T.C.
SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
HAMİDİYE SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİ DİZAYNLARINDA SPLİTTİNG MANEVRASI SIRASINDA OLUŞAN KUVVETLERİN STRES DAĞILIMININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

YASİN BULUT

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ TAHSİN TEPECİK

AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANA BİLİM DALI
AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ DOKTORA PROGRAMI

DOKTORA TEZİ
OCAK/2024

İTHAF

“Tezimi değerli eşim Öznur BULUT’a, kızım Mevsim BULUT’a oğlumuz Aslan Alp BULUT’a , değerli annem Zeynep BULUT’a ,değerli babam Mehmet BULUT’a ve değerli ablam Tuğba BULUT’a ithaf ediyorum.”

TEŞEKKÜR

İlk olarak, doktora eğitimim süresince bilgisini ve tecrübesini benden sakınmadan aktarmaya gayret eden ve tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar maddi manevi desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tahsin TEPECİK'e,
Öğrenme isteğimizi köreltmeden sorularımıza ve sorunlarımıza her zaman çözüm bulan ve motivasyonumuzu arttıran anabilim dalı başkanımız kıymetli Doç. Dr. Serap KESKİN TUNÇ başta olmak üzere, hocalarımız Doç. Dr. Nurettin DİKER, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zahit BAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Alanur Çiftçi ŞİŞMAN'a,

Doktora eğitim sürecimin başından sonuna kadar sabırla yardımcı olan, düzenli bir şekilde nihayete erdirmemi sağlayan sevgili eşim Öznur BULUT'a,

Tez projeme verdiği destek için Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü'ne,

Son olarak bütün eğitim-öğretim hayatım boyunca şevkimi arttıran sevgi ve şefkatlerini esirgemeyen ablam Tuğba BULUT'a, babam Mehmet BULUT'a ve annem Zeynep BULUT'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

İTHAF iv
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
TABLOLAR LİSTESİ viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
SİMGELER VE KISALTMALAR xiv
ÖZET xv
ABSTRACT xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. GENEL BİLGİLER 3
2.1. MANDİBULA ANATOMİSİ 3
2.2. MANDİBULA DEFORMİTELER 5
2.2.1. Mandibular Prognatizm 5
2.2.2. Mandibular Retrognatizm 6
2.2.3. Mandibular Asimetri 6
2.3. ORTOGNATİK CERRAHİ 6
2.4. MANDİBULAR OSTEOTOMİLER 8
2.4.1. Mandibular Osteotomilerin Tarihçesi 8
2.5. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİ 10
2.5.1. Obwegeser ve Trauner'ın Sagittal Split Ramus Osteotomisi: 10
2.5.2. Dal Pont Modifikasyonu 11
2.5.3. Hunsuck Modifikasyonu 12
2.5.4. Epker Modifikasyonu 13
2.5.5. Wolford Modifikasyonu 14
2.5.6. Cerrahi Prosedür 14
2.6. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİ ÇALIŞMALARI 17
2.6.1. In Vitro Çalışmalar 17
2.6.2. Kadavra Çalışmaları 18
2.6.3.Hayvan Çalışmaları 19
2.7. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİNDE KOMPLİKASYONLAR 20
2.7.1. Relaps 20
2.7.2. Sinir Hasarı 21

2.7.3. Temporomandibular Eklem Disfonksiyonu 22
2.8. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ 22
3. GEREÇ VE YÖNTEM 25
3.1. ANALİZDE KULLANILACAK ÜÇ BOYUTLU MANDİBULA MODELİNİN OLUŞTURULMASI 26
3.2. YÜKLEME VE SINIR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ 27
3.3. ÜÇ BOYUTLU OSTEOTOMİ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI 28
3.3.1. Grup 1-A Modeli 31
3.3.2. Grup 1-B Modeli 32
3.3.3. Grup 1-C Modeli 33
3.3.4. Grup 1-D Modeli 34
3.3.5. Grup 2-A Modeli 35
3.3.6. Grup 2-B Modeli 36
3.3.7. Grup 2-C Modeli 37
3.3.8. Grup 2-D Modeli 38
4. BULGULAR 42
4.1. GENEL ANALİZLER 42
4.1.1. Grup 1-A Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 42
4.1.2. Grup 1-B Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 45
4.1.3. Grup 1-C Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 48
4.1.4. Grup 1-D Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 51
4.1.5. Grup 2-A Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 55
4.1.6. Grup 2-B Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 57
4.1.7. Grup 2-C Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 60
4.1.8. Grup 2-D Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi 63
5. TARTIŞMA 72
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79
KAYNAKLAR 80

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3. 1: Young modulü ve Poison oranı 27

Tablo 4. 1: Modellerde ölçülen maksimum von Misses stres değerleri..... 67

Tablo 4. 2: Modellerde ölçülen maksimum von Misses stres değerleri büyükten küçüğe sıralaması 67

Tablo 4. 3: Modellerde ölçülen maksimum principal ve minimum principal stres değerleri 68

Tablo 4. 4: Modellerde ölçülen von Misses stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu..... 69

Tablo 4. 5: Dış çizgilerde ölçülen von Misses stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu..... 70

Tablo 4. 6: Orta çizgilerde ölçülen von Misses stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu..... 70

Tablo 4. 7: İç çizgilerde ölçülen von Misses stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu..... 71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Obwegeser ‘in orijinal Sagittal Split Ramus Osteotomisi (31) 11

Şekil 2.2: Dal Pont modifikasyonu (25) 12

Şekil 2.3: Hunsuck modifikasyonu (25) 13

Şekil 2.4: Epker modifikasyonu (27) 13

Şekil 2.5: Wolford modifikasyonu ve kullanılan materyal (29) 14

Şekil 3.1: Mesh işlemi uygulanmış mandibula modelinin ön taraftan görünümü 27

Şekil 3.2: Fixed Support noktaları, kuvvet uygulanan alan ve yönünü gösteren görsel 28

Şekil 3.3: 3 Boyutlu mandibula modelinin ön taraftan görünümü 29

Şekil 3.4: 3 Boyutlu mandibula modelinin üst taraftan görünümü 29

Şekil 3.5: 3 Boyutlu mandibula modelinin bukkal taraftan görünümü 30

Şekil 3.6: Lateral Osteotomilerin kesit olarak görüntüleri (35) 30

Şekil 3.7: 1-A Modelinin lingual taraftan görünümü 31

Şekil 3.8: 1-A Modelinin bukkal taraftan görünümü 31

Şekil 3.9: 1-B Modelinin lingual taraftan görünümü 32

Şekil 3.10: 1-B Modelinin bukkal taraftan görünümü 32

Şekil 3.11: 1-C Modelinin lingual taraftan görünümü 33

Şekil 3.12: 1-C Modelinin bukkal taraftan görünümü 33

Şekil 3.13: 1-D Modelinin alt taraftan görünümü 34

Şekil 3.14: 1-D Modelinin bukkal taraftan görünümü 34

Şekil 3.15: 2-A Modelinin lingual taraftan görünümü 35

Şekil 3.16: 2-A Modelinin bukkal taraftan görünümü 35

Şekil 3.17: 2-B Modelinin lingual taraftan görünümü 36

Şekil 3.18: 2-B Modelinin bukkal taraftan görünümü 36

Şekil 3.19: 2-C Modelinin lingual taraftan görünümü 37

Şekil 3.20: 2-C Modelinin bukkal taraftan görünümü 37

Şekil 3.21: 2-D Modelinin lingual taraftan görünümü 38

Şekil 3.22: 2-D Modelinin alt taraftan görünümü 38

Şekil 3.23: Lingual taraftaki noktaların pozisyonlandırılması (Dış, orta ve iç hat) 40

Şekil 4.1: Grup 1-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımı bukkal görünüm 42

Şekil 4.2: Grup 1-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 43

Şekil 4.3: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 43

Şekil 4.4: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 44

Şekil 4.5: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 44

Şekil 4.6: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 45

Şekil 4.7: Grup 1-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünüm 45

Şekil 4.8: Grup 1-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü 46

Şekil 4.9: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 46

Şekil 4.10: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 47

Şekil 4.11: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 47

Şekil 4.12: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 48

Şekil 4.13: Grup 1-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü 49

Şekil 4.14: Grup 1-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü 49

Şekil 4.15: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 50

Şekil 4.16: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 50

Şekil 4.17: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 51

Şekil 4.18: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 51

Şekil 4.19: Grup 1-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü 52

Şekil 4.20: Grup 1-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü 52

Şekil 4.21: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 53

Şekil 4.22: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingıual görünüm 53

Şekil 4.23: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 54

Şekil 4.24: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 54

Şekil 4.25: Grup 2-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü 55

Şekil 4.26: Grup 2-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü 55

Şekil 4.27: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 56

Şekil 4.28: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm.....56

Şekil 4.29: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm.....57

Şekil 4.30: Grup 12-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm.....57

Şekil 4.31: Grup 2-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü.....58

Şekil 4.32: Grup 2-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü.....58

Şekil 4.33: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm.....59

Şekil 4.34: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingal görünüm.....59

Şekil 4.35: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm.....60

Şekil 4.36: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm.....60

Şekil 4.37: Grup 2-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü.....61

Şekil 4.38: Grup 2-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü.....61

Şekil 4.39: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm.....62

Şekil 4.40: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm.....62

Şekil 4.41: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm.....63

Şekil 4.42: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm.....63

Şekil 4.43: Grup 2-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü 64

Şekil 4.44: Grup 2-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü 64

Şekil 4.45: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 65

Şekil 4.46: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 65

Şekil 4.47: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm 66

Şekil 4.48: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm 66

Şekil 5.1: Plooij ve arkadaşlarının çalışmasında tanımladığı lingual ayrılma skalası (31) . 75

Şekil 5.2: Muto ve arkadaşlarının çalışmasındaki 5 kırık tipinin 3 boyutlu tomografi görüntüleri (34) 76

SİMGELER VE KISALTMALAR

CAD **:** Bilgisayar Destekli Tasarım

CBCT **:** Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

DICOM **:** Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim

DOF **:** Degrees Of Freedom

MIMICS **:** Materialise's Interactive Medical Image Control System

OSAS **:** Obstrüktif Uyku Apne Sendromu

SSRO **:** Sagittal Split Ramus Osteotomisi

FARKLI SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİ DİZAYNLARINDA SPLİTTİNG MANEVRASI SIRASINDA OLUŞAN KUVVETLERİN STRES DAĞILIMININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Amaç: Ortognatik cerrahi ameliyatlarında, osteotomiden sonra mandibulada ayrılma sağlanabilmesi için belli kuvvetler uygulanmaktadır. Bu kuvvetler sonucunda oluşan stres ile ayrılma gerçekleşmektedir. Çalışmamızda farklı osteotomi modifikasyonlarında oluşan streslerin Sonlu Elemanlar Analizi kullanılarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada tek tip 3 boyutlu mandibula modeli oluşturumuştur. Bu modele 8 farklı kesi modifikasyonu (Obwegeser/Dal Pont, Hunsuck/Epker, Wolford) ile sagittal split ramus osteotomisi(SSRO) uygulanmıştır. Modellerde splitting manevrası sırasında kemikte oluşacak olan stresler sonlu elemanlar analizi kullanılarak test edilmiştir.

Bulgular: Splitting manevrası sırasında oluşan en düşük von Misses stres değerleri mandibula alt tabanında Wolford alt kenar kesisi uygulanan modellerde görülmüştür. Medial osteotomi hattının lingulanın posterioruna uzatıldığı modellerde, lingulanın hemen üzerinde bitirilen modellere kıyasla daha düşük von Misses stres değerleri görülmüştür. Lateral osteotominin bukkalde bitirildiği modellerde en yüksek von Misses stres değeri ölçülmüştür.

Sonuç: Osteotomi hattının en uzun olduğu Wolford kesisi uygulanan modellerde en düşük von Misses stres değerleri ölçülmüştür. Lateral osteotominin bukkalde bitirildiği modellerde stres yüksek ölçülmüştür. Bu modellerde mandibula tabanında da düşük stres izlenmiştir. Bu durum literatürde de belirtildiği gibi bukkal kötü kırık oluşma ihtimalinin daha fazla olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kötü Kırık, Sagittal Split Ramus Osteotomisi, Von Misses

EVALUATİON OF THE FORCES APPLİED TO DİFFERENT SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMY DESİGNS DURİNG SPLİTTİNG MANEUVER BY USİNG FİNİTE ELEMENTS ANALYSİS

ABSTRACT

Aim: The aim of this study is to test the most reliable sagittal split ramus osteotomy modification in orthognathic surgery with finite element analysis.

Materials and Methods: In this study, a uniform 3D mandible model was created. The model mandible is fixed at the top points of the condyle to have zero movement in DOF (Degree of freedom). Sagittal split ramus osteotomy with 8 different incision modifications (Obwegeser/Dal Pont, Hunsuck/Epker, Wolford) was applied to this model. In the models, the stresses that would occur in the bone during the splitting maneuver were tested using finite element analysis.

Results: The lowest von Mises stress values were seen in models in which Wolford's inferior border osteotomy was applied at the lower base of the mandible. Models in which the medial osteotomy line was extended posterior to the lingula showed lower von Misses stress values compared to models finished just above the lingula.

Conclusion: The lowest von Misses stress values were measured in models where the Wolford' inferior border osteotomy was applied, where the osteotomy line was longest. Stress was measured to be high in models in which the lateral osteotomy was completed in the buccal. This situation increased the possibility of buccal fractures, as stated in the literature.

Key Words: Finite Element Analysis, Sagittal Split Ramus Osteotomy, Von Mises

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kafa iskeletinin tek hareketli kemiği olan mandibula; spongioz yapı etrafında, bukkal ve lingual kortikal kemik plakalarından meydana gelen bir kemiktir. Alveolar kemik ve bazal kemik olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Horizontal düzlemdeki uzantısı olan mandibular korpus ve vertikal düzlemdeki uzantısı olan mandibular ramus, mandibulanın iki temel bileşenidir (1).

Kompakt osseoz dokuya sahip olan mandibular korpus, tabanda basis mandibula ve mandibular dişleri içeren alveolar kemikten oluşur. Orta hattı da içinde barındıran mandibulanın anterior kısmı mandibular simfiz olarak adlandırılmaktadır. Bilateral olarak ramus–korpus bileşimi angulus mandibulayı oluşturmaktadır. Angulus mandibulanın alt uç noktasına gonion adı verilir. Gonion noktası kişilerin yüz tiplerinin belirlenmesinde kullanılan bir referans noktasıdır. Ramusun üst kompartmanında bulunan incisura mandibularis, anteriorda koronoid çıkıntının, posteriorda mandibular kondilin oluşumunu sağlamaktadır (2).

Fasiyal asimetri ortognatik cerrahi gereksinimi duyan hastalar için birincil şikâyetlerdendir. Yüz asimetrisinin ana nedenlerinden biri de bilateral mandibular asimetridir ve mandibular prognatizmi olan hastaların % 50‘sine fasiyal asimetri eşlik etmektedir. Dudak damak yarığı gibi konjenital anomaliler, yüzün ya da temporomandibular eklemin (TME) maruz kaldığı travmalar yüz asimetrisinin gelişmesine neden olan faktörler olarak kabul edilmektedir (3).

Mandibular ortognatik cerrahi, mandibulayı belirlenmiş kesi hatları ile ayıran ve ayrılan kemik segmentlerini yeniden pozisyonlandırarak çene, yüz ve diş yapısının düzeltilmesine imkân sağlar. Bu cerrahinin amacı çene deformitelerini düzeltmek, ideal oklüzyonu sağlamak ve yüz estetiğini optimize etmektir. Ortognatik cerrahi uygulanırken mandibula hareketlerini sağlamak için kullanılan birçok osteotomi yöntemi ve bunların modifikasyonları bulunmaktadır.

Mandibular osteotominin tarihsel gelişimini incelediğimizde komplikasyon riskinin giderek azalmasını sağlayan osteotomi tekniklerinin geliştiği bir seyir izlenmektedir. 1849’da ilk mandibular osteotomiyi Hullihen tarif etmiştir. Sonrasında Obwegeser ramusun Sagittal split ramus osteotomisini (SSRO) geliştirmiştir. Daha sonra

Dal Pont (1961), Hunsuck (1968) ve Epker'e (1977) bunu modifiye eden çalışmalar yapmıştır. Bu şekilde mandibular osteotomilerde günümüze kadar bir çok değişim görülmüştür (4),6).

Sagittal split ramus osteotomisinde yaygın görülen operatif komplikasyonlardan birisi de ''bad split'' (kötü kırık) dir. Bad split proksimal veya distal parçadaki kemiğin istenmeyen bir şekilde ayrılması olarak tanımlanabilir (6).

Bu tez çalışmasında farklı SSRO tasarımları mandibulanın yapısı tamamen gözetilerek 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Cerrahi sırasında uygulanan kuvvet bilgisayar ortamında simüle edilip aktarılmış ve mandibula üzerindeki stresin yoğunlaştığı bölgeler sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiştir. Böylece hangi SSRO kesi dizaynı uygulandığında ideal noktalarda ve yoğunlukta stres birikiminin oluşacağı değerlendirilecektir. Ve bu sayede kullanımı en güvenilir olan osteotominin tespitine yardımcı olmak amaçlanmıştır. Planladığımız çalışma bu konuda insan mandibulasını taklit eden ve birçok modifikasyonu içeren modeller kullanılarak yapılacak ilk SSRO stres analizi çalışması olma özelliği taşımaktadır. Bu sayede de ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalara yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. MANDİBULA ANATOMİSİ

Mandibula baş iskeletindeki kemiklerin en büyük, en sağlam ve tek hareketli kemiğidir. Alt yüz bölgesini mandibula oluşturur. Temporal kemikle eklem yapar. Bu eklem kafa iskeletindeki tek hareketli kemik olmasını sağlamaktadır. Bu eklem mandibulanın rotasyon ve translasyon hareketi yapabilmesine olanak sağlar. Mandibula hem lokasyonu hem de fonksiyonu açısından çok önemli bir role sahiptir. Mandibula temel olarak 2 bölümden oluşur. Bu bölümler korpus ve ramus mandibula olarak adlandırılır (7).

Korpus mandibula, mandibulanın horizontal olarak konumlanan kısmıdır. Şekil olarak at nalına benzemektedir. Basis mandibula ve dişleri içinde bulundurmaktadır. Mandibulanın orta hattı simfisis mandibula olarak isimlendirilmiştir. Daha arkada kanin dişler arasında yer alan bölgeye parasimfizis adı verilir. Parasimfizisin arkasından angulusa kadar uzanan kısım ise gövde (korpus) olarak isimlendirilmektedir. Küçük azı dişlerinin köklerinin inferiorunda foramen mentale bulunur. Genellikle 2. küçük azı dişlerinin apeks hizasında yer alır. Dış yüzeyde ramus mandibulada aşağı doğru inen çapraz çizgiye Linea Obliqua denir (7).

Mandibula iç yüzünün ortasında spina mentalis yer almaktadır. Spina mentalise iki taraftan iki kas yapışır. Bu kaslar musculus digastiricusun anterior kolu ve musculıus mylohyoideustur. Mandibula iç yüzünde, üçüncü azı diş hizasından spina anteriora doğru uzanan çizgiye linea mylohyoidea denir. Bu çizgiye musculus mylohyoidea yapışır ve bu kas fovea sublingualisi, fovea submandibularisten ayırır (7).

Ramus mandibula ise mandibulanın posteriordaki bölümüdür. Corpus mandibuladan yukarı ve arkaya doğru uzanır. Ön kenarı aşağıda linea obliqua ile kesişerek 3. Molar diş bölgesinde retromolar üçgeni oluşturur. Ramusun iç yüzünde foramen mandibula bulunur. Foramen mandibuladan arter, ven ve nervus alveolaris inferior mandibulaya girer ve mandibular kanalı takip ederek foramen mentaleden kemik dışına çıkar. Arka sınırındaki alt köşe angulus mandibula olarak adlandırılmıştır. Üst kenarında koronoid uzantı ve kondil bulunur. Kondilin baş kısmına caput mandibula denir

ve temporomandibular eklemin hareket eden kısmını oluşturur. Kondili ramusa bağlayan boyun kısmı collum mandibula olarak adlandırılır. Collum mandibulanın ön tarafına musculus pterygoideus lateralis yapışır. Coronoid uzantıya ise musculus temporalis yapışmaktadır. Caput mandibula ve coronoid uzantı arasındaki eğimli geniş çentiğe incisura mandibula adı verilir. Mandibulanın hareketini sağlayan kaslara çiğneme kasları adı verilir. Bunlar M. Massetericus, M. Temporalis, M. Pterygoideus medialis, M. Pterygoideus lateralis kaslarıdır. Masseter kası ramusun dış yüzeyinde tuberositas massetericaya M.Pterygoideus medialis ise ramusun iç yüzeyinde tuberositas pterygoideaya yapışır (8).

M. massetericus, arcus zygomaticusun medial yüzünün alt kenarından başlar ve ramus mandibulanın dış yüzündeki tuberositas massetericada sonlanır. Çift taraflı çalıştığında mandibulayı yukarı çeker. Ağzın kapanmasını sağlar. Tek taraflı çalıştığında ise mandibulayı çalışan tarafa doğru çeker (7).

M. temporalis temporal bölgeyi yelpaze şeklinde kaplayan çiğneme kasıdır. Temporal kemiğin pars squamosa, linea temporalis inferior ve fascia temporalisten başlar, coronoid uzantı ve ramusun ön duvarında sonlanır. Çift taraflı kasıldığında mandibulayı yukarı doğru çekerek ağzı kapatır. Horizontal olarak uzanan lifleri kısalınca protrüzyonda olan mandibulayı retraksiyona getirir (9).

M. pterygoideus medialis dikdörtgen şeklinde olan ve kalın bir kastır. M. pterygoideus medialis lamina lateralis processus pterygoideanın medial yüzü, palatin kemiğin proc. pyramidalisi ve tuber maksilladan başlar. Ramusun iç yüzeyindeki tuberositas pterygoideaya tutunur. Çift taraflı çalıştığında mandibulayı yukarı kaldırır. Tek taraflı çalıştığında ise kendi tarafına çeker. M. pterygoideus lateralisle birlikte çenenin öne doğru çekilmesini sağlar (8).

M. pterygoideus lateralis çift kısımlı bir kastır. Superior kısmı sphenoid kemikten ve temporal kemikten başlayarak, temporomandibular eklem diski ve temporomandibular eklem kapsülünde sonlanır. İnferior kısmı ise lamina lateralis pterygoid uzantının dış yüzünden fovea pterygoideaya doğru uzanır. Ağzın açılmasını sağlayan kastır. Çift taraflı çalıştığında mandibulayı öne ve aşağıya çeker. Tek taraflı çalıştığında ise çeneyi karşı tarafa doğru iter (7).

Temporomandibular eklemi, temporal kemikte bulunan fossa mandibularis, tuberculum articularis ve mandibulada bulunan caput mandibula oluşturur. Kafa

iskeletinde hareketli olan tek eklemdir. Temporomandibular eklem rotasyonel ve translasyonel hareket yapabilir. Temporomandibular eklemi oluşturan kemik yüzeyleri fibröz kıkırdak ile kaplıdır. Eklem yüzleri arasında bir boşluk bulunur. Bu eklem boşluğunda fibröz kıkırdaktan oluşan bir discus articularis bulunur. Eklem diski caput mandibula ve fossa mandibula ile tuberculum articulare arasında bulunan oval fibröz kıkırdaktır. Ön kısımda eklem kapsülü ve m. pterygoideus lateralisle, arka kısımda retrodiskal dokular ile bağlıdır. Medial ve lateral kısımda eklem kapsülüne yapışık değildir. Bu sayede çene hareketlerinde eklem diski anteroposterior yönde hareket edebilir. Eklem diski fonksiyon sırasında temporal kemik ve mandibular kemik yüzeyleri arasındaki uyumsuzlukları tolere edebilir. Diskin alt yüzeyi caput mandibulaya oturacak şekilde konkav şekildedir. Üst yüzeyi ise fossa articulareye uyum sağlayacak şekilde konvekstir (8).

Eklem diski eklem boşluğunu alt ve üst olmak üzere 2 boşluğa ayırır. Eklem diski, eklem yüzeylerini saran eklem kapsülüne yapışır. Eklem kapsülü temporal kemikte tuberculum articularenin önüne, arkada fissura petrotympanicaya aşağıda ise collum mandibulaya yapışır. Bu şekilde eklemi çevreler. Eklem diski, mandibulaya daha sıkı yapışır. Bu nedenle fonksiyonda mandibula ile birlikte hareket eder. Ağız açılırken öne doğru kayarak caput mandibula ile tuberculum articularenin önüne kadar ilerler. Eklem kapsülü, eklem yüzeylerinden daha geniştir. Bu sebeple caput mandibula tuberculum articulareyi aşabilir (9).

2.2. MANDİBULA DEFORMİTELER

2.2.1. Mandibular Prognatizm

Mandibulanın fazla büyüdüğü durumlara mandibular prognatizm denir. Mandibula maksillaya göre daha fazla gelişim göstermiştir. Mandibular prognatizm etyolojisinde çevresel, genetik ve endokrin faktörlerin rol aldığı çene ve yüz deformitelerindendir. Mandibular prognatizmli kişilerin çene ucu daha belirgin olarak izlenmektedir. Bu durum günümüzde ortognatik cerrahi ile tedavi edilebilmektedir (10).

2.2.2. Mandibular Retrognatizm

Mandibula gelişiminin maksillaya göre geri kaldığı durumlara mandibular retrognatizm denir. Mandibular retrognatizm etyolojisinde çevresel, genetik ve endokrin faktörlerin rol aldığı çene ve yüz deformitelerindendir. Mandibular retrognatizmli kişilerin mandibular dişleri daha geride konumlanmıştır. Mandibular retrognatizmli hastalarda Obstrüktif Uyku Apne Sendromu (OSAS) oluşma ihtimali fazladır. Bu problem bu hastaları ortognatik cerrahiye yönlendiren ana sebeplerdendir. Bu durum mandibulanın ileri alınmasıyla tedavi edilebilmektedir (10).

2.2.3. Mandibular Asimetri

Mandibular asimetri mandibulanın fazla büyümesinden ya da yetersiz büyümesinden kaynaklanabilir. Mandibular asimetri etyolojisinde çevresel, genetik ve endokrin faktörlerin rol aldığı çene ve yüz deformitelerindendir. Bu durum fazla ya da yetersiz büyümenin lokalizasyonuna göre cerrahi işlem ile düzeltilebilir (10).

2.3. ORTOGNATİK CERRAHİ

Ortognatik cerrahi çene düzeltme cerrahisi olarak da adlandırılabilir. Temporomandibular eklemde, dişlerde ve kas yapılarında hasara neden olabilecek çene deformitelerini düzeltmek amaçlı yapılan cerrahi işlemdir. Dental deformitelerin ve yüz deformitelerin tedavisinin temelini oluşturmaktadır. Bu cerrahide yapılan değişiklikler sayesinde hastaların fonksiyonel olarak çene ve diş yapılarını daha iyi kullanmaları sağlanmaktadır. Aynı zamanda OSAS tedavisinde de ortognatik cerrahi kullanılmaktadır. Ortognatik cerrahi, hastalarda okluzyonu düzeltmek, estetiği sağlamak ve OSAS'ı tedavi etmek için uygulanmaktadır. Cerrahinin amacı sınıf I okluzyonun sağlanması, yüz estetiğinin sağlanması veya hava yolunun iyileştirilmesi olabilir. Ortognatik cerrahinin tarihçesi 19. yüzyıla uzanmaktadır. 19. yüzyılda Amerika'da çoğunlukla mandibular prognatizmin tedavisi için uygulanmaktaydı. Ortognatik cerrahi 19. yüzyıldan günümüze birçok gelişme ile gelmiştir. Gelişmelerin çoğu kesi tekniği, planlama ve cerrahi tedavi sırası ile ilgili olmuştur (11).

Mandibular deformitelerin ortognatik cerrahi ile düzeltilmesini ilk kez 1849 yılında Hullihen raporlamıştır. O zamandan beri mandibular prognatizm ve mandibular retrognatizmin düzeltilebilmesi için birçok teknik uygulanmıştır. 1957 de Trauner ve

Obwegeser modern ortognatik cerrahinin başlangıcını oluşturan SSRO'yu tanıttı. Bu intraoral yaklaşım mandibulanın üç boyutlu olarak hareket ettirilebilmesine olanak sağlar. Daha önemli bir avantajı cerrahi sonrası primer kemik iyileşmesini sağlamak için yeterli kemik temas alanını sağlamasıdır (12,13).

Mandibulada SSRO'yu başlattıktan sonra, Obwegeser maksillayı üç boyutta da hareket ettirmek için LeFort I osteotomisini geliştirdi. 1969'da çok sayıda maksiller osteotomi vakası bildirdi (14).

1960'larda cerrahlar, ameliyattan önce dişleri hareket ettirmek için nadirde olsa ortodontik tedavi kullanmışlardır. Ortodontik tedaviden önce veya sonra ortognatik cerrahi uyguladılar. İlk yıllarda cerrahlar ortognatik cerrahiyi ortodontik tedaviden önce kullanmaya başladılar. 1963' de Poulton ve arkadaşları herhangi bir ortodontik tedavi olmaksızın bilateral dikey osteotomi ile başarılı bir şekilde tedavi edilen 5 mandibular prognatizm vakası yayınladılar. Fakat kısa süre sonra mandibular hareketlerin ön kesici dişler arasındaki overjet ile sınırlandığını anladılar. Mandibular prognatizmi düzeltirken gerekli gerileme miktarını arttırmak için ortodontik tedaviye ihtiyaç duyuldu ve ortodontik tedavi ile yanlış hizalanmış dişler ameliyattan önce her bir çenede mümkün olan en iyi pozisyona getirildiler (15).

Worms ve arkadaşları ‘‘önce ortodonti’’ konseptini mandibular prognatizm, mandibular retrognatizm ve anterior open bite ve deep bite dahil olmak üzere tüm ortognatik vakalara genişletti ve çenenin cerrahi olarak optimal yeniden konumlandırılmasının ancak tüm dental düzenlemelerin tamamlanmasından sonra mümkün olacağını vurguladı. Ortodonti öncelikli yaklaşım, daha sonra ortognatik cerrahi için standart prosedür haline geldi. Ancak son yıllarda Dr.William Bell, ortognatik cerrahinin çok komplike, invaziv, pahalı ve çok öngörülemez bir tedavi olduğu yorumunu yaparak Teksas Üniversitesi Güneybatı Tıp Merkezi'nden meslektaşlarıyla 2007 yılında “Ortognatik Cerrahide Paradigma Değişimleri” sempozyumunu kurmuştur. Amaçları, ortognatik cerrahinin daha verimli, uygun maliyetli, öngörülebilir ve uygun yollarla uygulanmasını sağlamaktı. 2011 sempozyumunda gelişmiş üç boyutlu tıbbi görüntüleme ve ofis tabanlı cerrahinin klinik uygulamaları tanıtıldı. Bunun yanı sıra, cerrahi öncelikli yaklaşımı sunuldu ve zaman alıcı preoperatif ortodontik tedavinin tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik daha geniş bir ilgi yarattı (11,16,17).

Çalışmamızın konusu SSRO ile ilgili olduğundan ortognatik cerrahi tüm boyutlarıyla anlatılmayacaktır.

2.4. MANDİBULAR OSTEOTOMİLER

Çene deformiteleri malokluzyona, estetik bozukluklara ve OSAS'a yol açmaktadır. Ortognatik cerrahi, bozuk çene ilişkileri ve kapanış bozukluklarına bağlı oluşan çiğneme kusurları, temporomandibular eklem ağrıları ve estetik kaygıların yol açtığı psikososyal rahatsızlıklardan sonra ortaya çıkmıştır (18).

İskelet ve diş yapılarındaki bozuklukların sadece ortodontik tedavi ile çözülemeyeceği durumlar için ortognatik cerrahi uygulamaları son yıllarda artmıştır. Ortognatik cerrahiye maksiller ve mandibular retrüzyon, maksiller vertikal yetersizlik, mandibular prognati vb. vakalarda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deformitelerin tedavisinde mandibular cerrahi için sıklıkla SSRO, maksiller cerrahi için ise Le Fort I osteotomileri tercih edilmektedir. Bu osteotomilerin üzerinde en sık tartışılan konular kötü kırık oluşum riski ve cerrahi sonrası oluşan geri dönüşlerdir. Bu geri dönüşler relaps olarak isimlendirilmektedir. Relaps üzerinde etkisi olabileceği düşünülen bazı faktörler vardır. Bunlar maloklüzyonun derecesi, uygulanan cerrahi teknik, tek veya çift çene cerrahisi, fiksasyon yöntemi ve maksillomandibular fiksasyonun süresidir. Kötü kırık oluşumu üzerinde ise kesi sınırları, varyasyonları ve kesi derinliğinin olduğu düşünülmektedir (18).

2.4.1. Mandibular Osteotomilerin Tarihçesi

Mandibular osteotominin tarihsel gelişimini incelediğimizde basamak basamak aralıklı bir seyir izlemiştir. 1849'da ilk mandibular osteotomiyi Hullihen tarif etmiştir. Sonrasında Obwegeser SSRO'yu geliştirmiştir (1955) ve daha sonra Dal Pont (1961), Hunsuck (1968) ve Epker'e (1977) bunu modifiye eden çalışmalar yapmıştır. Bu şekilde mandibular osteotomilerde günümüze kadar bir çok değişim görülmüştür (5,6).

