

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI TEKNİK UYGULANAN CERRAHİ DESTEKLİ ÜST ÇENE
GENİŞLETME OPERASYONUNUN KEMİKTE OLUŞTURDUĞU
STRESLERİN SONLU ELEMAN ANALİZİYLE İNCELENMESİ**

DUYGU CİHANER

**TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. ÖZEN DOĞAN ONUR**

**AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI
AĞIZ, DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ DOKTORA PROGRAMI**

İSTANBUL-2022

İTHAF

Aileme ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Doktora hayatımın en büyük şansı olan, mesleki bilgi, birikim ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana her zaman yol gösteren, sabırla hep çalışmaya, gelişmeye ve iyi bir hekim olmaya yönelten, meslek ahlak ve etiğini kendisinden örnek aldığım, öğrencisi olmaktan onur duyduğum saygıdeğer ve sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Özen Doğan Onur’a,

Tez çalışmalarımın gerçekleştirilmesine sonsuz katkıları olan, büyük bir sabır ve özveriyle benim için kıymetli zamanlarını ve emeklerini sarf eden; ikinci tez danışmanım, kıymetli abim Sayın Doç. Dr. Erol Cansız’a, Sayın Prof. Dr. Yunus Ziya Arslan’a ve Sayın Arş. Gör. Derya Karabulut’a,

Tez sürecim boyunca her ihtiyacım olduğunda ulaşabildiğim ve desteklerini hiç esirgemeyen Tez İzleme Komitemde bulunan hocalarım Sayın Prof. Dr. Sırmahan Çakarer ve Sayın Prof. Dr. Sönmez Fıratlı’ya,

Doktora eğitim sürecimde çalışma şansı edindiğim, hem teorik hem de pratik olarak bana sonsuz katkıları olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. A. Burak Çankaya’ya ve tüm ana bilim dalı hocalarıma,

Eğitimim süresince aynı ortamda yıllarımı keyifle geçirdiğim ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen tüm asistan arkadaşlarıma,

İyi ve kötü her günümde yanımda olup desteklerini hep hissettiğim değerli arkadaşlarıma,

Hayatımın her döneminde beni sevgiyle destekleyip türlü fedakârlıklar yapan, her kararında arkamda duran, her tökezlediğimde kaldırıp azimle devam etmemi sağlayan, ellerini her zaman omzumda hissettiğim ve haklarını asla ödeyemeyeceğim canım babam Hüseyin Kaya’ya, canım annem Remziye Kaya’ya ve sevgili kardeşlerim Erhan Kaya ve Melisa Kaya’ya

Bu zorlu süreçte bana sevecenlikle katlanan, her ihtiyacım olduğunda koşulsuz sevgi ve sabırla yanı başımda olan, varlığıyla beni bütünleyerek hayatımı güzelleştiren ve beni daima çok şanslı hissettiren canım eşim Dr. Dt. Nurullah Cihaner’e sonsuz teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	ii
BEYAN.....	iii
İTHAF.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	2
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Maksilla Anatomisi.....	3
2.2. Maksilla Gelişimi.....	4
2.3. Transvers Maksiller Yetmezlik (TMY)	5
2.3.1. Transvers Maksiller Yetmezlik Etyolojisi	5
2.3.2. Transvers Maksiller Yetmezlik Teşhisi	6
2.4. Transvers Maksiller Yetmezlik Tedavisi	7
2.4.1. Dentoalveolar (Ortodontik) Genişletme	8
2.4.2. Ortopedik Genişletme	9
2.4.3. Cerrahi Destekli Genişletme	17
2.5. Stres Analiz Yöntemleri.....	21
2.5.1. Fotoelastik stres analiz yöntemi.....	21
2.5.2. Lazer ile stres analiz yöntemi	21
2.5.3. Kırılgan vernik ile stres analiz yöntemi	22

2.5.4. Gerilimölçerli stres analiz yöntemi.....	22
2.5.5. Termografik stres analiz yöntemi	22
2.5.6. Radyotelemetrik stres analiz yöntemi.....	22
2.5.7. Matematiksel stres analiz yöntemi.....	22
2.6. Sonlu Elemanlar Analizi (FEM)	22
2.6.1. Sonlu Elemanlar Analizinin Uygulanma Aşamaları.....	24
2.6.2. Sonlu Elemanlar Analizi Avantaj-Dezavantajları.....	25
2.6.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Biyomekanik Terimleri	26
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	29
3.1. Sanal Ortamda Üç Boyutlu Modellemenin Yapılması	29
3.2. Çalışmanın İçeriği.....	35
3.3. Sınır Koşulları ve Yükleme Koşulları	44
3.4. FEM Analizinin Gerçekleştirilmesi	47
4. BULGULAR.....	64
4.1. Model 1A’da Oluşan Von Mises Stres Değerleri	64
4.2. Model 1B’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri	72
4.3. Model 1C’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri	80
4.4. Model 2A’da Oluşan Von Mises Stres Değerleri	88
4.5. Model 2B’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri	96
4.6. Model 2C’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri	104
4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi	113
5. TARTIŞMA	114
KAYNAKLAR	127
HAM VERİLER	136
FORMLAR	138
ETİK KURUL KARARI	139
PATENT HAKKI İZNİ	143

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	144
ÖZGEÇMİŞ	145



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1: Ortopedik Genişletme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	17
Tablo 3.1: Çalışmadaki Materyallerin Biyomekanik Özelliklerini Belirleyen Poisson oranı ve Young Modülü.....	30
Tablo 3.2: Çalışma Grupları.....	35
Tablo 3.3: Çalışma Modelleri.....	36
Tablo 3.4: Modellerin Eleman, Düğüm Ve Ağ Örgüsü Sayıları.....	49
Tablo 3.5: Kullanılan Apareylere Türlerine Göre İki Farklı Kesi İçin Uygulanan Kuvvet Büyüklükleri (N).....	55
Tablo 4.1: Grup 1 ve Grup 2 Modellerinde Kemikte Oluşan Maksimum Gerilmelerin Von Mises Stres Değerleri (MPa).....	111
Tablo 4.2: Grup 1 ve Grup 2 Modellerinde Dişlerde Oluşan Maksimum Gerilmelerin Von Mises Stres Değerleri (MPa).....	112
Tablo 4.3: Grup 1 ve Grup 2 Modellerde Dişlerde Oluşan Gerinim-Deformasyon Değerleri (%).....	112

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Transpalatal Ark.....	8
Şekil 2.2: W ark.....	10
Şekil 2.3: Quad Helix.....	10
Şekil 2.4: Coffin Spring.....	11
Şekil 2.5: Minne Apareyi.....	11
Şekil 2.6: Ni-Ti Hafızalı Palatal Genişletme Apareyi.....	12
Şekil 2.7: Bioblock Apareyi-Hareketli Vidalı Plak.....	13
Şekil 2.8: Hyrax Apareyi.....	15
Şekil 2.9: Haas Apareyi.....	15
Şekil 2.10: Mini vida destekli Hyrax Apareyi.....	16
Şekil 2.11: Hibrit Hyrax Apareyi.....	16
Şekil 2.12: Sonlu Eleman Analizinde Sınır Koşulu Belirlenen Problemin Eleman ve Düğümeleri.....	24
Şekil 3.1: Arşivimizden Alınan CBCT Görüntüsü.....	29
Şekil 3.2: CBCT Görüntüsünün 3D-DOCTOR Programında Açılması ve Modelleme Öncesinde Çalışma İçin Gereken Kısımın Ayırıştırılması.....	30
Şekil 3.3: Çene Kemiği Modelinin “.stl” Formatındaki Görüntüsü.....	32
Şekil 3.4: GEOMAGİC Programında Yüzeyi Pürüzsüzleştirilmiş Üst Çene Kemiği Modeli.....	34
Şekil 3.5: GEOMAGİC Programında Yüzeyi Pürüzsüzleştirilmiş Diş Kavsi Modeli...	34
Şekil 3.6: Kemik Ve Diş Kavsi Modellerinin Montajlanmış Hali.....	38
Şekil 3.7: SOLİDWORKS Programında Kesi Hatlarının Oluşturulması.....	40
Şekil 3.8: SOLİDWORKS Programında Oluşturulmuş Grup 1’in Kesi Hatları.....	42
Şekil 3.9: SOLİDWORKS Programında Oluşturulmuş Grup 2’nin Kesi Hatları.....	44
Şekil 3.10: Modellerin Sabit Noktaları.....	46
Şekil 3.11: ANSYS Programında Ağ Örgüsü Atılmış Modelin Görünümü.....	49
Şekil 3.12: ANSYS Programında Diş Destekli Aparey Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması.....	51
Şekil 3.13: ANSYS Programında Kemik Destekli Aparey Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması.....	53
Şekil 3.14: ANSYS Programında Hibrit Aparey Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması....	55

Şekil 3.15: Model 1A'nın Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	56
Şekil 3.16: Model 1B'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	57
Şekil 3.17: Model 1C'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	58
Şekil 3.18: Model 2A'nın Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	59
Şekil 3.19: Model 2B'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	60
Şekil 3.20: Model 2C'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları.....	61
Şekil 3.21: ANSYS Programında Streslerin Ölçülmesi.....	63
Şekil 4.1: Model 1A'da Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	67
Şekil 4.2: Model 1A'da Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	71
Şekil 4.3: Model 1B'de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	75
Şekil 4.4: Model 1B'de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	79
Şekil 4.5: Model 1C'de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	83
Şekil 4.6: Model 1C'de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	87
Şekil 4.7: Model 2A'da Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	91
Şekil 4.8: Model 2A'da Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	95
Şekil 4.9: Model 2B'de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	99
Şekil 4.10: Model 2B'de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	103
Şekil 4.11: Model 2C'de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	107
Şekil 4.12: Model 2C'de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa).....	111

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

RME: Rapid Maxillary Expansion= Hızlı Maksiller Genişletme

SARME: Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion= Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletme

FEM: Finite Element Analysis Method= Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi

TMY: Transvers Maksiller Yetmezlik

BEM: Boundary Element Analysis Method= Sınır Elemanlar Analizi Yöntemi

FDM: Finite Difference Analysis Method= Sonlu Farklar Analizi Yöntemi

F: Kuvvet

N: Newton

σ : Sigma= Gerilme

Pa: Paskal

MPa: Megapaskal

A: Alan

$d\sigma$: Baskı/Çekme Gerilmesi

τ : Tau= Makaslama= Kayma Gerilmesi

E: Elastikiyet Modülü/Young Modülü

k: Konstant= Oran Sabiti

x: Esneme Miktarı

VM: Von Mises Gerilmesi

Pmin: Minimum Asal Gerilme

Pmax: Maksimum Asal Gerilme

CT: Computed Tomography= Bilgisayarlı Tomografi

CBCT: Cone Beam Computed Tomography= Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

SME: Slow Maxillary Expansion= Yavaş Maksiller Genişletme

SRME: Semi-Rapid Maxillary Expansion= Yarı Hızlı Maksiller Genişletme

lb: Pound (1 Pound=5 Newton= 450 Gram)

gr: Gram

HU: Hounsfield

ÖZET

Cihaner D. (2022). Farklı Teknik Uygulanan Cerrahi Destekli Üst Çene Genişletme Operasyonunun Kemikte Oluşturduğu Streslerin Sonlu Eleman Analiziyle İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi AD. Doktora Tezi. İstanbul.

Transvers maksiller yetmezlik, toplumda oldukça yaygın görülen ve ortodontide güncelliğini koruyan önemli bir maksiller anomalidir. 1860 yılından günümüze, tedavisinde maksiller genişletme kullanılmaktadır. Genç erişkinlerde maksiller genişletme hızlı maksiller genişletme (RME) ile yapılabilirken iskeletsel maturasyona ulaşmış bireylerde, artan sutura direnci ve komplikasyon riski sebebiyle cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme (SARME) ile yapılmaktadır. SARME operasyonlarında uygulanan midpalatal osteotomi ve Le Fort I kortikotominin yanısıra cerrahın tercihinine göre komplikasyon riski yüksek olan pterygomaksiller osteotomi de yapılabilir. Genişletme tedavisinde ortodontide diş destekli, kemik destekli ve hibrit destekli apareyler kullanılmaktadır. Yapay zekanın yaygınlaştığı günümüzde maksiller genişletme tedavisinde kemikte ve dişlerde oluşan stresler, matematiksel bir stres ölçme yöntemi olan sonlu eleman analizi (FEM) ile in vitro olarak ölçülebilmektedir. Transvers maksiller yetmezlik tedavisinde en ideal ve atravmatik tedavi protokolünün belirlenmesini amaç edinen bu çalışmada, SARME uygulanan sanal modellerde kullanılan ortodontik aparey türü ile uygulanan cerrahi tekniğin kombinasyonlarının kemikte ve dişlerde oluşturduğu stresler FEM ile ölçülmüştür. Çalışmanın sonuçları, pterygomaksiller çıkıntılar ayrıldığında kemikte ve dişlerde daha az stres oluşacağını göstermiştir. Ayrıca hibrit destekli apareylerin, kemikte diğer aparey türlerine göre çok daha az stres oluşturduğu bulunurken; dişlerde, diş destekli apareylere göre daha az stres oluşturmalarına rağmen kemik destekli apareyler ile arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Sonuç olarak, SARME operasyonunda pterygomaksiller çıkıntılarının ayrılmasının ve kemik destekli veya hibrit destekli bir aparey kullanılmasının kemiğe ve dişlere çok daha az stres oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Transvers Maksiller Yetmezlik, Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletme, Le Fort I Kortikotomi, Pterygomaksiller Çıkıntının Ayrılması, Sonlu Elemanlar Analizi.

ABSTRACT

Cihaner D. (2022). Evaluation of Bone Stresses Arising from Different Techniques Used in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion by Finite Element Analysis. Istanbul University, Institute of Health Science, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Ph.D Thesis. Istanbul.

Transverse maxillary deficiency is an important maxillary anomaly that is very common in society and remains current in orthodontics. Since 1860, maxillary expansion has been used in its treatment. While maxillary expansion can be performed with rapid maxillary expansion (RME) in young adults, it is performed with surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) in individuals who have reached skeletal maturity. In addition to midpalatal osteotomy and Le Fort I corticotomy applied in SARME operations, pterygomaxillary osteotomy can be performed according to the surgeon's preference. Tooth-supported, bone-supported and hybrid-supported appliances are used in orthodontics in the expansion treatment. Today, when artificial intelligence has become widespread, the stresses occurring in the bone and teeth in the treatment of maxillary expansion can be measured in vitro with finite element analysis (FEM). In this study, it was aimed to determine the most ideal and atraumatic treatment protocol in the treatment of transverse maxillary deficiency. The results of the study showed that when the pterygomaxillary plates are separated, there will be less stress on the bone and teeth. Although hybrid-supported appliances create less stress on the teeth than tooth-supported appliances and no significant difference was found between bone-supported appliances, it was found that hybrid-supported appliances create much less stress on the bone than the other appliances. As a result, it is thought that the separation of the pterygomaxillary junction in the SARME operation and the use of a bone-supported or hybrid-supported appliance will occur much less stress on the bone and teeth.

Key Words: Transverse Maxillary Deficiency, Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion, Le Fort I Corticotomy, Separation of Pterygomaxillary Junction, Finite Elements Analysis.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Transvers maksiller yetmezlik; derin damak kubbesi, maksiller darlık, maloklüzyon, dişlerde çapraşıklıklar ile karakterize maksillofasiyal deformitelerden biridir¹⁻³. Maksillofasiyal deformitelerin etyolojisinde konjenital, iatrojenik, travmatik, genetik ve çevresel faktörler etkili olabilir^{1,4}. Yukarıda tanımladığımız maksillofasiyal deformitelerin cerrahi tedavisinin talebi her geçen gün daha geniş hasta kitleleri tarafından gelmektedir.

Transvers maksiller yetmezliği olan bireylerde, diş dizisinin düzenlenebilmesi için *sutura palatina mediana*'nın ayrılarak üst diş kavsinin genişletilmesi gerekir. İnsanda midpalatal suturanın kapanması 16 -35 yaş arası gibi geniş bir zaman aralığına yayılmış olduğundan, genişletme tedavisi, genç erişkinlerde ortodontik tedavi ile hızlı maksiller genişletme (RME: Rapid Maxillary Expansion) yöntemi kullanılarak yapılabilmektedir. İskeletsel maturasyona ulaşmış bireylerde üst çene kavsinin genişletilmesi ise yaşa bağlı midpalatal sutura direncinin ve komplikasyon görülme olasılığının artması nedeniyle RME yetersiz kalacağından cerrahi ve ortodontik tedavinin kombinasyonu olan cerrahi destekli hızlı maksiller genişletme (SARME: Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion) ile yapılmaktadır^{3,5-11}. SARME cerrahisinde amaç yüz ve kafatası eklemlerindeki fibroossöz birleşme sebebiyle genişletme amaçlı uygulanan kuvvete karşı oluşan direnci azaltacak osteotomiler yardımıyla üst çenede genişlemeyi gerçekleştirmektir². Bu osteotomilerin uygulandığı yerler üst çenenin dirençli olduğu *apertura piriformis* kenarları, *processus zygomaticus*, *processus pterygoideus* ve *sutura palatina mediana*'dır^{9,12-17}. İskeletsel maturasyona ulaşmış bireylerde RME tedavisine bağlı kök rezorpsiyonları, yalnızca dişsel hareket, dişlerde lateral devrilme, dişlerde ekstrüzyon, bukkal kortikal fenestrasyon, palatal mukoza nekrozu ve ortodontik nüks gibi komplikasyonlar görülebileceğinden SARME operasyonu, bu bireylerde uygulanabilecek güvenli, basit ve nüks riskini azaltan cerrahi yöntem olarak kullanılmaktadır^{5-7,18,19}.

SARME operasyonları ilk olarak 1938 yılında tanımlanmasına rağmen hala cerrahi uygulama tekniklerinde bir görüş birliği bulunmamaktadır^{3,12}. SARME operasyonunda geçmişten günümüze klinik başarı oranını yükseltmek amacıyla farklı kesi teknikleri ve farklı aparey dizaynları kullanılmaktadır. Hastanın yaşı, tedavi gereksinimi, ortodontik apareylerin uygulanmasında çenenin hangi bölgesinde ne kadar stres oluşabileceğinin öngörülmesi cerrahi operasyonun uygulanma protokolünü

değiştirebilmektedir¹². Üst çene genişletmesi için uygulanan cerrahi teknikler ile ortodontik apareylerin oluşturduğu kuvvetler, dişlerde, kemiklerde ve komşu anatomik yapılarda stresler meydana getirir^{20,21}.

Hızlı maksiller genişletme tedavisinde dokularda oluşan stres, sonlu eleman analizi (FEM: Finite Element Analysis Method) yöntemi ile değerlendirilebilir^{1,22}. FEM, klinik çalışmalar yapılmasında uygulama pratiği ile etik açıdan zorluklar bulunduğu kullanılabilen ve yapay zekanın yaygınlaştığı günümüzde giderek tercih edilen matematiksel bir yöntemdir¹⁶.

Konu ile ilgili literatürler incelendiğinde SARME operasyonlarında uygulanan cerrahi teknik ve aparey karşılaştırması ile ilgili makalelerin çoğunda klinik ve sefalometrik ölçümlerin kullanıldığı, sonlu eleman analizi çalışmalarının az sayıda olduğu saptanmıştır.

SARME operasyonları sonrası oluşan stres kaynaklı komplikasyonların görülme sıklığının azaltılabildiğini amaç edinen çalışmamızda kullanılacak ortodontik aparey türü ile uygulanacak cerrahi tekniğin kombinasyonlarının oluşturacağı stresler FEM ile ölçülecektir. Çalışmamızdan elde edilecek sonuçlar ile SARME tedavisinde cerrahi açıdan en ideal ve travmatik yöntemin, ortodontik açıdan dişler ve kemiklere en az zararlı en etkili aparey türünün, hastalar açısından ise komplikasyon riski daha düşük olacak tedavi protokolünün oluşturulmasına katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Maksilla Anatomisi

Fonksiyonel ve estetik açıdan orta yüzün en önemli kemiği olan maksilla, yüzün mimarisini oluşturur. Mandibulaya göre daha az kortikal kemik ve daha çok spongioz kemik içerir. Sağ ve sol maksilla olmak üzere iki segmentten oluşur ve bu iki segment orta hatta *sutura palatina mediana*'da birleşir. Her iki maksiller segment gövdesi maksiller sinüsle, tepe noktası zigomatik çıkıntı ile ve tabanı burun ile ilişkili piramidal şekildedir²³⁻²⁵. Maksilla esas olarak bir gövdeden ve yüzün diğer kemiklerine bağlanan dört çıkıntıdan oluşur²⁴⁻²⁶. *Corpus maxillaris* de denilen maksiller gövdenin fasiyal, nazal, orbital ve infratemporal olmak üzere dört yüzeyi vardır. Fasiyal yüzey infraorbital kenarın yaklaşık 1 cm altından başlar, orta hatta *zygomatic buttress*'e kadar uzanır ve *foramen infraorbitale* ile *fossa canina*'yı içerir^{24,26}. Nazal yüzey burnun lateral duvarını oluşturur. Orbital yüzey orbita zemininin büyük bir kısmını oluşturur. İnfratemporal yüzey ise infratemporal fossanın anteriorunu oluşturur²⁴. Maksilla diğer yüz kemiklerine alveoler, palatin, zigomatik ve frontal çıkıntıları ile bağlanır. *Processus alveolaris*, üzerinde üst dişlerin yer aldığı ve tüberlere kadar uzanan kısımdır. Bu ark üzerinde *alveoli dentales* denen dişlerin yerleştiği soketler bulunur. *Processus zygomaticus*, maksillanın superolateral kısmını oluşturur. Orta yüzün dayanak noktalarından biridir. *Zygomatic buttress* olarak da bilinir. *Processus zygomaticus*, malar kemikle birleşerek yüz profilinin estetiğine önemli bir katkı sağlar. Ön tarafında zigomatik prosesin lateralindeki kemikte *fossa canina* diye adlandırılan alan bulunur. *Processus palatinus*, *apertura piriformis*'in alt sınırını oluşturur. Palatin çıkıntıları *sutura palatina mediana*'da birleşirler. Nazopalatin sinir ve sfenopalatin arter bu bölgede bulunur. Nazopalatin sinir üst keser dişlerin arkasında yer alan *foramen incisivum*'da, sfenopalatin arter ise sert ve yumuşak damak birleşiminden 1 cm önde, molar dişler ile orta hat arasında, *foramen palatinum majus*'da bulunur. *Processus palatinus* içerisinde *a.palatina descendens* ve *v.palatina descendens*'in geçtiği *sulci palatini* denen oluklar bulunur. *Processus frontalis*, maksillanın superior ve medial kısmını oluşturur. Frontal çıkıntılar medialde burun kemikleriyle birleşir. Burun köprüsünün oluşumuna destek sağlar^{23,25,26}. Paranasal sinüsler arasında en büyük hacme sahip olan ve yaklaşık 2,5-3 cm genişliğinde olan *sinus maxillaris*, maksilla gibi piramidal şekildedir. Maksillanın korpus bölgesinde yer alır. Lateral burun duvarı, *arcus zygomaticus* ve orbita tabanı ile komşulukları bulunur.

Maksillada bilateral olarak yer alan sinüslerin içi mukoza ile örtülü, merkezi hava ile doludur ve yetişkin bir bireyde hacmi 15 ml'ye kadar ulaşabilir. Sinüsler premolar dişlerden üst yirmi yaş dişlerine kadar uzanabilir. Ostium ile burundaki orta meatusa drene olan maksiller sinüsler nazolakrimal kanalı ve infraorbital kanalı da içerir. Maksillanın anterior yüzünde *incisura nasalis*'in en çıkıntılı noktası olan *spina nasalis anterior* bulunur. Nazal kemik ile birlikte *spina nasalis anterior* burun kıkırdaklarının tutunduğu *apertura piriformis*'i oluşturur. Maksillanın infratemporal bölgesinde tüberin üstünde sfenoid kemikle birleştiği *processus pterygoideus* bulunur. SARME operasyonlarının bir kısmında ve Le Fort osteotomilerin tamamında üst çene sfenoid kemikten bu bölgeye yapılan osteotomilerle ayrılarak hareketlendirilir. Pterygoid çıkıntılar medial ve lateral olmak üzere iki tanedir. Medial pterygoid çıkıntının ağız içinde palpe edilebilen kısmı *hamulus pterygoideus*'tur. Lateral pterygoid çıkıntıya ise çiğneme kaslarından *musculus pterygoideus medialis* ve *musculus pterygoideus lateralis* tutunur. Maksillanın sfenoid kemikle birleşim yerinin biraz yukarısında içerisinde *nervus maxillaris* ve *arteria maxillaris* gibi önemli anatomik yapıların bulunduğu *fossa pterygopalatina* yer alır^{23,25}. Orta yüzün nazomaksiller, zigomatikomaksiller ve pterygomaksiller olmak üzere üç vertikal desteği vardır. Nazomaksiller ve zigomatikomaksiller destekler anterior destek bölgesini oluştururken, pterygomaksiller destek de posterior destek bölgesini oluşturur. Nazomaksiller destek, *apertura piriformis*'i içerir. Zigomatikomaksiller destek orta yüzün en kalın vertikal desteğidir. Pterygomaksiller destek, maksilla posteriorundan sfenoid kemiğe tutunur^{27,28}. SARME cerrahisinde ve ortognatik cerrahide, orta yüzün destek bölgeleri maksillanın direnç bölgelerini oluşturur. Yapılacak osteotomilerde maksilla bu destek bölgelerinden ayrılmaya direnç gösterir¹³. Bu destek bölgelerinin anatomisinin bilinmesi cerrahi tekniğin doğru şekilde uygulanması açısından önemlidir.

2.2. Maksilla Gelişimi

Maksilla, intramembranöz (direkt) kemikleşen bir çene kemiğidir. İntramembranöz kemikleşme, herhangi bir kıkırdak ön yapı oluşmadan bağ dokudan osteoblastların gelişerek direkt kemik yapıyı oluşturduğu kemikleşme türüdür. Prenatal dönemde, kemik oluşacak bölgede daha sonradan osteoblastlara farklılaşacak olan mezenkim dokusu artış göstermektedir. Maksilla, mezenkim dokusunda oluşan osteoblastik kemikleşme alanlarının birbiri ile birleşmesiyle meydana gelmektedir.

Maksilla gelişimi prenatal 7.haftadan itibaren başlamaktadır. Prenatal dönemde üst çene, ön ve arka olmak üzere iki noktadan kemikleşmeye başlar. Ön kemikleşme noktası burun boşluğunun alt iki yanından sağ ve sol iç nasal çıkıntılardan başlar. Ön kemikleşme noktasından *Spina Nasalis Anterior*, keser dişlerin yerleşeceği alveol kemiği, insisiv kemik ve maksillanın frontal çıkıntısının ön kenarı meydana gelir. Arka kemikleşme noktası ise birinci branşiyel arkın maksiller çıkıntısından gelişir ve orbita kavitesinden aşağı doğru uzanarak kanin, premolar ve molar dişlerin alveol kemiğini, maksillanın zigomatik çıkıntısını, maksillanın frontal çıkıntısının arka kısmını ve orbita tabanını oluşturur. Maksilla orta hat üzerinde sağ ve sol ön kemikleşme noktaları birleşirken arada bağ doku ile dolu bir aralık kalır. Bu aralığa *sutura palatina mediana* denir. Maksillanın postnatal büyümesinde ise translasyon ve rotasyon hareketlerinden oluşan yer değiştirme ile rezorpsiyon ve apozisyonla oluşan remodelling safhası görev yapmaktadır. Maksillanın üç boyutlu düzlemde hareketi maksiller kemiğin diğer yüz kemikleri ile birleştiği suturalarda meydana gelmektedir. Bunlar; frontomaksiller, zigomatikomaksiller, pterigomaksiller ve median palatinal suturalardır. Maksilla ve dentoalveolar yapılar, uzayda ileri ve aşağı yönde yer değiştirmektedir. Ayrıca bireysel olarak değişmekle birlikte bir miktar aşağı-yukarı yönde rotasyon da yapmaktadır. Maksillanın transvers yönde gelişimi ise sağ ve sol maksilla arasındaki median palatal suturada ayrılma ile gerçekleşmektedir. Posterior bölgedeki ayrılma anteriora göre daha fazla olduğundan, maksilla transvers yönde rotasyonel olarak büyümektedir. Maksillanın büyüme hızı doğuma kadar en yüksek seviyede olmakla birlikte iki yaşına kadar azalmaya devam edip 2-6 yaş aralığında oldukça yavaş seyreder. Büyüme hızı, puberte atılımı öncesinde yine artış göstererek cinsiyete göre ortalama 12-14 yaş aralığında en yüksek haline ulaşmış ortalama 15-17 yaşlarında ise sona ermektedir²⁹⁻³³.

2.3. Transvers Maksiller Yetmezlik (TMY)

2.3.1. Transvers Maksiller Yetmezlik Etiyolojisi

Transvers maksiller yetmezlikler konjenital, travmatik, gelişimsel veya iyatrojenik kökenli olabilmektedir^{1,4,7,11,28,34,35}. Yarı damak onarımı sonrası cerrahi müdahale sebebiyle büyümenin kısıtlanması TMY'nin iyatrojenik kökenine örnektir. TMY'nin en yaygın gelişimsel nedeni ise, uzun süreli parmak emme alışkanlığıdır. Bu alışkanlık anterior açık kapanış ve posterior çapraz kapanış ile sonuçlanabilmektedir. Anterior açık kapanış bu alışkanlığın zamanında bırakılması ile ilerleyen günlerde

düzelebilirken posterior çapraz kapanış genellikle kalıcı olmaktadır^{4,28,34,36}. Obstrüktif uyku apnesi de TMY'nin sık görülen gelişimsel nedenlerinden biridir^{7,28,36}. Konjenital sendromlar, non-sendromik palatal sinostoz, damak yarıkları, TMY'nin genetik nedenleridir^{7,28,36,37}.

Transvers maksiller yetmezliğin en sık görülen belirtilerinden posterior çapraz kapanış, toplum genelinde yaklaşık %9.4 oranında görülmektedir^{34,38}. Ortognatik cerrahi için değerlendirilen hastaların ise yaklaşık %30'unda TMY görülmektedir^{34,38}.

2.3.2. Transvers Maksiller Yetmezlik Teşhisi

Transvers maksiller yetmezliklerin teşhis ve tedavi planlaması çene cerrahları ve ortodontistler tarafından yapılmaktadır^{34,39}. Vertikal ve anteroposterior yöndeki iskeletsel problemlerle kıyaslandığında transvers yetmezliklerin teşhisi zordur. Doğru bir teşhis için klinik değerlendirme, oklüzyonu değerlendirme, model analizi ve radyografik değerlendirme gerekmektedir⁷.

Klinik muayenede maksillanın ark formu, damak derinliği ve genişliği, maksillanın simetrisi, bukkal koridorların genişliği, ağız solunumu yapıp yapmadığı ve hastanın estetik görünümü incelenmektedir. Yumuşak doku kalınlığı transvers maksiller yetmezliği maskeleyebilmektedir⁷. Klinik bulgular tek veya çift taraflı çapraz kapanış, çapraşık, rotasyonlu, palatinal veya bukkale deplase olmuş dişler, "V" şekilli veya dar ve konik kum saatine benzer ark formu, yüksek kubbeli damak formudur^{5,7,10,40-44,31-34,37-39}. Aşırı geniş bukkal koridorların varlığı ve dar burun kanatları da genellikle TMY'yi işaret etmektedir^{7,10,41,45,48}. Bu hastalarda daralan nazal kaviteye bağlı ağızdan solunum alışkanlığı da görülebilmektedir⁴⁵.

Transvers maksiller yetmezlikler göreceli ve mutlak olmak üzere ikiye ayrılır. Model analizi ve oklüzyon değerlendirmesiyle TMY'nin iskeletsel ve dişsel anomalileri net olarak anlaşılabilir. Tanı modellerinde kanin dişler sınıf I ilişkisi getirildiğinde bukkal overjet değerlendirilerek yetmezliğin 'mutlak mı, göreceli mi?' olduğu bulunabilmektedir. Sınıf I ilişkideyken mutlak TMY olguları posterior da tek veya çift taraflı çapraz kapanış göstermektedir. Bu hastalar çoğunlukla anterior açık kapanışın eşlik ettiği Sınıf II olgulardır. Posterior çapraz kapanışın klinik olarak tespit edilemediği hastalar da tanı modellerinde sınıf I ilişki oluşturularak kontrol edilmesiyle teşhis edilebilmektedir. Mutlak bir yetmezlik olmadığı halde sınıf III mandibular prognatizimli hastalar, klinik olarak transvers maksiller yetmezlik gibi görüntü verebilmektedir.

Bununla birlikte mutlak transvers maksiller yetmezliğe sahip hastalarda mandibular prognati de olabilmektedir^{7,39}. Bir veya iki dişteki oklüzyon bozuklukları basit bir ortodontik problem olarak görülmektedir. Ancak tüm maksiller arkı veya en az bir tam posterior kadranı içeren oklüzyon bozukluklarında iskeletsel bir problem olan transvers maksiller yetmezlik değerlendirilmelidir^{34,39}.

Radyografik olarak değerlendirmede anteroposterior ve lateral sefalometrik radyografiler ve tomografiler kullanılmaktadır^{7,49}. Geçmişte yüksek maliyetine ve radyasyon oranına rağmen bilgisayarlı tomografinin (CT) TMY'yi değerlendirmede ideal radyografik teknik olabileceği düşünülmüştür^{4,49}. Günümüzde ise daha düşük maliyetli ve radyasyon oranı daha az olan konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) kullanılmaktadır³⁴.

2.4. Transvers Maksiller Yetmezlik Tedavisi

Transvers maksiller yetmezliklerin tedavi edilmesi estetiğin yanı sıra stabil ve fonksiyonel bir oklüzyonun sağlanması için de oldukça önem arz etmektedir^{4,34,39}. Bu deformite cerrahi ve cerrahi olmayan tedavilerle düzeltilebilmektedir. Cerrahi olmayan tedaviler, dental genişletme olan ortodontik kamuflaj tedavisini ve RME tedavisini içermektedir. Hasta iskeletsel olgunluğa ulaştıktan sonra ise cerrahi tedavilerin uygulanması gerekmektedir^{9,10,34,46,50}.

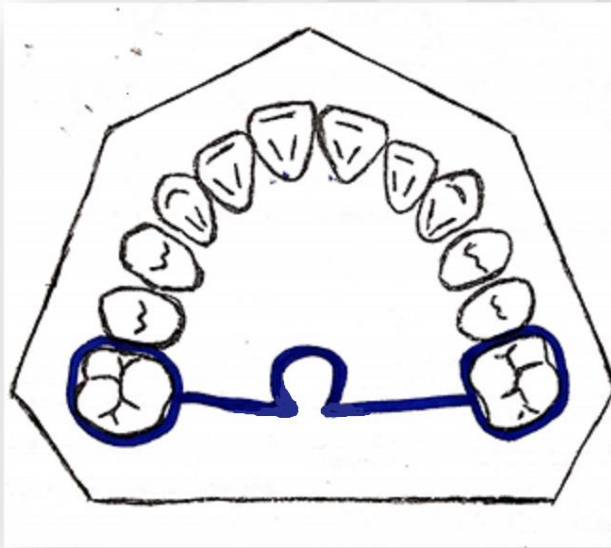
Transvers maksiller yetmezlik tedavisi yaşa bağlı olarak değişmektedir. Erken yaşlarda bazı bireylerde koruyucu uygulamalar ve zararlı alışkanlıkların bırakılması ile TMY gelişiminin önüne geçilebilmektedir. TMY olgularında, iskeletsel gelişimi devam eden bireylerde RME yeterli olabilirken erişkin bireylerde SARME veya segmental Le Fort I operasyonu gibi cerrahi tedaviler gerekmektedir^{9,16,51}. Çoğu TMY olgusunda karakteristik olarak dar, konik bir ark formu gözlenmektedir. Fonksiyonel bir oklüzyona ulaşmak için bu tür hastalarda kanin dişleri arası genişlik artırılmalı ve anterior segment olması gereken eliptik ark morfolojisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Yetmezlik az veya orta düzeyde ise maksiller ark uzunluğuna bağlı olarak anterior dişlerdeki çapraşıklığın çekimsiz tedavi ile düzeltilmesi ve posterior çapraz kapanışın düzeltilmesi dental genişletmeyle veya RME ile yapılabilmektedir³⁹. Ancak ileri düzey transvers maksiller yetmezliklerde çekimsiz ortodontik tedavi isteniyorsa SARME tercih edilmesi gereken tedavidir. Diş çekimi yapılmasına gerek kalmadan uygulanacak SARME cerrahisi ile kanin genişliği arttırılabilir ve anterior segment, artan orta hat diasteması

tarafından sağlanan alan kullanılarak uygun ark morfolojisi elde etmek üzere dişler yeniden konumlandırılabilir³⁹.

Transvers maksiller yetmezlik tedavisinin başarısında suturaların direnci ve kapanma durumu oldukça etkili olduğundan, hastada bu durumu etkileyebilecek hipertiroidi vb. metabolik hastalıkların mevcut olup olmadığının muhakkak değerlendirmeye alınması ve tedavi planının buna göre oluşturulması gerekmektedir⁷.

2.4.1. Dentoalveolar (Ortodontik) Genişletme

Çene kemiğinde herhangi bir değişiklik olmaksızın, dişlerin izin verdiği ölçüde arkın genişletilerek diş dizisinin düzenlendiği ortodontik genişletmedir. Geri dönüşü fazla olan bu genişletme yöntemi iskeletsel uyumsuzluğun olmadığı olgularda uygulanabilmektedir. Geniş bir ark teli ile uygulanan ortodontik braketler en bilinen, kolay dental genişletme apareyleridir. Bunun haricinde transpalatal ark (Şekil 2.1) ve cross-arch elastikler de dental genişletme apareylerine örnektir^{50,52}.



Şekil 2.1: Transpalatal Ark

2.4.2. Ortopedik Genişletme

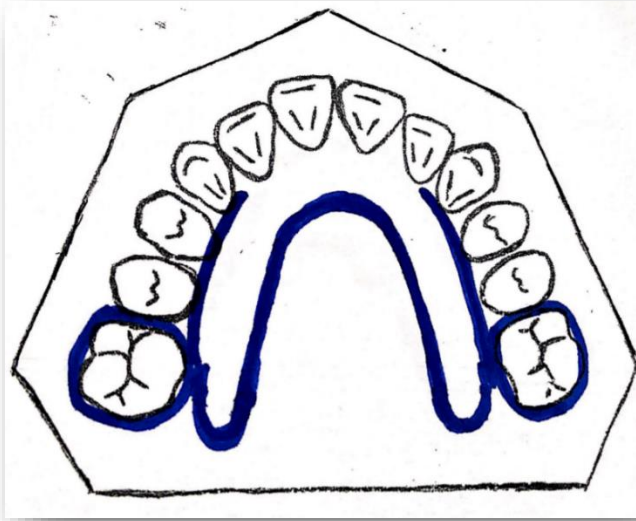
Dişsel uyumsuzlukla birlikte iskeletsel uyumsuzluğun da olduğu olgularda kullanılan ortopedik genişletme; yavaş, yarı hızlı ve hızlı maksiller genişletme olmak üzere üç türde yapılabilmektedir²⁸.

Ortopedik genişletme yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2.1’de verilmiştir.

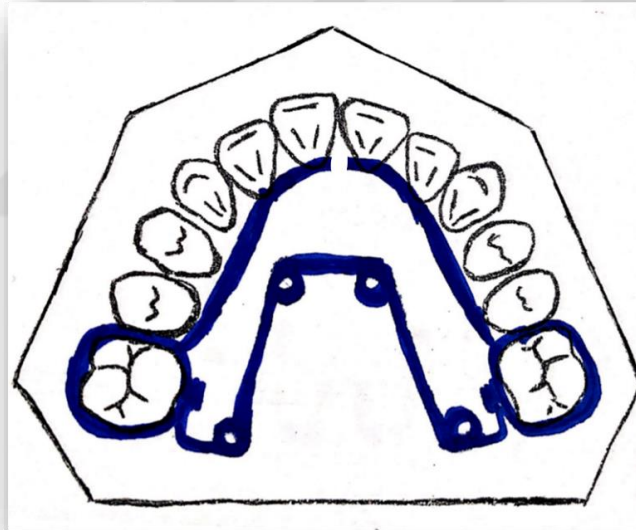
2.4.2.1. Yavaş Maksiller Genişletme (SME)

Yavaş üst çene genişletmesi (SME: Slow Maxillary Expansion), maksillaya ortodontik olarak diş hareketi sağlayabilecek kuvvet limitleri içerisinde kuvvet vererek iskeletsel etkiden ziyade daha çok dişsel hareketin elde edilebildiği genişletme yöntemidir. İskeletsel etkiler istenen bireylerde SME, erken yaşlarda uygulanarak bu etki sağlanabilmektedir. Genellikle süt veya karma dişlenme döneminde uygulanmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu dönemlerde uygulanan SME’nin midpalatal suturada açılma sağlayabileceği görülmüştür. Zimring ve Isaacson⁵³, daha yavaş genişletme kuvvetlerinin maksiller eklemlerde fizyolojik bir adaptasyona izin vereceğini ve nazomaksiller kompleks içinde rezidüel yüklerin birikmesini önleyeceğini öne sürmüştür. SME’de uygulanan kuvvetler fizyolojik sınırlar içerisinde olduğundan relapsın daha az düzeyde olması beklenmektedir^{36,54,55}.

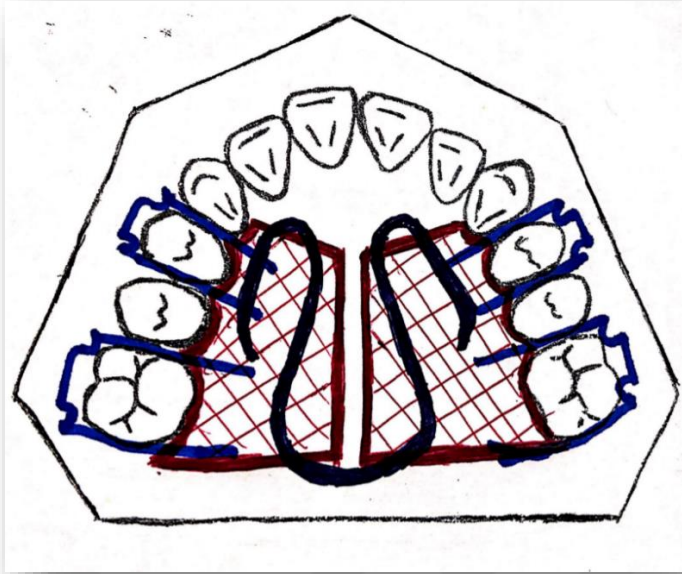
SME ile üst çeneye yaklaşık olarak 1-4 lb=5-20 N=450-1800 gr kuvvet uygulanmaktadır. Yavaş maksiller genişletme, haftada 2 mm’den az olmak üzere genellikle haftada 0,5-1 mm olacak şekilde 2-6 ay kadar yapılmaktadır. Yavaş genişletme apareylerine W ark, quad helix, coffin spring, minne apareyi, mıknatıslı apareyler ve nikel-titanyum (Ni-Ti) hafızalı genişletme apareyi örnek verilebilir (Şekil 2.2-6) ^{36,54-59}.



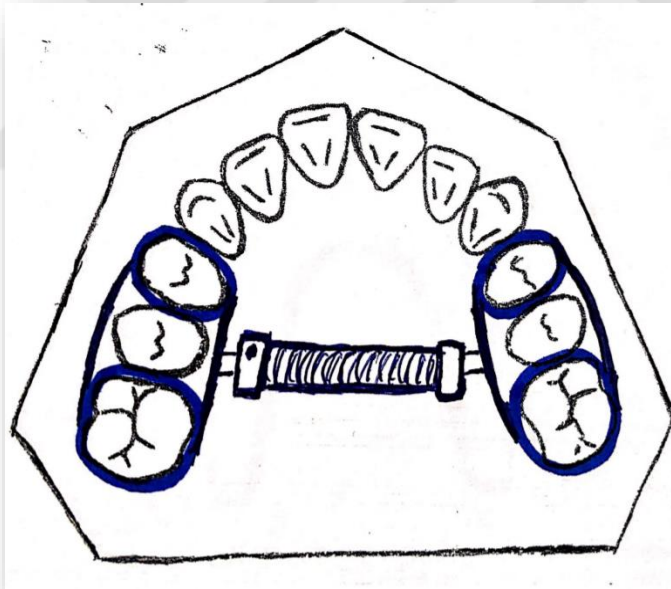
Şekil 2.2: W ark



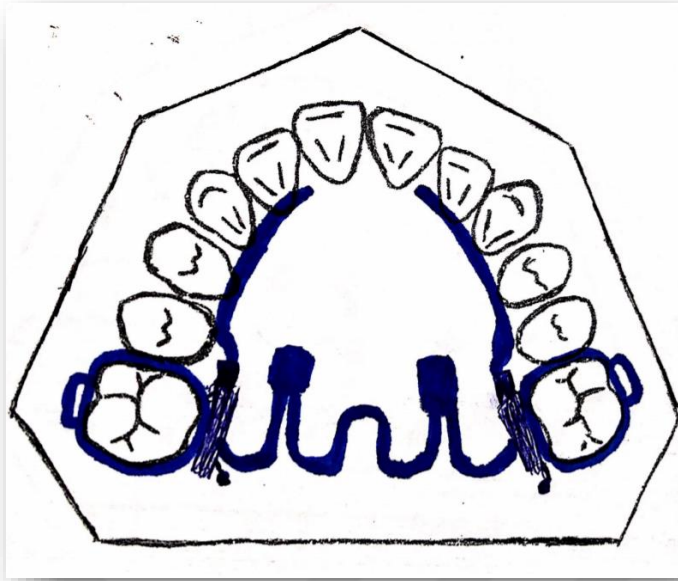
Şekil 2.3: Quad Helix



Şekil 2.4: Coffin Spring



Şekil 2.5: Minne Apareyi



Şekil 2.6: Ni-Ti Hafızalı Palatal Genişletme Apareyi

2.4.2.2. Yarı Hızlı Maksiller Genişletme (SRME)

Yarı hızlı maksiller genişletmeye dair ilk çalışmalar 1977 yılında araştırmacı Mew ile başlamıştır. Mew, 1977 ve 1983 yıllarında yaptığı çalışmalarda “Bioblock” ismini verdiği vidalı hareketli apareyle (Şekil 2.7) haftada 1-1,5 mm genişletme yapmış ve bu miktarın daha fizyolojik bir kuvvet meydana getirdiğini söyleyerek bu yönteme “Yarı Hızlı Maksiller Genişletme=Semi-Rapid Maxillary Expansion (SRME)” ismini vermiştir^{54,60}.

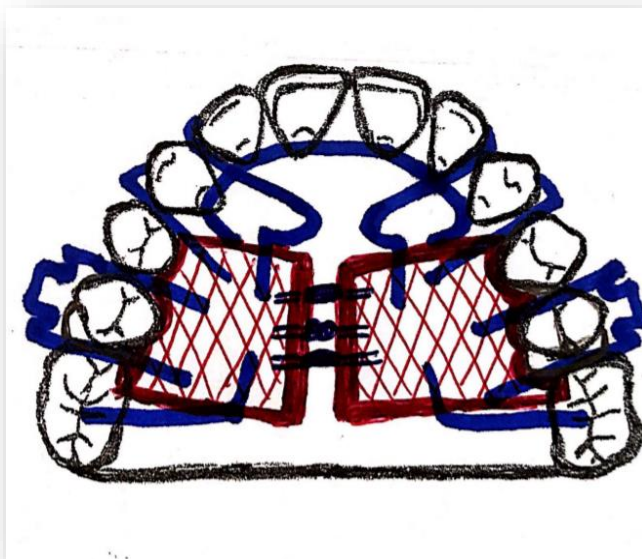
Hazar ve Sandıkçioğlu, 1991 yılında yaptıkları çalışmada karışık dişlenme döneminde bulunan ve posterior çapraz kapanışa sahip ortalama yaşı 8 yıl 10 ay olan olgularda hızlı, yarı hızlı ve yavaş maksiller genişletme uygulayarak sonuçları değerlendirmişlerdir. Çalışmada hyrax apareyi ile RME, hareketli vidalı plak ile SRME ve quad-helix apareyi ile SME uygulanmıştır. Hızlı maksiller genişletmede günde 2 kez, yarı hızlı maksiller genişletmede gün aşırı 2 kez ve yavaş maksiller genişletmede ise ayda 2 kez aktive edilmiştir. Çalışma sonucunda çapraz kapanış, ortalama olarak SME’de 68 günde, SRME’de 21 günde ve RME’de 16 günde düzelmiştir. Pekiştirme RME’de 90 gün, SRME’de 9 gün ve SME’de 60 gün aparey ağızda pasif olarak bırakılarak yapılmıştır. Tüm parametrelerde artış en fazla RME’de bulunmuştur. SRME ile de ortopedik etkiler oluşturulurken SME’de daha çok ortodontik etki görülmüştür. Araştırmacılar SRME ile de oldukça başarılı olmasına rağmen müteharrik aparey

kullanılması sebebiyle hastaya bağımlı olunmasının dezavantaj olduğunu belirtmişlerdir⁶¹.

İşeri ve Özsoy, 2004 yılında yaptıkları çalışmada rijit akrilik bonded RME aparatı kullanarak sutural ayrılma olana dek ilk 5-6 gün boyunca 0.4 mm olacak şekilde yani günde 2 çeyrek tur, sutural ayrılma gerçekleştikten sonra ise haftada 0.6 mm yani 3 çeyrek tur vida çevirerek literatüre yeni bir SRME metodu katmışlardır. Nazomaksiller kompleksin genişletmeye uyum sağlaması için sutura açıldıktan sonra yavaş genişletmeye geçilmiş, böylece nüks riski azaltılmaya çalışılmıştır. Araştırmacılar, SRME'nin RME'ye göre daha fizyolojik kuvvet uyguladığını, dokuların bu daha yavaş genişletmeye daha iyi adapte olacağını ve pekiştirme açısından sonuçların daha stabil olduğunu savunmuşlardır⁶².

Ramoğlu ve Sarı, yaptıkları bir çalışmada karma dişlenme dönemindeki hastalarda RME ve SRME'yi karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda 57 gün süren SRME ve 21 gün süren RME'nin sagittal, transvers ve vertikal düzlemlere etkileri arasında bir fark bulunamamıştır⁶³.

Yarı hızlı maksiller genişletme literatürde genellikle müteharrik vidalı aparatlar ile uygulanmış olsa da RME aparatları kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Yalnızca aparatların uygulama süreleri ve vida çevirme miktarı RME'den farklı uygulanmaktadır^{54,60-62}.



Şekil 2.7: Bioblock Aparatı-Hareketli Vidalı Plak

2.4.2.3. Hızlı Maksiller Genişletme (RME)

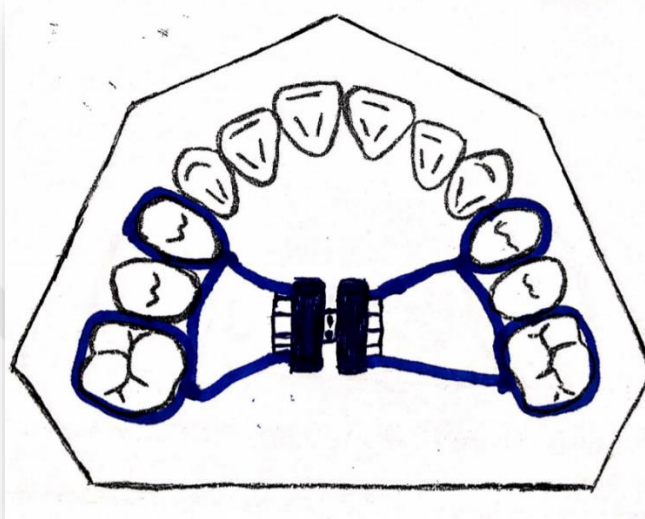
Transvers maksiller yetmezliğin tedavisinde esas olan maksiller genişletme, ilk olarak 1860 yılında Emerson Colon Angell tarafından tanımlanmıştır^{3,7,11,34,35,40,48,64-68}. Angell, 14 yaşındaki bir çocuğun labiale yer değiştirmiş kanin dişlerinin çene arkına yerleşmesi için alan açmaya çalışmıştır^{34,44}. İlk olarak San Francisco Medical Press'te yayınlanan çalışma daha sonradan Dental Cosmos adlı dergiye gönderilmiştir. Maksiller segmentler arasını açarak üst dişleri yerine yerleştirdiğini, bunun santraller arasında oluşan diastemadan da anlaşılabilirliğini savunan Angell, segmentler arası açılmanın mümkün olmadığını ve çalışmanın aşırı derecede şüpheli olduğunu söyleyen editör tarafından ciddi şekilde eleştirilmiştir. Dönemin teknolojik imkanların sınırlılığı ve görüntüleme tekniklerinin yetersizliği sebebiyle Angell, bu iddiasını kanıtlayamamıştır⁶⁶. Angell'ın çalışması sonrasında maksiller genişletme yaklaşık bir yüzyıl kadar tartışılmıştır. Maksiller genişletmeye modern yaklaşımlar Korkhaus'un RME'yi tekrar ele alması ve sonrasında Haas ve diğerleri tarafından geliştirilmesiyle 1950'li yılların sonlarında Amerika'da popüler hale gelmiştir^{34,50}. O zamandan günümüze ortodontistler tarafından RME sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır^{34,69}.

RME'nin tedavi prensibi, kraniyofasiyal kompleks suturalarındaki normal büyüme fizyolojisine ve elastikiyetine dayanmaktadır. Maksiller genişleme, komşu hücresel tabakalardan oluşturulan yeni kemiğin sutura kenarlarına birikmesi ile gerçekleşmektedir³⁴. RME, midpalatal suturası açılmaya meyilli, iskeletsel yapısı erişkinlere oranla daha az rijit olan genç erişkinlerde uygulanabilmektedir^{13,34,68}. Sutura hatlarındaki hücresel aktivitenin yaşla azalmasıyla birlikte, bu suturaların 16-35 yaş gibi geniş bir aralıkta tamamen kapandığı bildirilmiştir^{7,8}. İskeletsel maturasyona ulaşmamış, 4 mm ve daha fazla transvers yetmezliğin bulunduğu olgular RME endikasyonu olarak belirtilirken, iskeletsel maturasyon, ön açık kapanış varlığı, dişlerin bukkalinde kemik resesyonlarının varlığı, konveks profil ve hasta kooperasyonunun olmaması kontraendikasyon olarak belirtilmiştir⁵⁹.

RME, aparey vidası genel olarak günde 2 kez, yaklaşık olarak 0.5 mm genişletme olacak şekilde çevrilerek 2-3 hafta kadar uygulanmaktadır. Bu çevirme miktarı yaklaşık olarak 10-20 lb=45-90 N=4500-9000 gr kuvvet oluşturur. Pekiştirme için aparey 3 ay süre ile ağızda pasif olarak tutulmaktadır ve genellikle daha sonra retainer uygulaması da gerekebilmektedir^{11,36,50,51,59,70}.

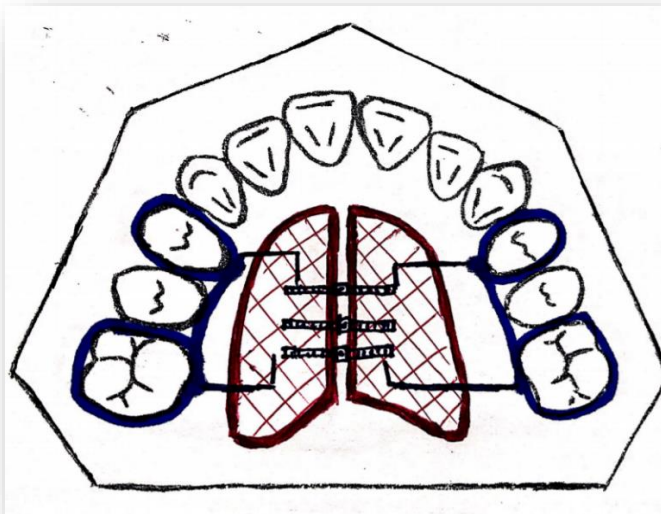
Hızlı maksiller genişletme apareyleri; diş destekli, diş ve doku destekli, kemik destekli ve hibrit apareyler olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.8-11) 7,28,44,54,59,62,67,71-73.

a) Diş Destekli Hızlı Maksiller Genişletme Apareyleri



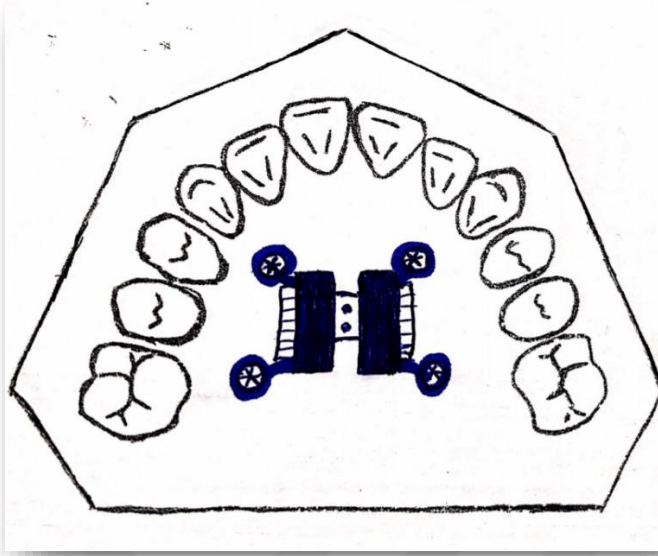
Şekil 2.8: Hyrax Apareyi

b) Diş ve Doku Destekli Hızlı Maksiller Genişletme Apareyleri



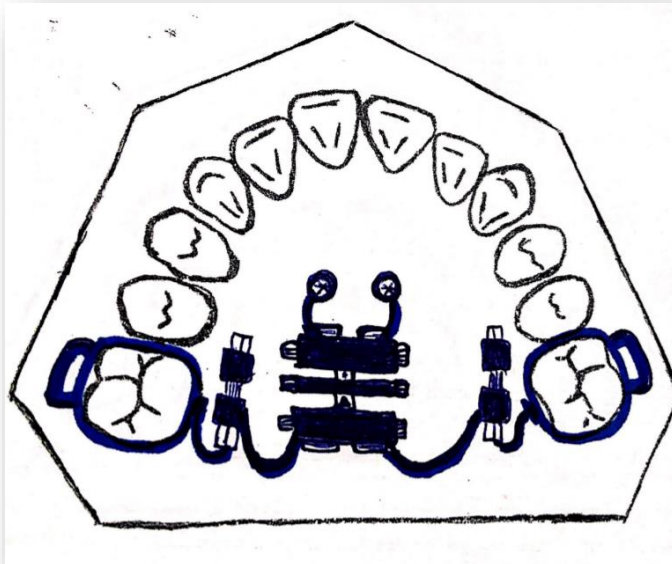
Şekil 2.9: Haas Apareyi

c) Kemik Destekli Hızlı Maksiller Genişletme Apareyleri



şekil 2.10: Mini Vida Destekli Hyrax Apareyi

d) Diş ve Kemik Destekli (Hibrit) Hızlı Maksiller Genişletme Apareyleri



şekil 2.11: Hibrit Hyrax Apareyi

Tablo 2.1: Ortopedik Genişletme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yöntem	Genişletme Miktarı	Uygulama Süresi	Pekiştirme Süresi	Apareyleri	Etki Türü
SME	Haftada 0.5-1 mm	2-6 ay	2 ay	W arch, quad helix, coffin spring, minne, Ni-Ti memory expander	Çoğunlukla dişsel etki
SRME	İlk 5-6 gün günde 2 kez toplam 0.4 mm Sonraki günler günde 3 kez toplam 0.6 mm	3 hafta	9 gün	Bioblock ve tüm RME apareyleri	Çoğunlukla iskeletsel etki
RME	Günde 2 kez toplam 0.5-1 mm	2-4 hafta	3 ay	Haas, hyrax, mini vida destekli hyrax, hybrid hyrax	Çoğunlukla iskeletsel etki

2.4.3. Cerrahi Destekli Genişletme

Haas, maksiller genişletme endikasyonu olan hastalarda 18 yaşından sonra artan kemik rijiditesi sebebiyle midpalatal suturanın distraksiyon kuvvetleri ile açılmayacağını bildirmiştir. Özellikle *zygomatofrontal buttress*'te artan direnç sebebiyle bu hastalarda RME yapılmasının dişlere uygulanan kuvvetlerin bukkal kortikal kemikte perforasyona yol açacağını söylemiştir ⁷⁴. Ortopedik genişlemenin bu yaştan

sonra denenmesi şiddetli ağrı, RME cihazını aktive edememe, dişlerde devrilmeler ve ekstrüzyonlara, alveolar kemik hasarlarına, cihazdan dolayı basınç altındaki damak dokusunun nekrozuna veya cihazın çıkarılmasından sonra kontrolsüz nükse neden olabilir^{4,75,76}. Bu şekilde elde edilen genişlemenin %30 ile %50'si nüksle kaybedilebileceği düşünülmektedir³⁴. Tüm bu komplikasyonlardan kaçınmak ve tedavi sürecine yeterli cevap alabilmek, cerrahi destekli genişletme ile mümkün olabilmektedir. Cerrahi destekli genişletme, ortopedik genişletme apareylerinin uygulanması ile birlikte iskeletsel direncin kırılmasını temel alan iki tip cerrahi teknikten birinin gerçekleştirilmesiyle uygulanabilmektedir^{7,34,50,59,76}.

2.4.3.1. Segmental Le Fort I Osteotomisi

Down fraktür gerektiren segmental Le Fort I tipi osteotomi maksillanın transvers, vertikal ve sagittal olmak üzere her üç boyutta yeniden konumlandırılmasına olanak tanımaktadır⁴⁵.

Vertikal ve sagittal düzlemde herhangi bir düzeltme gerekmeyen, RME tedavisi ile düzeltilemeyen, 5-7 mm veya daha fazla darlık gösteren TMY olguları segmental cerrahinin komplikasyonlarından kaçınmak için SARME cerrahisinin endikasyonlarını oluştururken; maksillanın vertikal ve sagittal düzlemde de repozisyonunu gerektiren 5-7 mm'den az darlık olguları ve apertognati olguları segmental Le Fort I operasyonunun endikasyonlarını oluşturmaktadır^{4,34,45,59,75,77-80}.

Segmental cerrahide endosteal beslenme bozulacağından vasküler beslenme periosttan ve palatal pedikülden devam etmektedir. Bu nedenle cerrahiye başlamadan önce bu yapıların korunması gerektiğinin bilinmesi oldukça önemlidir^{13,34}.

Segmental Le Fort I osteotomisi genel anestezi altında gerçekleştirilmektedir. Üst çeneye vazokonstriktör katkılı lokal anesteziyi takiben birinci molar dişler arasında mukogingival katlantı seviyesinde sirkumvestibüler insizyon yapılır. Tam kalınlık mukoperiosteal flep, anteriorda *spina nasalis anterior*'u posteriorda ise zigomatikomaksiller buttress'leri açığa çıkaracak şekilde eleve edilir. Nazal mukoza da eleve edildikten sonra Le Fort I kesisine başlanır. Kemik kesisi, maksiller dişlerin apekslerinin 5-6 mm yukarısından lateral nazal duvarı, maksiller sinüs duvarını ve posteriorda buttressleri içerecek şekilde yapılır. Nazal septum osteotomu ile nazal kartilaj Vomer'den ayrılır. Eğimli osteotomlar yardımıyla bir el parmağı damakta olacak şekilde pterygomaksiller osteotomi yapılır ve maksilla ptergomaksiller çıkıntılardan ayrılmış

olur. Tüm osteotomiler tamamlandıktan sonra bilateral mobilizasyon forsepsleri ile Down fraktürü gerçekleştirilir. Kemik düzensizlikleri erken temasları önlemek ve fiksasyonun düzgün yapılabilmesi için kemik pensi ile düzeltilir. Daha sonra Down fraktürü ile maksillanın tepesinden oldukça rahat görülebilen damakta “U” şeklinde olacak şekilde iki paramedian osteotomi ve bunları birleştiren transvers osteotomi gerçekleştirilir. Damak bölgesi orta hatta kalın olup laterale doğru incelendiği için paramedian osteotomilerin gerçekleştirilmesi median osteotomiye göre daha kolaydır. Yumuşak doku ise bunun tersine orta hatta inceyken laterale doğru kalınlaştığından paramedian osteotomi ile perforasyon riski de azalır. Ayrıca bilateral paramedian osteotomiler ekspansiyonu iki osteotomi hattına yaydığından hem kolaylaştırır hem de relaps riskini azaltır. Transvers osteotomi de gerçekleştirildikten sonra paramedian osteotomiler “Turvey Spreader” ile genişletilir. Transvers genişlemeye en büyük direnç damak dokusundaki esnekliğin azlığı olduğundan paramedian osteotomi hatlarından bir elevatör yardımıyla beslenme bozulmayacak kadar az bir miktarda palatal mukoza diseke edilebilir. Cerrahi splint yerleştirilerek maksilla mini plak ve vidalarla fikse edilir. Beş mm’den büyük genişletmelerde otojen veya allojen kemik greftleri kullanılabilir. Greftler osteokondüktif eki ile kemik gelişimini uyarmakla birlikte postoperatif enfeksiyon riskini arttırmaktadırlar. Buruna *cinch* dikiş atıldıktan sonra bölge suture edilir^{13,34,81-83}.

