

**K.K.T.C.**  
**YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ**  
**SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LE FORT I OSTEOTOMİLERİ SONRASI MAKSİLLANIN**  
**DEĞİŞİK MİKTARLARDAKİ POSTERİOR**  
**HAREKETLENDİRMELERİNİN OLUŞTURDUĞU ETKİLERİN**  
**SONLU ELEMANLAR ANALİZİ METODU İLE**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Diş Hek. Oğuz BUHARA**

**Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Programı**

**DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**Prof. Dr. Erkan ERKMEN**

**LEFKOŞA**

**2013**



Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı Programı çerçevesinde yürütölmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 13.05.2013

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Şenol TÜZÜM

Jüri

Prof. Dr. Erkan ERKMEN

Jüri

Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK

Jüri

Doç. Dr. Çağrı ULUSOY

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Lokman Onur UYANIK

ONAY:

Bu tez, Yakın Doğu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğı'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görölmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İhsan ÇALIŞ

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimine başladığım andan itibaren bilgi ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen, desteğini her an yanımda hissettiğim, eğitimime ve doktora tez çalışmama çok büyük katkıları olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erkan ERKMEN'e,

Eğitimimde büyük emeği olan, samimiyeti ve anlayışıyla yakın bir dost gibi her konuda bana yol gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Lokman Onur UYANIK'a,

Tez çalışmamın yanısıra akademik ortamda da her daim yanımda bulunan ve yardımlarını eksik etmeyen Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dekan'ı Sayın Prof. Dr. Mutahhar ULUSOY'a,

Aramıza katılalı kısa bir süre geçmesine rağmen deneyimiyle bizi aydınlatan ve motive eden hocam Sayın Prof. Dr. Şenol TÜZÜM'e,

Tez çalışmamın modelleme ve analizlerini gerçekleştiren Sayın Ahmet KURT'a,

Hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir destekten kaçınmayan, sevgi ve güvenini her zaman hissettiğim canım aileme gönülden teşekkür ederim.

## ÖZET

**Buhara, O. Le Fort I Osteotomileri Sonrası Maksillanın Değişik Miktarlardaki Posterior Hareketlendirmelerinin Oluşturduğu Etkilerin Sonlu Elemanlar Analizi Metodu İle Değerlendirilmesi. Yakın Doğu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Programı, Doktora Tezi, Lefkoşa, 2013.**

Günümüzde Le Fort I osteotomisi maksiller deformitelerin tedavisinde kullanılan oldukça popüler bir tekniktir. Maksilla, Le Fort I osteotomisi yardımıyla anterior, posterior, superior ve inferior yönlerde hareket edebilmektedir. Maksillanın tümüyle posterior yöndeki setback hareketi genellikle maksiller gelişim fazlalığı bulunan protrüzyon vakalarında tercih edilmektedir. Ortognatik cerrahi pratiğinde ve literatürde total maksiller setback miktarları ile ilgili ve bu hareketin limitleri konusunda oldukça sınırlı bilgi bulunmaktadır. Üç boyutlu tam dişli genç erkek hastalardan alınan maksilla tomografileri arasından seçilen görüntüler MSC MENTAT (MSC Software Corporation, Santa Ana, Ca, Amerika) version 2005 programı kullanılarak model hazırlanmıştır. Le Fort I kesisi standart Le Fort I kesi hattı boyunca uygulanarak simüle edilmiştir. Pterygoid prosesler alt 1/3 seviyesinden lateral maksiller duvar kesi hattıyla birleşecek şekilde horizontal olarak kırılmış olma durumu simüle edilmiştir. Maksiller segmente LeFort I kesi hattı üzerinde posterior yönde üç farklı seviyeden olacak şekilde 12 mm'ye kadar deplasman verilmiş ve her bir milimetrelilik deplasmanda maksillar kaide ve maksiler dişli segmentin birbirleri ile konumsal ilişkileri değerlendirilmiştir. Üst yönlü kuvvet uygulaması sonrası maksillan en fazla 8 mm posterior deplasman göstermiştir. Orta ve alt kuvvet yönlerinde ise en fazla 3 mm'lik posterior deplasman görülmüştür. Posterior hareket miktarının artışıyla birlikte maksillanın vertikal rotasyon hareketi ve transvers yönlü kayma hareketi yaptığı, en saf setback hareketinin ise 2 mm'lik posterior deplasman koşulunda elde edildiği bulgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Le Fort I, maksiller setback, posterior deplasman, TMSO.