Mandibular deformitelerin ortognatik cerrahi ile düzeltilmesini ilk kez 1849 yılında Hullihen raporlamıştır. Hullihen'den Blair'e kadar 50 yıllık bir süreçte ortognatik cerrahi pek ilgi görmemiştir. Blair 1906 da mandibular prognati sebebiyle body osteotomisi uygulamıştır. Bu uygulama günümüzde önemini yitirmiştir. Horizontal ramus osteotomisi ilk kez 1907'de Blair tarafından uygulanmıştır. Bu uygulama horizontal düzlemdeki anomalilerin düzeltilmesi amacıyla kullanılan ekstraoral bir yöntem olarak

tarif edilmiştir. 1925' de Limberg ilk defa ekstraoral olarak çalışmıştır. Caldwell ve Letterman 1954'de Limberg in osteotomisi üzerine uyguladıkları modifikasyon ile vertikal ramus osteotomisini tanımlamıştır. 1957'de Hugo Obwegeser ve Richard Trauner'in hem mandibular prognatinin hem de mandibular retrognatinin tedavisinde uygulanabilen SSRO'yu tarif etmelerinin ardından mandibular ortognatik cerrahide bir çığır açılmış oldu. Bu intraoral yaklaşım kondili glenoid fossada sabit tutarak mandibulanın üç boyutlu olarak hareket ettirilebilmesine olanak sağlar. SSRO modern ortognatik cerrahinin başlangıcını oluşturmaktadır. Daha önemli bir avantajı cerrahi sonrası primer kemik iyileşmesini sağlamak için yeterli kemik temas alanını sağlamasıdır. Bu uygulamanın en büyük avantajı, mandibular ramusun sagittal düzlemde ikiye ayrılması sayesinde fiksasyon sonrası proksimal ve distal segmentler arasında büyük ölçüde temas sağlaması ve kemik greftine ihtiyaç duyulmamasıydı. SSRO'nun ilk modifikasyonu 1961'de Dal Pont tarafından uygulanmıştır. Dal Pont bukkal kortikal kesiyi arktaki son molar dişin distaline kadar uzatıp vertikal şekilde uygulayarak temas eden kemik yüzey alanını arttırmıştır. Daha sonra 1968'de Hunsuck medial kortikal kesiyi ile ilgili bir modifikasyon uygulamıştır. Medial kortikal kesiyi ramusun posterior kenarı yerine lingulanın hemen arkasına kadar kısaltmıştır. Bu şekilde SSRO daha kolay uygulanabilir ve güvenli hale gelmiştir. Daha önemlisi de medial pterygoid kasın proksimal segmentteki insersiyosu korunarak mandibular ilerletme ve rotasyonlarda distal segmentin hareketini engellemesinin önüne geçilmiş olunmuştur (5,13,14,23).

Önceleri mandibulanın geriye doğru alındığı ameliyatlar daha fazla uygulanmaktaydı. Mandibulanın öne doğru ilerletilmesine yönelik cerrahi yaklaşımlar daha sonra popülerlik kazandı. Bunun temel nedenlerinden biri mandibulanın ilerletilmesinin suprahyoid kas grubunun karşı gücü nedeniyle çenenin tekrar eski pozisyonuna döneceği düşüncesi ve sıklıkla ortaya çıkan kemik grefti ihtiyacıydı (19).

Günümüzde SSRO en sık kullanılan mandibular ortognatik cerrahi tekniğidir. Mandibulanın tüm yönlerde yeteri kadar hareket edebileceği kadar serbestleşebilmesi her türlü mandibular anomalide uygulanabilmesini sağlamaktadır. Bunun yanında geniş kemik temas yüzeyi rijit fiksasyonu mümkün kılmaktadır.Bu şekilde mandibulomaksiller fiksasyona daha az ihtiyaç duyulmuştur (23,24,25).

2.5. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİ

Bilateral SSRO mandibular uyumsuzluklarının tedavisi için kullanılan cerrahi prosedürdür. İlk olarak 1957'de Trauner ve Obwegeser tarafından tanımlandı. O zamandan beri, cerrahi prosedürü kolaylaştırmak ve stabiliteyi en üst düzeye çıkarmak amacıyla tekniğin çeşitli modifikasyonları yapılmıştır. Güncel kullanılan SSRO'nun temelleri Dal Pont - Obwegesser modifikasyonu ile tanımlanmıştır (21,22).

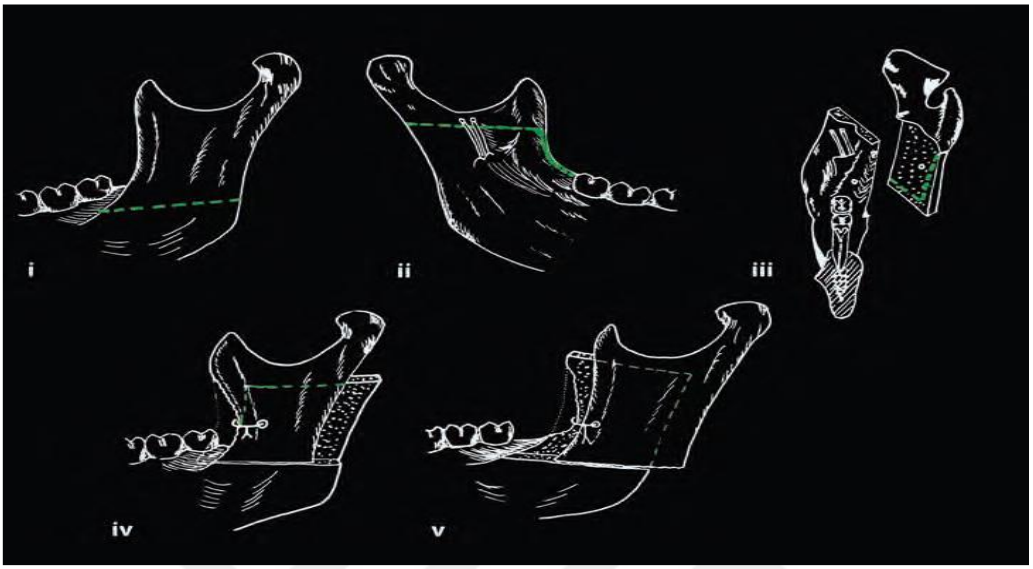
Bu modifikasyonda kondiler parça ile ramus arasında sürekli bir kesi ile ayrılma değil, split yapılarak kemik teması artırılması amaçlanmıştır. Sonrasında Hunsuck, ramusun medial yüzeyinden yapılan, mandibulanın en posterior sınırına kadar uzanan kesinin daha kısa tutularak lingulanın üzerindeki spongioz kemikte bitirilmesini önermiştir. Kısaltılan kesi; tam uzunlukta medial osteotomiye kıyasla cerrahiyi kolaylaştırıp kötü kırık oranını azaltmıştır. Ayrıca distal segmentin daha serbest kalması sağlanmıştır. Wolford tarafından yeni modifikasyonlar önerilmiş ve ortognatik cerrahide önemli ilerlemelere katkıda bulunulmuştur (23).

Günümüzde kullanılan SSRO temel olarak 3 osteotomiden oluşur; yatay kesi ramusun medial tarafında ve lingulanın üstünde yer alır. Dikey kesi mandibula lateralinde birinci veya ikinci molar diş hizasında bulunur. Ardından, iki kesi eksternal oblik sırt boyunca birleştirilir. Kesiden sonra, mandibula proksimal segment ve distal segment olmak üzere iki kısma ayrılır ve çeşitli fiksasyon teknikleri ile sabitlenir. Lingula pozisyonu, inferior alveoler sinirin seyri, 3. molar dişlerinin varlığı ve distal segmentin hareket miktarının büyüklüğü gibi faktörler kişiden kişiye değişebilmektedir. Bu değişkenlere göre SSRO'da bazı modifikasyonlar uygulanabilir (24).

2.5.1. Obwegeser ve Trauner'ın Sagittal Split Ramus Osteotomisi

Obwegeser ve Trauner 1957 yılında mandibular iskeletsel maloklüzyonları istenilen yönde yeniden pozisyonlandırmaya olanak sağlayan bilateral SSRO tekniğini tanımlamışlardır. Bu teknikte lateral oblik sırt boyunca 2 yatay kortikal osteotominin bağlanması ve ramusun arka kenarına kadar uzatılması olarak tanımlanmıştır. Bu osteotomi tekniğinde osteotomi hattı ramusun medialinde lingula seviyesinde yatay olarak ilerler, lateralde ise angulusun önünde konumlandırılır (Şekil 2.1). Ramus osteotomisi lateral korteks boyunca kesi yapılarak elde edilmiştir. Bu prosedüre sagittal

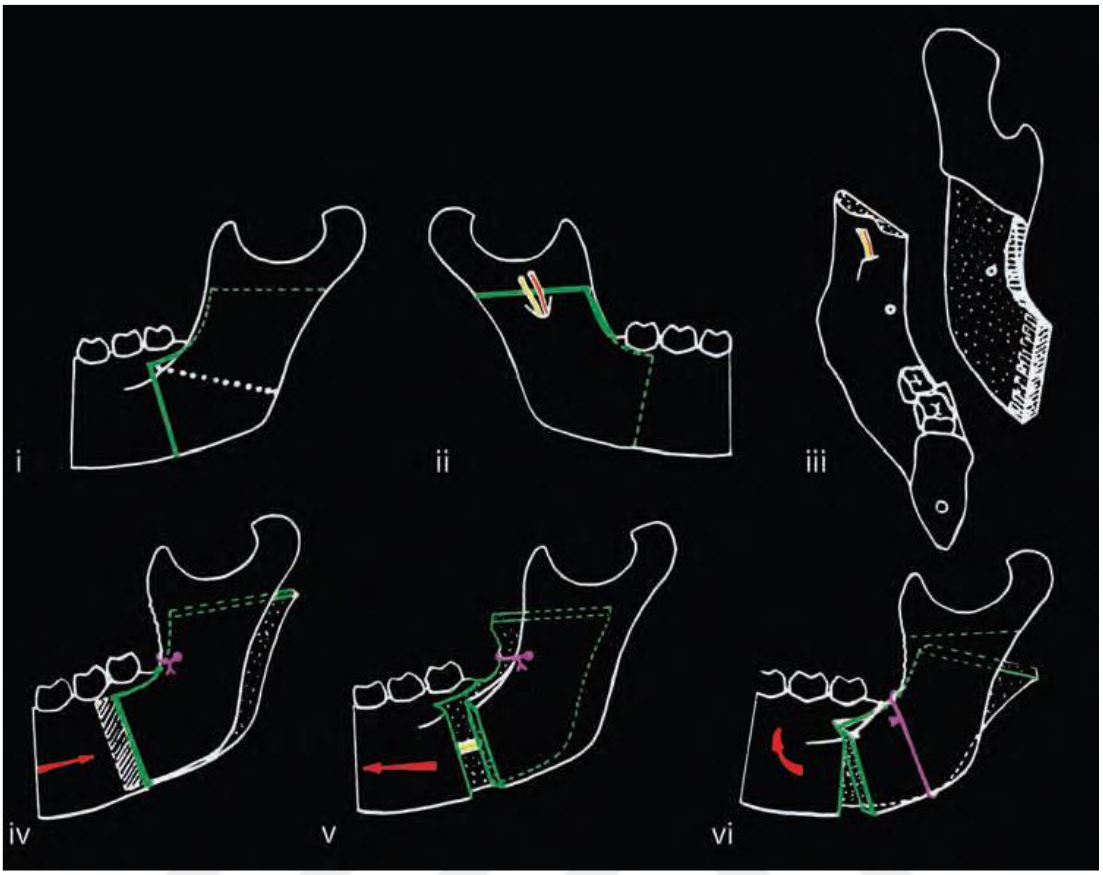
split prosedürü denir ve inferior alveaolar sinire hasar verilmemektedir. Daha sonra bu teknik üzerine birçok modifikasyon geliştirilmiştir (12).



Şekil 2.1: Obwegeser ‘in orijinal Sagittal Split Ramus Osteotomisi (25)

2.5.2. Dal Pont Modifikasyonu

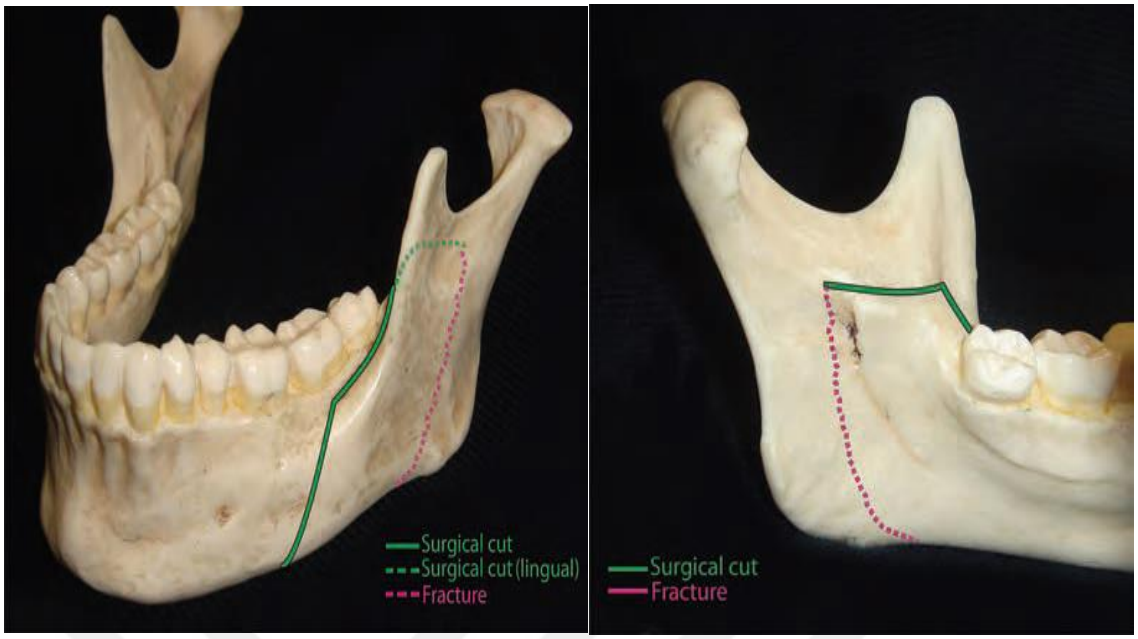
1959 yılında İtalyan cerrahi uzmanı Giorgio Dal Pont, Obwegeser’i ameliyatlarında asiste etmiş ve lateral osteotomiyi öne doğru taşımayı ve mandibula gövdesi boyunca vertikal olarak yapmayı tavsiye etmiştir. 1961 yılında lateral osteotomiyi korteks boyunca uzatmayı tanımlamıştır (Şekil 2.2). Bu kesi literatüre Dal Pont modifikasyonu olarak geçmiştir (22).



Şekil 2.2: Dal Pont modifikasyonu (25)

2.5.3. Hunsuck Modifikasyonu

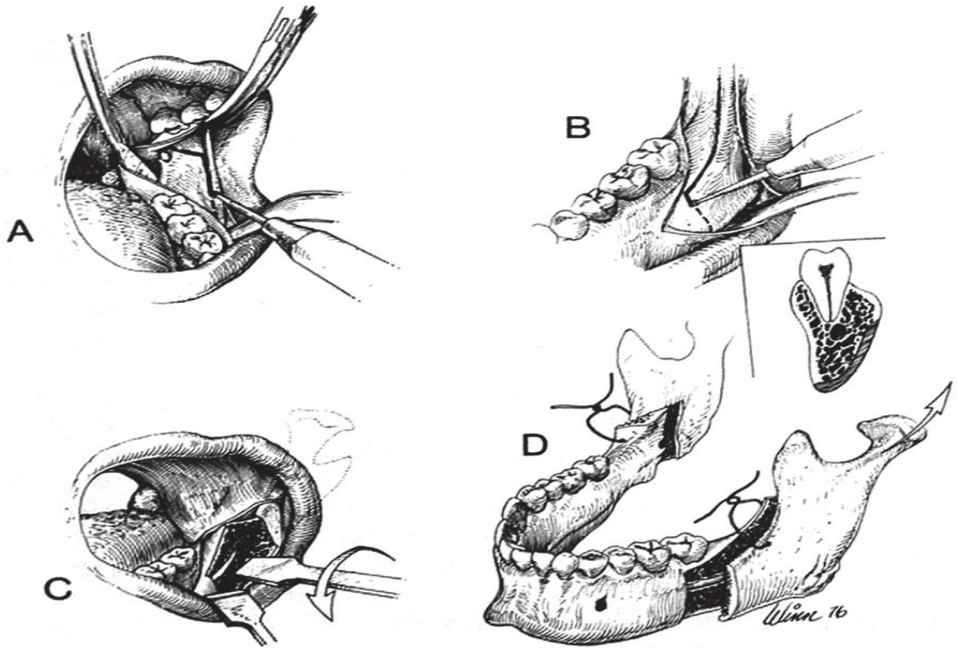
1968 yılında Hunsuck medial osteotomiyi en fazla mandibular foramen hizasına gelecek şekilde kısaltmıştır. Hunsuck Dal Pont'un tekniğinde yaptığı gibi lingulayı geçen uzun bir kesim yapmanın gerekli olmadığını düşünüyordu. Hunsuck, mandibulayı ayırmak için osteotomlar kullanmaktaydı bu yüzden Dal Pont osteotomisinin lingual bölgesindeki bölünmenin doğal olarak oluşacağını düşünmüştü. Hunsuck tarafından yapılan osteotomide bukkal vertikal kesi ise ikinci molar dişin hemen distalindedir (Şekil 2.3) (23).



Şekil 2.3: Hunsuck modifikasyonu (25)

2.5.4. Epker Modifikasyonu

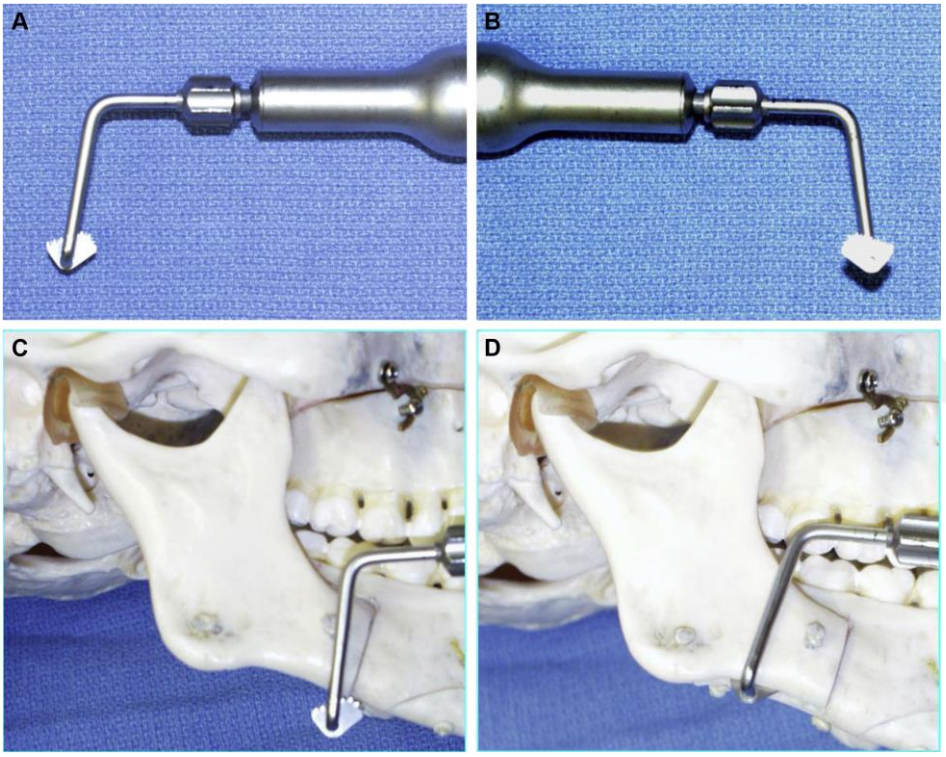
1977 yılında Epker mandibulanın doğru ayrılmasını sağlamak ve kötü kırık oluşumunu önlemek için alt mandibular korteksin tamamen kesilmesine ihtiyaç olduğunu söyledi. Bunun için de lateral osteotomiyi mandibula lingualine kadar uzatan bir modifikasyon tanımladı (Şekil 2.4) (26).



Şekil 2.4: Epker modifikasyonu (27)

2.5.5. Wolford Modifikasyonu

Wolford mandibulanın alt sınırında stabiliteyi kolaylaştıracak ve komplikasyonları en aza indirecek sagittal bölünme oluşturmak için yeni bir tekniği tanımlamaktadır. Modifiye teknik, mandibulayı sagittal olarak ayırmadan önce yapılan ön kemik kesilerinin bir parçası olarak bir alt sınır osteotomisini içerir. Bu kesi için özel olarak tasarlanmış bıçaklar geliştirilmiştir. Kesi mandibula alt sınırına paralel ve korteksin bukkolingual olarak tam ortasında olmalıdır. Sinir demetinin korunması için kesi derinliği 5 mm olarak planlanmıştır (Şekil 2.5) (28).



Şekil 2.5: Wolford modifikasyonu ve kullanılan materyal (29)

Sagittal split ramus osteotomisinin birden fazla modifikasyonu mevcuttur ancak daha çok cerrahın bireysel tercihine göre değişkenlik göstermektedir.

2.5.6. Cerrahi Prosedür

Öncelikle cerrahi çalışma alanına tam hakim olmak önemlidir. Bunun için ağız açacağı kullanılarak çeneler olabildiğince geniş açılır (29).

Ramus bölgesine vazokonstrüktörlü bir lokal anestezi uygulanır. Daha sonra insizyon hattı belirlenir. Bu insizyon hattı eksternal oblik sırt boyunca yapılır. Ramusun ortasından başlayarak aşağıya doğru devam eder ve birinci molar dişin bukkal orta hizasında bitirilir. İnsizyon, flebin kolayca dikilmesine olanak sağlayacak şekilde hizalanmalıdır. Dikiş atılırken kolaylık olması açısından insizyonun gingival tarafında geniş dişeti bırakılmalıdır (4).

Periost kaldırılarak mandibulanın lateral korteksi alt sınırına kadar görülür. Posteriorda proksimal segmentin beslenmesini korumak için periost antegonial çentike kadar açılır. Bu aşamada görüş alanını arttırmak için lateral kanal retkraktörü yerleştirilebilir. Ramusun mediali, kondilin ön kısmına inferior alveolar sinir göz önünde bulundurularak lingulayı görecek periost kaldırılarak açılır. Periost elevasyonu kesi bölgesini daha iyi görebilmek için ikinci molar dişin distaline kadar uzatılabilir. Elevasyon sırasında lingual sinire dikkat edilmelidir (5,29).

Osteotomiye ramusun medial korteksinin posteriorundan başlayıp lingulanın üstünden anteriora doğru uzanan yatay bir kesi ile başlanır. Ramusun ön yüzünden eksternal oblik sırt boyunca ilerler ve son olarak 2. molar hizasında aşağı doğru uzatılır. Osteotomiler kortikal kemikte kalmalıdır. Spongioz kemiğe inmemelidir. Ramusun iç korteksindeki horizontal osteotomi lingulanın hemen üzerinden yapılmalıdır. Osteotomi sırasında yumuşak dokuları korumak için geniş ve büyük ekartörler kullanılır. Bu horizontal osteotomi seviyesinde bukkal ve lingual korteksler arasında belirgin bir spongioz kemik dokusu bulunmayadabilir (5,11,35).

Vertikal osteotomi oluşturulurken lateral kortikal kemikte mandibulanın alt kenarı ile 90° açı yapmalıdır. Birinci ve ikinci molar dişler bölgesinden yapılır. Kortikal kemiğin altında damar sinir paketi mevcuttur. Bu sebeple osteotomi sadece kortikal kemik boyunca devam etmelidir. Vertikal osteotomi spongioz kemik başlangıcına kadar uygulanmalıdır ve daha fazla derinleştirilmemelidir (4).

Vertikal ve horizontal kortikal osteotomi ramus ön sınırından başlanarak eksternal oblik sırtın içinden aşağı doğru devam edecek şekilde birleştirilir. Osteotomi spongioz kemiğin içine kadar yapılmalıdır, spongioz kemik bulunmadığı durumlarda bağlantı kesisinin noktası olduğunca derinleştirilmelidir. Bu, medial kortekste kötü kırık oluşma ihtimalini azaltacaktır (10).

Mandibular 3. molar dişlerin bulunması cerrahiyi daha zor hale getirebildiği için SSRO'dan önce diş çekimlerinin yapılmasının daha doğru olduğu düşünülmektedir. Gömülü bir 3. molar dişi mevcutsa ve ameliyat sırasında çıkarılması planlanmışsa komplikasyonlara sebebiyet verebilir. Gömülü diş varlığı; bukkal ve lingual tabakalarda kırıklara neden olabilir, split işlemini ve fiksasyonu zorlaştırır (4).

Kortikal kemik kesileri tamamlandıktan sonra split işlemine geçilir. Fazla geniş olmayan ve ince uçlu bir osteotom ramusun medial korteksindeki horizontal osteotomi boyunca ilerletilir ve yönlendirilir. Daha sonra ramusun anterior sınırından aşağı doğru ilerler ve ramusun gövdesi boyunca osteotomiyi mandibulanın alt sınırına kadar takip eder. Hareket vertikal osteotomi boyunca başlatılır ve arkaya doğru dikkatlice uzatılır. Osteotom kortikal kemiğin hemen altında tutulmalıdır. Bu cerrahi için çok önemlidir. Operasyonun bu aşamasında inferior alveolar sinire zarar vermemek için dikkatli bir şekilde uygulanmalıdır. Medial korteks boyunca posterior split yapıldığında, splitin mylohyoid fossa arkasına ve kondil boynunun başlangıcına ilerlemesini önlemek için dikkatli olunmalıdır. Sabit orta basınç, kemiği yavaşça ayırır. Split hızı genellikle kemiğin esnekliğine bağlı olarak değişir. Yaşlı hastalarda daha hızlıdır. Bunun sebebi kemik elastitesi azalmış olmasıdır (4,10).

Segmentler arasında hareket kolaylığı sağlamak için yapışık olan medial pterygoid kas liflerinin bir kısmı eleve edilir. Proksimal veya distal segmentten kemik temasları temizlenir bu sayede kondilin istenmeyen yer değiştirmesi önlenir. Çift taraflı SSRO tamamlandıktan sonra mandibula planlanan pozisyonuna getirilir ve intermaksiller fiksasyon sabitlenir. Cerrahi öncesi elde edilen modeller ile oluşturulan okluzal splintin kullanılması operasyon başarısını arttırır (10).

Okluzal stabilizasyon sağlandıktan sonra mini plak veya vidalar kullanılarak fiksasyon yapılır. Kemik fiksasyonu tamamlandıktan sonra intermaksiller fiksasyon açılarak gerekli kontroller yapılır. Trokar için ciltte osteotomi yapılmış ise cilt prolen sütur ile kapatılır. İşlem bölgesi irrige edilir ve dikiş atılır (4).

2.6. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİ ÇALIŞMALARI

2.6.1. In Vitro Çalışmalar

2009 yılında Plooij ve arkadaşları yaptıkları çalışmada mandibulada SSRO sonrası lingual kırık hattının 3 boyutlu değerlendirilmesini yapmışlardır. Ayrılma paterninin medial osteotominin uzunluğundan etkilendiğini gözlemlemişlerdir. 3 boyutlu görüntülemenin, cerrahi sonucu analiz etmek için yararlı bir araç olduğunu ve lingual kırık hattındaki proksimal segmentlerin konumu hakkında önemli veriler sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir (31).

2015 yılında Böckman ve arkadaşları geleneksel SSRO ile bu osteotomiye Wolford' un alt kenar kesisi eklenmiş modifikasyonunu karşılaştırmışlardır. Bu sayede alveolar sinir hasarı ve kötü ayrılma ihtimallerini değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 35 adet kadavradan elde edilen insan mandibulasının bir tarafına geleneksel Obwegeser-Dal Pont osteotomisi diğer tarafına ise ek olarak Wolford'un Alt kenar osteotomisini uygulayarak modelleri kurdukları düzenek ile standart bir şekilde sabitlemişlerdir. Daha sonra aynı düzenek ile mandibulaların ayrılması için gereken tork değerini ölçmüşler ve mandibula kırık hatlarını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak mandibula alt kenarına Wolford alt kenar kesisinin eklenmesi, in-vitro ortamda mandibulayı ayırmak için gerekli kuvveti önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir. SSRO'nun bu modifikasyonunun, tüm bu ayrılmaları sinirden daha güvenli uzaklıkta gerçekleştirerek inferior alveolar sinir hasarına da daha az sebep olabileceği düşünülmüştür (32).

Sankar ve arkadaşları benzer bir çalışmada 15 adet kuru keçi kadavra mandibulası kullanmışlardır. Geleneksel Obwegeser-Dal Pont SSRO tekniği ile bu osteotomiye Wolford' un alt kenar kesisi eklenmiş modifikasyonunu lingual ayrılma skalasına göre karşılaştırmak istemişlerdir. Mandibulaların sol tarafına Obwegeser-Dal Pont SSRO tekniğini uygulamışlardır. Sağ tarafta ise bu osteotomiye Wolford' un alt kenar kesisini eklemişlerdir. Mandibulaları özel bir düzenek ile sabitlemişler ve özel olarak tasarlanmış ayırıcı ve tork ölçüm cihazı kullanılarak kuvvet uygulamışlardır. Sonuçta Wolford alt kenar kesisi uygulanan kısımlarda alt sınır boyunca mandibular kanaldan uzakta ve öngörülebilir şekilde bölünme gözlemlemişlerdir. Ayrıca Obwegeser ve Dal Pont tekniği ile karşılaştırıldığında ayrılma için gerekli kuvvetin yüzde 31 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir (33).

2012 yılında Muto ve arkadaşları SSRO'dan sonra oluşan kırık hattını 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi ile incelemişlerdir. Mandibular prognatizmli 30 hastanın 10 tanesinde mandibulanın bukkalinde bitirilen lateral kesi, 10 tanesinde mandibula tabanının ortasında bitirilen lateral kesi son 10 tanesinde ise mandibula tabanının lingualinde bitirilen lateral kesi uygulamışlardır. Ameliyattan 1 ya da 2 hafta sonra alınan 3 boyutlu bilgisayarlı tomografiler ile mandibular kanal boyunca kırık hatlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak lingulanın hemen üzerinde bitirilen medial kesi ve mandibula tabanının lingualinde bitirilen lateral kesi uygulandığında arzu edilen bir ayrılma paterni oluştuğunu görmüşlerdir. Bu incelemeler sonunda aynı zamanda mandibular ramusun ayrılma paternlerinin lateral kesi konumu ile yönlendirilebileceğini göstermişlerdir (34).

Zamiri ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı çalışmada kısa ve uzun medial kesi modifikasyonlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada 3 boyutlu konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) verileri kullanılarak lingual kırık paternleri değerlendirmişlerdir. Bu prospektif çalışmaya 46 hasta dahil edilmişlerdir. 2 tip medial kesi uygulamışlardır. Hastaların yarısında medial kesi lingulanın hemen üzerinde diğer yarısında ise lingulanın 3-4 mm gerisinde bitirmişlerdir. Sonuçta üç kırık paterni tespit etmişlerdir. Kısa ve uzun bir medial osteotomi hattı kötü kırık prevalansını veya kırık paternlerini değiştirmediği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda ramusun kemik kalınlığının ramusun medial tarafındaki kırık paternlerini etkileyebileceğini düşünmüşlerdir (35).

2017 yılında Möhlhenrich ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Obwegeser-Dal Pont ve Hunsuck-Epker modifikasyonunu karşılaştırmışlardır. 2008 ve 2016 yıllarında yapılmış operasyonların sonuçlarını bilgisayarlı tomografi verileri ile değerlendirmişlerdir.Sonuç olarak kötü kırık oluşumu açısından anlamlı bir fark bulamamışlardır. Fakat Obwegeser-Dal Pont modifikasyonunda daha fazla lingual plaka kırıkları görüldüğü için daha fazla sinir hasarı oluşabileceğini vurgulamışlardır (36).

2.6.2. Kadavra Çalışmaları

2015 yılında Verweij ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 28 dişli kadavra mandibulası kullanmışlar ve bu çalışmada bukkal kesiyi açılı hale getirdiklerinde oluşacak kırık patternlerini araştırmışlardır. Sonuçta açılı kesi uygulandığında kırık hattının alt sınır kesisinden dolayı daha lingualde kaldığını ve kötü ayrılma riskinin

azaldığını gözlemlemişlerdir. Fakat çalışmanın klinikte kullanılmadan önce klinik çalışmalar ile pekiştirilmesini tavsiye etmişlerdir (37).

2015 yılında Dammous ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kadavra mandibulası kullanmışlardır. Bu çalışmada bilgisayarlı üç boyutlu tomografi kullanarak geleneksel testere ve frez kullanımı ile ultrasonik kesici başlıkların kullanımını kıyaslamışlardır. Sonuç olarak piezzo kullanıldığında daha düzgün bir ayrılma gözlemlemişlerdir (38).

2018 yılında Möhlhenrich ve arkadaşları kadavra mandibulası kullanarak yaptıkları çalışmada hem frez ve ultrasonik cihazları hem de Wolford alt kenar kesisi kullanıldığında oluşan kırık paternlerini araştırmışlardır. Bu çalışmada CBCT verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada kesi tipi ile kırık paternleri arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (39).

2.6.3. Hayvan Çalışmaları

2011 yılında Böckmann ve arkadaşları 100 adet domuz mandibulası kullanarak yaptıkları çalışmada SSRO modifikasyonlarını karşılaştırmışlardır. Domuz mandibulalarına Wolford alt kenar kesisi uygulayarak özel bir test düzeneğinde kurmuşlardır. Sonuç olarak uygulanan Wolford alt kenar kesisinin ayrılmayı kolaylaştırdığı ve sinir hasarı oluşumunu azalttığını gözlemlemişlerdir (27).

2011 yılında Schoen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada domuz mandibulası kullanmışlardır. Bu çalışmada Obwegeser–Dal Pont tekniği ile bu tekniğe ilave olarak Wolford alt kenar kesisini karşılaştırmışlardır. Sonuçta Wolford alt kenar kesisi uygulanan mandibulalarda daha düşük tork kuvveti ile ayrılmanın gerçekleştirildiğini gözlemlemişlerdir (40).

2023 yılında Franco ve arkadaşları yaptıkları çalışmada domuz mandibulası kullanarak Hunsuck/Epker, Wolford, and Posnick modifikasyonlarını karşılaştırmışlardır. Sonuçta Wolford tekniği, tercih edilen lingual kırık paternini oluşturmuş ve en öngörülebilir sonucu vermiştir. Posnick tekniği daha düşük torkta ayrılmayı sağlamıştır. Çalışmada çıkan sonuçların klinik çalışmalar ile pekiştirilmesi tavsiye edilmiştir (41).

2.7. SAGİTTAL SPLİT RAMUS OSTEOTOMİSİNDE KOMPLİKASYONLAR

2.7.1. Relaps

Sagittal split ramus osteotomisinde stabilite, üzerinde en fazla durulan ve çalışılan konudur. Relaps oranları genellikle hastanın başlangıç deformitesine bağlıdır. Fakat oranlar literatürlerde farklılık gösterir. Relaps, tek bir etkeni olmayan çok faktörlü bir problemdir. Net teşhis, doğru planlama ve doğru cerrahi teknik, hekime önemli destek sağlar. Yumuşak doku ve kasların durumu ile orofasiyal alışkanlıklar operasyon sonrası stabiliteyi etkileyebilir. Relapsa etki eden faktörlere mandibular hareketin tipi, segmentlerin pozisyonu ve temporomandibular diskin yer değiştirmesi de eklenebilir. Relaps ihtimali mandibular geriletme ve ilerletmeler arasında da farklılık gösterir. Bu yüzden etkenleri genellikle farklıdır. Öte yandan relapsı önlemedeki ilkelerin çoğu benzerlik göstermektedir. Mandibular ilerletmelerde çoğunlukla yumuşak doku baskıları ve kas hareketlerinin relapsı etkileyen faktörler olduğu düşünülmektedir. Suprahyoid kasların diseksiyonu ve intermaksiller fiksasyon bu etkileri en aza indirmek için uygulanabilmektedir. Bunlarla birlikte, internal destek tekniklerinin etkili olduğu düşünülmektedir. İnternal desteğin ise rijit fiksasyon vidaları ve plakları kullanılmadan önce uygulanmasının mandibular ilerletmelerdeki relaps ihtimalini azalttığı gösterilmiştir. Bu yöntem çoğunlukla intermaksiller fiksasyona ilave olarak kullanılır ve iskeletsel relapsı önlemek için priform rimden premolar ve molar bölgeye teller ile bağlanarak uygulanmıştır (4,10).

