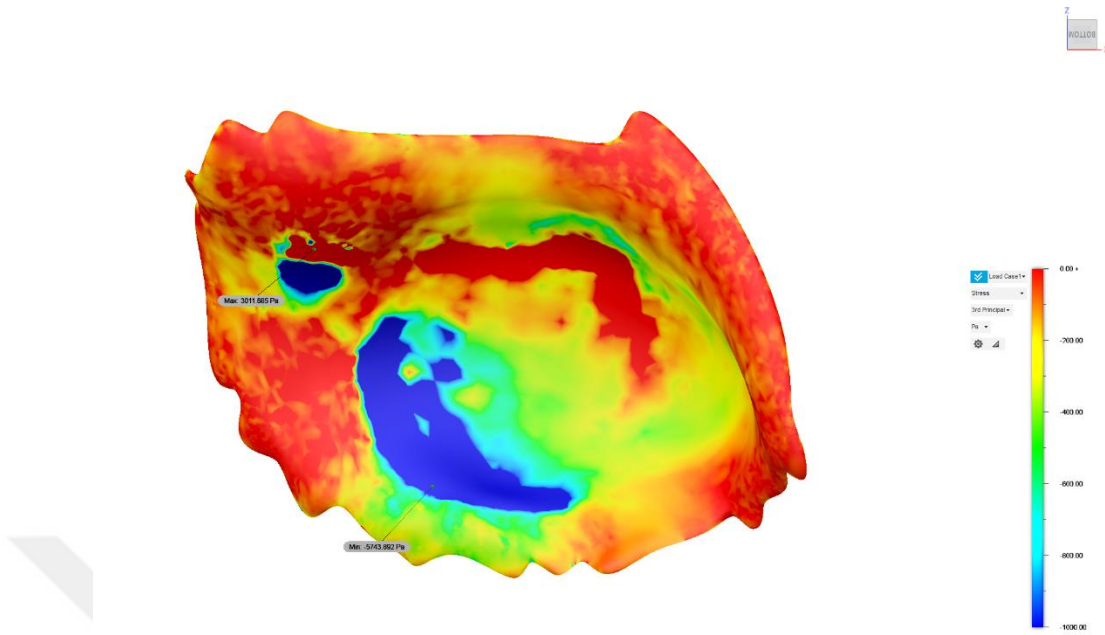


Şekil 4.36: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

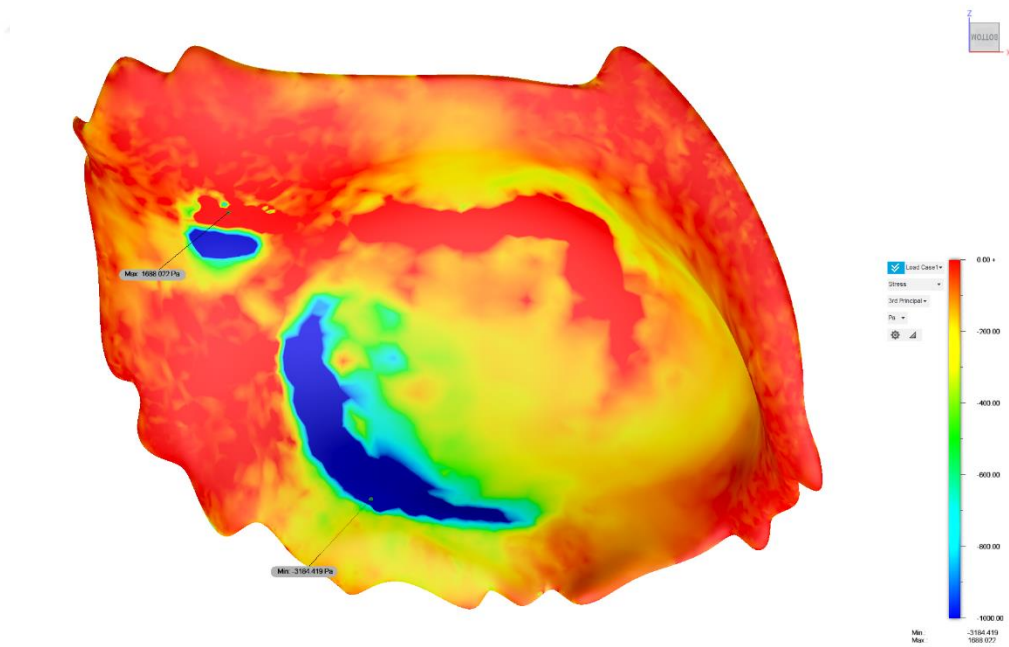
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sağ taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 35.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın anterolateral köşesinde konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 36.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi 8412.145 Pa olan en yüksek gerilme stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda 4704.273 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 35. ve Şekil 4. 36.).



Şekil 4.37: Pre-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü



Şekil 4.38: Post-op Sağ Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

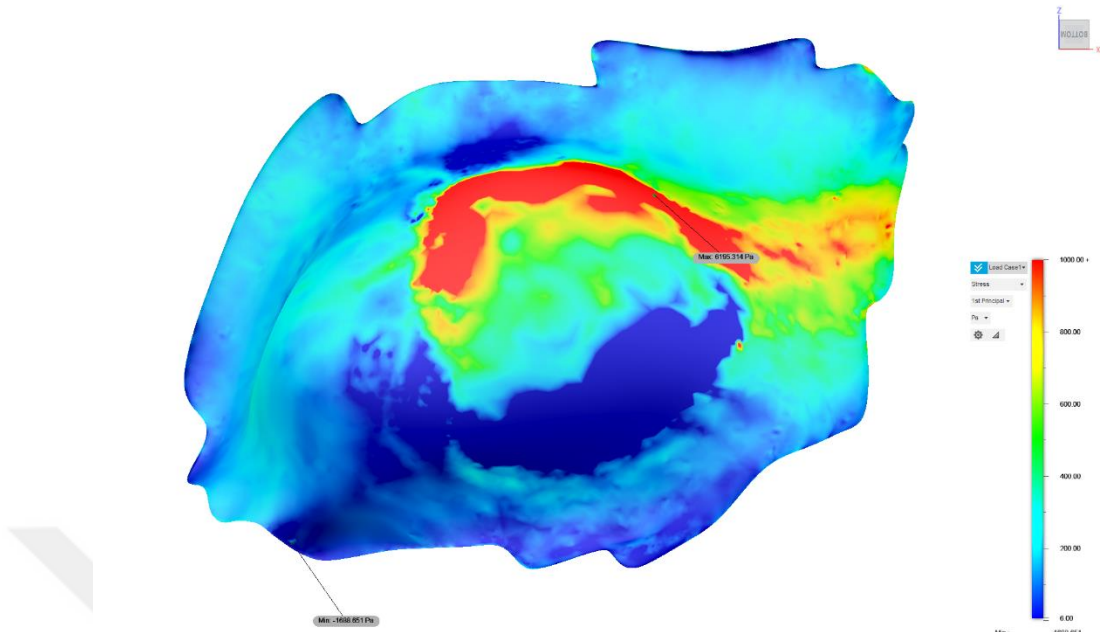
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sağ taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın posterolateral köşesinde en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 37.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda minimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın posterolateral kenarında konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 38.).

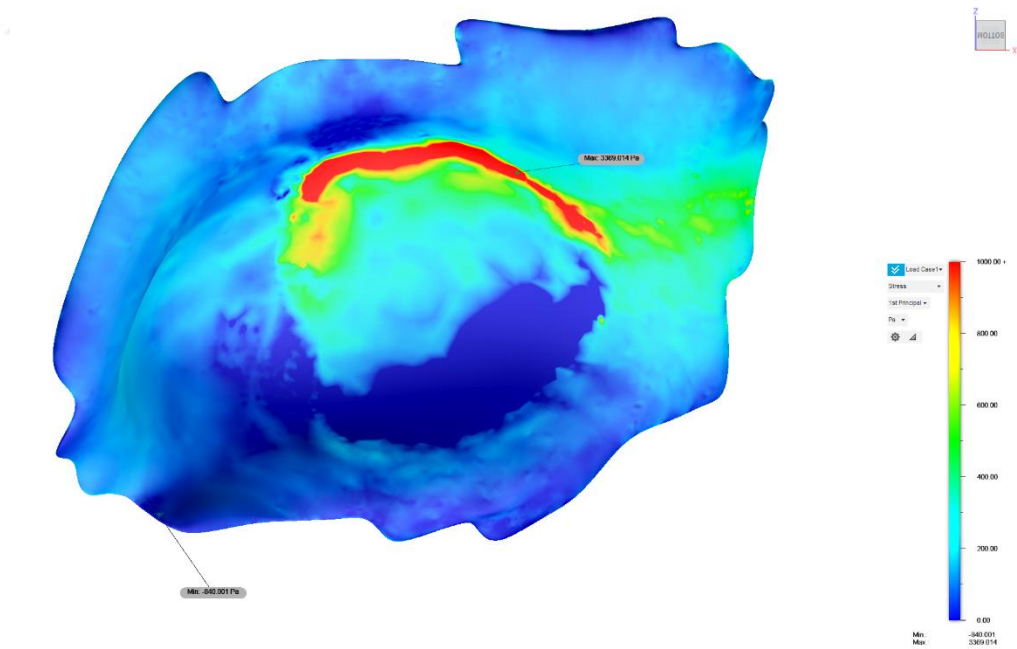
Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -5743.892 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -3184.419 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 37. ve Şekil 4. 38.).

Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda glenoid fossanın posterolateral kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 2 vaka modelinin sağ taraf glenoid fossası, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.