Segmental Le Fort I osteotomisinin komplikasyonları; hemoraji, enfeksiyon, cerrahinin başarısız olması, aseptik nekroz, östaki borusu disfonksiyonu, palatal fistül oluşumu, relaps, periodontal problemler, ağrı ve dişlerin devitalizasyonu olarak bildirilmiştir^{34,83,84}.

2.4.3.2. Cerrahi Destekli Hızlı Maksiller Genişletme (SARME)

Cerrahi olarak bilinen ikinci teknik cerrahi destekli hızlı maksiller genişleme (SARME), segmental Le Fort I operasyonuna benzer şekilde intermaksiller sutura osteotomisi ve kortikotomiler içerir ancak bu tedavide Down fraktürü yapılmamaktadır. Bunun yerine, SARME operasyonunda dişlere yerleştirilen diş destekli, kemiğe yerleştirilen kemik destekli veya hem dişlere hem de kemiğe yerleştirilen hibrit destekli maksiller genişletme apareyi içermektedir. Bu apareylerin aktive edici vidaları maksillanın distraksiyonuna izin verecek şekilde hastalar tarafından günlük olarak aktive edilir⁴⁵.

SARME operasyonunda *sutura palatina mediana*'yı ayırıp üst çene kavsinin genişletilebilmesi için cerrahlar tarafından direnç bölgelerini hedef alan çeşitli osteotomilerin kombinasyonları kullanılmaktadır. Direnç bölgelerinin elimine edilebilmesi için uygulanan osteotomi yerleri; intermaksiller sutur, burun lateral duvarı, burun septumu, maksiller sinüsün ön duvarı, zigomatikomaksiller sutur ve pterigomaksiller sutur olarak belirtilmektedir⁴⁵. Yapılan çalışmalarda midpalatal suturası henüz tam füzyona uğramamış olan bireylerde ise maksillanın lateral hareketlerine primer dirençli alanların zigomatikomaksiller ve pterigomaksiller sutur olduğu bulunmuştur^{13,82}.

SARME operasyonu genel anestezi altında gerçekleştirildiği gibi lokal anestezi altında da gerçekleştirilebilir. SARME cerrahisinde temel prensipler Le Fort I cerrahisi ile aynıdır. Detaylı cerrahi teknik Segmental Le Fort I osteotomisinde anlatılmıştır. SARME operasyonunda segmental Le Fort I cerrahisinden farklı olarak Down fraktürü yapılmaz ve paramedian osteotomiler yerine santral dişler arasından kesi yapılarak midpalatal suturada osteotomi gerçekleştirilir. Midpalatal suturanın cerrahi olarak ayrılması ilk olarak 1938 yılında Brown tarafından yapılmıştır. Midpalatal sutura kesisi yapılacağından anterior bölgedeki insizyon posterior bölgeye göre daha aşağı seviyeden yapılır. Palatal bölgeye yerleştirilen parmakla hissetmekle birlikte iki santral diş arasındaki mesafenin artmasıyla da midpalatal sutura osteotomisinin başarılı olduğu anlaşılar. Pterigomaksiller osteotomi gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği cerrahın tercihine bağlıdır. Osteotomilerden sonra her iki maksillanın eşit mobilizasyonunu sağlamak için ekspansiyon cihazının vidası sekiz tur çevrilir ve santral dişler arasında oluşacak 2 mm mesafe görülmek istenir. Şayet direnç hissediliyor ve diastema açılmıyorsa midpalatal suturaya ince bir osteotom yerleştirilerek rotasyon hareketi uygulanır ve suturanın ayrıldığından emin olunur. Son olarak santraller arası diastema 0.5 mm olacak şekilde cihaz vidası tersine döndürülür. Operasyon sonrası 5-7 gün osteotomi aralığında kılcal damar gelişimine izin vermek için vida çevirilmesi yapılmaz^{34,40,50,51,59,65,75,77,85,86}.

SARME'nin komplikasyonları; nörolojik komplikasyonlar, vasküler komplikasyonlar, hemoraji, palatal mukoza ülserasyonu, enfeksiyon, yumuşak doku nekrozu, suturanın yeterince açılmamasına bağlı vida çevrilmesinde oluşan ağrı, relaps, asimetrik veya yetersiz ekspansiyon ve periodontal problemler olarak

bildirilmiştir^{7,17,19,34,65,77,80}. SARME’de aseptik nekroz ve relaps riski oranı segmental cerrahiye göre daha azdır^{19,87}.

Her iki cerrahi teknik de ortodontik tedavinin süresini azaltıp etkinliğini arttırmakla birlikte, SARME cerrahisi Le Fort I osteotomisine göre daha az maliyetlidir ve operasyon süresi daha kısadır. Ancak her iki yöntemin de endikasyonları farklı olduğundan cerrahın tüm tekniklere hakim olması, hangi tekniği uygulayacağını olguya göre dikkatle seçmesi ve uygulaması gerekmektedir³⁴.

2.5. Stres Analiz Yöntemleri

Canlı dokulara gelen kuvvet ve streslerin ölçülebilmesi, dokuların bunun karşısında nasıl tepki vereceğinin tespiti neredeyse imkansız olabilmektedir. Bu sebeple canlı dokuların modellenip gerekli kuvvetlerin uygulanması ve streslerin analiz yöntemleriyle güvenle ölçülmesi tercih edilmeye başlanmıştır^{88,89}.

Stres analiz yöntemleri; fotoelastik stres analiz yöntemi, lazer ile stres analiz yöntemi, kırılğan vernik ile stres analiz yöntemi, gerilimölçerli stres analiz yöntemi, termografik stres analiz yöntemi, radyotelemetrik stres analiz yöntemi ve matematiksel stres analiz yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır⁸⁸⁻⁹¹.

2.5.1. Fotoelastik stres analiz yöntemi

Bu yöntemde fotoelastik özellik gösteren saydam materyal ile oluşturulmuş modellere gelen kuvvetlerle meydana gelen gerilimler ışık kırılmalarıyla resmedilmektedir. Polariskop yardımıyla beyaz ışık huzmesi modele uygulanır ve kuvvet gelen stres bölgelerinde renkli çizgiler oluşur. Geniş çizgiler kuvvetin geniş bir sahaya yayıldığını gösterirken; sık ve ince çizgiler gerilimin fazla olduğu yerleri göstermektedir^{89,90}.

2.5.2. Lazer ile stres analiz yöntemi

Bu yöntemde holografik interferometri yöntemi de denmektedir. İnterferometri cihazıyla modele lazer ışını verilir ve modelin görüntüsü holografik filme aktarılır. Modelin yer değiştirmesi holografik görüntüye yansır. Modelde oluşabilecek deformasyonlar da görünür ışın saçaklarına dönüştürülerek oldukça hassas şekilde ölçülebilmektedir^{89,90}.

2.5.3. Kırılğan vernik ile stres analiz yöntemi

Model üzerine homojen bir şekilde vernik püskürtülerek kaplanır. Vernik sertleşene kadar fırınlanır. Analizin temeli stresin fazla olduğu yerlerde vernikte çatlaklar oluşmasına dayanmaktadır. Çatlakların doğrultusu kuvvetlerin doğrultusunu, çatlakların sıklığı ise kuvvetlerin yoğunluğunu göstermektedir^{89,90}.

2.5.4. Gerilimölçerli stres analiz yöntemi

Gerilimölçer cihazı analiz yapılmak istenen bölgeye yerleştirilerek modelde oluşacak streslerin ölçülmesi prensibine dayanır^{89,90}.

2.5.5. Termografik stres analiz yöntemi

Devamlı kuvvet gelen homojen bir yapının üzerinde meydana gelen ısısal gerilimlerin, yapıda oluşan asal gerilimlerle orantılı olduğu prensibine dayanır^{89,90}.

2.5.6. Radyotelemetrik stres analiz yöntemi

Bu yöntemde de bir gerilimölçer cihazı kullanılmaktadır. Modele sabitlenen gerilimölçerde modele kuvvet geldikçe oluşan dirençler radyotelemetri frekanslarına yansiyarak sonuç verilerini oluşturmaktadır^{89,90}.

2.5.7. Matematiksel stres analiz yöntemi

Teknolojinin gelişmesiyle matematiksel stres analiz yönteminin diğer stres analiz yöntemlerine göre kullanımı artmıştır. Bu yöntem üçe ayrılmaktadır:

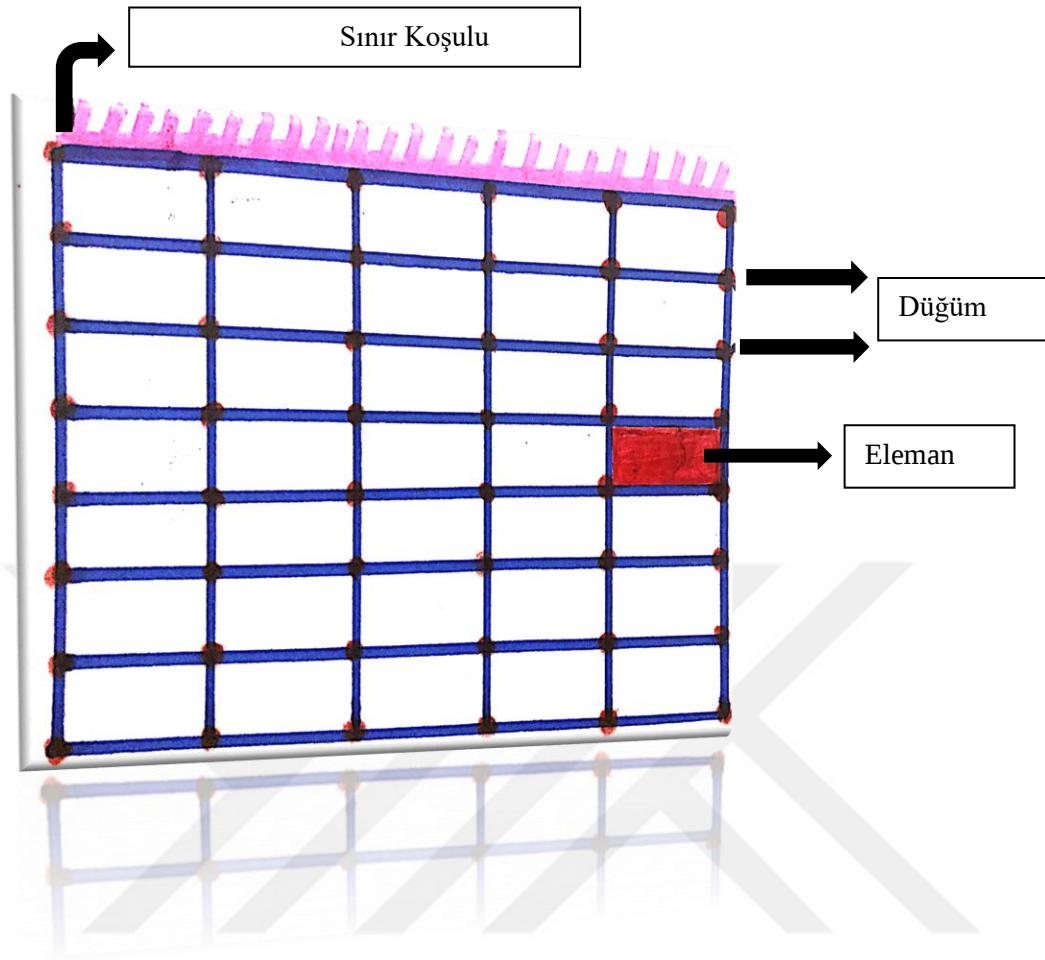
- a) Sınır elemanlar analizi (Boundary Element Analysis Method=BEM)
- b) Sonlu farklar analizi (Finite Difference Analysis Method=FDM)
- c) Sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis Method= FEM)

Bunlar arasından uygulanabilirliğinin daha fazla olması sebebiyle sonlu elemanlar analizi günümüzde daha çok kullanılmaktadır⁹⁰.

2.6. Sonlu Elemanlar Analizi (FEM)

Tarihte ilk defa Turner ve ark. tarafından 1956 yılında uçak mühendisliğinde kullanılan sonlu elemanlar analizi (FEM) yöntemi mühendislik alanındaki kompleks durumların bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak çözümüne olanak sağlayan matematiksel bir analizdir. Günümüzde mühendislik bilimlerinin yanı sıra tıp bilimlerinde de kullanımı yaygınlaşmıştır. Tıpta kullanılan birçok biyomateryal canlılar üzerinde uygulanmadan önce çeşitli testlere tabi tutulmaktadır. Bu biyomateryaller

toksisite testlerinden geçtikten sonra türüne göre minimum zarar ve maksimum etkinlik elde edilebilmek amacıyla invitro ve invivo deneylerle araştırılmaktadır. Sonlu eleman analizinde bilgisayar ortamında gerçeğe en yakın şekilde modelleme yapılabildiğinden, elde edilen model üzerinde üç boyutlu olarak yapılan analiz ile materyalde ve dokuda meydana gelen stresler bilgisayar ortamında ölçülebilmektedir. FEM’de açıklık getirilmesi beklenen problem, sonlu eleman adı verilen çok sayıda alt birimlere bölünür (Şekil 2.12). Sonlu elemanlar analizi bir cisimdeki sonsuz elemanı sonlu sayıda elemana indirger. Böylece karmaşık olan denklemler basite indirgenerek çözümlenebilir. Sonlu eleman adı verilen ve matematiksel olarak daha anlamlı olan bu parçalar birbirlerine düğümlerle bağlıdır (Şekil 2.12). FEM ile üç boyutlu modelin düğüm bölgelerindeki stresler ölçülür ve gerekli karşılaştırmalar yapılarak anlamlı sonuçlar bulunması sağlanmış olur. Sonlu eleman sayısının artması analizin doğruluk hassasiyetini de artırması bakımından daha iyidir. Modelleme esas olarak parçadan bütüne gitme yoluyla yapılmaktadır. Sınır koşulları belirlendikten sonra problemin çözümlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasına geçilir^{88,91-94}. Literatürde sonlu eleman analizi için sıklıkla “ANSYS” programı kullanılmaktadır⁹⁰.



Şekil 2.12: Sonlu Eleman Analizinde Sınır Koşulu Belirlenen Problemin Eleman ve Düğümleri

2.6.1. Sonlu Elemanlar Analizinin Uygulanma Aşamaları

Sonlu elemanlar analizi; Ön işleme (Pre-processing), Matematiksel Çözümleme (Solution), Son işleme (Post-processing) olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır^{88,95,96}.

1-Ön İşleme (Pre-Processing): Bu aşamada problem belirlenir ve modelleme yapılır. Öncelikle modellenecek problem, en basit parçaları olan elemanlara bölünür. Elemanlar arasında ağ örgüleri (Mesh) ve düğüm noktaları oluşturulur ve bilgisayar ortamında oluşan model analize hazırlanır^{88,97}.

2-Matematiksel Çözümleme (Solution): Elde edilen model ya da materyale kuvvetler uygulandıktan sonra, sonlu sayıda elemanlar arasında denklemler oluşur. Çözümleme safhası, bu denklemlerin çözülmesi ve bir sonuca varılmasıdır. Yükleme ve

sınır koşulları belirlenir. Young modülü ve Poisson oranı gibi mekanik veriler analizi gerçekleştirecek programa girilir ⁸⁸.

3-Son işleme (Post-Processing): Çözümleme ile bulunan streslerin düğüm noktalarındaki değerlerine bakılarak ikincil değerler oluşturulur. Analiz sonuçları Von Mises ve asal gerilim değerleri ile hesaplanır. Analizden elde edilen sonuçlar çeşitli renk kodları ile tablo ve grafiklerle görselleştirilir. Renk kodlarının streslerin değer aralıklarını gösterdiği bir ölçek kullanılır. Her renk kodu bir stres değer aralığını temsil eder ^{88,96}.

2.6.2. Sonlu Elemanlar Analizi Avantaj-Dezavantajları

a) Avantajları: ^{21,88,97,98}

- Kullanışlı ve pratiktir. Gerçeğe çok yakın modeller elde edilebilir. Bu durum FEM'i diğer matematiksel metotlardan üstün kılar.

- Kompleks geometriye sahip yapılara dahi başarıyla uygulanabilir.

- İnvaziv bir girişim değildir. Etik açıdan avantajlıdır.

- Herhangi bir malzeme bilgisayar üzerinde modellenenebilir. Maliyet azalmış olur.

- Oluşturulan model üzerinde defalarca çalışmaya olanak sağlar. Birçok problemi çözmek için aynı model kullanılabilir.

- Stres büyüklükleri ve dağılımı hassas olarak ölçülebilir.

- Oluşturulan modelin limitasyonları istenildiği gibi ayarlanabilir.

b) Dezavantajları: ^{88,97,98}

- Teknolojik imkanların iyi olması gerekir.

- Problemin modellenmesi kullanılan bilgisayarın donanımı ve kullanılan programın özellikleriyle sınırlıdır.

- Analizde kullanılan programlar maliyetlidir.

- Programların güncellenmesi gerekir.

- Analizin hassas olarak gerçekleştirilmesi zaman alır.

- Programaya yanlış bilgi aktarımı yapılması oldukça yanlış sonuçlar ortaya çıkarır.

- Programaya materyal özelliklerinin tam olarak girilememesi çalışmanın doğruluğunu etkiler.

2.6.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Biyomekanik Terimleri

a) Eleman: Sonlu elemanlar analizinde bir cismin veya belirlenen problemin en basit geometrik birimine eleman adı verilir (Şekil 2.12). Elemanlar, boyutlarına göre; tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu veya dönel elemanlar olarak ve geometrilerine göre; üçgen, dörtgen vb. sınıflandırılabilir^{94,99}.

b) Düğüm: Sonlu eleman analizinde, bir cismin elemanlarının birleştiği noktalara “düğüm” denir (Şekil 2.12). Sonlu eleman analizi düğümlerdeki yer değiştirmelerini ölçmeye çalışır^{91,94,99-101}.

c) Rijit eleman: Yapısal değişikliğine uğramayan ve düğümler arası mesafeyi sabit tutan elemanlar rijit eleman olarak tanımlanır^{94,99}.

d) Kuvvet (F): Bir cismi hareket ettirebilen, durdurabilen veya konumunu değiştirebilen etkidir. Kuvvetler cisimlerin yönünü, şeklini ve doğrultularını değiştirebilir. Kuvvet “F” ile gösterilir ve birimi, Newton (N= kg.m/s) dur. Sonlu eleman analizinde kuvvet terimi ve yük terimi aynı anlamda kullanılmaktadır. Kuvvetler; cisimleri birbirinden ayırmaya çalışan kuvvetlere çekme kuvvetleri, cisimleri birbirine doğru iten basma kuvvetleri ve cisimlerin birbirine temas ettiği yüzeye paralel olarak birbiri üzerinden kaymasını oluşturan makaslama kuvvetleri olarak sınıflandırılır⁹⁰.

e) Homojen Cisim: Homojen cisim, her bölgesinde elastik özellikleri aynı olan cisimdir¹⁰².

f) İzotropik-Anizotropik (Ortotropik) cisim: İzotropik cisimler çeşitli doğrultulardan gelen kuvvetlere karşı benzer elastik özellikler gösterirken; anizotropik (ortotropik) cisimler çeşitli doğrultulardan gelen kuvvetlere karşı farklı elastik özellik gösterirler. Vücuttaki kemik dokusu ortotropik cisme örnektir^{102,103}.

g) Deformasyon: Bir cisme gelen kuvvet sonrası cisimde şekil değişikliği oluşmasıdır. Bir cismin deformasyona uğraması cisme gelen kuvvetin cismin içindeki iç kuvvetlerden büyük olması sonucu oluşur. Bu şekil değişikliği kalıcı (plastik) veya geçici (elastik) olabilir⁴³.

h) Elastik Sınır: Bir cisimde plastik deformasyon meydana gelmeden cismin tolere edebildiği maksimum gerilme sınırıdır¹⁰⁴.

1) Bükülme: Bir cisme gelen kuvvetler sonucu cismin, bir yörünge etrafında şekil değiştirmesidir ⁹⁹.

i) Gerilme (σ): Bir cisme gelen kuvvet sonucu cisimde bu kuvvete karşı bir direnç oluşur. Oluşan bu dirence ve cismin elemanları arasında oluşan basma, çekme ve makaslama streslerine gerilme denir. Gerilme “ σ ” ile gösterilir. Gerilme birimi Paskal’dır ($\text{Pa}=\text{N/m}^2$). Literatürde birimi genel olarak Megapaskal şeklinde geçmektedir ($1 \text{ MPa} = 10,6 \text{ Pa}$) ^{90,102,105–107}. Gerilme, kuvvetlerin geldiği yöne göre üçe ayrılmaktadır ^{107,108}. Baskı gerilmesi; cisme gelen kuvvetlerin aynı yönde ve aynı düzlemde uygulanması sonucu oluşan ve cismin moleküllerinde birbirine yaklaştırma ve boyunu kısaltma etkisi yaratan gerilmedir. Baskı gerilmesi “ d ” ve “ σ ” sembolü ile gösterilmektedir. Çekme gerilmesi; cisme gelen kuvvetlerin ters yönde ancak aynı düzlemde uygulanması sonucu oluşan ve cismin moleküllerinde birbirinden ayırma ve boyunu uzatma etkisi yaratan gerilmedir. Çekme gerilmesi “ d ” ve “ σ ” sembolü ile gösterilmektedir. Makaslama gerilmesi; cisme gelen kuvvetlerin farklı düzlemlerde ve ters yönde olması sonucu moleküllerde birbirine paralel ve farklı yönlerde kayma oluşmasıdır. Makaslama gerilmesi “ τ ” simgesi ile gösterilmektedir ^{107,109}.

$$\text{Formül: } \sigma = F/A \text{ }^{108}.$$

j) Gerinim (ϵ): Kuvvet uygulanmakta olan bir cisimde meydana gelen stresler sonucu oluşan fiziksel deformasyondur. Stresin olduğu cisimde hemen her zaman deformasyon meydana gelir. Meydana gelen deformasyon elastik veya plastik olabilir. Kuvvet ortadan kalktığında gerinim elastik ise cisim eski haline dönebilirken, gerinim plastik ise cisimde kalıcı şekil değişikliği oluşur. Gerinim “ ϵ ” ile gösterilmektedir. Gerinim değeri “%” şeklinde ifade edilir ^{90,91,102,106,107,110}.

k) Elastikiyet Modülü (Esneklik Katsayısı -Young Modülü) (E): Cisimlerin elastik deformasyona gösterdiği direncin ölçüsüdür. Bir cisme gelen kuvvet ile oluşan şekil değişikliğinin, kuvvet ortadan kalktıktan sonra cismin eski haline gelebilme özelliğini ifade eder. Cisme uygulanan gerilmenin gerinime oranı bu modülün formülünü ifade eder. Elastisitesi az olan sert maddelerin young modülü yüksektir. Birimi Pascal’dır (N/cm^2) ^{103,107,111–113}.

$$E = \text{Gerilim} / \text{Gerinim} = \tan \alpha = \sigma / \epsilon \text{ }^{113}.$$

l) Hook Kanunu: Fizik bilim insanı Robert Hooke tarafından bulunan, gerilmeler ve cisimde oluşan birim deformasyon arasında doğrusal ilişki olduğunu kabul eden kanundur. Bu ilişkiyi gösteren eğri, cisme uygulanan kuvvetle ne kadar deformasyon olacağını tahmin edebilmeye yarar. Sonucu pozitif veya negatif olabilmektedir. Kuvvetin hareket yönünün tersinden uygulanması sonucu negatif yapmaktadır^{103,114}.

Formülü: ($F = -kx$) (k: kuvvet ile esneme miktarı arasındaki oran sabiti, x: esneme miktarı)
¹¹⁴.

m) Von Mises Gerilmesi (VM): Von Mises ve arkadaşları tarafından tanımlanan Von Mises gerilmesi bir cisimdeki plastik deformasyonun başlangıcını ifade etmektedir. ‘Paskal’ birimi ile ifade edilir.^{115,116}.

n) Asal Gerilme: Asal gerilme, gerilmelerin yalnızca dik yönden çekme ve basma gerilmeleri olarak etki ettiği ve makaslama geriliminin etki etmediği, materyal kırılabilirliği ile ilgili bilgi veren gerilmelere denir. Minimum asal gerilmeler (P_{min}), maksimum baskı gerilmelerini ifade ederken; maksimum asal gerilmeler (P_{max}), maksimum çekme gerilmelerini ifade eder^{88,96,100,101,115,117}.

o) Yorulma-Yield Stres: Bir cismin maksimum esneme direnci aşıldığında materyal kırılarak plastik deformasyona uğrar. Yorgunluk direnci cismin elastik ve plastik deformasyonu arasındaki sınırdır. Yield sınırına kadar cisim elastik deformasyon durumundan eski haline dönebilir^{90,102}.

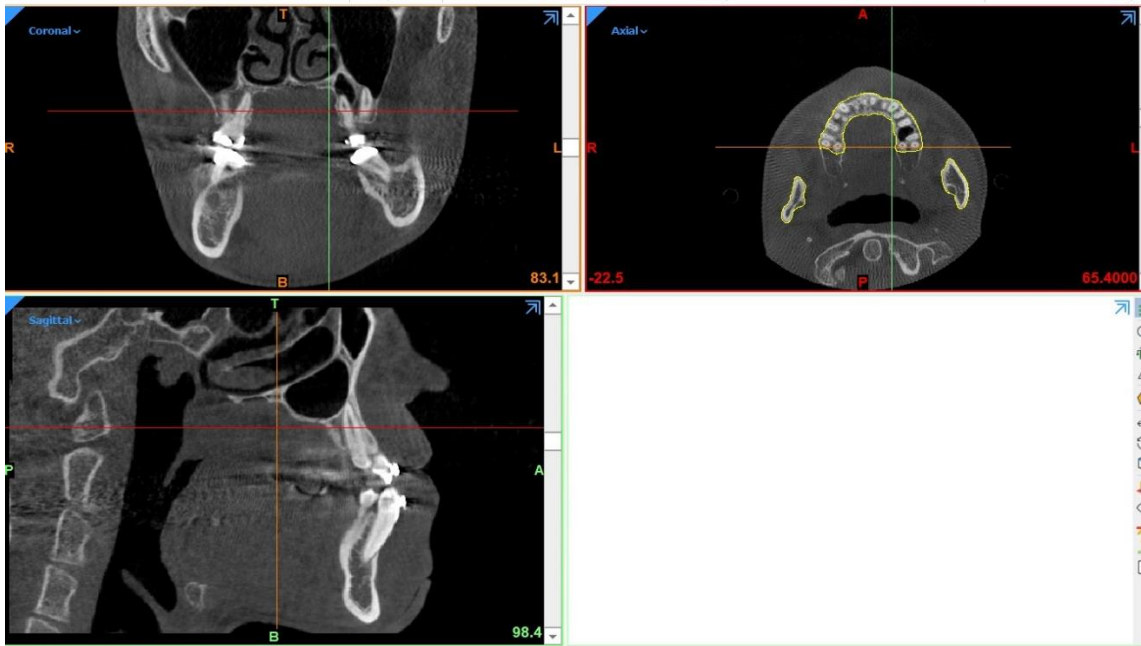
ö) Poisson Oranı: Baskı ve çekme kuvvetleri altında, cismin eninde meydana gelen boyutsal değişimin, cismin boyunda meydana gelen boyutsal değişime oranına poisson oranı denir. Materyallerin poisson oranları değiştiğinden ayırt edici bir özelliktir. Var olduğunu bildiğimiz bütün malzemelerin poisson değeri 0 ile 0,5 arasındadır. Poisson oranının birimi yoktur^{90,118}.

p) Sınır Koşulları: Cisimlerde meydana gelecek gerilme kuvvetlerinin ve yer değiştirmelerin sınırını ifade eden sınır koşulları, cismin sabitlendiği bölgeleri ve cisme gelecek kuvvetlerin nereden uygulanacağını kapsar^{88,94,95,99-101}.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın sonlu elemanlar stres analizi İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda, transvers maksiller yetmezlik sebebiyle SARME operasyonu ile tedavi ihtiyacı olan 24 yaşındaki erkek bir hastanın İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı arşivindeki üç boyutlu volumetrik tomografi görüntüsü (CBCT) kullanılmıştır (Şekil 3.1). SARME operasyonu endikasyonu konmuş bir hastanın mevcut tomografik görüntüsünden elde edilen veriler üzerinden sanal ortamda oluşturulacak üç boyutlu model üzerinde çalışılmış olmasına ve hastanın kimlik bilgileri gizli tutularak hasta açısından herhangi bir risk faktörü bulunmamasına rağmen çalışma için gönüllü olur formu ve etik kurul onayı alınmıştır.



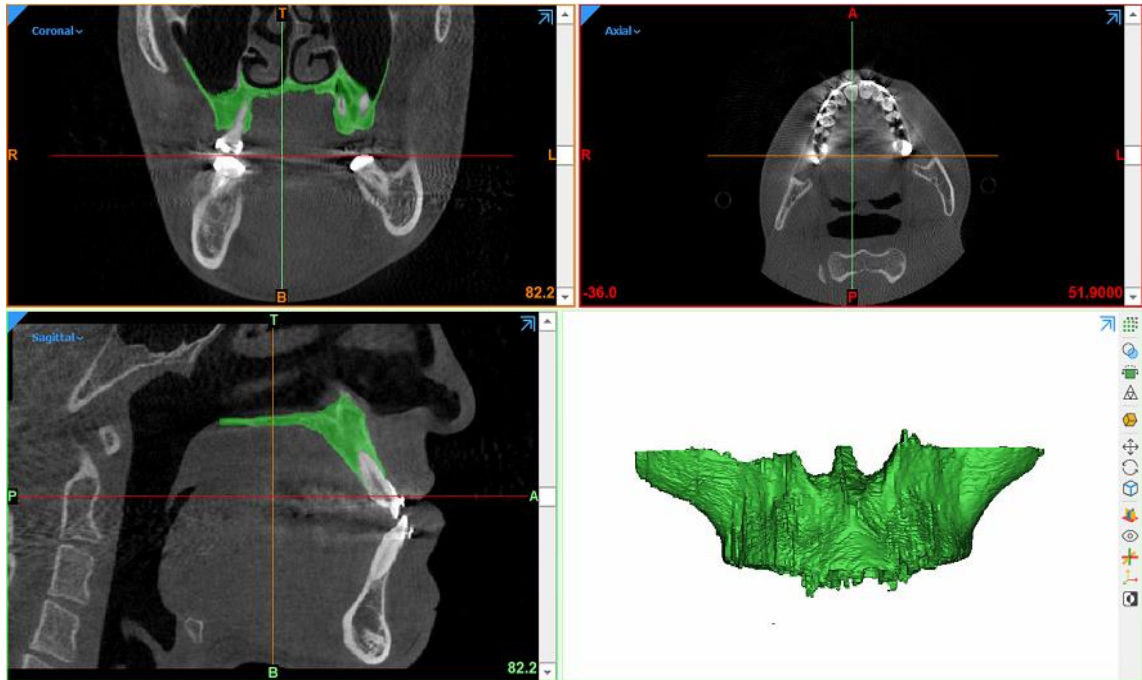
Şekil 3.1: Arşivimizden Alınan CBCT Görüntüsü

3.1. Sanal Ortamda Üç Boyutlu Modellemenin Yapılması

Belirlenen hasta tomografisindeki maksilla, 3D-DOCTOR (Able Software Corp., USA) programında taranarak çalışma için gerekmeyen anatomik oluşumlardan ayrıştırılmış sanal ortamda üç boyutlu hale getirilerek model şablonları oluşturulmuştur.

Programda maksilla ve dişler ayrı ayrı olacak şekilde taranmıştır. Hounsfield (HU) değerlerine bakılarak kemik dokusu yumuşak dokudan ayrıştırılmıştır (şekil 3.2). Kemik dokusu için kullanılan Hounsfield unit (HU) threshold değeri 226 HU-3071 HU aralığındadır^{119,120}. Kemik dokusu yumuşak dokudan ayrıştırıldıktan sonra “3d Complex Render” metodu ile kemik modeli 3 boyutlu olarak elde edildi. Çalışmadaki modellerin biyomekanik zellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

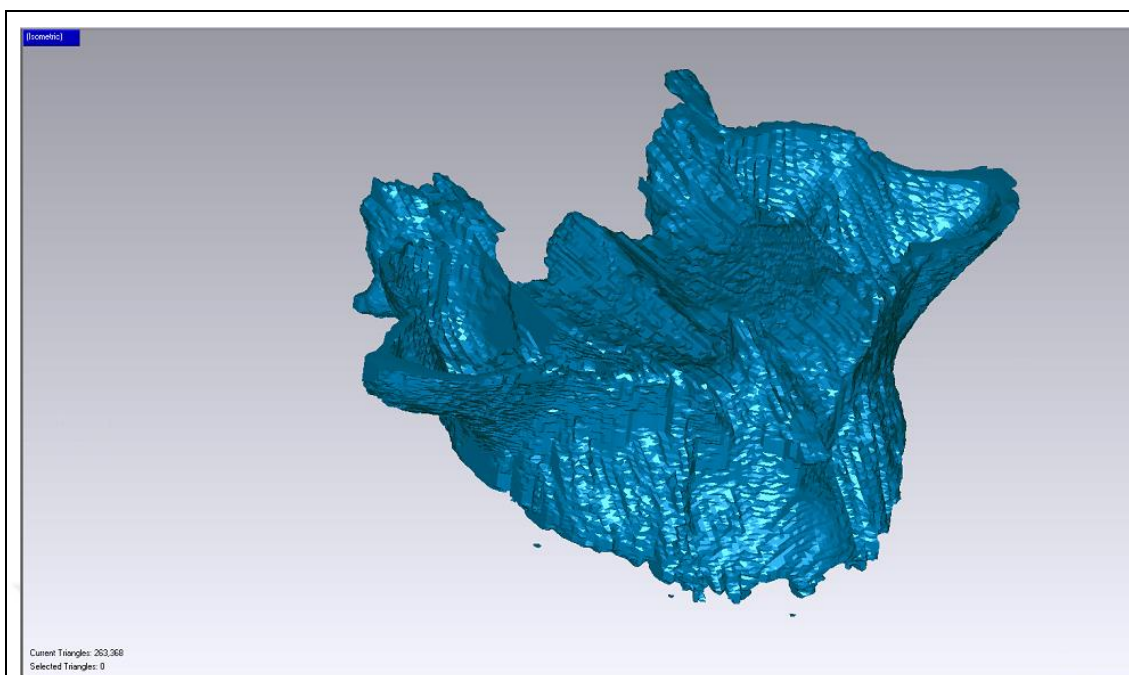
3D-DOCTOR programı ile 0.3 mm kesit kalınlığındaki 550 tomografi görüntüsü DICOM formatından “.stl” formatına dönüştürüldü (şekil 3.3).



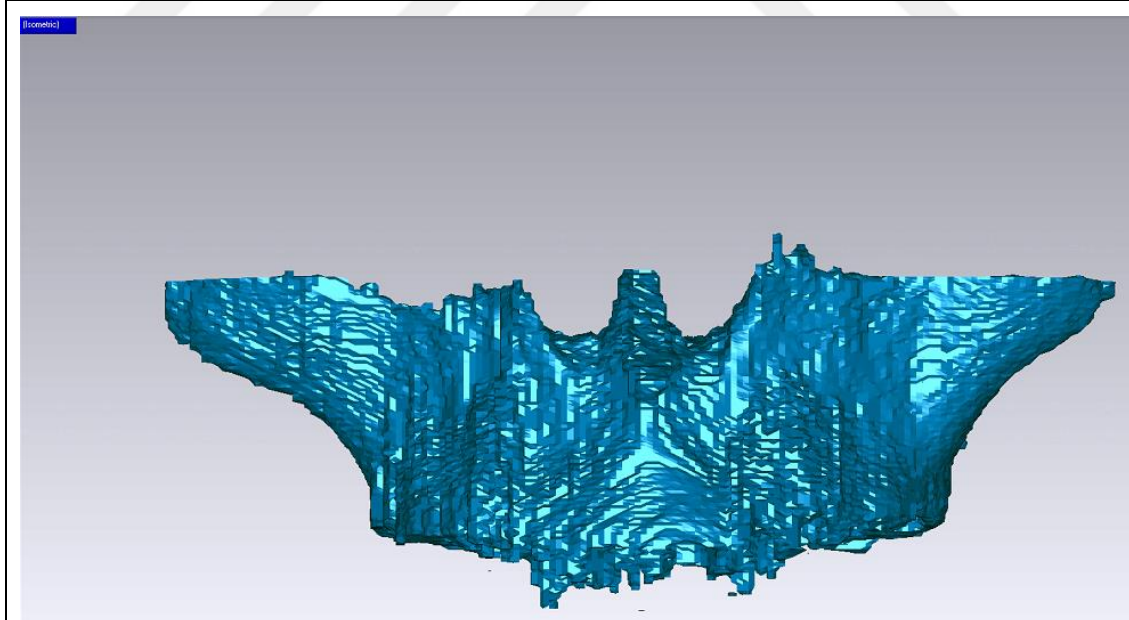
şekil 3.2: CBCT Görüntüsünün 3D-DOCTOR Programında Açılması ve Modelleme öncesinde çalışma için Gereken Kısımın Ayrıştırılması

Tablo 3.1: Çalışmadaki Materyallerin Biyomekanik zelliklerini Belirleyen Poisson oranı ve Young Modl^{1,121,122}

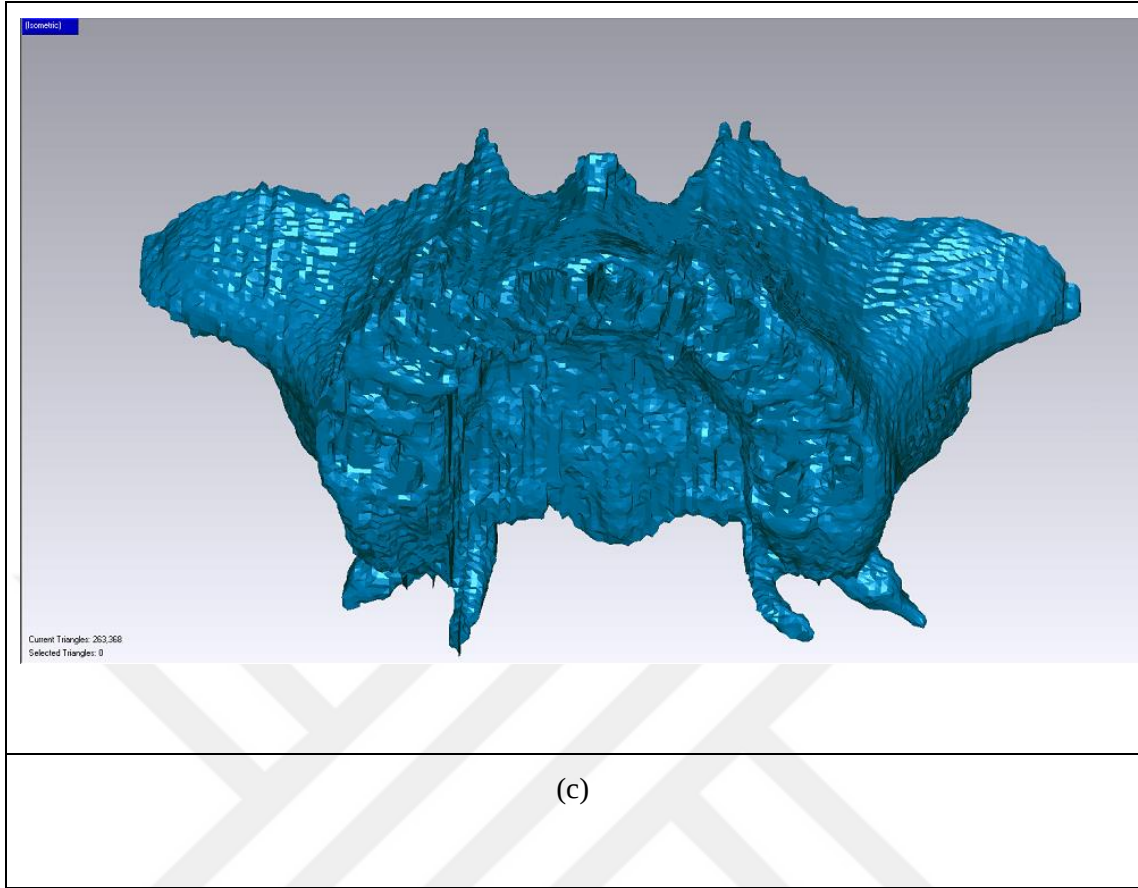
Materyal	Poisson oranı	Young modülü (MPa)
Diş	0.3	20,000
Kortikal kemik	0.3	17,500



(a)

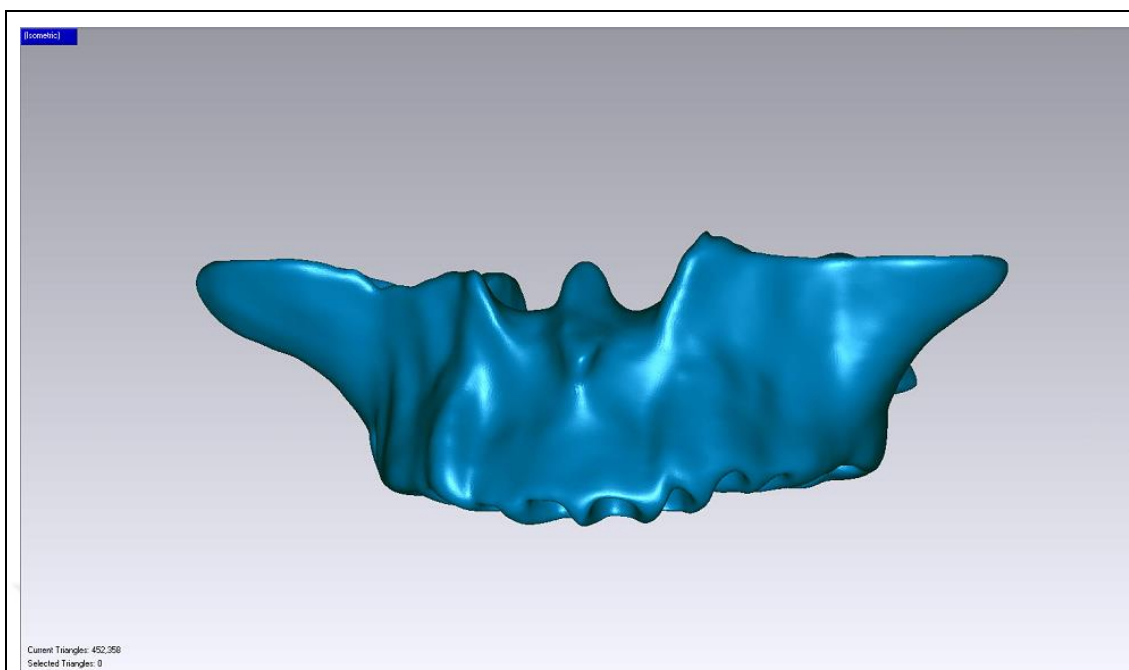


(b)

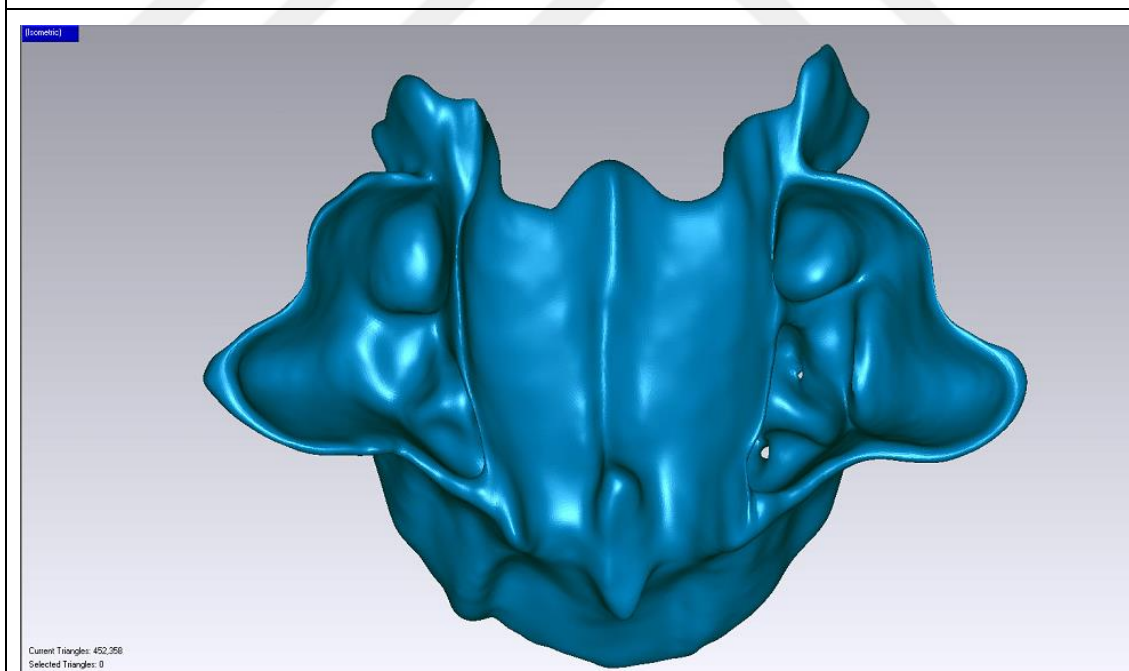


Şekil 3.3: Çene Kemiği Modelinin ‘.stl’ Formatındaki Görüntüsü. (a), Modelin Sagital Kesitten Görünüşü. (b), Modelin Koronal Kesitten Görünüşü. (c), Modelin Aksiyal Kesitten Görünüşü.

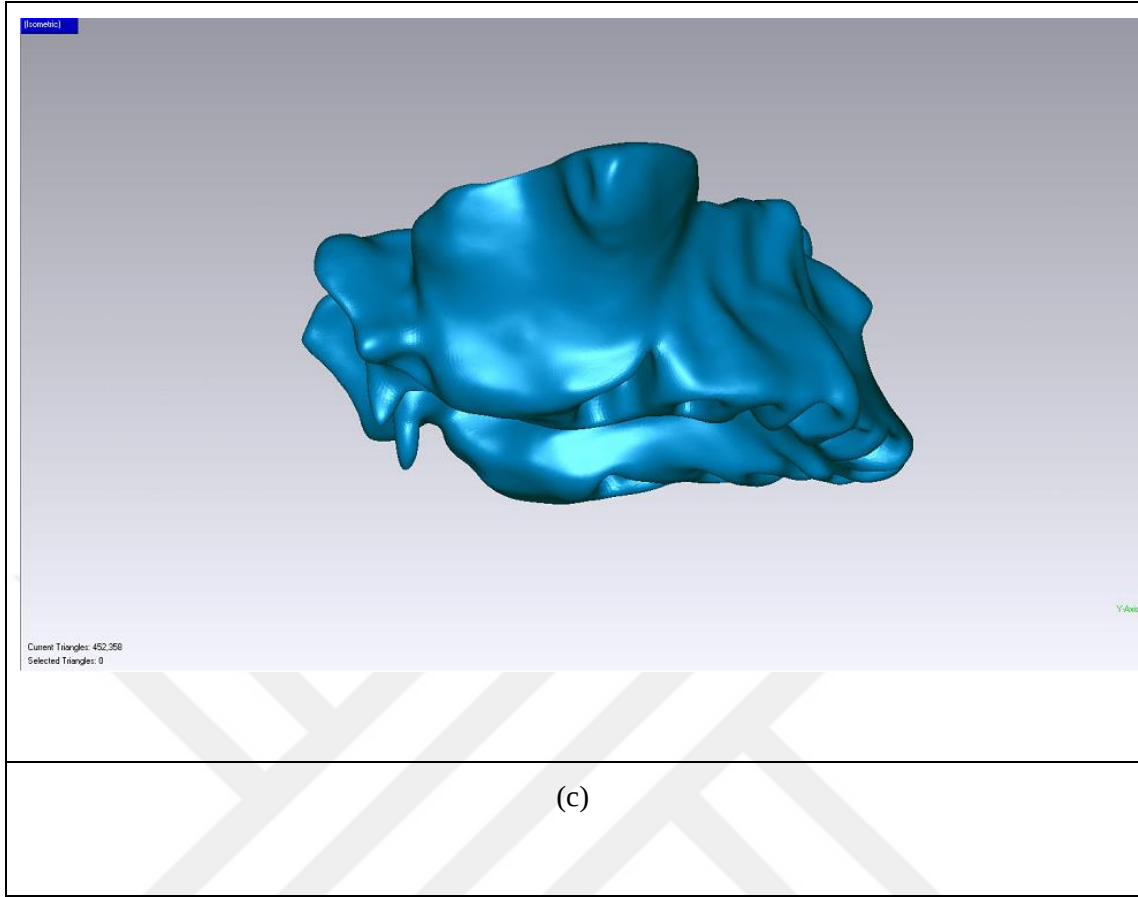
3D-DOCTOR programında oluşturulan modeller GEOMAGIC (Geomagic Solutions, Morrisville, NC, USA) programına aktarılmış ve modellere yüzey pürüzsüzleştirme yapılmıştır (Şekil 3.4-5). Yüzey pürüzsüzleştirme, 3D-DOCTOR programında oluşturulan yüzeyin mikro düzeyde düzensiz çıkıntılar içermesi sebebiyle ilerleyen aşamalarda ağ örgüsü oluşturulmasında hata olmaması için yapılmıştır.



(a)



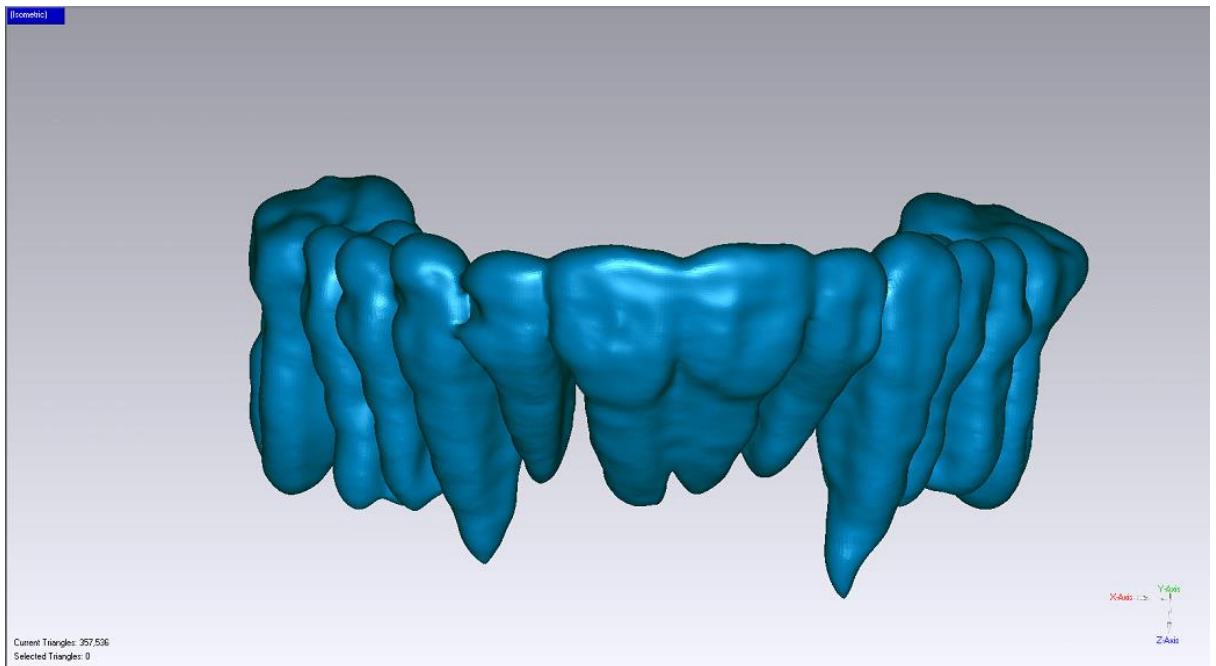
(b)



(c)

Şekil 3.4: GEOMAGİC Programında Yüzeyi Pürüzsüzleştirilmiş Üst Çene Kemiği Modeli.

(a), Modelin Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Modelin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Modelin Sagittal Kesitten Görünüşü.



Şekil 3.5: GEOMAGİC Programında Yüzeyi Pürüzsüzleştirilmiş Diş Kavsı Modeli

3.2. Çalışmanın İçeriği

Çalışmamızda pterygomaksiller çıkıntının ayrıldığı ve ayrılmadığı iki farklı osteotomi tekniği ve diş destekli, kemik destekli, hibrit yapıda olmak üzere üç farklı ortodontik aparey kuvveti kombine edilerek iki ana ve üç alt olmak üzere toplam altı grupta uygulanan SARME operasyonu sonrası, maksillada ve dişlerde oluşan streslerin FEM ile ölçülmesi amaçlanmıştır. Bütün çalışma grupları için kullanılacak üç boyutlu sanal model aynıdır. Bu sebeple modelin oluşturulması için yalnızca bir hastanın tomografi görüntüsünün kullanılması yeterli olmuştur. Cerrahi teknikler ana gruplara ayrılmış ve uygulanacak her ortodontik aparey ana grupların alt gruplarını oluşturmuştur. Bu 6 grubu içeren 6 çalışma modeli belirlenmiştir (Tablo3.2-3).

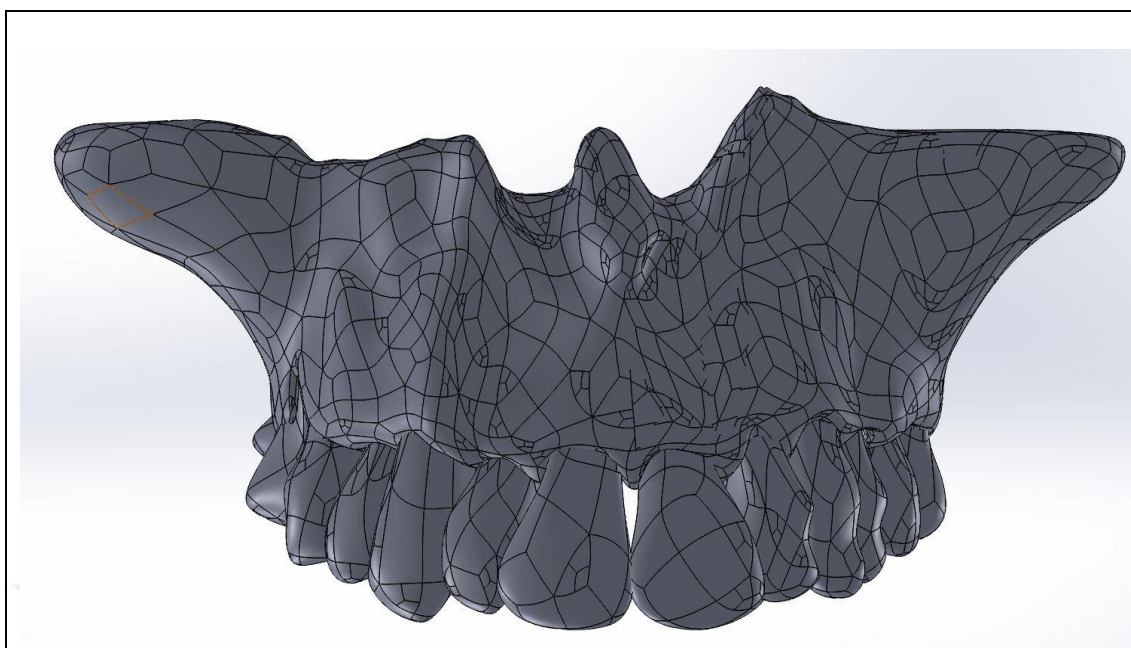
Tablo 3.2: Çalışma Grupları

Grup 1: Midpalatal sutur ayrılması ve Le Fort I kortikotomi
1A: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi ve diş destekli aparey benzeri kuvvet kullanımı
1B: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi ve kemik destekli aparey benzeri kuvvet kullanımı
1C: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi ve hibrit aparey benzeri kuvvet kullanımı
Grup 2: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi ve pterygomaksiller çıkıntının ayrılması
2A: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, pterygomaksiller çıkıntının ayrılması ve diş destekli aparey benzeri kuvvet kullanımı
2B: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, pterygomaksiller çıkıntının ayrılması ve kemik destekli aparey benzeri kuvvet kullanımı
2C: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, pterygomaksiller çıkıntının ayrılması ve hibrit aparey benzeri kuvvet kullanımı

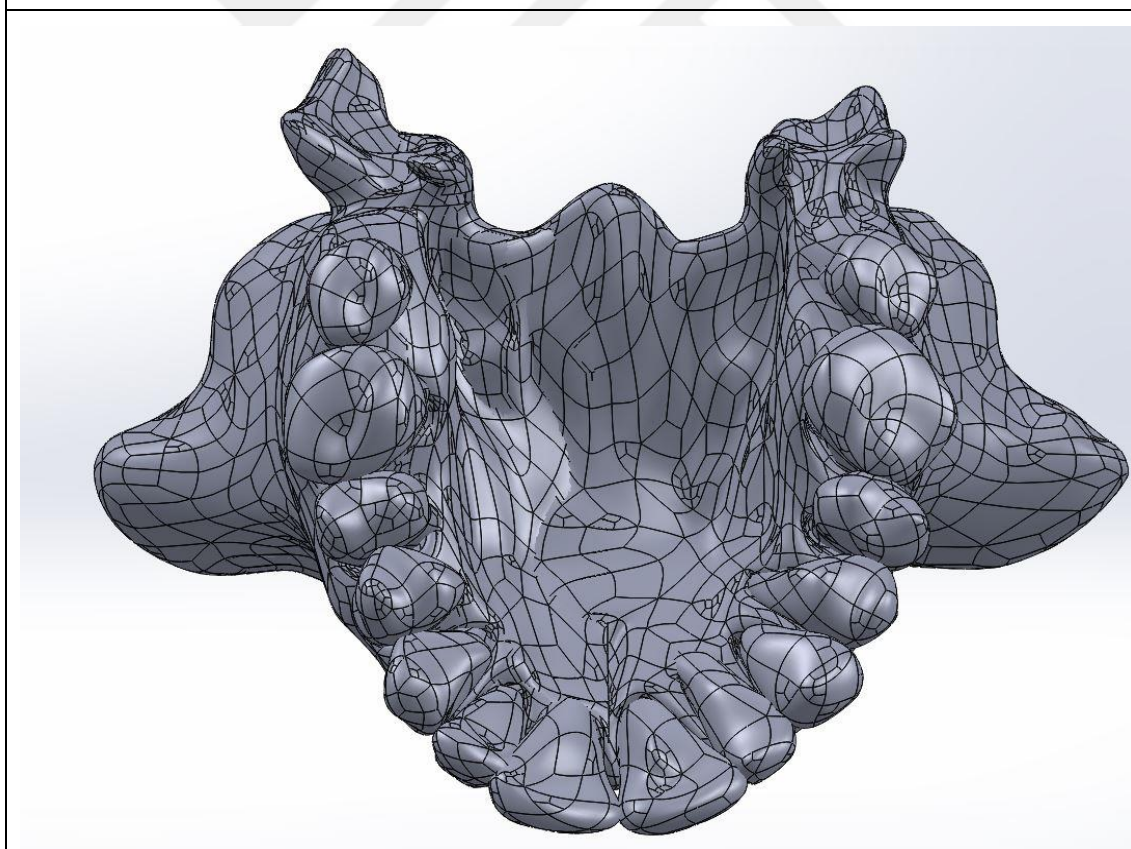
Tablo 3.3: Çalışma Modelleri

Model 1A: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi gerçekleştirilen ve diş destekli aparey benzeri kuvvet uygulanan model
Model 1B: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi gerçekleştirilen ve kemik destekli aparey benzeri kuvvet uygulanan model
Model 1C: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi gerçekleştirilen ve hibrit aparey benzeri kuvvet uygulanan model
Model 2A: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, Pterygomaksiller osteotomi gerçekleştirilen ve diş destekli aparey benzeri kuvvet uygulanan model
Model 2B: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, Pterygomaksiller osteotomi gerçekleştirilen ve kemik destekli aparey benzeri kuvvet uygulanan model
Model 2C: Midpalatal sutur ayrılması, Le Fort I kortikotomi, Pterygomaksiller osteotomi gerçekleştirilen ve hibrit aparey benzeri kuvvet uygulanan model

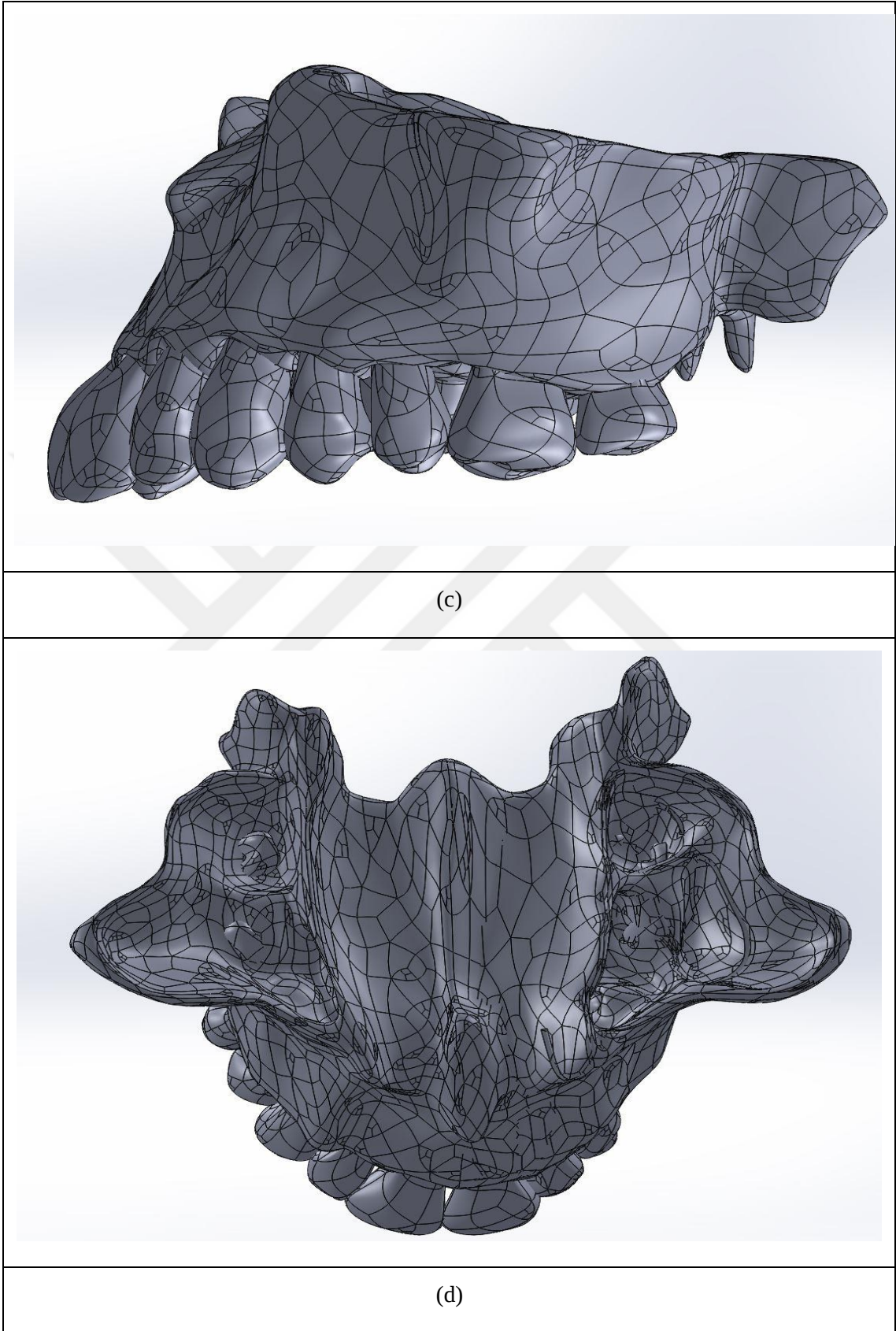
‘stl’ formatında oluşturan modeller bir toz bulutu şeklindedir. Bu modellerin analiz yapılabilen katı model haline getirilmesi CATIA (CATIA V5; Dassault Systemes, Vélizy-Villacoublay, France) programında yapılmıştır. CATIA’da katı model haline getirilen maksilla ve dişler montaj işlemleri için SOLIDWORKS (Dassault Systemes SolidWorks Corp., Waltham, MA, USA) programına aktarılmış ve modellerin birbirine montajı tamamlandıktan sonra bu program ile modeller üzerinde kesi hatları oluşturulmuştur (Şekil 3.6-9). Öncelikle diş modelleri maksilla modeline entegre edilmiştir. Maksilladaki kesi hatları 1 mm genişliğinde planlanmıştır.