Hastanın yaşı, mandibular düzlem açısı, proksimal segmentin pozisyonu, distal segment ilerletme oranı ve kondilin deplasmanı diğer relaps sebepleri olarak sayılabilir. Özellikle büyüme çağındaki bireylerdeki mandibular prognatizm tedavisinde uzun dönem relaps görülmemesi için mandibular geriletme miktarı çok önemli bir faktördür (4).

Temporomandibular eklemde disk deplasmanı olan bireylerde mandibular ilerletme operasyonu uygulandığında erken relaps ortaya çıkabilir. Bazı araştırmalarda relaps ile saat yönünün tersi rotasyon arasında bir ilişki olduğunu belirtilmiştir. Hem mandibular ilerletme hem de mandibular geriletmede rijit fiksasyon uygulamasının relapsı etkilediği düşünülmektedir. Bazı araştırmacılar, osteotomideki fiksasyonun kondilin fossada normal olarak yeniden konumlandırılmasını engelleyebileceğini

düşünmüşlerdir. Relaps insidansını azaltmak için tel osteosentezinin intermaksiller fiksasyondan daha iyi bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir. Kapsamlı araştırmalar, SSRO'nun fiksasyonu için 3 adet bikortikal vida kullanılmasının stabiliteyi arttırdığını net olarak göstermiştir. Bu çalışmalar, ortalama %0 ile %8 arasında bir relaps oranını rapor etmiştir. Rijit internal fiksasyon tekniklerini tel fiksasyonu ile karşılaştıran araştırmaların çoğu, teknikler arasındaki stabilite açısından anlamlı bir fark olduğunu da teyit etmiştir. Bu iki yöntemin de avantaj ve dezavantajlarının olduğu endikasyonlar bildirilmiştir. Her bir olgunun cerrahi bölgenin yerleşimine, hastanın yaşı, genel durumu ve dişlerinin durumunun getirdiği koşullara göre ve hekimin deneyimi ve merkezin olanakları gibi pek çok faktöre göre tek tek ele alınması ve seçilecek yöntemin belirlenmesi tavsiye edilmiştir. SSRO'nun rijit fiksasyonu için bir diğer yöntem de mini vida ve plakların kullanılmasıdır. Genel olarak, 2 mm sistemler osteotominin her iki tarafına yerleştirilen ikişer vida ile kullanılır. Daha fazla vida ve plak kullanımının relapsı önlemek için ne kadar fayda sağlayacağı ile ilgili çalışmalar ise halen devam etmektedir (4,10,42).

2.7.2. Sinir Hasarı

Oral ve maksillofasiyal cerrahi işlemler sırasında sinir hasarı sık karşılaşılan bir komplikasyondur. Sinir zedelenme riski olan cerrahi işlemler; gömülü diş çekimleri, travma tedavileri, ortognatik cerrahi, dental implant cerrahisi, kist tümör cerrahisi, preprotetik cerrahi işlemler şeklinde sıralanabilir. Hastaların büyük bir kısmında 6-8 hafta içinde kendiliğinden iyileşme gözlenir fakat bazı vakalarda duyu kayıpları 6 ay veya daha uzun bir süre devam edebilmekte hatta bu hastalarda çeşitli seviyelerde kalıcı nöropatik bozukluklar oluşabilmektedir (43-45).

Ortognatik cerrahi sonrasında da sinir hasarı ile sık karşılaşılmaktadır. İnferior alveolar, lingual, infraorbital ve çok nadir maksiller sinir dallarını etkilenmektedir. Hasarlar cerrahi alet ile delinme, laserasyonlar, osteotomi sonrası mobilizasyon sırasında gerilme veya rijit fiksasyon amacıyla vida yerleştirilmesi sırasında sinire basıdan kaynaklanabilir (46,47).

Sagittal split ramus osteotomisi sonrasındaki ilk hafta parestezi görülmesi genellikle beklenen bir durumdur. Çalışmalarda gözlenen inferior alveolar sinir zedelenmesi oranı SSRO sonrasındaki ilk haftada %97'dir. Cerrahi sonrası inferior alveolar sinir duyu kaybı oranları çalışmacılara göre farlılık göstermektedir. Örneğin

cerrahi teknik ve chisel kullanımı sinir hasarı oranını artırmaktadır. Al-Bishri ve ark. tarafından sinir hasarı oranı %11.6 ve Kallela ve ark. tarafından ise %27 olarak bildirilmiştir. Ortognatik cerrahi sırasında lingual sinirin de hasar görme riski bulunur. Mandibulada bikortikal vida fiksasyonu sırasında lingual sinir korunmazsa vidalar medial korteksi delerek lingual sinire zarar verebilir (46,48-51).

2.7.3. Temporomandibular Eklem Disfonksiyonu

Günümüzde eklem ağrıları ve temporomandibular eklemden gelen sesler ile birlikte temporomandibular eklem disfonksiyonu yaygın bir durumdur. Ağrı ve ses en sık karşılaştığımız belirtilerdir. Maloklüzyonun TME disfonksiyonun bir etyolojisi olduğu düşünülmektedir (17).

Ameliyat öncesi bulgulara göre ameliyat sonrası semptomların insidansı ve mandibular hareket aralığındaki değişim olmak üzere iki şekilde temporomandibular eklem disfonksiyonunun insidansı değerlendirilmiştir. Temporomandibular eklem problemlerinin insidansının bildirilmesi, oldukça farklı şekillerde yorumlanmıştır. Birçok araştırmada preoperatif duruma değinilmeden sadece postoperatif şikayet durumu değerlendirilmiştir. Ameliyat öncesi ve sonrası temporomandibular eklem şikayetlerini karşılaştıran ilk derlemelerde SSRO'yu takiben ağrıda değil, eklem sesinde bir artış olduğunu işaret etmektedir (16).

2.8. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Son yıllarda kullanılan kuvvet ve stres analiz yöntemleri, bir cisme uygulanan kuvvetlerin nerede biriktiğini ve buna bağlı cismin şeklinin nasıl oluşturulması gerektiğini gösteren tekniklerdir. Diş hekimliğinde kullanılan analiz yöntemleri, işlem sırasında uygulanan kuvvetlerin diş, kemik gibi yapılar üzerinde oluşturduğu gerilme ve gerinimlerin, bunların biriktiği bölgelerin, çene, kemik ve diş yapısında meydana gelebilecek değişimlerin izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (52).

Diş hekimliğindeki biyomekanik araştırmalarda da kullanılan stres analiz yöntemleri; kırılabilir vernikle kaplama yöntemi (brittle lacquer coating), fotoelastik kuvvet analizi (photoelastic stress analysis), termografik stres analizi (thermografic stress analysis), gerilim ölçerin kullanıldığı stres analizi (stress analysis by using strain gauges), lazer ışınlı stres analizi ve sonlu elemanlar stres analizidir (53).

Bu yöntemlerden pek çoğunun kompleks ve canlı bir doku olan kemik yapısının iç birimlerindeki stres dağılımını ve reaksiyonlarını değerlendirmekle sınırlı kaldığı düşünülmektedir. Bu durum biyomekanik reaksiyonların daha ayrıntılı olarak tanımlanmasına gereksinim duyulduğunu göstermektedir. Sonlu elemanlar analizi ile analitik çözümü olmayan sorunlara çözüm bulunabilmektedir. Bu sebeple de deneysel yöntemlere alternatif yeni bir simülasyon ve deney aracı olarak kullanılabilmektedir (53).

Sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen değerler, varyansı olmayan matematiksel hesaplamalar sonucunda ortaya çıktığı için istatistiksel analizler yapılamamaktadır. Amaç, elde edilen değerlerin ve stres dağılımlarının dikkatli bir şekilde incelenmesi ve yorumlanmasıdır. Bu ve benzeri çalışmalar sonunda varılacak klinik sonuçlar açısından elde edilen verilerin en doğru ve güvenilir şekilde değerlendirilmesi çok önemlidir (52).

Mandibular osteotomi için yeni operatif tekniklerin tanıtılmasının yanı sıra, mevcut teknikleri iyileştirmek ve tedaviyi daha atravmatik hale getirmek için yeni yöntemler ve aletler geliştirildi. Mandibular osteotomi uygulandığı günden itibaren kötü kırık riskini, kötü kaynama riskini ve sinir hasarı riskini azaltmak için bir çok modifikasyon araştırılmıştır. Bu modifikasyonlar, preoperatif ve postoperatif komplikasyon sıklığını azaltmış ve cerrahi sonrası sonucun stabilitesini ve başarısını iyileştirmiştir. Tüm bu çalışmalara rağmen SSRO ile ilişkili birçok komplikasyon halen karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada da kötü kırık oluşma riskini sonlu elemanlar analizi yöntemi ile test ettik (54).

Çalışmamızda farklı SSRO tasarımları mandibulanın yapısı tamamıyla gözetilerek 3 boyutlu olarak modellenecektir. Cerrahi sırasında uygulanan kuvvet bilgisayar ortamında simüle edilip aktarılarak mandibula üzerindeki stresin yoğunlaştığı bölgeleri sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmek amaçlanmaktadır. Böylece hangi SSRO kesi dizaynının istenilen kırılma hatlarında stresi yoğunlaştırdığı hangisinin istenilmeyen noktalarda stresi yoğunlaştırdığı değerlendirilecektir. Bu sayede kullanımı en güvenilir olan osteotominin tespitine yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Literatürde SSRO'da ve mandibula kırıklarında kullanılan biyomateryallerin dayanıklılığı ile ilgili birçok sonlu elemanlar analizi çalışması bulunmaktadır. Bunun yanında implant cerrahisi, protetik stres değerlendirmeleri ve ortodontik tedaviler ile ilgili birçok sonlu elemanlar analizi çalışması bulunmaktadır. Bunlarla birlikte SSRO'nun

splitting manevrası sırasında kötü kırık oluşumu ile ilgili literatürde birçok hayvan deneyi ve in vitro çalışma bulunmaktadır. Fakat hayvan çeneleri ile insan çenesi arasında gerek kemik yoğunluğu gerekse form açısından belirgin farklar bulunduğu için, bu çalışmalardan alınan sonuçlar doğrudan insan çenesine yansıtılması ideal değildir. Kadavra çalışmalarında ise bu sakınca giderilmiş olmasına rağmen kadavra çenelerinin bekletildiği formalin solüsyonunun çene kemik mekanik özelliklerini etkilediği ve farklı insanlara ait çenelerin homojen anatomik özellikler göstermediği gibi sorunlar bulunmaktadır (30).

Yapacağımız çalışmada günümüzde yaygın kullanılan SSRO modifikasyonları karşılaştırılarak splitting manevrası sırasında doğru bölgelerde ve minimum stresin oluştuğu osteotomi yöntemini sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmek ve kullanımı en güvenilir olan osteotomi yönteminin tespitine yardımcı olmak amaçlanmıştır. Bu çalışma ile ilk defa simülasyon ortamında net stres değerleri gözlenecektir. Bu stres değerleri farklı kesi dizaynlarıyla karşılaştırılacaktır. Planladığımız çalışma bu konuda insan mandibulasını taklit eden ve birçok modifikasyonu içeren modeller kullanılarak yapılacak ilk stres analizi çalışması olma özelliği taşımaktadır. Böylelikle ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalara yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

Ayrıca ortognatik cerrahi komplikasyonlarından bir tanesi de temporomandibular eklem hasarıdır. Ortognatik cerrahi ameliyatlarında temporomandibular eklemin korunması önemlidir. Çalışmamızda aynı zamanda modellerde oluşan stresin temporomandibular eklem kondiline ve koronoid uzantısına uzanıp uzanmadığı incelenerek hangi modellerin eklem güvenliği için daha ideal olduğu tartışılmıştır.

Bu çalışmada tek tip, 3 boyutlu mandibula geometrik modeli oluşturulacaktır. Model oluşturulduktan sonra alan elemanlara bölünür ve bir ağ modeli oluşturulur. Bu ağ modeli oluşturma kısmı sonlu elemanlar analizinin temelini oluşturmaktadır. Bir boyutlu cisimler birbirine düğümlerle, iki boyutlu cisimler çizgilerle, üç boyutlu cisimler düzlemlerle sonlu elemanlara ayrılır. Sonuçta cisim, sonlu elemanlar ve onları birbirine bağlayan düğümlerden oluşan bir sistemle yer değiştirmiş olacaktır. Çalışmamızda farklı SSRO teknikleri (Hunsuck, Dal Pont, Wolford) sonlu elemanlar analizi yöntemi ile karşılaştırılıp ortaya çıkan görsel haritalar üzerinde ve von Mises kuvvetleri yönünden yorumladık.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırma, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı ve Medikal Dizayn Ltd. Şti. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda sağlıklı bir bireyin uluslararası protokollerde belirtilen formatta Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim (DICOM) olarak alınmış ham verileri, 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi görüntüsüne dayanarak, mandibular kanalın da bulunduğu, standart dişli ve 20 yaş dişleri olmayan mandibula Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) modeli oluşturularak, sekiz farklı osteotomi modeli üzerinde, von Mises, max principal, min principal stresleri sonlu eleman analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yapılan modellemede kemik dokusu, süngerimsi ve kortikal elementlerden oluşan izotropik ve kompozit bir materyal olarak modellenmiştir. Daha sonra bu modellerden mandibular 3 boyutlu modelde osteotomi yapıldıktan sonra çalışmaya uygun şekilde 8 farklı osteotomi modeli 3D olarak elde edilmiştir.

Sagittal split ramus osteotomisinin medial osteotomisi 4 modelde lingulanın hemen üzerinden diğer 4 modelde ise lingulanın 3 mm arkasından yapıldı. Mandibulanın lateral yüzeyinde yapılan vertikal osteotomi birinci molar dişin santral fossası hizasından yapılmıştır. Çalışmamızda 2 farklı medial osteotomi ve 4 farklı lateral osteotomi birleştirilecek şekilde 8 farklı model kullanılmıştır.

Medial Osteotomi:

1. Medial osteotomi hattı linguladan hemen önce bitirilen model (Hunsuck Modifikasyonu)

2. Medial osteotomi hattı lingulanın 3 mm ötesine uzatılan model

Lateral osteotomi:

A. Lateral osteotomi mandibula alt kenarının bukkalinde bitirilen model (Dal Pont Modifikasyonu)

B. Lateral osteotomi mandibula alt kenarının ortasında bitirilen model (Epker-Dal Pont Modifikasyonu)

C. Lateral osteotomi mandibula alt kenarının lingualinde bitirilen model (Epker Modikasyonu)

D. Lateral osteotomi mandibula alt sınır kesisi yapılacan model (Wolford Modifikasyonu)

3.1. ANALİZDE KULLANILACAK ÜÇ BOYUTLU MANDİBULA MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Üç boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi, homojen hale getirilmesi, üç boyutlu katı modelin oluşturulması ve sonlu elemanlar stres analizi işlemi için MSİ marka, İntel Core İ5 işlemcili yüklü belleği 14 GB, 64 bit işletim sistemine sahip olan bilgisayardan yararlanılmıştır.

Kemik dokularının modellenmesi için seçilmiş olan hastanın Cone Beam tomografide (SORADEX/SCANORA 3DXSY) önceden alınmış çene kemiği taranmıştır. Taramada 700 kesit elde edilmiştir. Daha sonra hacimsel veri 0,2 mm. kesit kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen kesitler, Digital İmaging and Communications in Medicine (DICOM) 3.0 formatında aktarılmıştır. Aktarılan kesitler Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) (Materialize NV Belgium V.17.0) yazılımına alındı.

Yukarıdaki protokollerde çekilmiş BT görüntülerinden elde edilen koronal, aksiyal, sagittal kesitli bilgisayarlı tomografi DICOM ham verileri Metarialise N. V. Şirketine ait MİMİCS versiyon 17 programına aktarılmış ve hastanın kafatasına ait üç boyutlu yüzey ağ yapısı oluşturulmuştur.

Oluşturulan yüzey ağ yapısında modelde uygun olmayan yapılar (ağızdaki metallerden dolayı oluşan artifaktlar, birbirinden bağımsız uçuşan ya da sivri kemik yapılarına ait parçalar, modeldeki elaman sayısının ve analiz sürelerininin artmasına sebep olacak mandibular kemik ve servikal vertabra) segmente edilerek çalışılacak ana modeli elde edilmiştir.

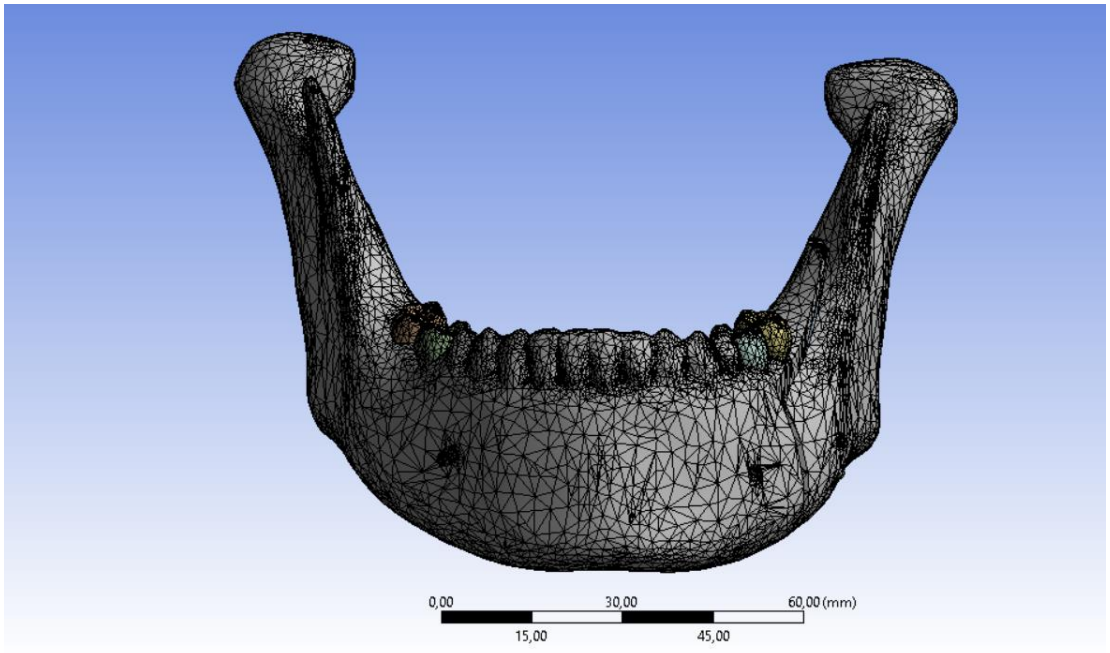
İstenilen fizyolojik bölgenin görüntüsünü işleyebilmek için BT görüntü katmanları üzerinde renkli maske oluşturulup o bölgenin ayrıştırılması gerekir. Maske oluşturma işlemi, maske eşikleme (thresholding) komutu kullanılarak yapılır. Belirli değerler aralığında kalan tüm piksellere renk atamasına eşikleme denir. Bu değerler; doku çeşidine veya yetişkin olup olmama durumuna göre farklı limit değerleri ile tanımlanmıştır. Düşük eşikleme değerleri ile yumuşak dokular (bağ, damar vb.), yüksek eşikleme değerleri ile yoğun kemikler (diş, kortikal kemik vb.) maskelenebilir.

Dişlerin modellenmesinde CT verilerinden yararlanılmıştır. Mandibular kanalın da bulunduğu, standart dişli ve 3. molar dişleri olmayan mandibula kortikal ve spongioz

kemik, homojen olarak modellenmiştir (Şekil 3.1). Literatürde yer alan çalışmalar göz önünde bulundurularak kortikal ve spongioz kemiğin elastik modül ve poisson oranları (Tablo 3.1) belirlenmiştir (55).

Tablo 3.1: Young Modulü- Poison Oranı (55)

Materyal	Young Modülü	Poison Oranı
Spongioz Kemik	1500 MPa	0,30
Kortikal Kemik	15000 MPa	0,30

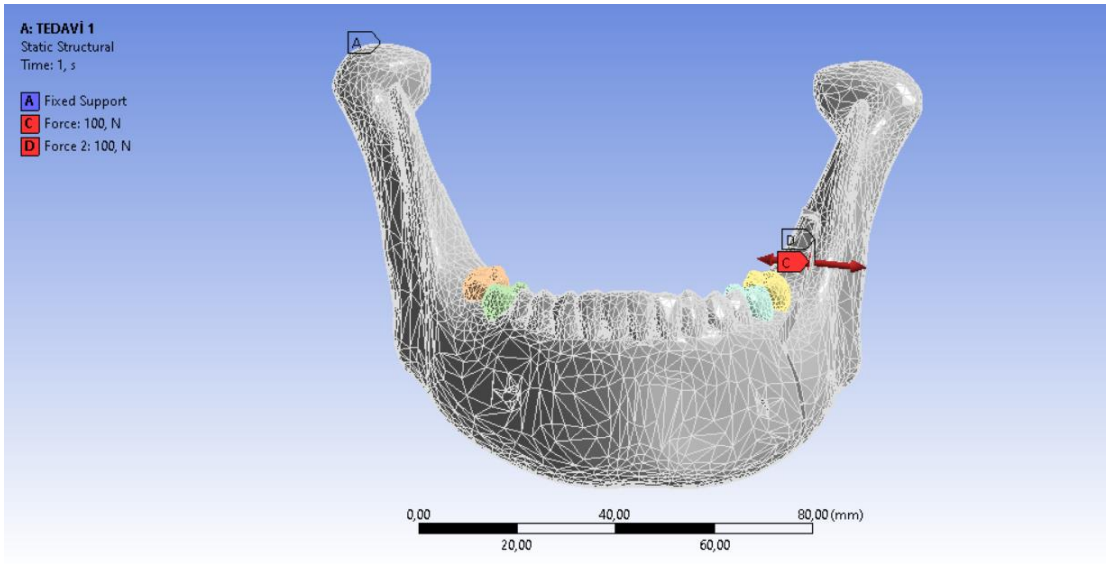


Şekil 3.1: Mesh işlemi uygulanmış mandibula modelinin ön taraftan görünümü

3.2. YÜKLEME VE SINIR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Oluşturulan model kesi yapılan tarafın karşı tarafındaki mandibula kondil tepe bölgesinden DOF (Degree of freedom)'da sıfır harekete sahip olacak şekilde sabitlenmiştir. Her modelde belirlenen ve hepsinde sabit olan kuvvet noktalarına ters yönde 100 Newton kuvvet uygulandığında kemikte oluşan stres değerleri gösterilmiştir. Kuvvet sırasında kemikte oluşan von Mises, maksimum "principal" stres ve minimum "principal" stres değerleri incelendi. İncelenen bölgelerin değerleri, bölgesel olarak incelendi ve karşılaştırıldı.

İkinci molar dişin distaline kesi hattına yerleştirilmiş bir osteotom taklit edilecek şekilde kuvvet noktaları belirlendi. Kuvvet noktalarının derinliği mandibular kanal ile kret tepesi arasındaki mesafenin 2/3 ü hesaplanarak belirlendi. Bu noktalara ters yönde 100 Newton kuvvet uygulandı(Şekil 3.2)(54).

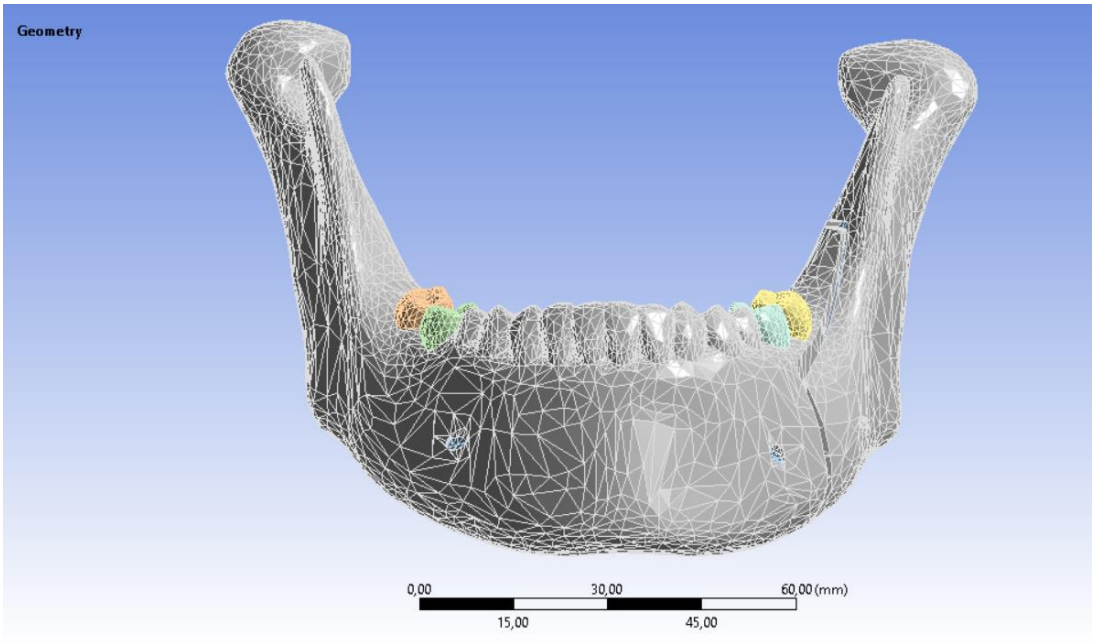


Şekil 3.2: Fixed Support noktaları, kuvvet uygulanan alan ve yönünü gösteren görsel

3.3. ÜÇ BOYUTLU OSTEOTOMİ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

Modellere kesiler uygulanmadan önce spongioz kemik çıkarılmıştır. SSRO'nun medial osteotomisi 4 modelde lingulanın hemen üzerinden (Hunsuck Modifikasyonu) diğer 4 modelde ise lingulanın 3 mm posteriorundan yapıldı. Mandibulanın lateral yüzeyinde yapılan vertikal osteotomi birinci molar dişin ortasına kadar uzatılmıştır. Çalışmamızda 2 farklı medial osteotomi ve 4 farklı lateral osteotomi birleştirilecek şekilde 8 farklı model kullanılmıştır. Modellerimizde spongioz kemiğe yer verilmemiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6) (23,35).

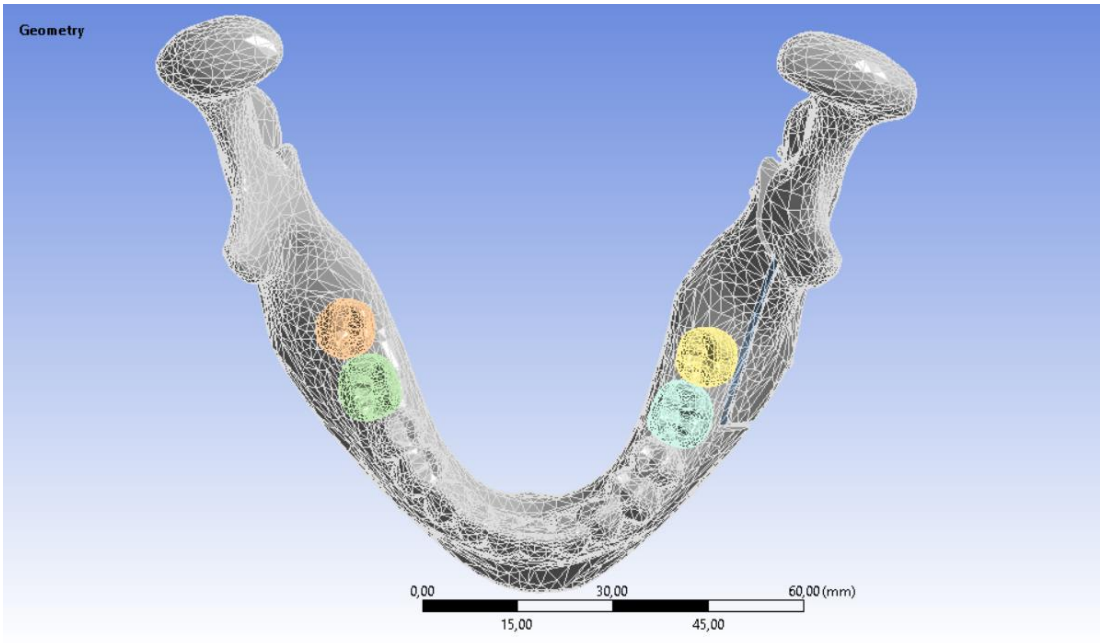
Çalışmamızda mandibulanın tamamı olacak şekilde sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Fakat karşılaştırma amaçlı segmentlerin görselleri ayrı ayrı gösterilmiştir.



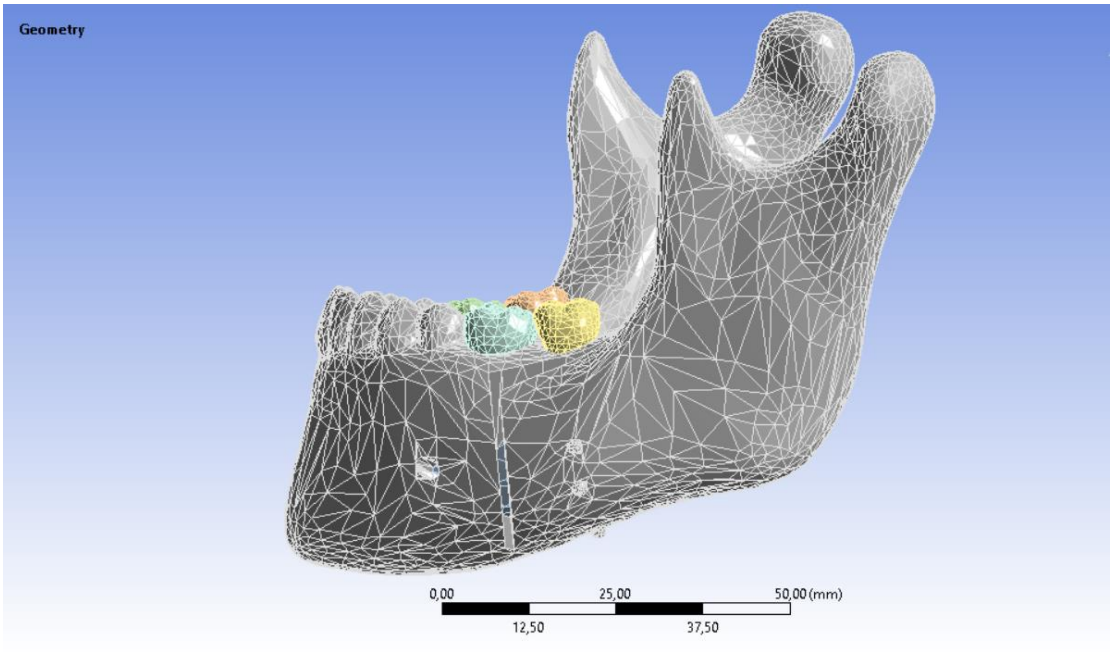
Şekil 3.3: 3 Boyutlu mandibula modelinin ön taraftan görünümü

Medial Osteotomi:

1. Medial osteotomi hattı lingulanun hemen üzerinde bitirilen model
2. Medial osteotomi hattı lingulanın 3 mm ötesine uzatılan model



Şekil 3.4: 3 Boyutlu mandibula modelinin üst taraftan görünümü



Şekil 3.5: 3 Boyutlu mandibula modelinin bukkal taraftan görünümü

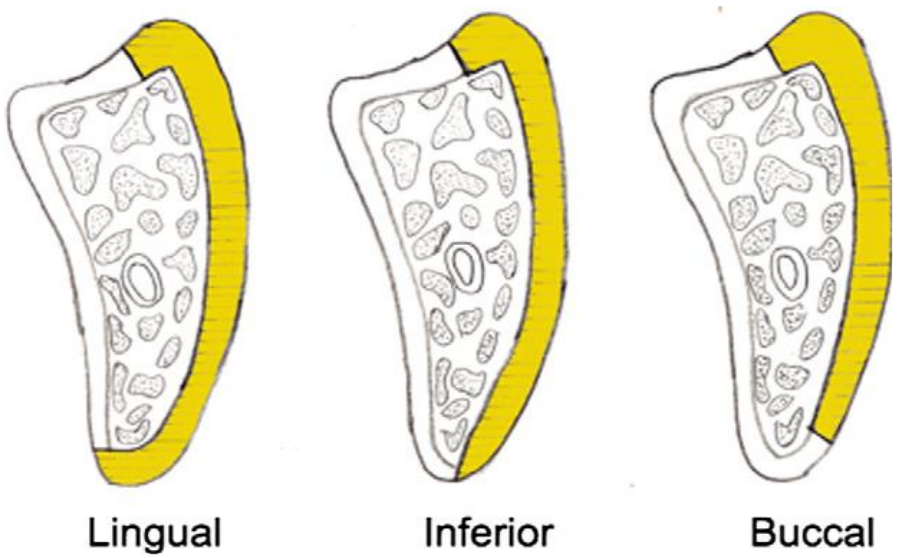
Lateral osteotomi:

A. Lateral osteotomi mandibula bukkalinde bitirilen model

B. Lateral osteotomi mandibula ortasında bitirilen model

C. Lateral osteotomi mandibula lingualinde bitirilen model

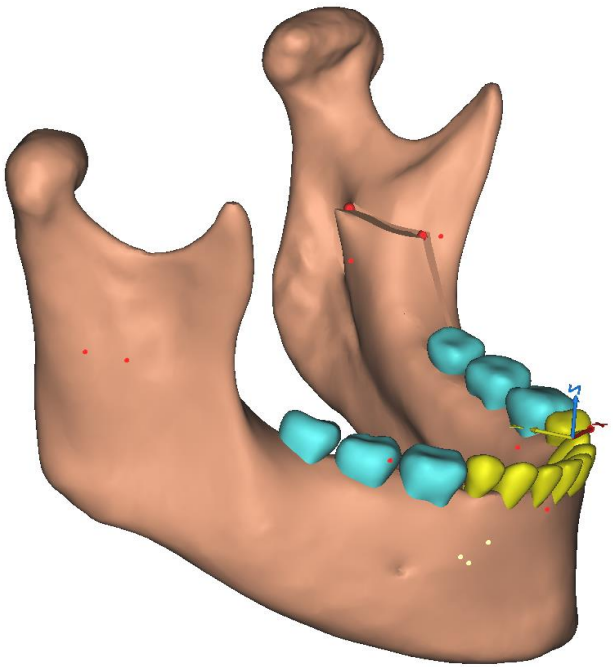
D. Lateral osteotomi mandibula alt sınır kesisi yapılan model (Wolford alt kenar kesisi)



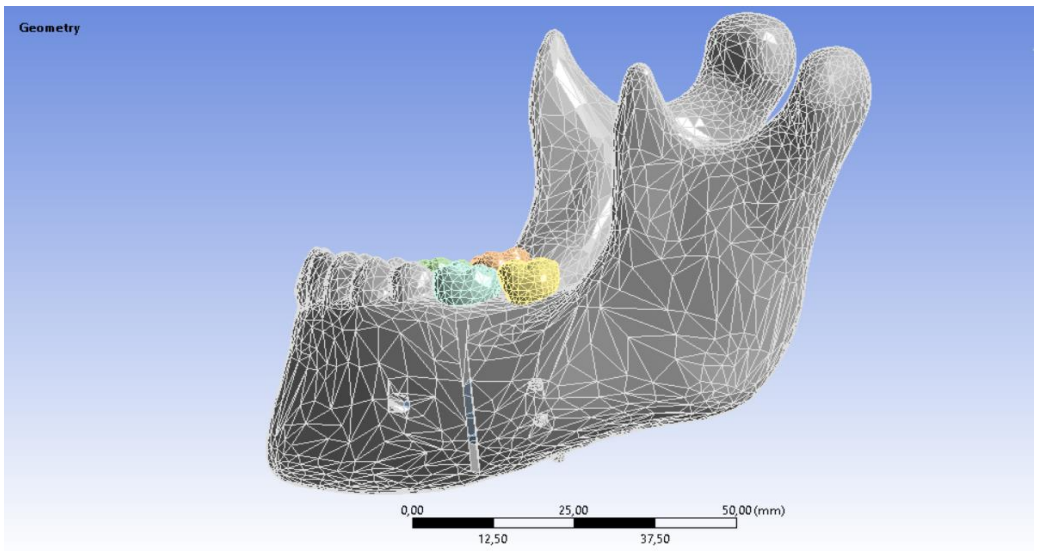
Şekil 3.6: Lateral Osteotomilerin kesit olarak görüntüleri (35)

3.3.1. Grup 1-A Modeli

Bu modelde Hunsuck-Dal Pont modifikasyonu kullanılmıştır. Bu modelimizde medial kesi ramusun medial tarafında ve lingulanın hemen üstünde bitirilmiştir. Lateral osteotomi ise mandibula tabanının bukkalinde bitirilmiştir (Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8) (23,24,26).