Şekil 4.39: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

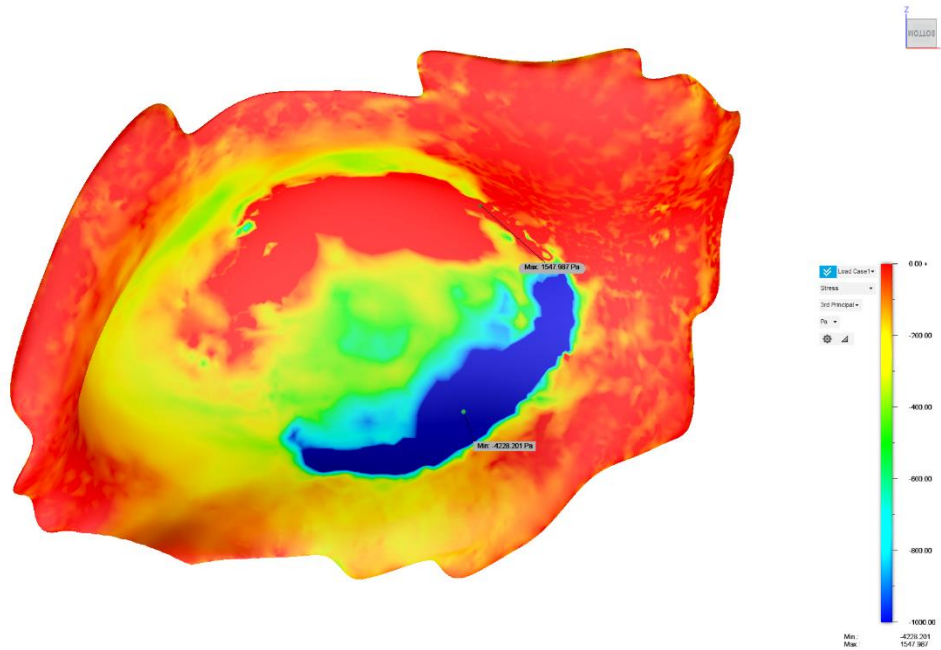


Şekil 4.40: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Maksimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

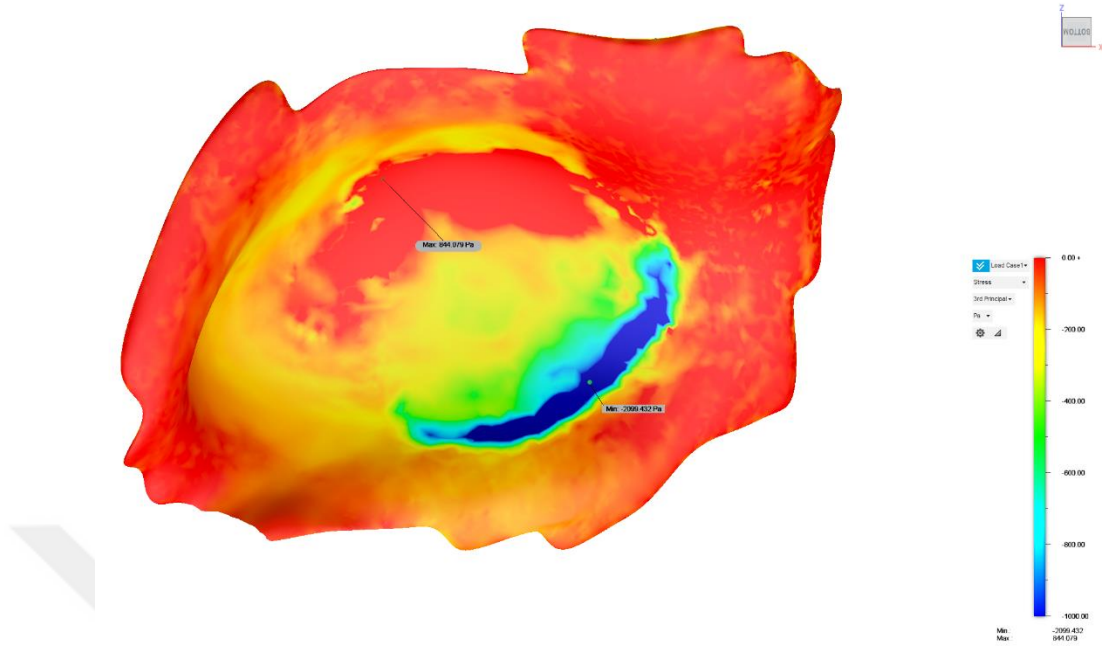
Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sol taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde maksimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın anterolateral köşesinin en yüksek gerilim stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 39.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda maksimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın anterolateral köşesinde konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 40.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında maksimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi 6195.314 Pa olan en yüksek gerilme stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda 3369.014 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 39. ve Şekil 4. 40.).



Şekil 4.41: Pre-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü



Şekil 4.42: Post-op Sol Taraf Glenoid Fossa Minimum Principal Stres Değerleri Alt Yüzey Görünümü

Simetrik mandibular geriletme yapılan (sağ tarafta 3 mm, sol tarafta 3 mm setback) vakanın sol taraf glenoid fossasının; inferior yüzeylerinin pre-op ve post-op model görüntüleri üzerinde minimum principal stres değerleri incelendiğinde, operasyon öncesi glenoid fossanın posterolateral köşesinde en yüksek sıkışma stresine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4. 41.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında operasyon sonrası 6. ayda minimum principal stres değerinin en yüksek olduğu noktanın konumsal olarak değişmediği ve yine glenoid fossanın posterolateral kenarında konumlandığı analiz edilmiştir (Şekil 4. 42.).

Planlanan ortognatik mandibular hareket sonrasında minimum principal stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların konumsal olarak değişmediği ve operasyon öncesi -4228.201 Pa olan en yüksek sıkışma stres değeri, operasyon sonrası 6. ayda -2099.432 Pa olarak ölçülmüştür (Şekil 4. 41. ve Şekil 4. 42.).

Pozitif yönde gözlenen bu artış neticesinde, post-op 6. ayda glenoid fossanın posterolateral kenarında gözlenen bu sıkışma değeri düşüş göstermiştir.

Sonuç olarak, iki stres tipinin de post-op görüntü modelleri üzerindeki en yüksek stres değerleri göz önünde bulundurulduğunda, Grup 2 vaka modelinin sol taraf glenoid fossası, maksimum principal stres değerlerinin etkisi altındadır. Gerilim tipi stresler, sıkışma tipi streslere göre baskın bulunmuştur.

Tablo 4.5: Glenoid Fossalar Üzerindeki En Yüksek Streslerin Sayısal Değerleri

		Grup 1		Grup 2	
Sağ	Max.PS	Pre-op	614,881 Pa	Pre-op	8412,145 Pa
		Post-op	578,586 Pa	Post-op	4704,273 Pa
	Min.PS	Pre-op	-702,151 Pa	Pre-op	-5743,892 Pa
		Post-op	-382,659 Pa	Post-op	-3184,419 Pa
Sol	Max.PS	Pre-op	5972,566 Pa	Pre-op	6195,314 Pa
		Post-op	3866,752 Pa	Post-op	3369,014 Pa
	Min.PS	Pre-op	-3383,95 Pa	Pre-op	-4228,201 Pa
		Post-op	-1780,44 Pa	Post-op	-2099,432 Pa

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Max.PS = Maksimum Principal Stres (En Yüksek Gerilim Stresi), Min.PS = Minimum Principal Stres (En Yüksek Sıkışma Stresi), Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası, Pa = Pascal.

Tablo 4.6: Glenoid Fossalar Üzerindeki En Yüksek Streslerin Konumsal Noktaları

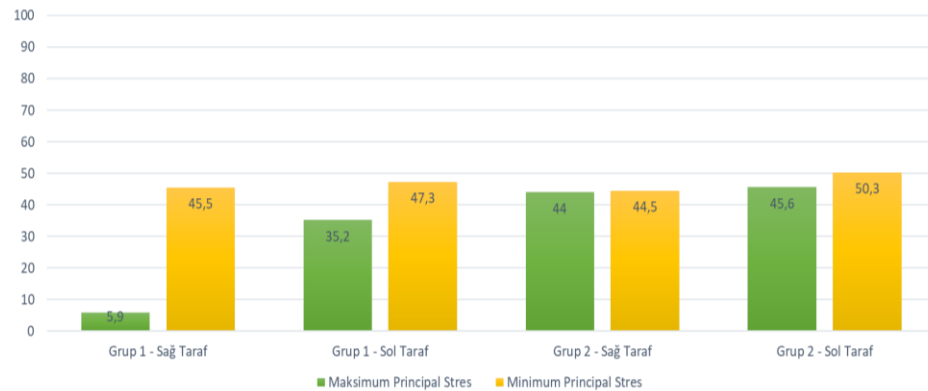
		Grup 1		Grup 2	
Sağ	Max.PS	Pre-op	Anteromedial	Pre-op	Anterolateral
		Post-op	Anterolateral	Post-op	Anterolateral
	Min.PS	Pre-op	Posterolateral	Pre-op	Posterolateral
		Post-op	Posterolateral	Post-op	Posterolateral
Sol	Max.PS	Pre-op	Anterolateral	Pre-op	Anterolateral
		Post-op	Anterolateral	Post-op	Anterolateral
	Min.PS	Pre-op	Posterolateral	Pre-op	Posterolateral
		Post-op	Posterolateral	Post-op	Posterolateral

Not. Grup 1 = Asimetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 0 mm-Sol = 6 mm)

Grup 2 = Simetrik Mandibular Geriletme Yapılan Vaka (Sağ = 3 mm-Sol = 3 mm)

Max.PS = Maksimum Principal Stres (En Yüksek Gerilim Stresi), Min.PS = Minimum Principal Stres (En Yüksek Sıkışma Stresi), Pre-op = Operasyon Öncesi, Post-op = Operasyon Sonrası.

Şekil 4.43: Glenoid Fossalar Üzerindeki Streslerin Azalma Yüzdeleri (Pre-op → Post-op)



5. TARTIŞMA

Dentofasiyal deformiteler, temel olarak çene ve diş yapılarını etkileyen, ideal yüz oranları ve dental ilişkilerden sapma olarak tanımlanan, birden fazla kraniofasiyal yapıyı etkileyebilen durumlardır (Eslamipour ve ark., 2017). Dentofasiyal deformitelerin toplumun yaklaşık %20'sinde görüldüğü, fonksiyon ve fonasyonda bozulmalara, temporomandibular eklemden anormal kuvvet dağılımlarına ve buna bağlı olarak eklem disfonksiyonlarına neden olduğu; yine yüz estetiğinde bozulmalara yol açtığı ve buna bağlı olarak hastalarda psikolojik problemlerin ortaya çıktığı literatürdeki birçok çalışma tarafından belirtilmiştir (Eslamipour ve ark., 2017; Fonseca, 2017; Lye, 2008; Ong, 2004).