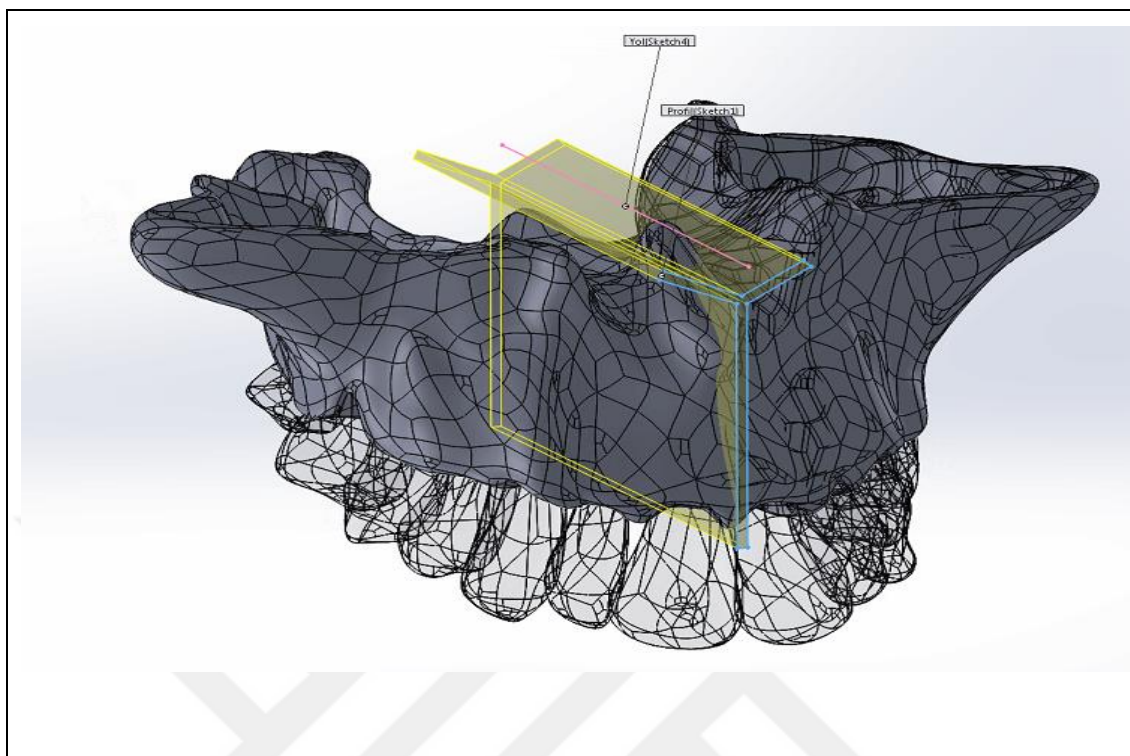
(a)



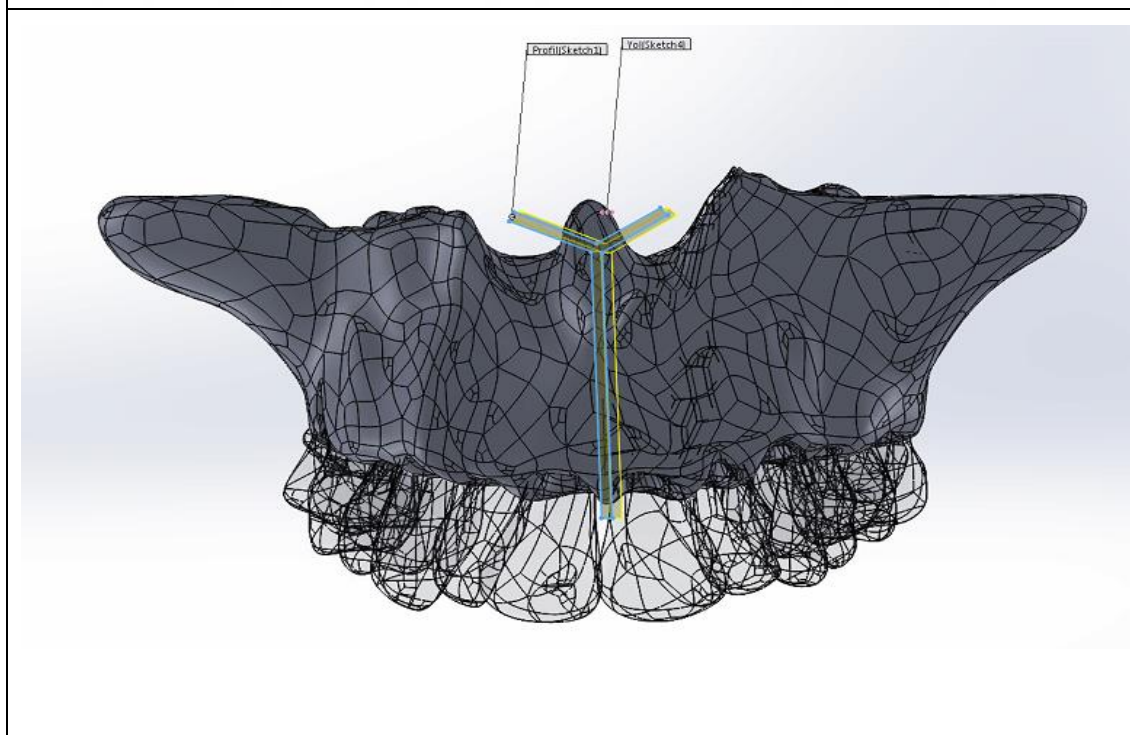
(b)



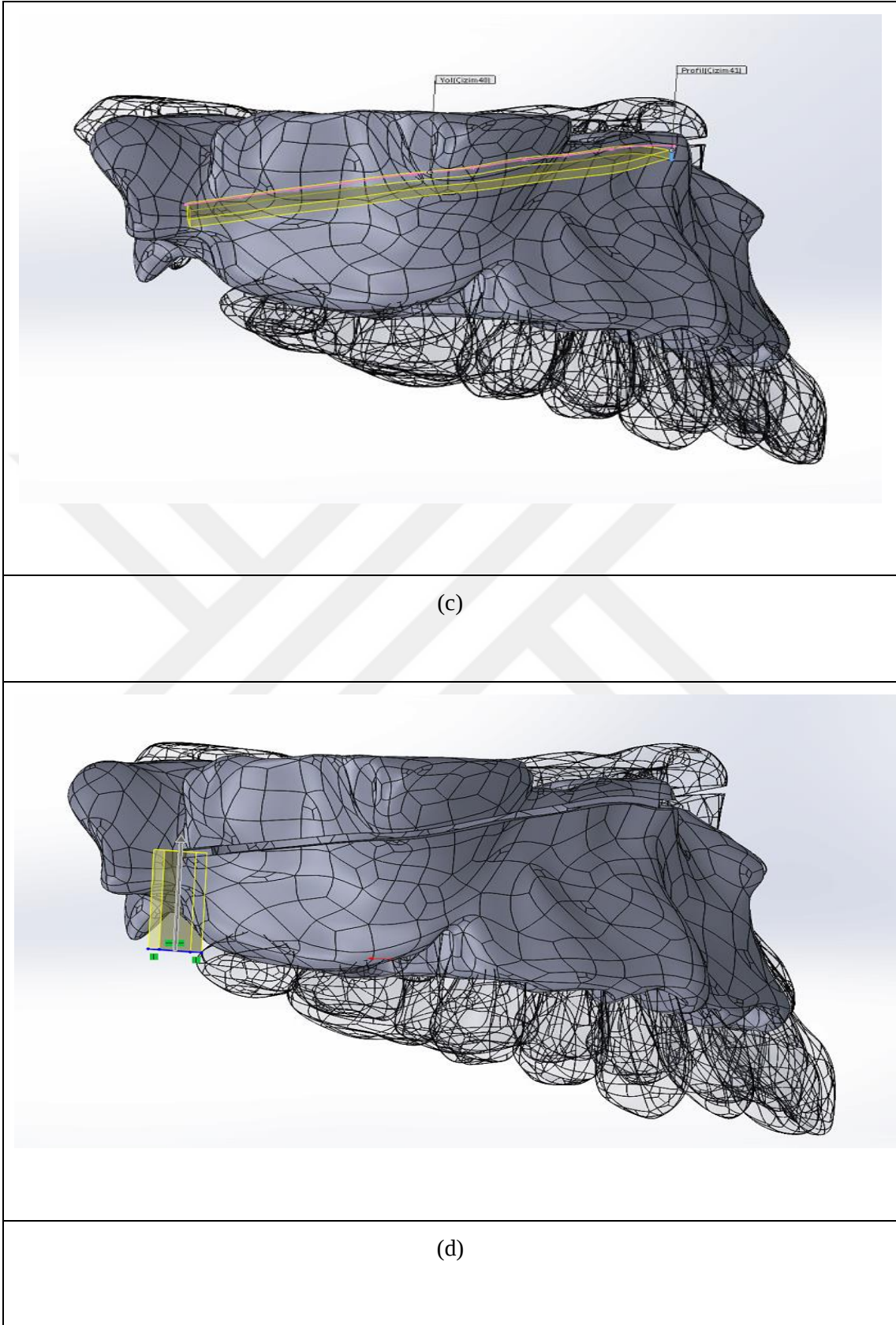
Şekil 3.6: Kemik ve Diş Kavsi Modellerinin Montajlanmış Hali. (a), Modelin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (d), Modelin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Modelin Sagital Kesitten Görünüşü.



(a)



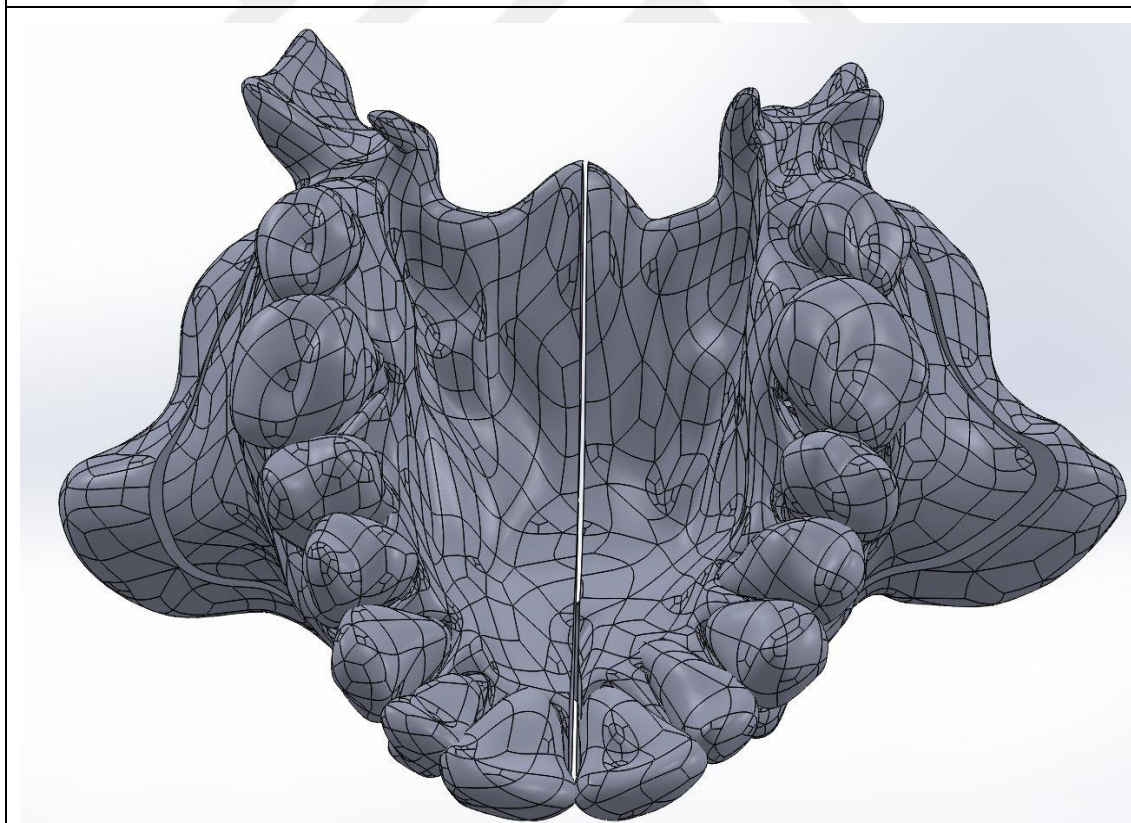
(b)



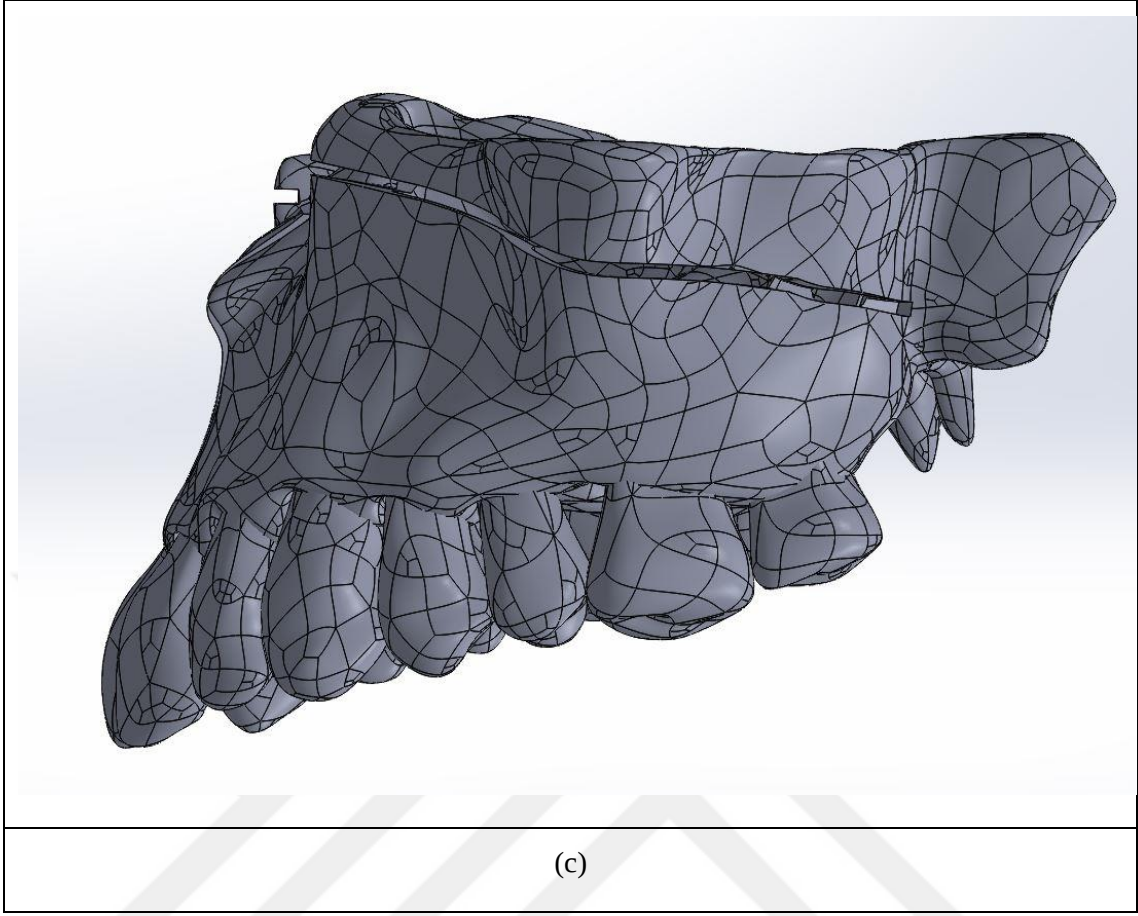
Şekil 3.7: SOLİDWORKS Programında Kesi Hatlarının Oluşturulması. (a) ve (b), Modelde Gerçekleştirilen Midpalatal Suture Ayrılması. (c), Modelde Gerçekleştirilen Le Fort I Kortikotomi. (d), Modelde Gerçekleştirilen Pterygomaksiller Osteotomi.



(a)



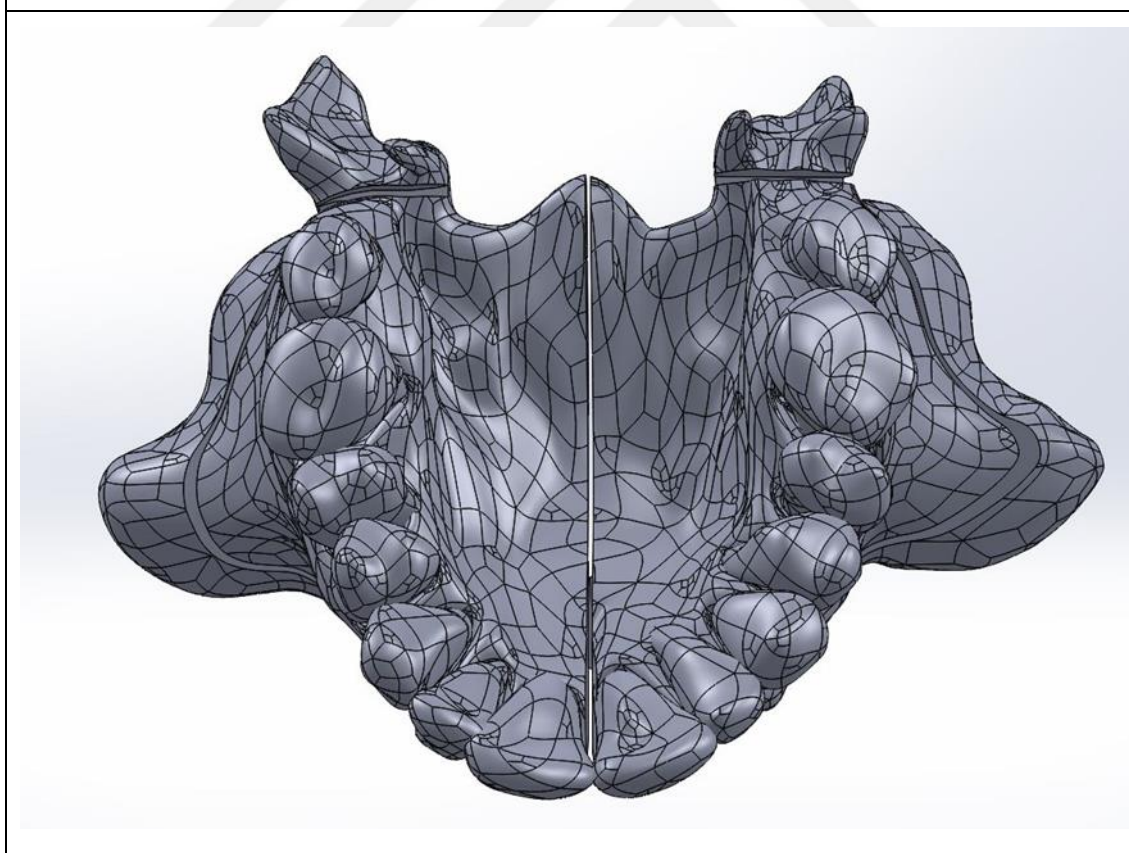
(b)



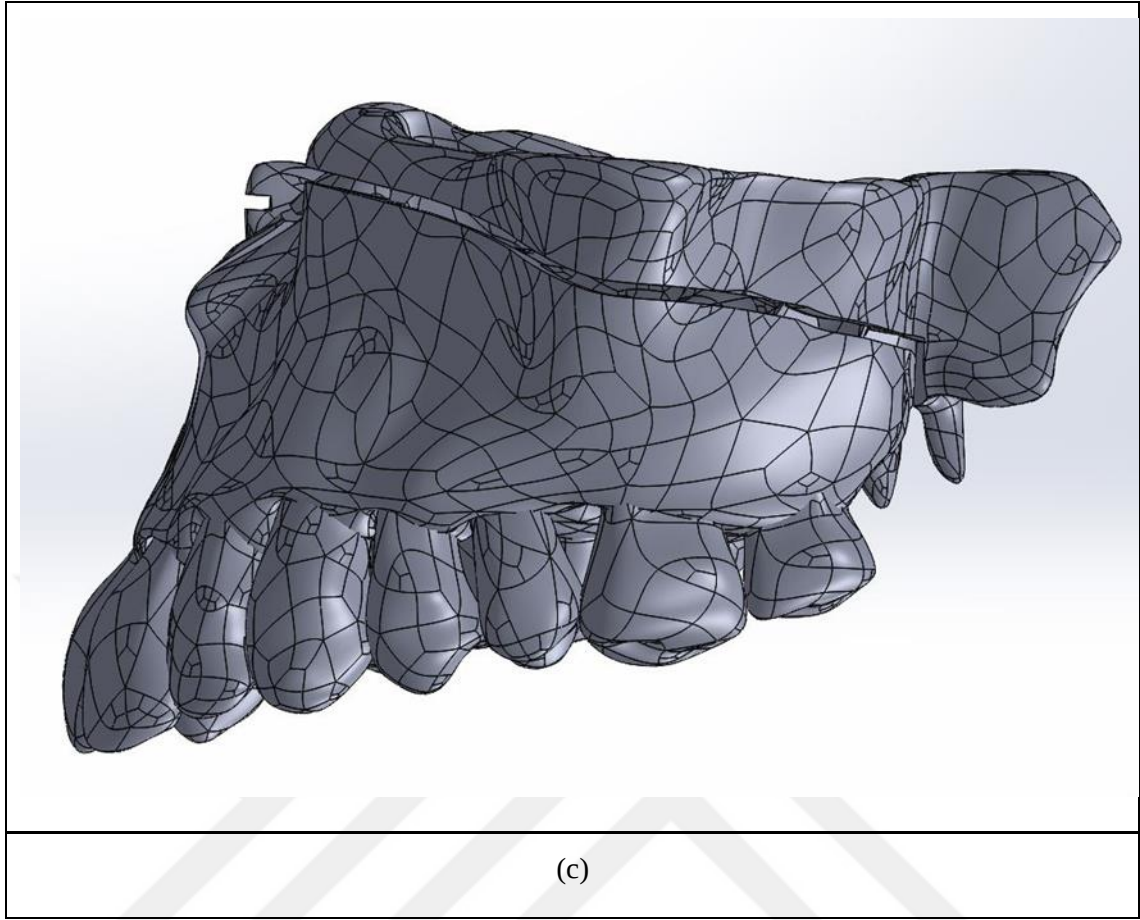
Şekil 3.8: SOLİDWORKS Programında Oluşturulmuş Grup 1'in Kesi Hatları. (a), Kesinin Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesinin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesinin Sagital Kesitten Görünüşü.



(a)



(b)

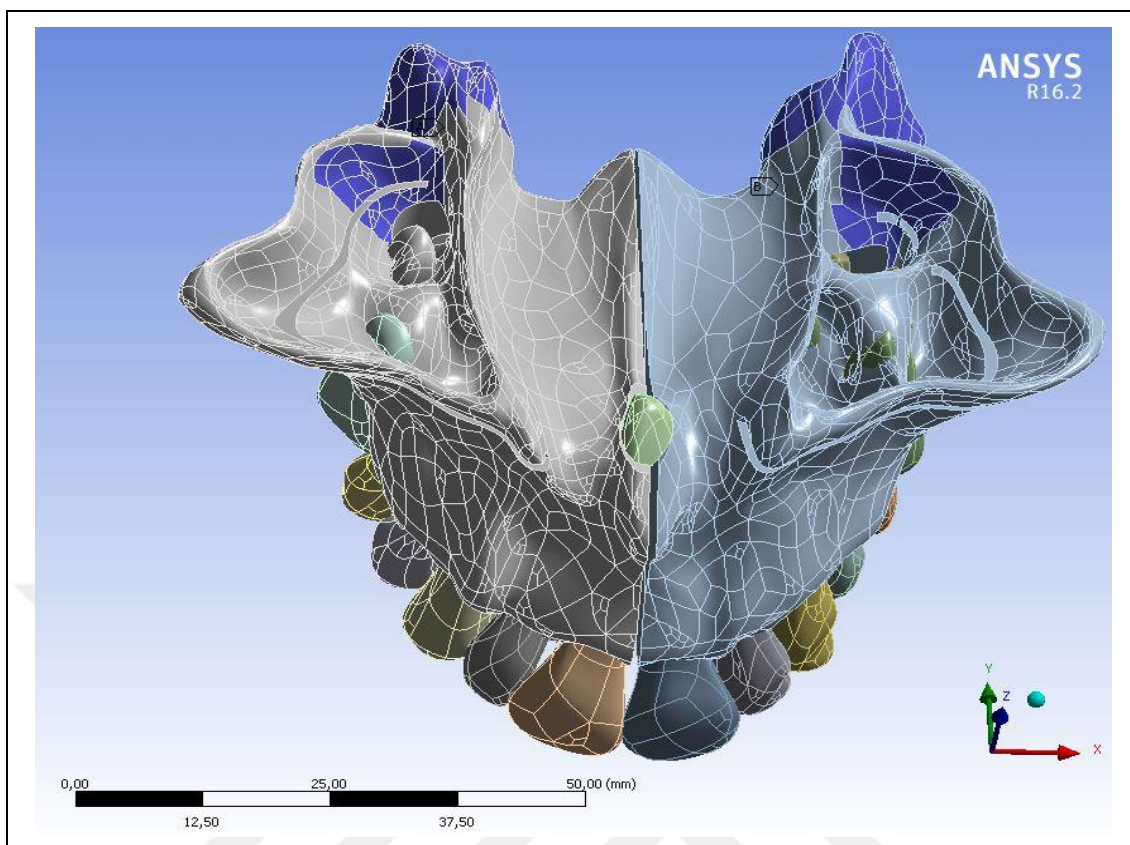


Şekil 3.9: SOLİDWORKS Programında Oluşturulmuş Grup 2'nin Kesi Hatları. (a), Kesinin Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesinin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesinin Sagital Kesitten Görünüşü.

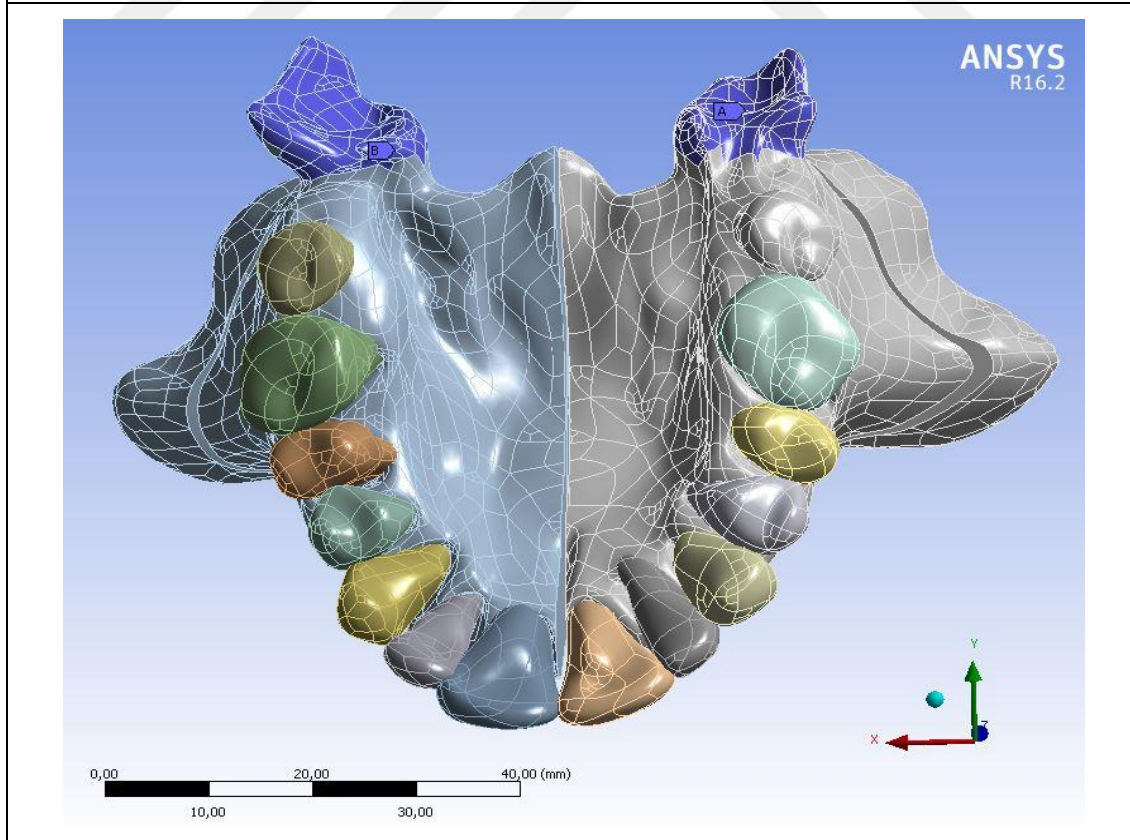
3.3. Sınır Koşulları ve Yükleme Koşulları

Sınır koşulları, modelin hareketine direnç gösteren ve uygulanan kuvvetlerin analiz edilebilmesini sağlayan sabit noktalardır. Çalışmamızda sabit noktalar maksiller sinüs medial duvarı ve pterygoid çıkıntılar olarak belirlenmiştir (Şekil 3.10).

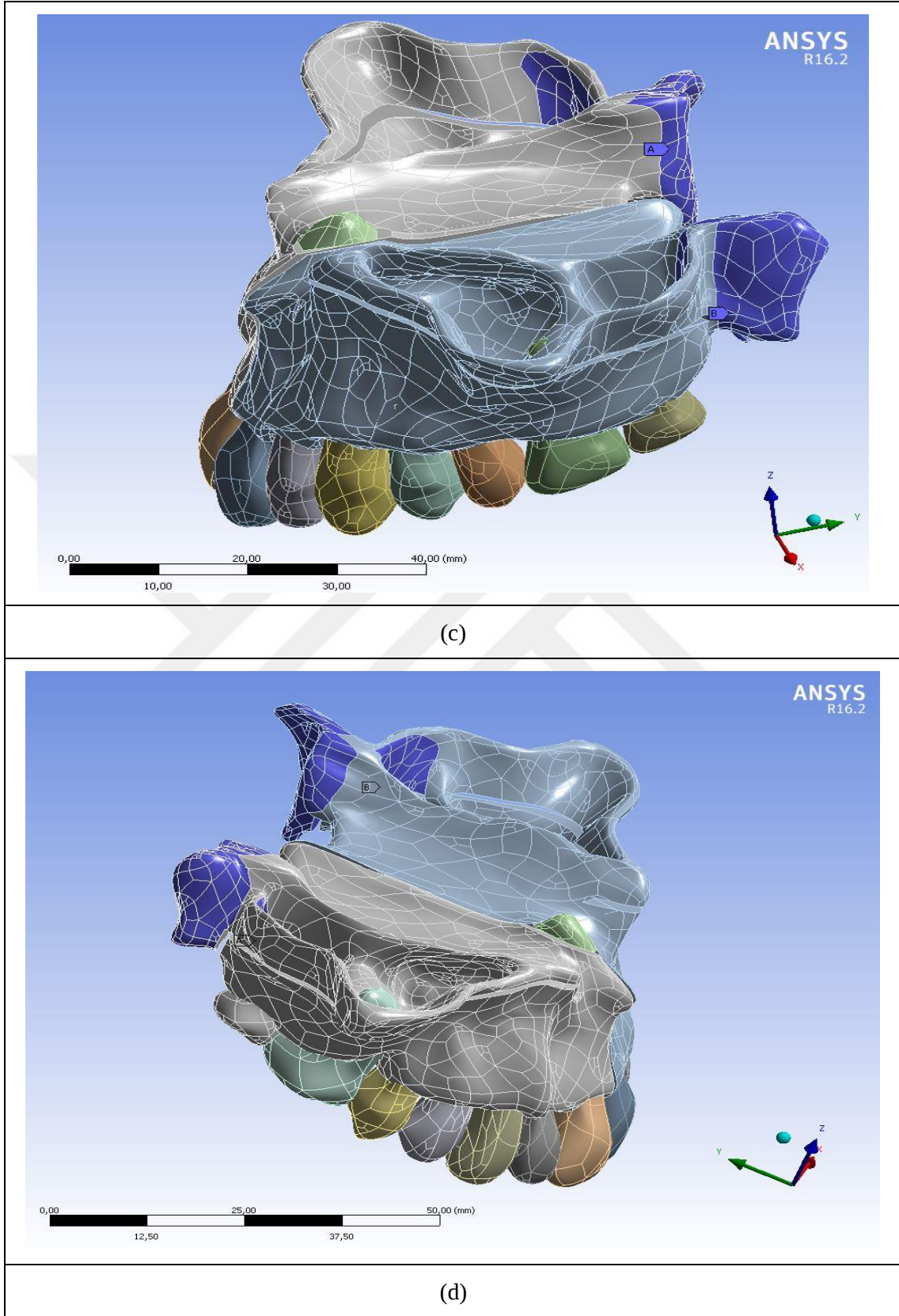
Kuvvetler apareylerin tasarımına göre kemik ve diş yüzeyinde seçilen bölgelere dik olarak uygulanmıştır.



(a)



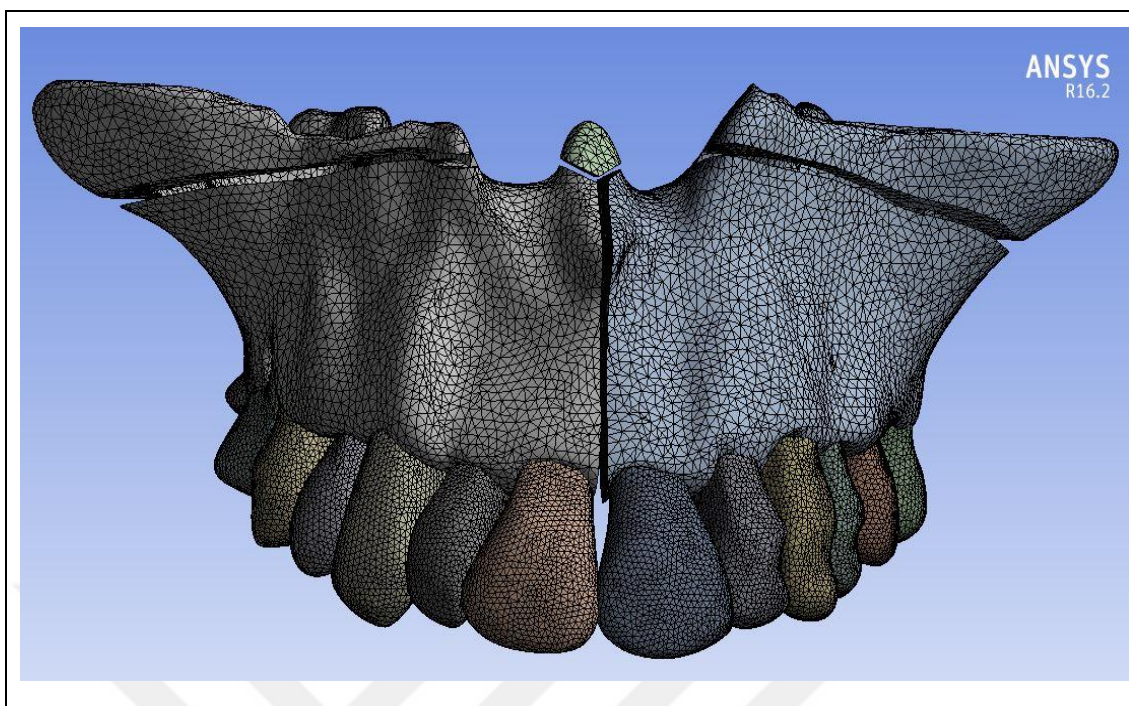
(b)



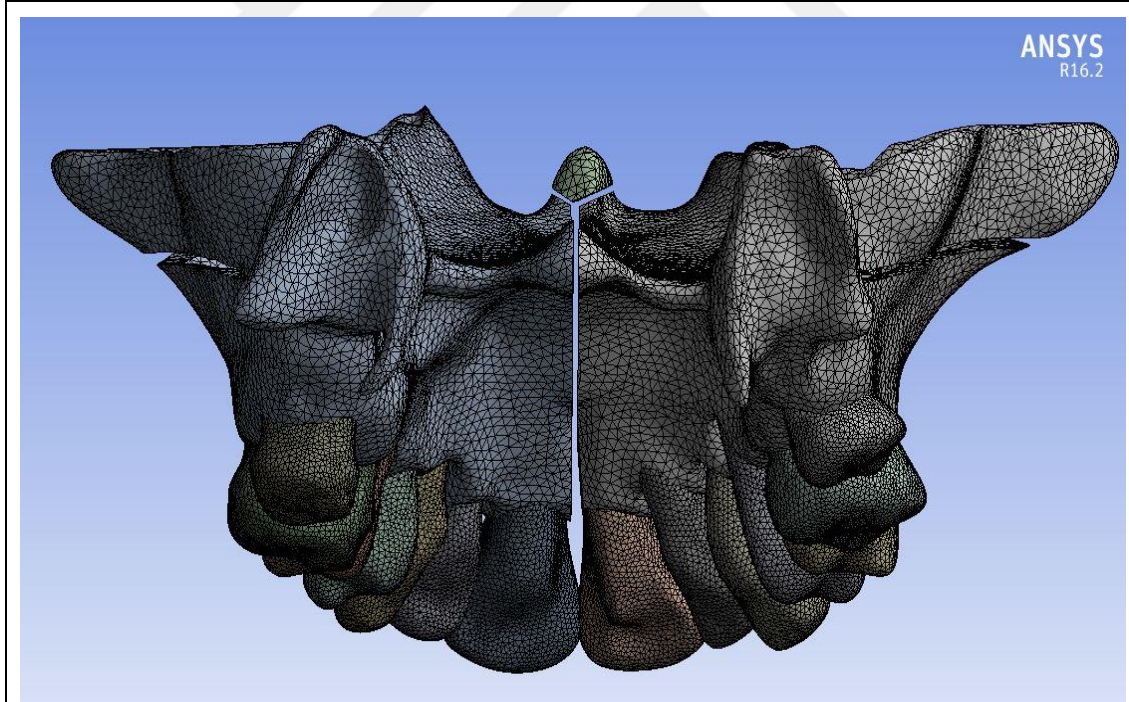
Şekil 3.10: Modellerin Sabit Noktaları. (a) ve (b), Sabit Noktaların Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c) ve (d), Sabit Noktaların Sagittal Kesitten Görünüşü.

3.4. FEM Analizinin Gerçekleştirilmesi

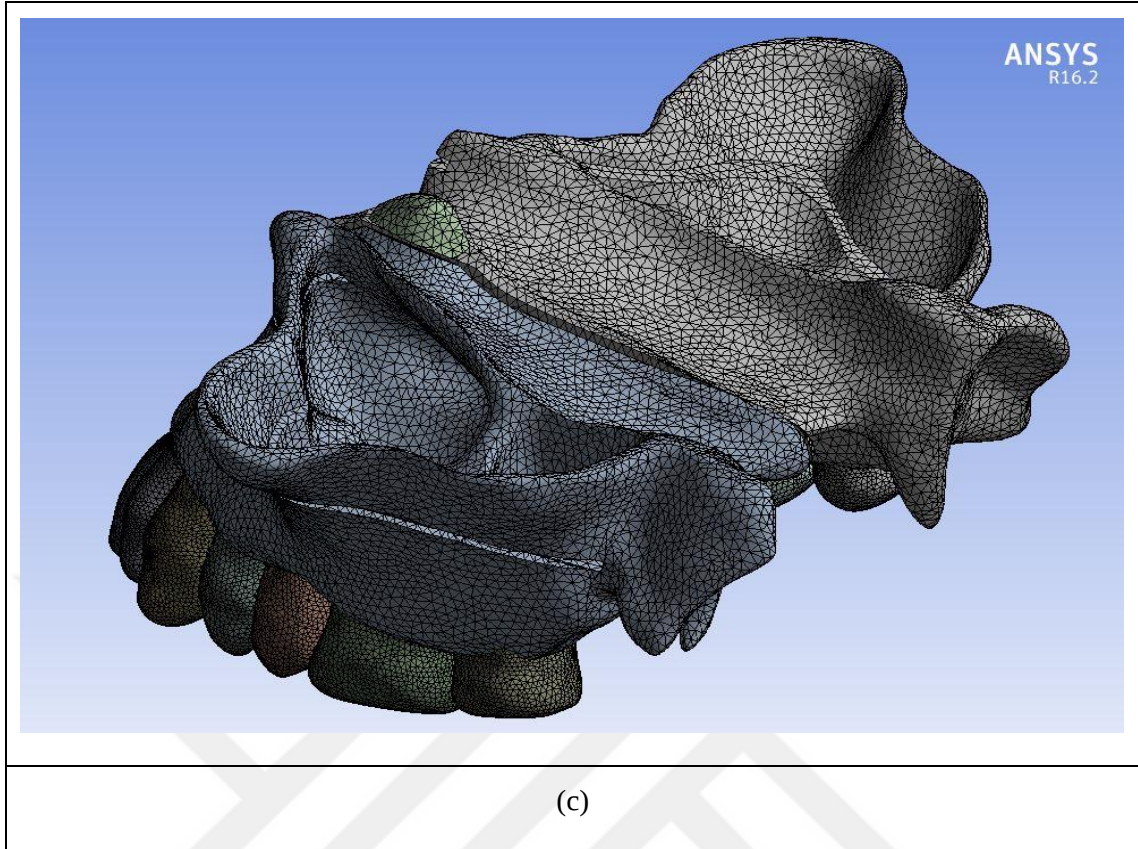
SOLIDWORKS programında kesi hatları oluşturulan 6 model, sonlu elemanlar analizi yöntemi ile her grupta maksillada ve dişlerde oluşacak stresleri bilgisayar ortamında ölçecek olan ANSYS (ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA) programına aktarılmıştır. Programın sonlu eleman analizi yapabilmesi için öncelikle modellerde maksilla ve dişlerin biyomekanik açıdan malzeme özellikleri programa girilmiştir (Tablo 3.1). SOLIDWORKS'te montajı yapılan dişlerin kemiğe olan bağlantısı ANSYS'te rijit bağlantı olarak tanımlanmıştır. Daha sonra modellere ağ örgüsü atılması yapılmıştır (Şekil 3,11). Ağ örgüsü boyutu çalışmanın hassasiyetini arttırmak için maksilla için 1 mm, dişler için 0.5 mm olarak belirlenmiştir. Dişlerin ağ örgüsü boyutunun maksilladan daha küçük seçilme nedeni parçanın boyutu küçüldükçe analiz hassasiyetinin artırılması gerektiğindendir¹²³. Ağ örgüsü atılmış modellerin eleman ve düğüm sayıları Tablo 3.4'te verilmiştir. Ağ örgüsü atılması esnasında problem olması daha önce kullanılan programlara (GEOMAGIC vb.) geri dönülmesini ve problemin ne olduğunun saptanmasını gerektirmektedir. Bizim çalışmamızda ağ örgüsü atılması sorunsuz şekilde tamamlanmıştır. Ağ örgüsü oluşturulan modellerde apareylerin uygulayacağı kuvvetler belirlenip modellere uygulanmıştır (Şekil 3.12-20). Midpalatal sutura açıklığı 161-211 µm arasında değişmektedir ¹²⁴. Modellere uygulanacak kuvvetin büyüklüğü midpalatal suturayı 1 mm açmak için uygulanması gereken kuvvet hesaplanarak bulunmuştur (Tablo 3.5).



(a)



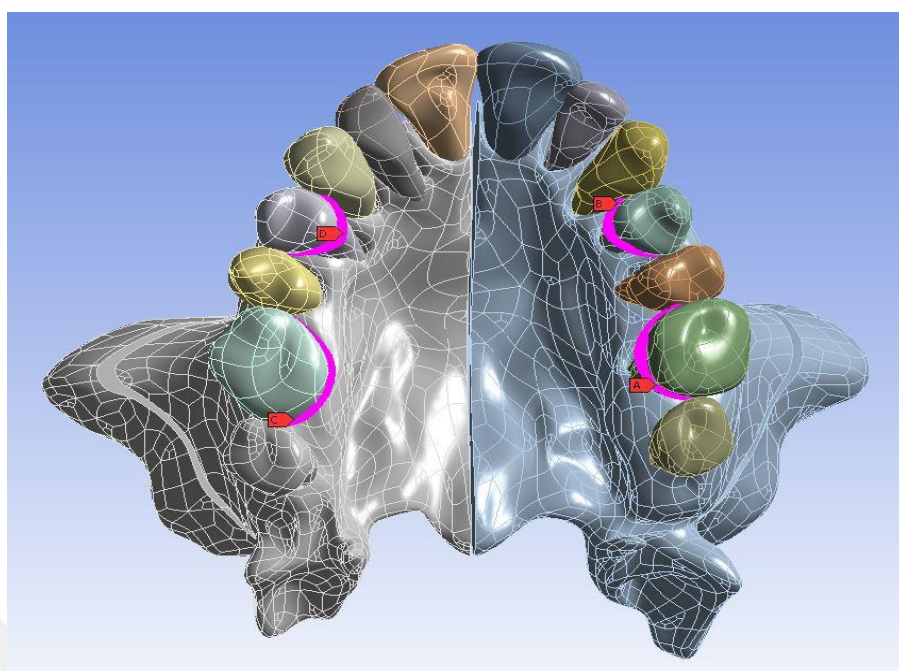
(b)



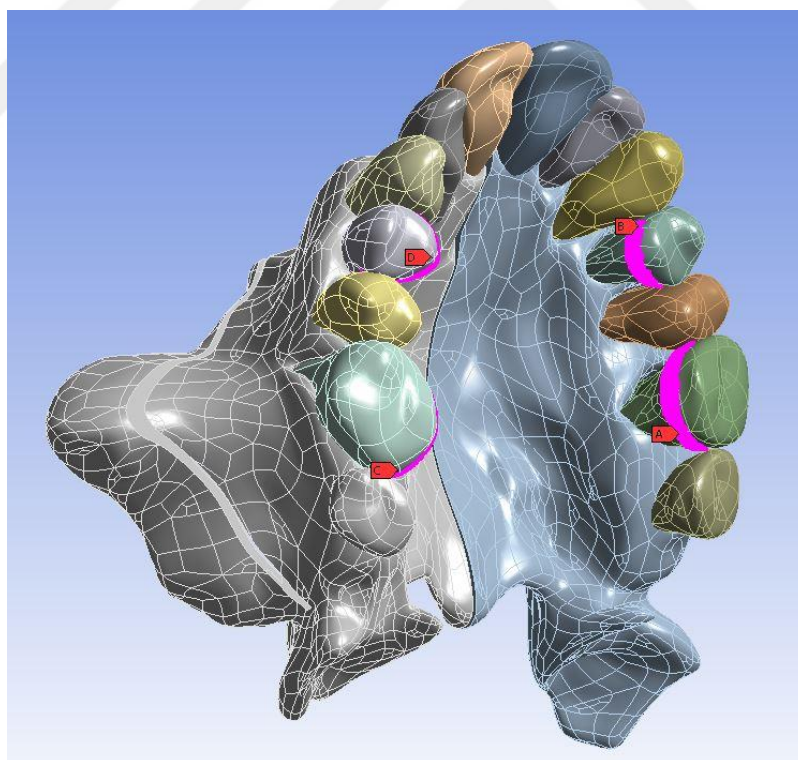
Şekil 3.11: ANSYS Programında Ağ Örgüsü Atılmış Modelin Görünümü. (a) ve (b), Ağ Örgülü Modelin Koronal Kesitten Görünüşü. (c), Ağ Örgülü Modelin Aksiyal Kesitten Görünüşü.

Tablo 3.4: Modellerin Eleman Ve Düğüm Sayıları

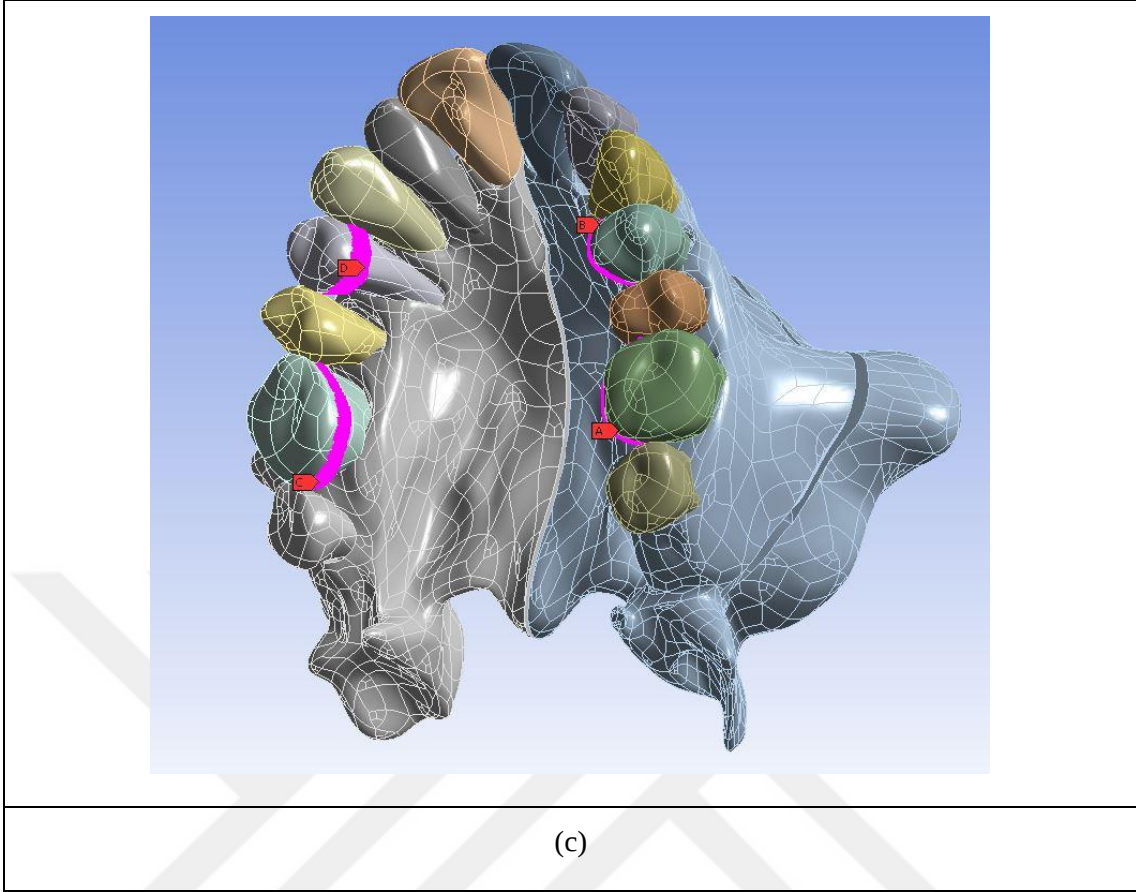
Modeller	Eleman sayısı	Düğüm sayısı
1A	1140730	1659779
1B	1140730	1659779
1C	1140730	1659779
2A	1025386	1341658
2B	1025386	1341658
2C	1025386	1341658



(a)

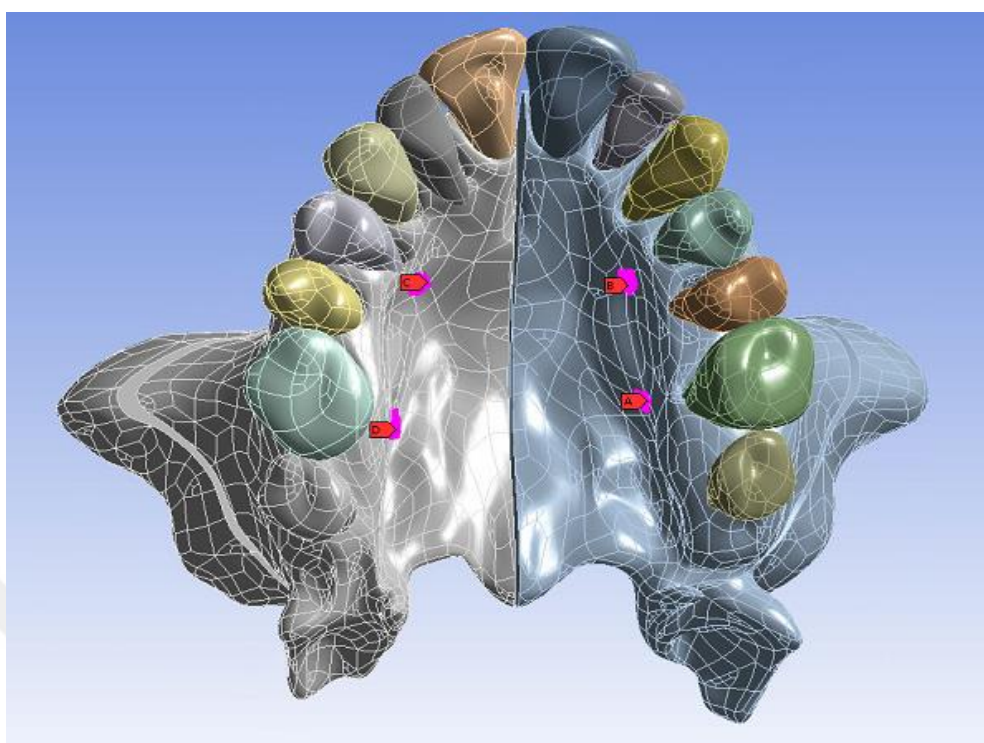


(b)

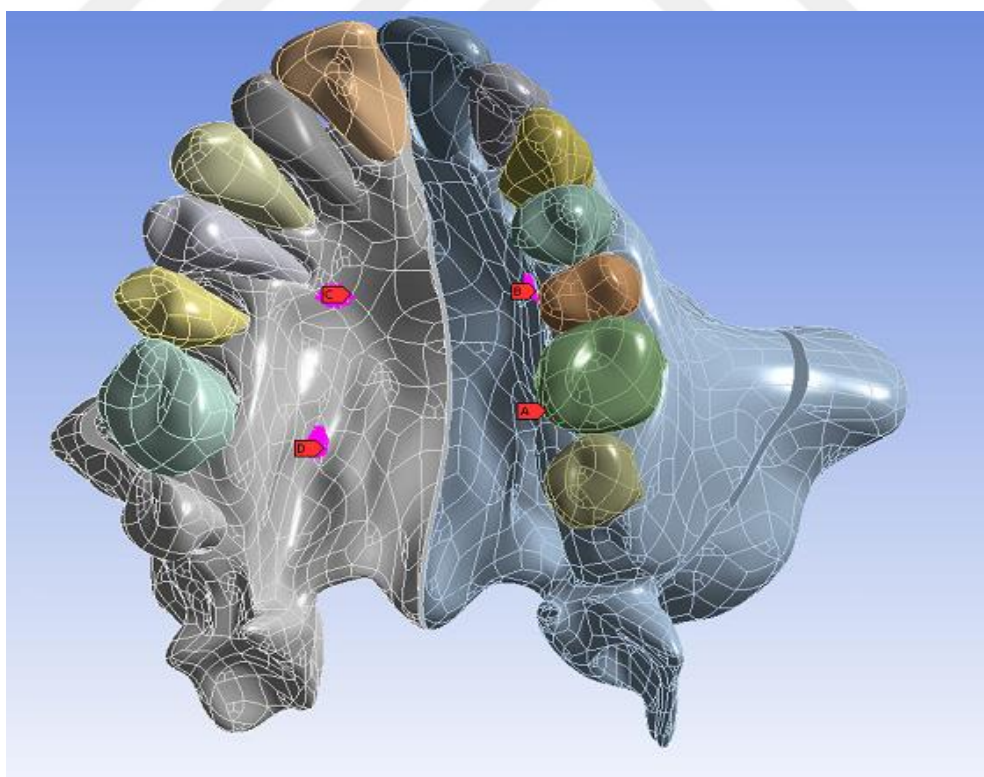


Şekil 3.12: ANSYS Programında Diş Destekli Aparey Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması. (a), Kuvvetlerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (b), Sağ Maksillaya Uygulanan Kuvvetler. (c), Sol Maksillaya Uygulanan Kuvvetler.

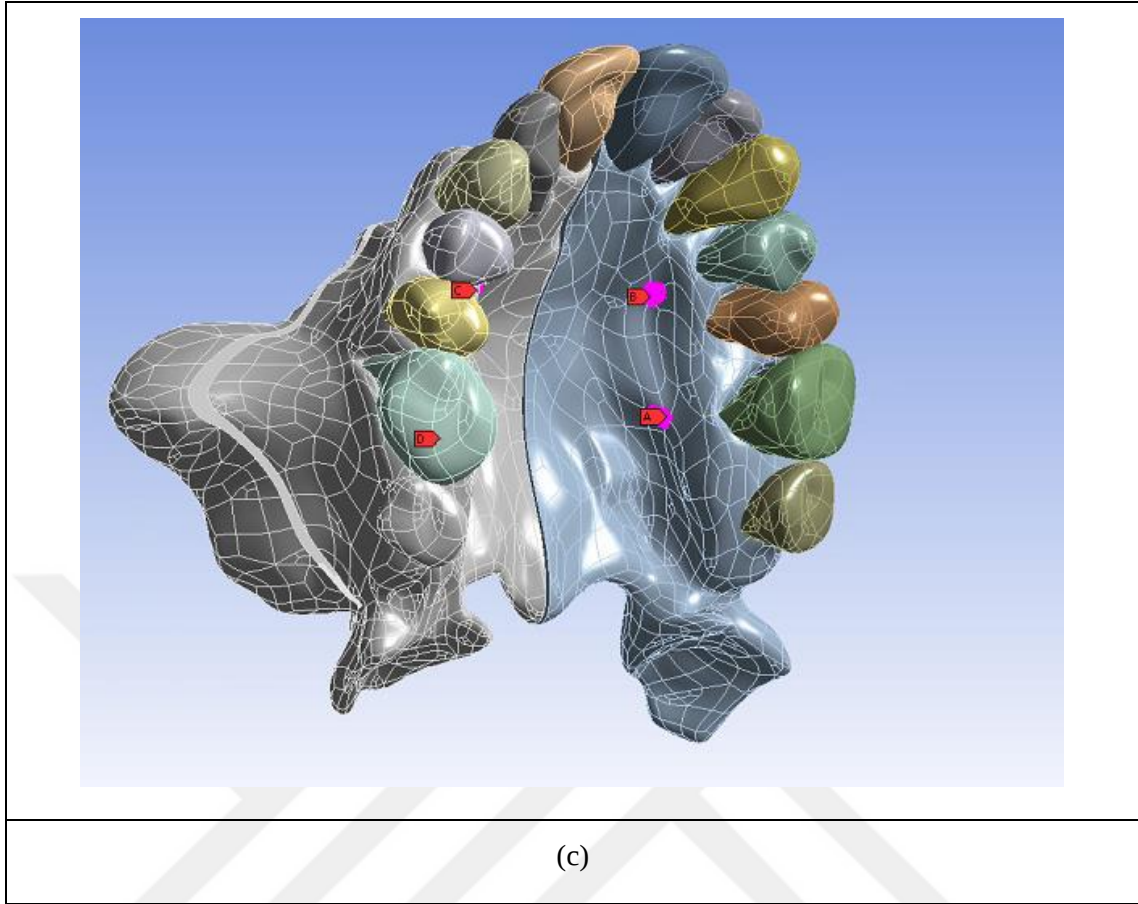
(Pembe alanlar kuvvetlerin uygulandığı yeri alansal olarak gösterirken, kırmızı oklar ne kadar kuvvet uygulandığını nitel olarak göstermektedir.)



(a)

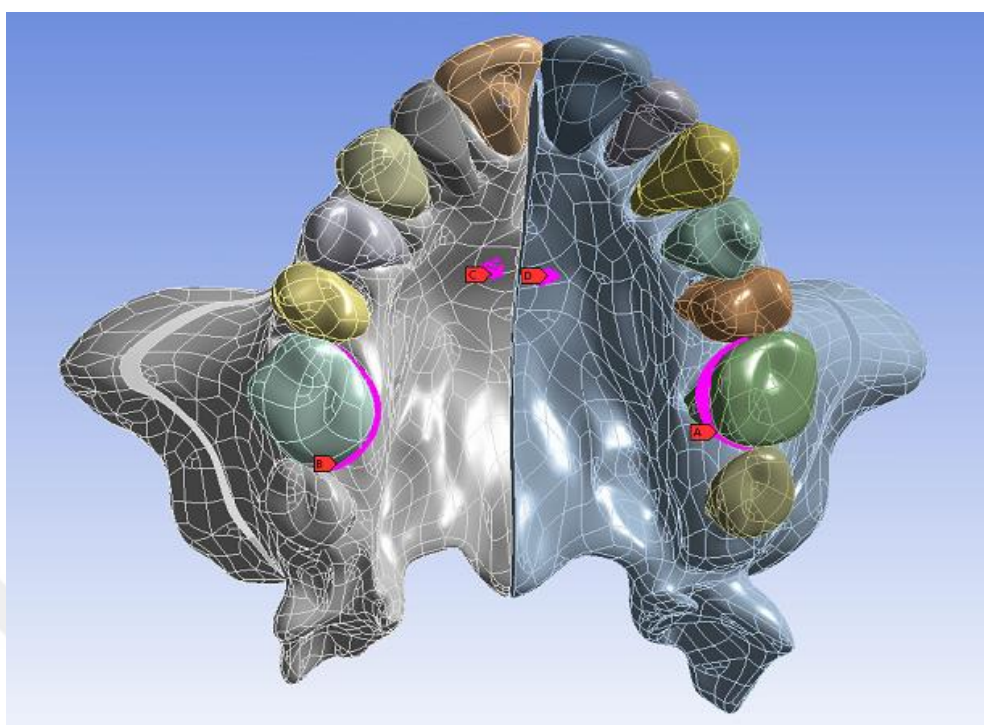


(b)

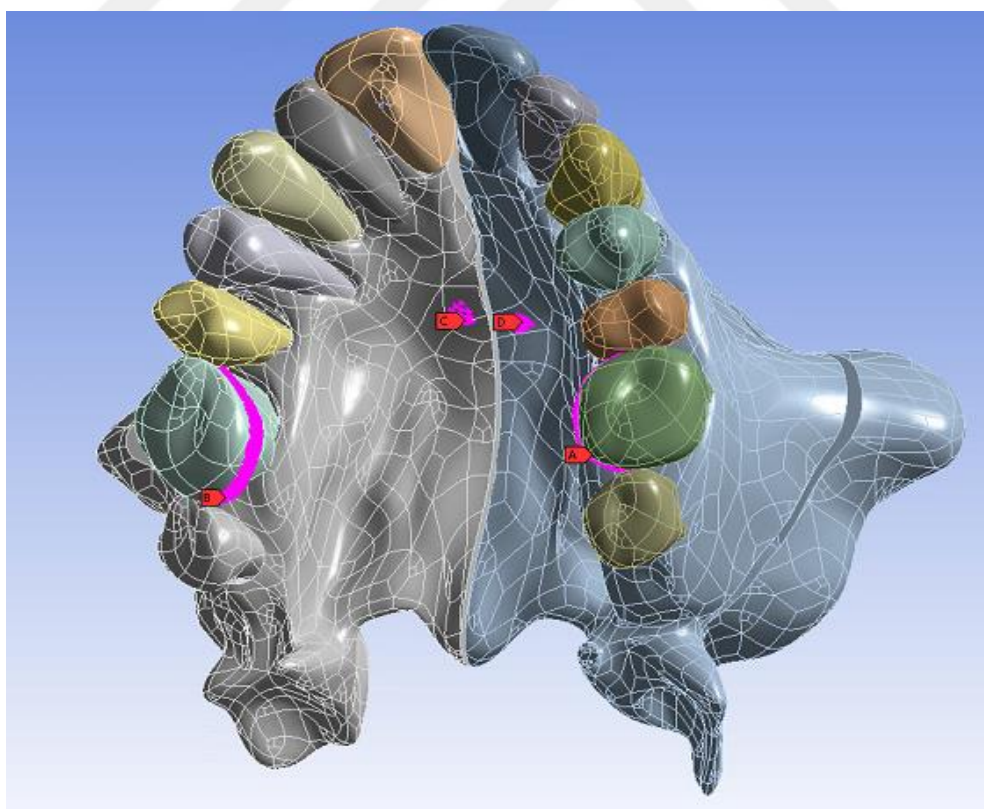


Şekil 3.13: ANSYS Programında Kemik Destekli Aparent Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması.
 (a), Kuvvetlerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (b), Sağ Maksillaya Uygulanan Kuvvetler. (c), Sol Maksillaya Uygulanan Kuvvetler.