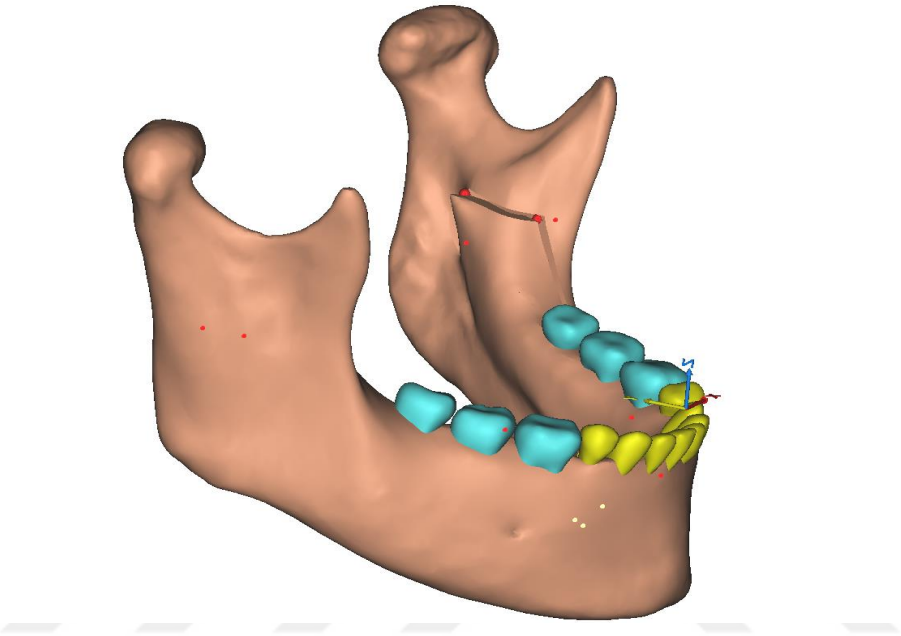
Şekil 3.7: 1-A Modelinin lingual taraftan görünümü



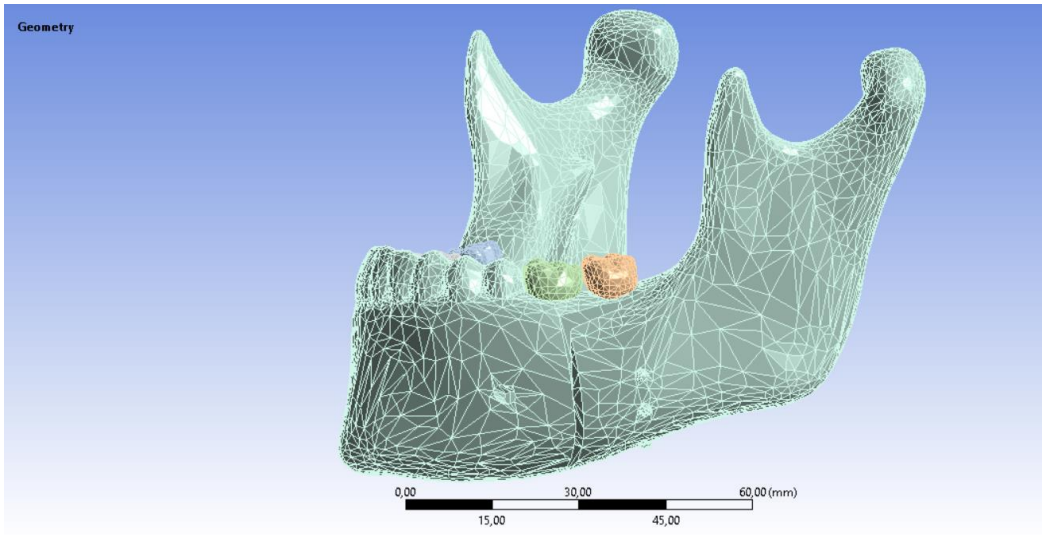
Şekil 3.8: 1-A Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.2. Grup 1-B Modeli

Bu modelde Hunsuck-Dal Pont modifikasyonu kullanılmıştır. Bu modelimizde medial kesi lingulanın hemen üzerinde bitirildi. İlk modelden farklı olarak lateral osteotomi ise mandibula tabanının tam ortasında bitirildi (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).



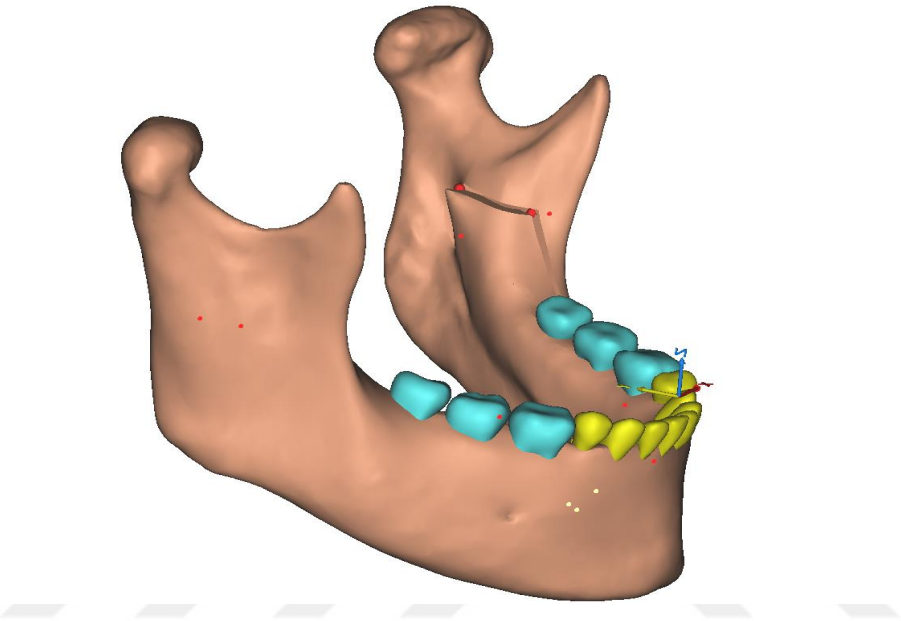
Şekil 3.9: 1-B Modelinin lingual taraftan görünümü



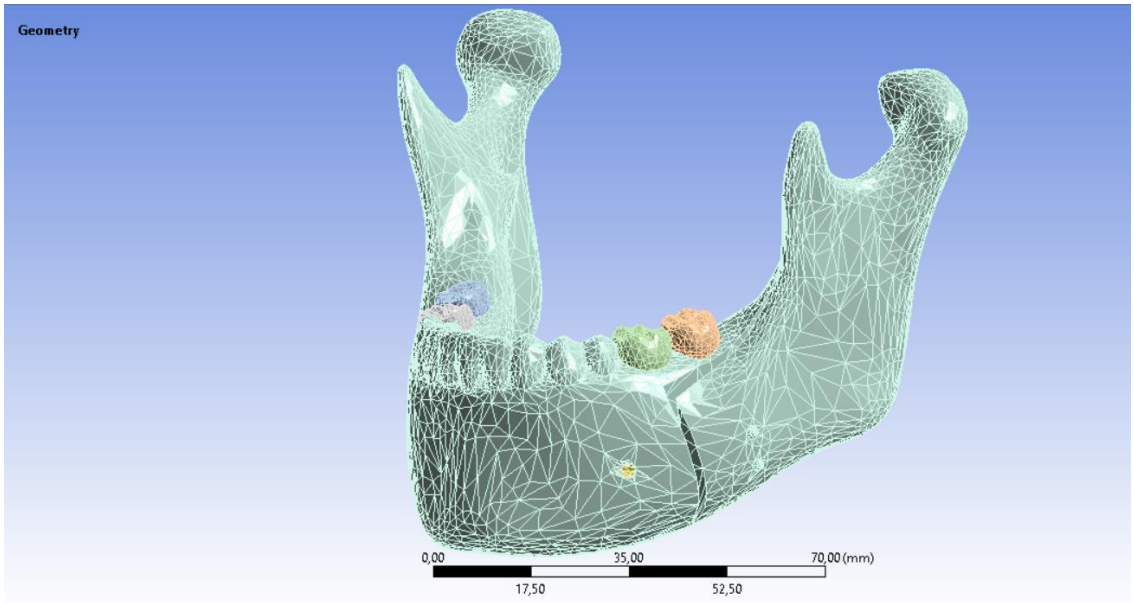
Şekil 3.10: 1-B Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.3. Grup 1-C Modeli

Bu modelde de Hunsuck- Dal Pont- Epker modifikasyonu kullanılmıştır. Bu modelimizde medial kesi lingulanın hemen üzerinde bitirildi. İlk 2 modelden farklı olarak lateral osteotomi mandibula tabanının lingualinde bitirildi (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



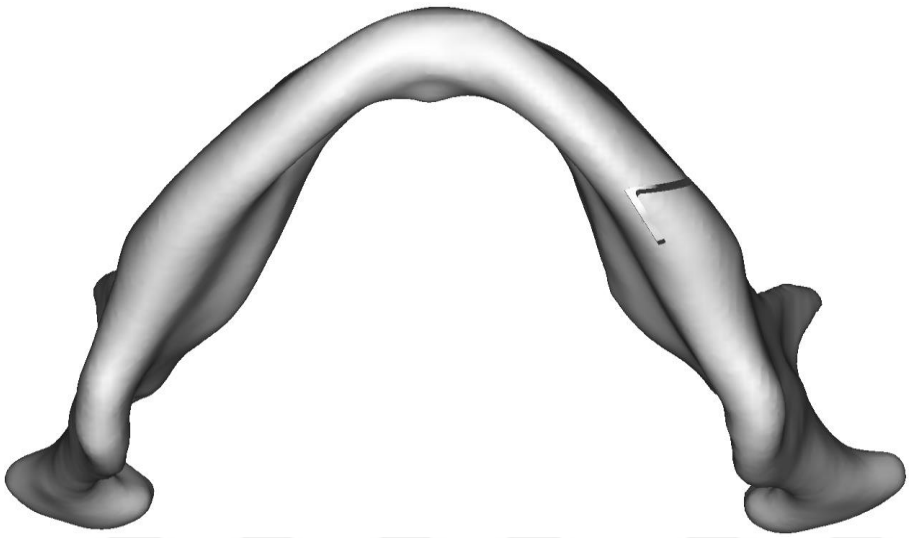
Şekil 3.11: 1-C Modelinin lingual taraftan görünümü



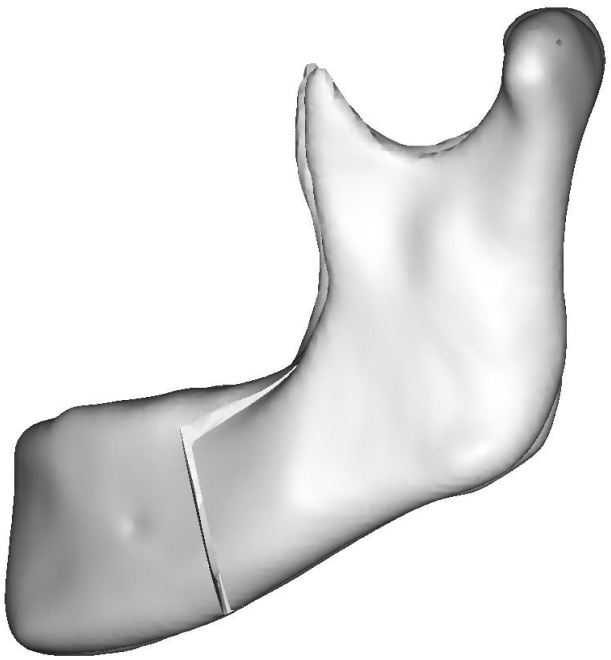
Şekil 3.12: 1-C Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.4. Grup 1-D Modeli

Bu modelimizde Wolford modifikasyonu kullanılmıştır. Bu modelde medial kesi lingulanın hemen üzerinde bitirildi. Diğer 3 modelden farklı olarak lateral osteotomi mandibula tabanının tam ortasında bitirildi ve Wolford un tanımladığı 1,5 cm uzunluğunda Wolford alt kenar kesisi ilave edildi (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).



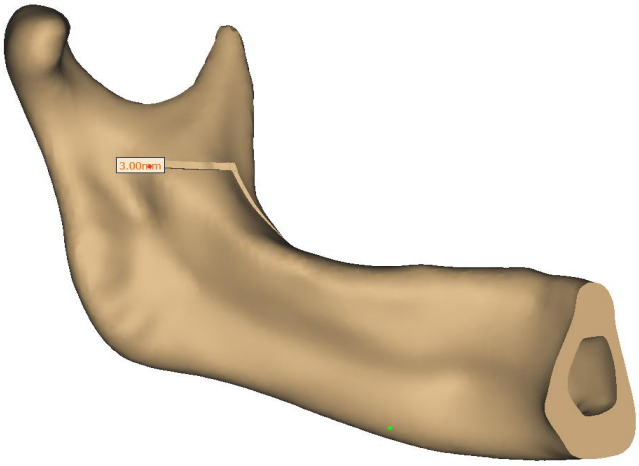
Şekil 3.13: 1-D Modelinin alt taraftan görünümü



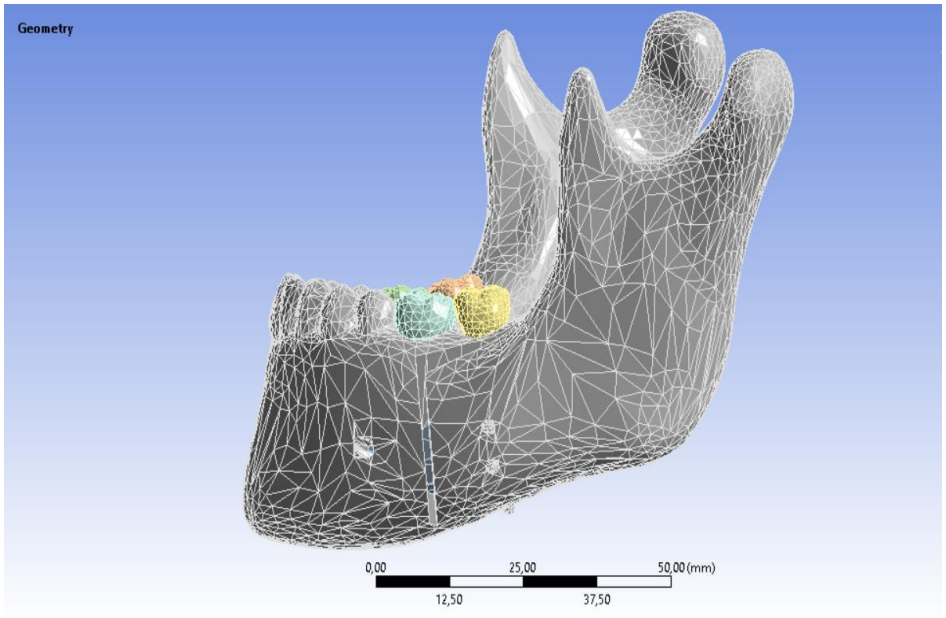
Şekil 3.14: 1-D Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.5. Grup 2-A Modeli

Bu modelimizde medial kesi lingulanın üzerinde ve 3 mm gerisinde bitirildi. Lateral osteotomi ise mandibula tabanının bukkalinde bitirildi (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).



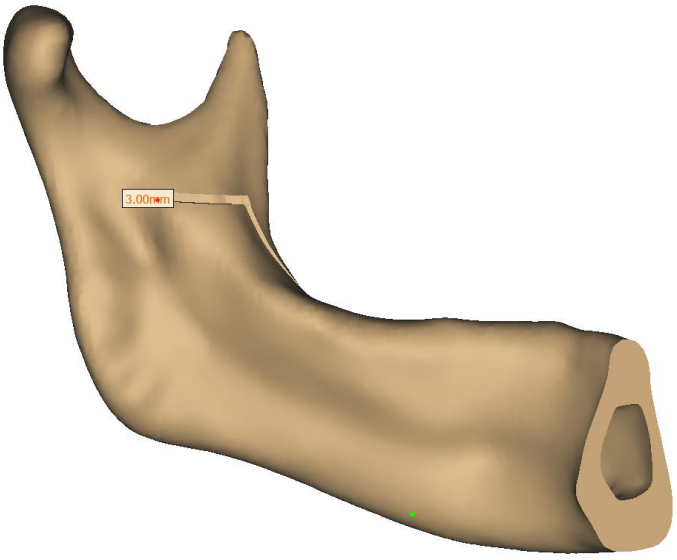
Şekil 3.15: 2-A Modelinin lingual taraftan görünümü



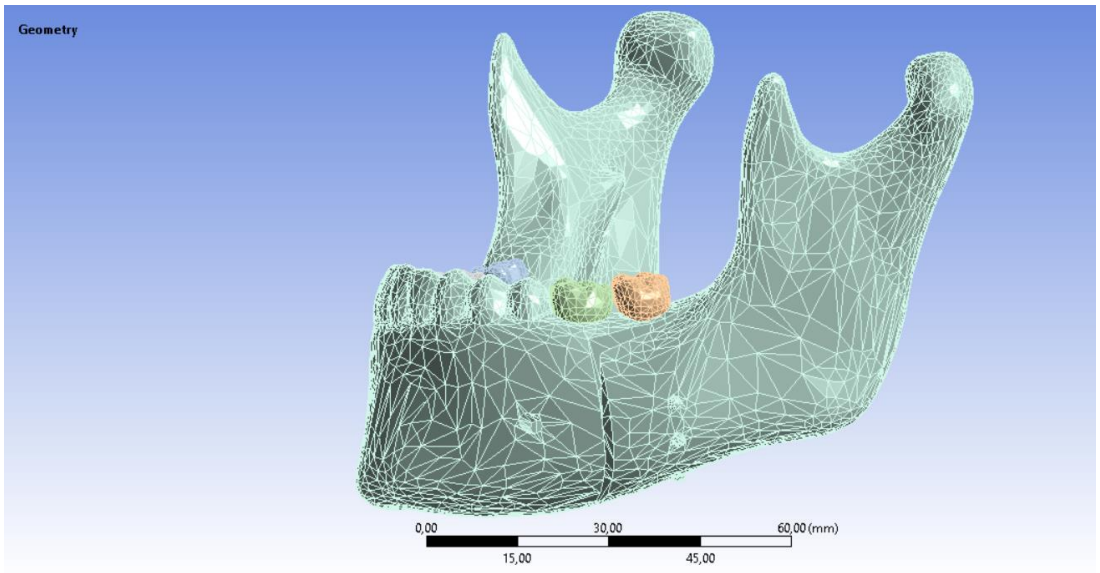
Şekil 3.16: 2-A Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.6. Grup 2-B Modeli

Bu modelimizde medial kesi lingulanın 3 mm gerisinde bitirildi. Lateral osteotomi ise mandibula tabanının tam ortasında bitirildi (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



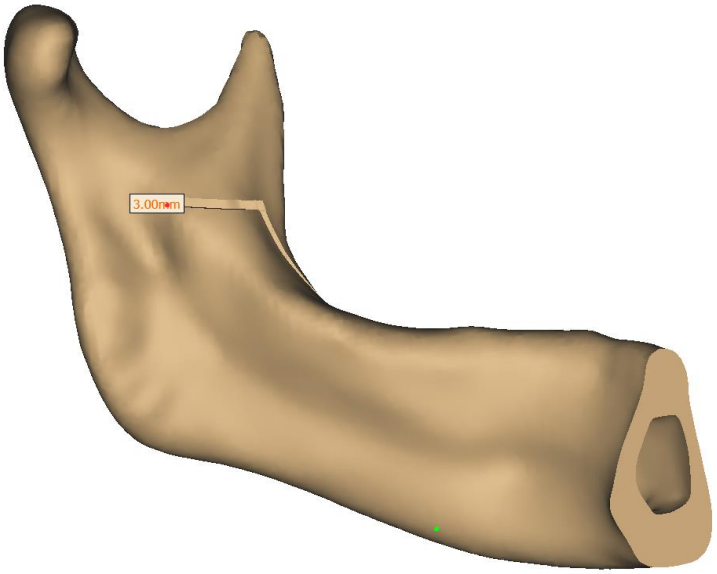
Şekil 3.17: 2-B Modelinin lingual taraftan görünümü



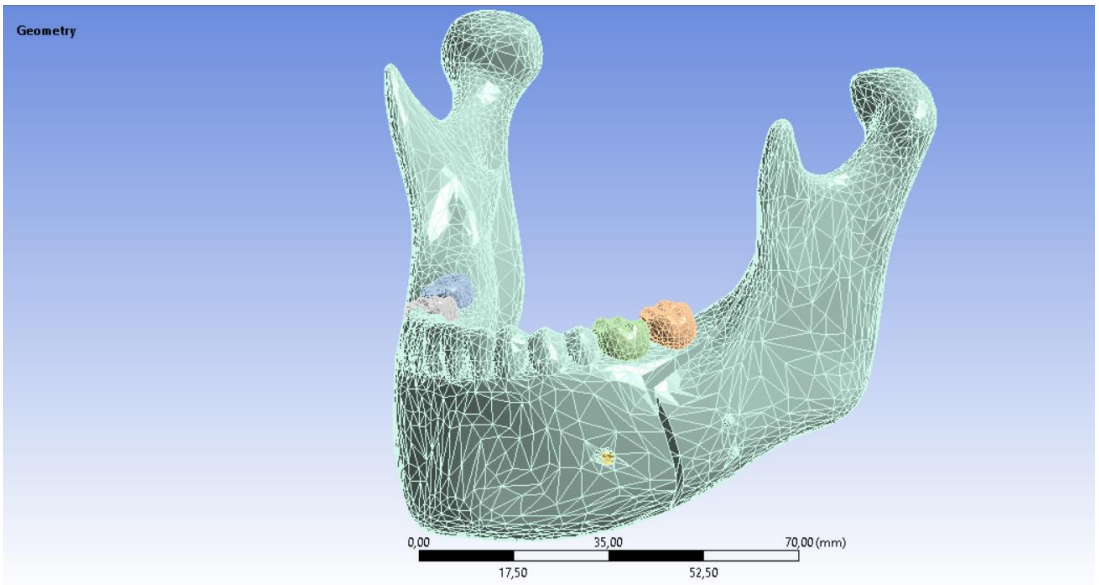
Şekil 3.18: 2-B Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.7. Grup 2-C Modeli

Bu modelimizde medial kesi lingulanın 3 mm gerisinde bitirildi. Lateral osteotomi ise mandibula tabanının lingualinde bitirildi (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20).



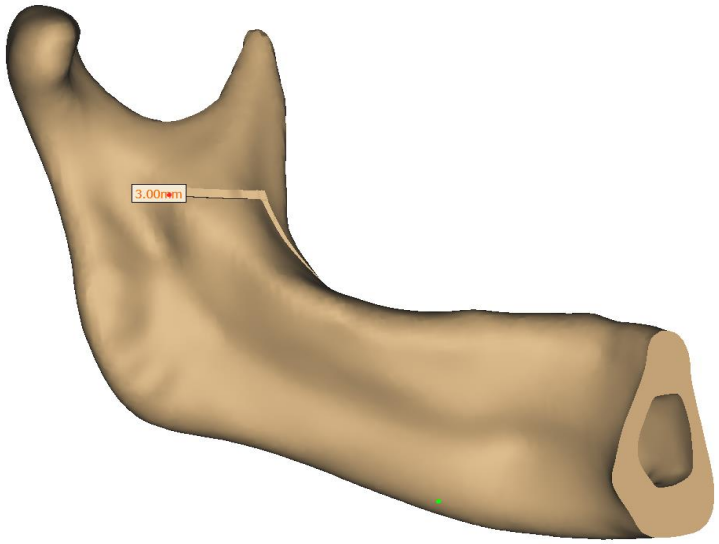
Şekil 3.19: 2-C Modelinin lingual taraftan görünümü



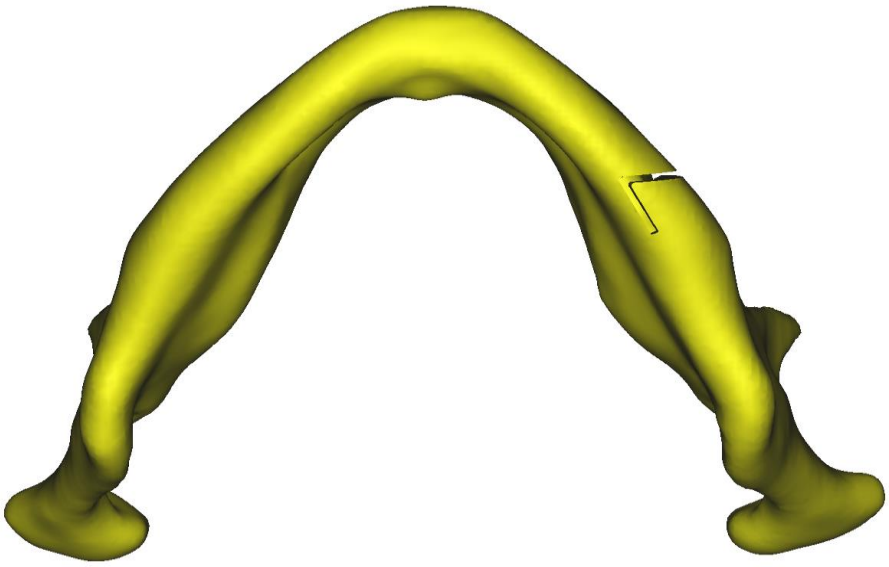
Şekil 3.20: 2-C Modelinin bukkal taraftan görünümü

3.3.8. Grup 2-D Modeli

Bu modelimizde medial kesi lingulanın 3 mm gerisinde bitirildi. Bu modelimizde lateral osteotomi mandibula tabanının tam ortasında bitirildi ve 1,5 cm uzunluğunda bir Wolford kesisi ilave edildi (Şekil 3.21, Şekil 3.22).



Şekil 3.21: 2-D Modelinin lingual taraftan görünümü



Şekil 3.22: 2-D Modelinin alt taraftan görünümü

Bu çalışmada karşılaştırma yapmak ve analiz sonuçlarını değerlendirmek için modellerdeki maksimum principal, minimum principal ve von Mises stres değerleri hesaplanmıştır. Modellerin karşılaştırılması için stres değerlerinin oluşturduğu renk skalasına bağlı haritalandırma kullanılmıştır. Bu haritalandırmada lokasyonların daha net yorumlanması için belli bölgelere noktalar konulmuştur. Bu noktaların dahil olduğu renk skalaları yorumlanmıştır (24).

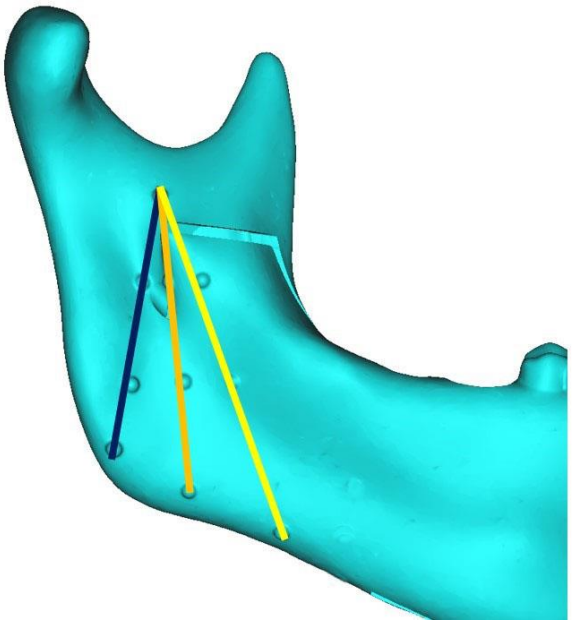
Asıl çalışma yapılmadan önce modeller üzerinde pilot sonlu elemanlar analizi çalışması yapılmıştır. Pilot çalışmamızda 1-C modelinde oluşan logaritmik stres skalası alt ve üst limitleri tüm modellerde uygulanmak üzere baz alındı. Böylelikle görsel karşılaştırma ve yorumlamada karşılaştırılabilirlik hedeflenmiştir.

Modellerde kuvvete bağlı oluşan von Mises stres değerleri belli bir renk skalasına göre gruplandırılmış ve kuvvet haritaları çıkarılmıştır. Bu renk skalasındaki ara değerler bir pilot çalışma ile belirlenmiştir. Pilot çalışmada literatürde ideal olarak tanımlanan kesi üzerinde sonlu elemanlar analizi çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan ısı haritası ve renk skalasındaki ara von Mises değerleri çalışmamıza rehber olmuştur. Maximum ve minimum değerler her model için ayrı ölçülmüştür. Bunun dışında skaladaki renk geçişini sağlayan ara von Mises değerler pilot çalışmada belirlenen değerler olarak sabit tutulmuştur. Burada her modeldeki aynı renk grubunun benzer stres değerlerini göstermesi amaçlanmıştır. Koyu renkten açık renge doğru stres değerleri düşmektedir. Kırmızı çok yüksek stres, turuncu yüksek stres, sarı orta şiddetli stres, yeşil düşük stres , mavi ise çok düşük stres olarak sınıflandırılmıştır (Kırmızı > Turuncu > Sarı > Yeşil > Mavi).

Bu renk haritalarında maksimum stresin oluştuğu nokta rehber alınarak streslerin hangi bölgelerde biriktiği incelenmiştir. Önceden belirlediğimiz noktaların bulunduğu bölgelerdeki renk haritasına bakılarak biriken stresler yorumlanmıştır. Bu renk haritalarında belirlediğimiz noktalar rehber alınarak yüksek şiddetli, orta şiddetli ve düşük şiddetli stres birikimlerinin lokasyonları incelenmiştir.

Analiz sonuçlarını değerlendirmek ve karşılaştırabilmek için belirli bölgelerde noktalar belirlenmiştir. Lingual tarafta noktalar belirlenirken 2 kesi tipindeki medial kesi bitim noktasını da içine alacak şekilde lingulada 5 mm yukarıda bir tepe nokta belirlenmiştir. Mandibula alt sınırına bu noktadan bir dik çizilmiştir (Şekil 3.23 posteriordaki mavi çizgi). Sonrasında tepe noktadan ramusun posterior sınırına paralel

olacak şekilde mandibula alt sınırına bir doğru indirilmiştir (Şekil 3.23 turuncu çizgi). Son olarak da bu paralel doğru açıortay kabul edilerek üçgen elde edebileceğimiz diğer doğru çizilmiştir (Şekil 3.23 sarı çizgi). Bu 3 doğru üzerinde eşit mesafede 4'er tane nokta belirlenmiştir. Bu noktalar belirlenirken renk skalası ve haritalandırmanın yorumlanması amaçlanmıştır. Bu noktalar dış, orta ve iç olarak gruplanmıştır. Benzer şekilde lateral kesi bölgesinde de noktalar belirlenmiştir. Bu kısımdaki noktalar sadece görsel olarak lokasyon tespiti için kullanılmıştır (35).



Şekil 3.23: Lingual taraftaki noktaların pozisyonlandırılması (Dış, orta ve iç hat)

Pilot çalışmada Von Mises stres analizi renk skalasındaki renk grupları kıyaslandığında genel haritalandırmada kırmızı renk (çok yüksek stres) sadece kuvvetin uygulandığı bölgede lokal olarak gözlendiği için, kıyaslama yaparken turuncu, sarı ve açık yeşil von Mises kuvvet aralıkları karşılaştırıldı. Logaritmik olarak ilk çalışmada elde ettiğimiz değerlerin renk skalasında karşılık geldiği alt ve üst limitler tüm modeller için standartlaştırıldı. Bu standartlar üzerinden katsayı belirlendi. Bu katsayılar üzerinden puanlama yapıldı. Verilen orana göre diğer gruplara verilecek puan katsayısı hesaplandı.