Daha önceki literatür verilerine göre yetişkin bireylerde dentofasiyal deformitelerin görülme sıklığı %82-%90 civarındadır (Kaskova ve ark., 2015). Yapılan araştırmalar bu durumun ırklara, etnik gruplara ve coğrafi bölgelere göre farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak iskeletsel sınıf I ve sınıf II deformiteye sahip hasta popülasyonuna kıyasla sınıf III dentofasiyal deformiteli hasta popülasyonunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Olkun ve arkadaşlarının yaptığı retrospektif bir çalışmada, yetişkin Türk popülasyonunda sınıf III dentofasiyal deformiteli hastaların %69 gibi yüksek bir oranla en geniş grubu oluşturduğu belirlenmiştir (Olkun ve ark., 2019). Yine bu klinik çalışmalar incelendiğinde Sınıf III dentofasiyal deformiteli hastaların %63 ile %73'ünün iskeletsel tip olduğu görülmektedir (Chang ve ark., 2006; Kuroiedova ve ark., 2018). İskeletsel Sınıf III deformiteye sahip hastalar simetrik ve asimetrik yapıda olmak üzere, mandibular protrüzyon, maksiller retrüzyon veya bunların bir kombinasyonunu sergileyebilir (De Clerck ve Proffit, 2015; Zere ve ark., 2018). Bu çalışmada literatür ile uyumlu olarak klinikte daha sık karşılaştığımız iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteye sahip bireyler kullanılmıştır.

Fasiyal asimetri, klinikte yaygın olarak gözlenen ve sıklıkla iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteye eşlik eden bir fenomen olarak kabul görmektedir. Daha önce yapılan klinik çalışmalarda fasiyal asimetri prevalansı, ortodontik popülasyonda %23 ve dentofasiyal deformitesi olan hastalarda %34-%38,6 olarak bildirilmiştir (Kim ve ark., 2015). Fasiyal asimetrinin, dentofasiyal deformite vakalarının birçoğunda gözlemlendiğini savunan çalışmalar mevcut olsada; %40-%80

I ve BSSRO birlikte uygulanmıştır (Olkun ve ark., 2019). Bu durum, iskeletsel sınıf III deformitenin tedavisinde bu tür kombine cerrahinin sıklıkla tercih edildiğini göstermektedir. Literatür verilerinden yola çıkarak çalışma gruplarımızı oluşturan hastalarımızda iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteyi tedavi etmek için BSSRO ve Le Fort I osteotomi tekniklerinin uygulandığı kombine ortognatik cerrahi yöntemi tercih edilmiştir.

Ortognatik cerrahi sonrası iskeletsel relaps, idiopatik kondiler rezorpsiyon ve/veya temporomandibular eklem bozuklukları (TME) gibi postoperatif komplikasyonlar gözlenebilir (Ma ve ark., 2020; Mitsukawa ve ark., 2013). Literatürde ortognatik cerrahinin TME üzerine etkileri konusunda farklı görüşler bildiren çalışmalar mevcuttur. BSSRO'nun uzun dönem etkileri ve farklı hasta gruplarındaki sonuçları üzerine yapılan çalışmalarda, TME üzerine etkileri konusunda henüz tam olarak bir fikir birliği sağlanamamıştır (Abotaleb ve ark., 2022; Ma ve ark., 2020; Mitsukawa ve ark., 2013). Bazı çalışmalar, BSSRO'nun operasyon sonrası temporomandibular eklem yapılarındaki stres dağılımlarını azaltarak, TME fonksiyonlarını iyileştirebileceğini; bundan dolayı da TME bozukluklarının belirtileri ve semptomlarını hafifletebileceğini göstermiştir (Liu ve ark., 2018; Ma ve ark., 2020). Öte yandan bazı çalışmalar ise, operasyon sonrası TME yapıları üzerindeki stres dağılımlarının; eklem disfonksiyonlarına neden olabileceğini, daha öncesinde var olan TME semptomlarını şiddetlendirebileceğini öne sürmüşlerdir. Yine bu çalışma grupları, BSSRO'nun anterior disk deplasmanı ile TME bozukluklarının belirtilerini başlatabileceğini ve/veya arttırabileceğini göstermişlerdir (Kim ve ark., 2009; Luo ve ark., 2023; Okeson, 2020; Ueki ve ark., 2012). Bu nedenle, BSSRO'nun TME üzerindeki etkisinin ve temporomandibular eklem rahatsızlık ile BSSRO ilişkisinin daha iyi anlaşılmasının değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmada, fasiyal asimetrisi olan ve olmayan sınıf III dentofasiyal deformiteli hastalarda yapılan asimetrik ve simetrik mandibular geriletme durumlarında BSSRO sonrası pozisyonu değişime uğrayan mandibular kondilin; eklem diski ve glenoid fossa üzerindeki stres dağılımına etkisini üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar analizi (FEA) ile ortaya konulması hedeflenmiştir.

TME bozuklukları; hastaların konuşma, ifade ve çiğneme fonksiyonları üzerinde olumsuz etkisi olan temporomandibular eklem (TME) üzerindeki biyomekanik yüklerle yakından ilişkilidir (Ueki ve ark., 2006). Literatüre bakıldığında biyomekanik çalışmalar, bu postoperatif komplikasyonların intraoperatif uygun olmayan mandibular kondil pozisyonlaması, osteotomi bölgesi ve/veya temporomandibular eklemdaki (TME) stres değişiklikleriyle ilişkili olduğunu göstermiştir (Ma ve ark., 2020). Zhang ve ark., uygun olmayan kondil pozisyonlamasının, TME'deki eklem boşluklarını etkileyeceğinden bahsetmişlerdir. Eklem boşluklarındaki azalmanın artiküler diskin sıkışmasına ve diğer TME yapılarında stres seviyelerinin artmasına, bundan dolayı da bu yapılarda osteoartrit ve rezorpsiyonlara neden olabileceği bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2018). Başka bir çalışmada Shu ve ark., bu durumu destekleyen bir sonuca varmışlardır. Yaptıkları çalışmada temporal osteoartrit, glenoid fossadaki anormal stres dağılımı ile ilişkili bulunurken, disk perforasyonu ve eklem ağrısı genellikle artiküler diskteki anormal stres dağılımı ile ilişkilendirilmiştir (Shu ve ark., 2018). Ancak, ortognatik cerrahi işlemlerinden önce ve sonra TME'deki stres dağılımları tedavi süreçlerinde dikkate alınmamaktadır, oysa bu durum preoperatif ve postoperatif temporomandibüler bozukluklar (TMD) için kritik öneme sahiptir.

Literatürdeki bazı klinik araştırmalar, tek ve/veya çift çene ortognatik cerrahi geçiren iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteli hastaların kondillerinin glenoid fossa içerisinde adaptasyonel horizontal-aksiyel yer değiştirmeler gösterdiğini, kondiler kemik yapısında ve hacminde değişiklikler yaşanabileceğini gözlemlemişlerdir (S. Y. Park ve ark., 2022; Podčernina ve ark., 2020). Bu durum, ortognatik cerrahi sonrası kondil remodelasyonu terimi ile ifade edilmektedir.

Mandibular kondil, artiküler disk ve glenoid (artiküler) fossa, TME'yi oluşturan anatomik yapılardır. Bu yapılar üzerindeki stres değişiklikleri ve buna bağlı fizyolojik remodelasyonlar farklı temporomandibular eklem rahatsızlıkları (TMD) ile ilişkilendirilebilir. Verhelst ve ark., BSSRO'nun TME'de operasyon sonrası biyomekanik stres değişikliklerine neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu stres değişimlerinin, eklemin zamanla yeniden şekillenmesine yol açtığını çalışmalarında göstermişlerdir. Bu yeniden şekillenme fizyolojik sınırları aşarsa,

hastanın daha önce TME problemi olup olmamasına bakılmaksızın, eklem yapılarında patolojik bir sürecin başladığını bulmuşlardır (Verhelst ve ark., 2019).

Zeng ve ark., yaptıkları çalışmada iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteli vakalarda asimetrik mandibular geriletme durumlarında, daha fazla geriletme yapılan tarafta postoperatif kondillerin yer değiştirme, rotasyon, stres değişikliklerinin ve remodelasyonunun daha fazla gözlendiğini vurgulayarak; asimetrik mandibular geriletme ile kondiller yeniden şekillenme arasında anlamlı bir korelasyon olduğu sonucuna varmışlardır (Zeng ve ark., 2024). Hwang ve ark., 2019 yılındaki çalışmalarında, cerrahi sonrası kondiller yer değiştirme yönü ile cerrahi sonrası altıncı ayda gerçekleşen kondiler yeniden şekillenme (rezorpsiyon ve depozisyon) arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır (Hwang ve ark., 2019).

TME'nin radyolojik incelemesi karmaşık anatomi, büyütme hataları ve komşu anatomik yapıların üst üste binmesi nedeniyle zordur. Son zamanlarda, iki boyutlu (2D) görüntüleme tekniklerinin sınırlamalarını aşmak ve TME morfolojisini değerlendirmek için çeşitli üç boyutlu (3D) görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. Bunların başında CBCT gelmektedir. CBCT kullanarak TME'nin morfolojik ve anatomik yapılarını hassas bir şekilde ölçmek mümkündür (Paknahad ve ark., 2015).

Daha önce saydığımız ortognatik cerrahinin neden olduğu bazı komplikasyonların önüne geçmek için pre-op ve post-op planlama sırasında TME yapılarının şekil ve pozisyonlarına; her iki TME'deki stres dağılımlarına özellikle dikkat edilmelidir. Sonlu elemanlar analizi (FEA) oral biyomekaniğe girmesinden bu yana, anatomik yapıların stres analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve güvenilir bir araştırma yöntemi olduğu kanıtlanmıştır (Liu ve ark., 2018). Deneysel stres ölçümündeki zorluklar nedeniyle, sonlu elemanlar analizi (FEA), TME' deki stres dağılımını analiz etmenin en iyi yolu olarak kabul edilmektedir.