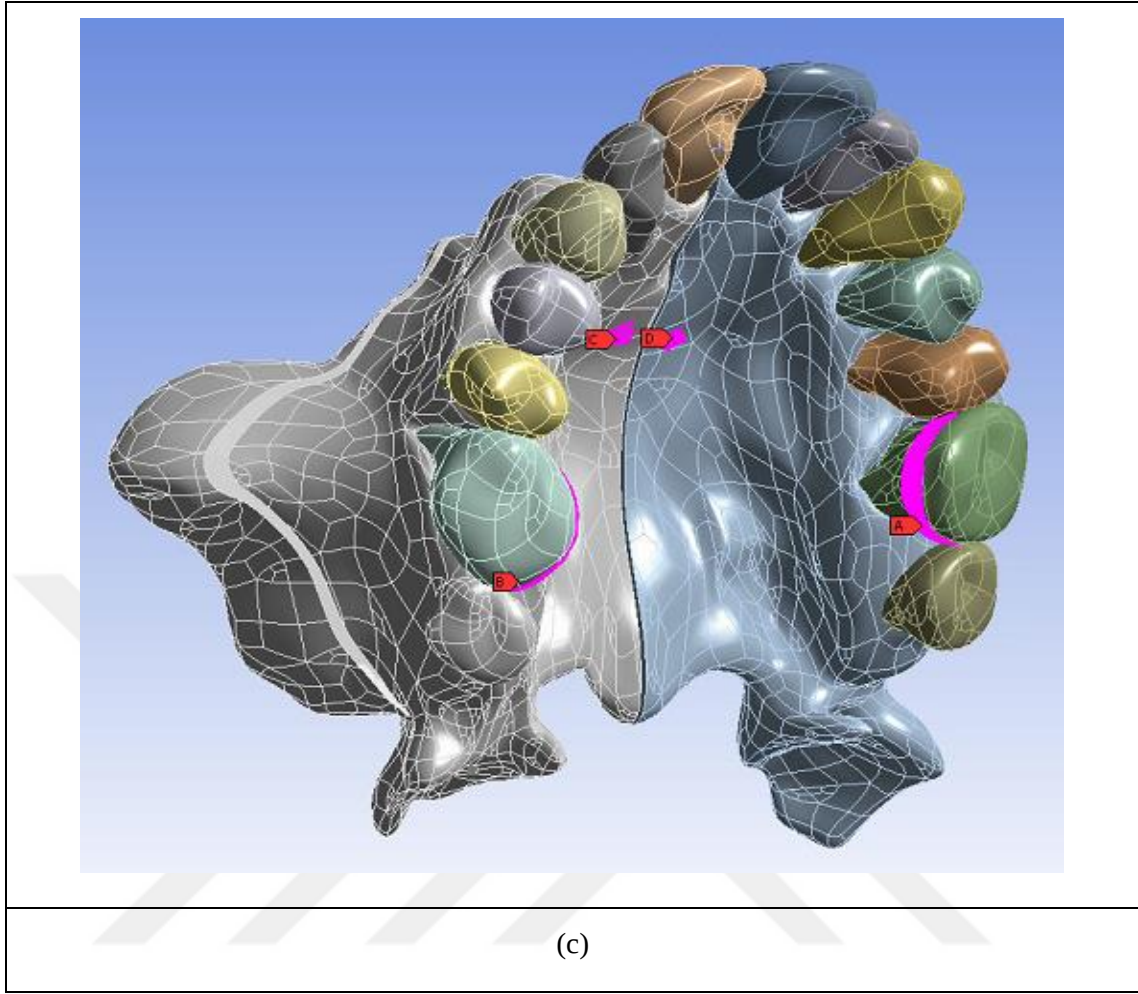
(Pembe alanlar kuvvetlerin uygulandığı yeri alansal olarak gösterirken, kırmızı oklar ne kadar kuvvet uygulandığını nitel olarak göstermektedir.)



(a)



(b)

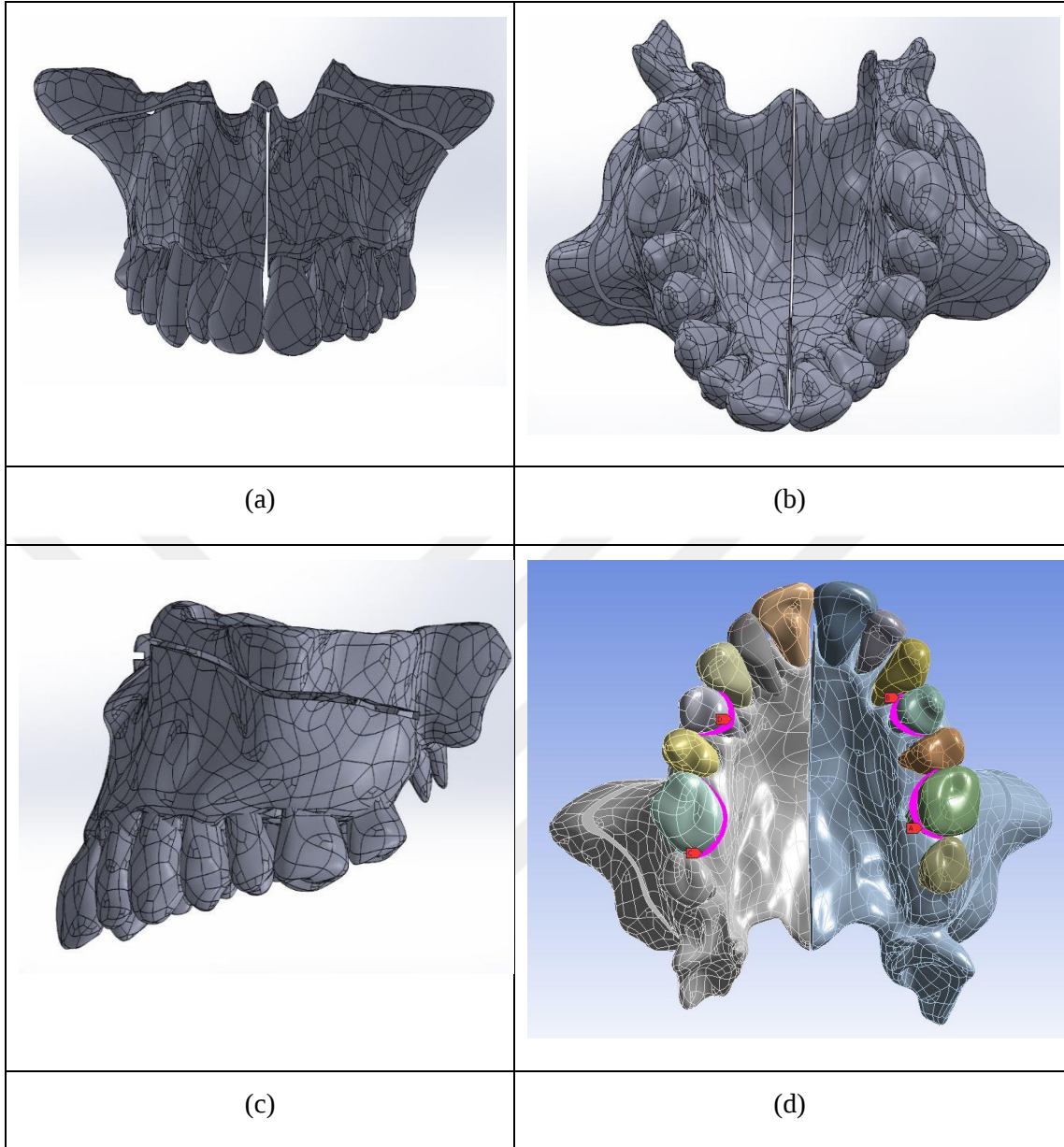


Şekil 3.14: ANSYS Programında Hibrit Aparey Benzeri Kuvvetlerin Uygulanması. (a), Kuvvetlerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (b), Sağ Maksillaya Uygulanan Kuvvetler. (c), Sol Maksillaya Uygulanan Kuvvetler.

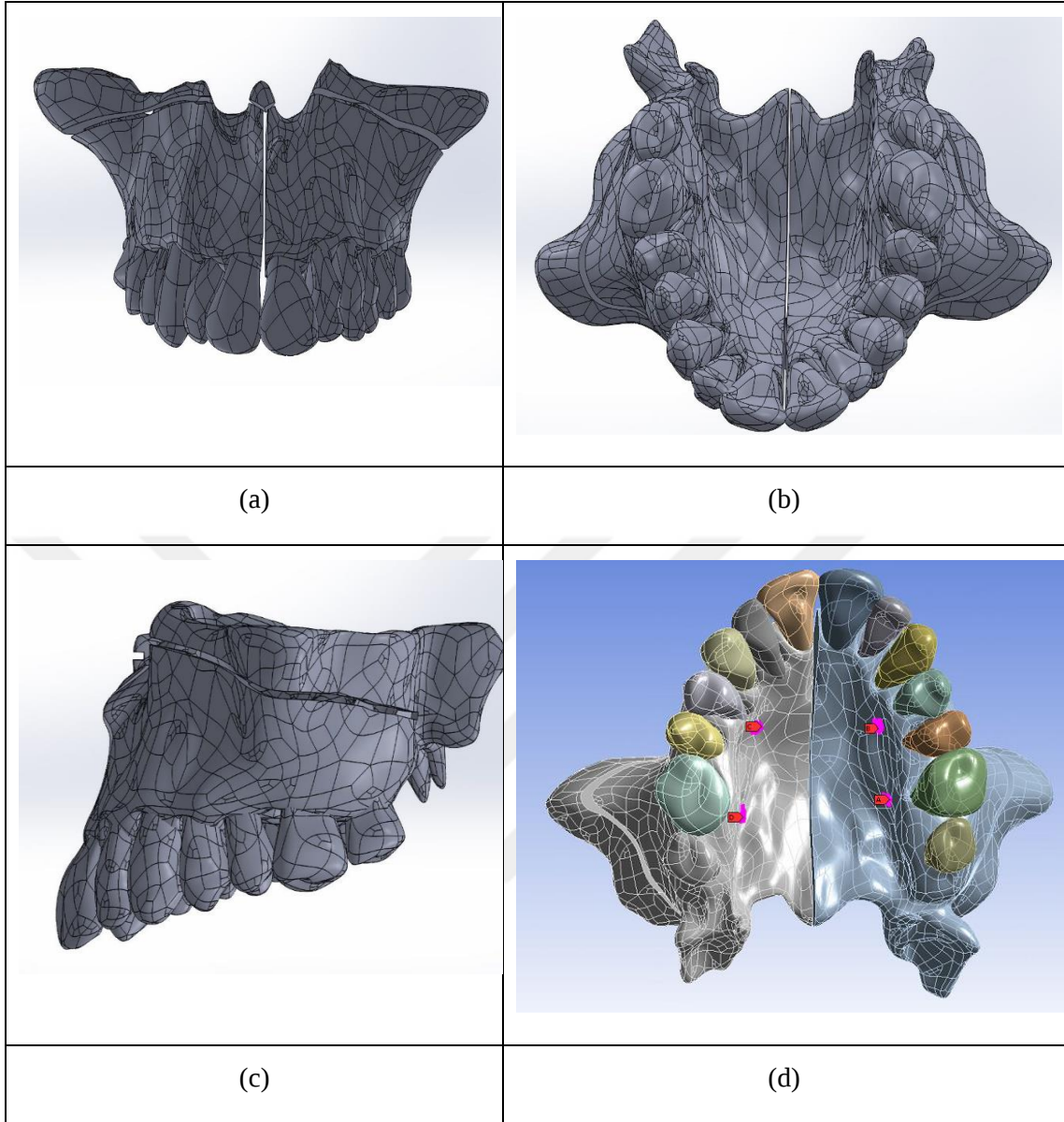
(Pembe alanlar kuvvetlerin uygulandığı yeri alansal olarak gösterirken, kırmızı oklar ne kadar kuvvet uygulandığını nitel olarak göstermektedir.)

Tablo 3.5: Kullanılan Apareylere Türlerine Göre İki Farklı Kesi İçin Uygulanan Kuvvet Büyüklükleri (N)

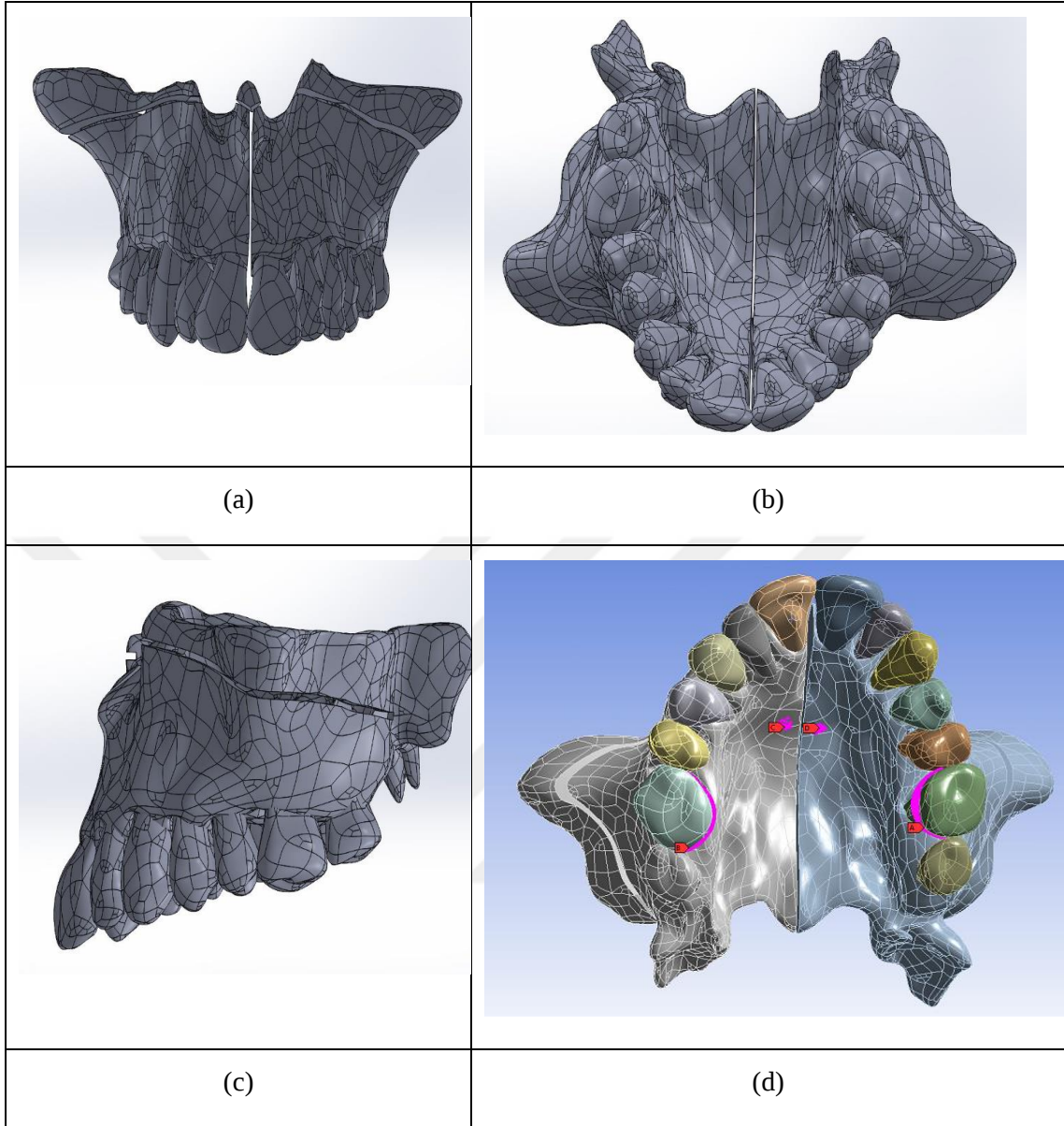
Aparey Türü	Grup1	Grup2
Diş destekli aparey	350 N	325 N
Kemik destekli aparey	480 N	370 N
Hibrit aparey	415 N	400 N



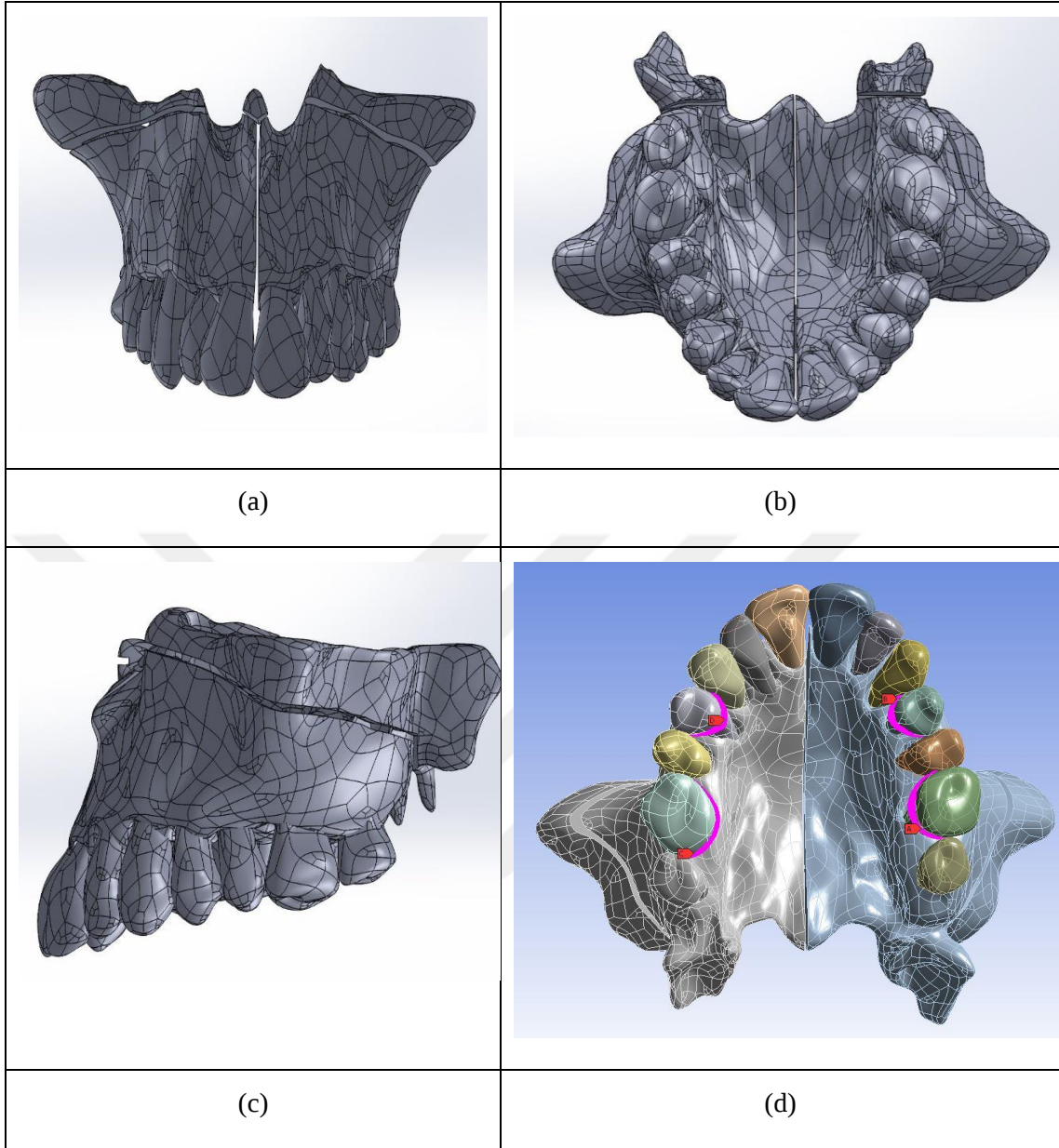
Şekil 3.15: Model 1A'nın Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.



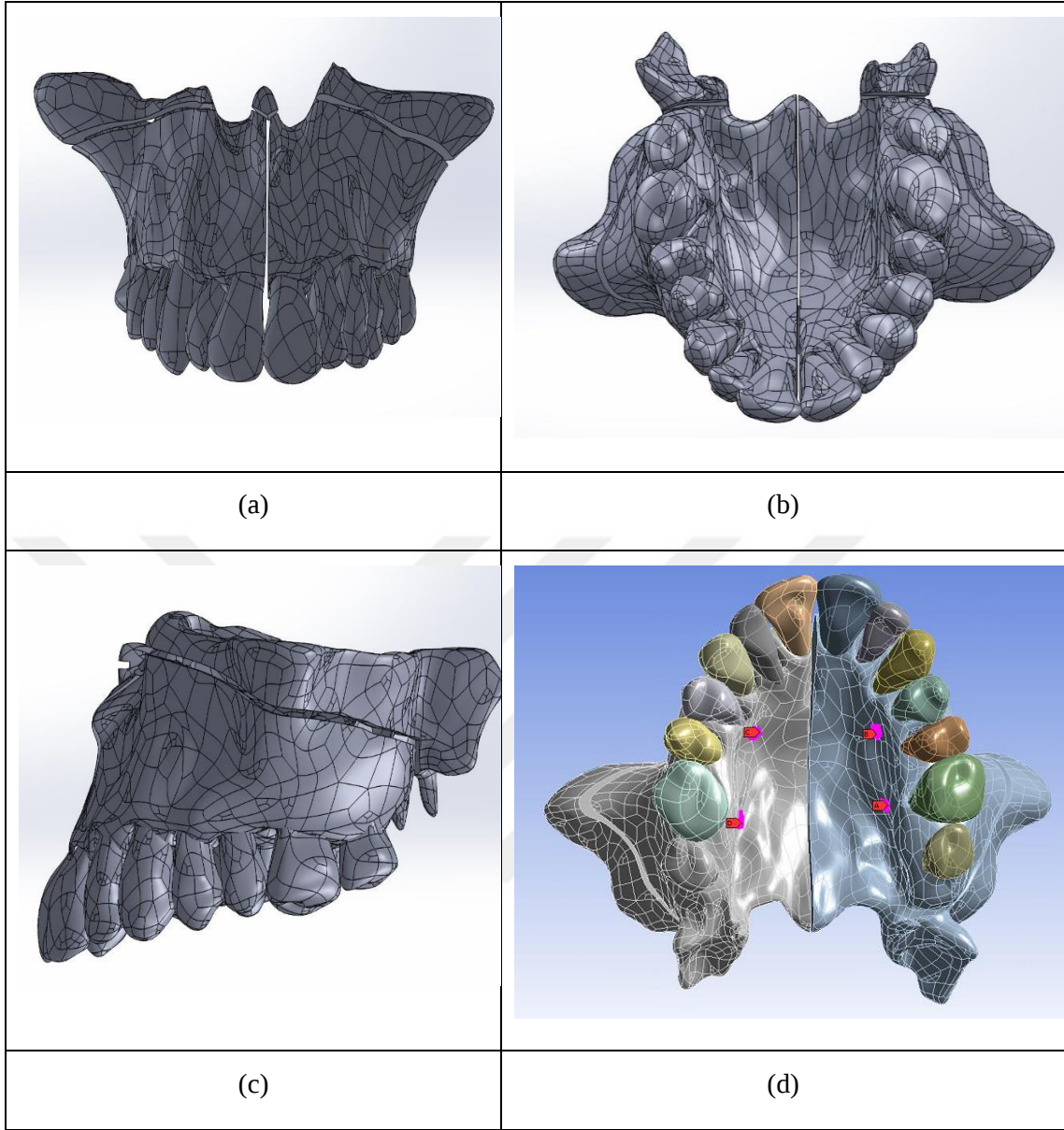
Şekil 3.16: Model 1B'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.



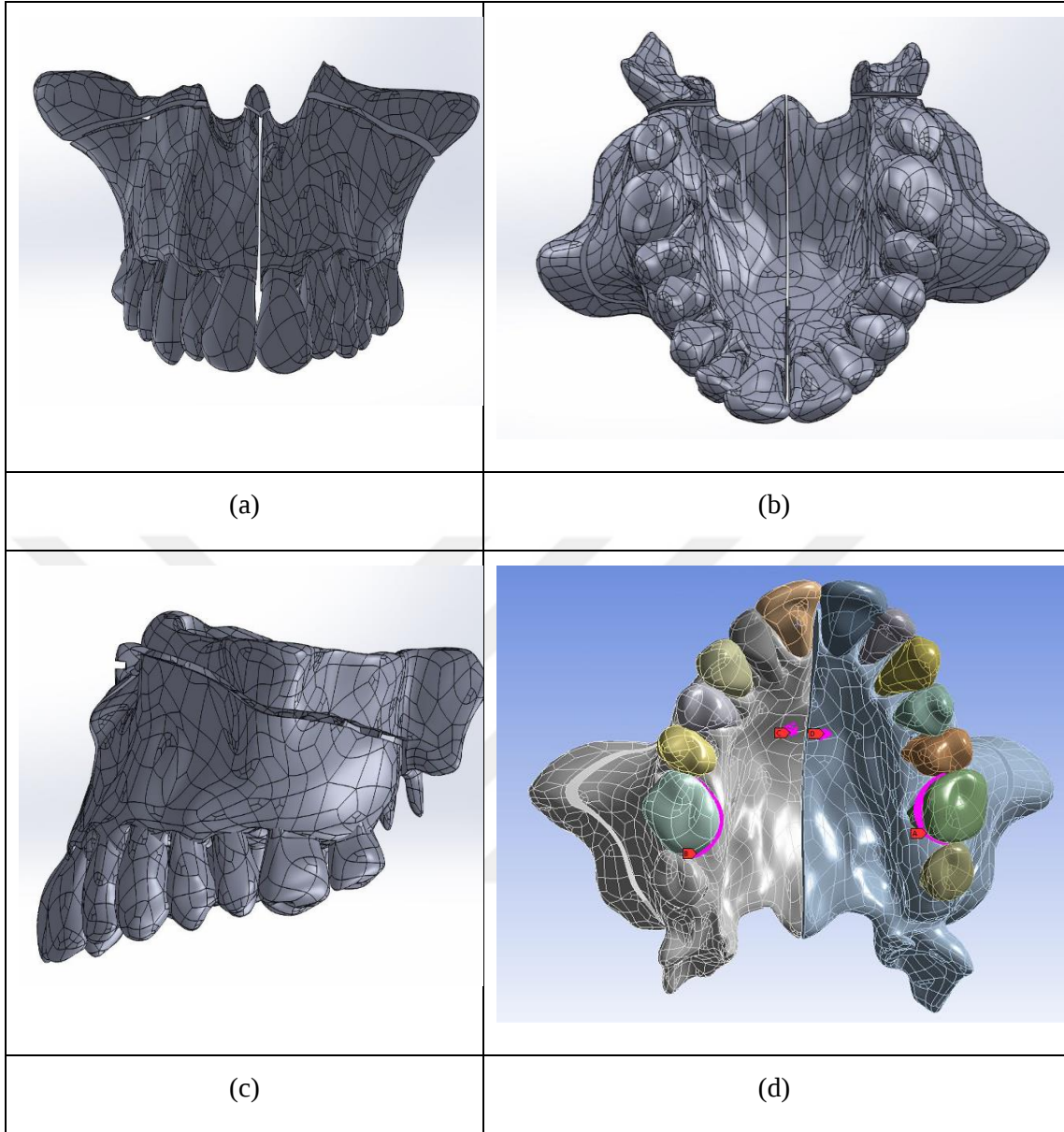
Şekil 3.17: Model 1C'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.



Şekil 3.18: Model 2A'nın Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.

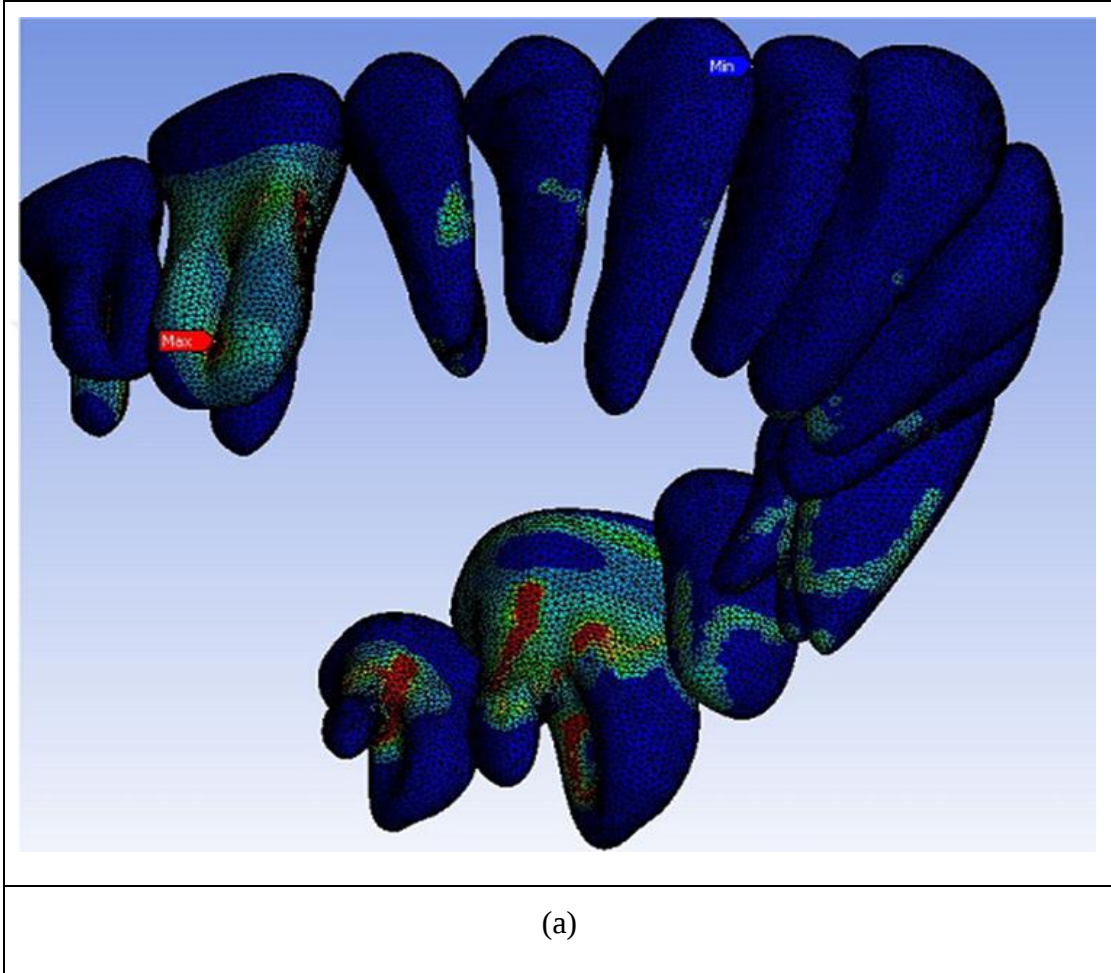


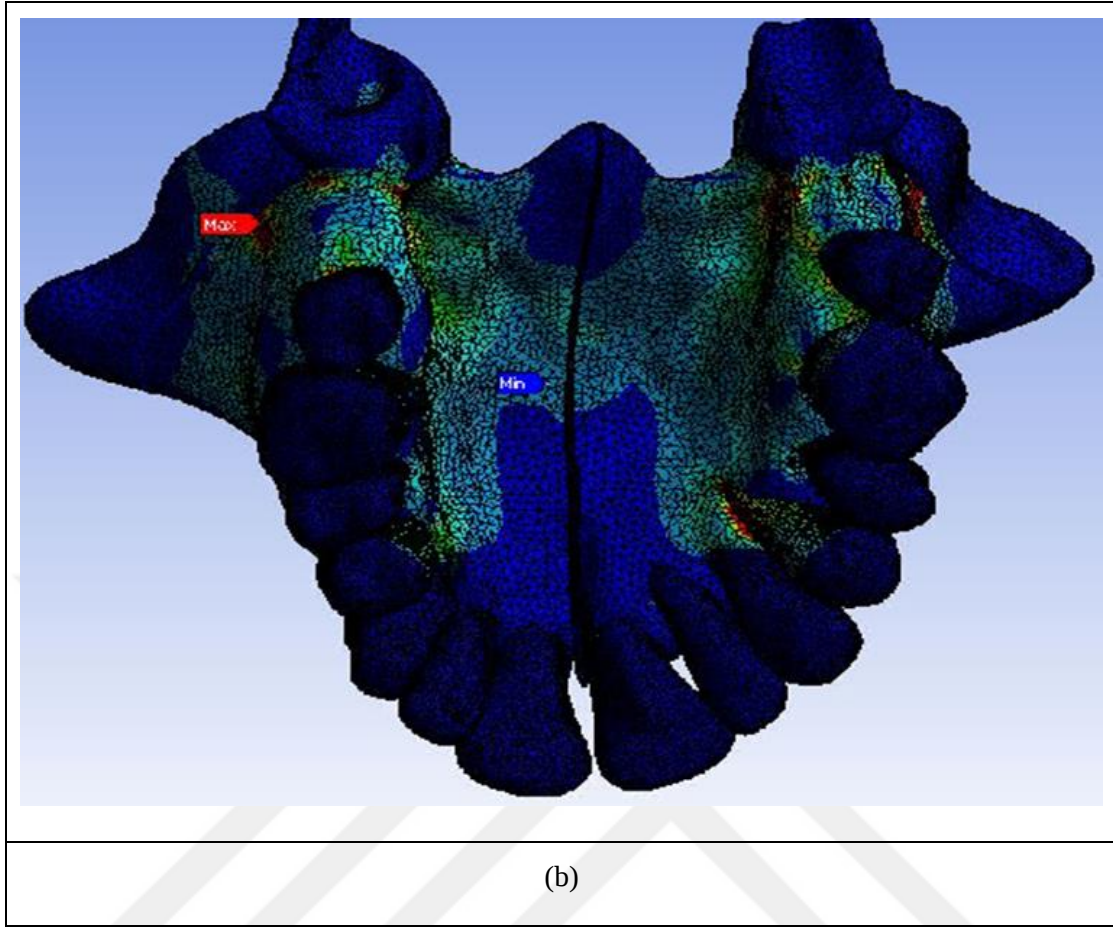
Şekil 3.19: Model 2B'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.



Şekil 3.20: Model 2C'nin Kesi Hatları ve Kuvvet Uygulama Alanları. (a), Kesi Hatlarının Koronal Kesitten Görünüşü. (b), Kesi Hatlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü. (c), Kesi Hatlarının Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Kuvvet Uygulama Alanlarının Aksiyal Kesitten Görünüşü.

Kuvvetlerin uygulandığı altı model ANSYS programında ayrı ayrı analize girerek dişlerde ve kemikte oluşan gerilmeler von Mises stres değerleri ile ölçülmüştür (Şekil 3.21).





Şekil 3.21: ANSYS Programında Streslerin Ölçülmesi. (a), Dişlerde Ölçülen Stresler. (b), Kemikte Ölçülen Stresler.

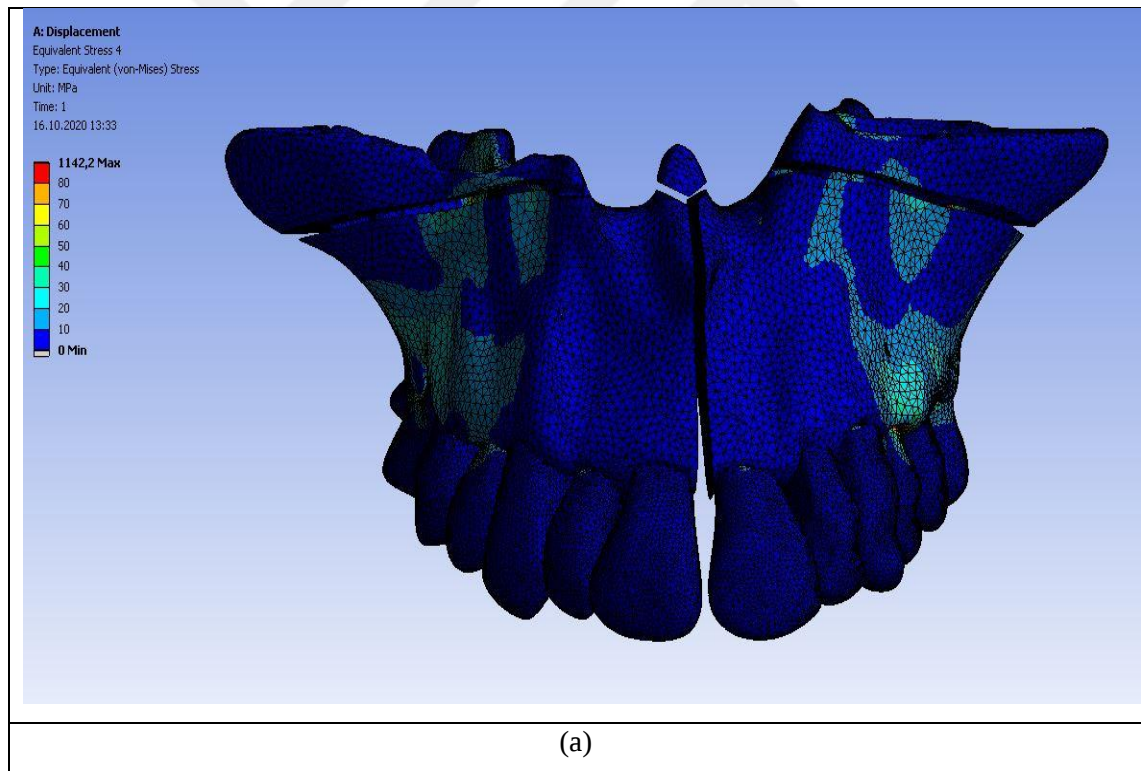
ANSYS programının verdiği bilgiler ışığında SARME operasyonlarında hangi teknik-aparey kombinasyonunun maksillaya ve dişlere daha fazla stres oluşturacağı değerlendirilmiştir. Çalışmamız tek bir hastanın tomografisi üzerinden yapıldığından dolayı, çalışmamızda istatistiksel analiz gerekmemiştir.

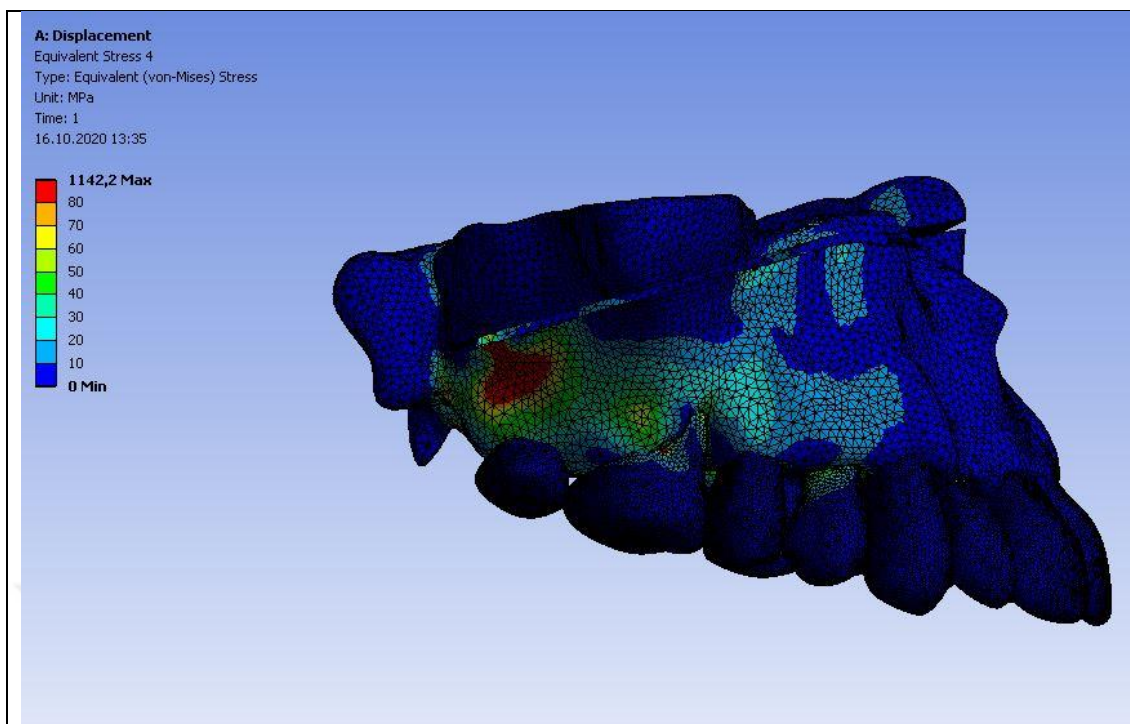
4. BULGULAR

İki farklı osteotomi tekniği ve üç farklı ortodontik aparey kuvveti kombine edilerek oluşturulan altı grupta SARME operasyonu uygulanan çalışmamızda FEM analizi ile maksilla ve dişlerde ölçülen stres değerleri ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

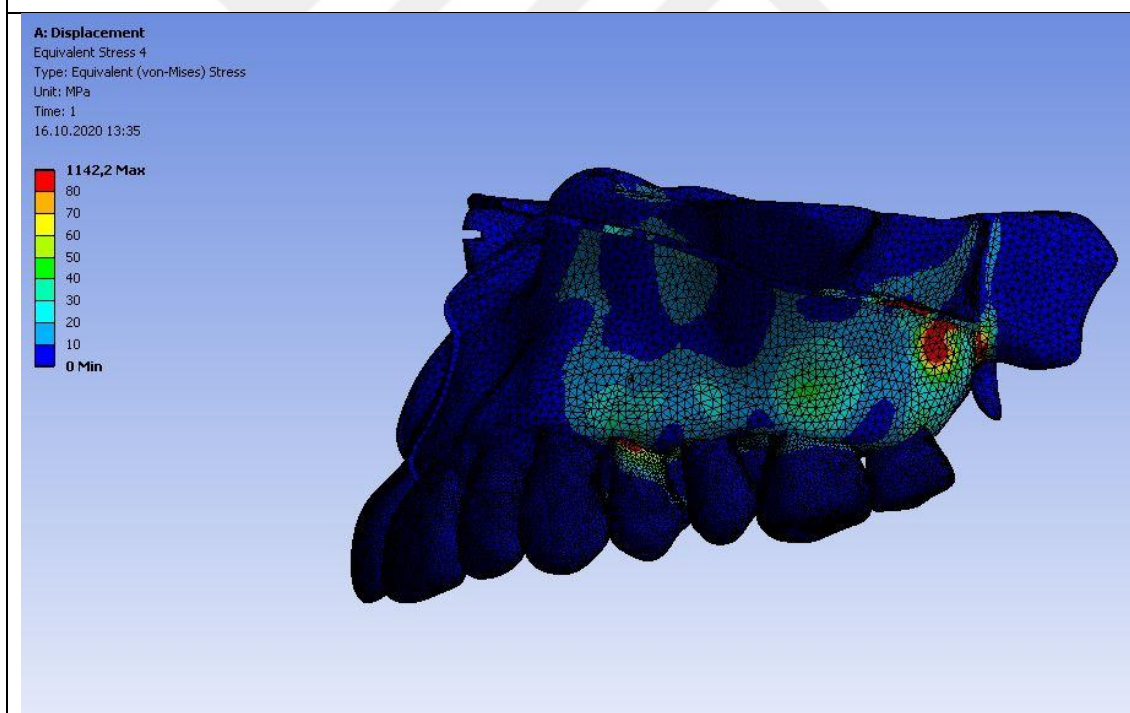
4.1. Model 1A'da Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılmadan SARME operasyonu gerçekleştirilen ve diş destekli aparey kullanılan Model 1A'da, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 1142,20 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.1); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 24 nolu dişte 553,20 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Modelde posteriora görece anterior dişlerin streslere daha az maruz kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte posterior grup dişler arasından 2.küçük azı dişlerinde de keser dişler gibi stres az ölçülmüştür (Şekil 4.2).

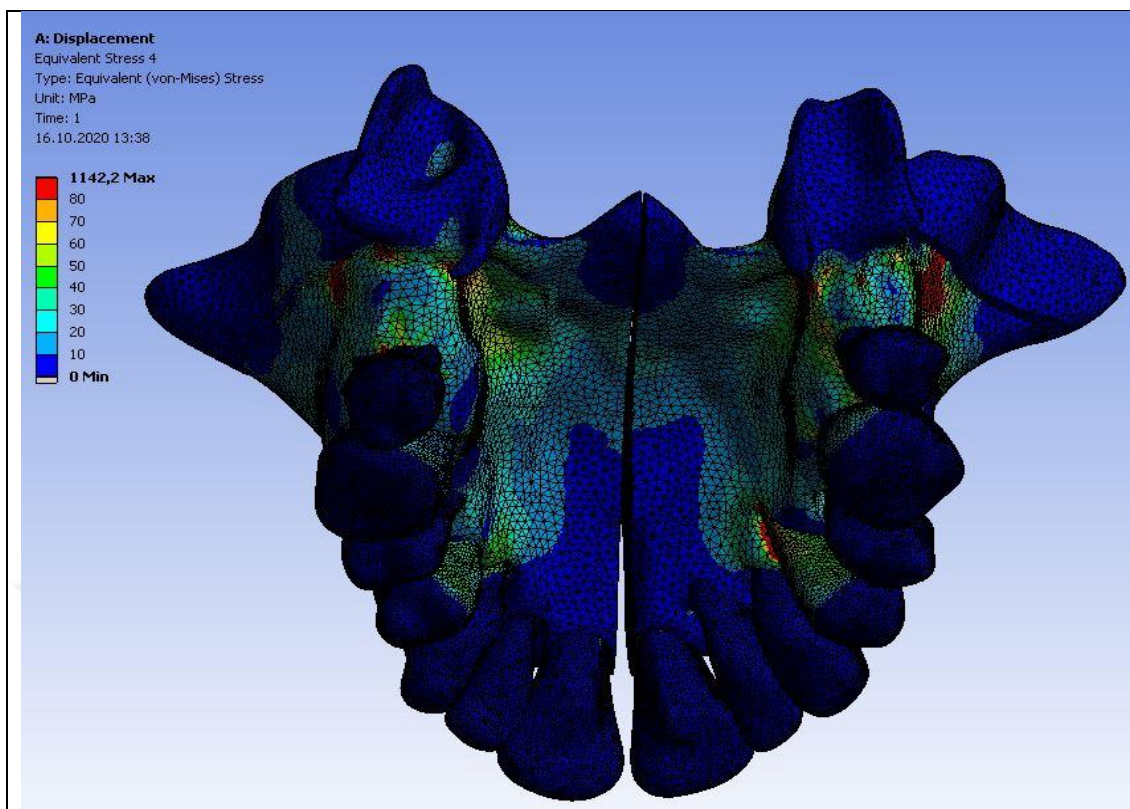




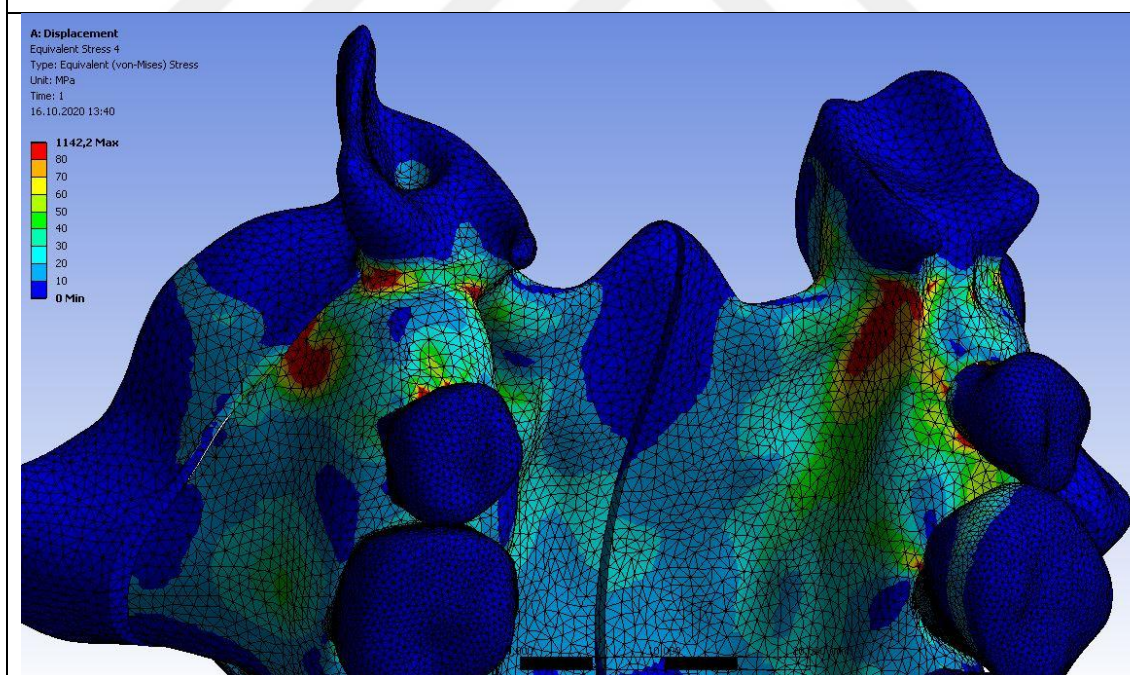
(b)



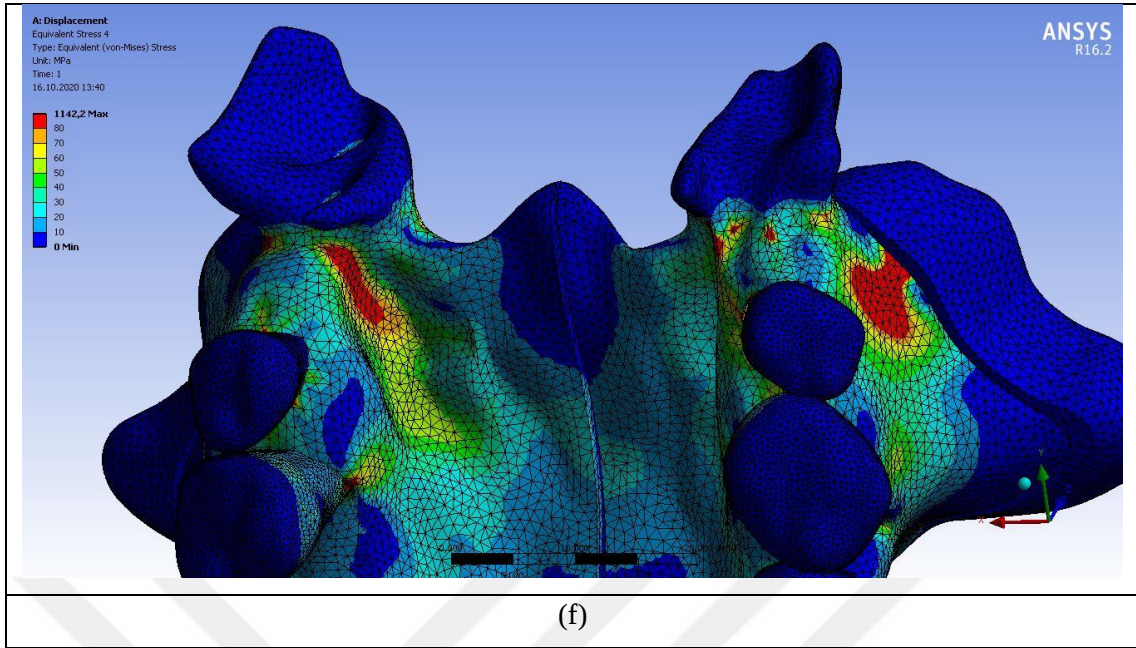
(c)



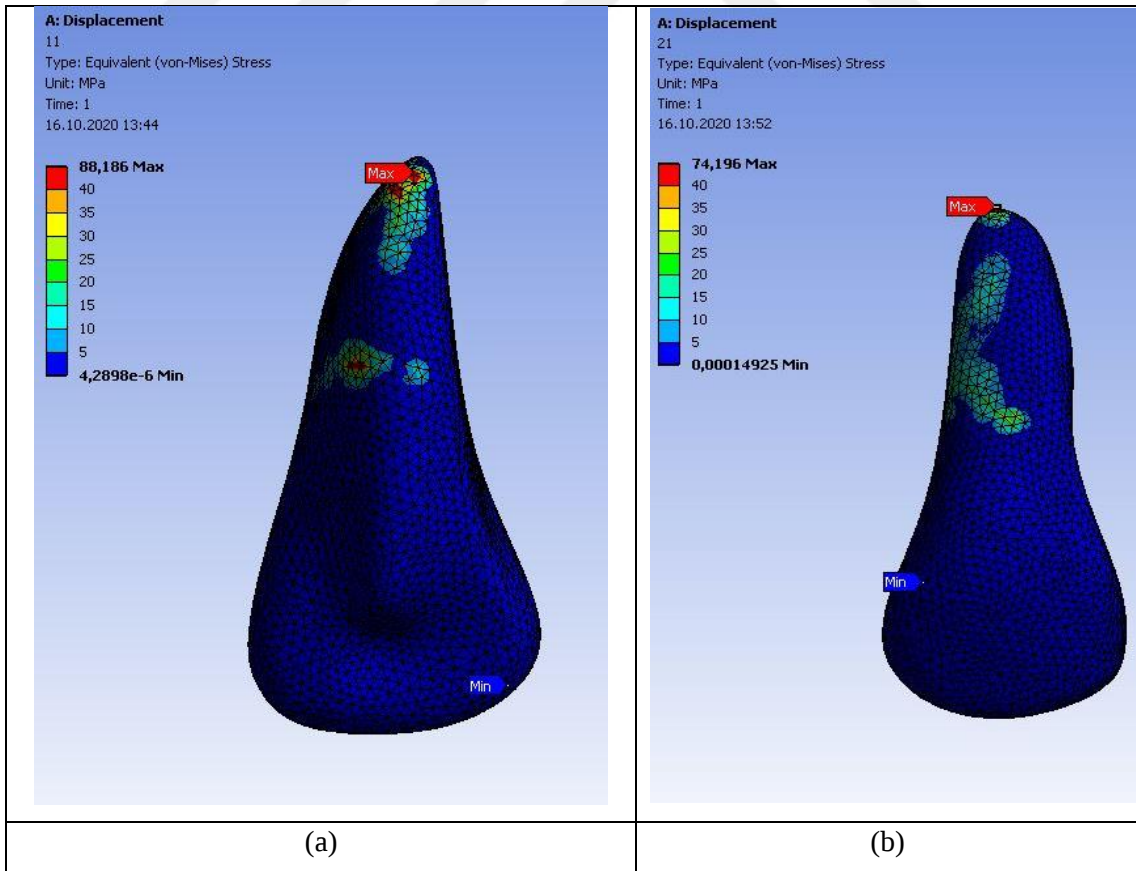
(d)

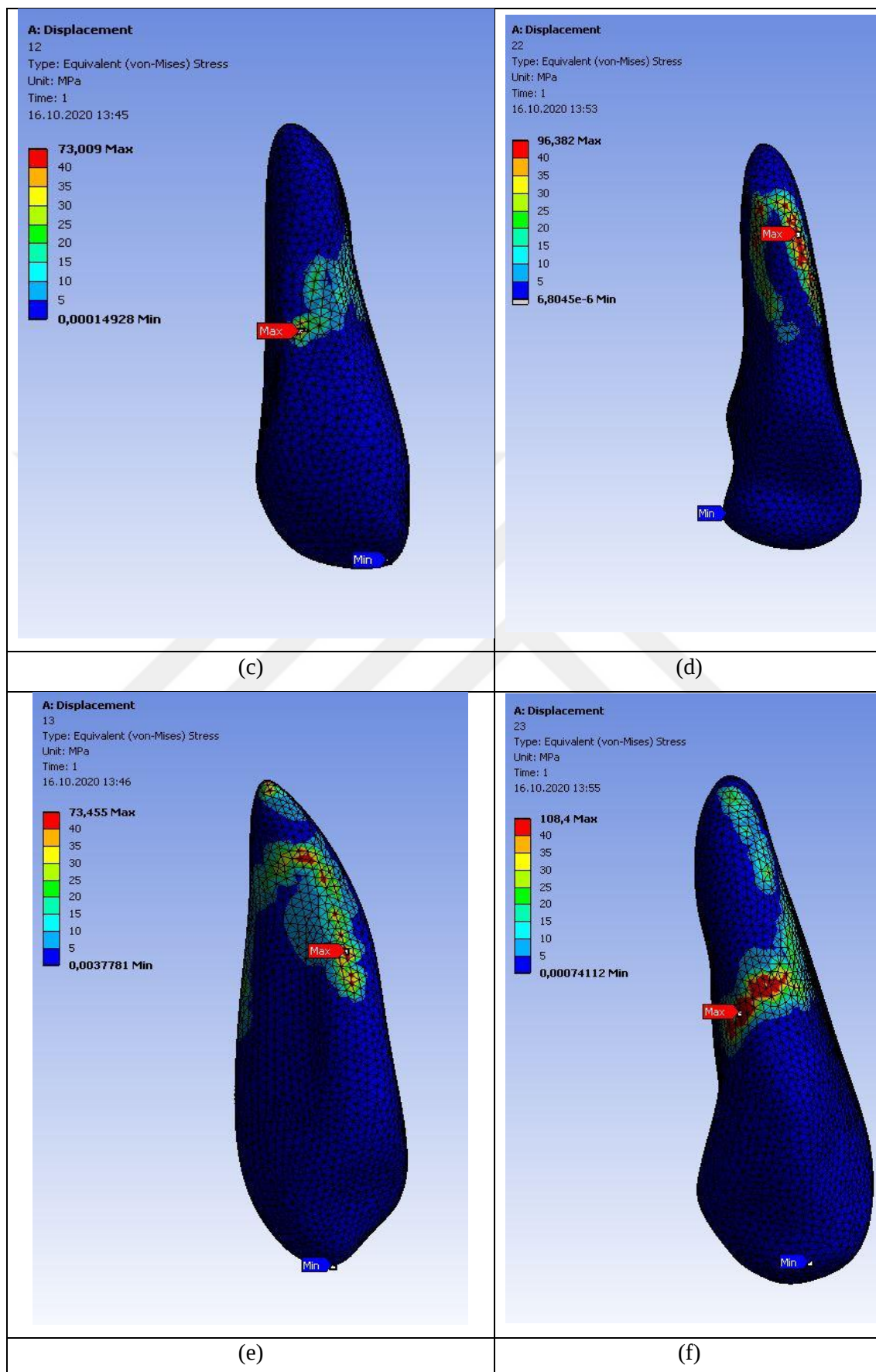


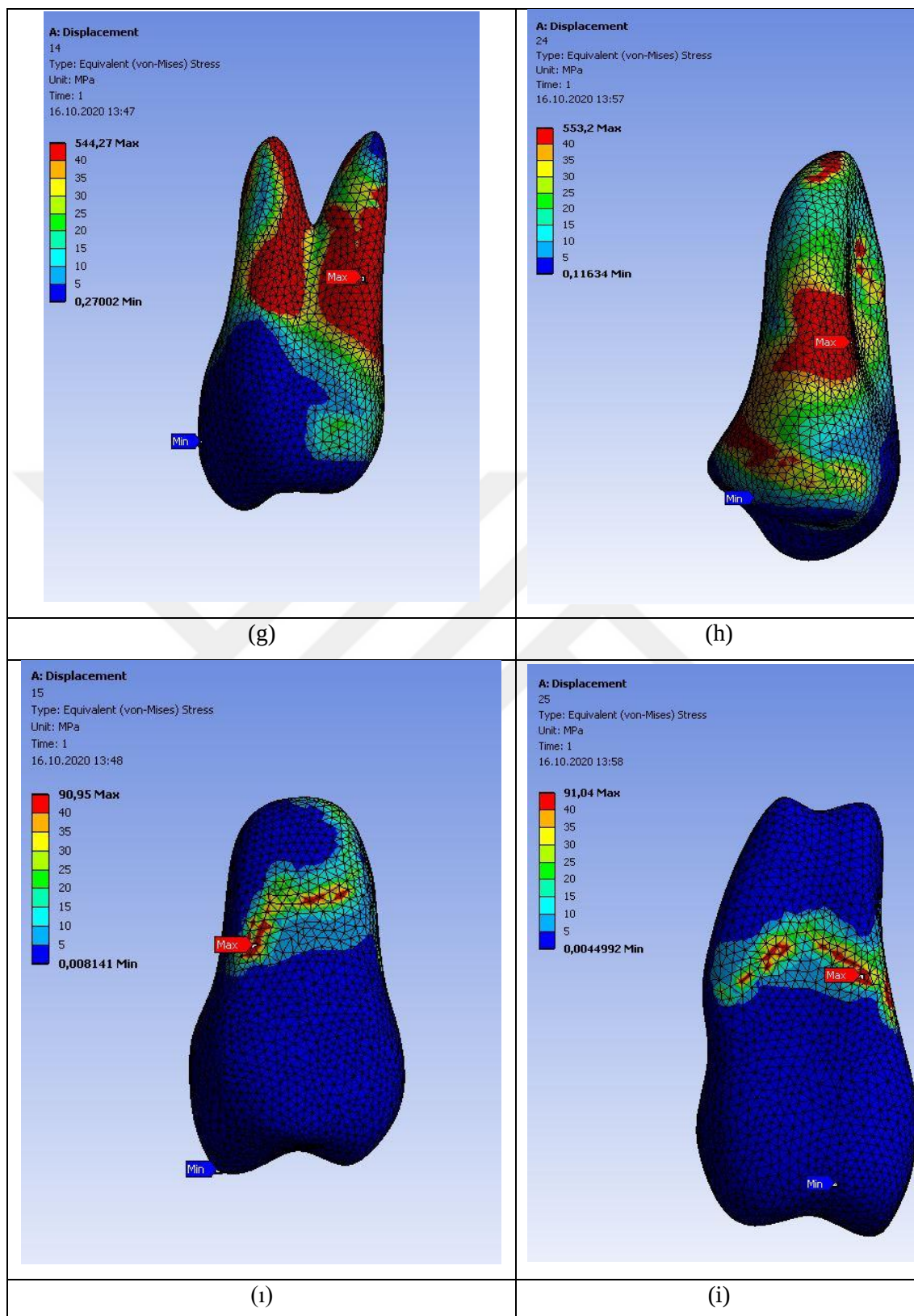
(e)

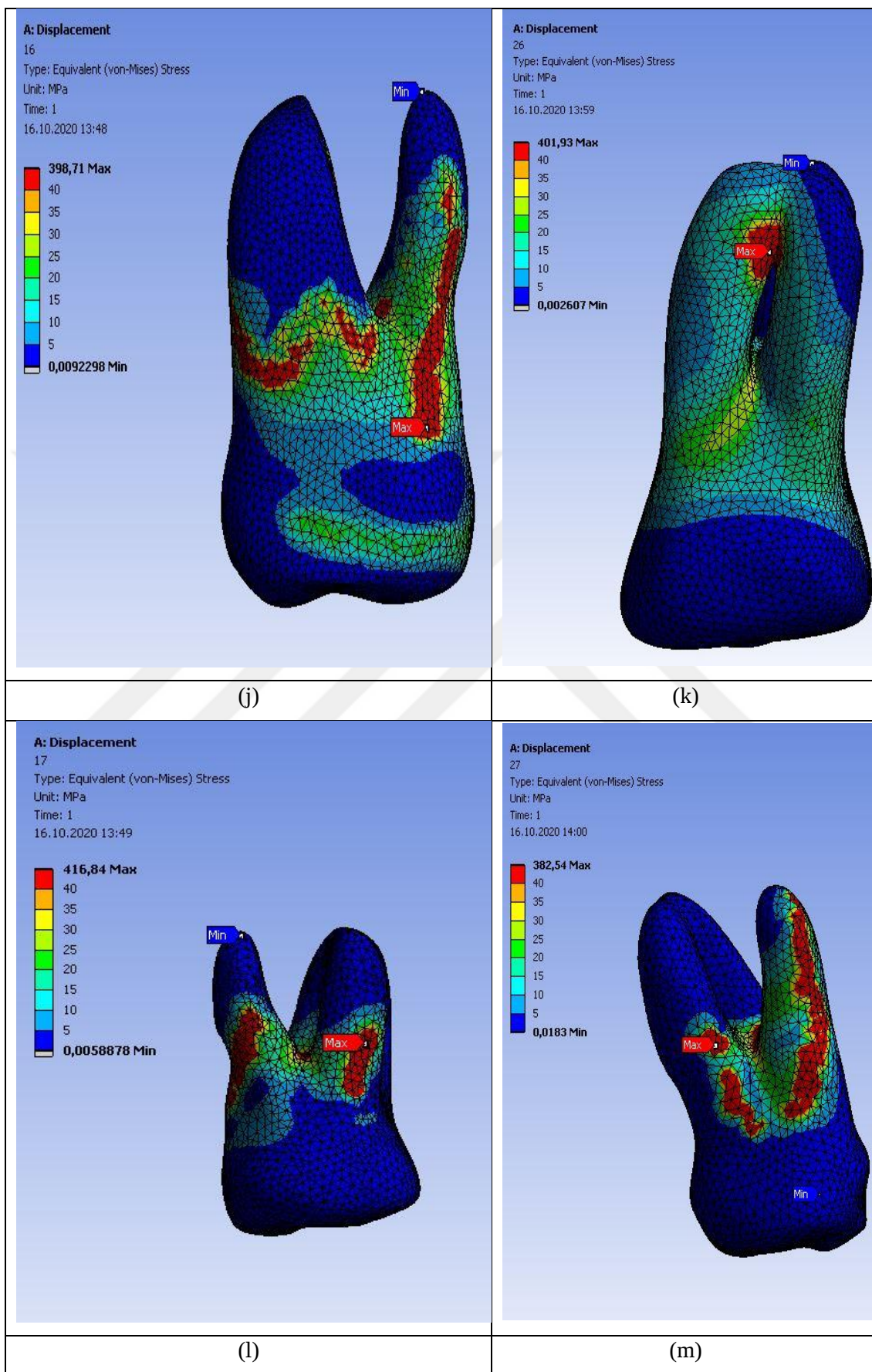


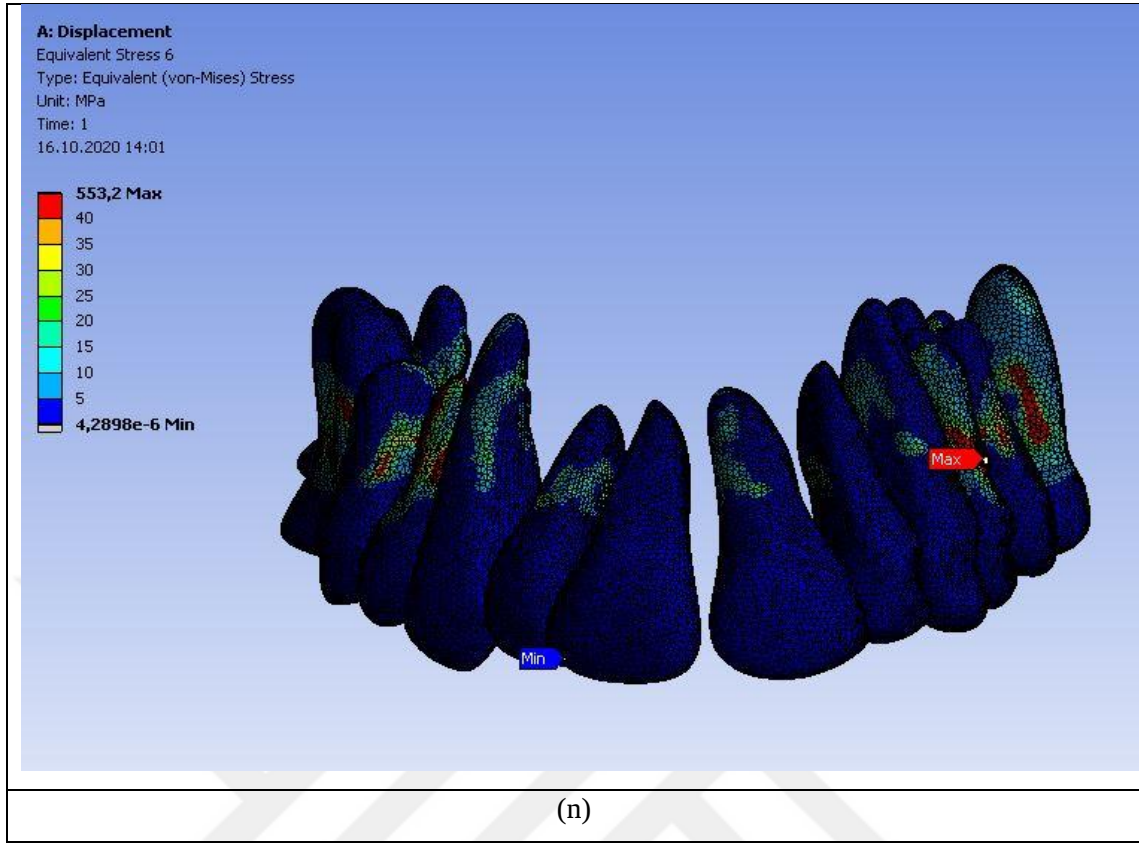
Şekil 4.1: Model 1A’da Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagital Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.