Tablo oluşturulurken kullanılan puanlama, renk gruplarının gösterdiği ortalama von Mises değerlerinin oran orantısı hesaplanarak belirlenmiştir. Her renk grubundaki üst limit ve alt limitin orta değeri hesaplanmıştır. Her grupta açık yeşil grupta ortalama von

Mises değeri 0,02 Mpa, sarı grupta ortalama von Mises değeri 0,15 Mpa, turuncu grupta ortalama von Mises değeri 0,97 Mpa dır. Açık yeşil gruba 1 puan verdiğmizde oransal olarak sarı grup 7 puan, turuncu grup ise 45 puan olarak değerlendirilebilmektedir. Bu puanlama sistemi baz alınarak bir tablo oluşturulmuştur. Bu tabloların yanı sıra maksimum değerler yorumlanarak da karşılaştırma yapılmıştır.

4. BULGULAR

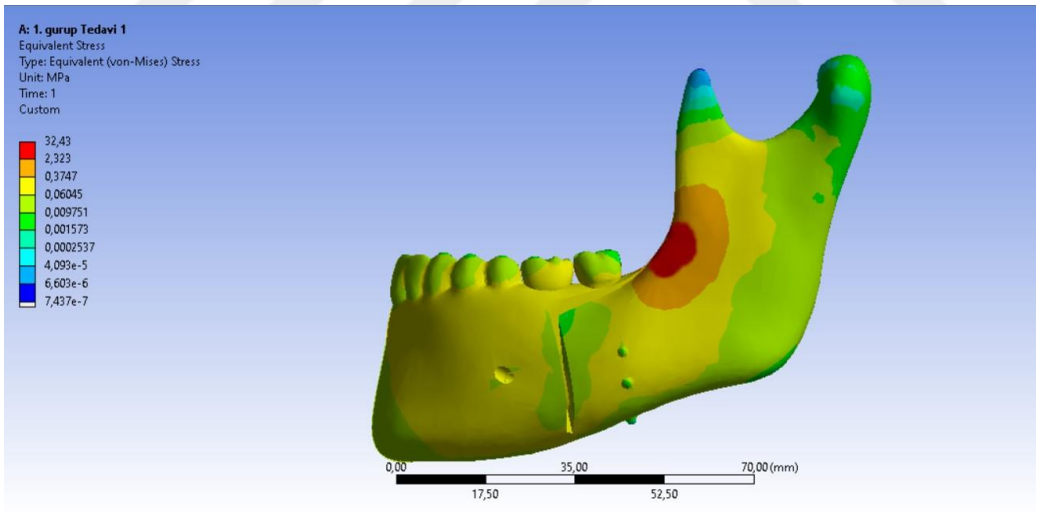
4.1. GENEL ANALİZLER

4.1.1. Grup 1-A Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

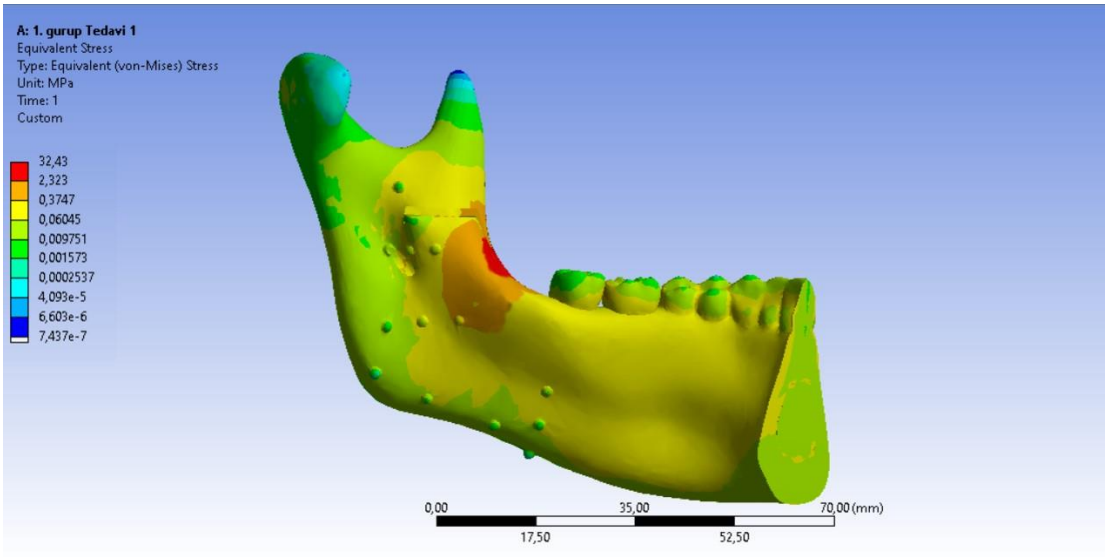
Lingualde linguladan hemen önce, bukkalde mandibula tabanının bukkalinde bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 32,43 Mpa'dır.

Orta şiddetli (sarı) stres birikimi temporomandibular eklem kondiline uzanmamıştır. Eklem bölgesinde düşük streslerin etki ettiği görülmektedir.

1-A modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.1 ve şekil 4.2'deki gibidir.

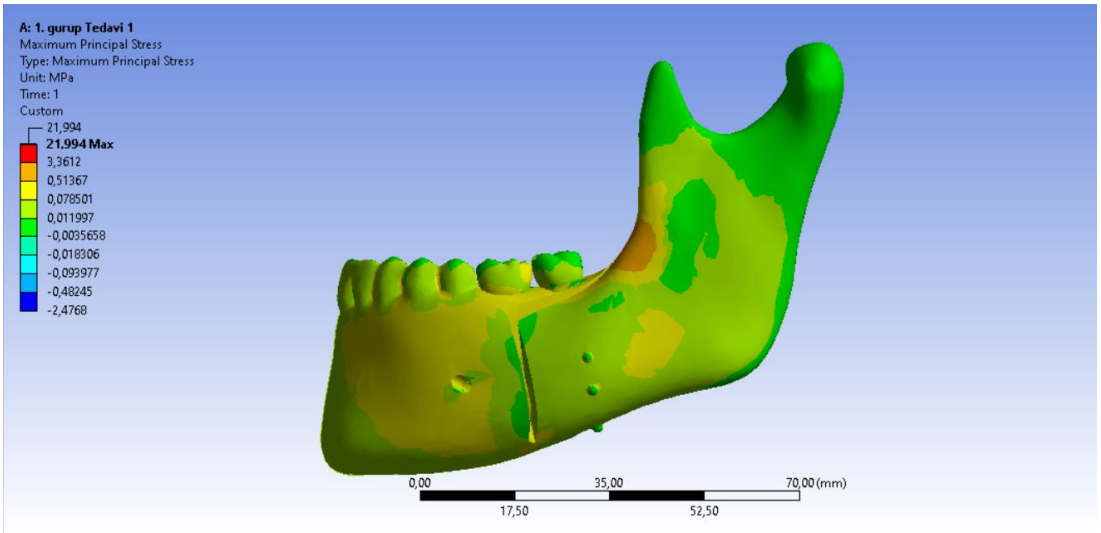


Şekil 4.1: Grup 1-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımı bukkal görünüm

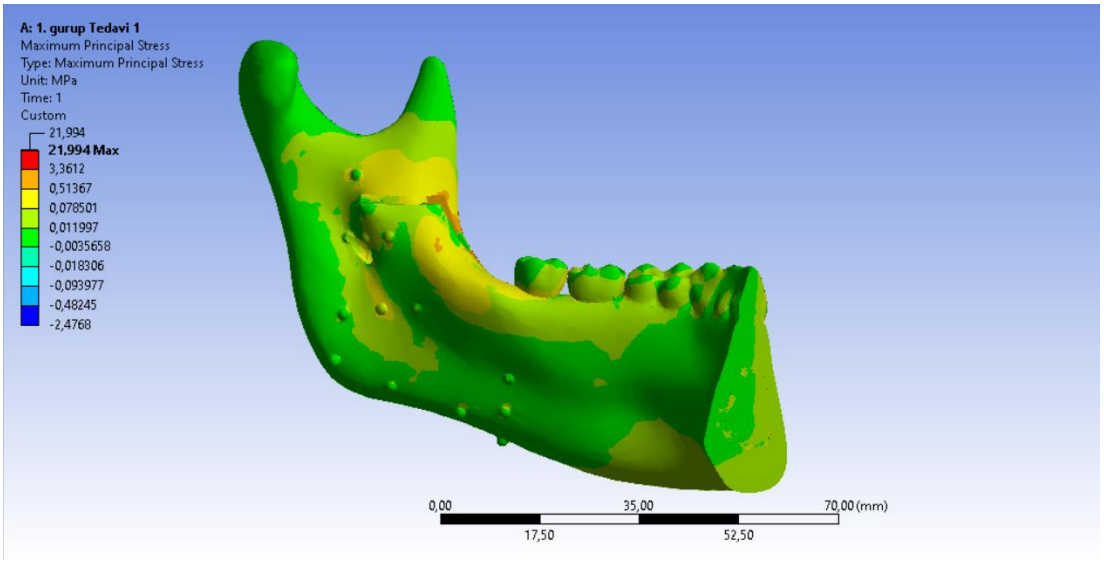


Şekil 4.2: Grup 1-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

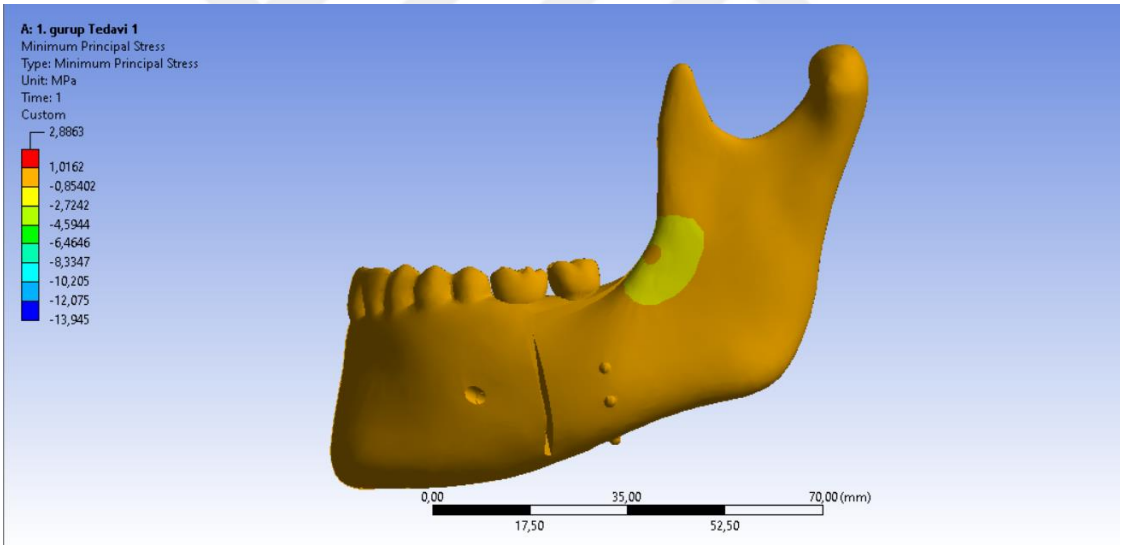
1-A modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.3, şekil 4.4, şekil 4.5 ve şekil 4.6'daki gibidir.



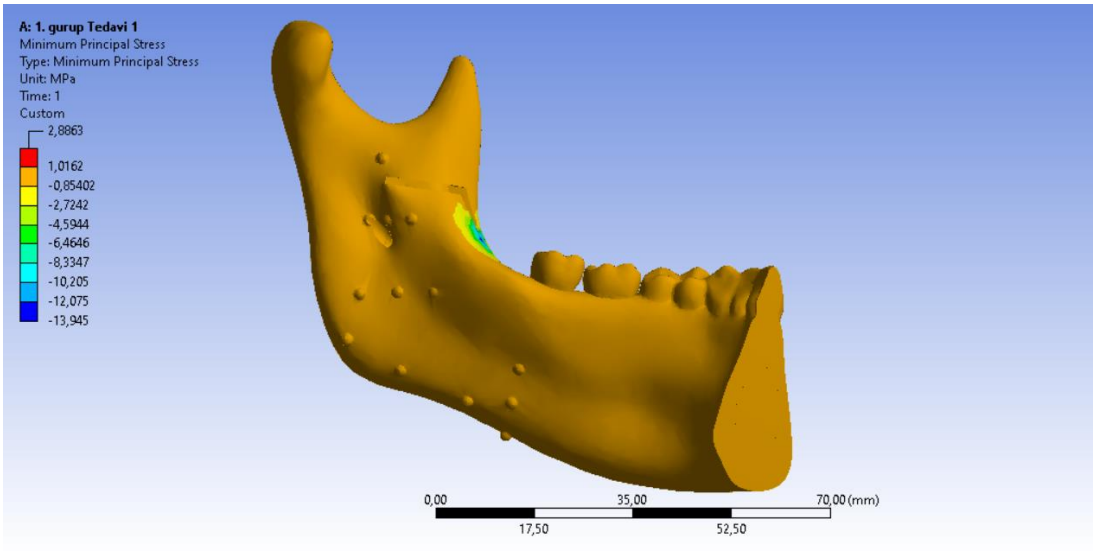
Şekil 4.3: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.4: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.5: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



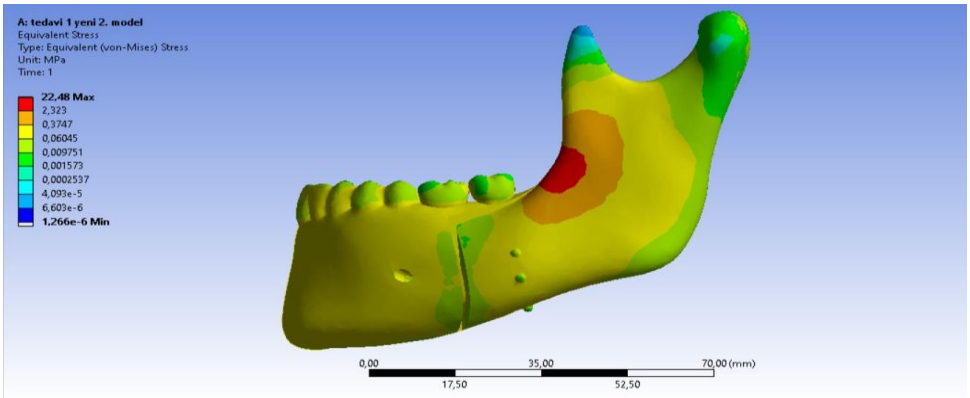
Şekil 4.6: Grup 1-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

4.1.2. Grup 1-B Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

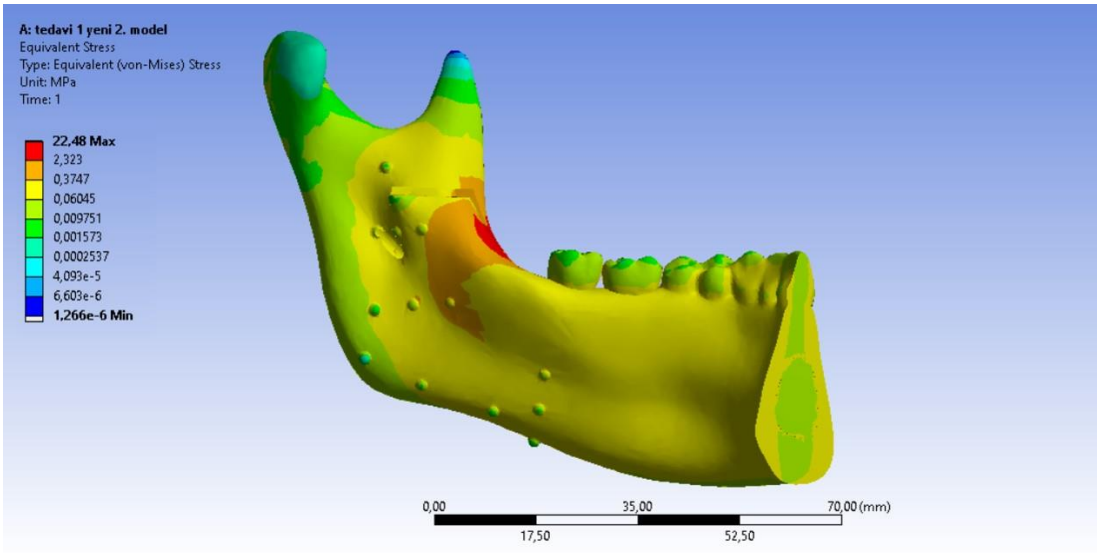
Lingualde linguladan hemen önce, bukkalde mandibula tabanının ortasında bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 22,48 Mpa'dır.

Orta ve yüksek dereceye kadar olan stres birikimi temporomandibular eklem kondiline uzanmamıştır.

1-B modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.7 ve şekil 4.8'deki gibidir.

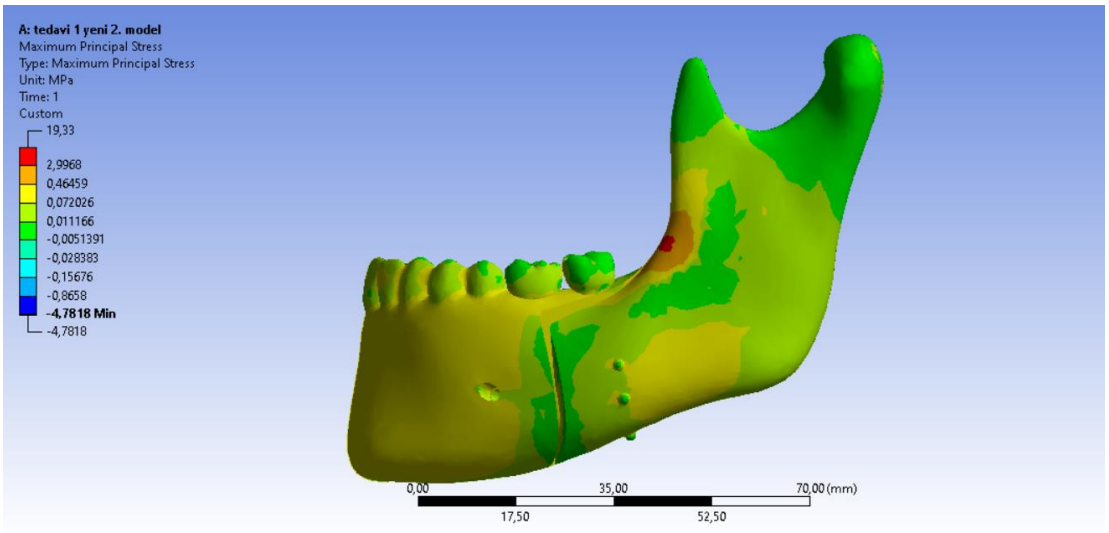


Şekil 4.7: Grup 1-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünüm

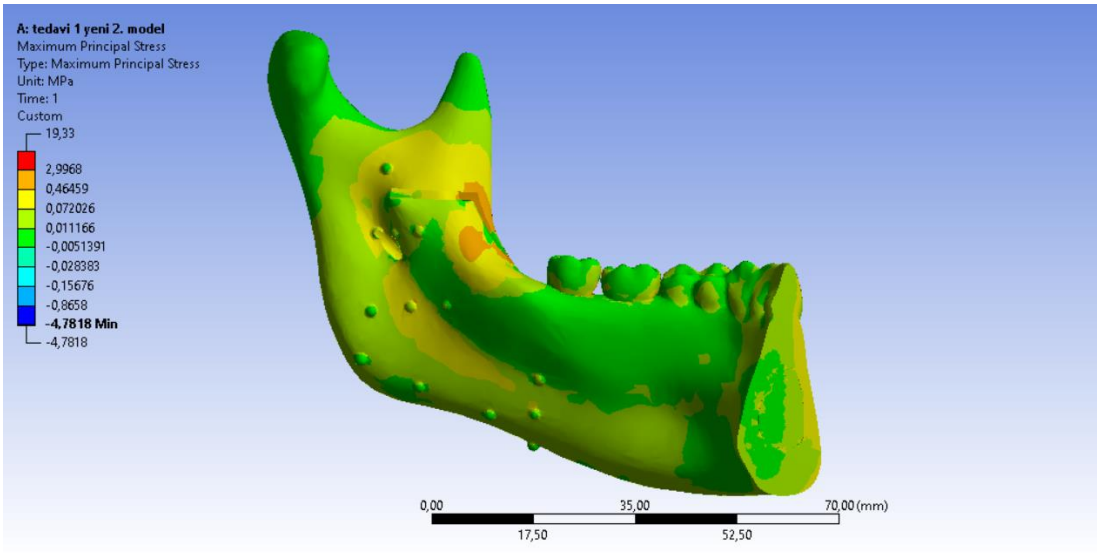


Şekil 4.8: Grup 1-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

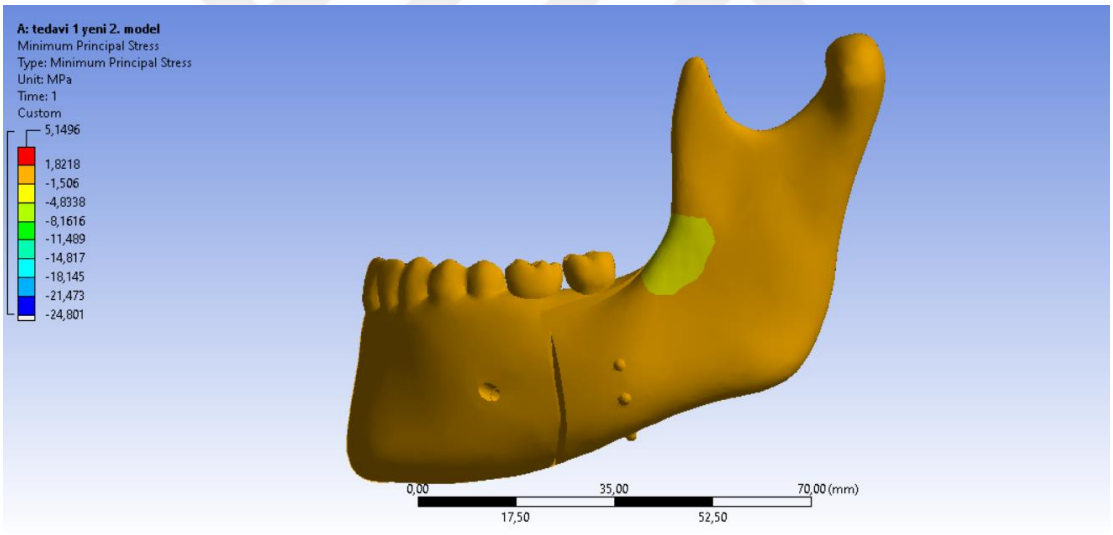
1-B modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.9, şekil 4.10, şekil 4.11 ve şekil 4.12'deki gibidir.



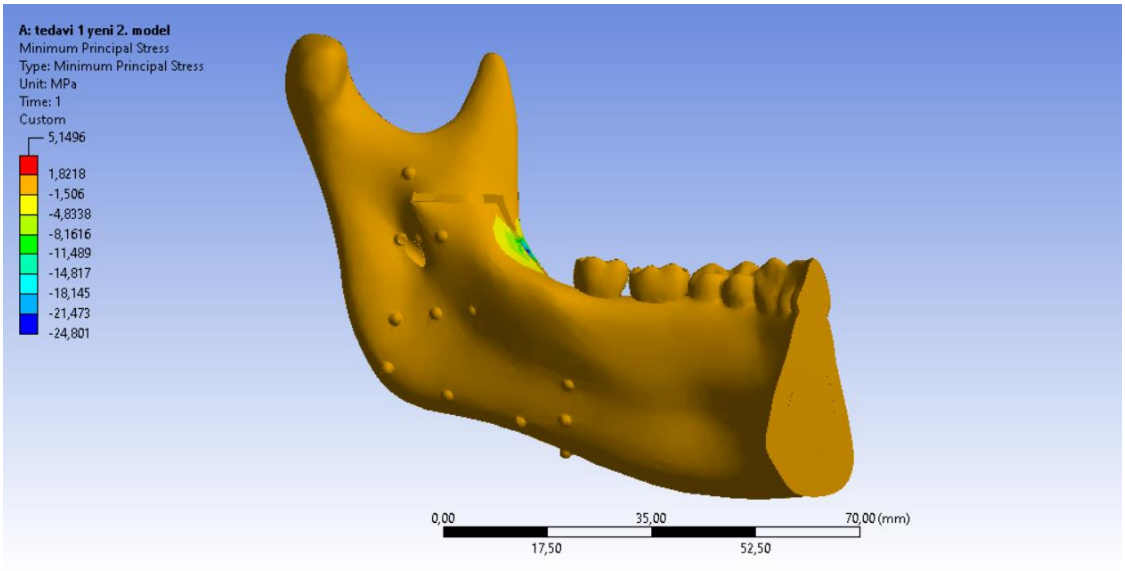
Şekil 4.9: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.10: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki maksimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.11: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.12: Grup 1-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

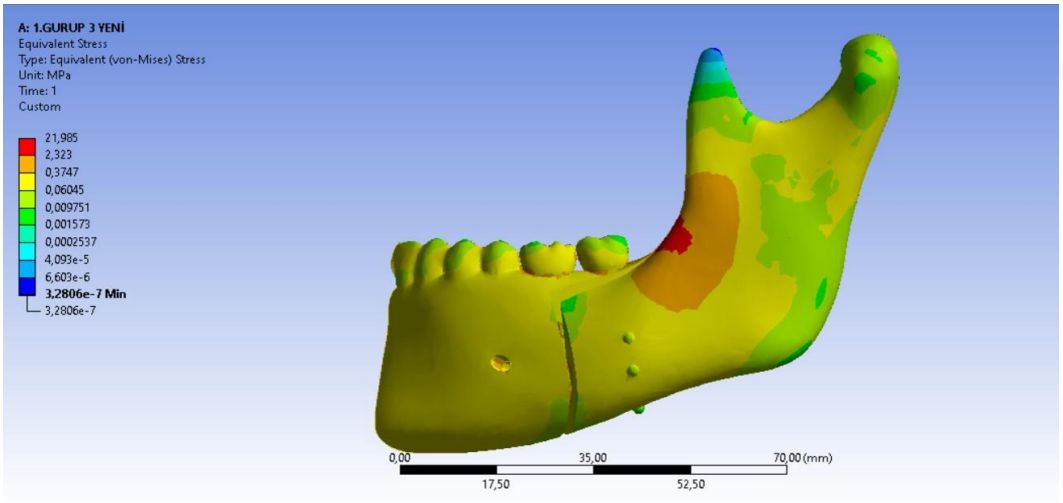
4.1.3. Grup 1-C Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

Lingualde linguladan hemen önce, bukkalde mandibula tabanının lingualinde bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 21,98 Mpa'dır.

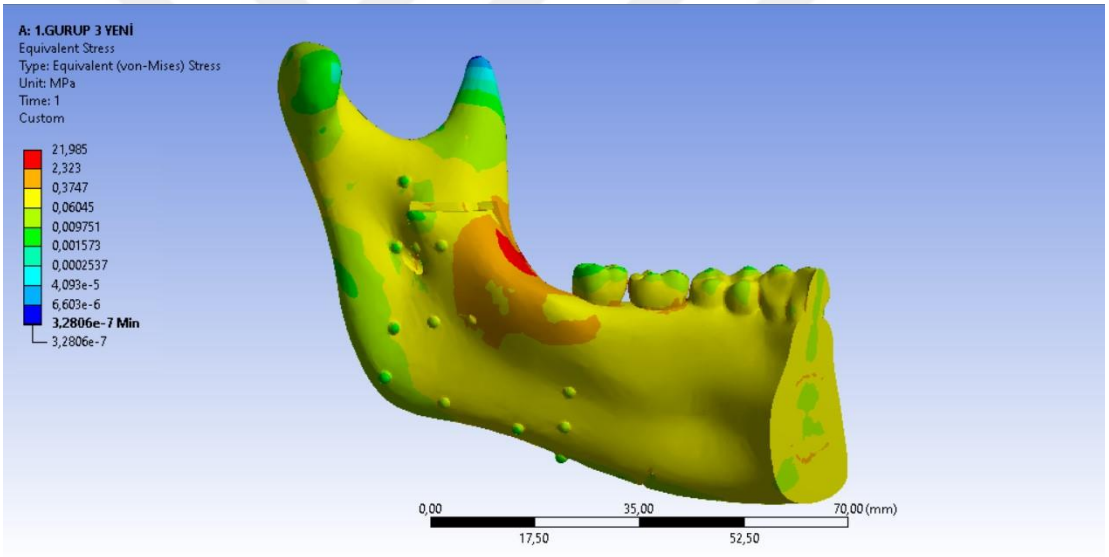
Orta dereceli stres birikimi temporomandibular eklem kondiline uzanmamıştır.

Kondil boynunda diğer modellere göre daha yüksek kuvvetler etki etmektedir.

1-C modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.13 ve şekil 4.14'deki gibidir.

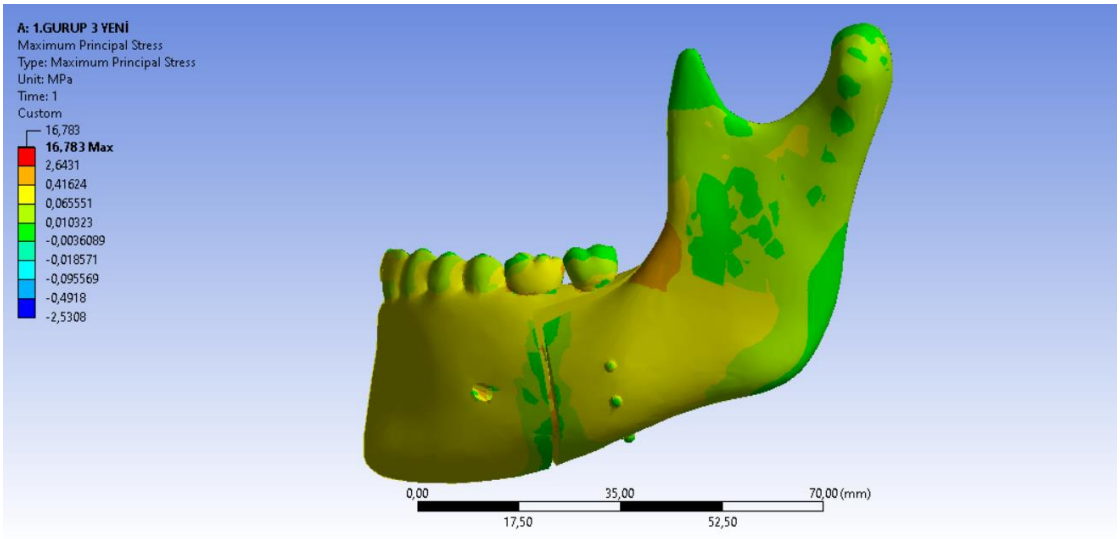


Şekil 4.13: Grup 1-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

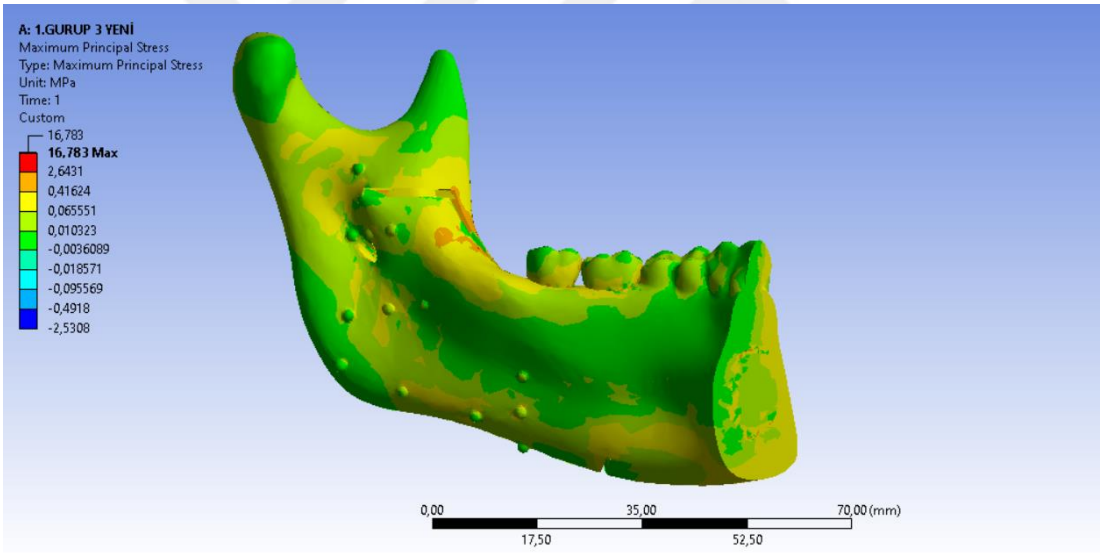


Şekil 4.14: Grup 1-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

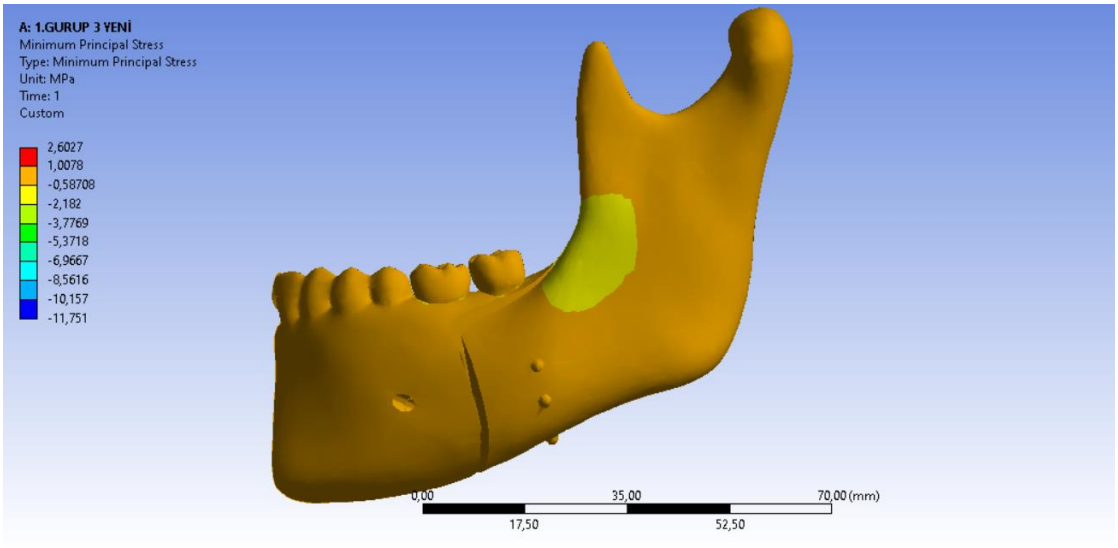
1-C modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.15, şekil 4.16, şekil 4.17 ve şekil 4.18'deki gibidir.