Literatür tarandığında sonlu elemanlar analizi (FEA), TME gibi karmaşık biyolojik yapıların mekanik davranışları hakkında doğru sonuçlar sağlayabilir ve TME'deki biyomekanik koşulları simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Li ve ark., 2024; Ramos ve ark., 2011). Shao ve arkadaşlarının 2022'te yapmış oldukları, tek çene ve çift çene ortognatik cerrahi geçirmiş hastaların eklem boşluklarını, eklem yapıları üzerindeki stresleri ve kondil

pozisyonlarını inceledikleri bir çalışmada, FEA'nın TME gibi bir anatomik yapıyı ve stres değişimlerini üç boyutlu (3D) olarak incelemek için kullanılması gerektiği sonucuna varmışlardır (Shao ve ark., 2022). Yine Xiangdong ve arkadaşlarının 2012 yılında, Shu ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmalarda, üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar yöntemini (FEA) kullanarak, BSSRO sonrası mandibular kondil pozisyonunun değişmesi ile TME yapıları üzerindeki stresleri incelemişler ve mandibular prognatizm hastaları için pre-op planlamalar yapmak, cerrahi başarıyı artırmak, cerrahi süreyi kısaltmak ve komplikasyonları azaltmak için FEA'nın kullanılması gerektiğini önermişlerdir (Shu, Wang, ve ark., 2020; Xiangdong ve ark., 2012). Liu ve ark., bir gönüllü hastanın BT verilerini kullanarak elde ettikleri üç FEA modeli üzerinde yaptıkları çalışmada, sonlu elemanlar yönteminin, invaziv bir yöntem kullanılmadan TME (temporomandibular eklem) yapılarındaki gerilme (maksimum principal stres), sıkışma (minimum principal stres) ve kırılma (von misses) streslerinin dağılımını kesin doğrulukla tahmin etmek için uygun bir modelleme yöntemi olduğu sonucuna varmışlardır (Liu ve ark., 2008). Tüm bu çalışmaları ve sonuçlarını göz önünde bulundurarak çalışmamızda TME yapıları üzerindeki stresleri gerçeğe en yakın şekilde ölçmek ve doğru bir şekilde analizini yapabilmek için bölümümüzde opere ettiğimiz vakalarımızın 3 boyutlu (3D) CBCT görüntüleri üzerinden sonlu elemanlar analiz (FEA) yöntemiyle elde ettiğimiz modeller ile analiz yapmayı tercih ettik.

Literatür incelendiğinde, TME yapıları üzerine sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan önceki çalışmaların birçoğu, eklem komponentlerinden mandibular kondil, artiküler disk ve glenoid fossayı çalışmalarına dahil etmişlerdir (Ma ve ark., 2020; Shu ve ark., 2018; Shu, Zhang, ve ark., 2020). TME içerisindeki tüm anatomik yapılar birbirleri ile etkileşim içerisinde ve bundan dolayı da bu yapılarda meydana gelen stres değişimleri de her biri için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu verilerden yola çıkarak çalışmamızda TME'yi oluşturan anatomik yapıların her birini tek tek analiz ettik. Ayrıca ortognatik cerrahi öncesi ve sonrası birbirlerine bakan yüzeylerindeki stres değişikliklerini daha iyi ortaya koyabilmek için mandibular kondilin üç (üst-ön-arka), artiküler diskin iki (üst ve

alt) ve glenoid fossanın ise bir cepheden (alt) yüzey görüntü modelleri elde edilerek FEA yöntemi ile analizini gerçekleştirdik.

Literatürün kapsamlı bir taramasını gerçekleştirdiğimizde, canlı vakalardan alınan CBCT verilerinin biçimlendirilmesi ile elde edilen üç boyutlu (3D) FEA model görüntüleri kullanılarak; fasiyal asimetrisi olan hastalarda BSSRO sonrası TME yapılarındaki stres değişimleriyle ilgili yeterli sayıda çalışma bulunmadığı sonucuna varılmıştır. Bu konunun daha detaylı araştırılması ve literatüre kazandırılması amacıyla çalışmamızı gerçekleştirdik.

Teng ve ark., yayınladıkları bir makalede, mandibular prognatizm ve deviasyona bağlı fasiyal asimetrisi olan hastaların TME'lerindeki gerilme streslerinin, mandibular deviasyonu ve fasiyal asimetrisi olmayan hastalara göre 2-7 kat daha fazla olduğunu bildirmişlerdir (TENG ve ark., 2020). Li ve ark., farklı mandibular deformiteli vakalar üzerinde yapmış oldukları FEA çalışmasında TME yapılarındaki stresleri ve bu streslerin TMD belirtileri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Li ve ark., mandibular deviasyona bağlı fasiyal asimetri varlığının TME yapılarındaki stresleri, mandibular prognatizm veya retrüzyon gözlenen vakalarinkine göre anlamlı bir şekilde arttırdığı sonucuna varmışlardır ve yine bu nedenle mandibular deviasyonu olan hastaların temporomandibular eklem disfonksiyonu açısından en büyük riske sahip olduklarını belirtmişlerdir (Li ve ark., 2022). Bu çalışmalardan yola çıkarak fasiyal asimetri vakalarında ortognatik cerrahi, TME pozisyonunu veya işlevini büyük ölçüde etkileyebileceğinden, asimetrik mandibular prognatizmi olan hastalarda temporomandibular eklemin üç boyutlu (3D) olarak morfolojik özelliklerinin ve bu yapılara ait cerrahi sonrası stres değişimlerinin temel olarak anlaşılması ve yorumlanması gerektiği görüşündeyiz. Bu durumun ortognatik cerrahi öncesi tanı ve tedavi planlamasında da önemli bir alacağını düşünmekteyiz. Bu nedenle çalışmamızda, sırasıyla asimetrik ve simetrik mandibular geriletme ihtiyacı olan; fasiyal asimetrisi bulunan ve bulunmayan iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteli toplamda iki adet vaka seçilmiştir. Pre-op ve post-op olarak her iki taraftaki TME yapıları üzerindeki çeşitli stres değerleri FEA yöntemiyle analiz edilmiştir.

Çalışmamız preoperatif gruplardaki TME yapıları üzerindeki von mises, gerilme ve sıkışma stres değerlerinin; operasyon sonrası TME'ye kıyasla anlamlı

derecede daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, önceki çalışmalarla tutarlıdır (Liu ve ark., 2018; Ma ve ark., 2020). Çalışmamızda literatürdeki diğer benzer çalışmalara ilaveten asimetrik mandibular geriletme yapılan vaka modelinde (Grup 1) geriletme yapılmayan sağ taraf mandibular kondilindeki gerilme streslerinde %2 gibi düşük seviyede bir azalmanın olduğu bulunmuştur. Yine aynı grupta daha fazla geriletme yapılan sol taraf mandibular kondildeki streslerin azalma miktarının %45'in üzerinde olduğu gözlenmiştir.

Ueki ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptığı bir çalışmada, mandibular asimetrisi olan grubun hem sapma tarafında hem de sapma olmayan tarafta, mandibulası simetrik olan grubun ise her iki tarafında BSSRO sonrası anterior eklem boşluğunda anlamlı bir genişleme gözlemlendiği ve artiküler diskteki streslerin bu bölgede azalmış olabileceği bildirilmiştir. Yine bu çalışmada ayrıca, Le Fort I osteotomili veya osteotomisiz BSSRO sonrasında, simetri ve asimetri gruplarında disk pozisyonunda bir değişiklik olmamış, TME semptomlarında iyileşme gözlenmiştir (Ueki ve ark., 2012). Ma ve ark., yaptıkları çalışmada ise; operasyon öncesi artiküler diskteki streslerin diskin anterior zonunda yani ön bölgesinde yoğunlaştığı sonucuna varmışlar ve bu durumun mandibular prognatizme sahip hastalarda artiküler disklerin ön bölgesinde rezorpsiyon ve/veya perforasyonlara yol açabileceğini vurgulamışlardır (Ma ve ark., 2020). Çalışmamız ile kıyaslandığında hem asimetrik mandibular geriletme yapılan hem de simetrik mandibular geriletme yapılan gruplarımızın artiküler diskleri üzerindeki stresler incelendiğinde, pre-op ve post-op en yüksek stresler disklerin anteriorunda konumlanmış ve ortognatik cerrahi ile birlikte streslerde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca bizim çalışmamızda pre-op ve post-op her iki grubun sağ taraflarındaki diskler üzerindeki en yüksek stres değerleri, disklerin anteromedialinde konumlanırken; sol taraflarındaki diskler üzerindeki en yüksek stres değerleri anterolaterallerinde konumlanmıştır. Bu sonuçlar, Ueki ve arkadaşlarının stres değişimleri üzerindeki tahminlerini desteklemekteyken, Ma ve arkadaşlarının bulgularıyla da örtüşmektedir. Stres değişimleri hakkında konumsal ve sayısal değerler vermesi açısından önemlidir.

Shu ve arkadaşlarının, mandibular ve fasiyal asimetri gözlenen sentrik veya anterior oklüzyona sahip vakalarda yapmış oldukları FEA çalışmasında;

BSSRO sonrası tüm artiküler disk, mandibular kondil ve glenoid fossa bölgesindeki alanlarda ölçülen maksimum principal stres değerlerinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu azalma miktarının mandibular deviasyonun olduğu taraflarda %10 ile %30 arasında; deviasyonun olmadığı taraflarda ise %35 ile %55 arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Shu ve ark., 2018). Bu çalışma ile karşılaştırıldığında kendi çalışmamızda; asimetrik mandibular gerileme yaptığımız ve mandibular deviasyonun eşlik ettiği fasiyal asimetrisi bulunan Grup 1 vaka modelimizde; BSSRO sonrası, TME yapılarından kondil ile glenoid fossa üzerindeki maksimum principal stres değerlerindeki azalma miktarları, mandibular deviasyonun olduğu ve gerileme yapılmayan tarafta %2 ile %5,9 arasında; deviasyonun olmadığı ve daha fazla mandibular gerileme yapılan tarafta ise %45,4 ile %35,2 arasında değişim göstermektedir. Ayrıca Shu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada artiküler disk üzerindeki stresleri karşılaştırmak için de maksimum principal stres parametresini kullanmışlardır. Daha önceki FEA verilerine dayanarak biz, artiküler disk gibi sünek ve esnek materyaller için von mises stres değerlerinin daha doğru sonuçlar vereceğini düşünmekteyiz. Buradan yola çıkarak, Grup 1 vaka modelimizde BSSRO sonrası, TME yapılarından artiküler disk üzerindeki von mises stres değerlerindeki azalma miktarları, mandibular deviasyonun olduğu ve gerileme yapılmayan tarafta %55,9; deviasyonun olmadığı ve daha fazla mandibular gerileme yapılan tarafta ise %39,9 oranında değişim göstermektedir. Bu sonuçlar, Shu ve arkadaşlarının BSSRO sonrası maksimum principal stres değişimleri verilerini desteklemekteyken; artiküler disk üzerindeki değişimleri ile ilgili karşıt bir sonuç sunmaktadır. Bu durumun nedenleri arasında; Shu ve arkadaşlarının artiküler disk üzerindeki stres değişimlerini analiz etmek için maksimum principal stres değerlerini baz alması, örneklem grubundaki vaka sayısının fazla olması (hasta sayısı:10), yapılan mandibular hareket miktarının bilinmemesi sayılabilir.