## ABSTRACT

**Buhara, O. Evaluation Of The Effects Observed After Different Amounts Of Posterior Movements Of Maxilla Using Le Fort I Osteotomy With Finite Element Analysis Method. Near East University Institute Of Health Sciences, Department Of Oral And Maxillofacial Surgery, Phd Thesis, Nicosia, 2013.**

The Le Fort I osteotomy is currently a popular technique for the treatment of maxillary deformities. Maxilla can be moved anteriorly, posteriorly, inferiorly and superiorly with Le Fort I technique. Total maxillary setback movement is usually preferred in maxillary excess with protrusion. Information about this technique including the amounts of posterior movement is quite limited in the literature. A 3-dimensional model of a totally dentate maxillary bone of a young man was used as the basis of a mandibular finite element model in this study. Tomography images of maxilla are used for the preparation of 3D model with MSC MENTAT (MSC Software Corporation, Santa Ana, Ca, Amerika) version 2005 program. Standard Le Fort I osteotomy cut and was simulated on the model. Horizontal fracture of the pterygoid plates on the level of Le Fort I osteotomy line is also simulated. Maxillary segment was directed posteriorly with a displacement amount of 12 mm on three different levels created for the force application. Posterior displacement of the maxillary segment was a maximum of 8 mm in the condition of high level application. In the conditions of medium and low level application; setback movement amount was 3 mm at most. With the increasing amounts of posterior movements, maxilla showed a tendency to gain a vertical rotation and/or transverse movement. After the given displacement of 2 mm, maxilla almost showed a pure setback movement.

**Key Words:** Le Fort I, maxillary setback, posterior displacement, TMSO.

## İÇİNDEKİLER

|                                             | Sayfa |
|---------------------------------------------|-------|
| ONAY SAYFASI                                | iii   |
| TEŞEKKÜR                                    | iv    |
| ÖZET                                        | v     |
| ABSTRACT                                    | vi    |
| İÇİNDEKİLER                                 | vii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ              |       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                             |       |
| TABLolar DİZİNİ                             |       |
| 1. GİRİŞ                                    | 1     |
| 2. GENEL BİLGİLER                           | 3     |
| 2.1. Kemik Doku                             | 3     |
| 2.1.1. Kemik Morfolojisi                    | 4     |
| 2.1.2. Kemik'in Makroskopik Yapısı          | 5     |
| 2.1.3. Kemik'in Mikro-yapısı                | 6     |
| 2.1.3.1. Olgunlaşmamış - Örgü (Woven) Kemik | 6     |
| 2.1.3.2. Lameller (Olgun) Kemik             | 7     |
| 2.1.4. Kemik'in Moleküler Kompozisyonu      | 10    |
| 2.4.1.1. Kemik Matriksi                     | 10    |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 2.1.5. Kemik Hücresel Kompozisyonu            | 12 |
| 2.1.6. Kemik Damar ve Sinir Yapısı            | 15 |
| 2.1.7. Periost                                | 16 |
| 2.1.8. Kemik Oluşumu                          | 17 |
| 2.1.8.1. Endokondral Kemikleşme               | 17 |
| 2.1.8.2. İntramembranöz Kemikleşme            | 18 |
| 2.1.9. Kemik Fizyolojisi                      | 19 |
| 2.1.9.1 Kemik Metabolizması                   | 19 |
| 2.1.9.2. Kemik Modeling ve Remodeling'i       | 20 |
| 2.2. Maksiller Kemik ve Çevre Anatomisi       | 22 |
| 2.2.1. Maksilla                               | 22 |
| 2.2.2. İnfratemporal Bölge                    | 24 |
| 2.2.3. Pterygopalatin Bölge                   | 25 |
| 2.2.4. Çiğneme Kasları                        | 26 |
| 2.3. Ortognatik Cerrahi                       | 28 |
| 2.3.1. Tedavi Planı                           | 29 |
| 2.3.1.1. Cerrahi Öncesi Ortodonti             | 29 |
| 2.3.1.2. Cerrahi Operasyon                    | 31 |
| 2.3.1.3. Cerrahi Sonrası Ortodonti            | 32 |
| 2.3.2. Ortognatik Cerrahi Teknikleri          | 32 |
| 2.3.3. Maksiller Osteotomilerin Tarihçesi     | 33 |
| 2.3.4. Cerrahi Yardımlı Maksiller Ekspansiyon | 35 |