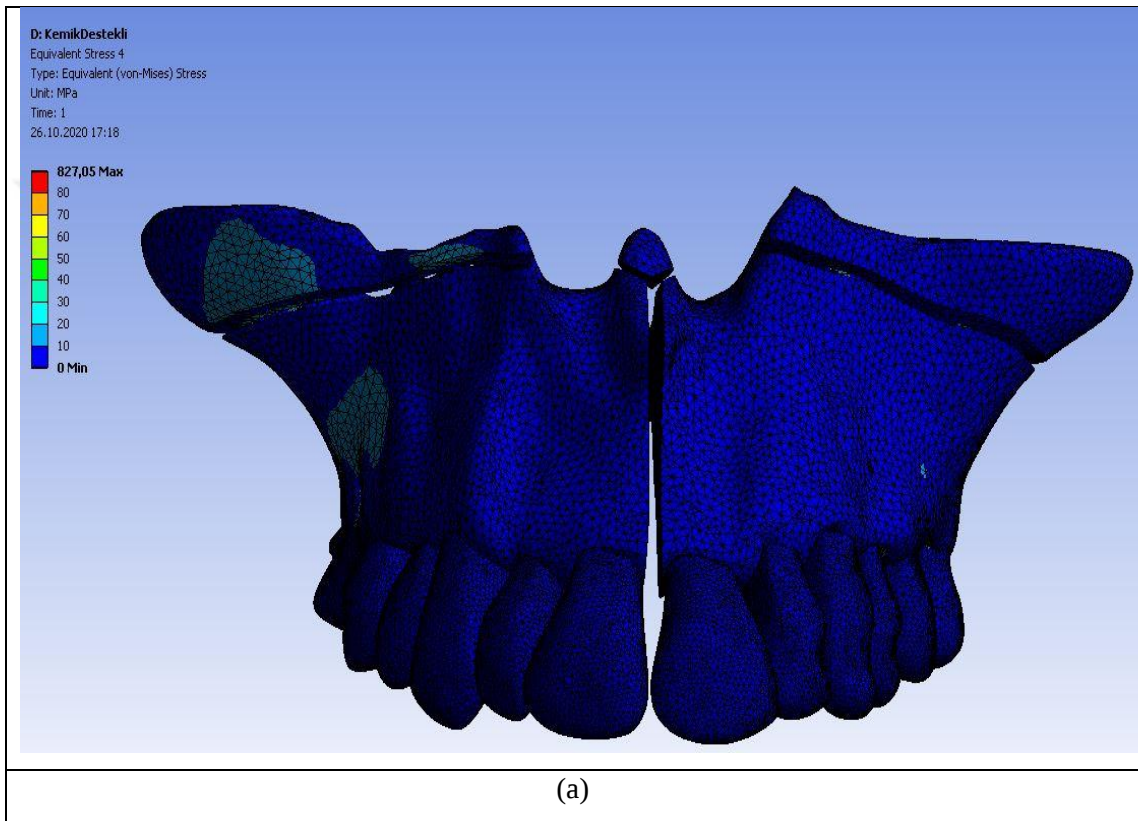


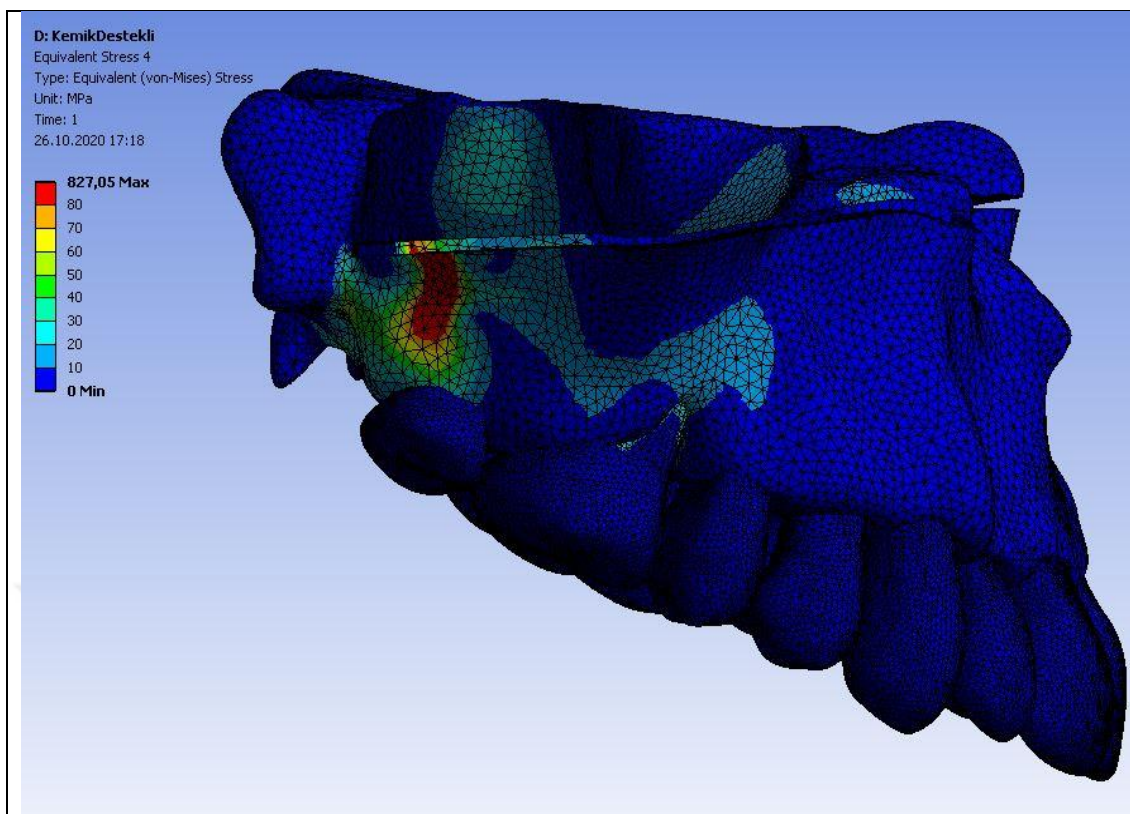


Şekil 4.2: Model 1A’da Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 27 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kavsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

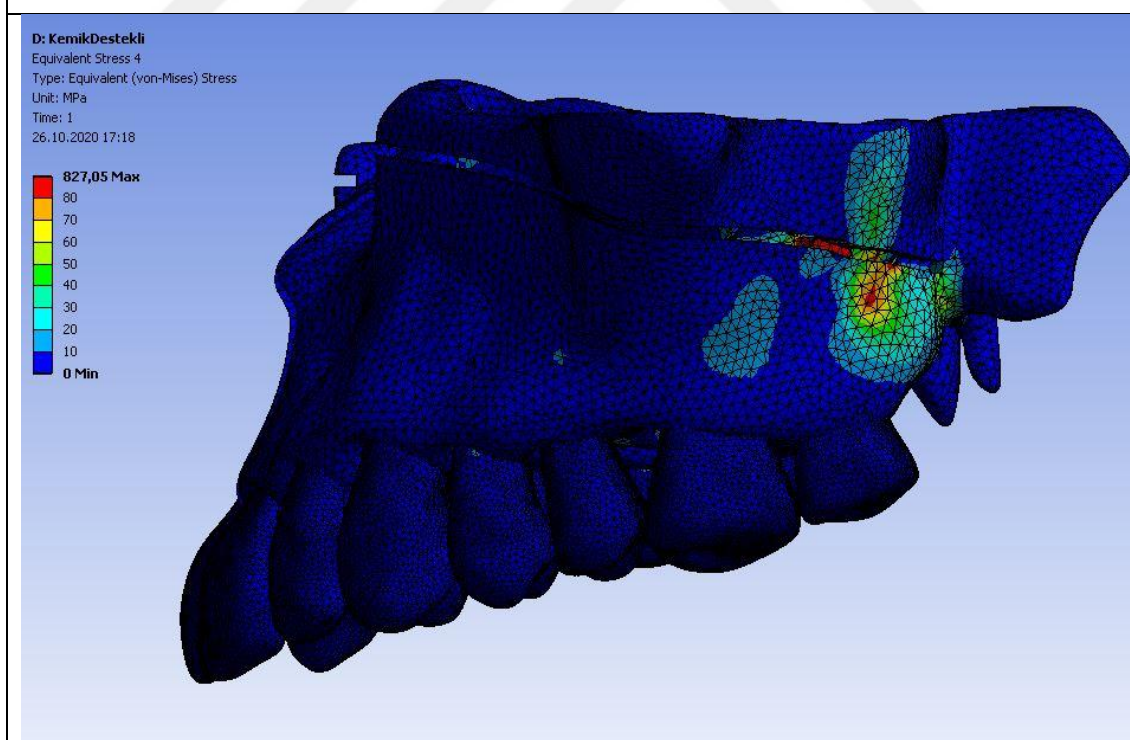
4.2. Model 1B’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılmadan SARME operasyonu gerçekleştirilen ve kemik destekli aparey kullanılan Model 1B’de, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 827,05 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.3); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 17 nolu dişte 253,30 MPa olarak bulunmuştur. Modelde dişler arasında en fazla stres 2.molar dişlere gelmiştir (Şekil 4.4).

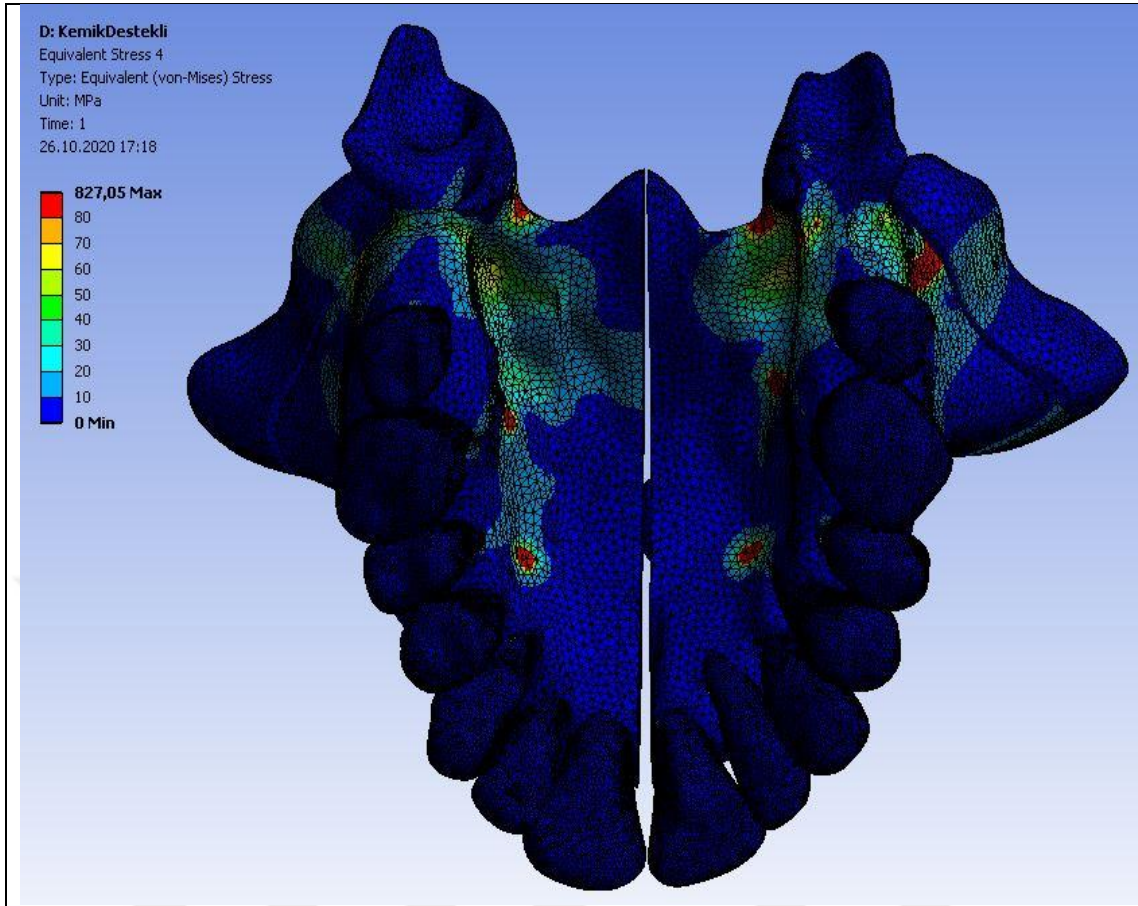




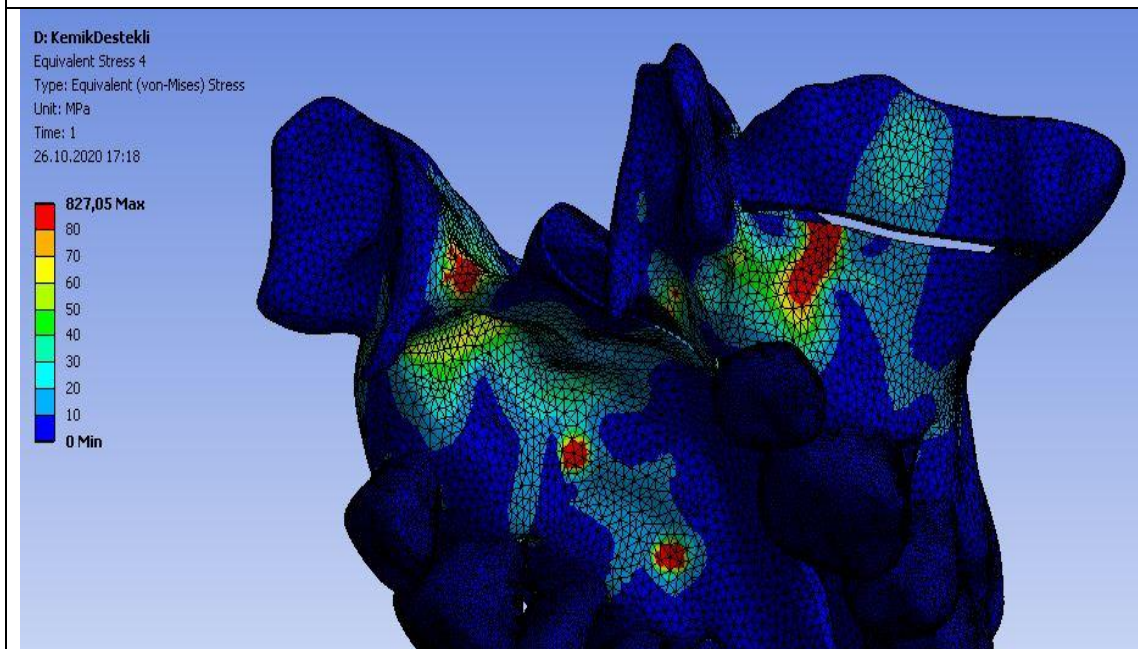
(b)



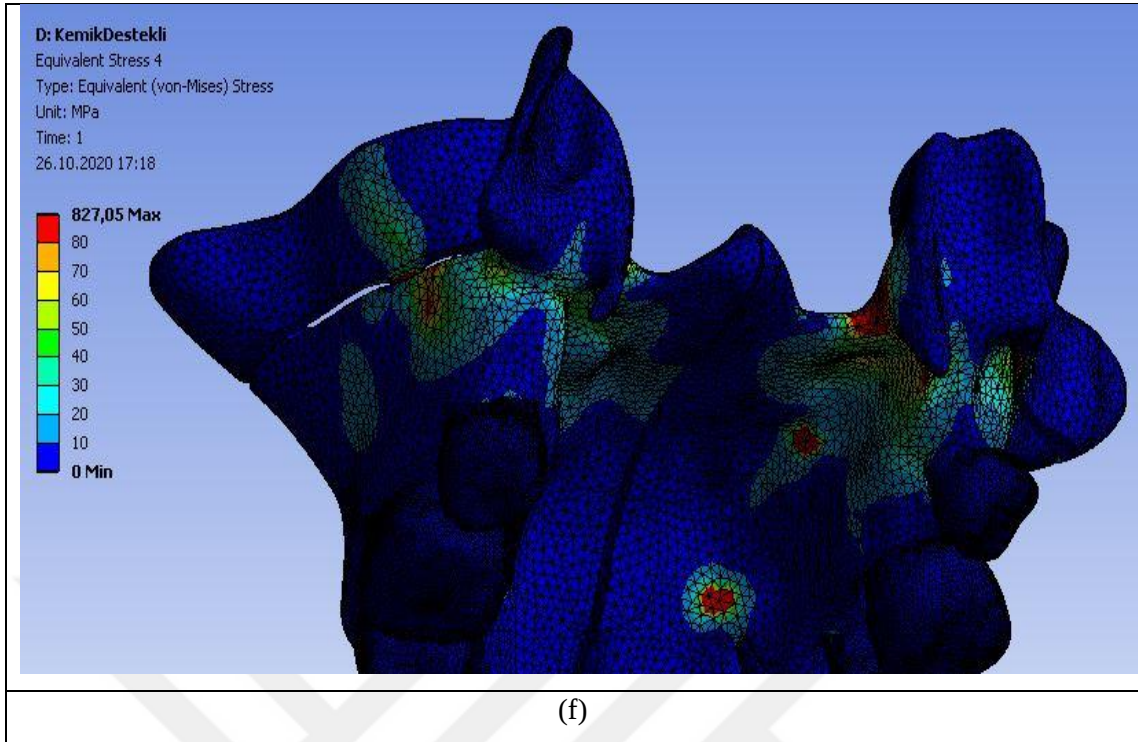
(c)



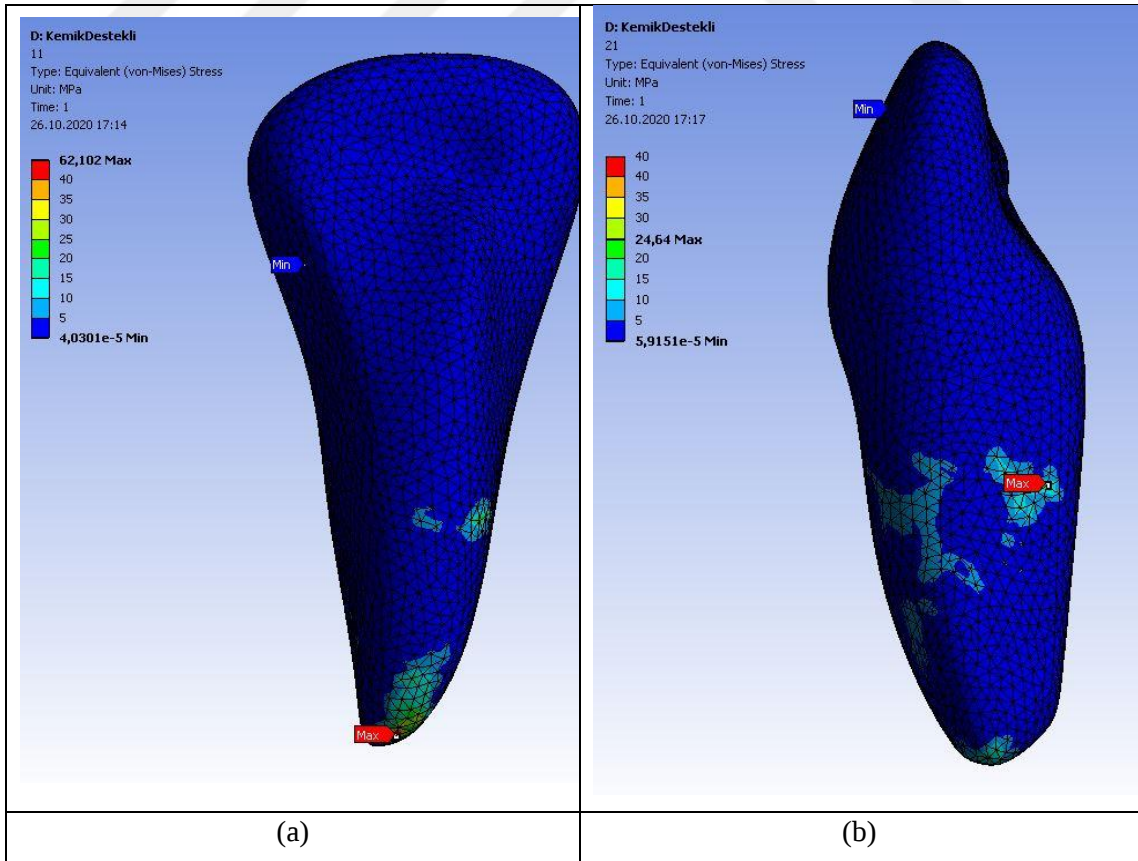
(d)

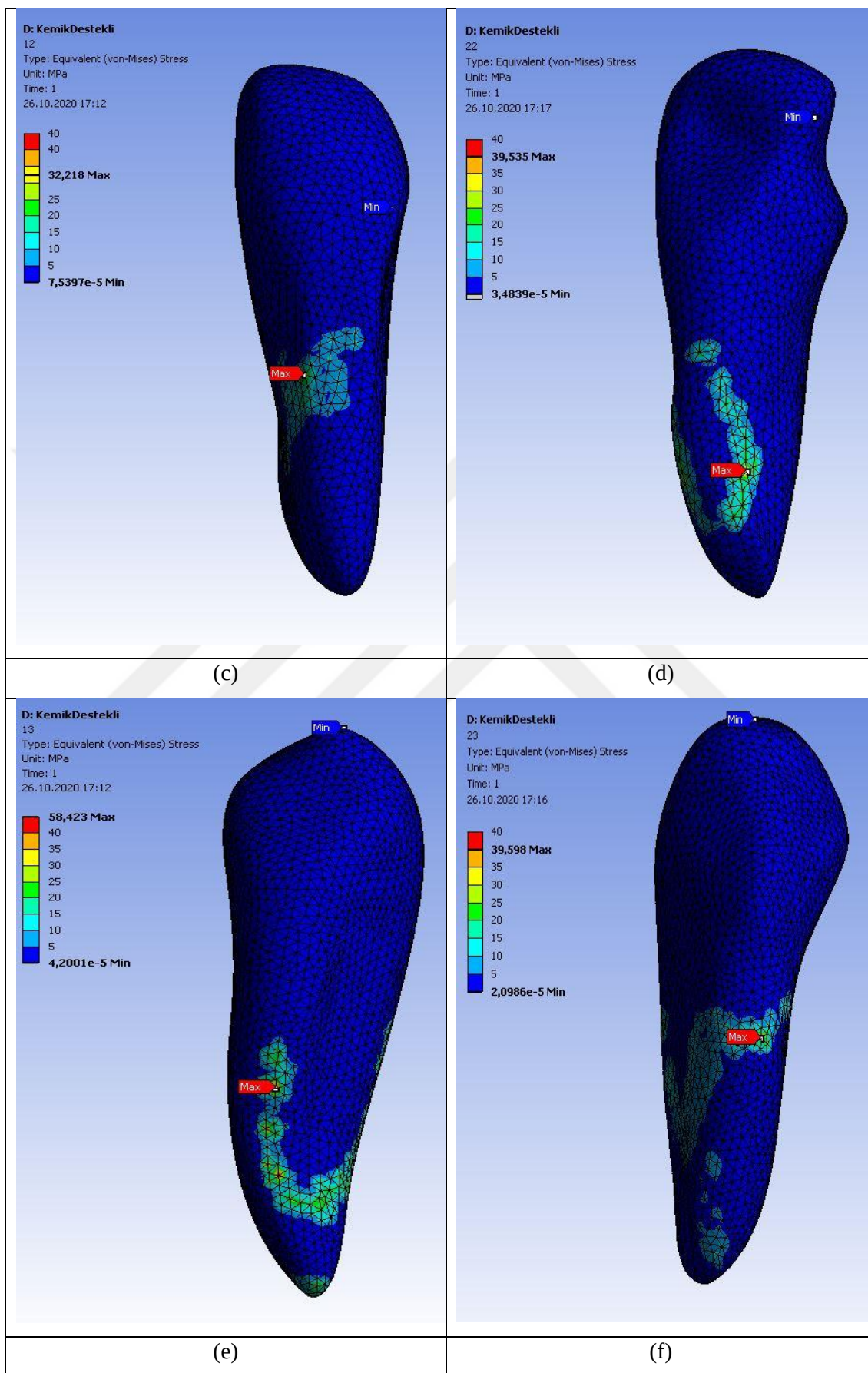


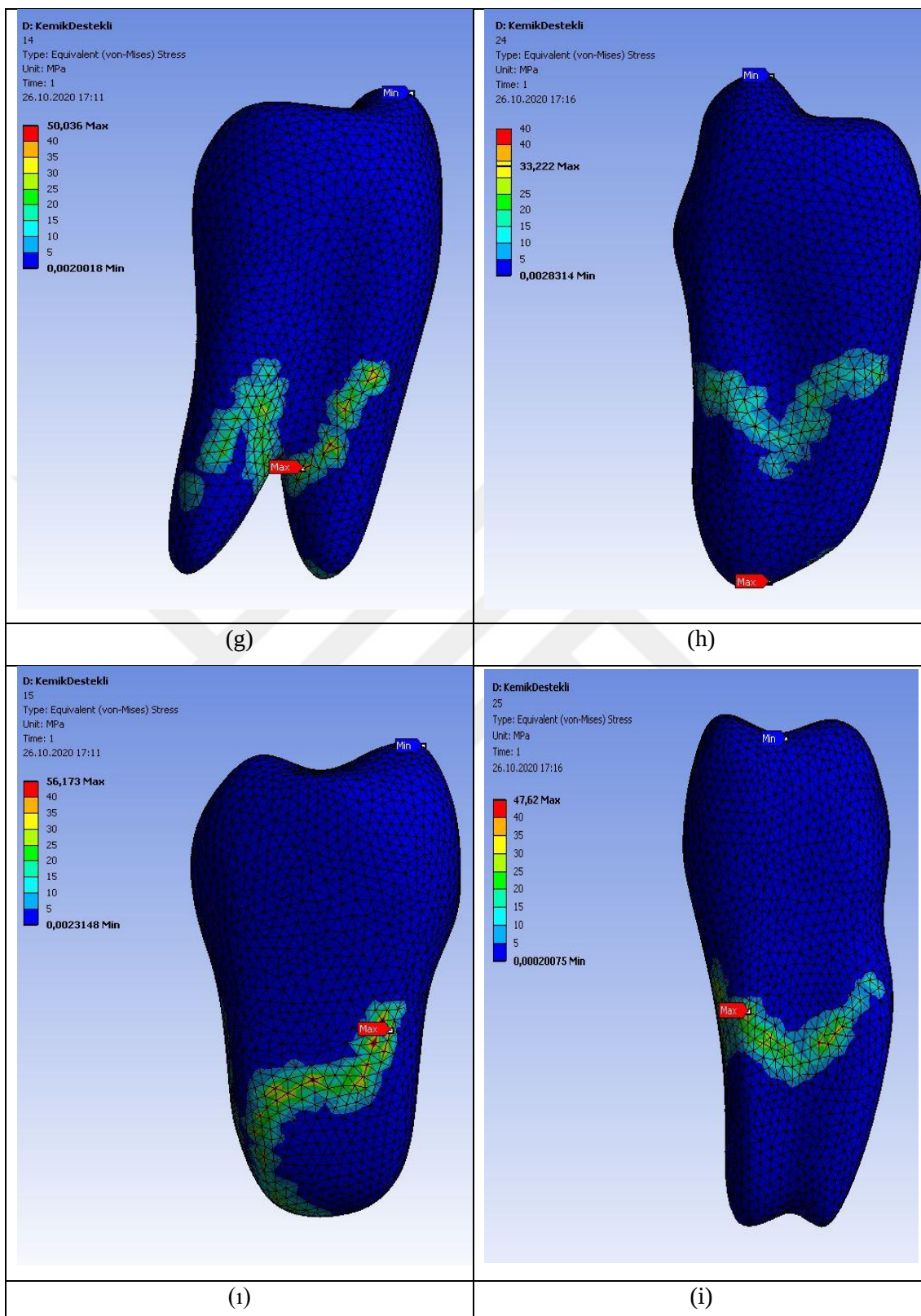
(e)

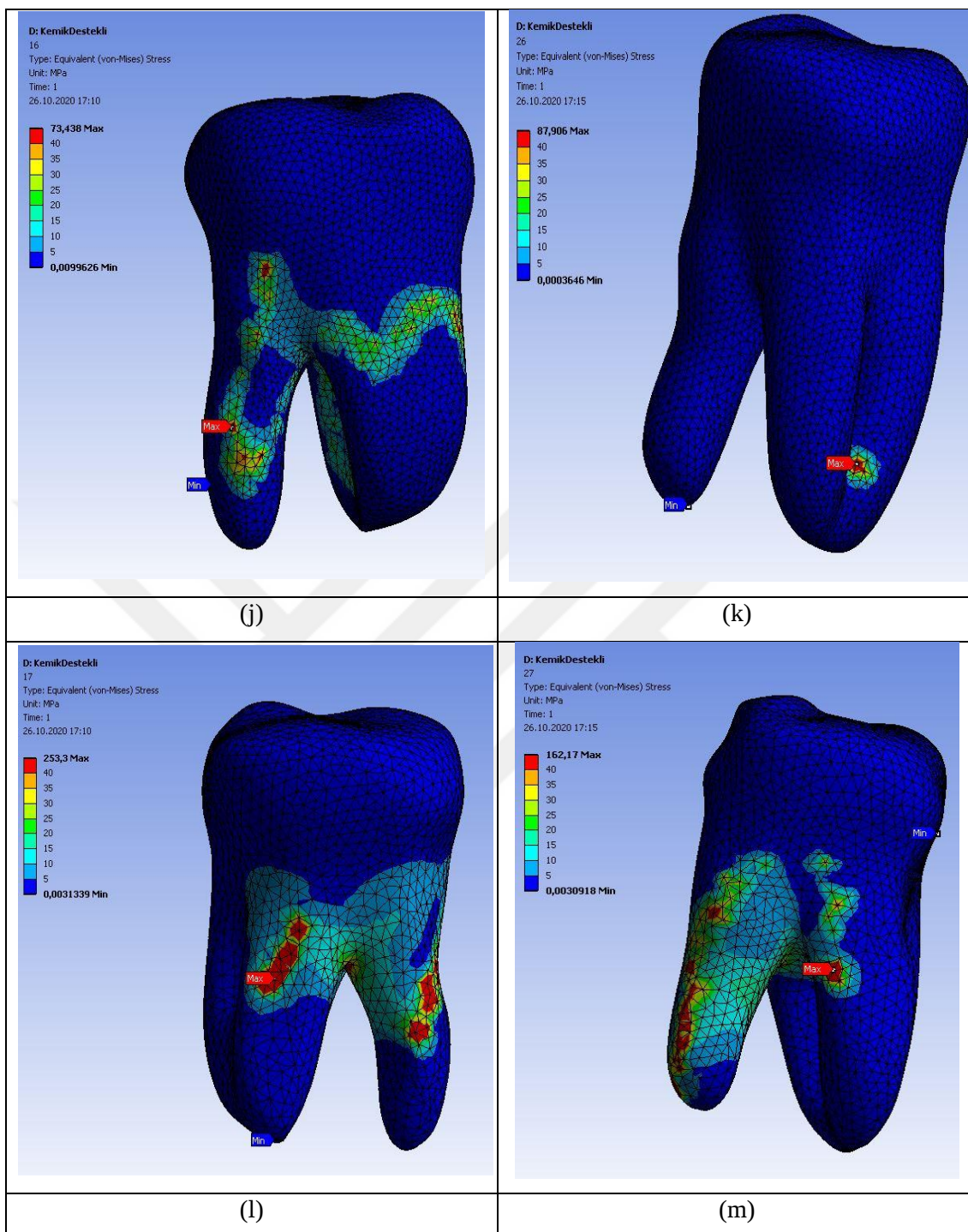


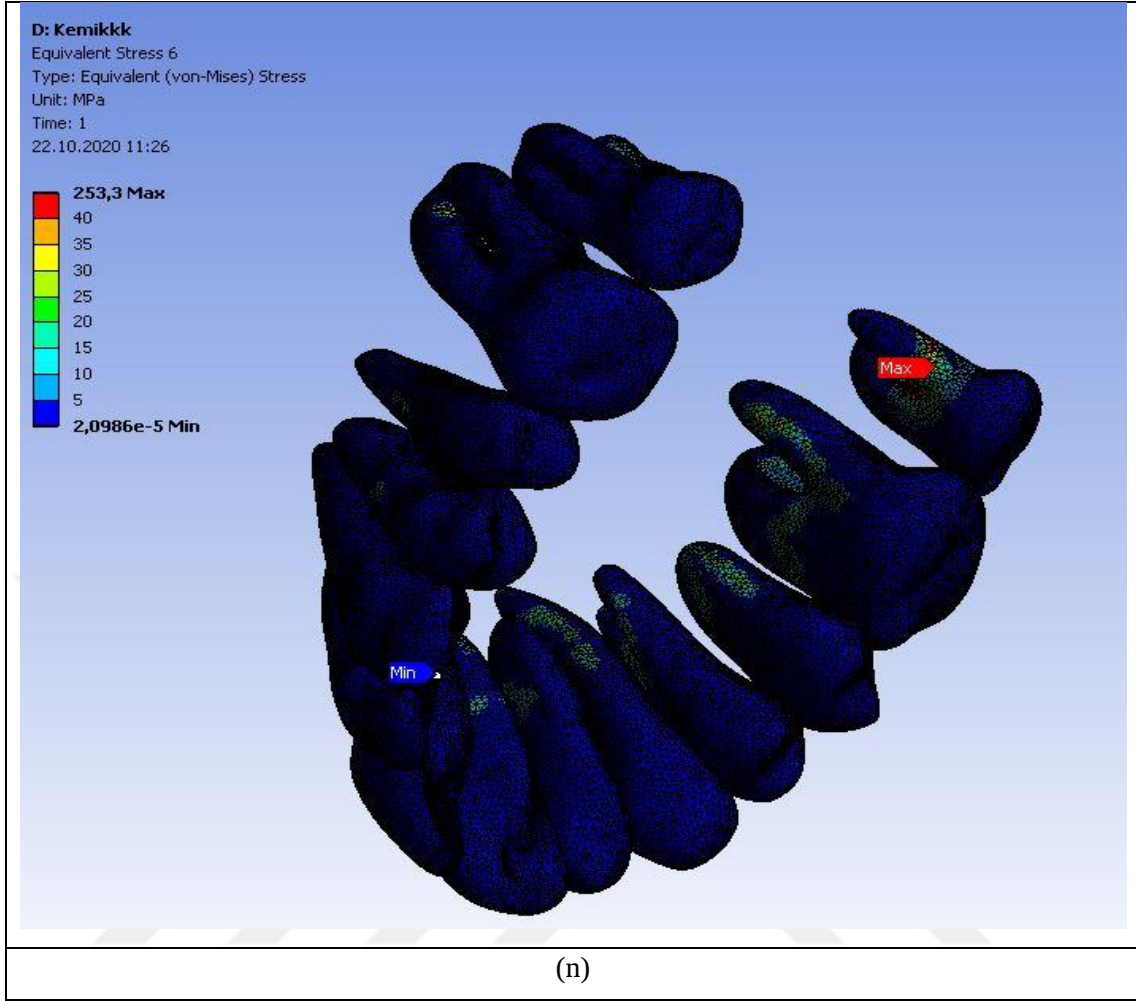
Şekil 4.3: Model 1B’de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.







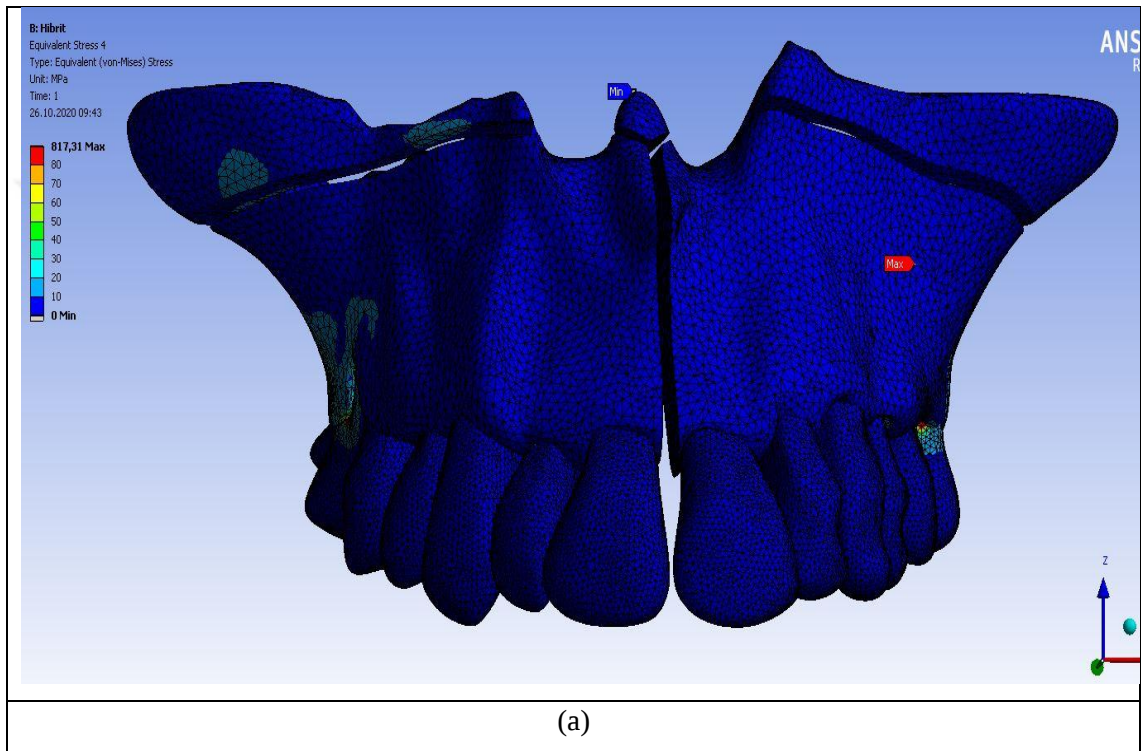


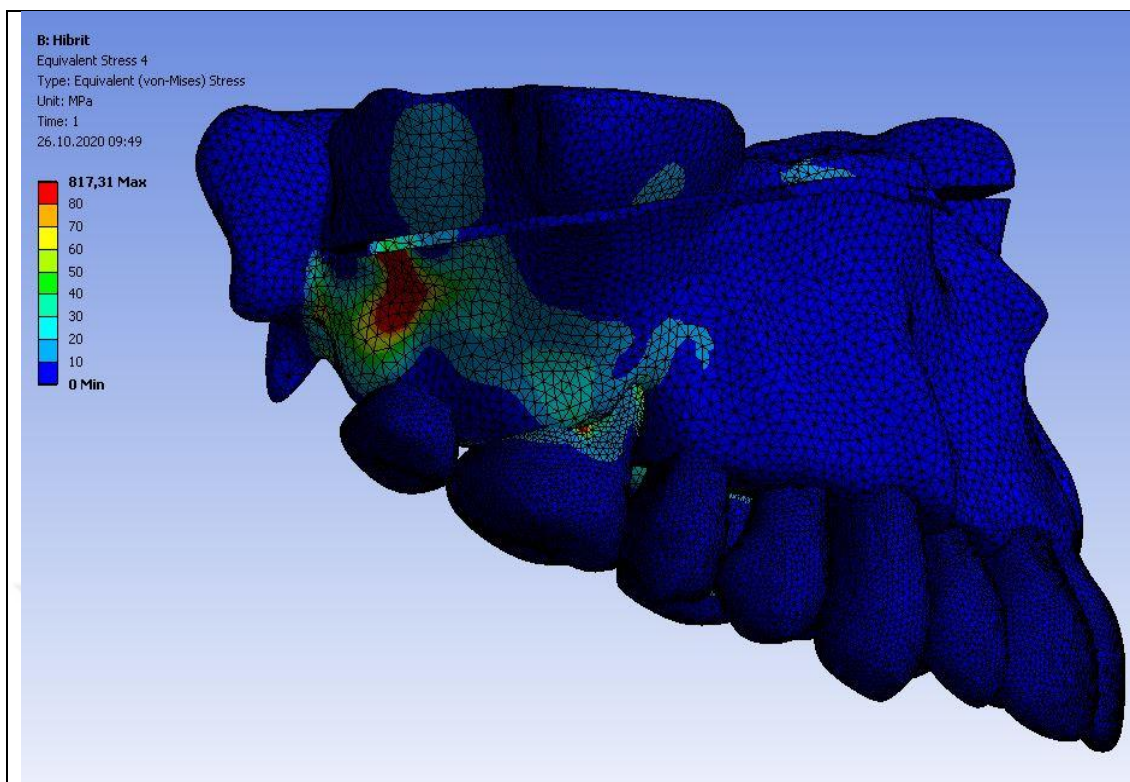


Şekil 4.4: Model 1B’de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 27 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kavsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

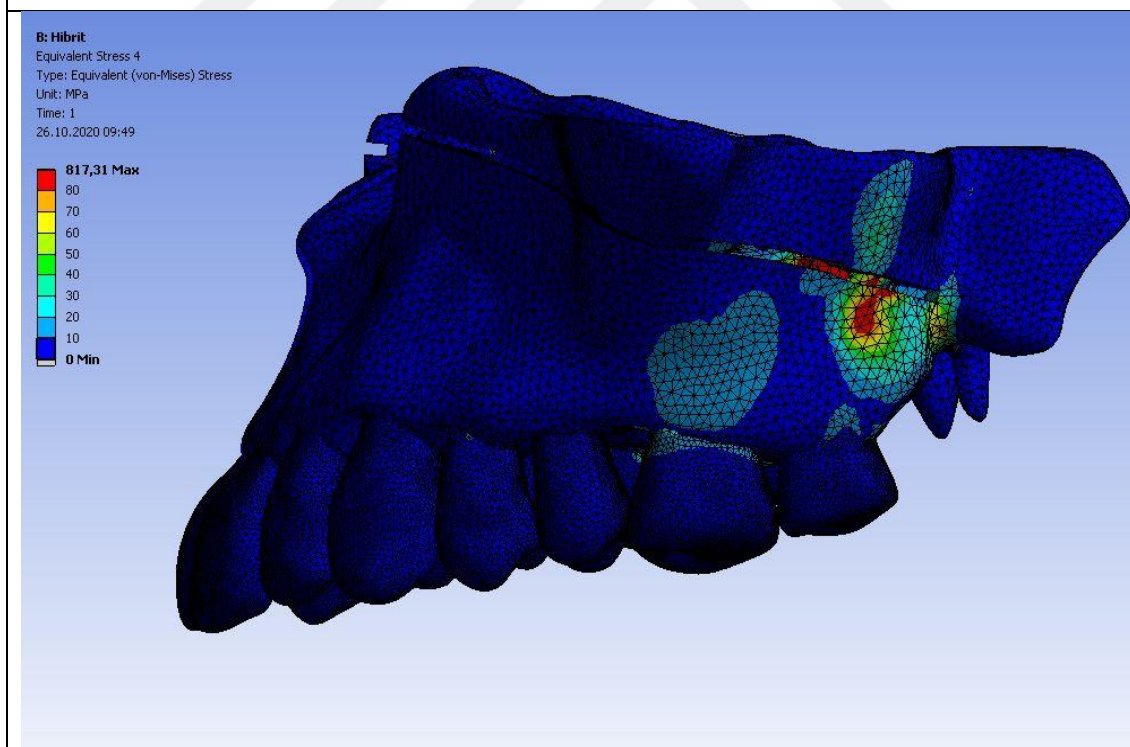
4.3. Model 1C’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılmadan SARME operasyonu gerçekleştirilen ve hibrit destekli aparey kullanılan Model 1C’de, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 817,31 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.5); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 26 nolu dişte 362,73 MPa olarak bulunmuştur. Modelde keser ve küçük azı dişlerine gelen stresler oldukça az iken; büyük azı dişlerine gelen stresler görece oldukça fazladır (Şekil 4.6).

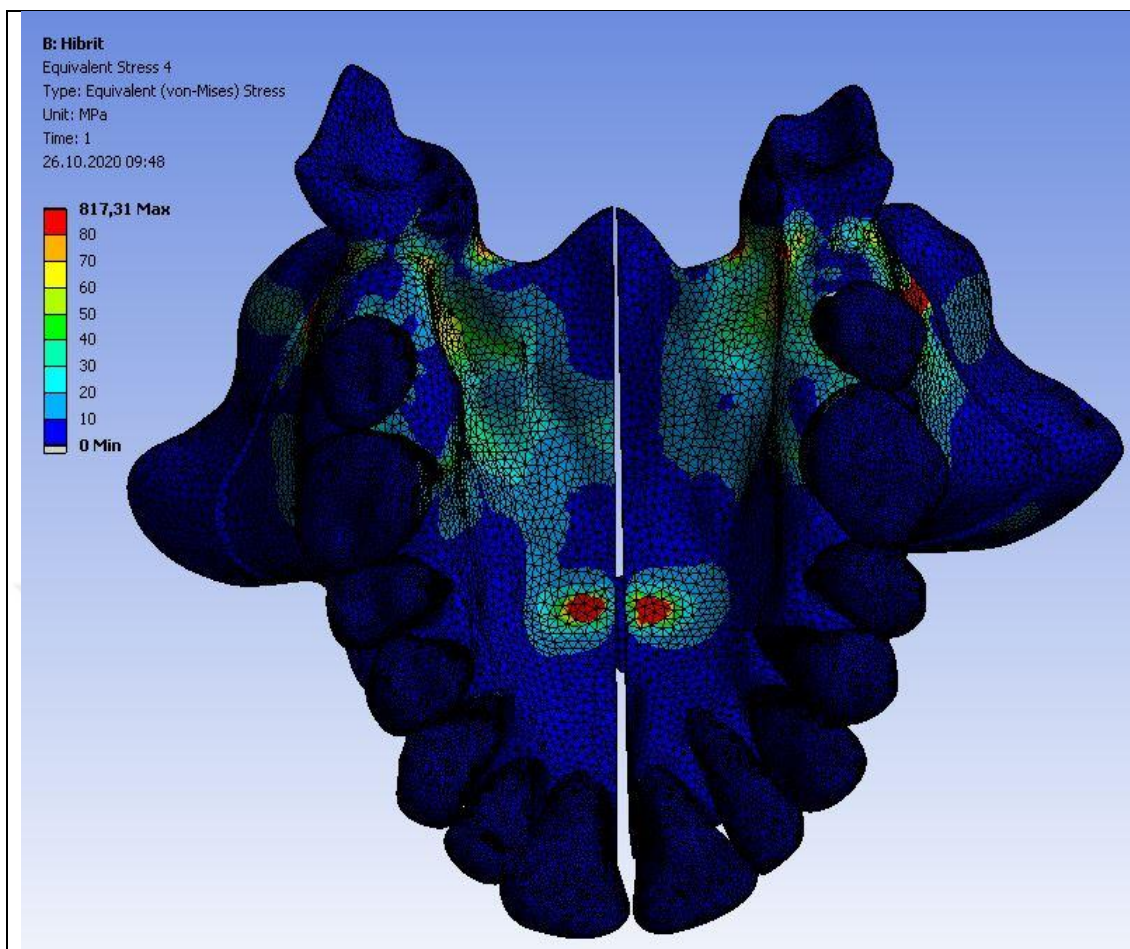




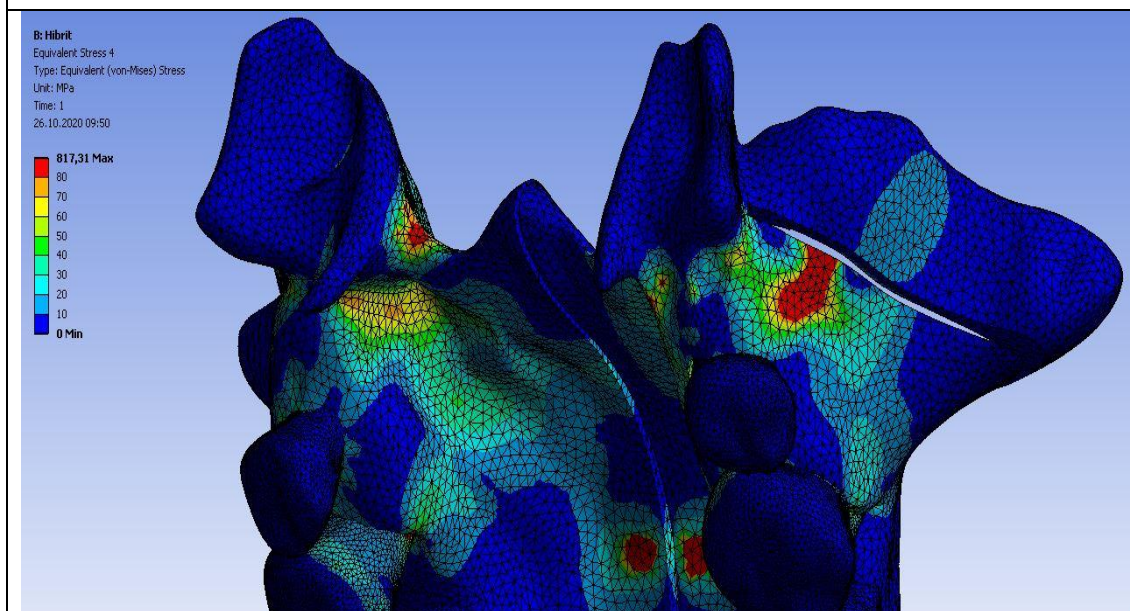
(b)



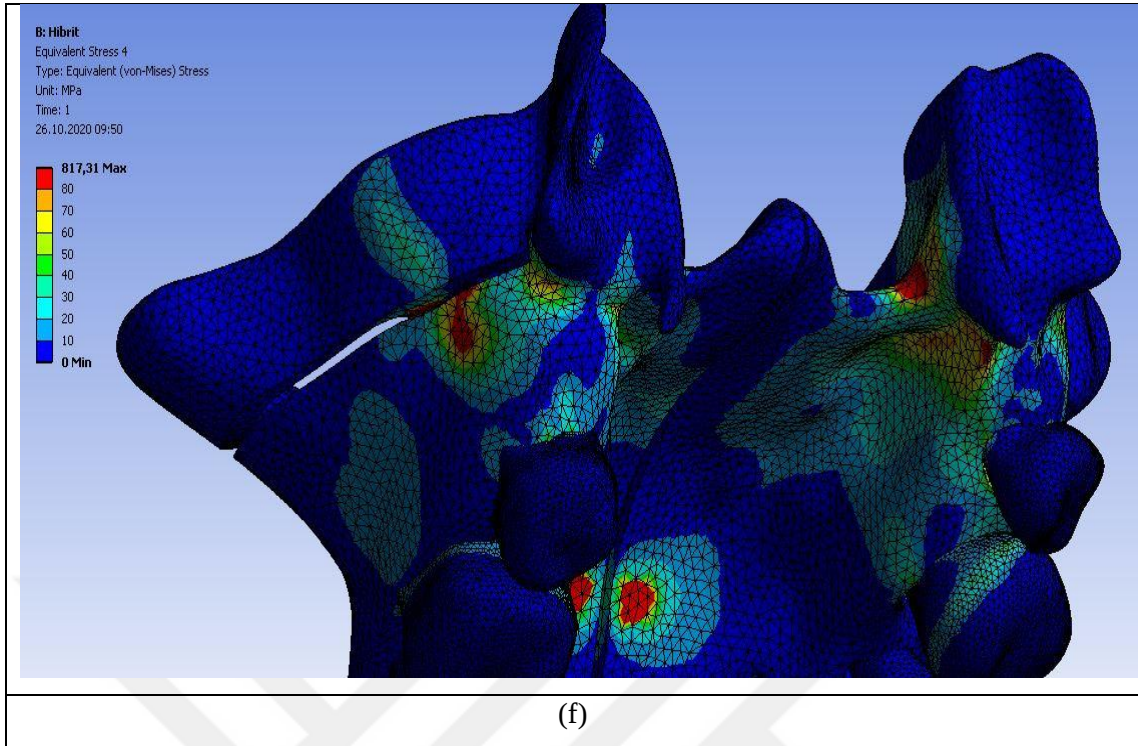
(c)



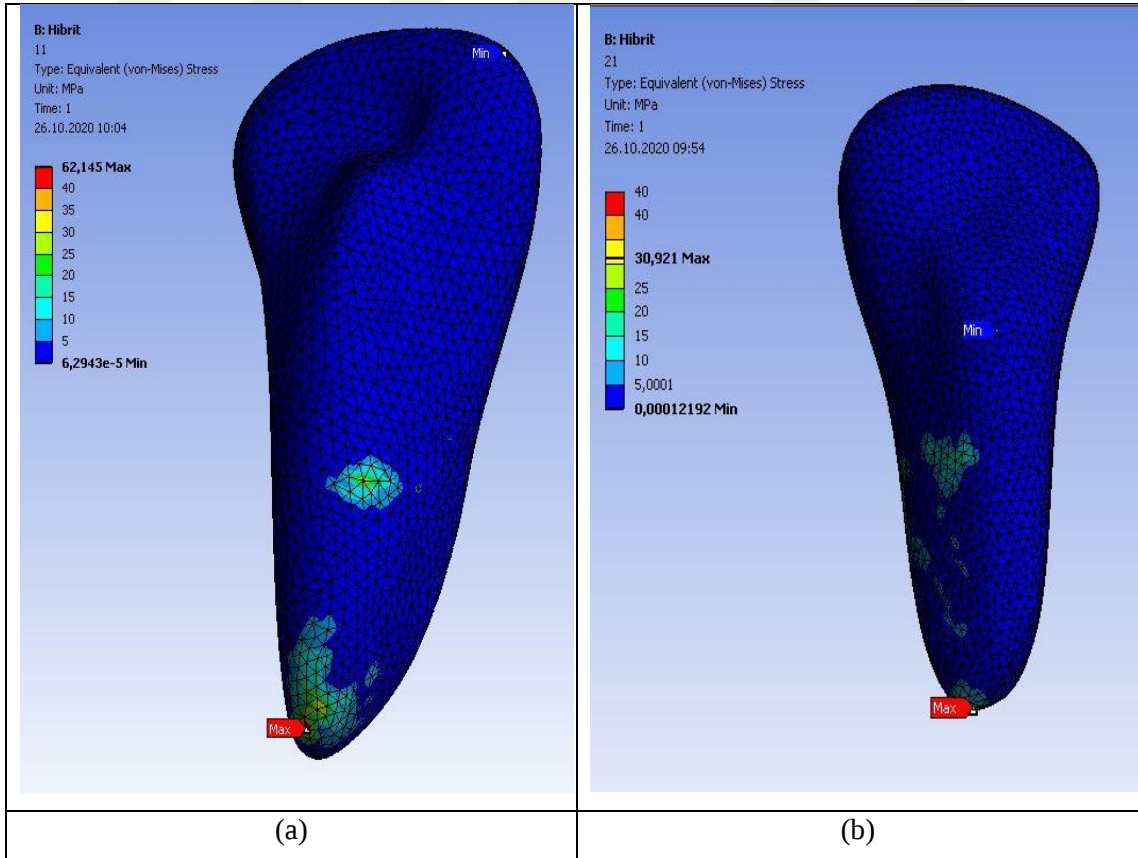
(d)