Çalışmamızda asimetrik mandibular gerileme yapılan Grup 1 vakamızın mandibular kondil modelleri incelendiğinde; operasyon öncesi ve sonrası maksimum principal (gerilme) stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların gerileme yapılmayan tarafta kondilin anterolateral köşesinde konumlandığı görülürken; daha fazla gerileme yapılan tarafta bu değerin ilgili kondilin anterior

kenarında konumlandığı gözlenmektedir. Yine aynı gruptaki minimum principal (sıkışma) stres değerleri incelendiğinde; operasyon öncesi ve sonrası sıkışma stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların geriletme yapılmayan taraf kondilinin anterolateral köşesinde konumlandığı görülürken; daha fazla geriletme yapılan kondilinin posterior kenarında konumlandığı gözlenmektedir. Simetrik mandibular geriletme yapılan Grup 2 vakamızın mandibular kondil modelleri incelendiğinde; operasyon öncesi ve sonrası maksimum principal (gerilme) stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların sağ tarafta kondilin anterolateral köşesinde konumlandığı görülürken; sol tarafta ilgili kondilin anteromedial köşesinde konumlandığı gözlenmektedir. Yine aynı gruptaki minimum principal (sıkışma) stres değerleri incelendiğinde; operasyon öncesi ve sonrası sıkışma stres değerlerinin en yüksek olduğu noktaların her iki tarafta da kondillerin posterior kenarında konumlandıkları gözlenmektedir. Sonuç olarak, sadece Grup 1 vaka modelimizin geriletme yapılmayan kondilinde operasyon öncesi ve sonrası minimum principal (sıkışma) stres değerleri kondilin anteriorunda yoğunlaştığı gözlenirken; diğer modellerde kondillerin posteriorlarında yoğunlaştığı gözlenmektedir.

Hwang ve ark., kondiler yer değiştirme yönü ve miktarı ile cerrahi sonrası altıncı ayda gerçekleşen kondiler rezorpsiyon ve apozisyon alanları (remodeling) arasındaki ilişkileri inceledikleri çalışmalarında; posterior olarak yer değiştiren kondillerin, sırasıyla posterior yüzeylerde rezorpsiyon; anterior yüzeylerde ise apozisyon gösterdiği; kondillerin süperior yüzeylerinin, yer değiştirme yönüne bakılmaksızın çoğunlukla rezorpsiyon gösterdiği sonucuna varmışlardır (Hwang ve ark., 2019). Park ve arkadaşlarının mandibular geriletme uygulanan bimaxiller cerrahi geçirmiş hastaların mandibular kondillerinin üç boyutlu bilgisayarlı tomografi verileri üzerindeki yaptıkları çalışmada, cerrahi sonrası mandibular kondillerde rezorpsiyonun posterolateral alanlarda, kemik apozisyonunun ise kondillerin anterior bölgelerinde gözlemlendiği sonucuna varmışlardır (Park ve ark., 2012). Shu ve ark. 2019 yılında, BSSRO tekniği kullanılarak 8 mm mandibular geriletme yapılan bir kadın hastada, FEA yöntemi ile TME yapılarındaki stres değişimlerini incelemişlerdir (Shu ve ark., 2019). Bu çalışmada, operasyon öncesi mandibular kondiller üzerindeki en yüksek maksimum ve minimum principal

stres yoğunluğunun kondil ve glenoid fossaların anterior kenarlarında gözlemlendiğini, bu streslerin operasyon sonrası konumsal olarak değişmediğini ve operasyon öncesine göre düşüş gösterdiği sonucuna varmışlardır (Shu ve ark., 2019). Bu stres değişikliklerinin kondil, disk ve glenoid fossada dejeneratif eklem değişikliklerine yol açabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çalışmamızdaki veriler, bu çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir. Çalışmamızda operasyon öncesi ve sonrası kondiller ile glenoid fossaların posteriorunda yoğunlaşan sıkışma streslerinin bu rezorpsiyon mekanizması ile doğru orantılı bir korelasyon gösterdiğini düşünmekteyiz.

Eklem diski, TME hareketleri sırasında oluşan kuvvetleri dağıtan ve eklemi koruyan önemli bir yapıdır. Diske etki eden kuvvetler (stresler) arttığında, disk dokusunda yapısal bozulmalar (dejenerasyon) meydana gelebilir. Stresler, fizyolojik sınırları aştığında disk deplasmanları, rezorpsiyon ve perforasyonlar gözlenebilir. Bu durum, çene hareketlerinde kısıtlılığa ve eklem bölgesinde ağrıya neden olabilir. Yapılan bilimsel çalışmalar, TME diskinin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Bu disk; non-lineer, anizotropik ve viskoelastik yapıdadır. Bu özellikler sayesinde disk, üzerine uygulanan kuvvetleri absorbe eder ve eklem içi yapıları korumaktadır (Stanković ve ark., 2013). Çalışmamızda, tüm gruptaki disklerin, kondillerin ve glenoid fossaların stres değerlerine bakıldığında; operasyon öncesi ve sonrası en yüksek stres değerlerinin artiküler disklerde olduğu gözlenmektedir. Çalışmamız, mandibular geriletme yapılmayan taraf TME yapılarından artiküler disk üzerindeki von mises stres değerlerinin %55,9 gibi bir değişim oranıyla, aynı taraf kondil ve fossadaki sıkışma ile gerilme streslerine göre anlamlı düzeyde azaldığını ortaya koymuştur. Yine bu diskteki von mises stres değerlerinin değişim oranı, çalışmamızdaki diğer tüm gruptaki streslerin değişim oranlarından daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlarımızda dikkat çeken bir başka husus ise, operasyon öncesi ve sonrası diskler arasında en yüksek stres değerlerinin simetrik mandibular geriletme vaka modelimizin sağ taraf artiküler diskinde olduğu gözlenmektedir. Bu sonuç ve bulgular, artiküler diskin kondil ve glenoid fossa arasında konumlanarak viskoelastik yapısından dolayı stres absorbe edici olarak davrandığını belirten çalışmaları desteklemektedir.

Çalışmamızda, operasyon sonrası glenoid fossalardaki sıkışma streslerinin tüm gruplarda fossaların posterolaterallerinde; gerilme streslerinin ise fossaların anterolaterallerinde en yüksek değerlere ulaştıkları ve bu alanlarda yoğunlaştıkları gözlenmiştir. Shi ve ark., bimaxiller ortognatik cerrahi sonrası iskeletsel sınıf III dentofasiyal deformiteli vakaların glenoid fossalarındaki kemik yüzeylerinin değişimlerini incelemişlerdir (Shi ve ark., 2024). Yaptıkları çalışmada, vakaların glenoid fossalarını dört kadrana ayırmışlar ve fossaların posterolaterallerinde rezorpsiyon; anterolaterallerinde kemik apozisyonu gözlemlemişlerdir. Çalışmamızdaki veriler, bu çalışmanın bulguları ile paralellik göstermektedir. Çalışmamızda operasyon öncesi ve sonrası glenoid fossaların posterolaterallerinde yoğunlaşan sıkışma streslerinin bu rezorpsiyon mekanizması ile anterolaterallerinde yoğunlaşan gerilim streslerinin ise kemik apozisyonu mekanizması ile doğru orantılı bir korelasyon gösterdiğini düşünmekteyiz.

Çalışmamızın bazı sınırlamaları mevcuttur. Tercih ettiğimiz sonlu elemanlar analiz yöntemi oldukça pahalı ve maliyetli bir metoddur. Bundan dolayı çalışmamızda örneklem grubu, iki adet canlı vakadan uygun zaman dilimlerinde (operasyon öncesi ve operasyon sonrası 6. ayda) alınan CBCT görüntüleri kullanılarak elde edilen dört adet model ile sınırlı tutulmuştur. Bu CBCT görüntüleri üzerinden birden fazla bilgisayar programı kullanılarak, gerçeğe en yakın şekilde TME yapılarının model kesitleri elde edilmiş ve üzerlerindeki stres değişimleri analiz edilmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda, bu kısıtlılığın önüne geçilmesi için örneklem grupları ve model sayıları daha da arttırılmalıdır. Aynı zamanda çalışmamızda, çiğneme kaslarının mandibulaya uyguladıkları kas kuvvetleri ve bu kuvvetlerin vektörleri analiz modellerine dahil edilmemiştir. Operasyon öncesi ve sonrası TME yapılarındaki stres değişikliklerinin direkt olarak CBCT görüntüleri üzerinden FEA yöntemiyle elde edilen model kesitleri ile ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmamızdaki grupları oluşturan vakalarda, daha önce var olan TMD belirti ve semptomlarının varlığı ve/veya yokluğu ile ilgili bir ölçüm ve gözlem yapılmamıştır. Çalışmamız, stres değişimlerini analiz etmiştir. Çalışmamızın sonuçlarına bakarak, ortognatik cerrahi sonrası eklem yapılarında meydana gelen bu stres değişimlerinin, TMD semptomlarını azaltabileceği ve/veya arttırabileceği hususunda kesin bir kanıya varmak doğru

olmayacaktır. Bu konunun aydınlatılabilmesi için ilerleyen zamanlarda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca ortognatik cerrahi sonrası TME yapılarında meydana gelen stres değişikliklerini sadece mandibular segmentlerin hareket miktarları ve hareket yönü etkilememekte, tercih edilen fiksasyon yöntemleri de bu konuda etkili olmaktadır. Bizim çalışmamızdaki vakalarda monokortikal minividalar ve miniplaklar kullanılmıştır. Bu kısıtlılıklar elimine edilerek farklı çalışma dizaynları planlanabilir ve daha ileri çalışmalar yapılarak klinikle korele bir şekilde literatürdeki bilgi eksikliği azaltılabilir.