|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.5. Le Fort I                                              | 36 |
| 2.3.5.1. Cerrahi Teknik                                       | 37 |
| 2.3.5.2. Maksillanın Segmentalizasyonu                        | 45 |
| 2.3.5.3. Maksillanın hareket yönleri                          | 47 |
| 2.3.5.4. Maksiller fiksasyon yöntemleri                       | 50 |
| 2.3.6. Anterior ve Posterior Maksiller Segmental Osteotomiler | 52 |
| 2.3.6.1. Anterior Maksiller Segmental Osteotomi               | 52 |
| 2.3.6.2. Posterior Maksiller Segmental Osteotomi              | 56 |
| 2.3.7. Le Fort II                                             | 59 |
| 2.3.8. Le Fort III                                            | 60 |
| 2.4. Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analizleri             | 60 |
| 2.4.1. Kırılgan Vernik Tekniği ile Kuvvet Analiz Yöntemi      | 60 |
| 2.4.2. Fotoelastik Kuvvet Analiz Yöntemi                      | 61 |
| 2.4.3. Gerilim Ölçer ile Kuvvet Analizi                       | 61 |
| 2.4.4. Holografik İnterferometri Yöntemi                      | 61 |
| 2.4.5. Termografik Kuvvet Analizi                             | 62 |
| 2.4.6. Radyoteleometri                                        | 62 |
| 2.4.7. Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi                   | 62 |
| 2.4.8. Sonlu Elemanlar Analizi ile İlgili Temel Kavramlar     | 64 |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM                                            | 71 |
| 4. BULGULAR                                                   | 77 |
| 4.1. Üst Yönlü Kuvvet Uygulaması                              | 77 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 4.1.1. 3D Ölçüm                   | 78  |
| 4.1.2. 2D Ölçüm                   | 81  |
| 4.2. Orta Yönlü Kuvvet Uygulaması | 82  |
| 4.2.1. 3D Ölçüm                   | 83  |
| 4.2.2. 2D Ölçüm                   | 84  |
| 4.3. Alt Yönlü Kuvvet Uygulaması  | 85  |
| 4.3.1. 3D Ölçüm                   | 86  |
| 4.3.2. 2D Ölçüm                   | 87  |
| 5. TARTIŞMA                       | 88  |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER              | 106 |
| KAYNAKLAR                         | 108 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|      |                                         |
|------|-----------------------------------------|
| 2D   | İki Boyutlu                             |
| 3D   | Üç Boyutlu                              |
| AMSO | Anterior Maksiller Segmental Osteotomi  |
| CAD  | Computer Aided Design                   |
| CT   | Computerized Tomography                 |
| CYME | Cerrahi Yardımlı Maksiller Ekspansiyon  |
| m.   | Musculus                                |
| mm   | Milimetre                               |
| MMF  | Maksillomandibular Fiksasyon            |
| PMSO | Posterior Maksiller Segmental Osteotomi |
| PNS  | Posterior Nazal Spina                   |
| RPE  | Rapid Palatal Ekspansiyon               |
| SEA  | Sonlu Elemanlar Analizi                 |
| TMSO | Total Maksiller Setback Osteotomisi     |

## ŞEKİLLER

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1.</b> Maksilla anatomisi, üstten görünüm                                                                       | 23 |
| <b>Şekil 2.2.</b> İnfratemporal bölgenin sınırları                                                                         | 25 |
| <b>Şekil 2.3.</b> CYME osteotomi hattının önden görünüşü                                                                   | 35 |
| <b>Şekil 2.4.</b> Le Fort I, lateral maksiller osteotomi                                                                   | 39 |
| <b>Şekil 2.5.</b> Le Fort I, medial nazal osteotomi                                                                        | 39 |
| <b>Şekil 2.6.</b> Le Fort I, lateral nazal osteotomi                                                                       | 40 |
| <b>Şekil 2.7.</b> Le Fort I, pterygomaksiller osteotomi                                                                    | 42 |
| <b>Şekil 2.8.</b> Posterior osteotomi alanının düzeltilmesi sırasında palatin<br>descendens nörovasküler yapının korunması | 43 |
| <b>Şekil 2.9.</b> Maksiller nazal krestin redüksiyonu                                                                      | 44 |
| <b>Şekil 2.10.</b> Le Fort I segmentalizasyonu                                                                             | 47 |
| <b>Şekil 2.11.</b> Wunderer osteotomi hattı                                                                                | 54 |
| <b>Şekil 2.12.</b> Wassmund metodu                                                                                         | 55 |
| <b>Şekil 2.13.</b> Cupar osteotomi tekniği                                                                                 | 56 |
| <b>Şekil 2.14.</b> PMSO osteotomi hattı                                                                                    | 58 |
| <b>Şekil 3.1.</b> <i>Convergence</i> analiz sonuçları                                                                      | 73 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Maksilla modeli üzerinde simüle edilen Le Fort I kesi hattı                                              | 74 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Üst kuvvet uygulama bölgesi                                                                              | 75 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Orta kuvvet uygulama bölgesi                                                                             | 75 |
| <b>Şekil 3.5.</b> Alt kuvvet uygulama bölgesi                                                                              | 75 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.6.</b> Deplasman ölçümünde referans alınan eksenler (L1 ve L2)                            | 76 |
| <b>Şekil 4.1.</b> Kuvvet yönü üst olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan<br>deplasman değerleri  | 77 |
| <b>Şekil 4.2.</b> Kuvvet yönü üst 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman           | 79 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Kuvvet yönü üst 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman           | 79 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Kuvvet yönü üst 7 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman           | 80 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Kuvvet yönü üst 8 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman           | 80 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Kuvvet yönü orta olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan<br>deplasman değerleri | 82 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Kuvvet yönü orta 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman          | 83 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Kuvvet yönü orta 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman          | 84 |
| <b>Şekil 4.9.</b> Kuvvet yönü alt olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan<br>deplasman değerleri  | 85 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Kuvvet yönü alt 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen<br>deplasman          | 86 |