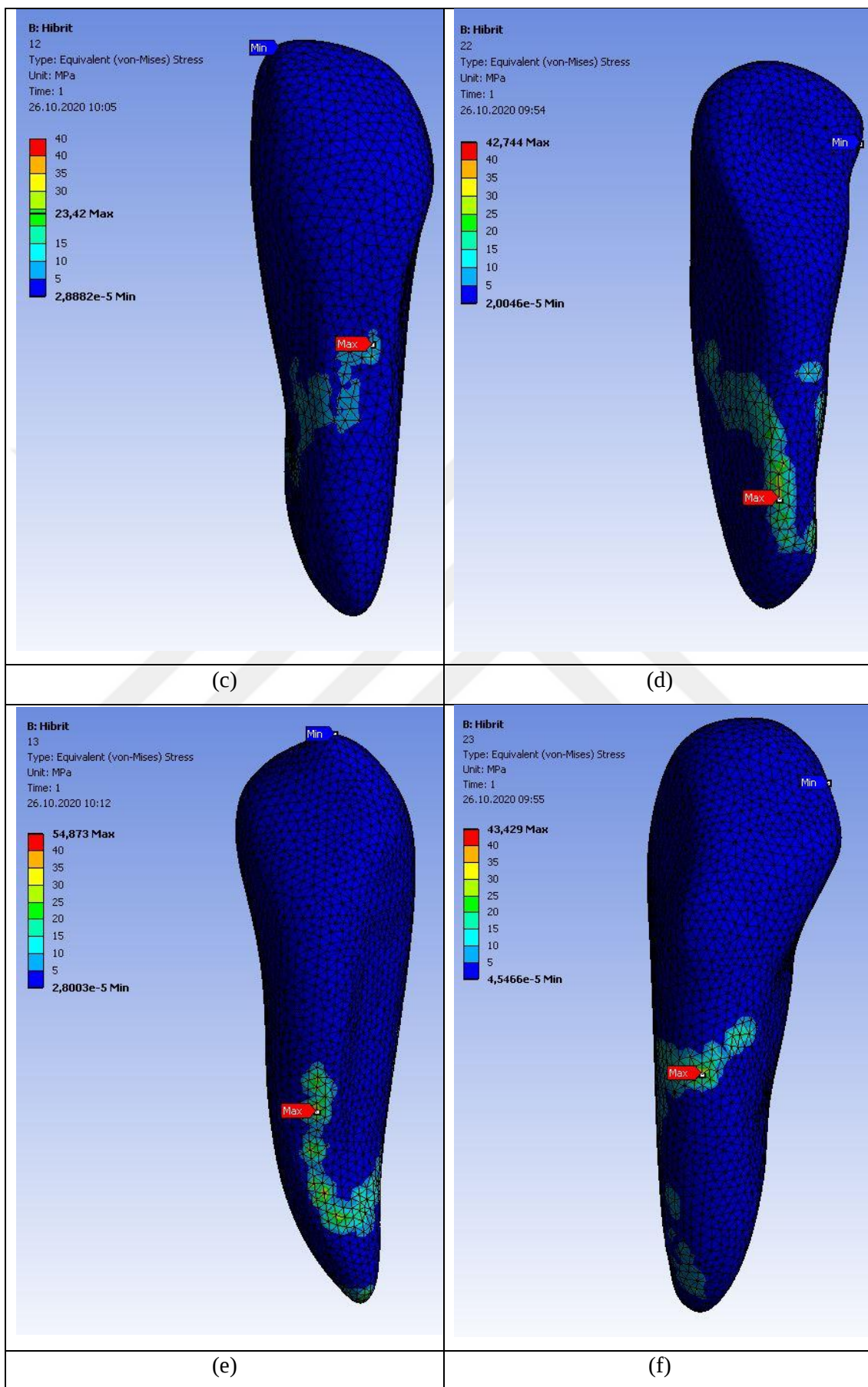


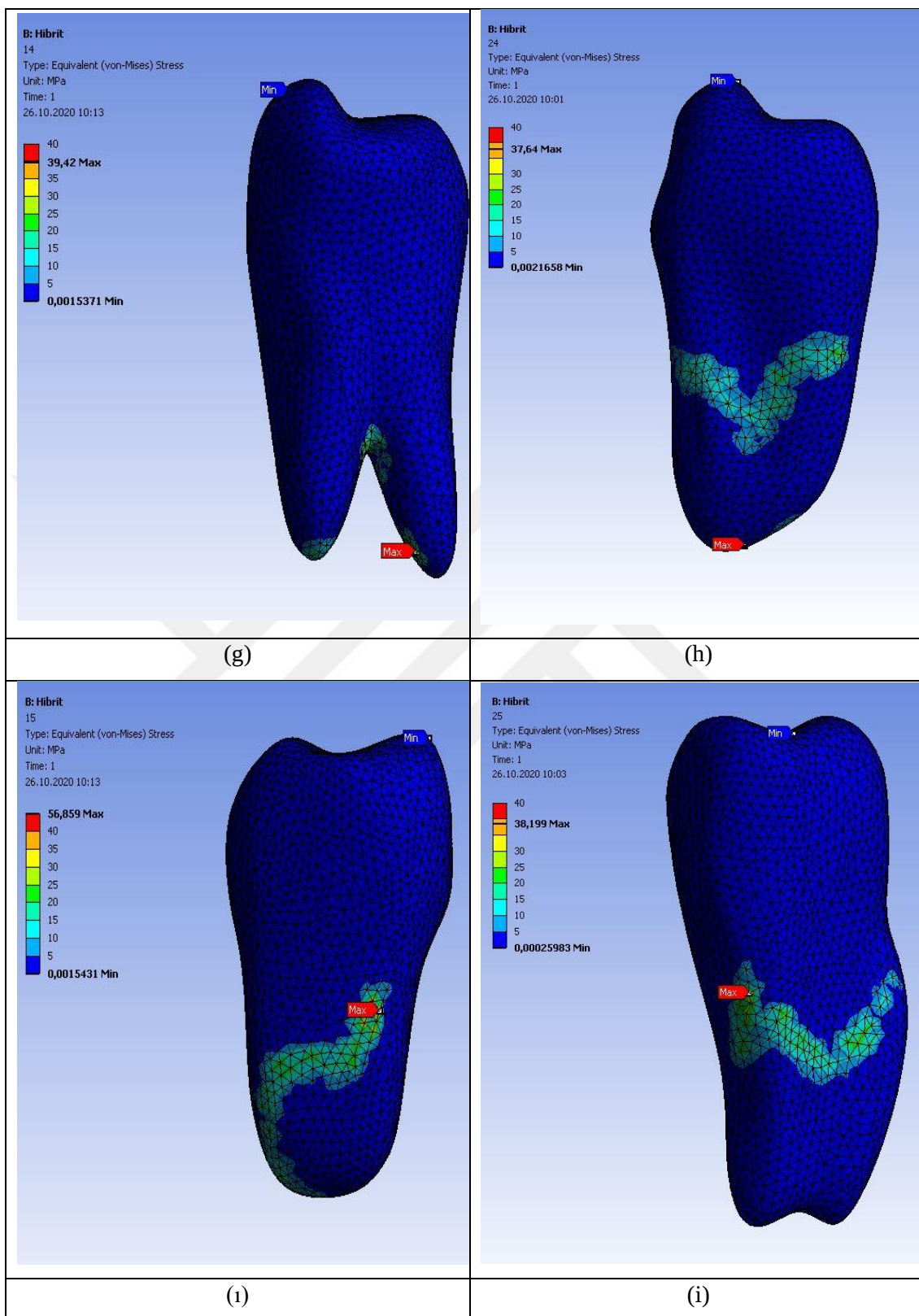
(e)

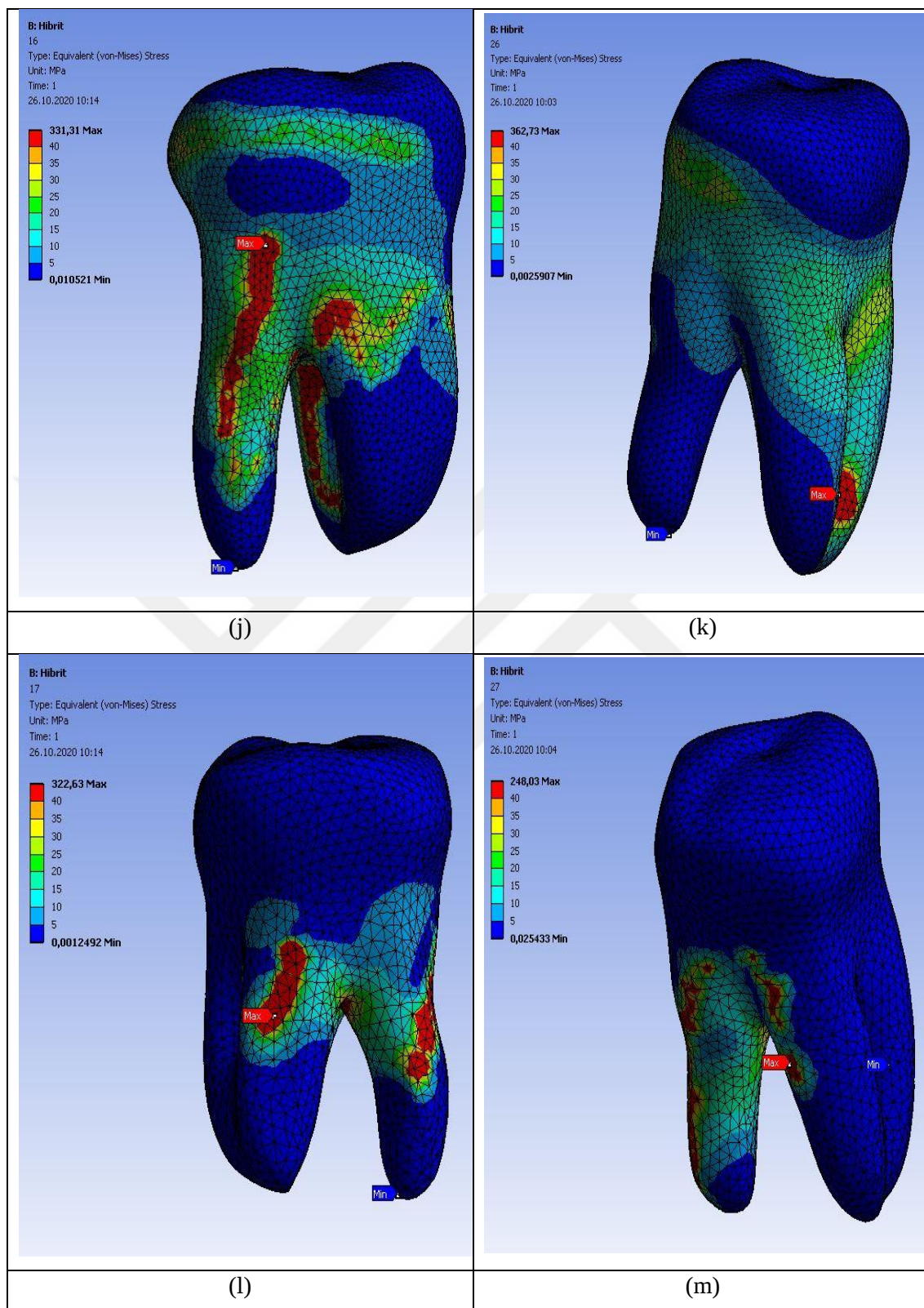


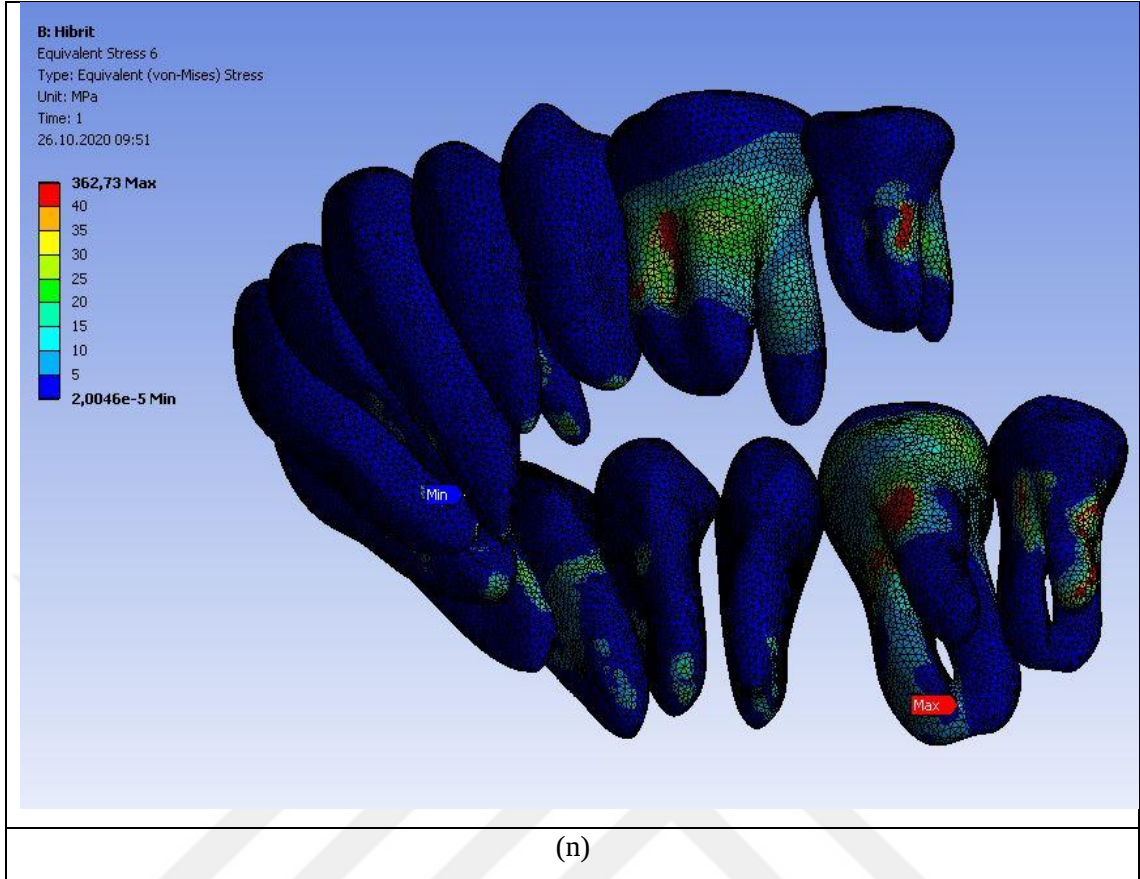
Şekil 4.5: Model 1C’de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagital Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.







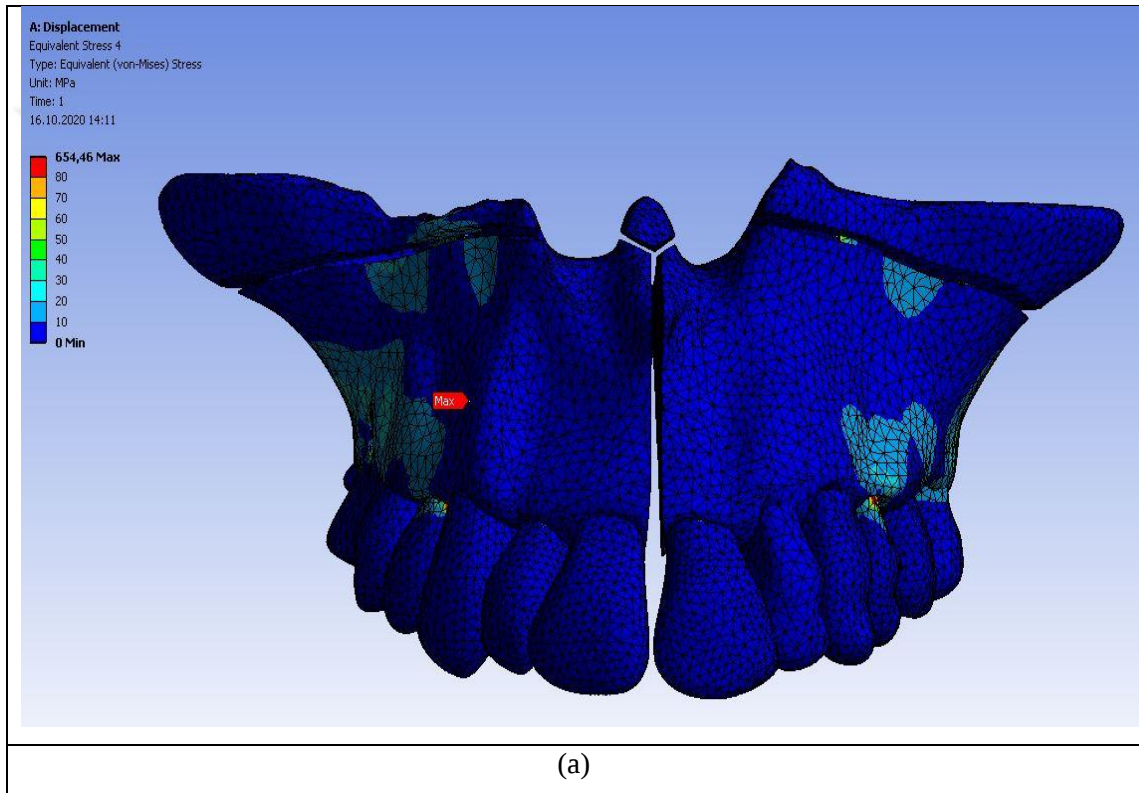


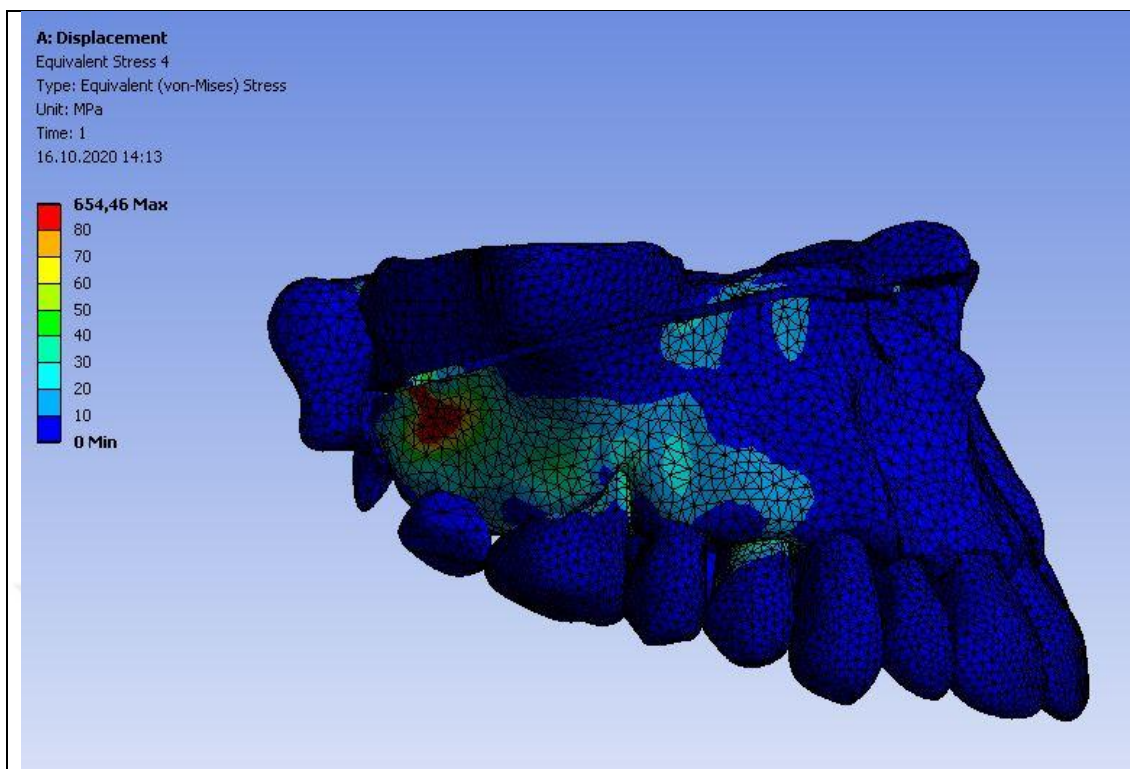


Şekil 4.6: Model 1C’de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), 27 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kavsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

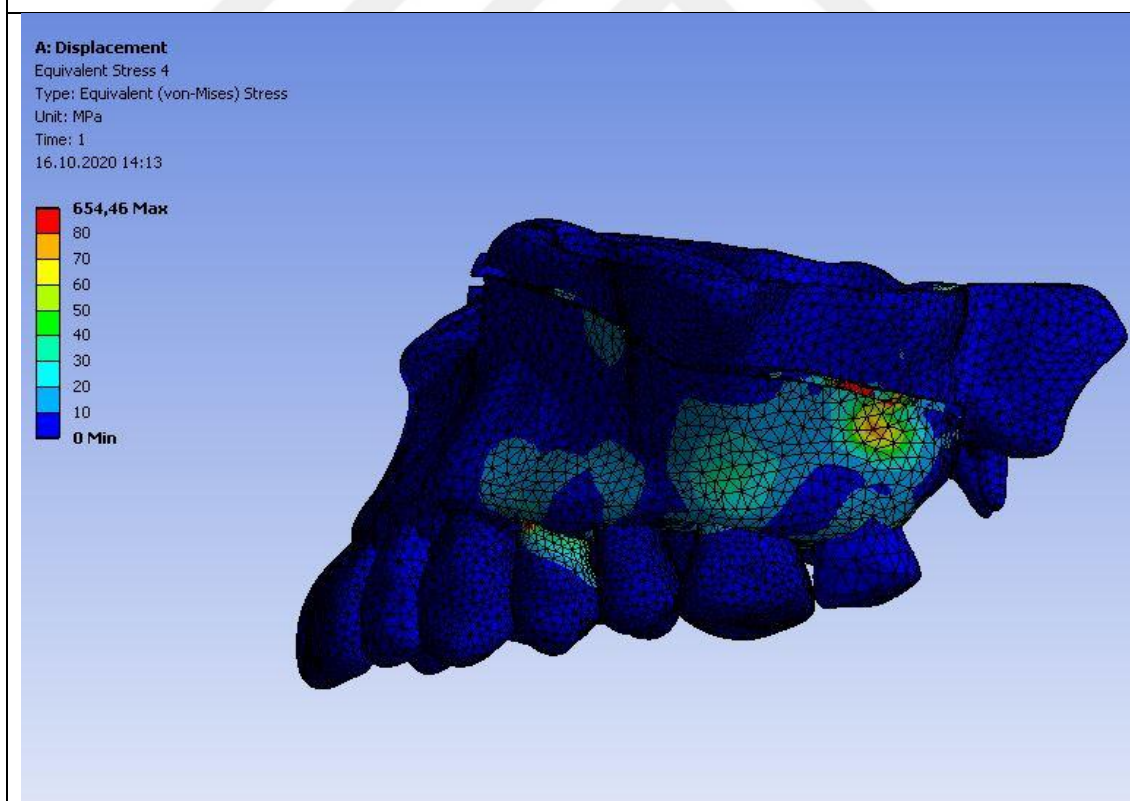
4.4. Model 2A'da Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılarak SARME operasyonu gerçekleştirilen ve diş destekli aparey kullanılan Model 2A'da, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 654,46 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.7); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 14 nolu dişte 280,54 MPa olarak bulunmuştur. Model 1A'da olduğu gibi bu modelde de stresler en fazla apareyin yerleştiği dişler olan 1.küçük azı ve 1.büyük azı dişlere gelmiştir (Şekil 4.8).

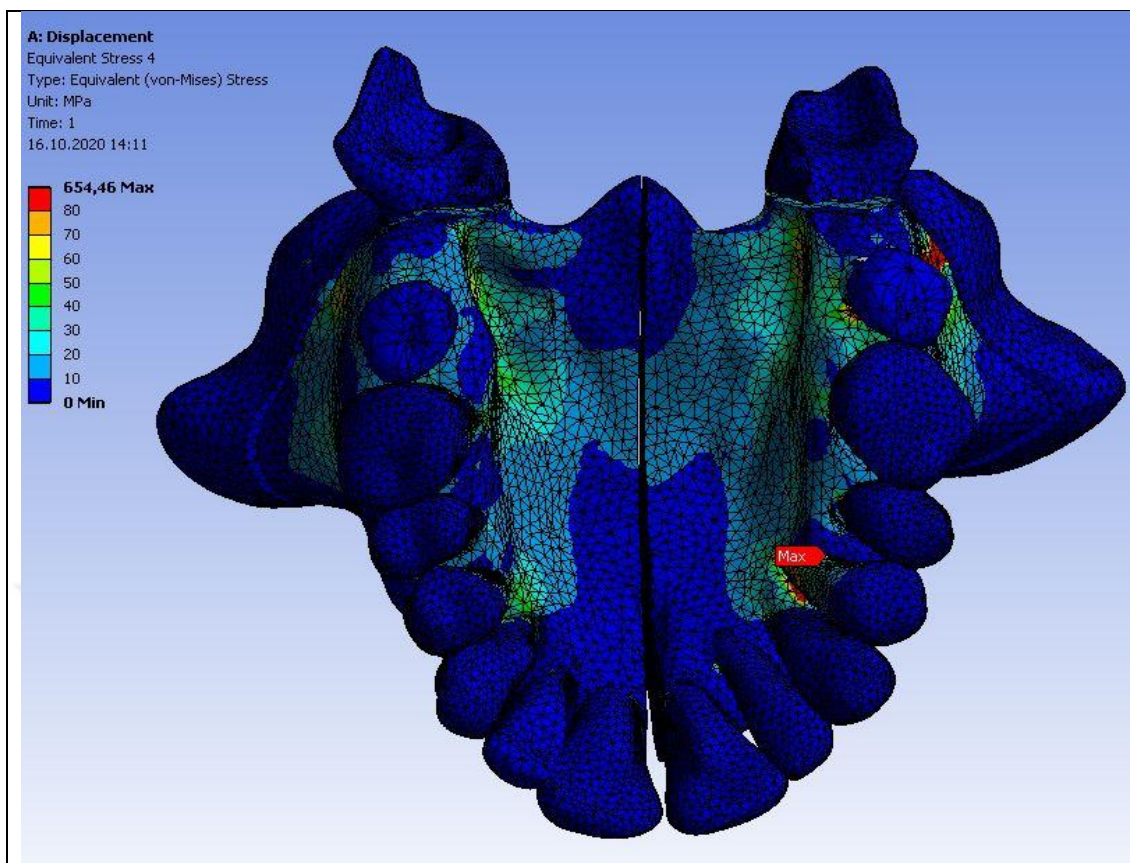




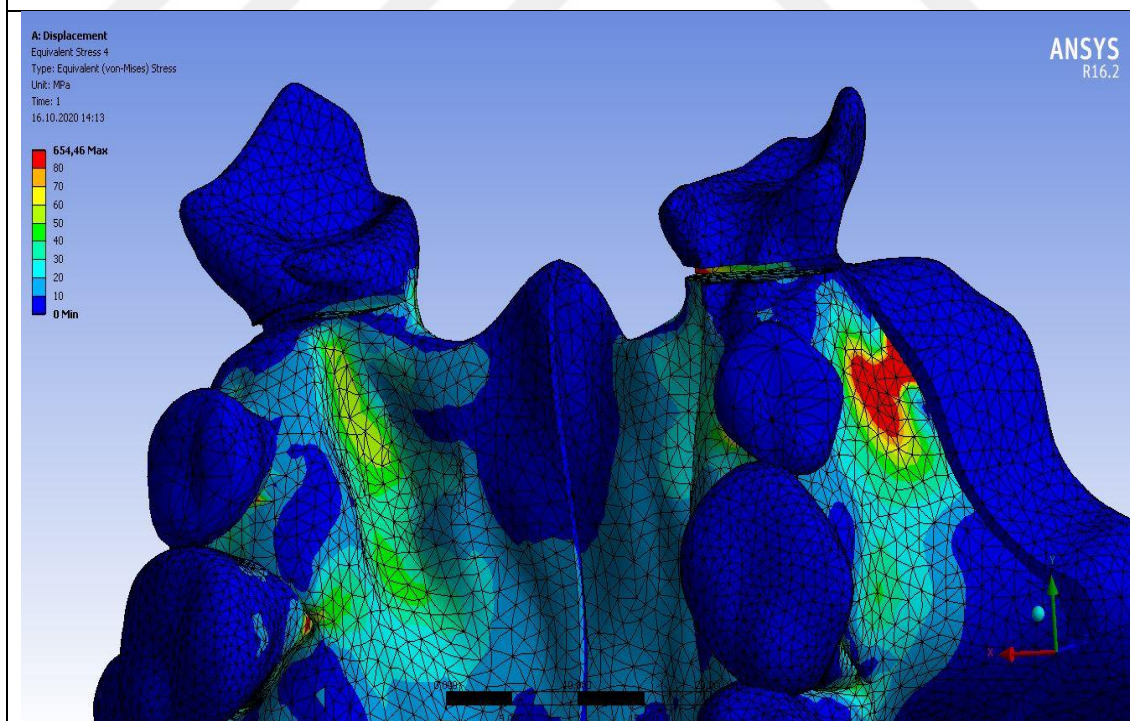
(b)



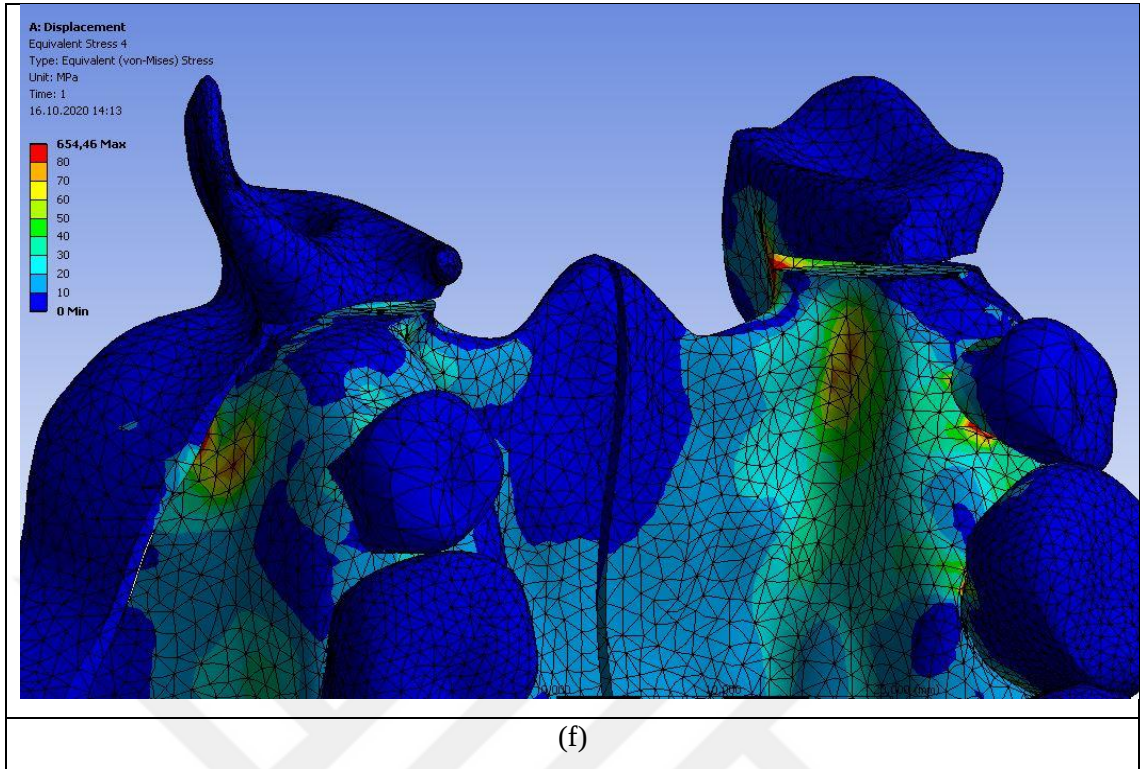
(c)



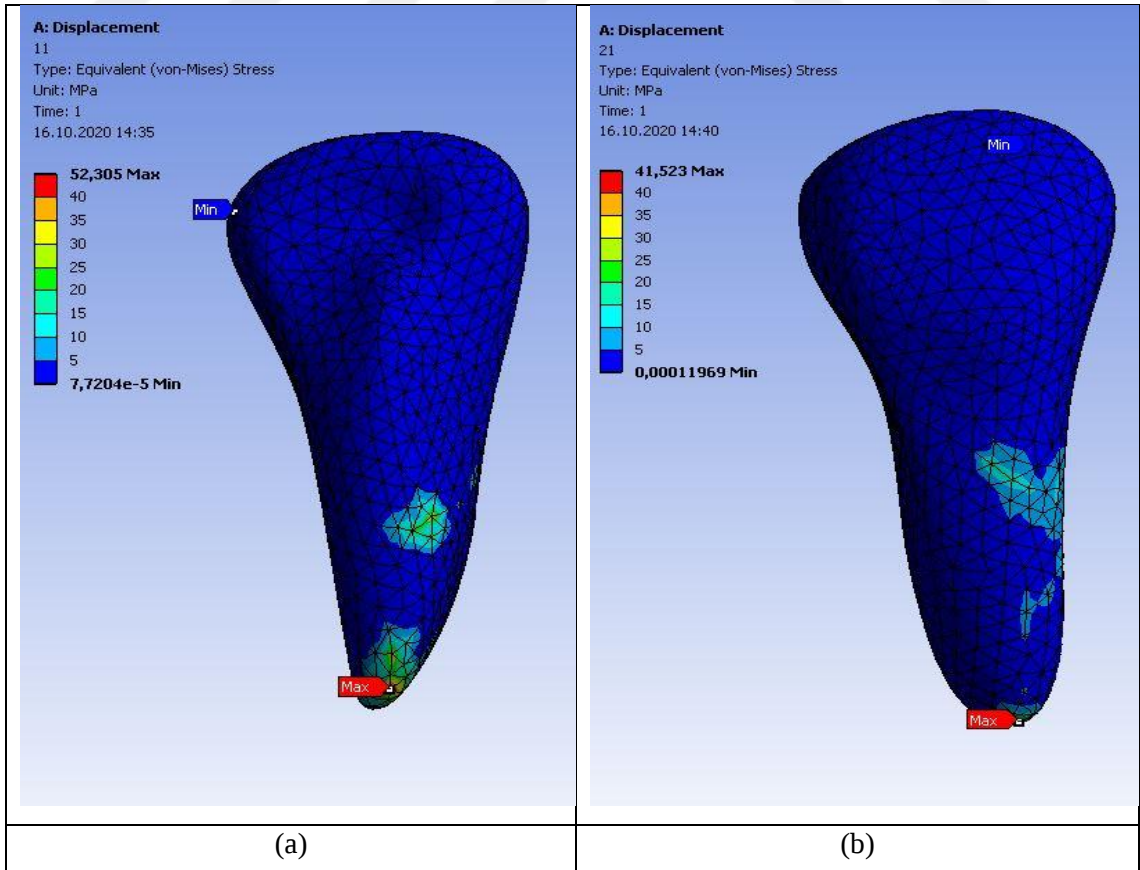
(d)

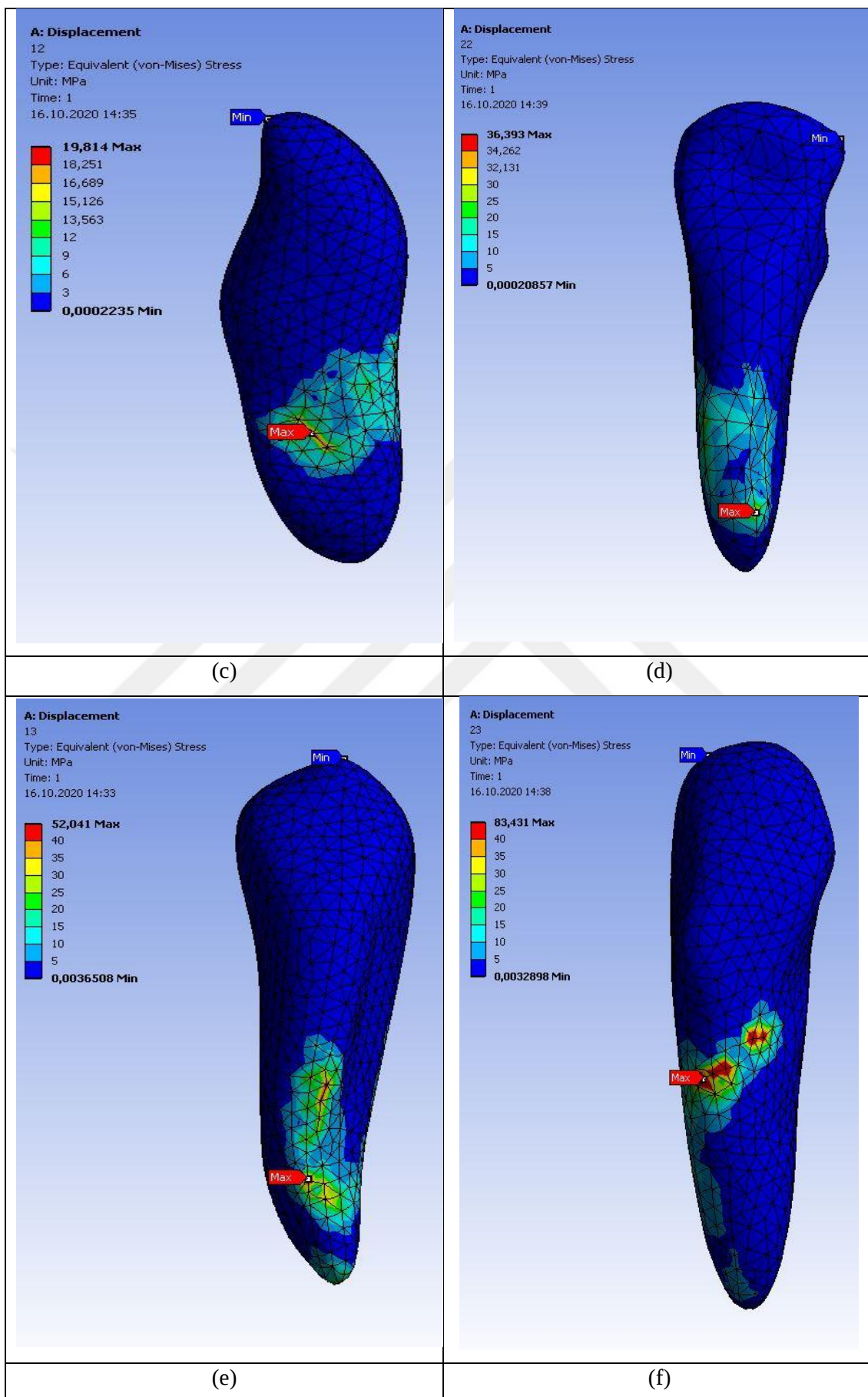


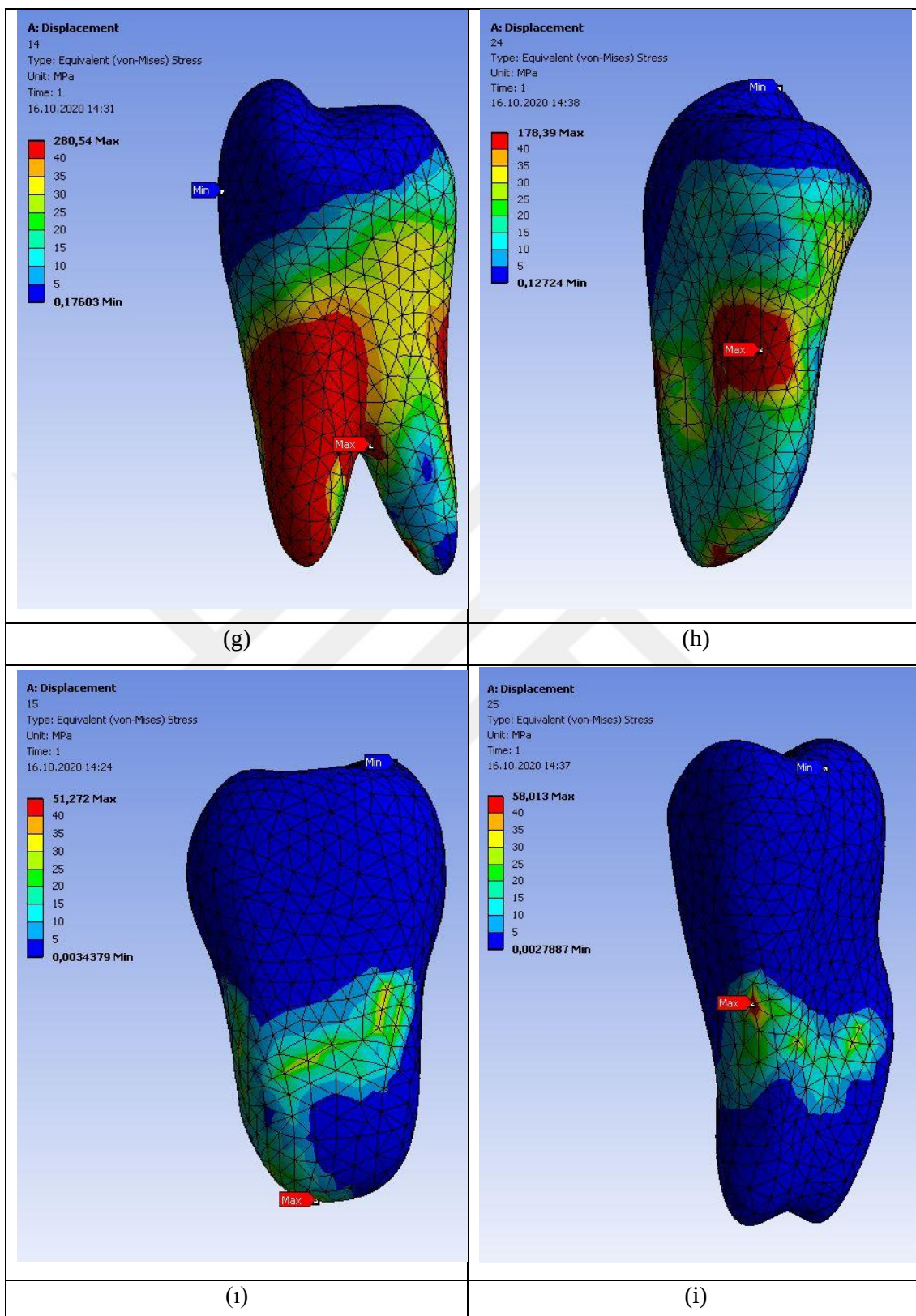
(e)

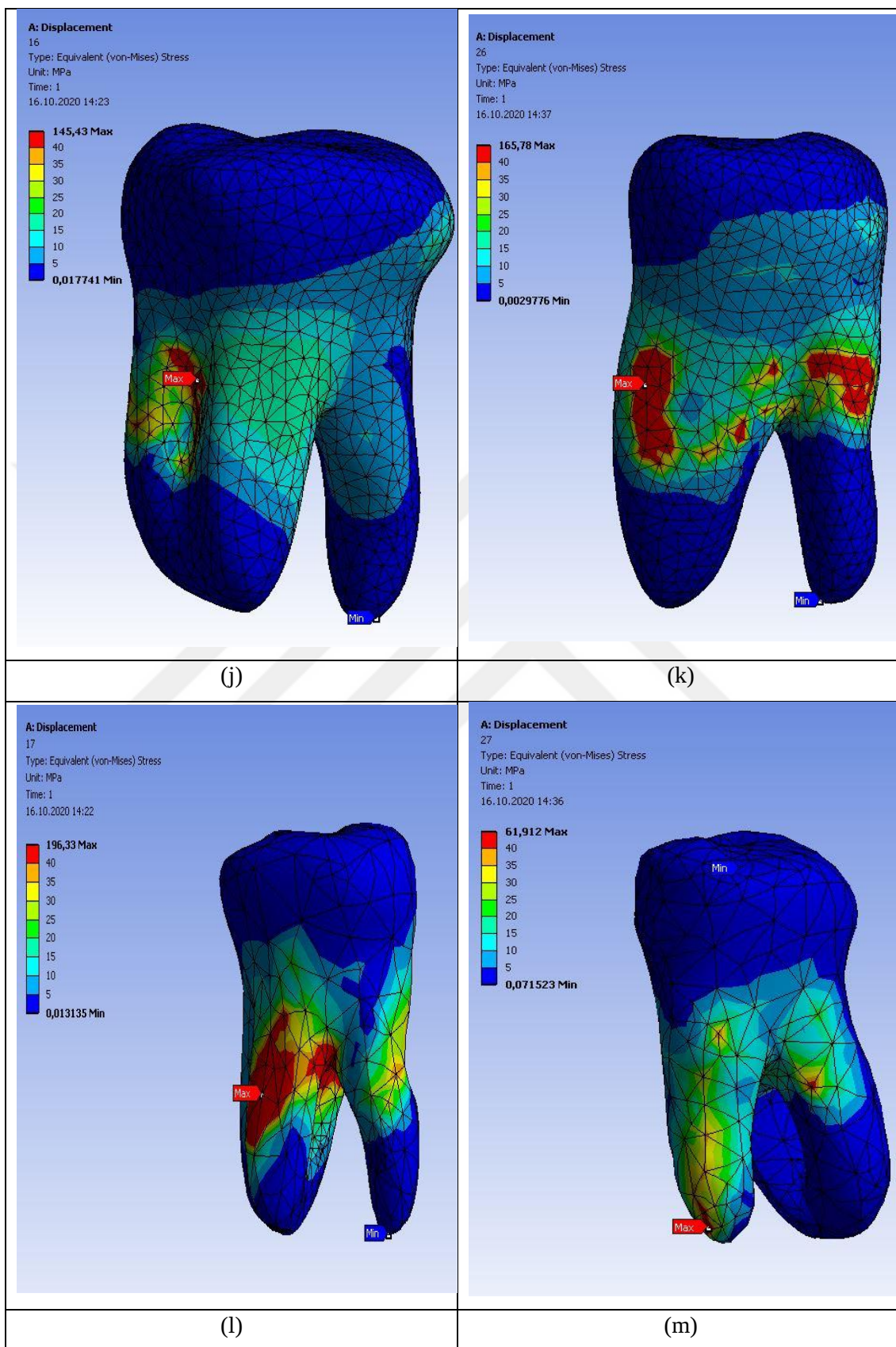


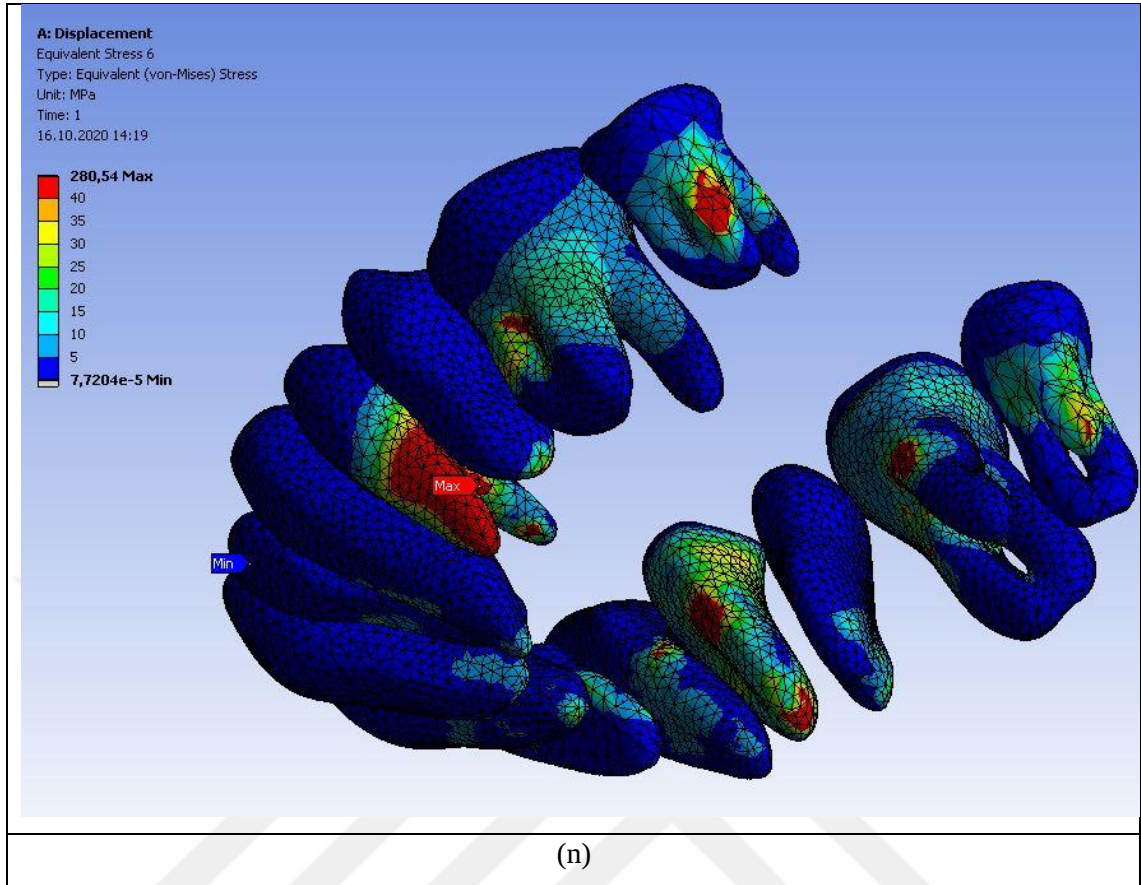
Şekil 4.7: Model 2A'da Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.







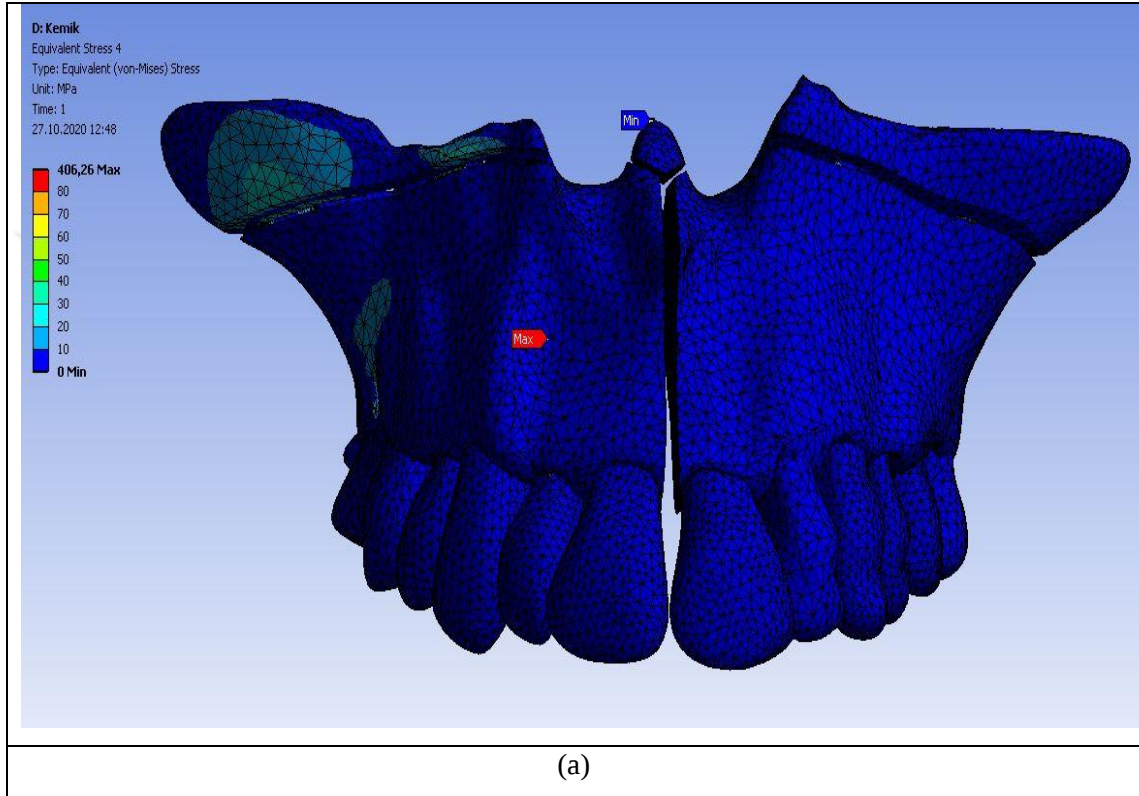


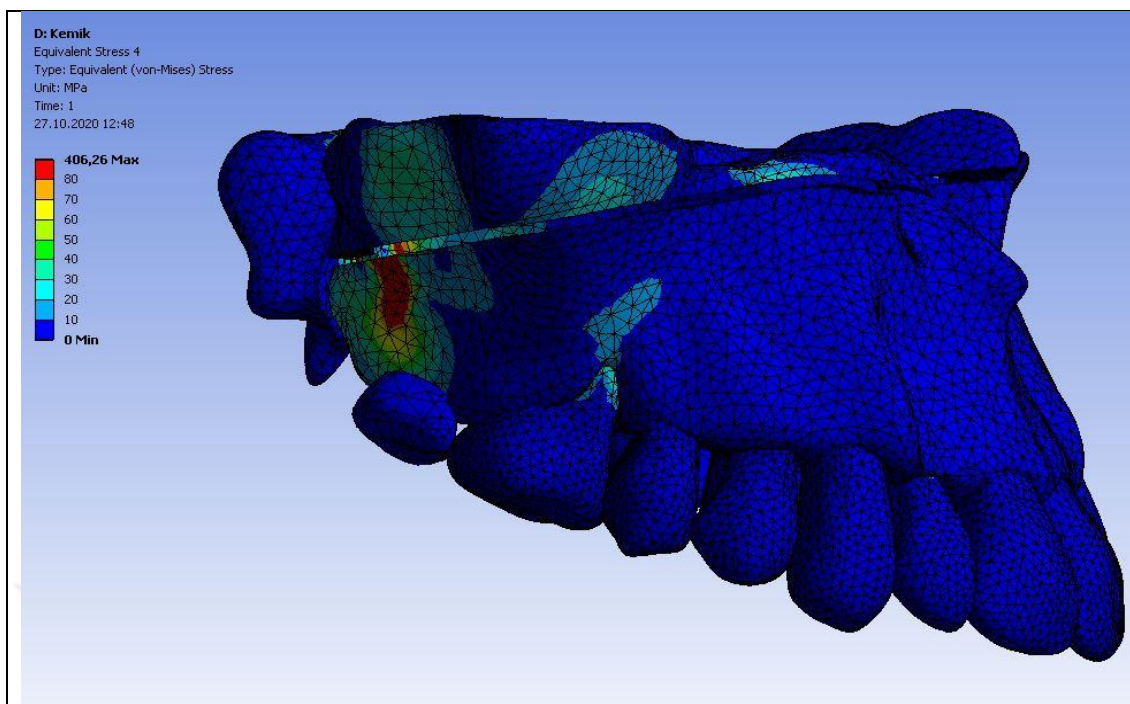


Şekil 4.8: Model 2A’da Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), 27 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kavsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

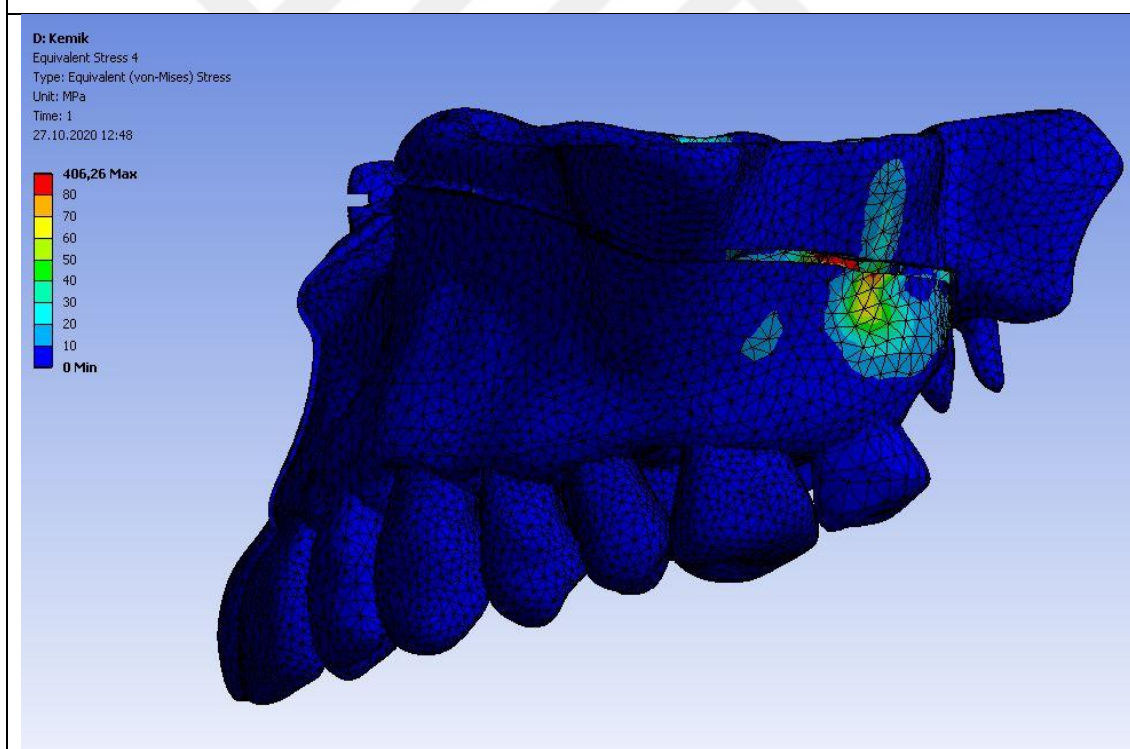
4.5. Model 2B’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılarak SARME operasyonu gerçekleştirilen ve kemik destekli aparey kullanılan Model 2B’de, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 406,26 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.9); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 17 nolu dişte 154,03 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.10).

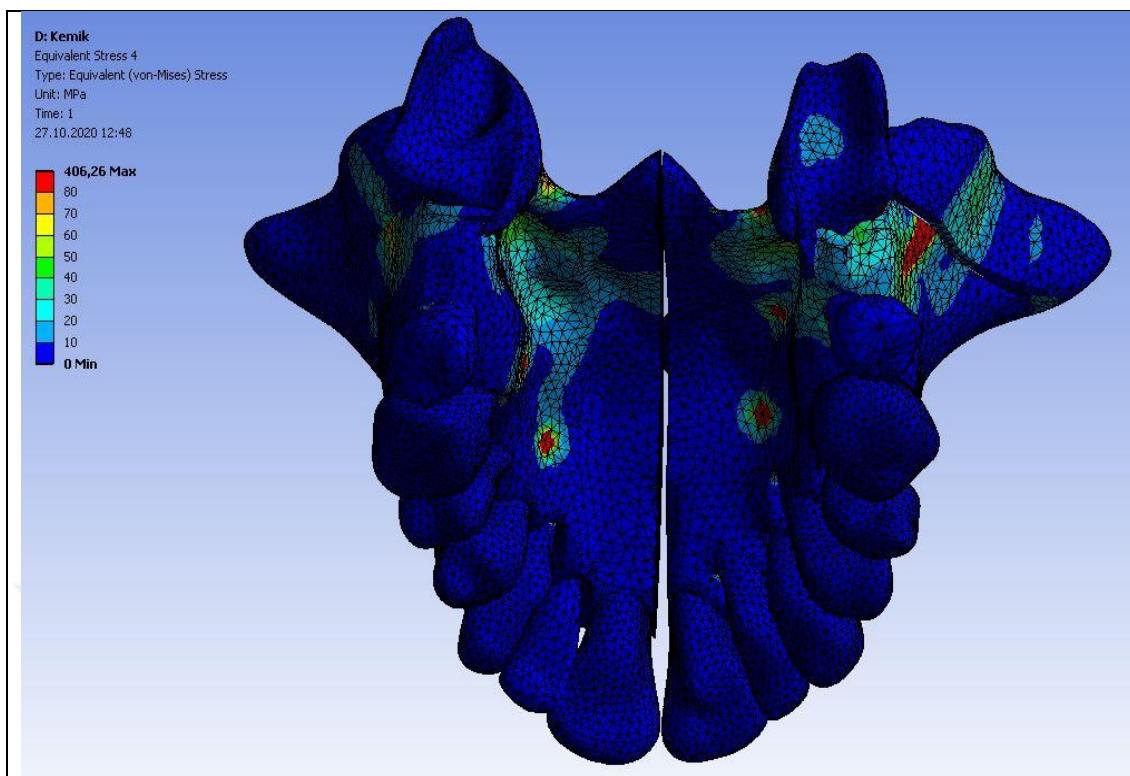




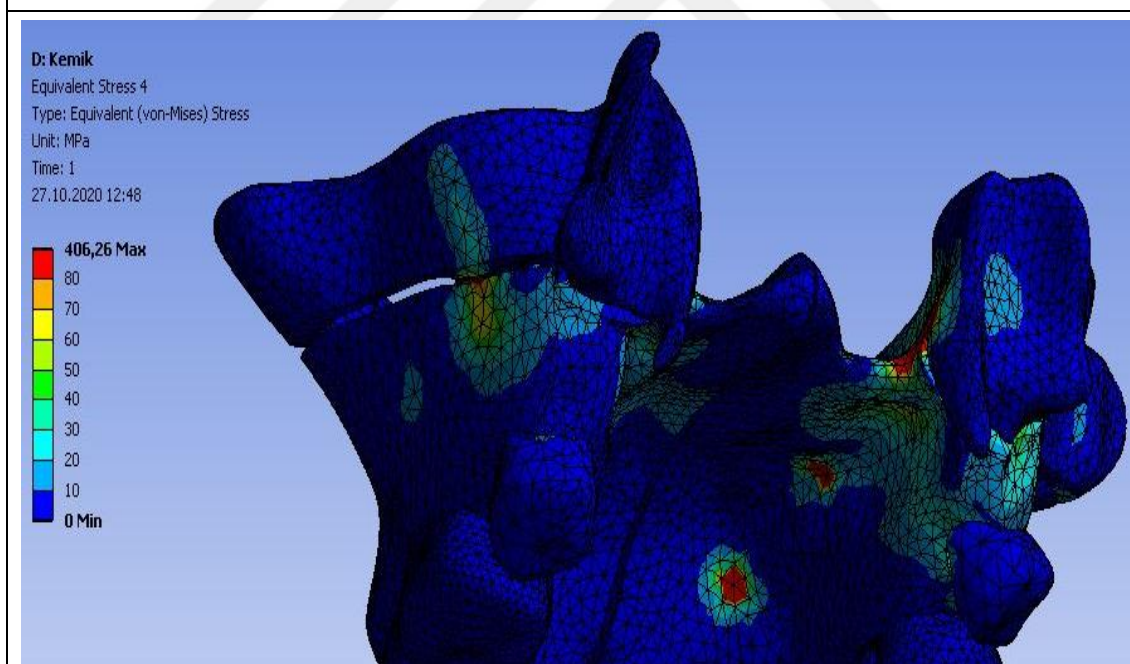
(b)



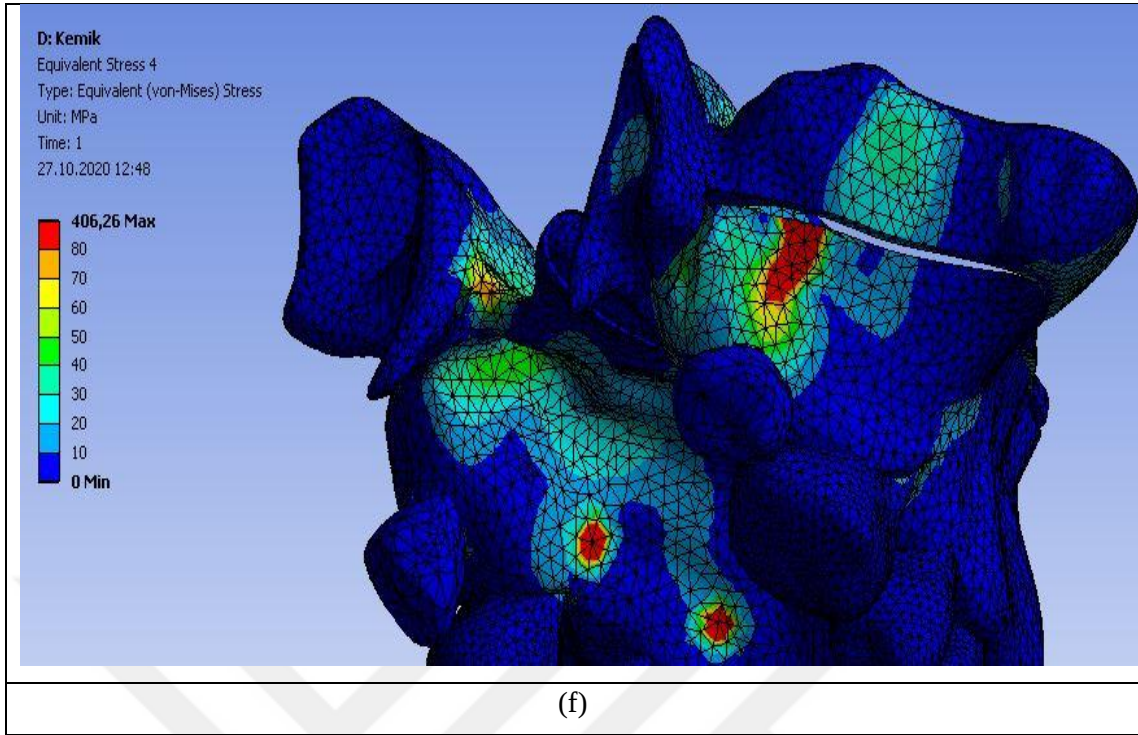
(c)



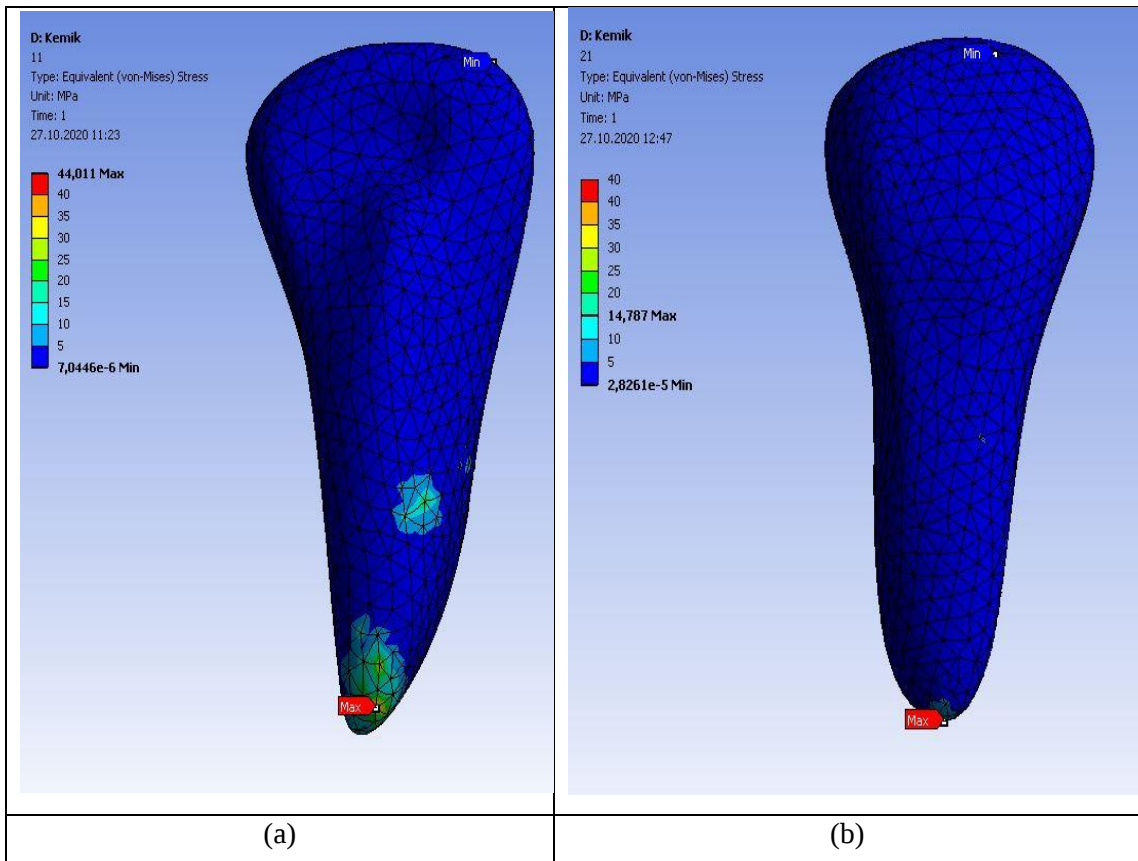
(d)

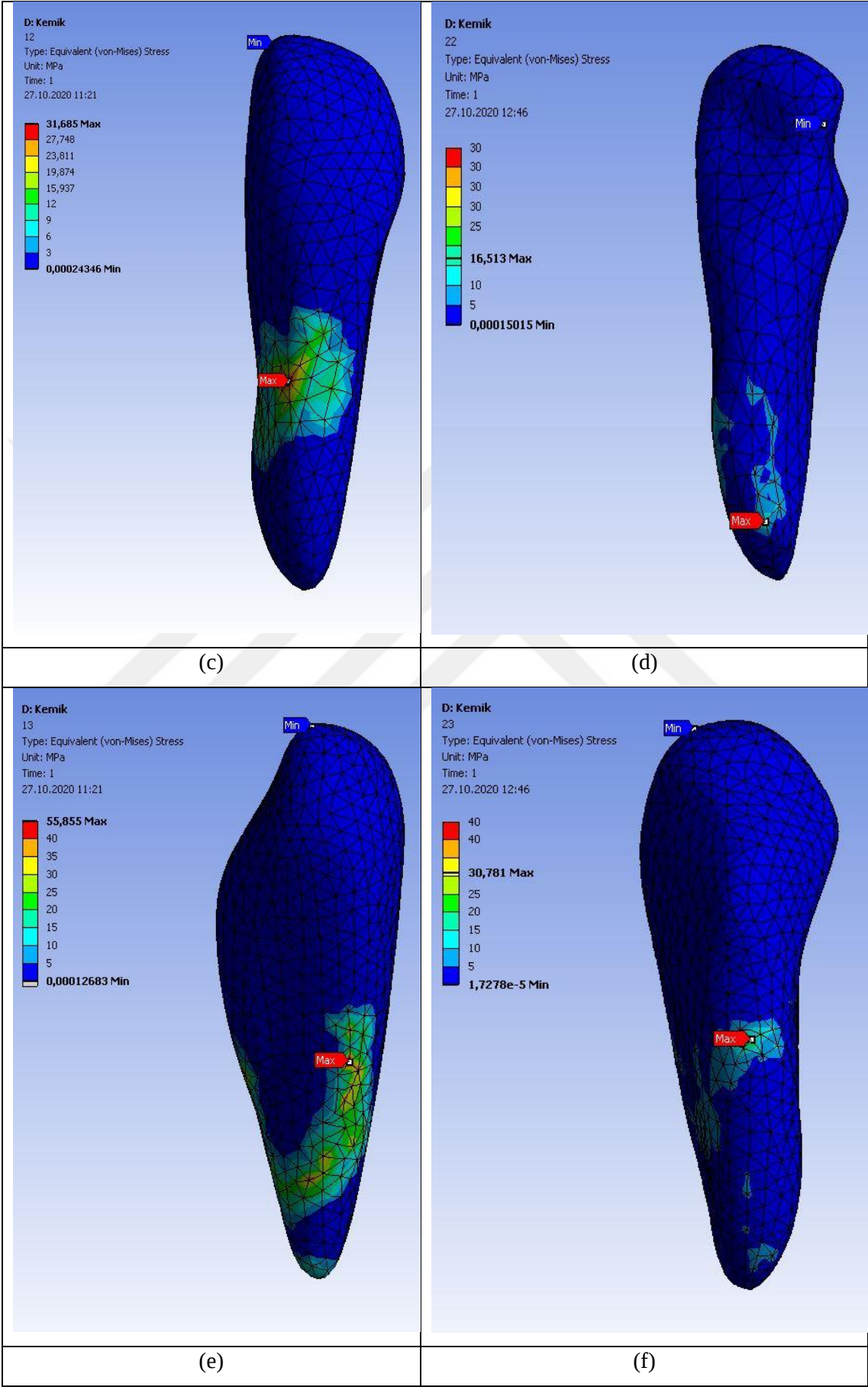


(e)



Şekil 4.9: Model 2B’de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.