6. SONUÇ

Çalışmamızda, temporomandibular eklemi oluşturan mandibular kondil, artiküler disk ve glenoid fossa gibi ana yapılarda ortognatik cerrahi sonrası stresler azalma göstermiştir. Ortognatik cerrahi öncesi ve sonrası TME yapılarındaki streslerin genellikle konumsal olarak değişmediği; bu yapılardan mandibular kondil ve glenoid fossadaki gerilim tipi streslerin anteriorlarında, sıkışma tipi streslerin ise posteriorlarında konumlandığı analiz edilmiştir. Artiküler disklerde gözlenen von misses streslerin ise diskin anteriorunda yoğunlaştığı gözlenmiştir. Asimetrik mandibular geriletme yapılan vakanın model kesitleri incelendiğinde, geriletme yapılmayan taraftaki gerilim tipi streslerin operasyon öncesine göre anlamlı derecede azalma göstermediği; aynı vakanın daha fazla mandibular geriletme yapılan taraf TME yapıları incelendiğinde streslerde anlamlı derecede azalma gösterdiği sonucuna varılmıştır. Çalışmamızda, tüm stres gruplarındaki en yüksek azalma oranı, geriletme yapılmayan taraf artiküler diskinde görülmüştür. Ortognatik cerrahi, mandibular asimetri nedeniyle oluşan yüksek stres seviyelerini hafifletebilir. Streslerdeki düşüşler nedeniyle ortognatik cerrahinin temporomandibular eklem problemlerini geriletebileceği düşünülebilir. Bu sonuçlar, ortognatik cerrahi sonrası temporomandibular eklem yapılarında oluşabilecek rezorpsiyon, apozisyon ve disk perforasyonu mekanizmaları hakkında literatüre katkıda bulunabilir. Bu tür operasyonları gerçekleştirecek hekimlerin operasyon planlaması yaparken, temporomandibular eklem yapılarında mandibular asimetriye bağlı operasyon öncesi streslerin yüksek olabileceği; ortognatik cerrahinin ise bu stresleri azaltabileceği hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abotaleb, B., Bi, R., Liu, Y., Jiang, N., Telha, W., & Zhu, S. (2022). Three-dimensional condylar displacement and remodelling in patients with asymmetrical mandibular prognathism following bilateral sagittal split osteotomy. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 51(4), 509-517.
- Angle, E. H. (1899). Classification of malocclusion. *Dent. Cosmos*, 41, 350-357.
- Atac, M. S. (2019). Current Approaches in Orthognathic Surgery. *Current Approaches in Orthodontics*, 111-124.
- Bandela, V., & Kanaparthi, S. (2020). Finite element analysis and its applications in dentistry. *Finite Element Methods and Their Applications*, 316.
- Behnia, H., Motamedian, S. R., Vatankhah, M. R., & Behnia, P. (2021). Complications Management in Orthognathic Surgery. *Integrated Procedures in Facial Cosmetic Surgery*, 799-837.
- Bloomquist, D. S., Lee, J. J., & Sullivan, S. M. (2022). Mandibular orthognathic surgery. In *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* (pp. 1851-1907). Springer.
- Buchanan, E. P., & Hyman, C. H. (2013). LeFort I osteotomy. *Seminars in plastic surgery*.
- Buchbinder, D., Ellis III, E., Figari, M., Sánchez Aniceto, G., & Shimozaoto, K. (2015). AO surgery reference. *AO foundation*. Dostupno na: <https://www2.aofoundation.org/wps/portal/surgerypopup>.
- Campbell, P. M. (1983). The dilemma of Class III treatment: early or late? *The Angle Orthodontist*, 53(3), 175-191.
- Catherine, Z., Breton, P., & Bouletreau, P. (2016). Condylar resorption after orthognathic surgery: a systematic review. *Revue de stomatologie, de chirurgie maxillo-faciale et de chirurgie orale*, 117(1), 3-10.
- Chang, H.-P., Tseng, Y.-C., & Chang, H.-F. (2006). Treatment of mandibular prognathism. *Journal of the Formosan Medical Association*, 105(10), 781-790.
- Chang, H. (1985). Components of Class III malocclusion in the Chinese. *Gaoxiong yi xue ke xue za zhi= The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 1(3), 144-155.
- Chen, J., Akyuz, U., Xu, L., & Pidaparti, R. (1998). Stress analysis of the human temporomandibular joint. *Medical engineering & physics*, 20(8), 565-572.
- Choi, W. S., Lee, S., McGrath, C., & Samman, N. (2010). Change in quality of life after combined orthodontic-surgical treatment of dentofacial deformities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 109(1), 46-51.
- Choi, Y. J., Chang, J. E., Chung, C. J., Tahk, J. H., & Kim, K.-H. (2017). Prediction of long-term success of orthopedic treatment in skeletal Class III malocclusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(2), 193-203.
- Çoban, G., Yavuz, İ., & Demirbaş, A. E. (2021). Three-dimensional changes in the location of soft tissue landmarks following bimaxillary orthognathic surgery. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 82(4).
- Dabir, A., & Vahanwala, J. (2021). Orthognathic surgery for the maxilla-LeFort I and anterior maxillary osteotomy. *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*, 1513-1548.
- De Clerck, H. J., & Proffit, W. R. (2015). Growth modification of the face: A current perspective with emphasis on Class III treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(1), 37-46.
- Del Palomar, A. P., & Doblare, M. (2006). Finite element analysis of the temporomandibular joint during lateral excursions of the mandible. *Journal of biomechanics*, 39(12), 2153-2163.

- Dos Santos Alves, J., de Freitas Alves, B., de Figueiredo Costa, A., Carneiro, B., de Sousa, L., & Gondim, D. (2019). Cranial nerve injuries in Le Fort I osteotomy: a systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 48(5), 601-611.
- Drake, R. L., Vogl, A. W., Mitchell, A. W., Tibbitts, R., & Richardson, P. (2020). *Gray's Atlas of Anatomy: Gray's Atlas of Anatomy E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Eshghpour, M., Mianbandi, V., & Samieirad, S. (2018). Intra-and postoperative complications of Le Fort I maxillary osteotomy. *Journal of Craniofacial Surgery*, 29(8), e797-e803.
- Eslamipour, F., Najimi, A., Tadayonfard, A., & Azamian, Z. (2017). Impact of orthognathic surgery on quality of life in patients with dentofacial deformities. *International journal of dentistry*, 2017(1), 4103905.
- Fang, B., Shen, G.-F., Yang, C., Wu, Y., Feng, Y.-M., Mao, L.-X., & Xia, Y.-H. (2009). Changes in condylar and joint disc positions after bilateral sagittal split ramus osteotomy for correction of mandibular prognathism. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 38(7), 726-730.
- Farkas, L. G., Forrest, C. R., & Phillips, J. H. (2000). Comparison of the morphology of the " cleft face" and the normal face: defining the anthropometric differences. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 11(2), 76-82.
- Fonseca, R. J. (2017). *Oral and Maxillofacial Surgery-Inkling Enhanced E-Book: Oral and Maxillofacial Surgery-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Forssell, H., Kauko, T., Kotiranta, U., & Suvinen, T. (2017). Predictors for future clinically significant pain in patients with temporomandibular disorder: A prospective cohort study. *European Journal of Pain*, 21(1), 188-197.
- Frejman, M. W., Vargas, I. A., Rösing, C. K., & Closs, L. Q. (2013). Dentofacial deformities are associated with lower degrees of self-esteem and higher impact on oral health-related quality of life: results from an observational study involving adults. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 71(4), 763-767.
- Friscia, M., Sbordone, C., Petrocelli, M., Vaira, L. A., Attanasi, F., Cassandro, F. M., Paternoster, M., Iaconetta, G., & Califano, L. (2017). Complications after orthognathic surgery: our experience on 423 cases. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 21, 171-177.
- Frost, D. E., Bays, R. A., Marciani, R. D., Betts, N. J., Williams, T. P., Powers, M. P., Baker, S. B., & Fonseca, R. J. (2000). *Oral and maxillofacial surgery*. WB Saunders.
- Gauer, R. L., & Semidey, M. J. (2015). Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *American family physician*, 91(6), 378-386.
- Gorlin, R. J., Cohen Jr, M. M., & Hennekam, R. C. (2001). *Syndromes of the head and neck*. Oxford university press.
- Graber, L. W. (1977). Chin cup therapy for mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics*, 72(1), 23-41.
- Graber, T. M., Rakosi, T., & Petrovic, A. G. (1997). Dentofacial orthopedics with functional appliances.
- Gulcek, B. N., Ozbilen, E. O., & Biren, S. (2023). Changes in the condylar head after orthognathic surgery in Class III patients: a retrospective three-dimensional study. *The Angle Orthodontist*, 93(2), 168-175.
- Han, M. D., & Liebllich, S. E. (2022). Anatomy and pathophysiology of the temporomandibular joint. *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery*, 1535-1550.
- Hausamen, J.-E. (2001). The scientific development of maxillofacial surgery in the 20th century and an outlook into the future. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 29(1), 2-21.
- He, Z., Ji, H., Du, W., Xu, C., & Luo, E. (2019). Management of condylar resorption before or after orthognathic surgery: a systematic review. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 47(7), 1007-1014.

- Hoppenreijts, T. J., Stoelinga, P. J., Grace, K. L., & Robben, C. M. (1999). Long-term evaluation of patients with progressive condylar resorption following orthognathic surgery. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 28(6), 411-418.
- Howley, C., Ali, N., Lee, R., & Cox, S. (2011). Use of the alar base cinch suture in Le Fort I osteotomy: is it effective? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(2), 127-130.
- Huppa, C., & Mack, G. (2016). Sagittal split osteotomy and mandibular advancement. *Orthognathic surgery: principles, planning and practice*, 428-439.
- Hwang, H.-S., Jiang, T., Sun, L., Lee, K.-M., Oh, M.-H., Biao, Y., Oh, H.-K., & Bechtold, T. E. (2019). Condylar head remodeling compensating for condylar head displacement by orthognathic surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 47(3), 406-413.
- Jacobson, A., Evans, W., Preston, C., & Sadowsky, P. (1974). Mandibular prognathism. *American Journal of Orthodontics*, 66(2), 140-171.
- Jang, S. Y., Kim, M. K., Choi, S. M., & Jang, J. W. (2013). Nasolacrimal duct obstruction after maxillary orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 71(6), 1085-1098.
- Jearanai, T., Samruajbenjakun, B., & Chanmanee, P. (2024). Relationship between Bilateral Landmarks of Facial Asymmetry in Skeletal Class II and Class III in Vertical Dimension: 3D Facial Scan and Cone-Beam Computed Tomography. *Diagnostics*, 14(6), 590.
- Jung, H.-D., Kim, S. Y., Park, H.-S., & Jung, Y.-S. (2015). Orthognathic surgery and temporomandibular joint symptoms. *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery*, 37, 1-11.
- Kaskova, L., Artemev, A., Artemeva, V., & Makovka, I. (2015). Condition of the teeth and jaws in the child population of Ukraine of different epochs. *WORLD OF MEDICINE AND BIOLOGY*, 49(2), 33-37.
- Kaur, R., Soni, S., & Prashar, A. (2021). Orthognathic surgery: General considerations. *International Journal of Health Sciences*, 352-357.
- Kawakami, M., Yamamoto, K., Inoue, T., Kajihara, A., Fujimoto, M., & Kirita, T. (2009). Disk position and temporomandibular joint structure associated with mandibular setback in mandibular asymmetry patients. *The Angle Orthodontist*, 79(3), 521-527.
- Kim, S.-J., Baik, H.-S., Hwang, C.-J., & Yu, H.-S. (2015). Diagnosis and evaluation of skeletal Class III patients with facial asymmetry for orthognathic surgery using three-dimensional computed tomography. *Seminars in Orthodontics*,
- Kim, Y.-K. (2017). Complications associated with orthognathic surgery. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 43(1), 3-15.
- Kim, Y.-K., Yun, P.-Y., Ahn, J.-Y., Kim, J.-W., & Kim, S.-G. (2009). Changes in the temporomandibular joint disc position after orthognathic surgery. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108(1), 15-21.
- Kobayashi, T., Izumi, N., Kojima, T., Sakagami, N., Saito, I., & Saito, C. (2012). Progressive condylar resorption after mandibular advancement. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(2), 176-180.
- Kotaniemi, K. V., Suojanen, J., & Palotie, T. (2021). Peri-and postoperative complications in Le Fort I osteotomies. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 49(9), 789-798.
- Kramer, F.-J., Baethge, C., Swennen, G., Teltzrow, T., Schulze, A., Berten, J., & Brachvogel, P. (2004). Intra-and perioperative complications of the LeFort I osteotomy: a prospective evaluation of 1000 patients. *Journal of Craniofacial Surgery*, 15(6), 971-977.
- Kuik, K., De Ruiter, M., De Lange, J., & Hoekema, A. (2019). Fixation methods in sagittal split ramus osteotomy: a systematic review on in vitro biomechanical assessments. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 48(1), 56-70.