**Şekil 4.11.** Kuvvet yönü alt 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen  
deplasman 87

**TABLÖLAR**

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Analizde kullanılan materyallerin Young Modülü ve Poisson Oranları              | 72 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Kuvvet yönü üst olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri  | 78 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kuvvet yönü orta olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri | 82 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Kuvvet yönü alt olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri  | 85 |

## 1. GİRİŞ

Ortognatik cerrahi dentofasiyal deformiteler ve maloklüzyonların ortodonti ve cerrahi operasyonlarla birlikte düzeltilmesi işlemidir. Tedavi sadece yüz yapılarının kemik ilişkilerini değil, aynı zamanda yumuşak dokuların ilişkilerinde de değişikliğe yol açarak hastanın profil görüntüsünü etkilemektedir (Harris ve Hunt, 2009, s. 1; Forssell ve diğerleri, 1998; Wolford ve Fields, 2000, s. 24).

Le Fort I osteotomisi maksiller deformitelerin tedavisi amacıyla tek parça veya segmental olarak kullanılan, cerrahi teknikler arasında en fazla tercih edilen tekniktir (Choi ve diğerleri, 2013; Frost, 1999, s. 1276; Hausamen, 2001; Reyneke ve Ferretti, 2010, s. 1009). Le Fort I osteotomisinin maksiller hipoplazi ve hiperplazi, maksiller vertikal fazlalık veya yetersizlik, asimetri, transvers yön anomalileri, okluzal düzlem problemlerinin düzeltilmesi, obstrüktif uyku apnesi, farinks ve kafa tabanı tümörlerinin rezeksiyonu için ulaşım amaçlı kullanılması gibi geniş bir endikasyon yelpazesi bulunmaktadır (Obeid, 2011, s. 649). Bu teknik kullanılarak maksilla superiora, inferiora, anteriora, posteriora veya transvers doğrultuda tek parça veya segmentler halinde hareket ettirilebilir (Bang ve diğerleri, 2012; Choi ve diğerleri, 2009; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 232; Wolford ve Fields, 1999, s. 1238).

Maksillanın posterior, bir diğer deyişle setback hareketi segmental osteotomiler yardımıyla oluşturulan premaksiller segmentin geriye hareketi ile veya Le Fort I osteotomisi ile tüm maksillanın geri hareketi şeklinde elde edilebilir (Chu ve diğerleri, 2007; Mason ve Schendel, 1999, s. 1322; Proffit ve Sarver, 2002, s. 198; Schouman ve diğerleri, 2010; Tucker ve diğerleri, 2008, s. 538). Ancak literatürde bu konuda oldukça kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Mevcut makalelerde maksillanın geri hareket miktarı ve ortognatik tedavideki yeri konusunda herhangi bir görüş birliği bulunmamaktadır.



Canlı doku ve organlarda kuvvet ve deplasman analizi yapmak güç, çoğu zamanda olanaksızdır. Sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometriye sahip yapıların bilgisayarda oluşturulan ayrıntılı modellerini kullanarak gerilim, gerinim ve yer değiştirmelerin hassas ve kantitatif olarak incelenmesini sağlayan matematiksel bir yöntemdir (Ertürk, 2008; Güngör ve diğerleri, 2005).

Bu çalışmanın amacı sonlu elemanlar analizi kullanılarak simüle edilen maksilla modeline değişik miktarlarda uygulanan geri hareketlendirmeler sonucunda maksillada oluşan hareket eğiliminin üç boyutlu olarak incelenmesi ve bu hareketin tedavi açısından ne ölçüde geçerli sonuçlar yarattığının tespit edilmesidir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kemik Doku

Kemik, mineralize kollajen çatısı olan özelleşmiş, canlı ve dinamik bir bağ dokusudur. Kemik dokusu; makro ve mikromimari yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri açısından birbirinden oldukça farklı bileşenler içeren karmaşık bir doku bütünüdür. Bu doku, değişik zaman ve koşullarda organizmanın farklı bölgelerinde farklı yanıtlar verebilen bir yapıdadır. Sert olmasına rağmen kemik, gerilmeye göre davranış değiştirebilen dinamik bir dokudur (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 247).

Kemik iskelet sisteminin temel yapı taşıdır ve sertliğiyle diğer bağ dokusu elemanlarından ayrılır. Omurgalıların hareketlilik, beceriklilik ve dayanıklılıklarını, kemiklerin dayanıklı ve sert oluşlarıyla birlikte nispeten hafif oluşları sağlar (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 10).

Kemik, mekanik gereksinimlere göre kütlesini, şeklini ve özelliklerini değiştirme imkanı bulunan ve kendini tamir edebilen bir yapısal materyaldir. Böylelikle, hayat boyunca yaptığımız istemli fiziksel aktivitelere karşı kırılmadan ve ağırlı oluşturmaktan dayanabilmektedir (Jee, 2005, s. 1).