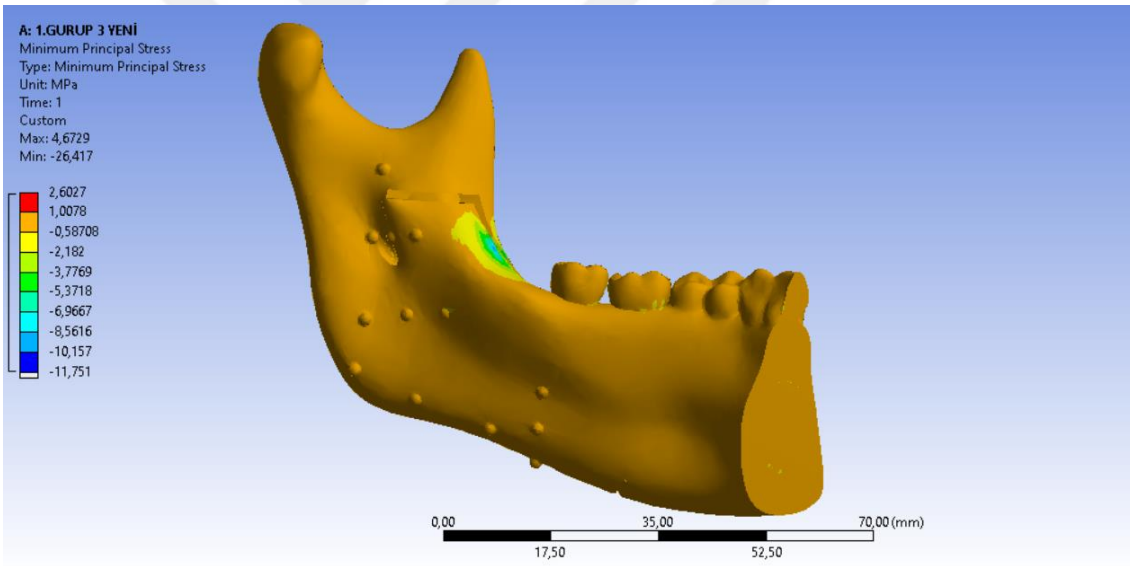
Şekil 4.15: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.16: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.17: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.18: Grup 1-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

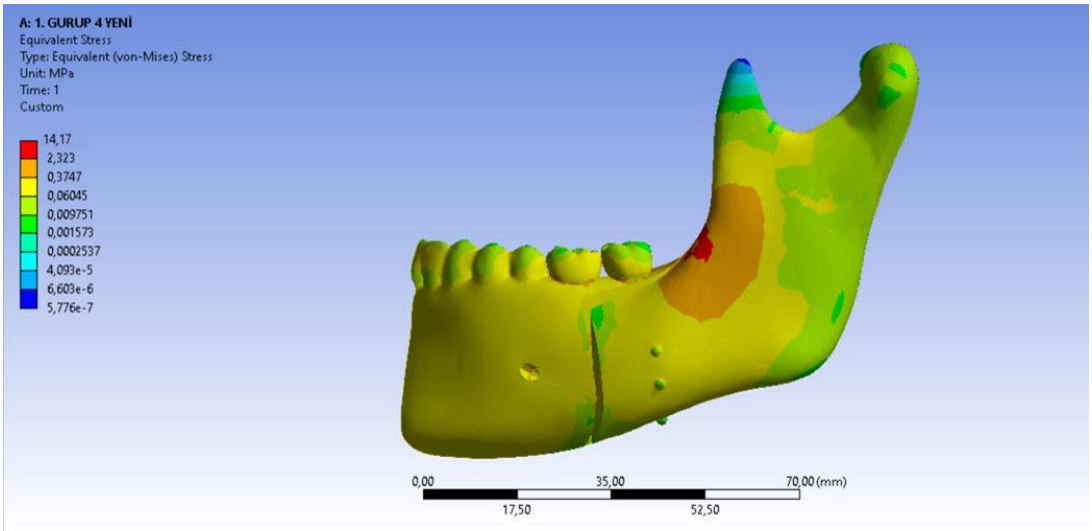
4.1.4. Grup 1-D Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

Lingualde linguladan hemen önce bitirilen, bukkalde ise Wolford kesisi yapılan modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 14,17 Mpa'dır.

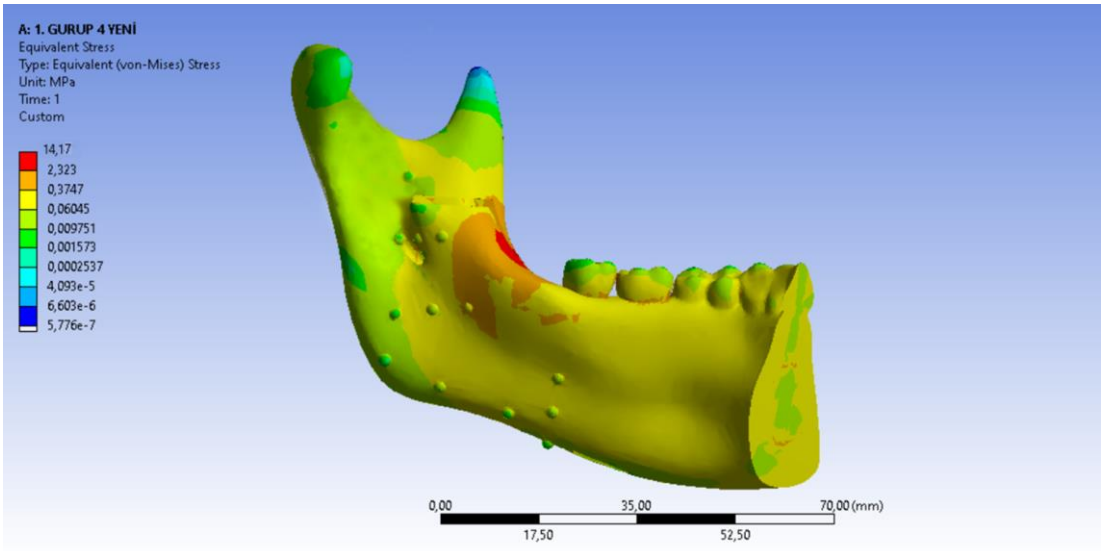
Stres birikimi temporomandibular eklem kondiline uzanmamıştır.

Kondil boynunda orta dereceli stresler gözlenmiştir.

1-D modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.19 ve şekil 4.20'deki gibidir.

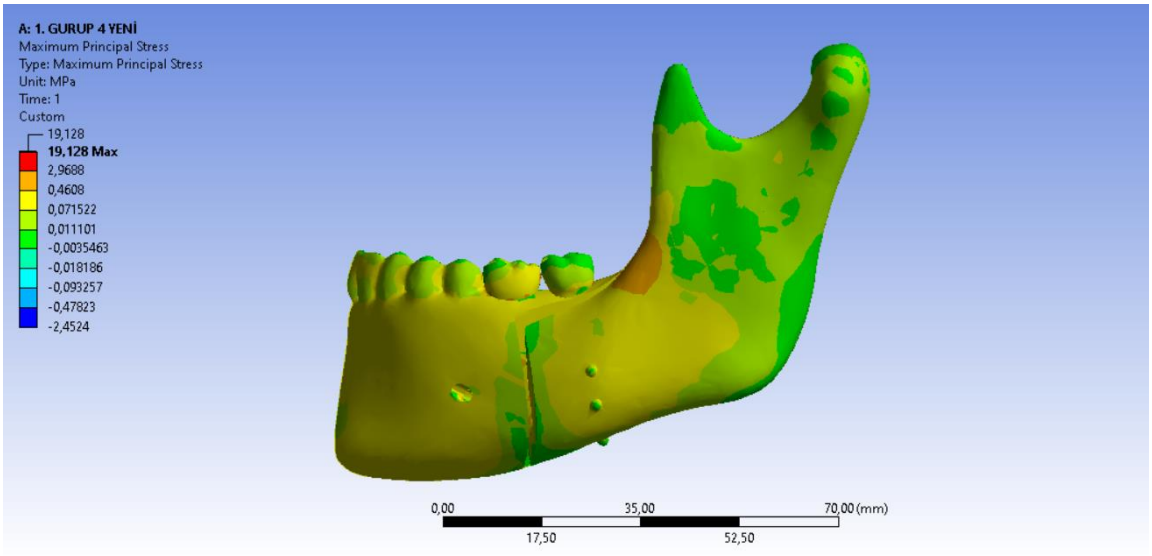


Şekil 4.19: Grup 1-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

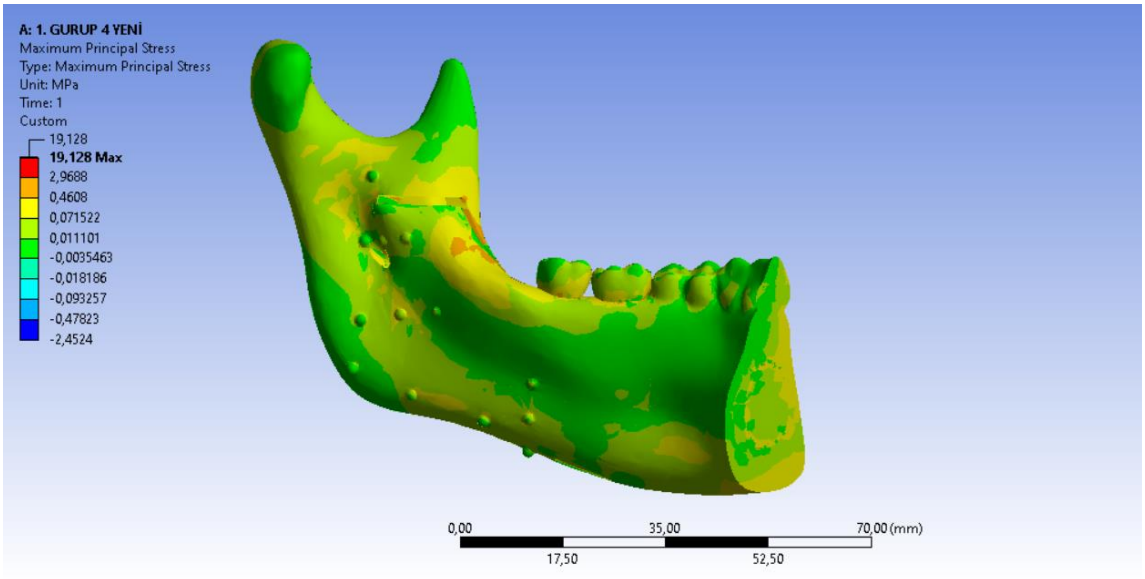


Şekil 4.20: Grup 1-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

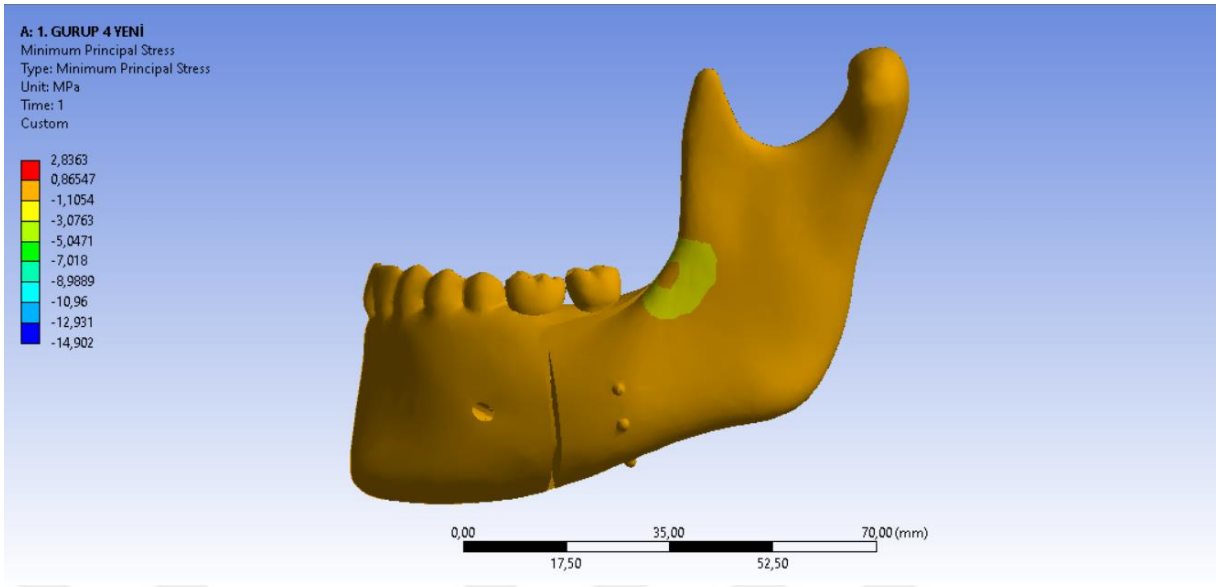
1-D modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.21, şekil 4.22, şekil 4.23 ve şekil 4.24'deki gibidir.



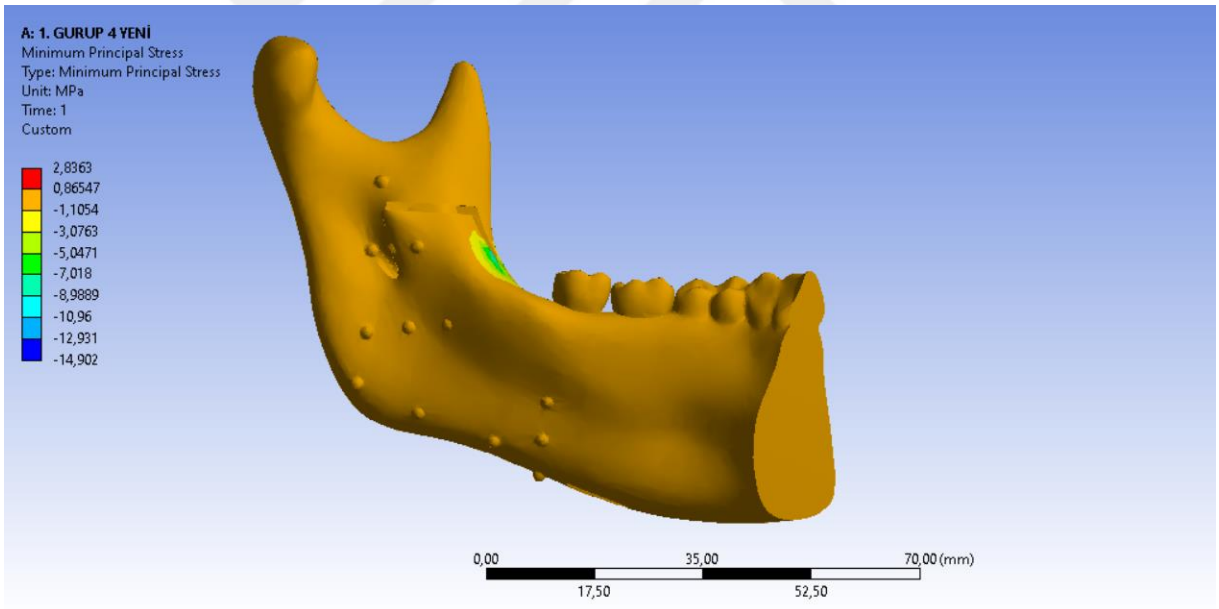
Şekil 4.21: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.22: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.23: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



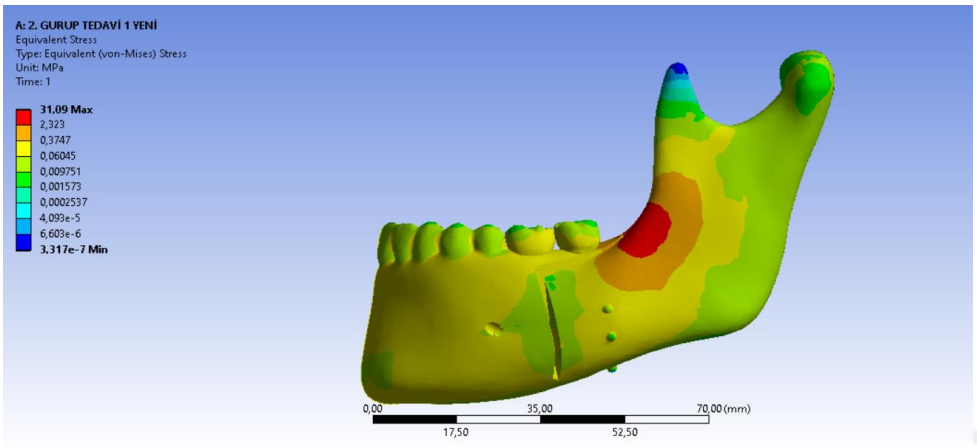
Şekil 4.24: Grup 1-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

4.1.5. Grup 2-A Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

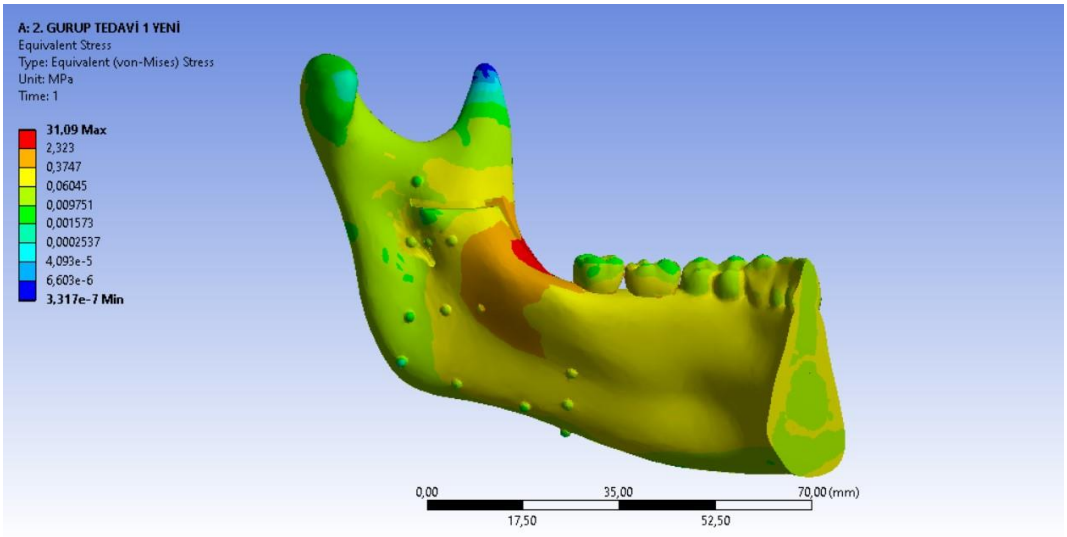
Lingualde lingulanın 3mm gerisinde bitirilen, bukkalde ise mandibula tabanının bukkalinde bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 31,09 Mpa'dır.

Orta dereceli stres birikimi temporomandibular eklem kondilinde gözlenmemiştir.

2-A modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.25 ve şekil 4.26'daki gibidir.

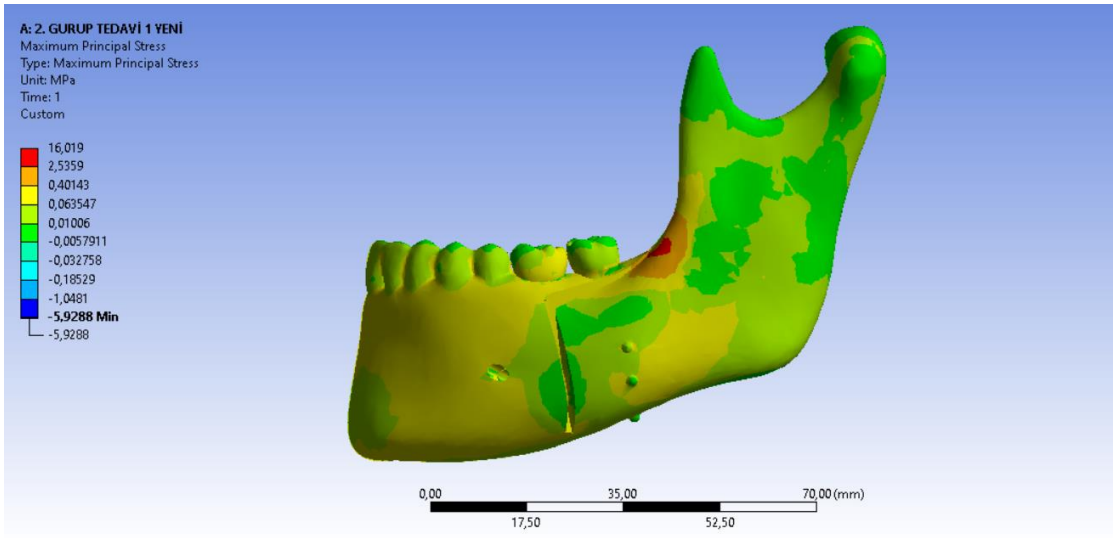


Şekil 4.25: Grup 2-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

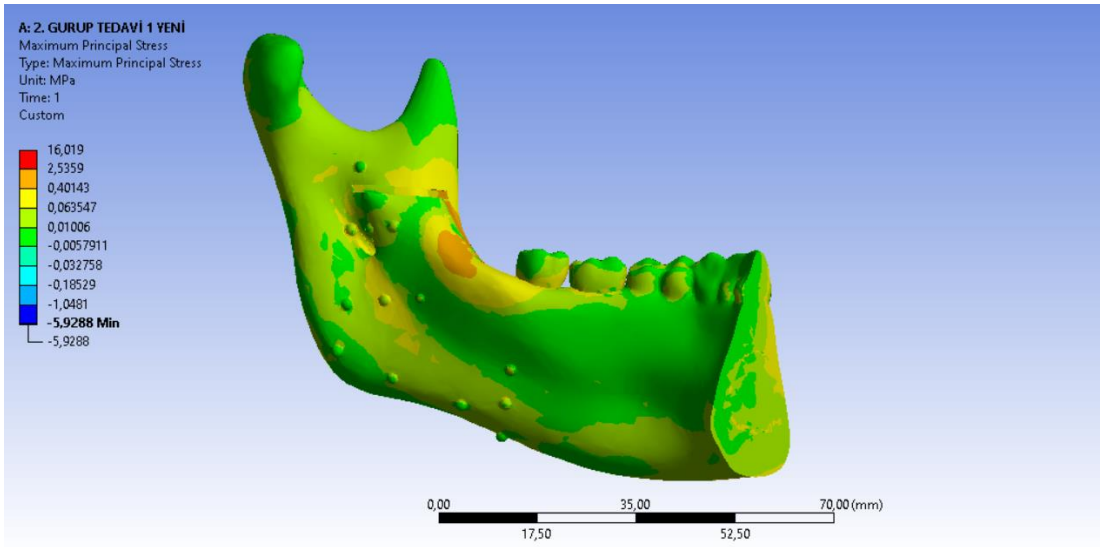


Şekil 4.26: Grup 2-A modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

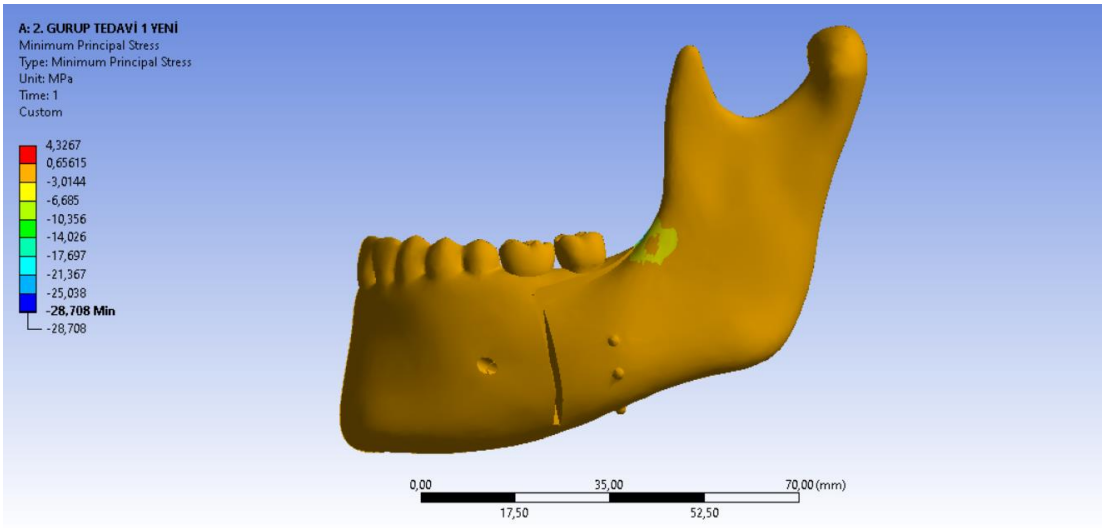
2-A modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.27, şekil 4.28, şekil 4.29 ve şekil 4.30'daki gibidir.



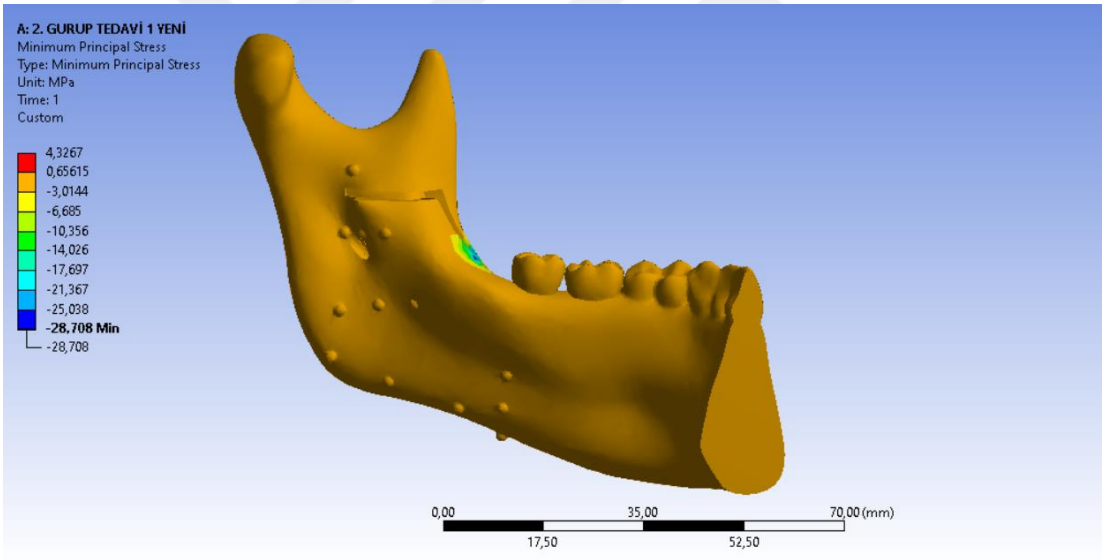
Şekil 4.27: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.28: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.29: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



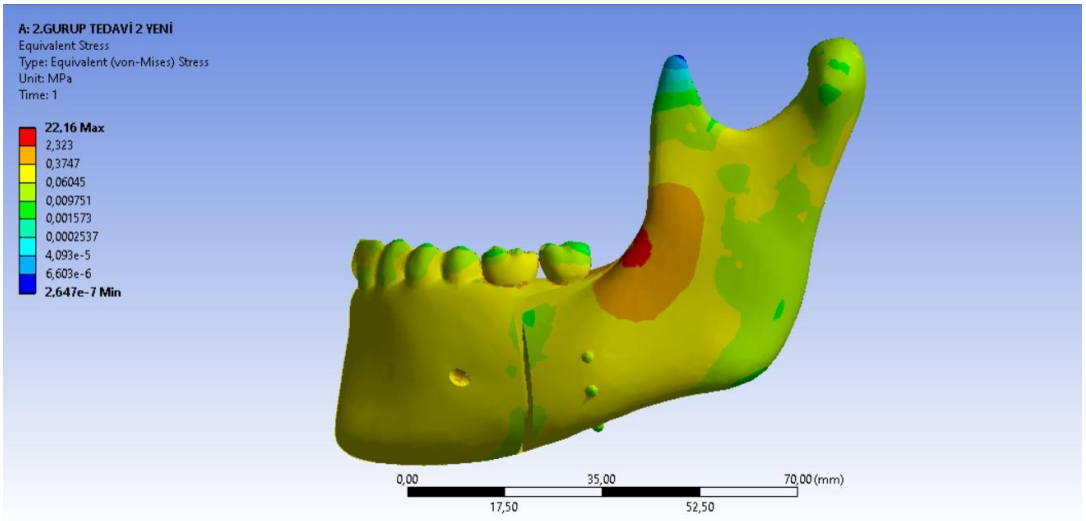
Şekil 4.30: Grup 2-A modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

4.1.6. Grup 2-B Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

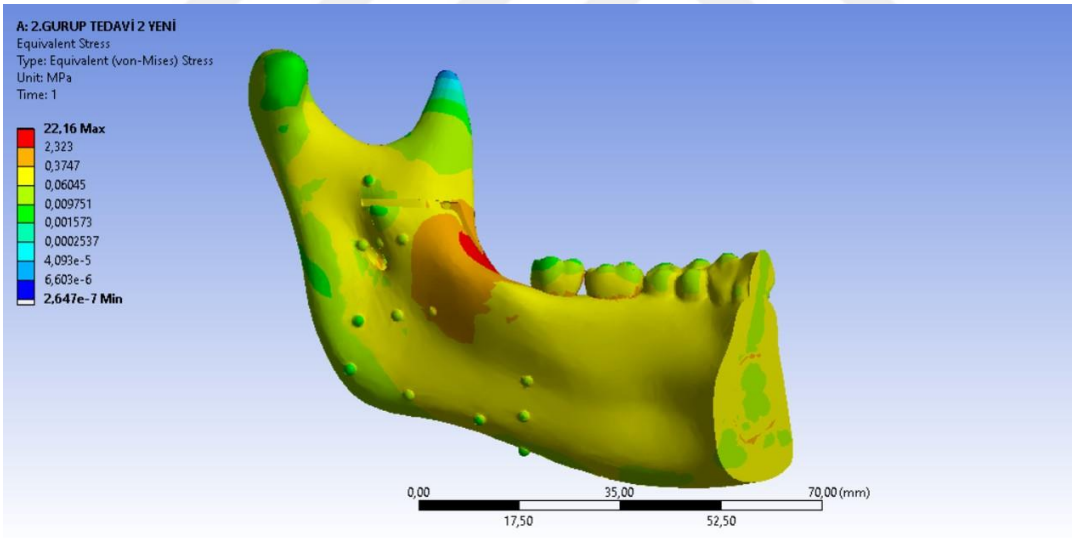
Lingualde lingulanın 3 mm gerisinde, bukkalde mandibula tabanının ortasında bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 22,16 Mpa'dır.

Stres birikimi temporomandibular eklem kondil boynunda gözlenmektedir.

2-B modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.31 ve şekil 4.32'deki gibidir.

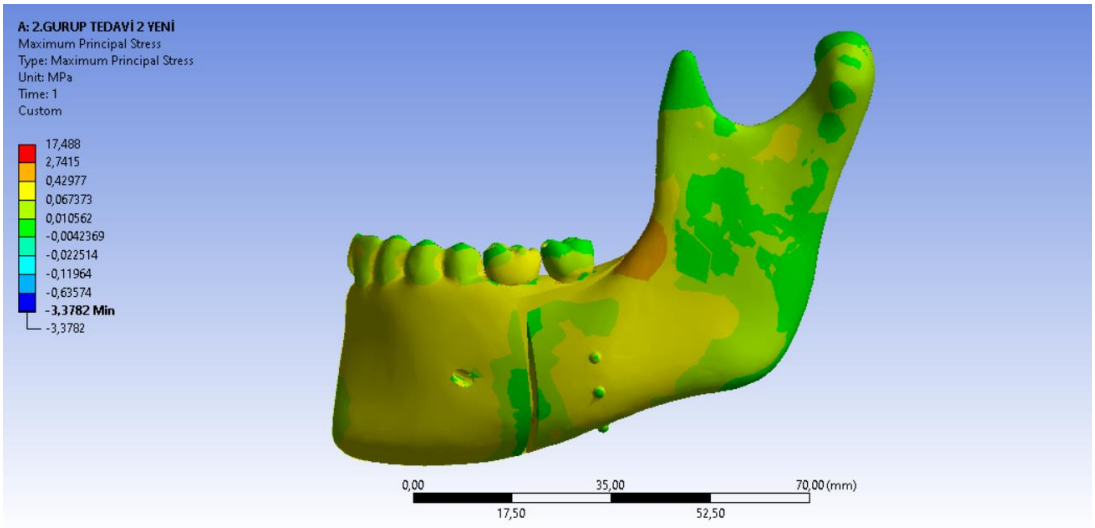


Şekil 4.31: Grup 2-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

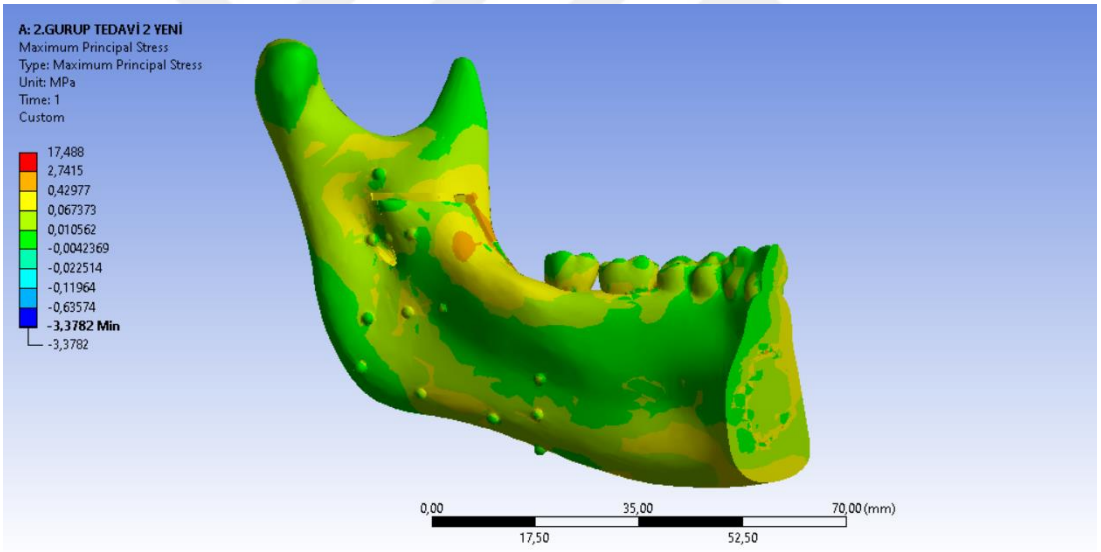


Şekil 4.32: Grup 2-B modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

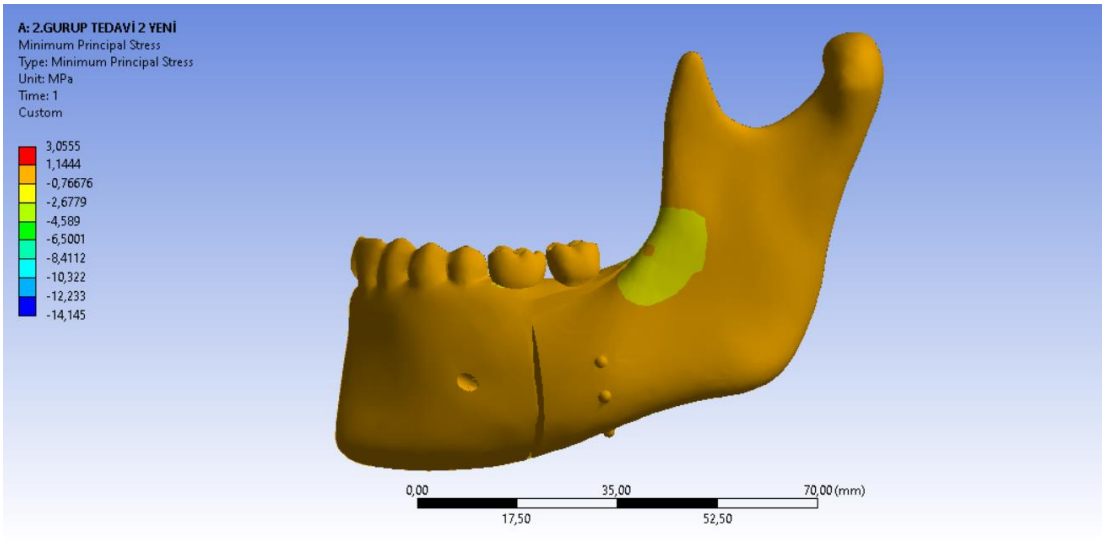
2-B modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.33, şekil 4.34, şekil 4.35 ve şekil 4.36'daki gibidir.