- Kurohara, K., Tomomatsu, N., Nakakuki, K., Arai, N., & Yoda, T. (2019). Skeletal stability after maxillary step osteotomy compared with original Le Fort I osteotomy during one-year of follow-up. *Scientific reports*, 9(1), 9742.
- Kuroiedova, V., Stasiuk, A., Vyzhenko, E., Makarova, A., & Sokolohorska-Nykina, Y. K. (2018). The study of temporomandibular joint in dentofacial abnormalities using cone beam computed tomography.
- Laufer, D., Glick, D., Gutman, D., & Sharon, A. (1976). Patient motivation and response to surgical correction of prognathism. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 41(3), 309-313.
- Lee, S., McGrath, C., & Samman, N. (2007). Quality of life in patients with dentofacial deformity: a comparison of measurement approaches. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 36(6), 488-492.
- Li, A., Chong, D. Y., Shao, B., & Liu, Z. (2024). An improved finite element model of temporomandibular joint in maxillofacial system: experimental validation. *Annals of biomedical engineering*, 52(7), 1908-1917.
- Li, A., Shao, B., & Liu, Z. (2022). Comparison of stress distribution of TMJ with different mandibular deformities under incisal clenching. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 25(2), 148-155.
- Lin, H., Zhu, P., Lin, Y., Wan, S., Shu, X., Xu, Y., & Zheng, Y. (2013). Mandibular asymmetry: a three-dimensional quantification of bilateral condyles. *Head & face medicine*, 9(1), 1-7.
- Lisiak-Myske, M., Marciniak, D., Bieliński, M., Sobczak, H., Garbacewicz, Ł., & Drogoszewska, B. (2020). Application of finite element analysis in oral and maxillofacial surgery—A literature review. *Materials*, 13(14), 3063.
- Liu, Z., Fan, Y., & Qian, Y. (2008). Comparative evaluation on three-dimensional finite element models of the temporomandibular joint. *Clinical Biomechanics*, 23, S53-S58.
- Liu, Z., Shu, J., Zhang, Y., & Fan, Y. (2018). The biomechanical effects of sagittal split ramus osteotomy on temporomandibular joint. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 21(11), 617-624.
- Luo, H., Teng, H., Chong, D. Y., & Liu, Z. (2023). Effects of bilateral sagittal split ramus osteotomy and bimaxillary osteotomies on stress distribution of temporomandibular joints in patients with maxillofacial deformity under asymmetric occlusions. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 61(6), 1427-1437.
- Lye, K. W. (2008). Effect of orthognathic surgery on the posterior airway space (PAS). *Ann Acad Med Singapore*, 37(8), 677-682.
- Ma, H., Shu, J., Wang, Q., Teng, H., & Liu, Z. (2020). Effect of sagittal split ramus osteotomy on stress distribution of temporomandibular joints in patients with mandibular prognathism under symmetric occlusions. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 23(16), 1297-1305.
- Mani, V. (2021). Orthognathic Surgery for Mandible. *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*, 1477-1512.
- McNamara Jr, J. A., & Huge, S. A. (1985). The functional regulator (FR-3) of Fränkel. *American Journal of Orthodontics*, 88(5), 409-424.
- Meira, J. B., Jikihara, A. N., Capetillo, P., Roscoe, M. G., Cattaneo, P. M., & Ballester, R. Y. (2019). Finite element analysis in dentistry. In *Dental biomaterials* (pp. 67-89). World Scientific.
- Michelotti, A., Vollaro, S., & Cimino, R. (2019). Diagnosis of Temporomandibular Disorders Using DC/TMD Criteria. *Contemporary Management of Temporomandibular Disorders: Fundamentals and Pathway to Diagnosis*, 205-227.

- Midtling, C. S., & Turvey, T. A. (2022). Orthognathic Surgery. In *The History of Maxillofacial Surgery: An Evidence-Based Journey* (pp. 197-239). Springer.
- Miković, N., Lazarević, M., Tatić, Z., Krejović-Trivić, S., Petrović, M., & Trivić, A. (2016). Radiographic cephalometry analysis of condylar position after bimaxillary osteotomy in patients with mandibular prognathism. *Vojnosanitetski preglod*, 73(4), 318-325.
- Miloro, M., Ghali, G., Larsen, P. E., & Waite, P. D. (2004). *Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery* (Vol. 1). Springer.
- Mitsimponas, K., Mehmet, S., Kennedy, R., & Shakib, K. (2018). Idiopathic condylar resorption. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 56(4), 249-255.
- Mitsukawa, N., Morishita, T., Saiga, A., Kubota, Y., Omori, N., Akita, S., & Satoh, K. (2013). Dislocation of temporomandibular joint: Complication of sagittal split ramus osteotomy. *Journal of Craniofacial Surgery*, 24(5), 1674-1675.
- Mohammed, S., & Desai, H. (2014). Basic concepts of finite element analysis and its applications in dentistry: An overview. *Oral Hyg Health*, 2(156), 2332-0702.1000156.
- Monson, L. A. (2013). Bilateral sagittal split osteotomy. *Seminars in plastic surgery*.
- Naini, F. B. (2011). *Facial aesthetics: concepts and clinical diagnosis*. John Wiley & Sons.
- Naini, F. B., & Gill, D. S. (2017). *Orthognathic surgery: principles, planning and practice*. John Wiley & Sons.
- Okeson, J. (2020). Management of temporomandibular disorder and occlusion (8th eds.). In: Elsevier Mosby Co.
- Okeson, J. P. (2019). *Management of temporomandibular disorders and occlusion-E-book*. Elsevier Health Sciences.
- Olkun, H. K., Borzabadi-Farahani, A., & Uçkan, S. (2019). Orthognathic surgery treatment need in a Turkish adult population: a retrospective study. *International journal of environmental research and public health*, 16(11), 1881.
- Ong, M. (2004). Spectrum of dentofacial deformities: a retrospective survey. *ANNALS-ACADEMY OF MEDICINE SINGAPORE*, 33(2), 239-242.
- Paknahad, M., Shahidi, S., Iranpour, S., Mirhadi, S., & Paknahad, M. (2015). Cone-beam computed tomographic assessment of mandibular condylar position in patients with temporomandibular joint dysfunction and in healthy subjects. *International journal of dentistry*, 2015.
- Park, C.-H., Jeon, J.-B., Oh, S., Oh, H.-K., Lee, K.-M., Cho, J.-H., Hwang, H.-S., & Oh, M.-H. (2022). Comparison of short-term condylar positional changes in mandibular prognathism after surgery-first approach: Symmetric setback versus asymmetric setback. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 123(6), e940-e947.
- Park, J. H., Papademetriou, M., & Kwon, Y.-D. (2016). Orthodontic considerations in orthognathic surgery: Who does what, when, where and how? *Seminars in orthodontics*.
- Park, S.-B., Yang, Y.-M., Kim, Y.-I., Cho, B.-H., Jung, Y.-H., & Hwang, D.-S. (2012). Effect of bimaxillary surgery on adaptive condylar head remodeling: metric analysis and image interpretation using cone-beam computed tomography volume superimposition. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(8), 1951-1959.
- Park, S. Y., Choi, Y.-K., Lee, S. H., Kang, H.-J., Kim, S.-S., Kim, S.-H., & Kim, Y.-I. (2022). Long-term condylar remodelling after bimaxillary orthognathic surgery in skeletal Class III patients. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(8), 1056-1061.
- Paunonen, J., Helminen, M., & Peltomäki, T. (2018). Long-term stability of mandibular advancement with bilateral sagittal split osteotomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(9), 1421-1426.
- Peck, C. C., Goulet, J. P., Lobbezoo, F., Schiffman, E. L., Alstergren, P., Anderson, G. C., de Leeuw, R., Jensen, R., Michelotti, A., & Ohrbach, R. (2014). Expanding the taxonomy of the