Eşsiz mimari yapısından dolayı kemik minimal kütle ile maksimal dayanıklılık göstermektedir. İnsanlarda kemik kütlesi lineer büyümeden 10 yıl sonra maksimum seviyeye ulaşır. Bu seviye normalde kemiğin iskelet boyunca sürekli depolanması ve absorbe edilmesiyle birlikte sabit kalmaktadır. Dördüncü dekattan sonra kemik kütlesi dereceli olarak azalmaya başlar. Sebepleri çok açık olmamakla birlikte bu azalma kemik remodeling işlemi ile başlayan net kayıp etkisinin sonucudur. 80 yaşında tipik olarak hem erkek hem kadın maksimum kemik kütlesi değerinin yaklaşık yarısını kaybetmiş olur. İnsanlarda kemik mineral yoğunluğu 30'lu yaşlarda pik yapar. Mineral yoğunluğu erkeklere göre kadınlarda, siyah ırka göre ise beyaz ırka daha azdır. Vücut tarafından gereksiz olarak görülen kemik, remodeling sırasında oluşan absorpsiyon-depozisyon dengesindeki değişiklikler sonucu kaybedilmektedir. Turnover metabolik reaksiyonlara bir cevap şeklinde de görülebilir (Garg, 2004, s. 3,4).

Kemik dokusu; iskelet sisteminin temel bileşeni olarak pek çok önemli işlev üstlenir. Kemikğin temel işlevleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Kasların tutunabileceği sağlam bir çatı oluşturarak hareketin sağlanmasında fiziksel ve mekanik işlevler üstlenir.
- Beyin, akciğer, karın içi organlar gibi önemli organları dış etkenlerden korur.
- Kalsiyum, fosfat, magnezyum, sodyum, çinko gibi iyonların depolanmasını sağlar.
- Kemik iliğinde kan hücrelerinin üretimi işlevini üstlenir. Kemik iliği; son yıllarda üzerinde yoğun araştırmaların sürdürüldüğü kök hücrelerin en önemli kaynağıdır.
- Sarı kemik iliği trigliserit depolayan adipoz hücrelerini içerir. Depolanan trigliserit potansiyel bir kimyasal enerji rezervidir.

(Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 227; Tortora ve Derrickson, 2012, s. 183)

Biyomalzeme penceresinden bakıldığında kemik dokusu; temel olarak kalsiyum fosfatla güçlendirilmiş kollajenden yapıli bir ağ olarak tanımlanabilir. Kemikğin inorganik bölümü, ağırlıklı olarak hidroksiapatit ve eser elementlerden oluşur. Kemik dokusu EDTA çözeltisi içinde uzun süre tutulur ve kalsiyum fosfat ayrıştırılırsa geriye sadece lastik kıvamında tip 1 kollajen kalır. Bu kalan doku yük taşıyamaz. Buna karşın kollajenaz kullanılarak gerçekleştirilecek bir ayrıştırmanın ardından ortamda sadece mineraller kalacağından esnekliğini kaybeden kemik son derece kırılgan özellik taşıır. Sonuç olarak esneklik ve sağlamlık özelliklerini bir arada barındıran kemik dokusu oldukça hafif olmasına rağmen çeliğe yakın mekanik özellik gösterir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 228).

### **2.1.1. Kemik Morfolojisi**

Yerleşim yeri ve yapısına göre farklı işlevler üstlenen kemikler; uzun, kısa, yassı ve düzensiz kemikler olmak üzere dörde ayrılır. Tipik bir uzun kemik; diyafiz, metafiz ve epifiz olmak üzere üç bölümde incelenir. Kemikğin ortasında yer alan diyafiz bölgesi korteks adı verilen kabuğun en kalın olduğu, en sağlam bölgedir. Diyafizin asıl işlevi yük taşımadır ve her iki uca doğru metafizle devam eder. Metafizde kemik genişler, korteks incilir ve kemik iliğini barındıran medulla

miktarca artar. Metafizin kan dolaşımı ve metabolik işlevi diyafize oranla daha fazladır. Metafizin sonunda hemen her zaman eklem yüzünü oluşturan epifiz bulunur. Metafiz ve epifiz çocuklukta ve ergenlikte büyümeyi sağlayan fizis adı verilen kıkırdakla birbirinden ayrılır. Fizis ergenliğin sonunda kapandığında boy uzaması ve büyüme durur. Bazı uzun kemiklerde epifiz dışında kemiğin yana doğru büyümesini sağlayan ve apofiz adını alan bir kıkırdak yapısı bulunur. Femurun üst ucunda, kalça kaslarımızın yapıştığı büyük trokanter, apofize örnektir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 228).