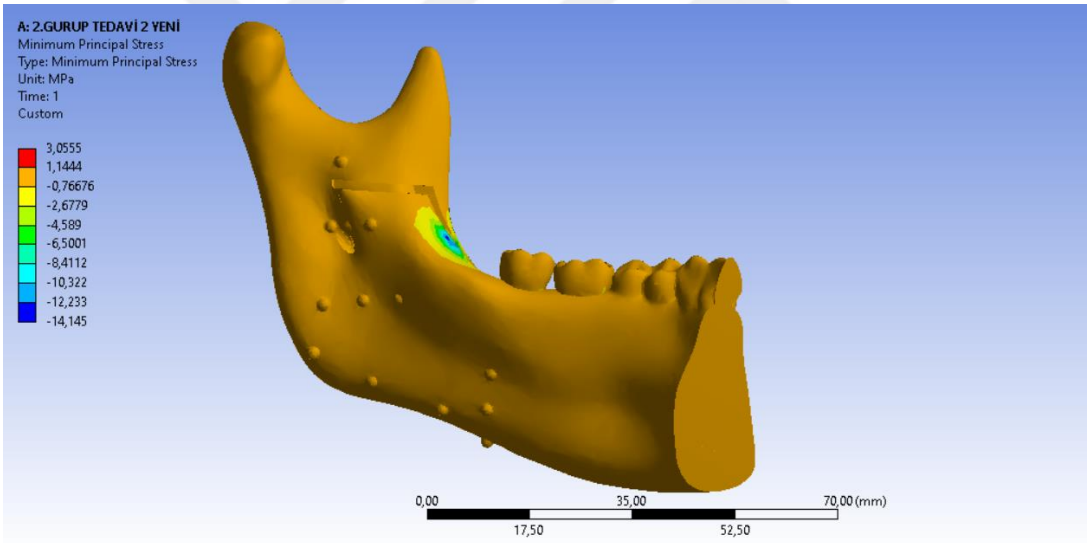
Şekil 4.33: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.34: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.35: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



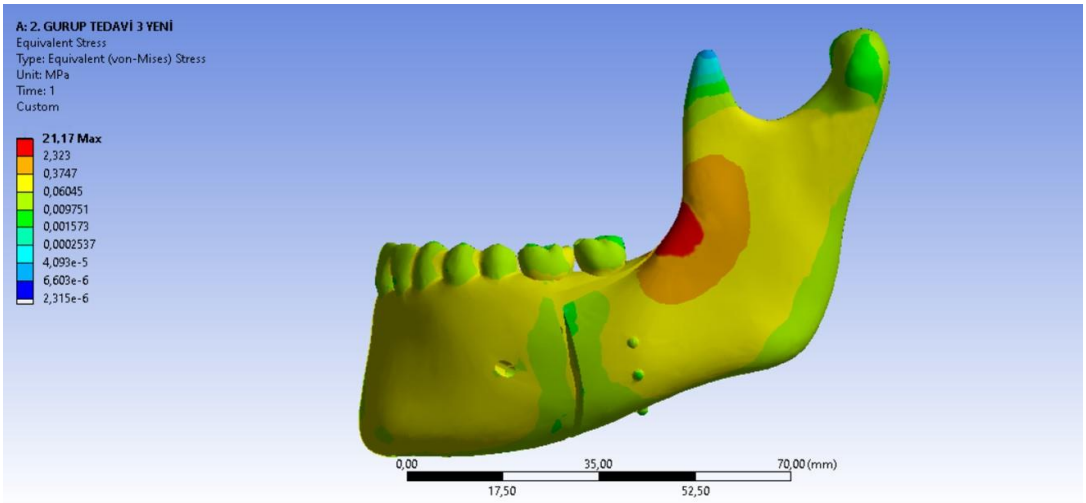
Şekil 4.36: Grup 2-B modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

4.1.7. Grup 2-C Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

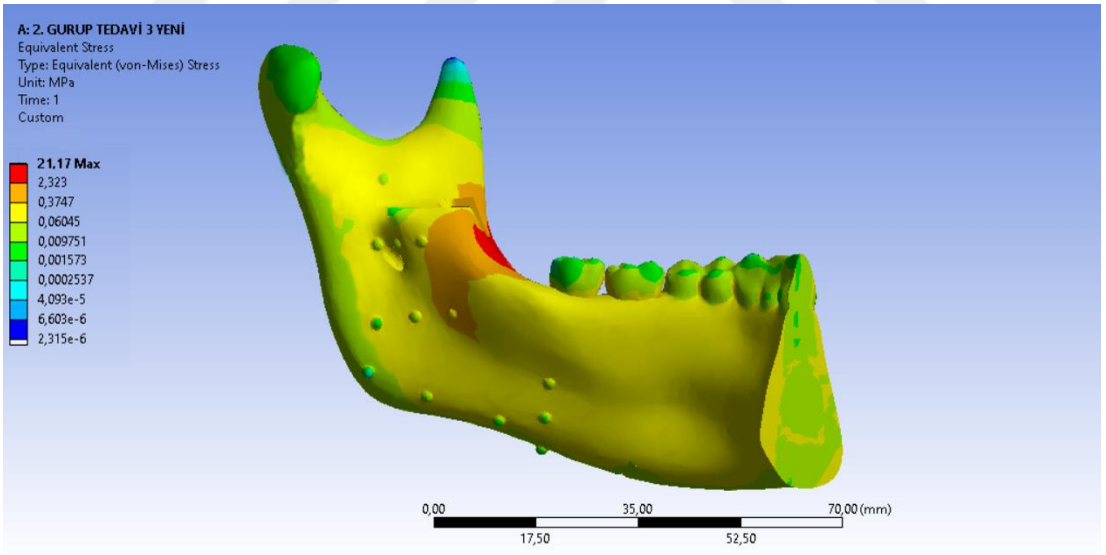
Lingualde linguladan 3 mm geride, bukkalde mandibula tabanının lingualinde bitirilen modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 21,17 Mpa'dır.

Orta dereceli stres birikimi temporomandibular eklem boynuna ulaşmıştır.

2-C modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.37 ve şekil 4.38'deki gibidir.

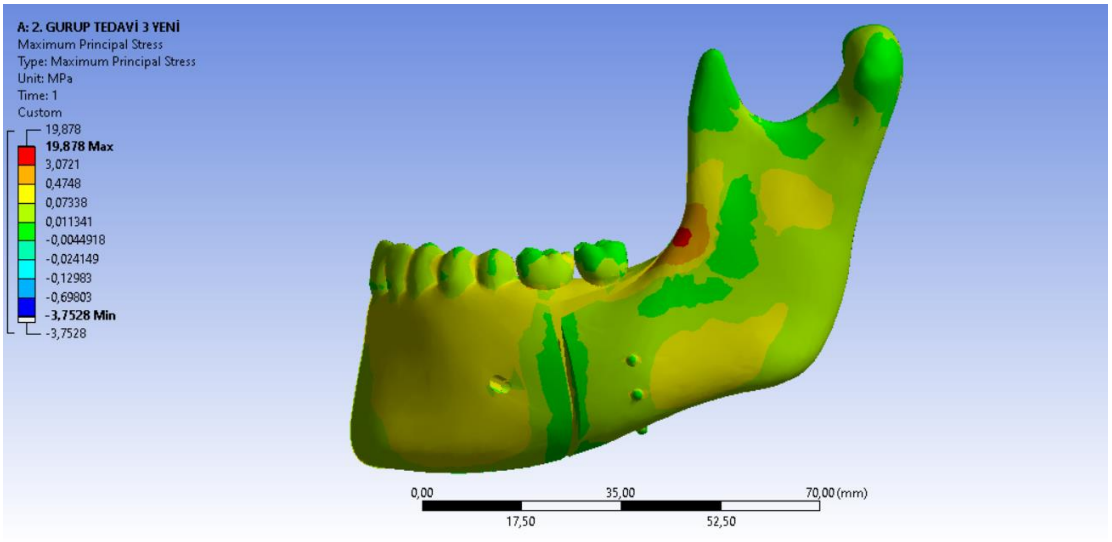


Şekil 4.37: Grup 2-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

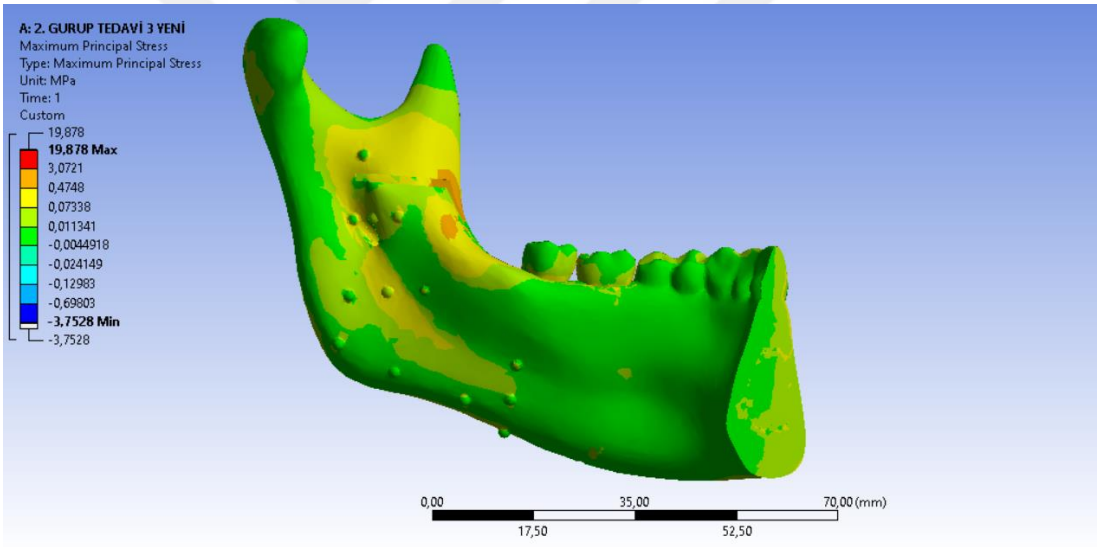


Şekil 4.38: Grup 2-C modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

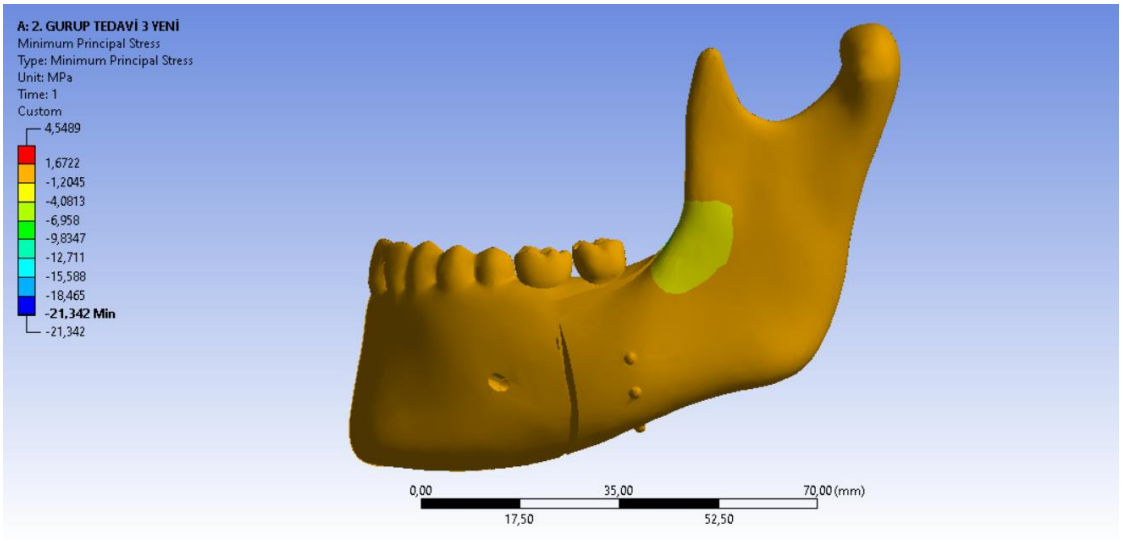
2-C modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.39, şekil 4.40, şekil 4.41 ve şekil 4.42'deki gibidir.



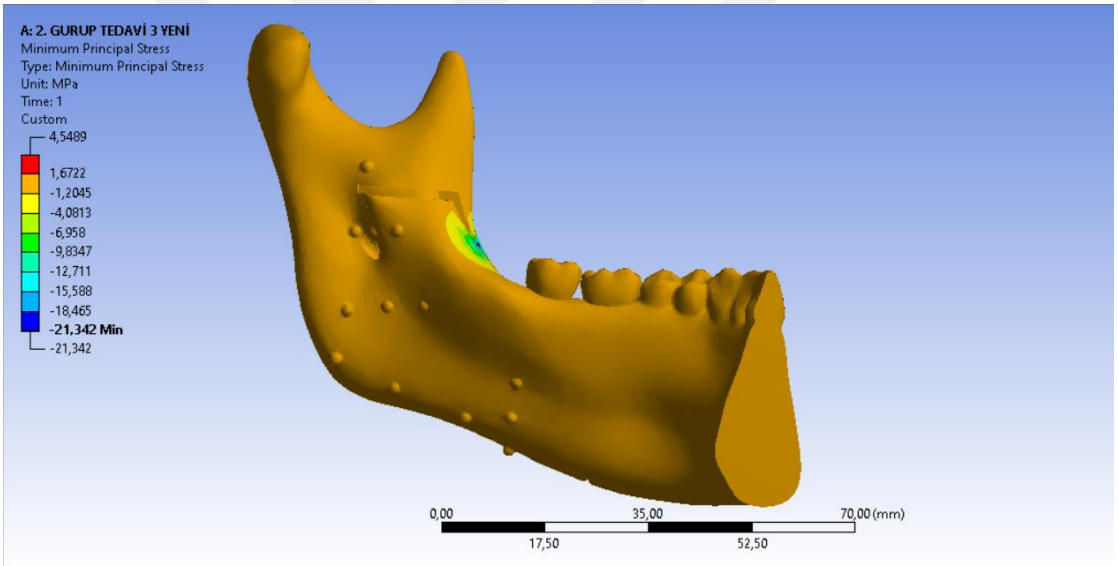
Şekil 4.39: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.40: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.41: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm

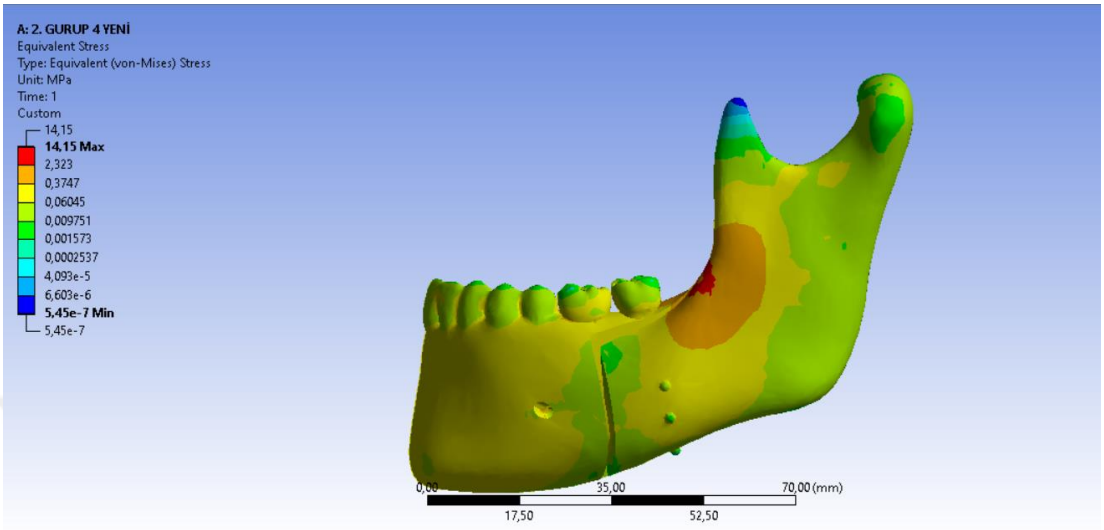


Şekil 4.42: Grup 2-C modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

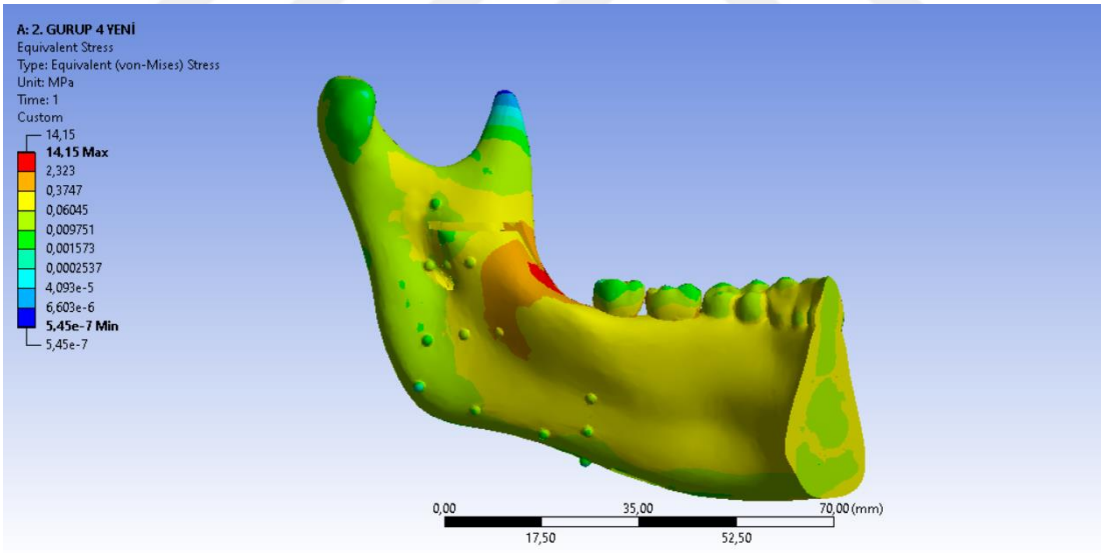
4.1.8. Grup 2-D Modeli'ne Uygulanan Kuvvet Sonrası Oluşan Stres Analizi

Lingualde lingulanın 3 mm gerisinde bitirilen, bukkalde ise Wolford kesisi yapılan modelde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı bölgelerde ölçülmüştür ve 14,15 Mpa'dır.

2-D modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin von Mises analizi şekil 4.43 ve şekil 4.44'deki gibidir.

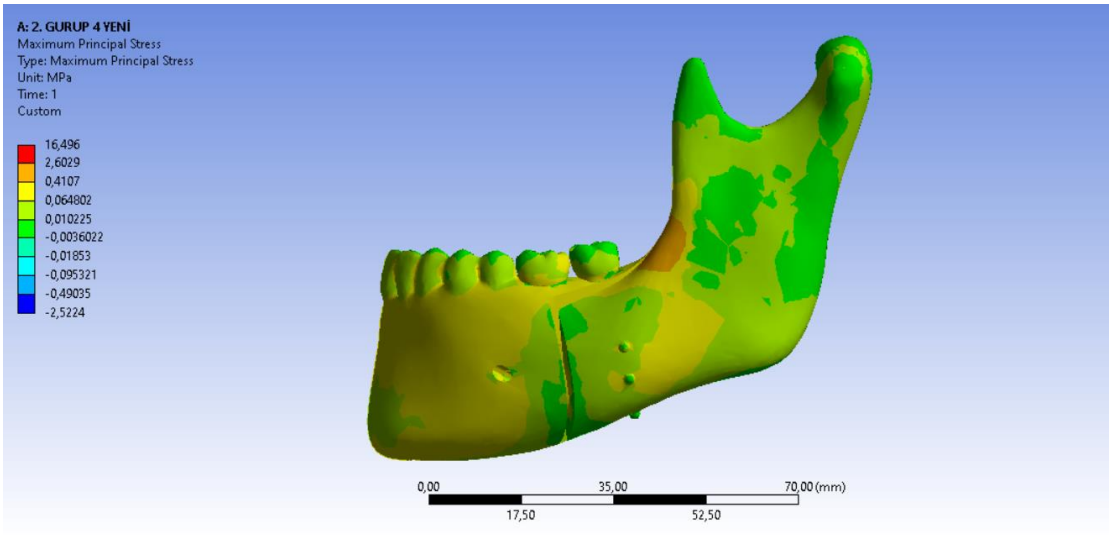


Şekil 4.43: Grup 2-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının bukkal görünümü

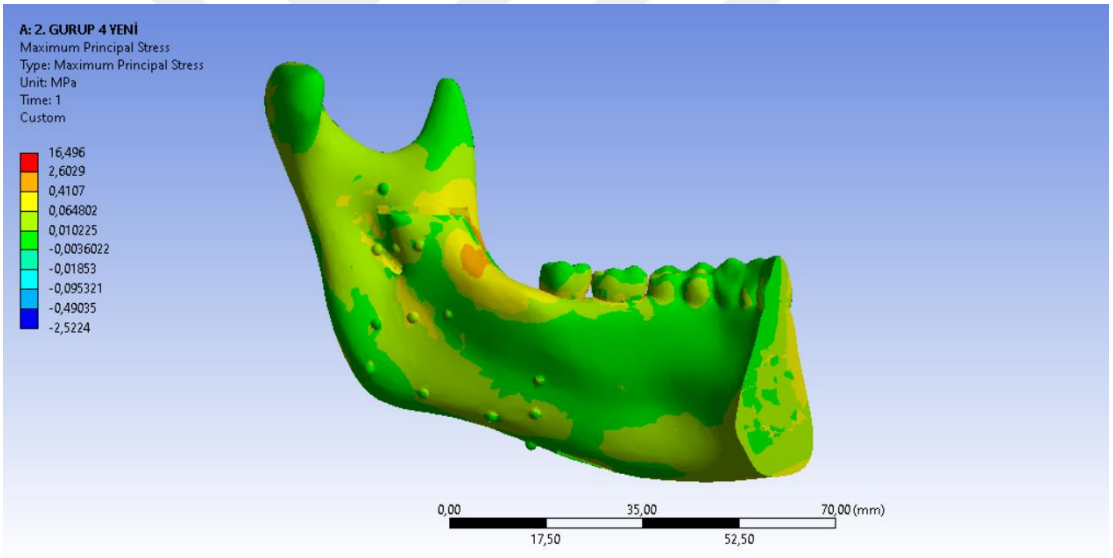


Şekil 4.44: Grup 2-D modelinde kortikal kemiğe gelen von Mises stres değerleri dağılımının lingual görünümü

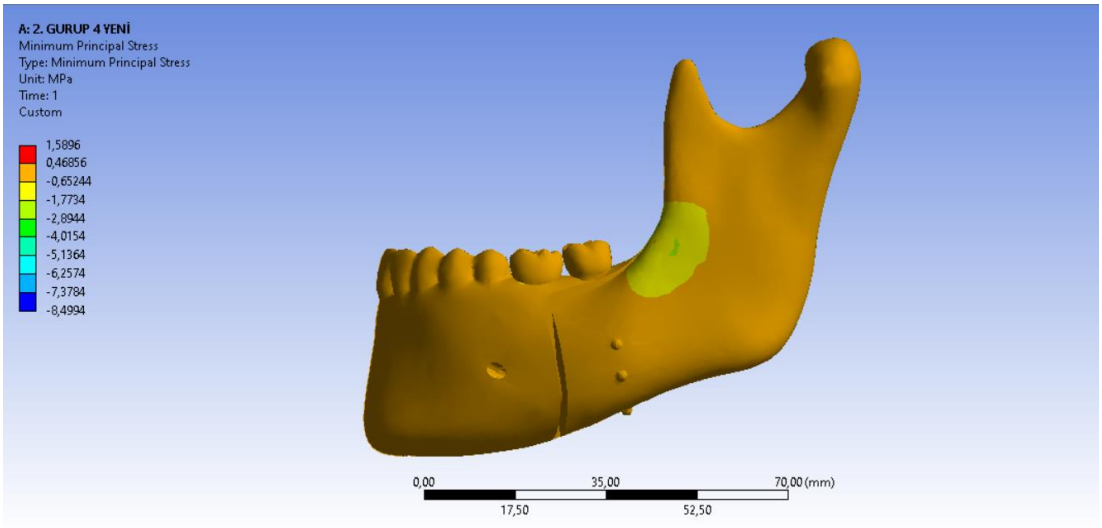
2-D modelinde osteotomi hattına uygulanan 100 N'luk kuvvetin oluşturduğu stresin maximum ve minimum principal stres değerleri analizi şekil 4.45 şekil 4.46, şekil 4.47 ve şekil 4.48'deki gibidir.



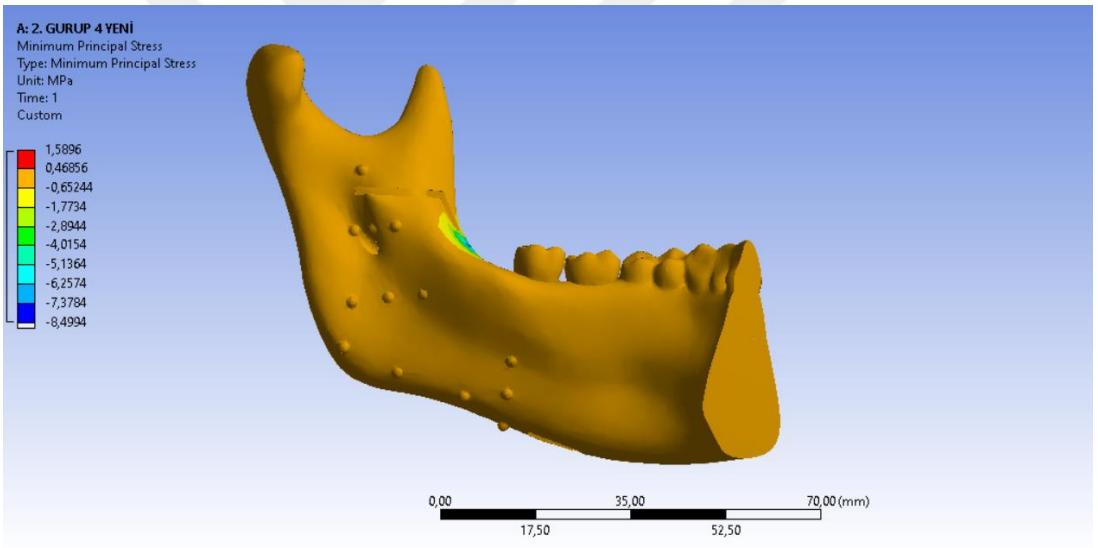
Şekil 4.45: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.46: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki maximum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm



Şekil 4.47: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı bukkal görünüm



Şekil 4.48: Grup 2-D modelinde kortikal kemikteki minimum principal stres değerlerinin dağılımı lingual görünüm

Modellerde ölçülen maksimum von Misses stres değerleri toplu şekilde tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2).

Tablo 4.1: Modellerde ölçülen maksimum von Mises stres değerleri.

	Modelde Olçülen Maksimum Von Mises Stres Değeri	Lokasyon
Grup 1-A Modeli	32,43 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-B Modeli	22,48 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-C Modeli	21,98 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-D Modeli	14,17 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-A Modeli	31,09 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-B Modeli	22,16 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-C Modeli	21,17 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-D Modeli	14,15 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge

Tablo 4.2: Modellerde ölçülen maksimum von Mises stres değerlerinin büyükten küçüğe sıralaması

	Modelde Olçülen Maksimum Von Mises Stres Değeri	Lokasyon
Grup 1-A Modeli	32,43 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-A Modeli	31,09 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-B Modeli	22,48 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-B Modeli	22,16 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-C Modeli	21,98 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-C Modeli	21,17 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 1-D Modeli	14,17 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge
Grup 2-D Modeli	14,15 Mpa	Kuvvet uygulanan bölge

Modellerde ölçülen maksimum principal ve minimum principal stres değerleri toplu şekilde tablo halinde sunulmuştur (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Modellerde ölçülen maksimum principal ve minimum principal stres değerleri

	Maximum Principal Stres Değeri	Minimum Principal Stres Değeri
Grup 1-A Modeli	21,99 Mpa	-13,94 Mpa
Grup 1-B Modeli	19,33 Mpa	-24,80 Mpa
Grup 1-C Modeli	16,78 Mpa	-11,75 Mpa
Grup 1-D Modeli	19,12 Mpa	-14,90 Mpa
Grup 2-A Modeli	16,01 Mpa	-28,70 Mpa
Grup 2-B Modeli	17,48 Mpa	-14,14 Mpa
Grup 2-C Modeli	19,87 Mpa	-21,34 Mpa
Grup 2-D Modeli	16,49 Mpa	-8,49 Mpa

Modellerde von Mises stres değerlerinin oluşturduğu renk skalasına göre uyguladığımız puanlama sistemi sonuçları tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7).

Tablo 4.4: Modellerde ölçülen von Mises stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu

	NOKTALARIN BULUNDUĞU DOĞRULAR	TURUNCU	SARI	AÇIK YEŞİL	PUAN	TOPLAM PUAN
Grup 1-A Modeli	DIŞ	0	1	3	10	92
	ORTA	0	3	1	22	
	İÇ	1	2	1	60	
Grup 1-B Modeli	DIŞ	0	3	1	22	116
	ORTA	0	4	0	28	
	İÇ	1	3	0	66	
Grup 1-C Modeli	DIŞ	0	2	2	16	110
	ORTA	0	4	0	28	
	İÇ	1	3	0	66	
Grup 1-D Modeli	DIŞ	0	0	4	4	86
	ORTA	0	3	1	22	
	İÇ	1	2	1	60	
Grup 2-A Modeli	DIŞ	0	1	3	10	92
	ORTA	0	3	1	22	
	İÇ	1	2	1	60	
Grup 2-B Modeli	DIŞ	0	3	1	22	116
	ORTA	0	4	0	28	
	İÇ	1	3	0	66	
Grup 2-C Modeli	DIŞ	0	3	1	22	116
	ORTA	0	2	2	28	
	İÇ	1	3	0	66	
Grup 2-D Modeli	DIŞ	0	0	4	4	80
	ORTA	0	2	2	16	
	İÇ	1	2	1	60	

Tablo 4.5: Dış çizgilerde ölçülen von Mises stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu

	TURUNCU	SARI	AÇIK YEŞİL	PUAN
Grup 1-A Modeli	0	1	3	10
Grup 1-B Modeli	0	2	2	16
Grup 1-C Modeli	0	2	2	16
Grup 1-D Modeli	0	0	4	4
Grup 2-A Modeli	0	1	3	10
Grup 2-B Modeli	0	3	1	22
Grup 2-C Modeli	0	3	1	22
Grup 2-D Modeli	0	0	4	4

Tablo 4.6: Orta çizgilerde ölçülen von Mises stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu

	TURUNCU	SARI	AÇIK YEŞİL	PUAN
Grup 1-A Modeli	0	2	2	16
Grup 1-B Modeli	0	4	0	28
Grup 1-C Modeli	0	4	0	28
Grup 1-D Modeli	0	3	1	22
Grup 2-A Modeli	0	3	1	22
Grup 2-B Modeli	0	4	0	28
Grup 2-C Modeli	0	4	0	28
Grup 2-D Modeli	0	2	2	16

Tablo 4.7: İç çizgilerde ölçülen von Mises stres değerleri renk skalasının puanlama tablosu

	TURUNCU	SARI	AÇIK YEŞİL	PUAN
Grup 1-A Modeli	1	2	1	60
Grup 1-B Modeli	1	3	0	66
Grup 1-C Modeli	1	3	0	66
Grup 1-D Modeli	1	2	1	60
Grup 2-A Modeli	1	2	1	60
Grup 2-B Modeli	1	3	0	66
Grup 2-C Modeli	1	3	0	66
Grup 2-D Modeli	1	2	1	60

5. TARTIŞMA

Sagittal split ramus osteotomisinde splitting manevrası sırasında yaşanabilecek komplikasyonları önlemek için yapılan birçok hayvan deneyi ve in vitro çalışma literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalarda birçok yeni SSRO modifikasyonu test edilmiştir ve eski teknikler karşılaştırılmıştır. Fakat hayvan çeneleri ile insan çenesi arasında gerek kemik yoğunluğu gerekse form açısından belirgin farklar bulunduğu için bu çalışmalardan alınan sonuçlar doğrudan insan çenesine yansıtılması ideal değildir. Kadavra çalışmalarında ise bu sakınca giderilmiş olmasına rağmen kadavra çenelerinin bekletildiği formalin solüsyonunun kemiklerin mekanik özelliklerini etkilediği ve farklı insanlara ait çenelerin homojen anatomik özellikler göstermediği gibi sorunlar bulunmaktadır. Wang ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmada ramus uzunluğu daha kısa olan ve ikinci molar dişin distalindeki bukkolingual kalınlığı düşük olan hastalarda kötü bölünme riskinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak tek tip bir mandibula ile çalışılmadığında anatomik farklılıklardan kaynaklanan morfolojik değişiklikler nedeniyle ideal kesi ile ilgili net bir sonuç ortaya çıkmayacağı düşünülmektedir (26,30,35,39,54,56,57).