- diagnostic criteria for temporomandibular disorders. *Journal of oral rehabilitation*, 41(1), 2-23.
- Podčernina, J., Urtāne, I., Pirttiniemi, P., Šalms, Ģ., Radziņš, O., & Aleksejūnienė, J. (2020). Evaluation of condylar positional, structural, and volumetric status in Class III orthognathic surgery patients. *Medicina*, 56(12), 672.
- Prado, F. B., Rossi, A. C., Freire, A. R., & Caria, P. H. F. (2014). The application of finite element analysis in the skull biomechanics and dentistry. *Indian journal of dental research*, 25(3), 390-397.
- Proffit, W. R., Fields, H., Msd, D. M., Larson, B., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary Orthodontics, 6e: South Asia Edition-E-Book*. Elsevier India.
- Promma, L., Sakulsak, N., Putiwat, P., Amarttayakong, P., Iamsaard, S., Trakulsuk, H., Hirunyakorn, K., Suarbua, S., & Wattanaraeungchai, Y. (2017). Cortical bone thickness of the mandibular canal and implications for bilateral sagittal split osteotomy: a cadaveric study. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 46(5), 572-577.
- Puthumana, J. S., Lopez, C. D., Magrath, W. J., Lake, I. V., Girard, A. O., Redett, R. J., Steinbacher, D. M., Grant, M. P., Lopez, J., & Yang, R. (2022). A Comprehensive Review of Orthognathic Surgery: Fixation, Relapse, and Complications. *FACE*, 3(2), 350-361.
- Ramos, A., Ballu, A., Mesnard, M., Talaia, P., & Simões, J. (2011). Numerical and experimental models of the mandible. *Experimental Mechanics*, 51, 1053-1059.
- Reyneke, J. P., & Ferretti, C. (2016). The bilateral sagittal split mandibular ramus osteotomy. *Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics of North America*, 24(1), 27-36.
- Rzayev, S. (2017). Ortognatik cerrahi hastalarında geleneksel ve piezoelektrik yöntemlerle yapılan kemik kesilerinin retrospektif olarak değerlendirilmesi.
- Sagong, Y., & Steinbacher, D. M. (2019). Anterior Open Bite. *Aesthetic Orthognathic Surgery and Rhinoplasty*, 117-143.
- Sahoo, N., Kaur, P., Roy, I., & Sharma, R. (2017). Complications of sagittal split ramus osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, 29(2), 100-104.
- Sanromán, J. F., González, J. G., & Del Hoyo, J. A. (1998). Relationship between condylar position, dentofacial deformity and temporomandibular joint dysfunction: an MRI and CT prospective study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 26(1), 35-42.
- Seo, H. J., & Choi, Y.-K. (2021). Current trends in orthognathic surgery. *Archives of Craniofacial Surgery*, 22(6), 287.
- Shao, B., Li, A., Shu, J., Ma, H., Dong, S., & Liu, Z. (2022). Three-dimensional morphological and biomechanical analysis of temporomandibular joint in mandibular and bi-maxillary osteotomies. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 25(12), 1393-1401.
- Shaw, W., Addy, M., & Ray, C. (1980). Dental and social effects of malocclusion and effectiveness of orthodontic treatment: a review. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 8(1), 36-45.
- Shi, Y., Luo, S., Wang, H., Yao, Q., & Cheng, J. (2024). Three-dimensional bone remodelling of glenoid fossa in patients with skeletal Class III malocclusion after bimaxillary orthognathic surgery. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 53(2), 133-140.
- Shivakumar, S., Kudagi, V. S., & Talwade, P. (2021). Applications of finite element analysis in dentistry: A review. *Journal of International Oral Health*, 13(5), 415-422.
- Shu, J.-H., Yao, J., Zhang, Y.-L., Chong, D. Y., & Liu, Z. (2018). The influence of bilateral sagittal split ramus osteotomy on the stress distributions in the temporomandibular joints of the patients with facial asymmetry under symmetric occlusions. *Medicine*, 97(25), e11204.

- Shu, J., Wang, Q., Ma, H., Teng, H., Zheng, T., & Liu, Z. (2020). Biomechanical study on the changes of stress in temporomandibular joints after the orthognathic surgery in patients with mandibular prognathism: a 3D finite element study. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 22(2).
- Shu, J., Zhang, Y., Chong, D. Y., & Liu, Z. (2020). Effects on loads in temporomandibular joints for patients with mandibular asymmetry before and after orthognathic surgeries under the unilateral molar clenching. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 19, 533-541.
- Shu, J., Zhang, Y., & Liu, Z. (2019). Biomechanical comparison of temporomandibular joints after orthognathic surgery before and after design optimization. *Medical engineering & physics*, 68, 11-16.
- Singh, H., Srivastava, D., Sharma, P., Kapoor, P., Mishra, S., Mittal, T., & Maurya, R. K. (2019). Individualized Surgical Orthodontic Rehabilitation of Class III Dentofacial Deformities. *International Orthodontics*, 17(4), 826-839.
- Soh, C., & Narayanan, V. (2013). Quality of life assessment in patients with dentofacial deformity undergoing orthognathic surgery—a systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 42(8), 974-980.
- Stanković, S., Vljaković, S., Bošković, M., Radenković, G., Antić, V., & Jevremović, D. (2013). Morphological and biomechanical features of the temporomandibular joint disc: an overview of recent findings. *Archives of oral biology*, 58(10), 1475-1482.
- Sullivan, S. M. (2016). Le Fort I Osteotomy. *Atlas of the oral and maxillofacial surgery clinics of North America*, 24(1), 1-13.
- TENG, H., SHU, J., WANG, Q., MA, H., & LIU, Z. (2020). The influence of facial asymmetry on stress distributions in temporomandibular joints for patients with mandibular prognathism. *Journal of Medical Biomechanics*, E184-E189.
- Thiesen, G., Gribel, B., Freitas, M., Oliver, D., & Kim, K. (2017). Craniofacial features affecting mandibular asymmetries in skeletal Class II patients. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopadie*, 78(5).
- Toh, A. Q. J., & Leung, Y. Y. (2022). The effect of orthognathic surgery on temporomandibular disorder. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 50(3), 218-224.
- Trivedi, S. (2014). Finite element analysis: A boon to dentistry. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 4(3), 200-203.
- Turvey, T., & Schardt-Sacco, D. (2000). Le Fort I osteotomy. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 2, 232-248.
- Tweed, C. H. (1966). Clinical orthodontics. (*No Title*).
- Ueki, K., Moroi, A., Sotobori, M., Ishihara, Y., Marukawa, K., Yoshizawa, K., Kato, K., & Kawashiri, S. (2012). Changes in temporomandibular joint and ramus after sagittal split ramus osteotomy in mandibular prognathism patients with and without asymmetry. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(8), 821-827.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Takatsuka, S., Shimada, M., Marukawa, K., Takazakura, D., & Yamamoto, E. (2000). Temporomandibular joint morphology and disc position in skeletal class III patients. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 28(6), 362-368.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Takatsuka, S., & Yamamoto, E. (2006). The change of stress distribution on the condyle after mandibular setback surgery. *The European Journal of Orthodontics*, 28(5), 433-439.
- Ülgen, M. (2000). Anomaliler, sefalometri, etioloji, büyüme ve gelişim, tanı. *Yeditepe Üniversitesi Yayınları, İstanbul*, 29, 115-116.
- Ülgen, M. (2000). *Ortodonti: anomaliler, sefalometri, etoloji, büyüme ve gelişim, tanı*. Yeditepe Üniversitesi.

- Ülker, Ö., DEMİRBAŞ, A., Kütük, N., & Kiliç, E. (2023). Causes of Ortognatic Surgery Complications and Comparison of the Literature: Retrospective Cohort Research. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi*, 29(1).
- Van Opstal, E., Van de Castele, E., Carlier, A., Vercruysse Jr, H., & Nadjmi, N. (2023). The influence of tissue redraping after Le Fort I type osteotomy. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 61(2), 141-146.
- Verhelst, P.-J., Van der Cruyssen, F., De Laat, A., Jacobs, R., & Politis, C. (2019). The biomechanical effect of the sagittal split ramus osteotomy on the temporomandibular joint: current perspectives on the remodeling spectrum. *Frontiers in physiology*, 10, 1021.
- Verweij, J. (2017). Bilateral sagittal split osteotomy: risk factors for complications and predictability.
- Warburton, G. (2021). Internal derangements of the temporomandibular joint. *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*, 1361-1380.
- Weiss, R. O., Ong, A. A., Reddy, L. V., Bahmanyar, S., Vincent, A. G., & Ducic, Y. (2021). Orthognathic Surgery—LeFort I Osteotomy. *Facial Plastic Surgery*, 37(06), 703-708.
- Wells, A. P., Sarver, D. M., & Proffit, W. R. (2006). Long-term efficacy of reverse pull headgear therapy. *The Angle Orthodontist*, 76(6), 915-922.
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2013). *Oral radiology: principles and interpretation*. Elsevier Health Sciences.
- Wilkie, G., & Al-Ani, Z. (2022). Temporomandibular joint anatomy, function and clinical relevance. *British Dental Journal*, 233(7), 539-546.
- Wu, H., He, D., Wu, Y., Jiang, L., & Wang, X. (2023). Surgical Management for Vertical Maxillary Excess. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 35(1), 37-48.
- Xiangdong, Q., Limin, M., & Shizhen, Z. (2012). The influence of the closing and opening muscle groups of jaw condyle biomechanics after mandible bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(6), e159-e164.
- Yaltirik, M., Palancioglu, A., Turgut, C. T., & Koray, M. (2017). Temporomandibular bozuklukların tedavileri.
- Yamashita, Y., Iwai, T., Honda, K., Fujita, K., Imai, H., Takasu, H., Omura, S., Hirota, M., & Mitsudo, K. (2020). Effectiveness of subspinal Le Fort I osteotomy in preventing postoperative nasal deformation. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 73(7), 1326-1330.
- Young, A. (2017). Idiopathic condylar resorption: the current understanding in diagnosis and treatment. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 17(2), 128-135.
- Zaroni, F. M., Cavalcante, R. C., da Costa, D. J., Kluppel, L. E., Scariot, R., & Rebellato, N. L. B. (2019). Complications associated with orthognathic surgery: A retrospective study of 485 cases. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 47(12), 1855-1860.
- Zeng, L., Wu, Y., Zhou, M., Bai, X., Hu, L., & Chen, X. (2024). The effect of asymmetric setback of bilateral sagittal split ramus osteotomy on the condyle in patients with skeletal Class III lateral displacement.
- Zere, E., Chaudhari, P. K., Sharan, J., Dhingra, K., & Tiwari, N. (2018). Developing Class III malocclusions: challenges and solutions. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*, 99-116.
- Zhang, Y.-L., Liu, Y., Shu, J.-H., Xu, X.-C., & Liu, Z. (2018). Morphological study of the changes after sagittal split ramus osteotomy in patients with facial asymmetry: measurements of 3-dimensional modelling. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 56(10), 925-930.
- Zheng, Z., Saito, D., Hasebe, D., Funayama, A., Nihara, J., & Kobayashi, T. (2025). Three-dimensional evaluation of maxillofacial symmetry improvement following orthognathic

surgery in patients with asymmetrical jaw deformities. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 29(1), 1-12.



8. EKLER

EK-1