### **2.1.2. Kemiğin Makroskopik Yapısı**

İnsan iskeleti porozite bakımından iki farklı kemik tipinden oluşur: dens kortikal doku ve süngerimsi kansellöz doku. Prensip olarak kemik porozitesi %0 ile %100 arasında değişkenlik gösterebilir. Ancak, çoğu bölgede ya çok düşük ya da çok yüksek porozite bulunmaktadır. Çoğunlukla her kemik bölgesi hem kortikal hem de kansellöz doku içermektedir. Bunun miktarı ve dağılımı değişmektedir. Mineralize olmayan kemik içi boşlukta kemik iliği bulunur. Bu doku kan damarları, sinirler ve çeşitli hücre tipleri içerir. Kemik iliğinin esas görevi kanda bulunan temel hücreleri üretmektir. Aynı zamanda yüksek osteojenik özelliğinden dolayı ekstrasellüler bir iskelet bölgesine yerleştirildiği takdirde kemik yapımını uyarmaktadır (Garg, 2004, s. 9).

Vücuttaki total kemiğin %85'ini oluşturan kortikal veya kompakt kemik, uzun kemiklerin gövdesinde bulunur. Uzun kemiklerde kortikal kemik silindirik diafiz halinde çok az trabeküler kemikli veya trabeküler kemiksiz kemik iliğini sarar. Uzun kemiklerin metafizlerinde kortikal kemik incelir ve medullar kaviteyi trabeküler kemik doldurur. Kısa ve yassı kemiklerde korteksler uzun kemik diafizlerinden incedir ve kansellöz kemik içerirler. Yükleme, hormonal ve diğer faktörlerle kansellöz ve kortikal kemik yapıları değişir. Kortikal kemik vertebral kemiklerin ve diğer spongiyöz kemiklerin etrafında bir kabuk oluşturacak şekilde bulunur. Bu doku Havers sistemi denen merkezi kan damarlarının çevresinde birleşen kemik silindirleriyle organize olmuştur. Kapiller ve sinirler içeren Havers kanalları birbirleriyle ve kemik dış yüzeyi ile kısa transvers Volkmann kanalları sayesinde bağlantı kurmaktadır (Garg, 2004, s. 9; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s.

10).

Trabeküler veya kansellöz kemik küboid ve yassı kemikler ile uzun kemiklerin uç kısımlarında bulunur. Porları birbirleriyle bağlantılıdır ve kemik iliğiyle doludur. Kemik matriksi trabekül denen plakalar şeklindedir. Bunlar çeşitli şekillerde sıralanmıştır. Sıklıkla rastgele dizilmiş olan bu trabeküller bazen dik açılı sıralar şeklinde görülebilir. Medüller kavitedeki kemik iliği aktif kan hücresi üretimi veya mezenşim kök hücrelerinin rezerv halinde bulunduğu durumlarda kırmızı renkte olur. Yaşlanmayla birlikte bu kavite yağ depolama alanına dönüşür ve sarı bir görünüm alır (Garg, 2004, s. 9).

Artiküler yüzeyler dışında kemiğin dış kısmı periost ile kaplıdır. Periost sert doku ve yumuşak doku örtüsü arasında sınır görevi görür. Aynı zamanda kemik şekli ve büyümesini düzenleyen metabolik hücresel ve biyomekanik aktivitelere de ev sahipliği yapar. Endosteum mimari olarak periostun kambiyum tabakası ile benzerdir. Bunun sebebi osteoprojenitör hücrelerin, osteoblast ve osteoklastların varlığıdır (Garg, 2004, s. 9).

### **2.1.3. Kemiğin Mikro-yapısı**

Çıplak gözle kortikal (kompakt) ve trabeküler (kansellöz) kemik dokusu ayırte edilir. Her iki tip kemik de mikroskopik seviyede ya primer (olgunlaşmamış, örgü-*woven*) ya da sekonder (olgun, lameller) kemik yapısı gösterir. Kortikal ve trabeküler kemik aynı hücreleri ve hücre dışı matriks bileşenlerini içerir. Ancak hücreler ve hücre dışı matriks bileşenlerinin dağılımı ve düzenlenmesindeki farka bağlı olarak iki tür kemiğin mekanik özellikleri birbirinden farklılık gösterir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 232; Kerr, 2010, s. 223).

#### **2.1.3.1. Olgunlaşmamış - Örgü (*Woven*) Kemik**

Olgunlaşmamış kemik dokusu embriyonun iskeletini oluşturur. İskelet sisteminin gelişim sürecinde olgun olmayan kemik, yerini olgunlaşmış kemik dokusuna bırakır. Kırık iyileşmesinin başlangıcında oluşan kemik dokusu da olgunlaşmamış örgü kemik dokusu biçimindedir. Olgunlaşmamış kemik dokusu bazı tendon ve ligamanların kemiğe yapışma yerlerinde, kafa kemiklerinin sütürlerinin

sınırlarında, kulak içindeki kemikçiklerde ve büyüme plağında oluşan kemik dokusunda da bulunur. Osteogenezis imperfekta, skorbüt, rikets gibi metabolik hastalıklarda, neoplastik hastalıklarda, inflamasyon dokusunda, yumuşak doku travmalarında olgunlaşmamış kemik oluşumu izlenebilir. Kemik enfeksiyonunda oluşan *involukrumda* ve kemik tümörlerine ait doku reaksiyonlarında (Codman üçgeni) olgunlaşmamış örgü kemik dokusu gözlenebilir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 233,234; Garg, 2004, s. 11).