D: Kemik
22
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
27.10.2020 12:46

30
30
30
30
25
16,513 Max
10
5
0,00015015 Min

Min

Max

(d)

D: Kemik
13
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
27.10.2020 11:21

55,855 Max
40
35
30
25
20
15
10
5
0,00012683 Min

Min

Max

(e)

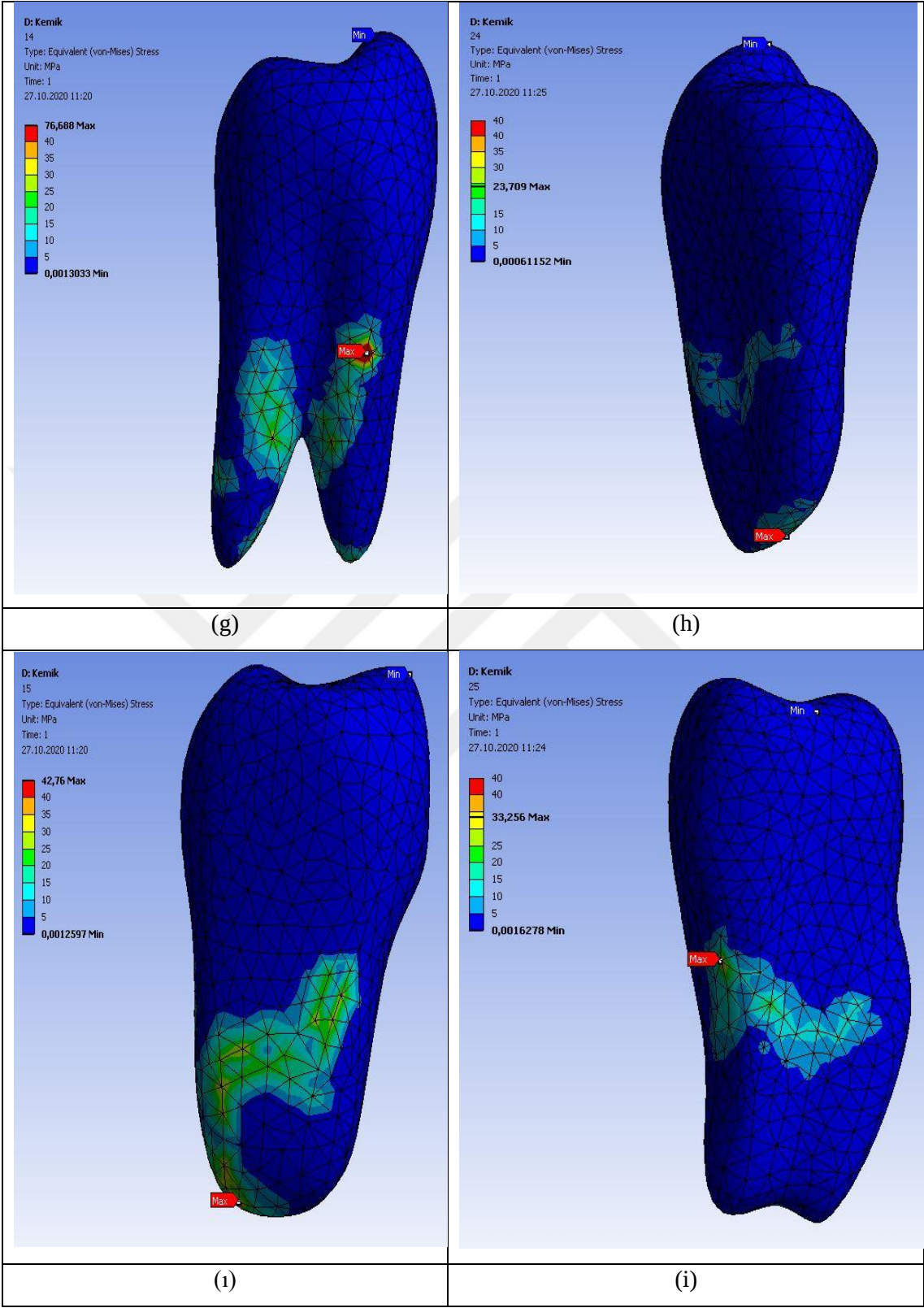
D: Kemik
23
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
27.10.2020 12:46

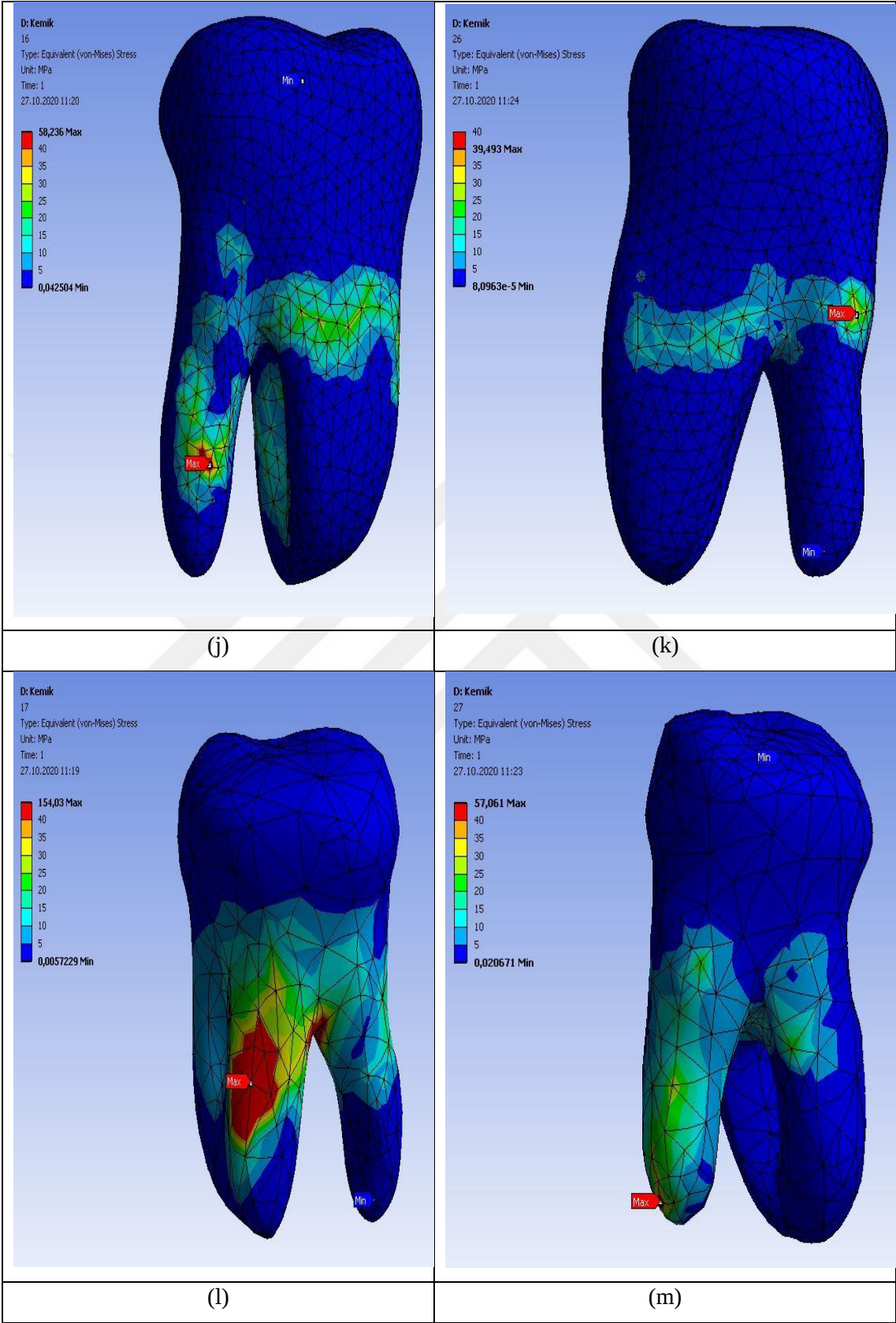
40
40
30,781 Max
25
20
15
10
5
1,7278e-5 Min

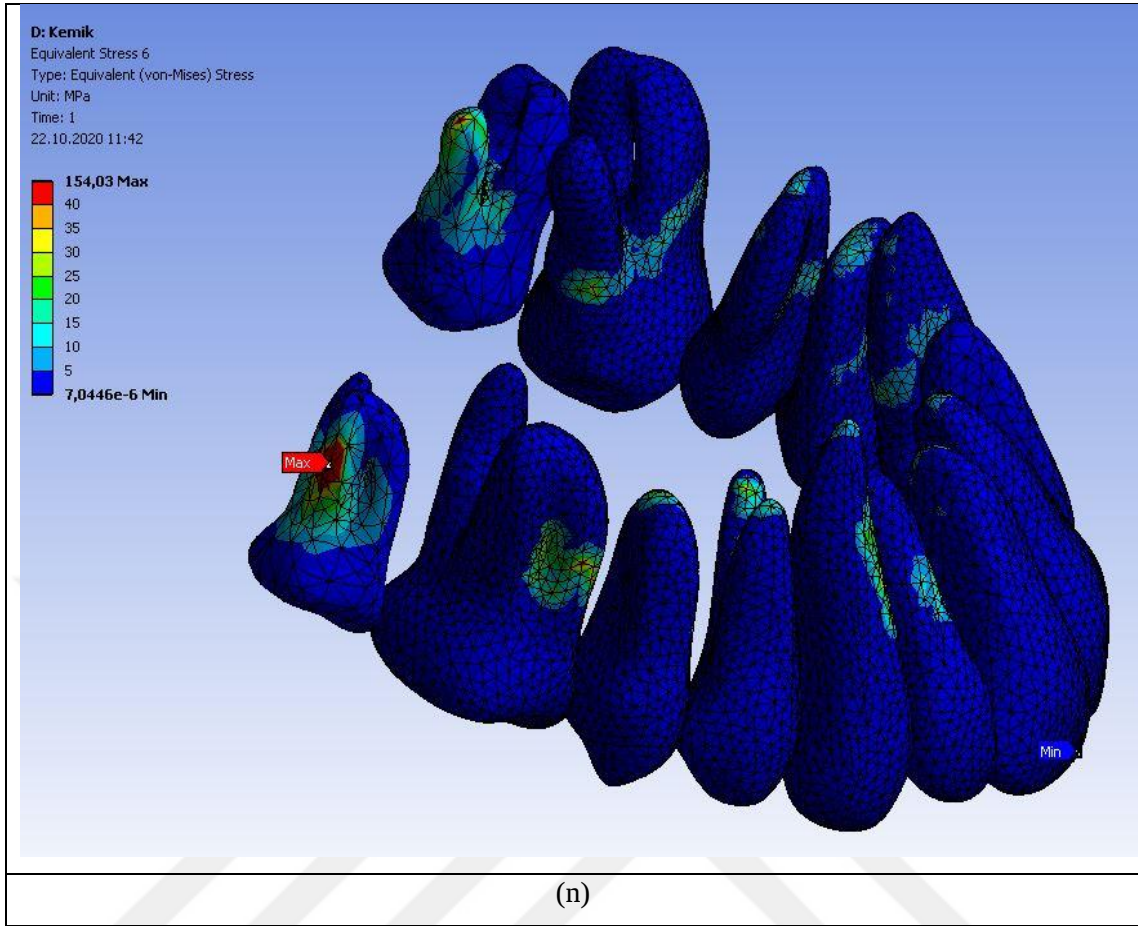
Min

Max

(f)



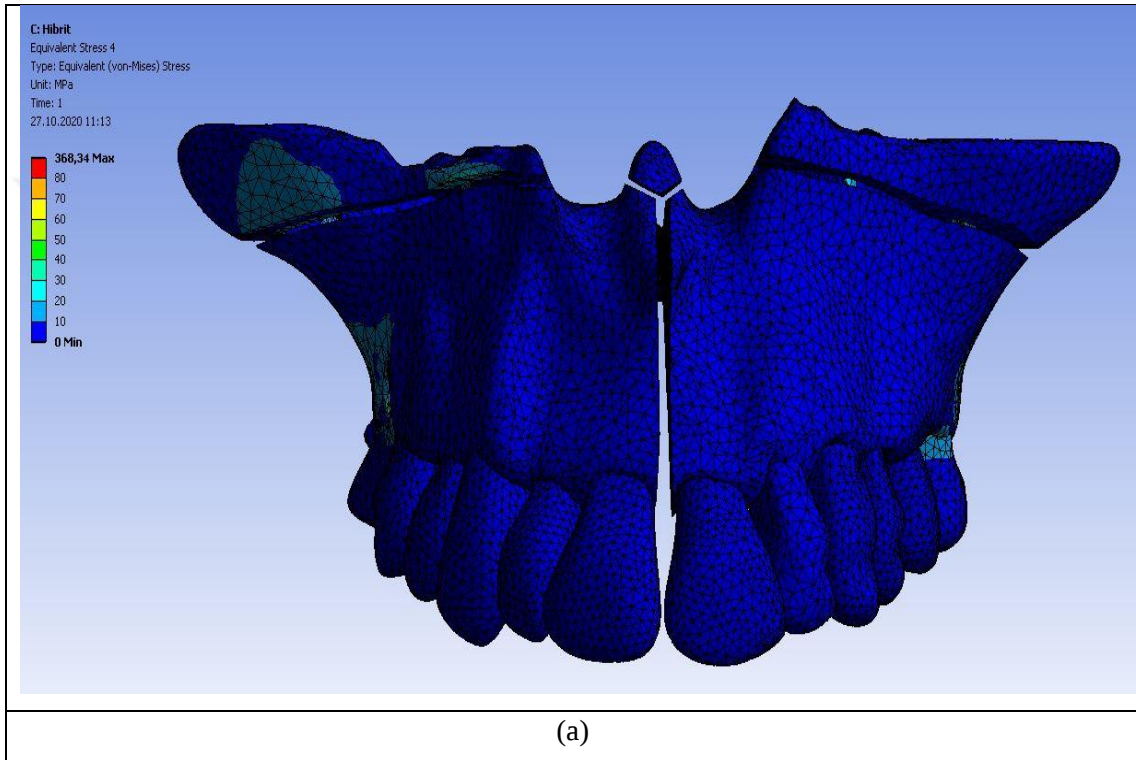


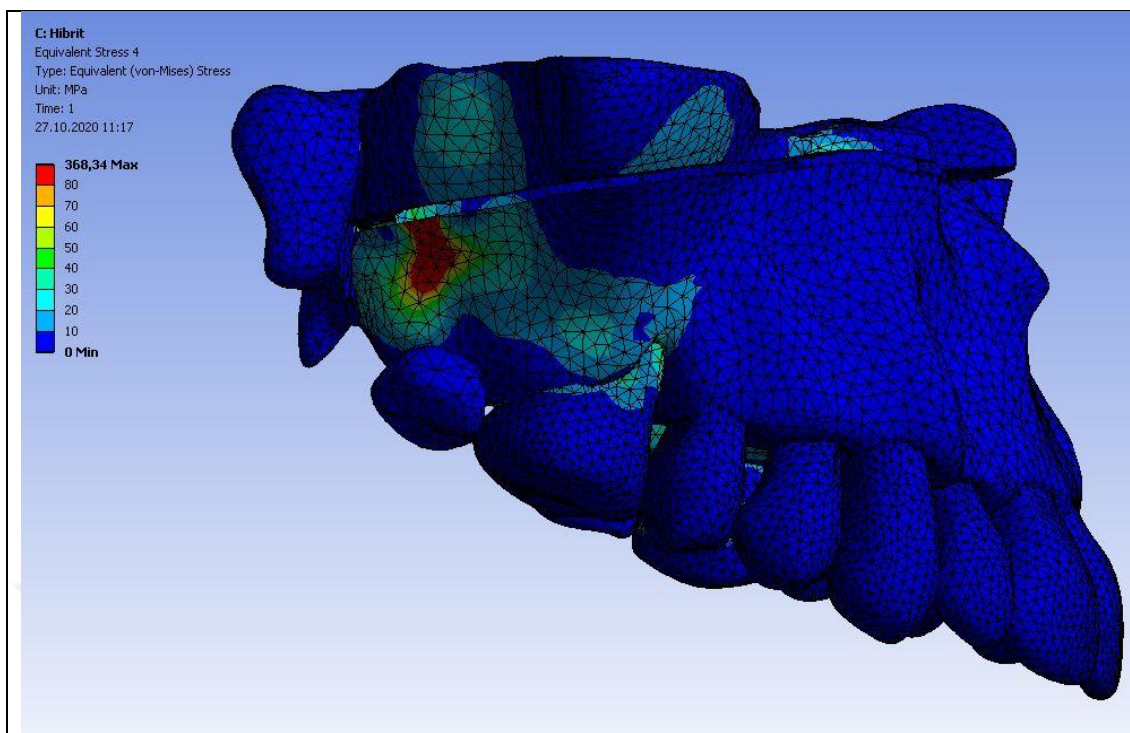


Şekil 4.10: Model 2B’de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 27 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kavsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

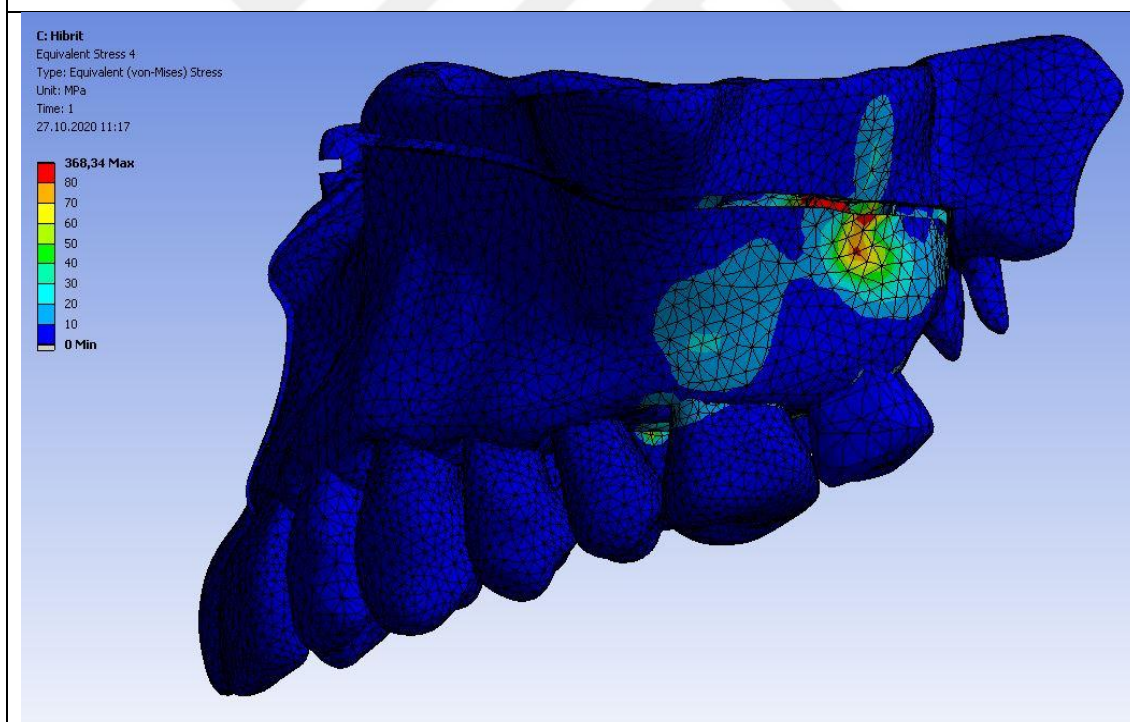
4.6. Model 2C’de Oluşan Von Mises Stres Değerleri

Pterygoid çıkıntılar ayrılarak SARME operasyonu gerçekleştirilen ve hibrit destekli aparey kullanılan Model 2C’de, maksiller kemikte oluşan en yüksek stres değeri 368,34 MPa olarak bulunurken (Şekil 4.11); dişlerdeki maksimum stres değeri ise 26 nolu dişte 208,22 MPa olarak bulunmuştur. Keser ve küçük azı bölgesinde stresler oldukça düşükken; molar bölgede görece daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.12).

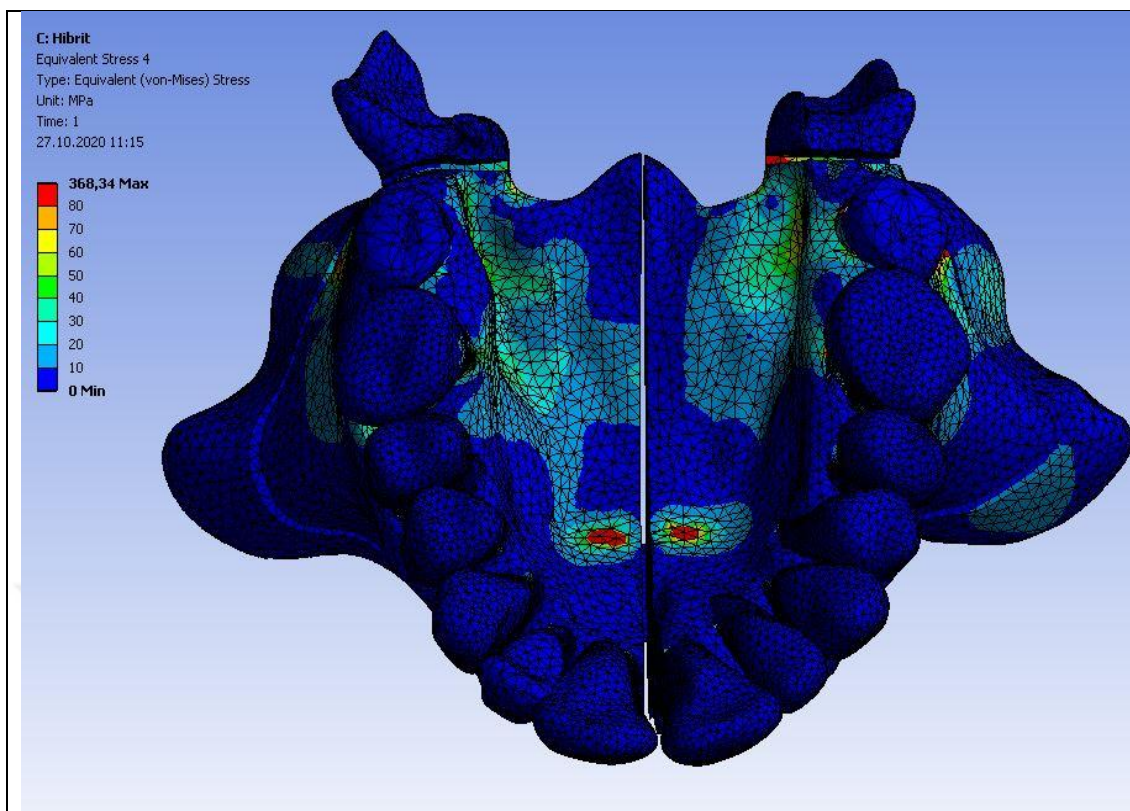




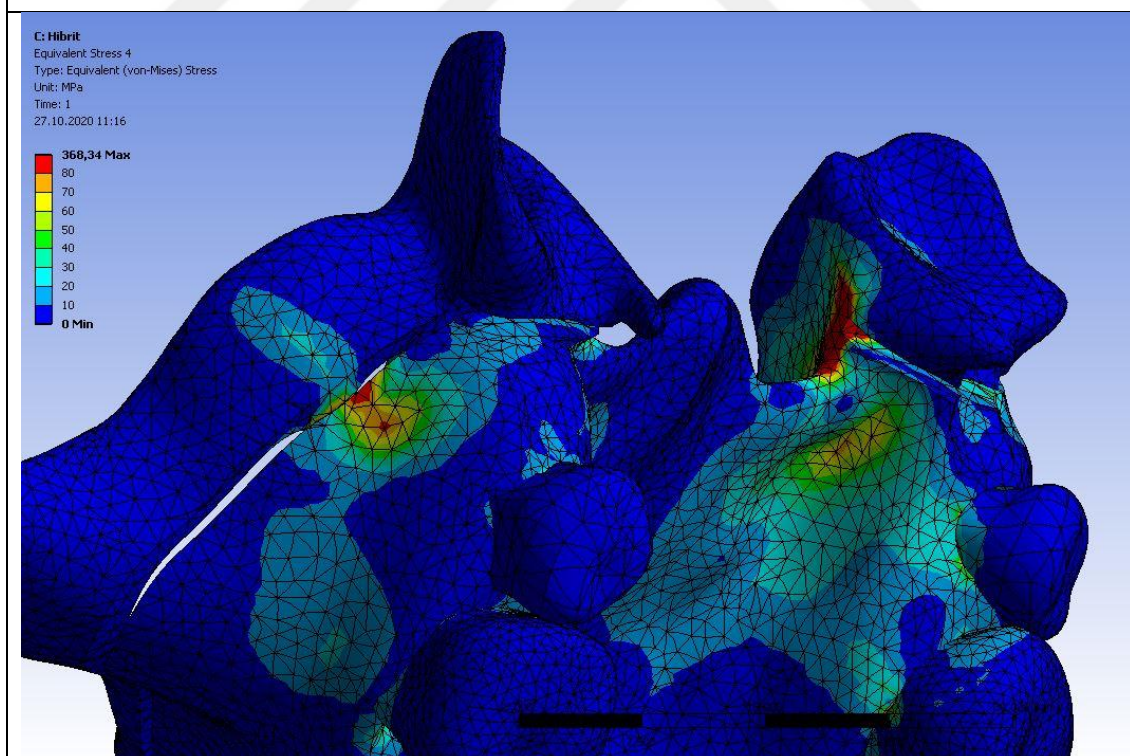
(b)



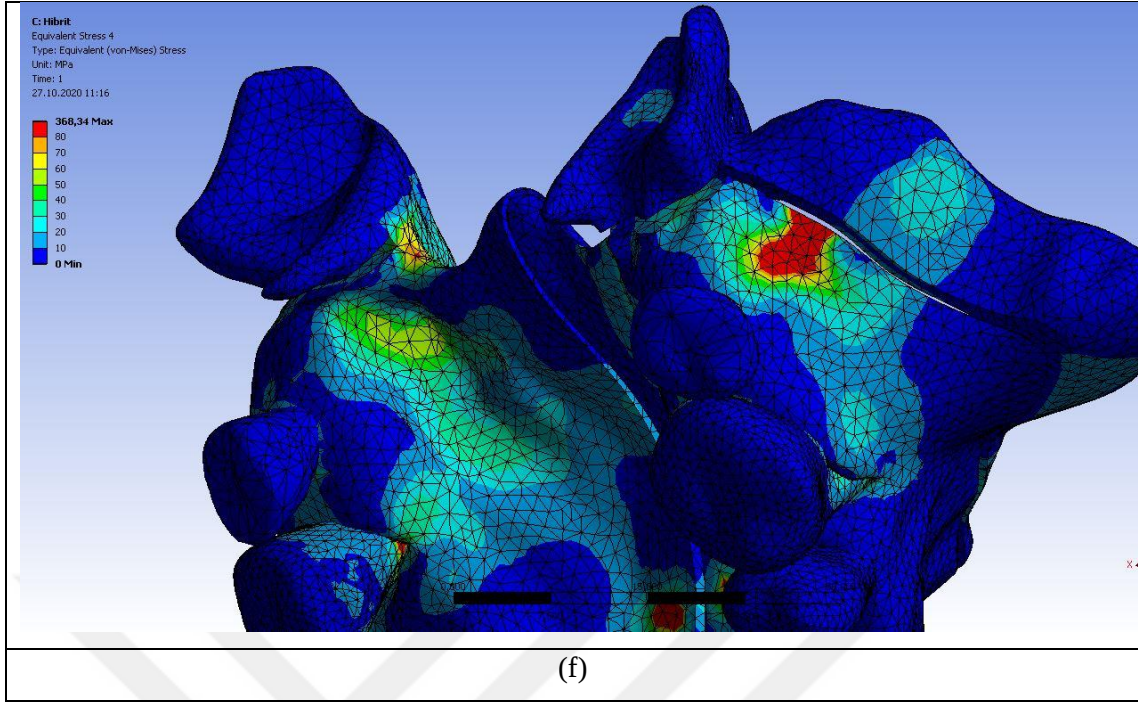
(c)



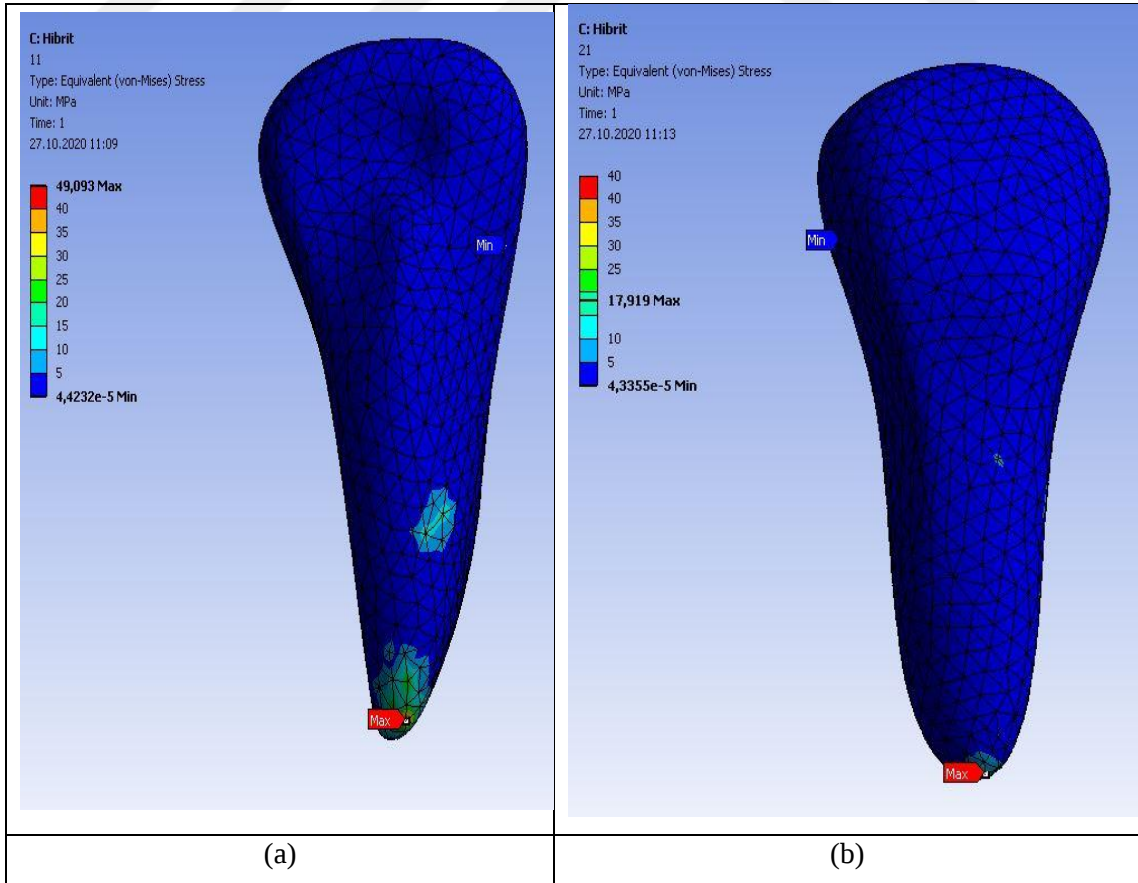
(d)

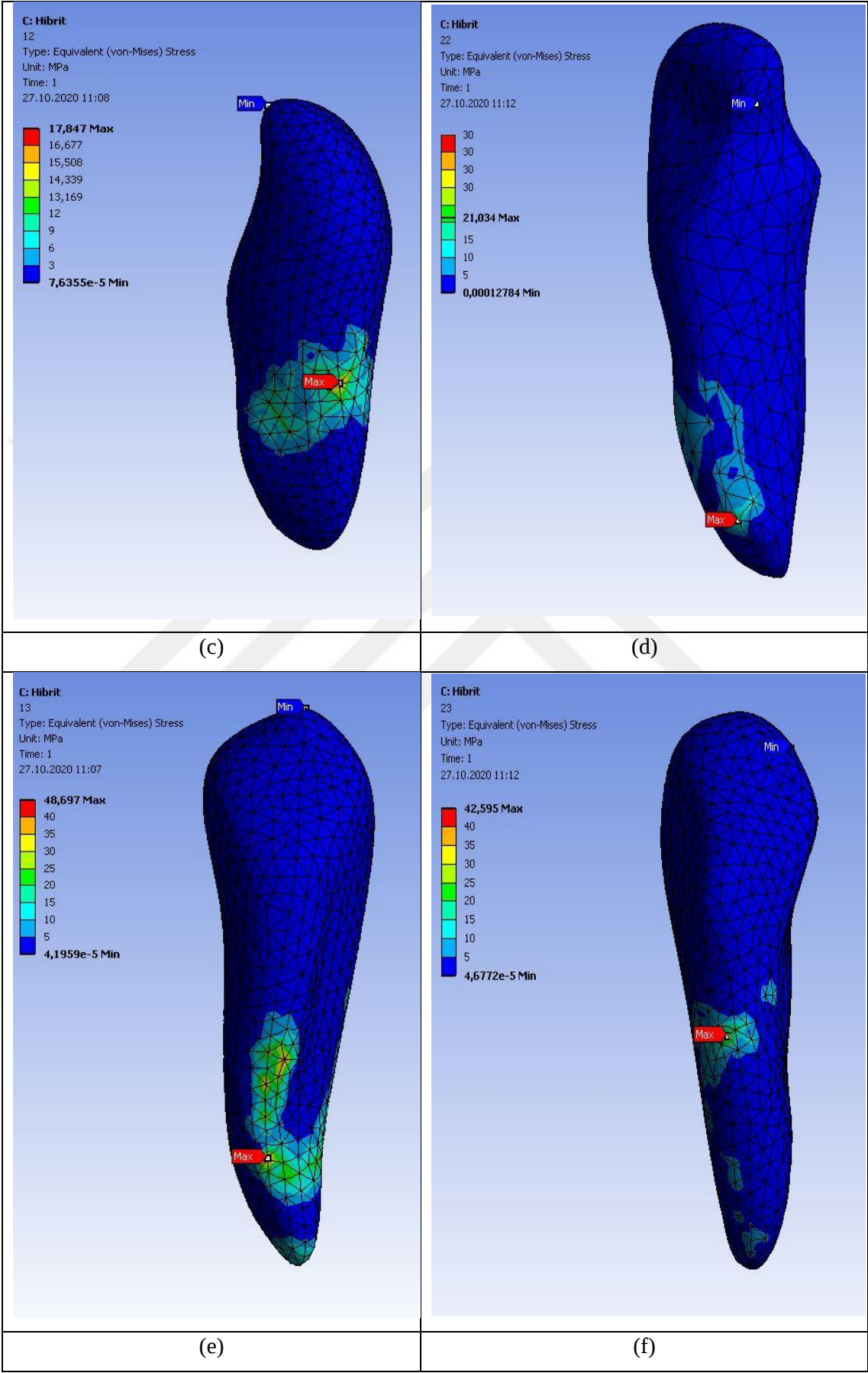


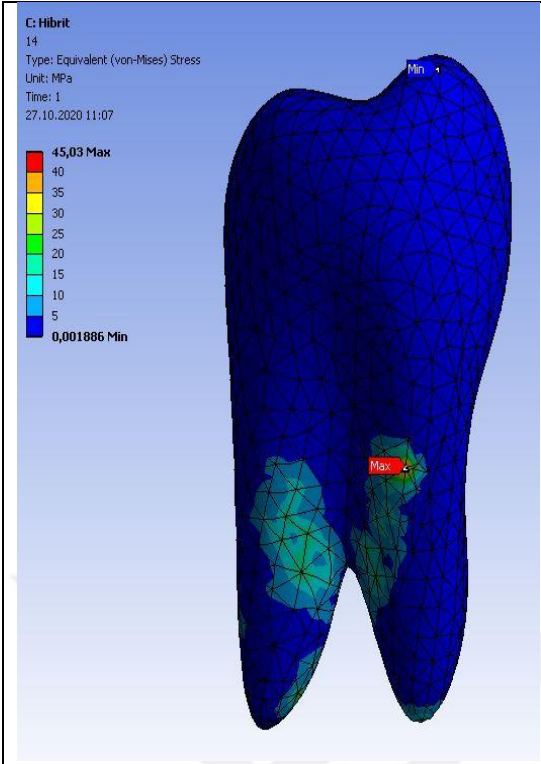
(e)



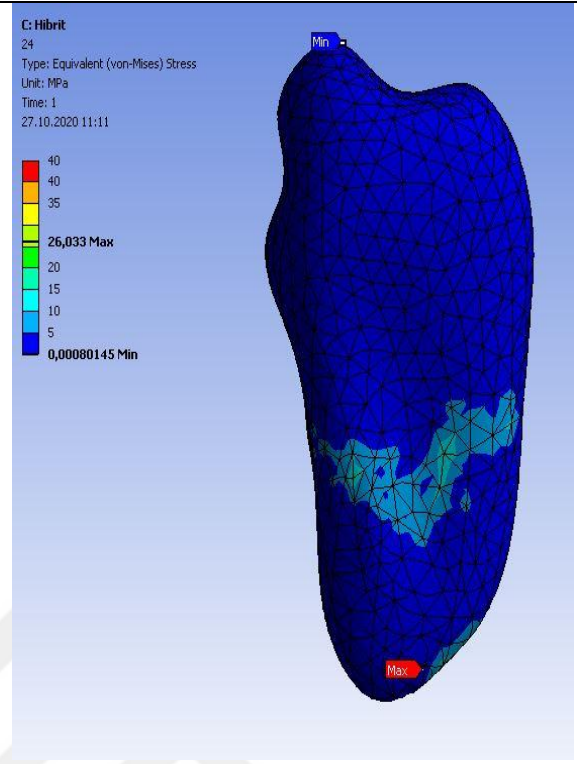
Şekil 4.11: Model 2C’de Kemikte Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), Streslerin Koronal Kesitten Görünüşü. (b) ve (c), Streslerin Sagittal Kesitten Görünüşü. (d), Streslerin Aksiyal Kesitten Görünüşü. (e) ve (f), Pterygomaksiller Bölgede Oluşan Stresler.



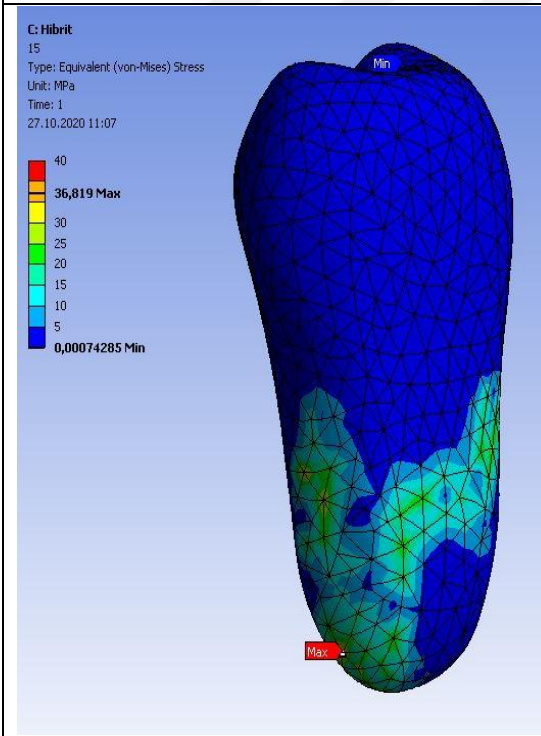




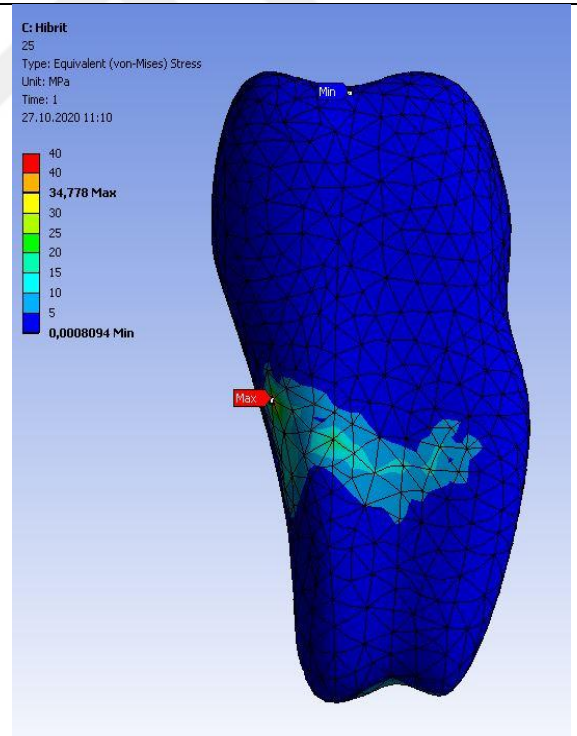
(g)



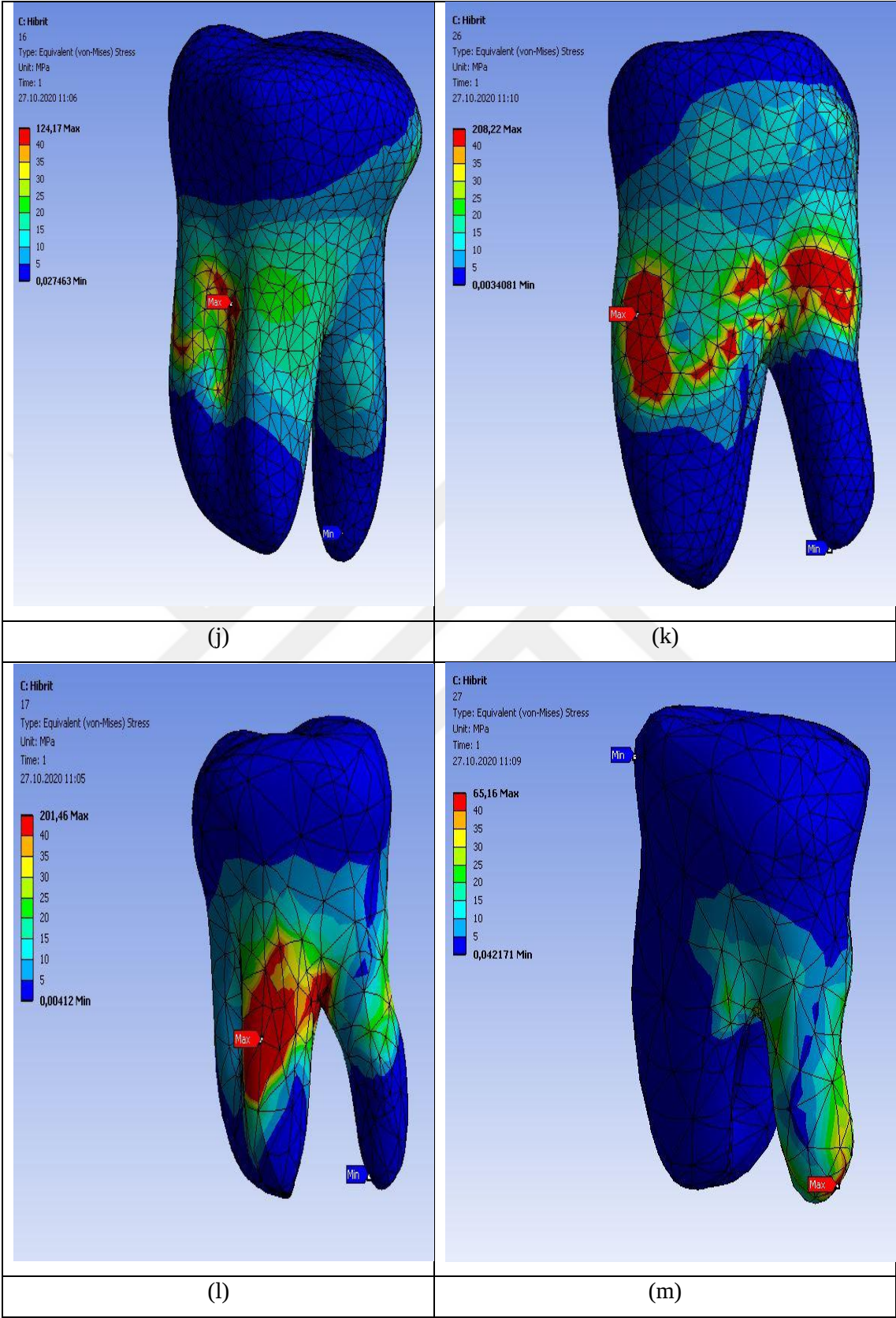
(h)

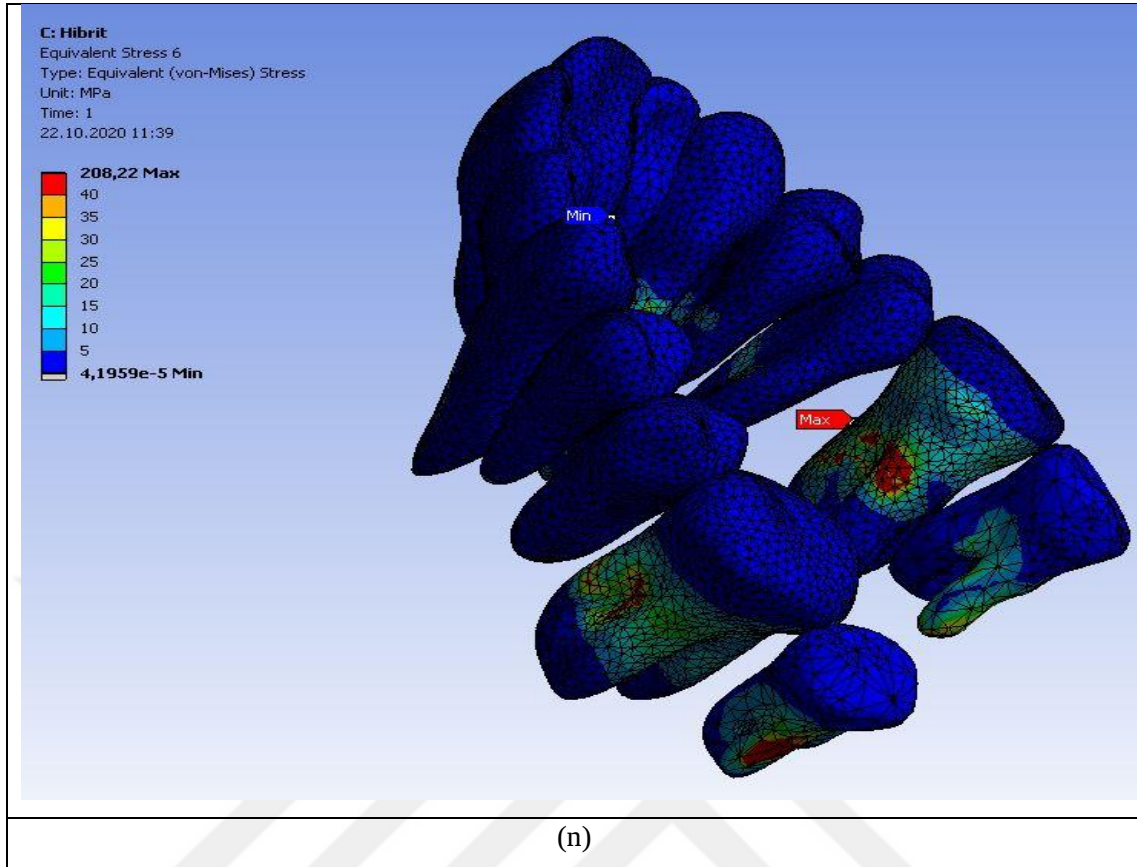


(i)



(i)





Şekil 4.12: Model 2C’de Dişlerde Oluşan Von Mises Stresler (MPa). (a), 11 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (b), 21 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (c), 12 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (d) 22 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (e), 13 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (f), 23 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (g), 14 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (h), 24 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (i), 15 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (j), 25 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (k), 16 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (l), 26 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (m), 17 Nolu Dişte Oluşan Von Mises Stresler. (n), Diş Kapsinde Oluşan Streslerin Görünümü.

Tablo 4.1: Grup 1 ve Grup 2 Modellerinde Kemikte Oluşan Maksimum Gerilmelerin Von Mises Stres Değerleri (MPa)

	Grup 1			Grup 2		
	Diş Destekli Aparey (Model 1A)	Kemik Destekli Aparey (Model 1B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 1C)	Diş Destekli Aparey (Model 2A)	Kemik Destekli Aparey (Model 2B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 2C)
Maksimum Stres	1142.20	827.05	817.31	654.46	406.26	368.34

Tablo 4.2: Grup 1 ve Grup 2 Modellerinde Dişlerde Oluşan Maksimum Gerilmelerin Von Mises Stres Değerleri (MPa)

Diş Numarası	Grup 1			Grup 2		
	Diş Destekli Aparey (Model 1A)	Kemik Destekli Aparey (Model 1B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 1C)	Diş Destekli Aparey (Model 2A)	Kemik Destekli Aparey (Model 2B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 2C)
11	88.186	62.102	62.145	52.305	44.011	49.093
12	73.009	32.218	23.42	19.814	31.685	17.847
13	73.455	58.423	54.873	52.041	55.855	48.697
14	544.27	50.036	39.42	280.54	76.688	45.03
15	90.95	56.173	56.859	51.272	42.76	36.819
16	398.71	73.438	331.31	145.43	58.236	124.17
17	416.84	253.30	322.63	196.33	154.03	201.46
21	74.196	24.64	30.921	41.523	14.787	17.919
22	96.382	39.535	42.744	36.393	16.513	21.034
23	108.40	39.598	43.429	83.431	30.781	42.595
24	553.20	33.222	37.64	178.39	23.709	26.033
25	91.04	47.62	38.199	58.013	33.256	34.778
26	401.93	87.906	362.73	165.78	39.493	208.22
27	382.54	162.17	248.03	61.912	57.061	65.16

Tablo 4.3: Grup 1 ve Grup 2 Modellerde Dişlerde Oluşan Gerinim-Deformasyon Değerleri (%)

Diş Numarası	Grup 1			Grup 2		
	Diş Destekli Aparey (Model 1A)	Kemik Destekli Aparey (Model 1B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 1C)	Diş Destekli Aparey (Model 2A)	Kemik Destekli Aparey (Model 2B)	Hibrit Destekli Aparey (Model 2C)
11	0.0041	0.0033	0.0033	0.0032	0.0028	0.0029
12	0.0039	0.0019	0.0016	0.0013	0.0017	0.0011
13	0.0040	0.0047	0.0043	0.0036	0.0041	0.0034
14	0.0302	0.0038	0.0032	0.0152	0.0053	0.0031
15	0.0049	0.0036	0.0033	0.0032	0.0026	0.0025
16	0.0367	0.0052	0.0319	0.0093	0.0041	0.0079
17	0.0241	0.0172	0.0213	0.0149	0.0119	0.0154
21	0.0039	0.0017	0.0021	0.0024	0.0009	0.0013
22	0.0051	0.0026	0.0028	0.0025	0.0013	0.0016
23	0.0056	0.0024	0.0026	0.0052	0.0016	0.0022
24	0.0284	0.0020	0.0024	0.0123	0.0014	0.0019
25	0.0049	0.0031	0.0026	0.0031	0.0018	0.0019
26	0.0217	0.0056	0.0221	0.0085	0.0026	0.0107
27	0.0247	0.0119	0.0179	0.0038	0.0035	0.0039

4.7. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmamızda Grup 1 modelleri 1A, 1B ve 1C’de pterygoid çıkıntılar ayrılmadığı için maksillada “V” şeklinde açılma görülmüş ve posterior bölgede daha fazla stres oluşmuştur. Grup 2 modelleri olan 2A,2B ve 2C’de ise pterygoid çıkıntılar ayrıldığı için maksillada paralel bir açılma gerçekleşmiştir ve posterior bölgedeki stresler Grup 1 modellerinden anlamlı derecede azdır (Tablo 4.2).

Maksillada 1mm genişletme yapabilmek için en fazla kuvvet pterygoid çıkıntılarının ayrılmadığı kemik destekli aparey kullanılan model 1B’de gerekmiştir. Daha sonra hibrit modelin kullanıldığı model 1C’de, en az kuvvet ise pterygoid çıkıntılarının ayrıldığı diş destekli aparey kullanılan model 2A’da gerekmiştir. Genel olarak maksillada genişletme yapmak için pterygoid çıkıntılarının ayrılmadığı Grup 1 modellerinde Grup 2 modellerine göre daha fazla kuvvet gerekmiştir. Bununla birlikte maksiller genişletme sonrasında Grup 1 modellerinde, Grup 2 modellere göre daha fazla stres oluşmuştur. Hem Grup 1 hem de Grup 2 modellerde en fazla stres diş destekli aparey kullanılan modelde, en az stres ise hibrit aparey kullanılan modelde ölçülmüştür (Tablo 3.5).

Grup 2 modellerde Grup 1 modellere göre dişlerde daha az stres oluşmuştur. Dişlerde oluşan stresler en fazla diş destekli apareylerde oluşurken, hibrit apareyli modellerde kemik destekli aparey kullanılan modellerde oluşan streslere yakın olmakla birlikte genellikle daha fazladır. Hibrit destekli aparey kullanılan modellerde özellikle santral ve molar dişler bölgesinde kemik destekli aparey kullanılan modellerden belirgin olarak daha yüksek stres ölçülmüştür (Tablo 4.2). Tablo 4.3’te yer alan dişlerde gerinim-deformasyon değerleri de bu sonuçlar ile uyumludur.

Dişlerde olduğu gibi maksiller kemikte de Grup 2 modellerde Grup 1 modellere göre daha az stres oluşmuştur. En fazla stres pterygoid çıkıntılarının ayrılmadığı diş destekli aparey kullanılan model 1A’da meydana gelirken, en az stres pterygoid çıkıntılarının ayrıldığı hibrit destekli aparey kullanılan model 2C’de meydana gelmiştir. Her iki grup modellerinde de en fazla stres sırasıyla diş destekli aparey kullanılan modelde, kemik destekli aparey kullanılan modelde ve hibrit destekli aparey kullanılan modelde oluşmuştur (Tablo 4.1).

5. TARTIŞMA

Diş hekimliğinde ortodontinin yegâne amaçlarından biri uyumlu bir stomatognatik sistem oluşturmaktır. Erişkin bireylerde artan ortodontik tedavi talebi, iskeletsel maturasyon açısından tedaviyi daha güç hale getirmektedir. Bu hastaların önemli bir kısmında estetik problemler, dentofasiyal deformiteler ve solunum problemleri görülmektedir. Tüm bu sorunlar oklüzyonu etkilediği gibi aynı zamanda hastanın psikososyal hayatını da etkilemektedir⁴⁵.

Maksiller anomaliler; vertikal, antero-posterior ve transvers yönde olmak üzere sınıflandırılırlar. Maksillanın transvers anomalilerinden biri olan transvers maksiller yetmezliğin tedavisi, ortodontinin güncelliğini koruyan ve literatürde sıklıkla incelenen en önemli konularındandır. Ortodontide yaygın görülen bir anomali olan TMY, çapraz kapanış gibi oklüzal düzensizlikler oluşturduğundan temporomandibular eklem rahatsızlıklarına da yol açabilmektedir. Ayrıca bu hastalarda nazal kavitenin daralmasına bağlı ağız solunumu da görülebilmektedir. Pediatrik hasta grubunda ortodontik genişletme TMY tedavisi için yeterli olurken; erişkin ve genç erişkinlerde cerrahi müdahaleye gereksinim duyulmaktadır. Gereken genişletme miktarı az ise Le Fort I operasyonu yeterliyken daha fazla genişletme gerekiyor ise ortodontik genişletme apareyi ile birlikte SARME operasyonu gerçekleştirilmeli ve Ilizarov'un distaksiyon ilkelerine uygun şekilde aparey her gün aktive edilerek midpalatal suturanın açılması sağlanmalıdır^{5,42, 49,64,66,73,75,78,115}.

Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda çoğu araştırmacı RME ile maksillada "V" şeklinde açılma gerçekleştiği, molar dişler arasında kanin dişler arasına göre dişsel olarak daha fazla genişleme olduğu ve nüksün ise genellikle kanin veya premolar bölgesinde fazla olduğu konusunda hemfikirdirler^{35,129}.

Handelman ve ark.'nın 2000 yılında yaptıkları çalışmada genç ve yaşlı hasta gruplarında RME sonuçları karşılaştırılmış ve iskeletsel genişleme genç hasta grubunda yaklaşık %56 iken yaşlı hasta grubunda yalnızca %18 olarak bulunmuştur¹³⁰.

Baccetti ve ark.'nın 2001 yılında yaptıkları çalışmada iskeletsel olgunlaşmanın pik evresinden önce RME tedavisi uygulanan hasta grubunda 3 mm iskeletsel genişletme elde edilirken iskeletsel olgunlaşmanın pik evresinde veya sonrasında RME tedavisi uygulanan hasta grubunda yalnızca 0.9 mm iskeletsel genişleme elde edilmiştir¹³¹.

İskeletsel olgunluğa erişmiş bireylerde uygulanan RME tedavisinin iskeletsel genişlemeden ziyade dentoalveolar genişleme yaptığı düşünülmektedir. Fazla dişsel hareketin getirdiği periodontal geri dönüşümsüz hasarlar düşünüldüğünde bu hastaların SARME adayı olması gerekmektedir¹³².

Jensen ve ark.'nın 2015 yılında yaptığı çalışmada, SARME operasyonu ve ortodontik aparey ile yapılan genişletmenin iskeletsel maturasyona ulaşmış hastalarda daha stabil sonuçlar sağlayarak transvers nüksü minimize ettiği bulunmuştur. Literatürde ayrıca yapılan çalışmalarda SARME operasyonu uygulanan olgularda nüks oranı 28 aylık takipte ortalama %8-14 arası ve molar bölgede %11 bulunmuşken; segmental Le Fort osteotomisinde 8 aylık takipte molar bölgede %49 olarak bulunmuştur⁸⁷.