Literatürde diş hekimliği ile ilgili sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan çalışmalar son yıllarda artmaya başlamıştır. SSRO'da ve mandibula kırıklarında kullanılan biyomateryallerin dayanıklılığı ile ilgili birçok sonlu elemanlar analizi çalışması bulunmaktadır. Bunun yanında implant cerrahisi, protetik stres değerlendirmeleri ve ortodontik tedaviler ile ilgili birçok sonlu elemanlar analizi çalışması mevcuttur. SSRO kesi modifikasyonları ile ilgili Takahashi ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışmada Obwegeser-Dal Pont modifikasyonu kullanılan modellerde mini plaklar ile yapılan fiksasyonun daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır (21,55,58-60).

Çalışmamızda günümüzde yaygın olarak kullanılan SSRO modifikasyonları karşılaştırılmıştır. Bu modifikasyonlarda splitting manevrası sırasında oluşabilecek komplikasyonlar ve kemikte daha az stres oluşturan osteotomi yöntemi daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmiştir. Kullanımı en güvenilir olan osteotomi yönteminin tespitine yardımcı olmak amaçlanmıştır.Bu çalışma ile ilk defa simülasyon ortamında net stres değerleri gözlenmiştir. Bu stres değerleri farklı

kesi modifikasyonlarında karşılaştırılmıştır. Bu açıdan çalışmamız bir ilk olma özelliğini taşımaktadır.

Çene deformiteleri malokluzyona, estetik bozukluklara ve OSAS'a sebep olmaktadır. İskelet ve diş yapılarındaki bozuklukların sadece ortodontik tedavi ile çözülemeyeceği durumlar için ortognatik cerrahi uygulamaları uzun süredir uygulanmaktadır. Bu deformitelerin tedavisinde mandibular cerrahi için bilateral SSRO, maksiller cerrahi için ise Le Fort I osteotomileri sıklıkla uygulanmaktadır. SSRO tekniğinin tercih edilmesinin en önemli sebepleri intraoral olarak uygulanabilmesi, anatomik ve fizyolojik başarının sağlanabilmesi, farklı deformitelerde kullanılabilmesi ve rijit fiksasyona imkân sağladığı için intermaksiller fiksasyona olan ihtiyacın azalmasıdır. SSRO ile mandibula üç boyutlu olarak her yöne hareket ettirilebilir. Bu osteotomilerin üzerinde en sık tartışılan konular kötü kırık oluşum riski ve cerrahi sonrası oluşan relapslardır. Relaps üzerinde etkisi olabileceği düşünülen bazı faktörler; maloklüzyonun derecesi, uygulanan cerrahi teknik, tek veya çift çene cerrahisi, fiksasyon yöntemi ve maksillomandibular fiksasyonun süresidir. Kötü kırık oluşumu üzerinde ise kesi sınırları varyasyonları ve kesi derinliğinin olduğu düşünülmektedir. Bu riskin azaltılması için pek çok yöntem denenmiştir. 1957'de Hugo Obwegeser ve Richard Trauner'ın SSRO'yu tanımlamıştır. Bunun sonrasında bunu modifiye eden Dal Pont (1961), Hunsuck (1968) , Epker (1977) ve Wolford (1990) kötü kırık ve iyileşme potansiyelini optimize eden birçok değişikliği literatüre kazandırmıştır (4,5,12,14,22,23,26,28,34).

Kullanılan modifikasyonlarda komplikasyon riskinin düşük olması en fazla dikkat edilen ve araştırılan husustur. Kötü kırık, sinir hasarı ve benzeri komplikasyonların oluşmaması için en doğru kesinin uygulanması önem taşır. Komplikasyonların önlenmesi için kemiğin doğru bölgelerinde stres oluşturmak ve bu stresi kırılmayı sağlayabileceğimiz minimum değerde tutmak önemlidir. Bu bilgiler ışığında amacımız SSRO'da kullanılan kesi modifikasyonlarının stres dağılımı üzerine etkisini incelemektir. Çalışmamızda osteotomi hattı ve çevresindeki stres birikimi ve ramusun medial bölgesinde oluşan stres dağılımları karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda mandibula için von Mises stres değerleri dikkate alınmıştır. Çalışmamızda kullandığımız 8 modelimizde maksimum von Mises stres değerleri 14,14 Mpa ile 31,08 Mpa arasında izlenmiştir. Aynı zamanda çalışmamızda günümüzde en çok kullanılan kesiyi taklit eden Hunsuck modifikasyonu ve kısa medial kesiyi içeren 1-C modeli kullanılmıştır. Bu kesi göz önünde

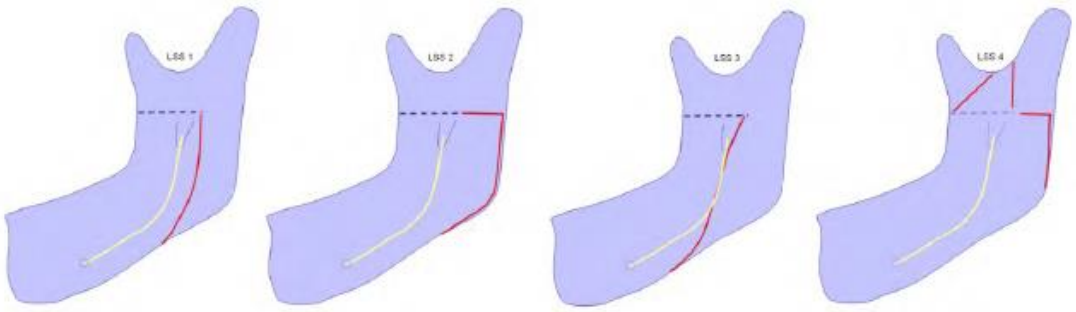
tutularak renk skala limitleri sabitlenmiştir. Aşağıda detayları verilen diğer bazı çalışmalarda da bu şekilde bir metot izlenmiştir (21,35,58,61,62,63).

Wolford 1990 yılında mandibulanın alt sınırında stabiliteyi kolaylaştıracak ve komplikasyonları en aza indirecek sagittal bölünmeyi oluşturmak için yeni bir teknik tanımlamıştır. Modifiye teknik, mandibulayı sagittal olarak ayırmadan önce yapılan ön kemik kesilerinin bir parçası olarak bir alt sınır osteotomisini içermekteydi. Wolford bu çalışmasında mandibula alt sınır kesisi yapıldığında daha öngörülebilir ve kontrollü bir ayrılmanın olacağını belirtmiştir. Wolford alt kenar kesisi kullanılan diğer çalışmalara bakıldığında Böckman ve arkadaşları 2011 yılında hayvan deneyi, 2015 yılında ise in vitro ortamda yaptıkları insan mandibulası çalışmalarında Wolford'un tanımladığı mandibula alt sınır kesisini uygulamış ve çalışmalarında kullanmışlardır. Sonuç olarak mandibula alt kenarına alt sınır kesisinin eklenmesi in-vitro ortamda mandibulayı ayırmak için gerekli olan kuvveti önemli ölçüde azaltmıştır ve daha tahmin edilebilir bir ayrılma sonucuna ulaşılmıştır. SSRO'nun bu modifikasyonu, tüm bu ayrılmaları sinirden daha güvenli uzaklıkta gerçekleştirerek inferior alveolar sinir hasarına da daha az sebep açabileceği düşünülmüştür. Benzer şekilde Vignesh ve arkadaşları keçi mandibulası üzerinde yaptıkları çalışmada Wolford alt sınır kesisi uygulanan çenelerde ayrılma için gereken kuvvetin %31 oranında düştüğü sonucuna varmışlardır. Çalışmamızda bu modifikasyonu da 2 modelimizde kullandık. Grupların görsel haritalarındaki ve maksimum von Mises stres değerleri arasındaki fark anlamlı olarak tespit edildi. Ve sonuçta mandibula alt sınır kesisi uygulamasının kemikte oluşan maksimum stres değerini düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Bu bize mandibula alt sınır kesisi kullanılarak daha uzun bir kesi hattı oluşturulduğunda ayrılmanın daha düşük bir kuvvetle olabileceğini yani daha kontrollü ve öngörülebilir olacağını göstermiştir. Wolford'un daha önce yaptığı çalışma ve Wolford kesisi kullanan çalışmalar ile çalışmamızdaki bulgular paralellik göstermiştir. Bizim çalışmamızda da Wolford kesisi uygulanan modellerde düşük stresler izlenmiştir. Aynı zamanda bu modellerde stres mandibulanın daha üst bölgelerinde toplanmıştır. Bu da bize alt bölgede ekstra bir osteotom kullanarak kırılmayı yönlendirebileceğimizi düşündürmüştür (4,5,12,18,22-24,27,28,30,34,54,64).

Uzun medial kesi ve Wolford'un tanımladığı Wolford alt kenar kesisi uygulanan 2-D modelinde en uzun kesi hattı uygulanmıştır. Kesi hattı uzun olduğu için maksimum von Mises stres değeri düşük ölçülmüştür ve 14,15 Mpa'dır. Oluşturduğumuz tablodaki

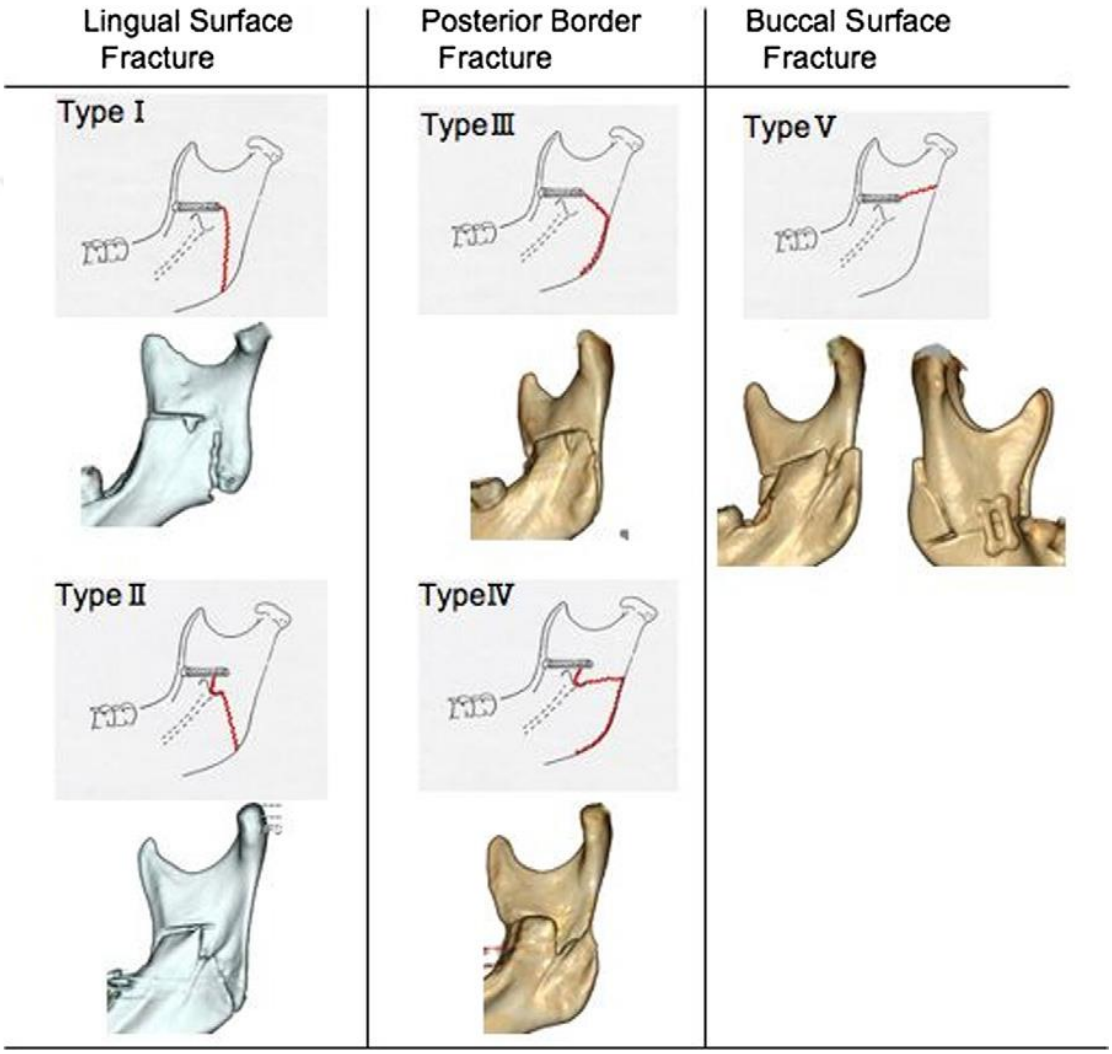
von Mises stres puanlaması değerlendirildiğinde de en düşük toplam von Mises stres puanı bu modelde ölçülmüştür. Bu bize 2-D modelinde kırılmanın daha düşük kuvvetlerle gerçekleşebileceğini göstermektedir. Fakat bu kesinin cerrahi uygulama zorluğunu da göz önünde bulundurmak gerekir. Konu ile ilgili daha fazla çalışma yapılmadan klinik veri olarak kullanılmamalıdır. Wolford'un daha önce yaptığı çalışmalarda gördükleri gibi kesi uzunluğu arttığında daha kontrollü ve öngörülebilir bir ayrılmanın olabileceği görülmüştür. Bu yönüyle çalışmamız ile Wolford'un çalışmaları arasında benzerlik bulunmuştur (12,18,24,28).

Plooij ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları prospektif çalışmada lingual bölgedeki kırık hatlarını kategorize etmek için lingual ayrılma ölçeği belirledi. 3 boyutlu görüntüleme ile yapılan bu çalışmada ayrılma paterni medial kesinin uzunluğu ile ilişkilendirilmiştir. Zamiri ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı çalışmada ise kısa medial kesi ve uzun medial kesi karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada 2 kesi arasında kötü kırık oluşumu açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Bizim çalışmamızda ise uzun medial kesi uygulanan modellerde stres yoğunluklarının ramusun arkasına doğru ilerlediği görülmektedir. Bu durumda uzun medial keside, Plooij ayrılma ölçeğindeki (Şekil 5.1) geriden ayrılma modellerine yaklaşıldığı şeklinde yorumlanabilir. Ramus posterioruna doğru uzanan keside stresler posteriorda daha çok yoğunlaşma eğilimindedir. Bu nedenle medial kesinin uzatıldığı durumlarda stresler ramus posterioruna uzanacağı için kondili de içine alan kötü kırık riski açısından çalışmamızın sonuçları dikkate alınabilir. Fakat daha fazla kadavra ve in vitro çalışma yapılmadan klinik veri olarak kullanılmamalıdır (31,34,35).



Şekil 5.1: Plooij ve arkadaşlarının çalışmasında tanımladığı lingual ayrılma skalası (31)

Muto ve arkadaşları, SSRO'dan sonra mandibular ramustaki gerçek kırık hattını, panaromik röntgen ya da CBCT ile incelemişlerdir. 30 vakada SSRO sonrası mandibula ramusundaki kırık hattını CBCT ile gözlemlemiştir. Muto ve arkadaşları yaptıkları çalışmada mandibular ramus kırıklarının lingual yüzey, posterior kenar ve ramusun bukkal yuzeyi olarak 3 bölgede meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu kırıklar görselde görüldüğü gibi 5 grup olarak kategorize edilmiştir (Şekil 5.2) (34).



Şekil 5.2: Muto ve arkadaşlarının çalışmasındaki 5 kırık tipinin 3 boyutlu tomografi görüntüleri (34)

Tip I, mandibular foramenlerin arkasında mandibular köşeye doğru kırılmış; tip II mandibular foramenden kırılmış ve angulusa doğru oblik olarak yayılmış; tip III, angulusa doğru bükülmeden önce posterior sınıra doğru uzanan medial bir fraktür ile

bölünmüş; tip IV, mandibular foramenden posterior sınıra doğru uzanan ve angulusa doğru kavisli medial kemik fraktürü ile kırılmış; ve tip V, angulusun lateral kesi ucuna doğru bükülmeden önce posterior sınır boyunca bukkal tarafa doğru uzanan medial kemik fraktürü ile kırılmıştır. Yaptığımız çalışmada modellerin görsel haritaları incelendiğinde uzun medial kesi uygulanan modellerde stres birikimi ramusun posteriorunda daha yüksek izlenmiştir. Bu sonucun medial osteotominin uzatılarak stresin o bölgelere doğru yönlendirilmesine bağlı olduğu düşünülmüştür. Benzer şekilde Muto ve arkadaşları da kısa medial kesinin daha iyi kırıklar oluşturacağını savunmuştur. Çalışmamızın sonucu bu çalışmalar ile paralellik göstermektedir (34).

1968'de Hunsuck medial kortikal kesi ile ilgili bir modifikasyon uygulamıştır. Medial kortikal kesiyi ramusun posterior kenarı yerine lingulanın hemen arkasına kadar kısaltmıştır. Ploij ve Muto yaptıkları çalışmalarda kısa medial kesi ile birlikte farklı lateral kesileri karşılaştırmışlardır. Lingualde lingulanın üzerinde, bukkalde mandibula tabanının bukkalinde bitirilen 1-A modelinde en yüksek von Mises değeri kuvvetlerin uygulandığı 2.molar dişin distali hizasında ölçülmüştür ve 32,43 Mpa'dır. Bu kullandığımız 8 model arasında ölçtüğümüz en yüksek stres değeridir. Yüksek ve orta dereceli stresler temporomandibular eklem kondiline uzanmamıştır. Kısa medial kesi ve bukkalde bitirilen lateral kesinin stresi temporomandibular eklemden uzak tuttuğu düşünülmüştür. Bu durum bize eklem bölgesinin stresten etkilenmeyeceğini düşündürse de, bu kesi dizaynında bukkal kötü kırık oluşma riski mevcut olduğu diğer çalışmalarda da görülmüştür (40,49,53).

Hunsuck'un tanımladığı gibi lingualde lingulanın üzerinde, bukkalde mandibula tabanının ortasında bitirilen 1-B modelinde en yüksek von Mises değeri 22,48 Mpa olarak ölçülmüştür. Medial kesileri aynı olup bukkalde mandibula tabanının lingualinde bitirilen 1-C modelinde en yüksek von Mises 21,98 Mpa olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda kuvvete bağlı oluşan stres haritaları incelendiğinde de benzerlikler görülmüştür. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde diğer özellikleri aynı olup mandibula tabanında ve mandibula tabanının lingualinde bitirilen modellerde stres oluşumu açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır. Uzun medial kesi uygulanan 2-B ve 2-C modelleri karşılaştırıldığında da aynı durum görülmüştür. (22,31,34).

Daha önce yapılan çalışmalarda lateral kesi bukkalde bitirildiğinde stres birikimlerinin istediğimiz bölgelerde yoğunlaşmadığı ve bu durumun kötü kırık

oluşummuna sebep olabildiği gözlemlenmiştir. 2012 yılında Muto ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kötü kırık oluşumunu önlemek için lateral kesiyi linguale doğru ilerletmeyi tavsiye etmiştir. Daha sonra Möhlhenrich ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları çalışmada bukkal kötü kırık oluşumundan kaçınmak için lateral kesinin daha lingualde bitirilmesinin önemini vurgulamıştır. Lateral osteotominin bukkalde bitirildiği modellerde stres ramusun posterioruna doğru uzanmamaktadır. Anteriorda kalmaktadır. Aynı zamanda mandibula tabanında da düşük stres izlenmektedir. Bu durum literatürde de belirtildiği gibi bukkal kötü kırık oluşma ihtimalini daha fazla göstermektedir (34,36).

Hunsuck'un tanımladığı gibi lingualde lingulanın üzerinde, bukkalde mandibula tabanının ortasında bitirilen 1-B modeli ile medial kesileri aynı olup lateral kesinin linguale uzatıldığı 1-C modeli karşılaştırıldığında benzer maksimum von Mises stres değerleri ve benzer stress haritaları görülmüştür. Lingualde lingulanın üzerinde, bukkalde mandibula tabanının lingualinde bitirilen 1-C modeli ile lateral kesileri aynı olup medial kesinin uzatıldığı 2-C modeli karşılaştırıldığında benzer maksimum von Mises stres değerleri ve benzer stres haritaları gözlenmiştir.Ramusun medial yüzeyinde oluşan stresler değerlendirildiğinde lingulanın posterioruna uzanan modellerde, dış doğru üzerindeki noktalara denk gelen kuvvetlerden oluşan stres haritalarında, medial osteotominin kısa tutulduğu modellerden daha yüksek olmaya eğilim gösterdiği izlenmiştir (C ve D modellerinde yüksek ,A ve B modellerinde eşit).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Splitting manevrası sırasında oluşan en düşük von Mises stres değerleri mandibula alt tabanında Wolford alt kenar kesisi uygulanan modellerde görülmüştür. Osteotomi hattının en uzun olduğu modellerde en düşük von Mises stres değerleri ölçülmüştür. Bu yönüyle düşük kuvvetlerle ayrılmaya en yakın modellerde, her iki medial keside de Wolford alt kenar kesisi uygulanan modeller olarak değerlendirilmiştir.

Lateral osteotominin bukkalde bitirildiği modellerde, her iki medial keside de en yüksek von Mises stres değeri ölçülmüştür.

Lateral osteotominin lingual plağa kadar uzandığı modellerde, her iki medial keside de mandibula tabanının tam ortasında bitirilen modellere göre daha düşük von Mises stres değerleri ölçülmüştür.

Medial osteotomi hattının lingulanın posterioruna uzatıldığı modellerde, lingulanın hemen üzerinde bitirilen modellere kıyasla daha düşük von Mises stres değerleri görülmüştür. Medial osteotominin kısa veya uzun olması lateral osteotomi gruplarındaki sıralamayı değiştirmemiştir.

Ramusun medial yüzeyinde oluşan stresler değerlendirildiğinde lingulanın posterioruna uzanan modellerde, dış doğru üzerindeki noktalara denk gelen kuvvetlerden oluşan stres haritalarında, medial osteotominin kısa tutulduğu modellerden daha yüksek olmaya eğilim gösterdiği izlenmiştir. C ve D modellerinde yüksek, A ve B modellerinde eşit olarak izlenmiştir.

Ortaya çıkan sonuçlar bizlere sadece biyomekanik olarak bilgi vermektedir. Bu konu hakkında daha fazla calışma yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu sonuçlar klinik çalışma ile desteklenmeden klinik verisi olarak kullanılmamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Lipski M, Tomaszewska IM, Lipska W, Lis GJ, Tomaszewski KA. The mandible and its foramen: Anatomy, anthropology, embryology and resulting clinical implications. Folia Morphologica (Poland). 2013.
2. Delaire J, Haroun A. Le nouveau concept cortical: la mandibule (deuxieme partie). Bulletin de l'Union Nationale pour l'Intérêt de l'Orthopédie Dento-Faciale. 2007;(32):16-22.
3. Pirttiniemi PM. Associations of mandibular and facial asymmetries—A review. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1994;
4. Miloro M, Ghali GE, Larsen PE, Waite PD. Peterson's Principles of Oral And Maxillofacial Surgery third edition. People's Medical Publishing House. 2012.
5. Möhlhenrich SC, Kniha K, Peters F, Ayoub N, Goloborodko E, Hölzle F, vd. Fracture patterns after bilateral sagittal split osteotomy of the mandibular ramus according to the Obwegeser/Dal Pont and Hunsuck/Epker modifications. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2017;
6. Steenen SA, Becking AG. Bad splits in bilateral sagittal split osteotomy: Systematic review of fracture patterns. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2016.
7. CUMHUR M. TEMEL ANATOMİ. METU PRESS; 2006.
8. Netter FH. Netter Atlas of Human Anatomy: A Systems Approach-E-Book: paperback+ eBook. Elsevier Health Sciences; 2022.
9. Sobotta J. Sobotta: atlas de anatomía humana. C. 1. Ed. Médica Panamericana; 2006.
10. Fonseca RJ, Marciani RD, Turvey TA. Oral and maxillofacial surgery. 2009.
11. Jandali D, Barrera JE. Recent advances in orthognathic surgery. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg. Ağustos 2020;28(4):246-50.
12. Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. Temmuz 1957;10(7):677-89; contd.
13. Huang C, Hsu S, Chen YR. Systematic review of the surgery-first approach in orthognathic surgery. Biomedical journal. 2014;37(4):184.
14. OBWEGESER HL. Surgical correction of small or retrodisplaced maxillae the "dish-face" deformity. Plastic and reconstructive Surgery. 1969;43(4):351-65.
15. Bell WH, Creekmore TD. Surgical-orthodontic correction of mandibular prognathism. American journal of orthodontics. 1973;63(3):256-70.
16. Worms FW, Isaacson RJ, Speidel TM. Surgical orthodontic treatment planning: profile analysis and mandibular surgery. Angle Orthod. Ocak 1976;46(1):1-25.
17. Assael LA. The biggest movement: Orthognathic surgery undergoes another paradigm shift. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2008;66(3):419-20.
18. Schendel SA. Orthognathic surgey. Plastic surgery. 2000;2:871-95.
19. Harvey Rosen. Aesthetic Perspectives in Jaw Surgery. 2014.
20. Lupori JP, Kewitt GF, Van Sickels JE. Bilateral sagittal split osteotomy advancement and setback. Oral and maxillofacial surgery. 2000;2:297-310.
21. Takahashi H, Moriyama S, Furuta H, Matsunaga H, Sakamoto Y, Kikuta T. Three lateral osteotomy designs for bilateral sagittal split osteotomy: biomechanical evaluation with three-dimensional finite element analysis. Head & face medicine. 2010;6(1):1-10.
22. Dal P. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. J oral Surg. 1961;19:42-7.
23. Hunsuck EH. A modified intraoral sagittal splitting technique for correction of mandibular prognathism. J Oral Surg. 1968;26:249-52.
24. Wolford LM, Bennett MA, Rafferty CG. Modification of the mandibular ramus sagittal split osteotomy. Oral surgery, oral medicine, oral pathology. 1987;64(2):146-55.
25. Naini FB, Gill DS. Orthognathic surgery: principles, planning and practice. John Wiley & Sons; 2017.
26. Epker BN, BN E. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. 1977;
27. Böckmann RA. Modification of the mandibular split based on a physical model: experimental animal and clinical studies. 2017;
28. Wolford LM, Davis Jr WM. The mandibular inferior border split: a modification in the sagittal split osteotomy. Journal of oral and maxillofacial surgery. 1990;48(1):92-4.
29. Wolford LM. Influence of osteotomy design on bilateral mandibular ramus sagittal split osteotomy. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2015;73(10):1994-2004.

30. Böckmann R, Meyns J, Dik E, Kessler P. The modifications of the sagittal ramus split osteotomy: a literature review. Plastic and reconstructive surgery Global open. 2014;2(12).
31. Plooij JM, Naphausen MTP, Maal TJJ, Xi T, Rangel FA, Swennnen G, vd. 3D evaluation of the lingual fracture line after a bilateral sagittal split osteotomy of the mandible. International journal of oral and maxillofacial surgery. 2009;38(12):1244-9.
32. Böckmann R, Schön P, Neuking K, Meyns J, Kessler P, Eggeler G. In vitro comparison of the sagittal split osteotomy with and without inferior border osteotomy. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2015;73(2):316-23.
33. KR AV, Sankar D, Veerabahu M, Paneerselvam E, Ganesh V, Belinda J, vd. Evaluation of Lingual Fracture Pattern of the Mandible After Bilateral Sagittal Split Osteotomy with and Without Inferior Border Osteotomy. International Journal of Health Sciences. (II):43-62.
34. Muto T, Takahashi M, Akizuki K. Evaluation of the mandibular ramus fracture line after sagittal split ramus osteotomy using 3-dimensional computed tomography. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2012;70(11):e648-52.
35. Zamiri B, Tabrizi R, Shahidi S, Pouzesh A. Medial cortex fracture patterns after sagittal split osteotomy using short versus long medial cuts: can we obviate bad splits? International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2015;44(7):809-15.
36. Möhlhenrich SC, Kniha K, Peters F, Ayoub N, Goloborodko E, Hölzle F, vd. Fracture patterns after bilateral sagittal split osteotomy of the mandibular ramus according to the Obwegeser/Dal Pont and Hunsuck/Epker modifications. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2017;45(5):762-7.
37. Verweij JP, Mensink G, Houppermans PN, van Merkesteyn JR. Angled osteotomy design aimed to influence the lingual fracture line in bilateral sagittal split osteotomy: a human cadaveric study. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2015;73(10):1983-93.
38. Dammous S, Dupont Q, Gilles R. Three-dimensional computed tomographic evaluation of bilateral sagittal split osteotomy lingual fracture line and le fort I pterygomaxillary separation in orthognathic surgery using cadaver heads: ultrasonic osteotome versus conventional saw. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2015;73(6):1169-80.
39. Möhlhenrich SC, Ayoub N, Peters F, Winterhalder P, Prescher A, Hölzle F, vd. Evaluation of the lingual fracture patterns after bilateral sagittal split osteotomy according to Hunsuck/Epker modified by an additional inferior border osteotomy using a burr or ultrasonic device. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2019;48(5):620-8.
40. Schoen P, Frotscher M, Eggeler G, Kessler P, Wolff KD, Boeckmann R. Modification of the bilateral sagittal split osteotomy (BSSO) in a study using pig mandibles. International journal of oral and maxillofacial surgery. 2011;40(5):516-20.
41. Franco JMPL, Neto ICP, Pereira J de MC, de Barros Silva PG, Tofoli GR, Bezerra TP. Are There Differences in Fracture Patterns in Mandibular Ramus Sagittal Osteotomies Between Hunsuck/Epker, Wolford, and Posnick Modifications? Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2023;81(4):396-405.
42. Gassmann CJ, Van Sickels JE, Thrash WJ. Causes, location, and timing of relapse following rigid fixation after mandibular advancement. Journal of oral and maxillofacial surgery. 1990;48(5):450-4.
43. Pogrel MA, Kaban LB. Injuries to the inferior alveolar and lingual nerves. Journal of the California Dental Association. 1993;21(1):50-4.
44. Robert RC, Bacchetti P, Pogrel MA. Frequency of trigeminal nerve injuries following third molar removal. Journal of oral and maxillofacial surgery. 2005;63(6):732-5.
45. Smith MH, Lung KE. Nerve injuries after dental injection: a review of the literature. Journal of the Canadian Dental Association. 2006;72(6).
46. Panula K, Finne K, Oikarinen K. Incidence of complications and problems related to orthognathic surgery: a review of 655 patients. Journal of oral and maxillofacial surgery. 2001;59(10):1128-36.
47. Westermark A, Bystedt H, Von Konow L. Inferior alveolar nerve function after sagittal split osteotomy of the mandible: correlation with degree of intraoperative nerve encounter and other variables in 496 operations. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 1998;36(6):429-33.
48. Politis C, Lambrichts I, Agbaje JO. Neuropathic pain after orthognathic surgery. Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology. 2014;117(2):e102-7.
49. Seo K, Tanaka Y, Terumitsu M, Someya G. Efficacy of steroid treatment for sensory impairment after orthognathic surgery. Journal of oral and maxillofacial surgery. 2004;62(10):1193-7.
50. Mensink G, Gooris PJ, Bergsma JE, van Hooft E, van Merkesteyn JR. Influence of BSSO surgical technique on postoperative inferior alveolar nerve hypoesthesia: a systematic review of the literature. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2014;42(6):976-82.

51. Kallela I, Laine P, Suuronen R, Lindqvist C, Iizuka T. Assessment of material-and technique-related complications following sagittal split osteotomies stabilized by biodegradable polylactide screws. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 2005;99(1):4-10.
52. Nicholson DW. Finite element analysis: thermomechanics of solids. CRC press; 2008.
53. Bhavikatti SS. Finite element analysis. New Age International; 2005.
54. Böckmann R, Schön P, Frotscher M, Eggeler G, Lethaus B, Wolff KD. Pilot study of modification of the bilateral sagittal split osteotomy (BSSO) in pig mandibles. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2011;39(3):169-72.
55. Esen A, Dolanmaz E, Dolanmaz D. Evaluation of stress distribution in critical anatomic regions following the Le Fort I osteotomy by three-dimensional finite element analysis. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. 2019;47(3):431-7.
56. Wolford LM, Bennett MA, Rafferty CG. Modification of the mandibular ramus sagittal split osteotomy. Oral surgery, oral medicine, oral pathology. 1987;64(2):146-55.
57. Wang T, Han JJ, Oh HK, Park HJ, Jung S, Park YJ, vd. Evaluation of mandibular anatomy associated with bad splits in sagittal split ramus osteotomy of mandible. Journal of Craniofacial Surgery. 2016;27(5):e500-4.
58. Kestane R, Yurttutan E, Keskin A. Farkli Şekillerde Yapilan Marjinal Mandibulektomilerin Postoperatif Kirik Riski Açisindan Sonlu Eleman Analizi İle Değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 26(1).
59. He Y, Zhang H, Qiao J, Fu X, Xu S, Jin Q, vd. Biomechanical evaluation of seven fixation methods for sagittal split ramus osteotomy with four advancement levels by finite element analysis. Frontiers in Surgery. 2022;9:891747.
60. Kim JW, Park KN, Lee CH, Kim YS, Kim YH, Yang BE. Finite element stress analysis of Keyhole Plate System in sagittal split ramus osteotomy. Scientific Reports. 2018;8(1):8971.
61. Kriwalsky MS, Maurer P, Veras RB, Eckert AW, Schubert J. Risk factors for a bad split during sagittal split osteotomy. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2008;46(3):177-9.
62. Chrcanovic BR, Freire-Maia B. Risk factors and prevention of bad splits during sagittal split osteotomy. Oral and maxillofacial surgery. 2012;16(1):19-27.
63. Armentani E, Caputo F, Citarella R. FEM sensitivity analyses on the stress levels in a human mandible with a varying ATM modelling complexity. The Open Mechanical Engineering Journal. 2010;4(1).
64. Arun Vignesh KR. Evaluation of Lingual Fracture pattern on the Mandible after Bilateral Sagittal Split Osteotomy With and Without Inferior Border Osteotomy [İnternet] [PhD Thesis]. Ragas Dental College and Hospital, Chennai; 2019 [a.yer 05 Ekim 2023]. Erişim adresi: http://repository-tnmgrmu.ac.in/id/eprint/10859