Örgü kemik; yapısal ve mekanik özellikler açısından olgunlaşmış lameller kemikten bazı farklılıklar gösterir. Örgü kemiğin yapım ve yıkım hızı oldukça yüksektir. Lamelli kemiğin metabolik aktivitesi daha yavaştır. Örgü kemikte kollajen dizilimi düzensiz, rastgeledir. Birim hacimdeki osteosit sayısı örgü kemikte lamelli kemiğin yaklaşık 4 katıdır. Bu hücrelerin olgunlaşmamış kemikteki dizilimi, büyüklükleri ve dağılımları oldukça değişkendir; mineral oluşumu da düzensizdir. Mineral birikimlerinin büyüklükleri ve kollajen fibriller ile olan ilişkileri de değişkenlik gösterir. Düzensiz kollajen fibril dizilimi ve mineral oluşumu, yüksek hücre sayısı ve su içeriği nedeniyle örgü kemik lamelli kemiğe oranla daha esnektir; kolaylıkla şekli bozulabilir ve lamelli kemikten daha zayıftır (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 234; Garg, 2004, s. 11).

### **2.3.1.2. Lameller (Olgun) Kemik**

Bu tür kemikte kollajen fibriller lamelleri oluşturmak üzere düzenlenir. Kansellöz (trabeküler) ve kortikal (kompakt) kemikler bu tür kemiğe örnektir. Lamelli kemik dokusunun kollajen miktarı, kollajen fibrillerin birbirleriyle bağlantılarında ortaya çıkacak değişiklikler; hem trabeküler hem de kortikal kemik dokusunun mekanik özelliklerini değiştirir. Artan kollajen miktarı ile kemik dokusunun bütünlüğünün bozulması için gereken enerji miktarı artar. Kemiğe paralel olarak yerleşim gösteren kollajen fibriller özellikle gerilme kuvvetlerine karşı dayanıklılığın artmasını sağlarken; gerilme kuvvetlerinin az olduğu bölgelerde paralel kollajen fibril diziliminin de az olduğu görülür (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 235; Garg, 2004, s. 11).

- **Kansellöz (Trabeküler) Kemik**

Trabeküler kemik, tüm uzun kemiklerin metafizlerinde, düz ve yassı kemiklerin iç kısımlarında yaygın olarak bulunan süngerimsi kemik dokusudur. Kansellöz kemik dokusu yassı kemiklerde iki kompakt kemik tabakası arasında dolgu görevi görür. Bu tür kemik; her iki taraftaki kompakt tabakaların belli bir uzaklıkta durmasını sağlar. Süngerimsi kemik ayrıca kompakt katın gerilme yüklenmelerinde, özellikle makaslama kuvvetleri ile ortaya çıkan şekil değiştirme miktarlarının sınırlandırılmasını sağlayarak; makaslama kuvvetlerine karşı sıkılığın arttırılmasını destekler. Karpal ve tarsal kemikler ile vertebra cisimlerinde kısmen ince kompakt kemik içerisinde bulunan kortikal kemik adacıkları özellikle basma kuvvetlerine karşı bir direnç oluşumuna katkıda bulunur. Sinoviyal eklemlere komşu bölgede bulunan kortikal kemik dokusu, bu eklemlere binen yüksek miktarlardaki yüklerin kırıldak dokusu üzerinde geniş alanlara yayılmasını sağlar. Bunun yanında mikromimari yapısının özelliği sayesinde bu yüklerin komşu kortikal kemikte hem daha geniş bir alana iletilmesinden, hem de eklemden mümkün olduğunca uzak bir bölgede bu kuvvetlerin kortikal kemiğe aktarılmasından sorumludur (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 235; Jee, 2005, s. 3)

Trabeküller; hücrelerle döşeli, birbirleri ile bağlantılı, üç boyutlu ve gözenekli kemik adalarındır. Trabeküler kemik temel olarak lamelli kemik yapısındadır. Trabeküller arası boşluklar kemik iliği ile doludur. Bu tür kemik temel olarak silindirik biçimli lamelli destek birimlerinden oluşur. Bu silindirler, yük binen alanlardan uzak bölgelerde rastgele bir dizilim gösterirken; yük binen alanlarda daha paralel ve düzenli olma eğilimindedir. Trabeküler kemik, lameller kemik paketleri şeklinde düzenlenmiştir. Birçok biyolojik doku gibi bu doku da hem zamana bağlı bir yapısal değişim göstermekte, hem de tekrarlayan yüklenmeler sırasında hasara duyarlı bir özellik taşımaktadır (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 236; Garg, 2004, s. 9).