Chamberland ve Proffit'in 2008 yılında yaptıkları çalışmada ise bu çalışmalardan farklı olarak SARME sonrası elde edilen iskeletsel genişlemenin üçte ikisinin kalıcı olduğu ve postoperatif stabilizasyon açısından SARME ile segmental Le Fort operasyonu arasında önemli ölçüde bir farklılık olmadığı bulunmuştur. Araştırmacılar, stabilizasyon açısından tercih sebebi olmadığını düşündükleri SARME operasyonunun sadece transvers genişletme gereken olgularda tercih edilebileceğini düşünmekteyken; maksillanın antero-posterior veya vertikal yönde yeniden konumlandırılması gereken durumlarda segmental Le Fort'un SARME'ye tercih edilebileceğini belirtmişlerdir¹³².

Marchetti ve ark.'nın 2008 yılında yaptıkları çalışmada 20 hastanın yarısında Le Fort I operasyonu, diğer yarısında SARME operasyonu uygulanmış ve 2 yıl sonra stabilite açısından sonuçlar interkanin ve intermolar mesafeler ölçülerek karşılaştırılmıştır. SARME uygulanan hastalarda kaninler arası mesafede %29, molarlar arası mesafede %36 oranında relaps görülürken; Le Fort I uygulanan hastalarda kaninler arası mesafede %25, molarlar arası mesafede %20 oranında relaps görülmüştür. İki grupta da relaps yüksek oranda görülmesine rağmen SARME uygulanan hastalarda daha fazla bulunmuştur. Araştırmacılar operasyon esnasında ileride oluşacak relapsı da düşünerek fazladan genişletme yapılmasını önermişlerdir¹³³.

Gogna ve ark.'nın 2020 yılında SARME stabilizasyonunu değerlendirmek için yaptıkları sistematik derlemede 510 çalışma incelenmiş ve bunlardan 15'i dahil edilmiştir. Kullanılan ortodontik apareyin stabilite üzerindeki etkisi dikkate alınmadan, SARME ile elde edilen genişlik kaninler arasında 4-6 mm, molarlar arasında 6-8,9 mm

ve iskeletsel olarak 2,3-3,1 mm bulunurken; nüks oranı kaninler arasında 0.1-2,3 mm, molarlar arasında 0.2-3 mm ve iskeletsel olarak 0-1,8 mm bulunmuştur¹³⁴.

Cerrahi destekli genişletmede midpalatal osteotomiyi ilk olarak tanımlayan ve midpalatal suturun maksillanın genişlemeye en dirençli bölgesi olduğunu iddia eden Brown'un aksine çoğu araştırmacı, pterygomaksiller kompleksin daha önemli olduğunu düşünmektedir¹³⁵. Betts 1995 yılında yayınlanan çalışmasında ideal genişletme tedavisinin uygulanabilmesi için pterygoid çıkıntıların serbestlenmesi gerektiğini belirtmiştir^{4,21}. Zemann ve ark.'nın 2009 yılında yaptıkları çalışmada SARME operasyonunda midpalatal osteotomi uygulanmış ve bunun maksilla için daha uygun bir genişleme sağlamakla birlikte literatüre göre daha az tipping olduğu bildirilmiştir¹³⁵. Bizim çalışmamızda sanal modellerde SARME operasyonu kesileri oluşturulurken midpalatal osteotomi ve zigomatik buttresslerde lateral kortikotomi her iki grup modellerine uygulanırken pterygoid çıkıntıların ayrılması işlemi yalnızca Grup 2 modellerine uygulanmış ve Grup 1 modelleri ile kıyaslanmıştır. Pterygoid çıkıntıların ayrıldığı modellerde maksilla ve dişlere gelen stresler anlamlı derecede az bulunmuştur.

Sant'Ana ve ark.'nın 2016 yılında yaptıkları çalışmada 24 hastaya SARME uygulanmış ve bu hastalardan 14'üne midpalatal osteotomi uygulanırken diğer 10 hastaya uygulanmamıştır. Midpalatal osteotomi sonuç olarak daha etkili bulunmuştur. Ayrıca midpalatal osteotomi yapılmayan grupta postoperatif dönemde cihazın aktivasyonu esnasında daha fazla ağrı görülmüştür⁹.

Betts ve Ziccardi, SARME operasyonunda midpalatal osteotomi ve apertura piriformisten pterygoidlere uzanan lateral kortikotomi yapılmasını ve ayrıca nazal septum ile pterygoid çıkıntıların da serbestleştirilmesini önermişlerdir. Lehman ve ark., ise palatal spliti önermeyip zigomatik buttresste lateral kortikotominin yeterli olduğunu savunmuştur³.

Han ve ark.'nın 2009 yılında yaptıkları çalışmada SARME uygulanan hastalarda çeşitli cerrahi teknikler kullanılarak maksillada oluşan stresler FEM ile ölçülmüştür. Pterygomaksiller çıkıntıların ayrıldığı grupta daha fazla genişleme ve daha az stres oluşumu görülmüştür¹⁶.

Kılıç ve ark.'nın 2013 yılında yaptıkları retrospektif çalışmada SARME operasyonu uyguladıkları hastaların bir kısmında pterygoid çıkıntıları ayırmamışken diğer kısmında ayırıp mevcut sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda

pterygoidlerin ayrıldığı ve ayrılmadığı iki grubun da dental ve iskeletsel genişlemede etkili olduğu bulunmuştur. Ptergoidlerin ayrıldığı grupta en fazla genişleme premolar dişler bölgesinde görülürken pterygoidlerin ayrılmadığı grupta molar dişler bölgesinde görülmüştür. Bununla birlikte molar dişlerde tipping en fazla ptergoidlerin ayrılmadığı grupta bulunmuştur³.

Sygouros ve ark.'nın 2014 yılında yaptıkları çalışmada Türkiye'de SARME operasyonu geçiren 20 hastanın bir kısmında pterygoid çıkıntılar ayrılmış, diğer kısmında ayrılmamıştır ve sonuçlar postoperatif üçüncü ile altıncı ayın sonunda CBCT ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda SARME operasyonunun pterygoid çıkıntılarının ayrılıp ayrılmamasından bağımsız olarak başarılı bir teknik olduğu belirtilmiş ancak periodontal problemlili hastalarda ayrılması tavsiye edilmiştir¹².

De Gijt ve ark.'nın 2016 yılında yaptıkları çalışmada SARME sonrası 6,5 yıllık kontrolde pterygoid çıkıntılarının ayrıldığı hastalarda maksillada daha paralel bir genişleme olduğu görülmüştür. Çalışmada SARME tedavisinin sonuçları, uzun dönemde de hem dişsel hem de iskeletsel olarak oldukça stabil bulunmuştur. Ayrıca diş destekli ve kemik destekli aparey kullanılan bireyler arasında stabilite açısından bir fark bulunmamıştır. Bununla birlikte araştırmacılar dişlerde periodontal problemler, kısa kökler veya diş destekli apareyin yerleşemeyeceği derecede dar damak yapısı varlığında kemik destekli aparey kullanımını önermişlerdir³⁷.

Carvalho ve ark.'nın 2019 yılında yaptıkları ve SARME operasyonunun komplikasyonlarını anlatan sistematik derlemede ise, pterygoid çıkıntılarının ayrılmasının major komplikasyonlarının yanında pterygoid çıkıntılar ayrılmadan gerçekleştirilen SARME operasyonlarında ise oluşan strese bağlı minör komplikasyon görülme oranının arttığı bulunmuştur⁸⁰.

Yapılan bazı çalışmalarda ise SARME cerrahisinde pterygoidlerin ayrıldığı ve ayrılmadığı durumlarda sonuçların stabilitesi açısından pek fark olmadığı bulunmuştur^{3,12,45,79,82}. Bununla birlikte pterygoid çıkıntılarının ayrılması kafa kaidesinde kırık, internal maksiller arter veya venöz pleksusta hemoraji gibi önemli major komplikasyonları beraberinde getirmektedir^{7,19,82,136}. Bu sebeple literatürde bazı araştırmacılar pterygoid çıkıntılarının ayrılmasını önerirken bazı araştırmacılar pterygomaksiller plaklarda fraktürden kaçınmak için önermemişlerdir^{3,17,28,37,79}.

TMY tedavisinde erken yaşlarda oldukça başarı ile uygulanan RME ile daha ileri dönemde uygulanan SARME operasyonlarında kullanılan farklı aparey türleri ve tedavi protokolleri mevcuttur. En sık kullanılan apareyler olan diş destekli apareylerin dişlere uyguladığı mekanik stres ve komplikasyonlarının yanı sıra midpalatal hattı açabilmesi için oldukça fazla kuvvet gereklidir. 1980'li yıllardan itibaren dişlerde tipping oluşumunun önlenmesi için iskeletsel ankraj kavramı öne çıkmıştır. Araştırmacılar diş destekli apareylerin komplikasyonlarından kaçınmak için palatal kemiğe doğrudan kuvvet ileten dört mini vida içeren kemik destekli apareyleri geliştirmişlerdir. Kemik destekli apareylerin ana avantajı dişsel hareket olmadan daha fazla iskeletsel etki oluşturabilmesidir. Kemik destekli apareyler üzerinde yapılan araştırmalara göre kemik stimülasyonun gerilmeden çok gerinimle alakalı olduğu bulunmuştur. Wolffs Kanunu'na göre 50 $\mu\epsilon$ altındaki gerinimler kemiğin yeniden şekillenmesinin başladığı minimum etkili gerinimdir. 1500 $\mu\epsilon$ 'nin üzerindeki gerinimler kemiğe gelecek hasarları engellemeyi amaçlayan lamellar kemik şekillenmesini indükler. 3000 $\mu\epsilon$ 'nin üzerindeki gerinimler kemikte mikro hasarı artırırken 25000 $\mu\epsilon$ civarındaki gerinimler ise kemikte kırık meydana getirmektedir. Daha sonradan geliştirilen hibrit apareyler ise anteriorda kemikten ankraj alan iki mini vida ve posteriorda molar dişlerden ankraj alan iki banttan oluşmaktadır. Hibrit apareylerde de molar tipping görülse de premolar dişlerde de tippinge yol açan diş destekli apareye göre diş hareketi açısından, kemik rezorbsiyonu açısından da kemik destekli apareylere göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Diş destekli apareyler dişlerde tipping, periodontal hasar, dişeti çekilmesi, kök rezorbsiyonu, kemikte fenestrasyon ve diş kaybı riski gibi dezavantajlara sahipken; kemik destekli apareyler tek noktadan kemiğe adapte olduğundan dişlerde rotasyon, asimetrik genişleme, dar damaklara yerleştirilememesi, çıkarılması için tekrar cerrahi operasyon gerektirmesi, yara iyileşmesinin daha güç olması, enfeksiyon riskinin fazla olması, yerleştirilme süresinin daha uzun olması ve maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptir^{37,48}. Hibrit apareyler ise bu iki apareyin kombinasyonu olduğundan her iki grubun dezavantajlarını da içerdiği düşünülebilir. Kemik destekli ve hibrit apareylerin kullanımı henüz yaygınlaşmasa da günümüzde bu apareylerin klasik diş destekli apareye göre avantajlarını ortaya koymaya çalışan çok sayıda çalışma yapılmaktadır^{5,15,37,40,47,48,63,66,70,71,76,83,123,129,138-140,143}.

Koudstaal ve ark.'nın 2009 yılında yaptıkları çalışmada SARME uygulanan 46 hastanın bir kısmında diş destekli, diğer kısmında ise kemik destekli aparey

kullanılmıştır. 12 aylık takip sonucunda iki aparey grubu arasında stabilite, tipping ve relaps açısından anlamlı bir farklılık bulunamamıştır⁵.

Verstraeten ve ark.'nın 2010 yılında yaptıkları sistematik derlemede kemik destekli aparey kullanılan SARME uygulamalarında diş destekli aparey kullanılan uygulamalara göre ankraj alınan dişlerde daha az bukkal tipping görülebileceği konusunda, beklenenin aksine zayıf kanıtlar olduğu öne sürülmüştür¹⁴⁰.

Kunz ve ark.'nın 2016 yılında yaptıkları çalışmada SARME uygulanan 28 hastanın 12'sine diş destekli aparey 16'sına kemik destekli aparey uygulanmıştır. Araştırmacılar, diş destekli aparey seçiminin paralel genişleme elde edilmesi isteniyor ise tercih edilebilecekken; kemik destekli aparey seçiminin ise anteriorda daha fazla genişlik sağlayan "V" şeklinde genişleme elde edilmek istendiğinde tercih edilebileceğini belirtmişlerdir⁴⁶.

Khosravi ve ark.'nın 2019 yılında yaptıkları, RME ve SARME uygulanmış bireylerde diş destekli ve kemik destekli apareyleri karşılaştıran sistematik derlemede 713 çalışma incelenmiş ve kriterlerine uygun olarak 289 bireyde uygulanmış sekiz çalışma dahil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda hem RME hem de SARME olgularında kemik destekli apareylerin diş destekli apareylere maksiller genişleme, ağrı, tipping ve stabilite açısından anlamlı bir üstünlüğü bulunmamıştır. Bununla birlikte araştırmacılar kemik destekli apareylerin kullanımını; posterior dişlerin kalıcı eksikliğinde, periodontal/endodontal sorunlu dişlerin varlığında ve dental genişlemeden çok iskeletsel genişleme planlandığında önermişlerdir⁴⁸.

Bazargani ve ark.'nın 2020 yılında yaptıkları çalışmada RME uyguladıkları 9,3-9,5 yaş aralığındaki çocuklarda diş destekli ve hibrit destekli apareylerin dental ve iskeletsel etkilerini bir yıl boyunca incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda midpalatal suturdaki iskeletsel genişleme hibrit apareyde daha yüksek bulunmasına rağmen iki grup arasında klinik bir farklılık bulunmamıştır. Bir yılın sonunda dental genişleme ve tipping açısından iki grup arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Araştırmacılar preadölesan dönemde RME'de diş destekli apareyi önermekle birlikte hibrit destekli apareyin üst solunum yolunun genişletilmesinde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir¹⁴¹.

Munoz-Pereira ile ark.'nın 2021 yılında yaptıkları sistematik derlemede SARME uygulanan 46 makale incelenmiş; diş destekli, kemik destekli ile hibrit destekli apareyler stabilite ve komplikasyonlar açısından değerlendirilmiştir. En yaygın görülen

komplikasyon olan kemik rezorbsiyonu en çok diş destekli apareylerde, apareye bağlı komplikasyonlar ise en çok kemik destekli apareylerde görülmüştür. Diş destekli apareylerin nüks oranı kaninler arası genişlikte %4-35, premolarlar arasında %1-37 ve molarlar arasında %0,2-49,5 olarak bulunmuştur. Kemik destekli apareylerin nüks oranı kaninler arası genişlikte %1,7-21, premolarlar arasında %1,5 ve molarlar arasında %4,6-11,5 olarak bulunmuştur. Hibrit apareylerde ise yalnızca premolarlar arasında belirtilen nüks oranı %14 olarak kemik destekli apareylerden yüksek bulunmuştur. Çalışmalarda, SARME operasyonu uygulanan hastalarda kullanılan diş destekli apareylerde nüks oranı kemik destekli apareylere göre daha fazla bulunmuş olsa da hem diş destekli hem de kemik destekli apareylerin stabilitesinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Kemik destekli apareylerin relaps oranının daha düşük olması kuvvetlerin daha paralel dağılmasına bağlanmıştır. Derlemede hibrit apareylerle ilgili sınırlı bilgi bulunmaktadır¹⁴².

Barone ve ark.'nın 2020 yılında yaptığı çalışmada pterygoid çıkıntılar ayrılmadan SARME operasyonu yapılan yirmi dört hastanın yarısında diş destekli diğer yarısında ise kemik destekli aparey kullanılmıştır. Bir yıl sonra interdental ve intergingival noktalar arasındaki değişim ölçülmüş ve istatistiksel analizle hangi aparey türünün maksiller genişletme ile uzun dönem stabilite için daha etkili olduğu belirlenmiştir. İki grupta da günlük 1 mm açılma amaçlanmış ve diş destekli aparey sabah ile akşam yarım tur olmak üzere günde 1 tur çevrilirken; kemik destekli aparey 3 tur çevrilmiştir. Çalışmanın sonucunda diş destekli apareylerin maksillanın posterior bölge darlıklarında, kemik destekli apareylerin ise maksillanın anterior bölge darlıklarında daha etkili olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte iki aparey türünün de güvenli olduğu ve cerrahi prosedüre uzun dönem stabilite sağladığı düşünülmektedir⁴⁵. Biz çalışmamızda SARME operasyonunu modellerde pterygoid çıkıntıların ayrıldığı ve ayrılmadığı olarak iki şekilde gerçekleştirdik. Pterygoid çıkıntıların ayrıldığı ve ayrılmadığı her iki modelde de maksillayı 1 mm genişletmek için gereken kuvvetler uygulandığında diş destekli apareylerin kemik destekli apareylere göre dişlere ve kemiğe daha fazla stres uyguladığı görülmüştür. Ayrıca pterygoid çıkıntılar ayrıldığında kemiğe ve dişlere gelen stresler anlamlı ölçüde azalmıştır. Barone ve ark.'nın diş destekli apareyi posterior bölgede kemik destekli apareyden daha etkin bulma nedeni; pterygoid çıkıntılar ayrılmadığı için kemik destekli aparey sınırlı açılım sağlarken diş destekli apareyin tipping ile interdental-intergingival noktalar arasında daha fazla mesafe oluşturmuş olması olabilir.

Oral kavite oldukça karmaşık bir biyomekanik yapıya sahiptir. Diş hekimliğinde canlı dokulara gelen kuvvet ve streslerin ölçülebilmesi, dokuların bunun karşısında nasıl tepki vereceğinin klinik olarak tespiti karmaşık yapı ve canlı organizmaya girişimin sınırlılığı sebebiyle neredeyse imkansızdır. Bu sebeple canlı dokuların modellenip gerekli kuvvetlerin invitro olarak uygulanması ve streslerin çeşitli analiz yöntemleriyle güvenle ölçülmesi tercih edilmeye başlanmıştır^{88,89,93}. Biyomekanik, diş hekimliğinde sadece kırılma direncini ve başarısızlık durumlarını incelemekle kalmaz; aynı zamanda oral yapıların birbiri ile ilişkisinin ve stresler altında dokuların tepkisinin de anlaşılmasını sağlar. Bu ilişkiler biyomekanikte karmaşık denklemlerle ifade edilmektedir ve çözümünde sayısal analiz programları kullanılmaktadır. Bunlardan biri olan sonlu eleman analizi; karmaşık yapılarda klinik olarak ayrı ölçülemeyen her bir parametreyi izole etmeye, bu parametrelerin bütüne olan etkilerini ölçmeye ve mekanik bir uyarana maruz kaldığında nasıl davrandığını değerlendirmeye yardımcı olur. Elde edilen bu verilerle, uyarın ile yapı arasındaki ilişkiyi anlamak ve geliştirmek mümkün olabilir. 1950'li yıllardan günümüze bilgisayar biliminin gelişmesiyle sonlu elemanlar analizi daha etkin kullanılabilmiştir. Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi, diş hekimliğinde ilk olarak 1960'lı yıllarda bir diş modelinin oluşturulmasıyla kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yıllarda ise Farah ve ark.'nın yaptığı araştırmalar ile alanımızda kullanımının önü açılmış ve günümüzde ise sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır^{88,143}. FEM, şimdiye dek birçok diş hekimliği çalışmasında etkin olarak kullanılmış ve ağız sağlığının korunmasına katkıda bulunmuştur. Ancak tüm avantajlarına rağmen FEM sonuçları laboratuvar sonuçlarının yerini alamaz ve sonuçların kanıtlanması için laboratuvar çalışmaları gereklidir. FEM çalışmaları klinik çalışmalar öncesinde olası hataları tespit etmek ve standardizasyon protokollerini belirlemek için kullanılabilir^{97,103,124,144}. Maksiller genişletme tedavisinde uygulanan FEM analizi ile elde edilen sonuçlar, tedaviyi optimize etmeye ve tedavi esnasında oluşabilecek istenmeyen etkileri azaltmaya yardımcı olabilir.

Sonlu eleman analizinde maksiller kemiğin ve dişlerin biyomekanik özelliklerini young modülü ve poisson oranı göstermektedir. Kortikal kemiğin young modülü insan omurları üzerinde yapılan bir kompresyon testi baz alındığında 13700 MPa olarak bulunmuştur. Ancak kompresyon testleri materyalin konumlandırılmasından oldukça etkilenmektedir. Rho tarafından 1993 yılında yapılan ultrasonik ölçümlü çalışmada kortikal kemiğin young modülü 20,700 MPa ve poisson oranı 0.3 olarak bulunmuştur^{114,143}. Bununla birlikte, Dogru ve Cansiz ve ark.'nın 2018 yılında yaptıkları

derlemede sonlu eleman analizi uygulanan kemik ve dişlerin young modülü ve poisson oranının literatürde oldukça değişkenlik gösterdiği görülmüştür¹¹⁹.

Tehranchi ve ark.'nın 2013 yılında yaptıkları çalışmada diş destekli ve kemik destekli ortodontik apareyler kullanarak gerçekleştirilen SARME operasyonu sonrası oluşacak dişsel ve iskeletsel değişiklikler FEM ile karşılaştırılmıştır. Bilgisayarlı tomografi ile elde edilen modelde kemik destekli apareylerin diş destekli apareylere göre her aparey pozisyonunda dahi daha fazla iskeletsel etki gösterdiği ve buna karşılık periodontal ligamentte görülen Von Mises streslerde %95 oranında azalma olduğu bulunmuştur. Ayrıca maksilla modellerindeki dişsel olarak genişleme posterior bölgede anterior bölgeden daha fazla olmuş ve “V” şeklinde bir genişleme görülmüştür. Bu çalışmada olduğu gibi bizim çalışmamızda da dişsel yer değiştirme yani deformasyonların en fazla molar dişler ve diş destekli aparey kullanılan modellerde 1.premolar dişlerde, en az ise santral dişlerde olduğu görülmüştür¹²⁹.

Matteini ve ark.'nın 2001 yılında yaptıkları çalışmada kemik destekli aparey olan transpalatal distraktör kullanılmış ve pterygoid çıkıntılar da ayrılmıştır. Çalışmanın sonucunda maksillada paralel bir genişleme elde etmişlerdir¹⁴.

Lee ve ark., 2014 yılında yaptıkları çalışmada kemik destekli aparey kullanılacak ise midpalatal suturanın cerrahi olarak ayrılmasını önermişlerdir. Çalışmada kortikal kemiğin poisson oranı bizim çalışmamızdaki gibi 0.3 olarak alınmışken, young modülü 13,700 MPa olarak alınmıştır¹⁴⁵.

De Assis ve ark.'nın 2014 yılında yaptıkları çalışmada farklı cerrahi osteotomi teknikleriyle SARME gerçekleştirdikleri sanal modellerde oluşan stresleri ölçmek için FEM kullanmışlardır. Tüm kemiğin kortikal olarak alındığı ve spongioz kemiğin ihmal edildiği çalışmanın sonucunda pterygoid çıkıntıların ayrıldığı modellerde bizim çalışmamızda olduğu gibi stresler anlamlı derecede az bulunmuştur. Bu çalışmada bizim çalışmamızda olduğu gibi tamamen kortikal alınan kemiğin ve dişin young modülünü sırayla 17,500 ve 20,000 MPa; poisson oranını 0.3 olarak almıştır¹.

Mathew ve ark.'nın 2016 yılında yaptıkları çalışmada tek taraflı dudak-damak yarıklı hastanın üç boyutlu modelinde diş destekli hyrax ve kemik destekli aparey kullanmıştır. Sonlu eleman analiziyle yarık bölgesinde ve diğer bölgelerde oluşan stresi ölçen çalışmalarında bizim çalışmamızın aksine kemik destekli apareyin diş destekli apareyden daha fazla stres oluşturduğunu bulmuşlardır. Mathew ve ark., çalışmasında

maksiller kemiği kortikal ve kansellöz olarak ayırarak sonlu eleman analizi gerçekleştirmiştir. Bizim çalışmamızda ise maksilla tamamen kortikal olarak alınmıştır. Bu durum çalışmamızın limitasyonlarından biri olmakla birlikte çalışmamızda tek hastadan alınan tomografiden elde edilen bir modelde çeşitli kombinasyonlar yapılarak karşılaştırma yapıldığından sonucu etkilememiştir. Mathew ve ark., çalışmasında dişlerin ve kortikal kemiğin poisson oranını ve dişlerin young modülünü bizim çalışmamızdaki gibi almışken; kortikal kemiğin young modülünü bizim çalışmamızdaki gibi 17,500 MPa olarak değil, 13,700 MPa olarak almıştır¹⁴⁶.

Trojan ve ark.'nın 2016 yılında yaptıkları çalışmada RME yöntemiyle maksiller genişletme için kullanılan diş destekli ve kemik destekli apareyler FEM ile karşılaştırılmış ve kemik destekli apareylerin diş destekli apareylerden daha fazla gerilme oluşturduğu ancak daha etkili olduğu bulunmuştur. Çalışmada orta hattı 0,04 mm açabilmek için kemik destekli aparey bir tur çevrilirken, aynı oranda açılma sağlamak için diş destekli apareyin üç tur çevrilmesi gerekmiştir. Trojan ve ark.,'nın çalışmasında da dişlerin ve kortikal kemiğin poisson oranını ve dişlerin young modülünü bizim çalışmamızdaki gibi almışken; kortikal kemiğin young modülünü, 10,000 MPa olarak almıştır¹²⁴.

Bizim çalışmamızda kemik destekli apareylerin diş destekli apareylerden daha az stres oluşturduğu bulunsu da bu farklılığın çalışmamızdaki hastanın genç erişkin olup, RME'ye yanıt vermeyeceğinden SARME operasyonu ile maksiller ekspansiyonun desteklenmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bununla birlikte çalışmamızın limitasyonlarından biri de zaman kavramıdır. Çalışmamızda karşılaştırma yaparken SARME operasyonu sonrası apareylerin türüne göre orta hattı 1 mm genişletecek kuvvet bulunup uygulanmış ve bu durumda diş destekli apareylerin her durumda kemik ve dişlere daha fazla stres oluşturduğu bulunmuştur. Ancak kuvvetlerin zamana yayılımı ile kemikte ve dişlerde oluşabilecek streslerin değişip değişmeyeceği bilinmemektedir.

Möhlhenrich ve ark.'nın 2017 yılında yaptıkları çalışmada üç farklı cerrahi teknik ile iki farklı kemik destekli apareyi kombine edip FEM ile stres analizi yapmışlardır. Modellerde yalnızca midpalatal osteotomi, midpalatal osteotomi ve lateral kortikotomi veya midpalatal osteotomi, lateral kortikotomi ile pterygomaksiller çıkıntıların ayrılması işlemleri gerçekleştirilmiştir ve iki farklı kemik destekli aparey de kullanarak 6 model oluşturmuşlardır. Çalışmanın sonucunda bizim çalışmamızda olduğu gibi midpalatal

osteotomi, lateral kortikotomi ve pterygomaksiller çıkıntıların ayrıldığı grupta daha az stres ve daha paralel genişleme görülmüştür. Çalışmada kortikal kemik young modülü 17,000 MPa, poisson oranı 0.33 alınmıştır⁴¹.

Hoxha ve ark.'nın 2018 yılında yaptıkları çalışmada 12 yaşındaki bir hastanın tomografi görüntülerinden elde edilen üç boyutlu modelde kemik destekli ve hibrit destekli olmak üzere iki aparey kullanarak RME uygulayıp sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir. Yapıldığı zamanda literatürde hibrit destekli ve kemik destekli apareyleri kıyaslayan herhangi bir makale olmadığını belirten çalışmada hibrit destekli apareyin dişlere daha fazla kuvvet uyguladığı ve dişlerde daha fazla dişsel yer değiştirmeye sebep olduğu bulunmuştur. SARME uyguladığımız bizim çalışmamızda da hibrit apareyin kemiğe ve dişlere genel olarak kemik destekli apareye benzer ve zaman zaman bir miktar fazla stres oluşturmaya rağmen molar dişlerde belirgin olarak daha fazla stres oluşturduğu ve daha fazla dişsel harekete neden olduğu bulunmuştur¹⁴⁷. Çalışmamızda çoğu sonlu eleman analizi çalışmasında olduğu gibi kesi hatları oluşturulduğunda kemik fragmanları sanal ortamda birbirinden tamamen ayrılmış gibi streslere maruz kalmaktadır. Oysa klinik pratiğinde kesinin kemik bileşenleri ayrı olsa dahi periost ve yumuşak dokular veya kemiklerin bağlı bulunduğu diğer kemik yapıları bu bileşenleri bir arada tutmaya çalışmaktadır. Bu nedenle sanal ortamda hibrit destekli apareyler maksillaya kemik destekli apareylere benzer stresler uygulamış gibi bulunsa da klinikte kemik destekli apareyler kemiğe daha fazla stres oluşturabilmektedir.

Nowak ve ark.'nın 2021 yılında yaptıkları çalışmada çeşitli cerrahi tekniklerin kombinasyonu ile SARME uygulanan hastalarda, diş destekli ve kemik destekli apareylerin kullanımının yüz iskeletinde oluşturduğu stresler sonlu eleman analizi ile karşılaştırılmıştır. En fazla stres midpalatal suturun ayrılmadığı ve kemik destekli aparey kullanılan modelde görülürken; midpalatal suturun ayrıldığı modelde diş destekli ve kemik destekli apareyler arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ancak kemik destekli apareylerin diş destekli apareylere göre periodonsiyuma daha az yük oluşturduğu görülmüştür. Çalışmada kortikal kemiğin young modülü 13,700 MPa ve poisson oranı 0.26 alınırken; dişin young modülü minede 80,000 MPa, dentinde 20,000 MPa ve poisson oranı minede 0.26, dentinde 0.15 olarak alınmıştır²⁸.

Çalışmamızın limitasyonları yukarıda da bir kısmından bahsedildiği şekilde; kemiğin tamamen homojen kortikal olarak alınması, kortikal kemiğin kalınlığının

maksillanın her bölgesinde eşit olarak alınması, periodontal ligamentin oluşturulmaması, zaman kavramına bağlı stres birikiminin değişebilirliği, kuvvetlerin dik olarak uygulanması ve apareyler sanal ortamda oluşturulmadığından aparey materyalinin yorgunluğuna bağlı kuvvet yönünün değişebilirliğidir⁶⁷. Çalışmamız karşılaştırmaya dayalı olduğundan limitasyonlardan etkilenmemiştir.

Transvers maksiller yetmezlik tedavisinde gerçekleştirilecek en başarılı cerrahi teknik ve en ideal apareyin seçimi konusunda şimdiye dek maalesef bir fikir birliğine varılamamıştır^{7,10,44,45,127,140}. Çalışmamızda bulduğumuz verilere göre SARME operasyonu uygulanan sanal modellerde, pterygoid çıkıntılar ayrıldığında maksillada paralel genişleme görülürken; ayrılmadığında maksillada “V” şeklinde genişleme görülmüştür. Pterygoid çıkıntılar ayrıldığında maksillanın posterior bölgesinde oluşan stresler, pterygoid çıkıntılarının ayrılmadığı modellere göre anlamlı derecede az bulunmuştur. Pterygoid çıkıntılarının ayrıldığı modellerde midpalatal suturun 1 mm açılabilmesi için gereken kuvvetler ayrılmayan modellere göre anlamlı derecede az bulunmuştur. Genel olarak, kemik destekli ve hibrit destekli aparey kullanılan modellerde midpalatal suturun 1 mm açılabilmesi için daha fazla kuvvet gerekse de çalışmanın sonucunda diş destekli apareylerde maksiller kemikte oluşan stresler kemik ve hibrit destekli apareylerden daha fazladır. Maksiller kemikte en az stres hibrit destekli apareylerde bulunmuştur. Dişlerde oluşan stresler en fazla diş destekli apareylerde bulunmuştur. Hibrit destekli apareylerin dişlerde oluşturduğu stresler ise kemik destekli apareylerde oldukça yakın olmakla birlikte genellikle daha fazladır. Dişlerde oluşan stresler beklenildiği üzere tüm gruplarda premolar ve molar dişlerde daha fazla bulunmuştur.

Sonuç olarak, SARME operasyonunun gerçekleştirildiği olgularda anatomiye uygun şekilde pterygoid çıkıntılarının ayrılması ve kemik destekli veya hibrit destekli bir aparey kullanılması kemiğe ve dişlere çok daha az stres oluşturacaktır. Hibrit destekli apareyler maksiller kemikte çok daha az stres oluşturduğu için ve dişlerde neredeyse kemik destekli aparey ile aynı ölçüde stres oluşturduğundan kemik destekli apareylere tercih edilebilir. Ancak posterior dişlerde periodontal problemlerin varlığında kemik destekli apareyler hibrit apareylere göre avantajlı olabilir. Literatürde pek çalışılmayan hibrit apareylerin kemiğe anlamlı derecede az stres oluşturması ve kemik destekli apareylere göre cerrahi tekniğinin daha kolay olması sebebiyle ilerleyen zamanlarda daha

popüler olacağı beklenmektedir. Dişlere çok fazla stres uygulayan ve günümüzde hala oldukça sık uygulanan diş destekli Hyrax vb. apareylerin, günümüz teknolojisinde cerrahi teknik ve materyallerin komplikasyon riskini azaltabilecek şekilde ne kadar geliştiği düşünülürse uygulanma kolaylığı dışında bir avantajı kalmamıştır. Literatürde SARME’de oluşan stresleri araştıran anlamlı sayıda FEM çalışması olsa da cerrahi tekniklerle üç ortodontik genişletme aparey tipini kombine ederek kıyaslayan bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca dişlere gelen stresleri detaylı şekilde gösteren çalışmalar da oldukça az sayıdadır. Biz, SARME operasyonlarında pterygoid çıkıntılarının ayrıldığı ve ayrılmadığı cerrahi teknikler ile üç ortodontik aparey türünü birlikte kullanarak FEM yöntemiyle kıyaslayan çalışmamız ile bu konuya katkı sağlamayı amaçladık. Toplumda yaygın görülen transvers maksiller yetmezliğin SARME ile tedavisinde, hastaya cerrahi olarak en atravmatik yöntemin ve ortodontik açıdan dişlerine en az zarar verecek apareyin kullanılması oldukça önemlidir. Bu konuya daha fazla katkı sağlayabilmek için tüm limitasyonların aşılabildiği daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. De Assis DSF, Xavier TA, Noritomi PY, Gonçalves ES. Finite Element Analysis of Bone Stress After SARPE. *J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2014. doi:10.1016/j.joms.2013.06.210
2. Goncales, ES, Polido W. Surgical and Orthodontic Treatment of Maxillary Transverse Deficiency. Concepts for The Oral and Maxillofacial Surgeon and Case Report. *Rev Inst Cien Saude*. 1998;16:55.
3. Kilic E, Kilic B, Kurt G, Sakin C, Alkan A. Effects of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion with and without Pterygomaxillary Disjunction on Dental and Skeletal Structures: A Retrospective Review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. Published online 2013. doi:10.1016/j.oooo.2012.02.026
4. Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, Higgins-Barber K, Fonseca RJ. Diagnosis and Treatment of Transverse Maxillary Deficiency. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. Published online 1995.
5. Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJM, Hop WCJ, van der Wal KGH. Stability, Tipping and Relapse of Bone-Borne Versus Tooth-Borne Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion; A Prospective Randomized Patient Trial. *Int J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2009. doi:10.1016/j.ijom.2009.02.012
6. Shetty V, Caridad J, Caputo AA, Chaconas SJ. Biomechanical Rationale For Surgical-Orthodontic Expansion of The Adult Maxilla. *J Oral Maxillofac Surg*. Published online 1994. doi:10.1016/0278-2391(94)90492-8
7. Suri L, Taneja P. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Literature Review. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2008. doi:10.1016/j.ajodo.2007.01.021
8. Persson M, Thilander B. Palatal Suture Closure in Man from 15 to 35 Years of Age. *Am J Orthod*. 1977;72(1):42-52.
9. Sant'Ana LFM, Pinzan-Vercelino CRM, Gurgel JA, Carvalho PSP. Evaluation of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion with and without Midpalatal Split. *Int J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2016. doi:10.1016/j.ijom.2016.03.005
10. Gunbay T, Akay MC, Gunbay S, Aras A, Koyuncu BÖ, Sezer B. Transpalatal Distraction Using Bone-Borne Distractor: Clinical Observations and Dental and Skeletal Changes. *J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2008. doi:10.1016/j.joms.2008.06.105
11. Coloccia G I, AD, Inchingolo AM MG, Montenegro V, Patano A M, G, Laudadio C, Limongelli L, Di Venere D et al. Effectiveness of Dental and Maxillary Transverse Changes in Tooth-Borne, Bone-Borne, and Hybrid Palatal Expansion through Cone-Beam Tomography: A Systematic Review of the Literature. *Medicina (B Aires)*. 2021;57(288).
12. Sygouros A, Motro M, Ugurlu F, Acar A. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: Cone-Beam Computed Tomography Evaluation of Different Surgical Techniques and Their Effects on The Maxillary Dentoskeletal Complex. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2014. doi:10.1016/j.ajodo.2014.08.013
13. Bell W, Epker B. Surgical-Orthodontic Expansion of The Maxilla. *Am J Orthod*.

1976;70(5):517–28.

14. Matteini C, Mommaerts MY. Posterior Transpalatal Distraction with Pterygoid Disjunction: A Short-Term Model Study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2001. doi:10.1067/mod.2001.118401
15. Seitz O, Landes CA, Philipp DJ, Sader R, Klein CM. Reliable Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion by Maxillary Widening Device. *J Craniofac Surg*. Published online 2008. doi:10.1097/SCS.0b013e31816ae424
16. Han UA, Kim Y, Park JU. Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Distribution and Displacement of The Maxilla Following Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. Published online 2009. doi:10.1016/j.jcms.2008.10.002
17. Esen A, Soganci E, Dolanmaz E DD. Evaluation of Stress by Finite Element Analysis of The Midface and Skull Base at The Time of Midpalatal Osteotomy in Models with or without Pterygomaxillary Dysjunction. *Br J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2017.
18. Pogrel MA, Kaban LB, Vargervik K, Baumrind S. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion in Adults. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. Published online 1992. doi:10.1002/9781119004370.ch36
19. Lanigan D, Mintz S. Complications of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: Review of The Literature and Report of A Case. *J Oral Maxillofac Surg*. 2002;60(1):104-110. doi:10.1053/joms.2002.29087
20. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: Midfacial and Cranial Stress Distribution. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2007. doi:10.1016/j.ajodo.2005.12.036
21. Jafari A, Shetty KS, Kumar M. Study of Stress Distribution and Displacement of Various Craniofacial Structures Following Application of Transverse Orthopedic Forces - A Three-Dimensional FEM Study. *Angle Orthod*. Published online 2003. doi:10.1043/0003-3219(2003)073<0012:SOSDAD>2.0.CO;2
22. Lotti, RS, Machado, AW, Mazzeiro, ET et al. Applicability of Finite Element Method. *Rev Dent Press Ortod Ortop Facial*. 2006;11:35.
23. Soriano RM, M Das J. *Anatomy, Head and Neck, Maxilla.*; 2019.
24. Singh V. *Textbook Of Anatomy Head, Neck And Brain*. 2th ed. Elsevier; 2014.
25. Arıncı K, Elhan A. *Anatomi*. Güneş Kitabevi; 2001.
26. Brennan PA, Mahadevan V, Evans BT. *Clinical Head and Neck Anatomy for Surgeons*. CRC Press; 2015. doi:10.1201/b19589
27. Fattahi T. Surgical Anatomy of the Maxillary Region. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. Published online 2007. doi:10.1016/j.cxom.2006.10.001
28. Nowak R, Olejnik A, Gerber H, Fratzczak R ZE. Comparison of Tooth- and Bone-Borne Appliances on the Stress Distributions and Displacement Patterns in the Facial Skeleton in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion—A Finite Element Analysis (FEA) Study. *Materials (Basel)*. 2021;14:1152.
29. Björk A, Skieller V. Growth of The Maxilla in Three Dimensions as Revealed

- Radiographically by The Implant Method. *Br J Orthod.* 1977;4(2):53-64. doi:10.1179/bjo.4.2.53
30. Iseri H, Solow B. Growth Displacement of The Maxilla in Girls Studied by The Implant Method. *Eur J Orthod.* 1990;12(4):389-398. doi:10.1093/ejo/12.4.389
 31. Iseri H, Solow B. Continued Eruption of Maxillary Incisors and First Molars in Girls from 9 to 25 Years, Studied by The Implant Method. *Eur J Orthod.* 1996;18(3):245-256. doi:10.1093/ejo/18.3.245
 32. Ülgen M. *Ortodonti, Anomaliler, Sefalometri, Etiyoloji, Büyüme ve Gelişim, Tanı.* Ankara Üniversitesi Basımevi; 2006.
 33. İşeri H. *Büyüme ve Gelişim Ders Notları.* Ankara Üniversitesi Ortodonti ABD.; 2010. <https://silo.tips/download/byme-ve-gelm-ders-notlari>
 34. Vandersea BA, Ruvo AT, Frost DE. Maxillary Transverse Deficiency - Surgical Alternatives to Management. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2007;19(3):351-368. doi:10.1016/j.coms.2007.04.007
 35. D'Souza IM, Kumar HCK, Shetty KS. Dental Arch Changes Associated with Rapid Maxillary Expansion: A Retrospective Model Analysis Study. *Contemp Clin Dent.* Published online 2015. doi:10.4103/0976-237X.149292
 36. Proffit WR, Fields HW, Larson BE, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics.* 6th ed.; 2019.
 37. De Gijt JP, Gül A, Tjoa STH, Wolvius EB, van der Wal KGH, Koudstaal MJ. Follow Up of Surgically-Assisted Rapid Maxillary Expansion After 6.5 Years: Skeletal and Dental Effects. *Br J Oral Maxillofac Surg.* Published online 2017. doi:10.1016/j.bjoms.2016.09.002
 38. Proffit W, Turvey T, Phillips C. Orthognathic Surgery: A Hierarchy of Stability. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1996;11(3):191–204.
 39. Jacobs JD, Bell WH, Williams CE, Kennedy JW. Control of The Transverse Dimension with Surgery and Orthodontics. *Am J Orthod.* 1980;77(3):284-306. doi:10.1016/0002-9416(80)90083-4
 40. Maciej D, Miśków K, Dowgierd K. Selected Palatal Suture Expansion Techniques in The Treatment of Transverse Maxillary Narrowings-Literature Review. *Polish Ann Med.* Published online 2013. doi:10.1016/j.poamed.2013.10.004
 41. Möhlhenrich SC, Modabber A, Kniha K, et al. Simulation of Three Surgical Techniques Combined with Two Different Bone-Borne Forces for Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion of The Maxillofacial Complex: A Finite Element Analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* Published online 2017. doi:10.1016/j.ijom.2017.05.015
 42. Jensen T, Rodrigo-Domingo M. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME) with or without Intraoperative Releasing of The Nasal Septum. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* Published online 2017. doi:10.1016/j.oooo.2016.10.003
 43. Park K-N, Lee CY, Park IY, Kim JY, Yang B. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion with Tent Screws and A Custom-Made Palatal Expander: A Case Report. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* Published online 2015.

doi:10.1186/s40902-015-0011-7

44. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Prahl-Andersen B, Schulten AJM. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME): A Review of The Literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2005. doi:10.1016/j.ijom.2005.04.025
45. Barone TR, Cahali MB, Vasconcelos C, Barone JR. A Comparison of Tooth-Borne and Bone-Anchored Expansion Devices in SARME. *Oral Maxillofac Surg*. Published online 2020. doi:10.1007/s10006-020-00837-8
46. Kunz F, Linz C, Baunach G, Böhm H, Meyer-Marcotty P. Expansion Patterns in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: Transpalatal Distractor Versus Hyrax Appliance. *J Orofac Orthop*. Published online 2016. doi:10.1007/s00056-016-0043-3
47. Bretos JLG, Pereira MD, Gomes HC, Toyama Hino C, Ferreira LM. Sagittal and Vertical Maxillary Effects After Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME) Using Haas and Hyrax Expanders. *J Craniofac Surg*. Published online 2007. doi:10.1097/scs.0b013e3180a772a3
48. Khosravi M, Ugolini A, Miresmaeili A, Mirzaei H, Shahidi-Zandi V, Soheilifar S et al. Tooth-borne versus Bone-borne Rapid Maxillary Expansion for Transverse Maxillary Deficiency: A Systematic Review. *Int Orthod*. 2019;17:425-436.
49. Lagravère MO, Carey JP, Heo G, Toogood RW, Major PW. Transverse, Vertical, and Anteroposterior Changes from Bone-Anchored Maxillary Expansion vs Traditional Rapid Maxillary Expansion: A Randomized Clinical Trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2010. doi:10.1016/j.ajodo.2009.10.004
50. Reyneke JP, Conley RS. Surgical/Orthodontic Correction of Transverse Maxillary Discrepancies. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2020;32(1):53-69. doi:10.1016/j.coms.2019.08.007
51. McNamara JA. Maxillary Transverse Deficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. Published online 2000. doi:10.1016/S0889-5406(00)70202-2
52. Reyneke. *Essentials of Orthognathic Surgery*. Quintessence Publishing Co, Inc.; 2003.
53. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces Produced by Rapid Maxillary Expansion- III. Forces Present During Retention. *Angle Orthod*. 1965;35:178-186. doi:10.1043/0003-3219(1965)035<0178:FPBRME>2.0.CO;2
54. Halicioglu K, Yavuz İ. Üst Çene Genişletmesinde Apareyler ve Felsefeler Literatür Derlemesi. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg*. Published online 2011:32-39.
55. Hicks EP. Slow Maxillary Expansion. A Clinical Study of The Skeletal Versus Dental Response to Low-Magnitude Force. *Am J Orthod*. 1978;73(2):121-141. doi:10.1016/0002-9416(78)90183-5
56. Darendeliler MA, Strahm C, Joho JP. Light Maxillary Expansion Forces with The Magnetic Expansion Device. A Preliminary Investigation. *Eur J Orthod*. 1994;16(6):479-490. doi:10.1093/ejo/16.6.479
57. Mossaz-joëls K, Mossaz CF. Slow Maxillary Expansion: A Comparison Between Banded and Bonded Appliances. *Eur J Orthod*. 1989;11(1):67-76.

doi:10.1093/oxfordjournals.ejo.a035967

58. Lagravère MO, Major PW, Flores-Mir C. Skeletal and Dental Changes with Fixed Slow Maxillary Expansion Treatment: A Systematic Review. *J Am Dent Assoc.* 2005;136(2):194-199. doi:10.14219/jada.archive.2005.0141
59. Agarwal A, Mathur R. Maxillary Expansion. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2010;3:139-146.
60. Mew J. Relapse Following Maxillary Expansion. *Am J Orthod.* 1983;83(1):56-61. doi:10.1016/0002-9416(83)90272-5
61. Hazar S, Sandıkçıoğlu M. Karışık Dişlenme Dönemindeki Posterior Çapraz Kapanış Olgularında Hızlı-Yarı Hızlı ve Yavaş Genişletme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi. *Türk Ortod Derg.* 1991;4(2):22-31.
62. Iseri H, Ozsoy S. Semirapid Maxillary Expansion - A Study of Long-Term Transverse Effects in Older Adolescents and Adults. *Angle Orthod.* 2004;74(1):71-78. doi:10.1043/0003-3219(2004)074<0071:SMESOL>2.0.CO;2
63. Ramoglu SI, Sari Z. Maxillary Expansion in The Mixed Dentition : Rapid or Semi-Rapid ? Published online 2009:1-8. doi:10.1093/ejo/cjp057
64. Hansen L, Tausche E, Harzer W, Hietschold V, Hotan T, Lagravère M. Skeletally-Anchored Rapid Maxillary Expansion Using The Dresden Distractor. *J Orofac Orthop.* Published online 2007. doi:10.1007/s00056-007-0643-z
65. Verquin M, Daems L, Politis C. Short-Term Complications After Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Retrospective Cohort Study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* Published online 2017. doi:10.1016/j.ijom.2016.11.016
66. Timms DJ. The Dawn of Rapid Maxillary Expansion. *Angle Orthod.* 1999;69(3):247-250. doi:10.1043/0003-3219(1999)069<0247:TDORME>2.3.CO;2
67. De la Iglesia G, Walter A, De la Iglesia F, Winsauer H PA. Stability of The Anterior Arm of Three Different Hyrax Hybrid Expanders: An in Vitro Study. *Dental Press J Orthod.* 2018;23(1):37-45. doi:10.1590/2177-6709.23.1.037-045.oar
68. Lines PA. Adult Rapid Maxillary Expansion with Corticotomy. *Am J Orthod.* 1975;67(1):44-56. doi:10.1016/0002-9416(75)90128-1
69. Altug Atac AT, Karasu HA, Aytac D. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion Compared with Orthopedic Rapid Maxillary Expansion. *Angle Orthod.* Published online 2006. doi:10.1043/0003-3219(2006)076[0353:SARMEC]2.0.CO;2
70. Goddard R, Witherow H. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE). *Br J Oral Maxillofac Surg.* Published online 2011. doi:10.1016/j.bjoms.2009.11.013
71. Akin M, Akgul Y, Ileri Z, Basciftci F. Three-Dimensional Evaluation of Hybrid Expander Appliances: A Pilot Study. *Angle Orthod.* 2016;86(1):81-86. doi:10.2319/121214-902.1
72. Szuhanek C, Nagib R, Sinescu C, et al. Orthodontic Mini-Implants Hybrid Expanders in Palatal Expansion. *Rev Chim.* 2018;69(7):1905-1906.

doi:10.37358/rc.18.7.6442

73. Lombardo L, Albertini P, Cervinara F, Brucculeri L, Siciliani G. Early Class III Treatment with Hybrid Rapid Palatal Expander Combined with Facemask. *Int Orthod*. 2020;18(3):624-635. doi:10.1016/j.ortho.2020.05.002
74. Haas AJ. Palatal Expansion: Just The Beginning of Dentofacial Orthopedics. *Am J Orthod*. 1970;57(3):219-255. doi:10.1016/0002-9416(70)90241-1
75. Kurt G, Altug AT, Turker G, Kilic B, Kilic E AA. Effects of Surgical and Nonsurgical Rapid Maxillary Expansion on Palatal Structures. *J Craniofac Surg*. Published online 2016.
76. Kayalar E, Schauseil M, Kuvat S, Emekli U, Firatli S. Comparison of Tooth-Borne and Hybrid Devices in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Randomized Clinical Cone-Beam Computed Tomography Study. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. 2016;44(3):285-293.
77. Betts NJ. Surgically Assisted Maxillary Expansion. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2016;24(1):67-77. doi:10.1016/j.cxom.2015.10.003
78. Hino CT, Pereira MD, Sobral CS, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse Effects of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Comparative Study Using Haas and Hyrax. *J Craniofac Surg*. Published online 2008. doi:10.1097/SCS.0b013e31816aaa91
79. Bortolotti F, Solidoro L, Bartolucci ML, Parenti SI, Paganelli C A-BG. Skeletal and Dental Effects of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Eur J Orthod*. Published online 2019:1-7.
80. Carvalho PHA, Moura LB, Trento GS, Holzinger D, Gabrielli MAC, Gabrielli MFR PFV. Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Systematic Review of Complications. *Int J Oral Maxillofac*. Published online 2019.
81. Turvey T, Scardtsacco D. *Oral and Maxillofacial Surgery: Orthognathic Surgery*. 1st ed. (Fonseca R, Betts N, Turvey T, eds.). W.B. Saunders.; 2000.
82. Hamed Sangsari A, Sadr-Eshkevari P, Al-Dam A, Friedrich E, Freymiller E, Rashad A. Surgically Assisted Rapid Palatomaxillary Expansion with or without Pterygomaxillary Disjunction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*. 2016;74:338-348.
83. Aktop S, Gönül O, Garip H GK. Surgically Assisted Maxillary Expansion. In: *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery*. ; 2015:119-132.
84. Bays R, Bouloux G. Complications of Orthognathic Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2003;15(2):229-242. doi:10.1016/S1042-3699(02)00098-5
85. Chamberland S, Proffit WR. Short-Term and Long-Term Stability of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion Revisited. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2011. doi:10.1016/j.ajodo.2010.04.032
86. Adolphs N, Ernst N, Menneking H, Hoffmeister B. Transpalatal Distraction - State of The Art for the Individual Management of Transverse Maxillary Deficiency - A Review of 50 Consecutive Cases. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. Published online 2014. doi:10.1016/j.jcms.2014.05.011

87. Jensen T, Johannesen L, Rodrigo-Domingo M. Periodontal Changes After Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME). *Oral Maxillofac Surg.* 2015;19:381-386.
88. Ramoğlu S, Ozan O. Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekim Fakültesi Derg.* Published online 2014.
89. Ulusoy M, Aydın K. *Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protezler.* Ankara Üniversitesi Yayınları; 2010.
90. Gungor MA, Dundar M, Artunc C. Dişhekimliğinde Gerilme Analiz Yöntemleri. *EÜ Diş Hek Fak Derg.* 2005;26:107-116.
91. Adiguzel O. Sonlu Elemanlar Analizi: Derleme Bölüm I: Dişhekimliğinde Kullanım Alanları, Temel Kavramlar ve Eleman Tanımları. *Dicle Diş Hek Derg.* 2010;11(1):18-23.
92. Gungor MA, Artunc C, Sonugelen M, Toparli M. The Evaluation of The Removal Forces on The Conus Crowned Telescopic Prostheses with The Finite Element Analysis (FEA). *J Oral Rehabil.* Published online 2002. doi:10.1046/j.1365-2842.2002.00953.x
93. Geng JPA, Tan KBC, Liu GR. Application of Finite Element Analysis in Implant Dentistry: A Review of The Literature. *J Prosthet Dent.* Published online 2001. doi:10.1067/mpr.2001.115251
94. Moaveni S. *Finite Element Analysis: Theory and Application with Ansys.* Prentice-Hall; 2001.
95. Okereke M, Keates S. *Finite Element Applications A Practical Guide to the FEM Process.* Springer International Publishing; 2017.
96. Maurer P, Holweg S, Schubert J. Finite Element Analysis of Different Screw Diameters in The Sagittal Split Osteotomy of The Mandible. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* Published online 1999. doi:10.1054/jcms.1999.0069
97. Soares CJ, Versluis A, Valdivia AD, Bicalho AA, Verissimo C, Barreto BC RM. Finite Element Analysis in Dentistry-Improving the Quality of Oral Health Care. In: Moratal D, ed. *Finite Element Analysis - From Biomedical Applications to Industrial Developments.* ; 2012:25-56.
98. Meijer HJA, Starman FJM, Steen WHA, Bosman F. A Three-Dimensional, Finite-Element Analysis of Bone Around Dental Implants in An Edentulous Human Mandible. *Arch Oral Biol.* 1993;38(6):491-496. doi:10.1016/0003-9969(93)90185-O
99. Hughes TJ. *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis.* Prentice-Hall; 1987.
100. Kutz M. *Mechanical Engineer's Handbook.* Wiley; 1998.
101. Marghitu D. *Mechanical Engineer's Handbook.* Academic Press; 2001.
102. Fung Y. *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues.* Springer Science & Business Media; 2013.
103. Sirin G, Aydemir D. Sonlu Elemanlar Metodunun Ahşap Malzemelerde Kullanımına İlişkin Bir Araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Derg.* 2016;18(2):205-

- 212.
104. Kim NH. *Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis*. Springer; 2015. doi:10.1007/978-1-4419-1746-1
 105. Natali A. *Dental Biomechanics*. CRC Press; 2003.
 106. Zaimoglu A, Can G, Ersoy E, Aksu L. *Diş Hekimliğinde Maddeler Bilgisi*. Ankara Üniversitesi Basımevi; 1993.
 107. Van Eijden T. Biomechanics of The Mandible. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2000;11(1):123-136.
 108. McCabe J. *Diş Hekimliğinde Maddeler Bilgisi*. İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Basımevi; 1999.
 109. Beer F, Johnston E, DeWolj J, Mazurek D. *Mechanics of Materials*. 6th ed. McGraw-Hill; 2012.
 110. O'brien W. *Dental Materials and Their Selections*. 4th-6th ed. (Chicago U, ed.). Quintessence Publishing Co., Inc.; 2008.
 111. Misch C. *Dental Implant Prosthetics*. Elsevier Health Sciences; 2014.
 112. Seong W, Kim U, Swift J, Hodges J, Ko C-C. Correlations Between Physical Properties of Jawbone and Dental Implant Initial Stability. *J Prosthet Dent*. 2009;101(5):306-318.
 113. Guru M, Yalcin H. *Malzeme Bilgisi*. Palme Yayıncılık; 2006.
 114. Rho J, Ashman R, Turner C. Young's Modulus of Trabecular and Cortical Bone Material: Ultrasonic and Microtensile Measurement. *J Biomech*. 1993;26(2):111-119.
 115. İnan M. *Cisimlerin Mukavemeti*. Birsen Yayınevi; 1984.
 116. Cattaneo P, Dalstra M, Melsen B. The Transfer of Occlusal Forces Through The Maxillary Molars: A Finite Element Study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2003;123(4):367-373.
 117. Sung S, Baik H, Moon Y, Yu H, Cho Y. A Comparative Evaluation of Different Compensating Curves in The Lingual and Labial Techniques Using 3D FEM. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2003;123(4):441-450.
 118. Craig R, Powers J. *Restorative Dental Materials*. Mosby; 2002.
 119. Dogru S, Cansiz E, Arslan Y. A Review of Finite Element Applications in Oral and Maxillofacial Biomechanics. *J Mech Med Biol*. 2018;18:1-26.
 120. Arslan Y, Karabulut D, Kahya S, Cansiz E. Biomechanical Comparison of Implantation Approaches for The Treatment of Mandibular Total Edentulism. *Proc IMechE Part H J Eng Med*. Published online 2020:1-12.
 121. Cattaneo PM, Dalstra M MB. Strains in Periodontal Ligament and Alveolar Bone Associated with Orthodontic Tooth Movement Analyzed by Finite Element. *Orthod Craniofac Res*. 2009;12:120-128.
 122. Dogru SC, Cansiz E AY. A Review of Finite Element Applications in Oral and Maxillofacial Biomechanics. *J Mech Med Biol*. 2018;18.
 123. Xu W, Wang J, Geng J, Huang H. *Application of the Finite Element Method in*

Implant Dentistry. Springer; 2008.

124. Trojan LC, Gonzalez-Torres LA, Melo AC de la CE. Stresses and Strains Analysis Using Different Palatal Expander Appliances in Upper Jaw and Midpalatal Suture. *Artif Organs*. Published online 2016.
125. Parhiz A, Schepers S, Lambrichts I, Vrielinck L, Sun Y, Politis C. Lateral Cephalometry Changes After SARPE. *Int J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2011. doi:10.1016/j.ijom.2011.03.005
126. Chung CH, Woo A, Zagarinsky J, Vanarsdall RL, Fonseca RJ. Maxillary Sagittal and Vertical Displacement Induced by Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. Published online 2001. doi:10.1067/mod.2001.113791
127. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A. Short-Term Skeletal and Dental Changes Following Bone-Borne Versus Tooth-Borne Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Randomized Clinical Trial Study. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. Published online 2014. doi:10.1016/j.jcms.2014.02.007
128. W H, M S, T G. Rapid Maxillary Expansion with Palatal Anchorage of the Hyrax Expansion Screw – Pilot Study with Case Presentation. *J Orofac Orthop*. 2004;65:419-424.
129. Tehranchi A, Ameli N, Najirad Z, Mirhashemi FS. Comparison of The Skeletal and Dental Changes of Tooth-Borne vs. Bone-Borne Expansion Devices in Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Finite Element Study. *Dent Res J (Isfahan)*. Published online 2013. doi:10.4103/1735-3327.122477
130. Handelman CS, Wang L, BeGole EA et al. Nonsurgical Rapid Maxillary Expansion in Adults: Report on 47 Cases Using The Haas Expander. *Angle Orthod*. 2000;70:129.
131. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG et al. Treatment Timing for Rapid Maxillary Expansion. *Angle Orthod*. 2001;71:343.
132. Chamberland S, Proffit WR. Closer Look at the Stability of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion. *J Oral Maxillofac Surg*. Published online 2008. doi:10.1016/j.joms.2008.04.020
133. Marchetti C, Pironi M, Bianchi A, Musci A. Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion vs. Segmental Le Fort I Osteotomy: Transverse Stability Over A 2-Year Period. *J Cranio-Maxillofacial Surg*. Published online 2009. doi:10.1016/j.jcms.2008.08.006
134. Gogna N, Johal AS SP. The Stability of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion (SARME): A Systematic Review. *J Craniomaxillofac Surg*. 2020;48(9):845-852.
135. Zemmann W, Schanbacher M, Feichtinger M, Linecker A, Kärcher H. Dentoalveolar Changes After Surgically Assisted Maxillary Expansion: A Three-Dimensional Evaluation. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. Published online 2009. doi:10.1016/j.tripleo.2008.05.044
136. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A, Lamei A. The Necessity of Pterygomaxillary Disjunction in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Short-Term, Double-Blind, Historical Controlled Clinical Trial. *J Craniomaxillofac Surg*.

2016;44:1181-1186.

137. Nada RM, Fudalej PS, Maal TJJ, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Three-Dimensional Prospective Evaluation of Tooth-Borne and Bone-Borne Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* Published online 2012. doi:10.1016/j.jcms.2012.01.026
138. Koudstaal MJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Schulten AJM. The Rotterdam Palatal Distractor: Introduction of The New Bone-Borne Device and Report of The Pilot Study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* Published online 2006. doi:10.1016/j.ijom.2005.07.002
139. Baranto H, Weiner CK, Burt IA RA. Satisfactory Outcomes After Orthognathic Surgery with Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion Using A Hybrid Device. *J Oral Sci.* 2020;62(107-111).
140. Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Bergé SJ, Nada RM, Schols JGJH. A Systematic Review of The Effects of Bone-Borne Surgical Assisted Rapid Maxillary Expansion. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* Published online 2010. doi:10.1016/j.jcms.2009.06.006
141. Bazargani F, Lund H, Magnuson A LB. Skeletal and Dentoalveolar Effects Using Tooth-Borne and Tooth-Bone-Borne RME Appliances: A Randomized Controlled Trial with 1-Year Follow-Up. *Eur J Orthod.* Published online 2020.
142. Munoz-Pereira ME, Haas-Junior OL, Silva Meirelles LD, Machado-Fernandez A, Guijerro-Martinez R, Hernandez-Alfaro F, de Oliveira RB PR. Stability and Surgical Complications of Tooth-Borne and Bone-Borne Appliances in Surgical Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Systematic Review. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2021;59(2):e29-e47.
143. Hsu M CC. Application of Finite Element Analysis in Dentistry. In: Moratal D, ed. *Finite Element Analysis.* ; 2010:43-60.
144. Ko C, Rocha EP LM. Past, Present and Future of Finite Element Analysis in Dentistry. In: Moratal D, ed. *Finite Element Analysis.* InTech; 2012:3-24.
145. Lee SC, Park JH, Bayome M, Kim KB, Araujo EA, Kook YA. Effect of Bone-Borne Rapid Maxillary Expanders with and without Surgical Assistance on the Craniofacial Structures Using Finite Element Analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* Published online 2014. doi:10.1016/j.ajodo.2013.12.029
146. Mathew A, Nagachandran KS VD. Stress and Displacement Pattern Evaluation Using Two Different Palatal Expanders in Unilateral Cleft Lip and Palate: A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Prog Orthod.* 2016;17:38.
147. Hoxha S, Sawafta A, Akçam MO AR. Mini İmplant Ve Diş-İmplant Destekli Hızlı Maksiller Genişletme: Üç Boyutlu Fem Çalışması. *AÜ Diş Hek Fak Derg.* 2018;45 (1):33-40.

HAM VERİLER



FORMLAR

PATENT HAKKI İZİNİ

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

FARKLI TEKNİK UYGULANAN CERRAHİ DESTEKLİ ÜST ÇENE GENİŞLETME OPERASYONUNUN KEMİKTE OLUŞTURDUĞU STRESLERİN SONLU ELEMAN ANALİZİYLE İNCELENMESİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 7	% 6	% 1	% 3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 3
2	Submitted to Istanbul University Öğrenci Ödevi	% 1
3	openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	% 1
4	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	% 1
5	www.modemedikal.com İnternet Kaynağı	<% 1
6	acikerisim.dicle.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	dspace.gazi.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	Submitted to Canakkale Onsekiz Mart University Öğrenci Ödevi	<% 1