Kansellöz kemiğin gözenekliliği, mineralizasyon miktarı, yoğunluğu ve mikroskopik düzeni; mekanik özelliklerinin temel yapısal belirleyicileridir. Porozite ya da gözeneklilik; kemik dokusu içindeki yumuşak dokular olan kemik iliği, kan damarları vs. tarafından doldurulan boşluk bölümü olarak tanımlanabilir. Porozite; kemik dokusunun belli güçler altında uğradığı şekil değiştirme miktarı, sıkılık

(*stiffness*) ve dayanıklılığının (*strength*) temel belirleyicilerinden birisidir. Yüksek gözenekliliği nedeniyle kansellöz kemik dokusunun sertlik ve dayanıklılığının kortikal kemik dokusuna göre daha az olduğu öngörülebilir. Lamelli düzen içinde, artmış mineralizasyonun kemik dayanıklılığını artıracakını bildiren çalışmaların yanı sıra; bunun tersini savunan çalışmalar da bulunmaktadır. Kemik matriks yoğunluğu; gözeneklilik ve mineralizasyon miktarları ile belirlenir. Yoğunluk; kemik dokusunun yapısal belirleyicilerinin bir diğeridir. Yoğunluğu arttıkça; lamelli kemiğin sıklık ve dayanıklılığı artar (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 236).

Hem trabeküler hem de kortikal kemik dokusu anizotropik özelliktedir. Trabeküler kemikte anizotropik özelliğin belirleyicisi trabeküllerin yönelimidir. Bu tür kemikte trabeküller arasında bulunan kemik iliği gücü iletemediği için; sıklık ve dayanıklılığı, etkiyen kuvvetler ile trabeküllerin dizilimi arasındaki açılanmalar belirler. Trabeküler kemikte yüzey alanının kemik matriks hacmine oranı yüksektir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 236).

- **Kompakt - Sert (Kortikal) Kemik**

Kompakt kemik, isminden de anlaşılacağı gibi katı yapıda, içinde sadece osteositler, kanaliküller ve kan damarları için az sayıda boşluğun bulunduğu, oldukça düzenli bir dokudur. Bu yapısal düzeni nedeniyle kortikal kemik; trabeküler kemikten farklı mekanik özelliklere sahiptir. Kortikal kemikteki lameller düzenlidir. Bu tür kemikte dört tür lamel sistemi tanımlanır. Bunlar iç ve dış çevresel (esas) lameller, intersitisyel (ara) lameller ve osteonları oluşturan Havers lamelleri olarak isimlendirilir. Lameller, paketler halinde düzenlenmiş yoğun kollajen fibriller içerir. Bu fibriller komşu lameller içinde birbirleriyle zıt yönde seyreder. Fibriller hem lameller içinde, hem de komşu lameller arasında birbirleriyle bağlantı kurarak kompakt kemik dokusunun dayanıklılığını sağlar. Lamellerin arasında, içerisinde osteositlerin yerleştiği lakuna denen küçük boşluklar bulunur. Ara lamellerin Havers lamellerinin artıkları olduğu düşünülmektedir. Ara lameller, kortikal kemiğin iç ve dış yüzeylerine yakın yerleşim gösterir. Merkezde kemik dokusunun büyük kısmını Havers lameller sisteminin katıldığı osteonlar oluşturur. Osteonun merkezinde kemiğin uzun eksenine paralel olarak uzanan ve içerisinde kan ve lenf damarları ile sinir uzantılarının bulunduğu Havers kanalı yer alır. Kanalın çevresinde içten dışa



eşmerkezli dairesel dizilim gösteren Havers lamelleri bulunur. Bu yapıya Havers sistemi ya da osteon adı verilir. Ara lameller ise osteonlar arasında yerleşir. Osteonlar içerisinde bulunan Havers kanallarını birbirine bağlayan ve kemiğin uzun eksenine genellikle dik seyreden kanallara Volkmann kanalları ismi verilir. Bu kanallar hem Havers kanallarını birbirlerine bağlar, hem de periosteal yüz ile endosteal yüzün birbiriyle bağlantısını sağlar. Osteonların dış sınırını oluşturan ve osteonlara ait lameller ile intersitisyel lameller arasında bulunan ince organik matriks katına sement çizgileri ismi verilir. Bu hat, kemik rezorpsiyonunun yerini yeni kemik oluşumuna bıraktığı bölgenin başlangıcıdır. Kollajen fibriller ve kanaliküller içinde bulunan osteositlere ait etkileşim bu hattın dışına çıkmaz (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 237, Kerr, 2010, s. 227).

Lameller kemikte sıklık ve dayanıklılık, büyük oranda etkiyen kuvvet ile kemik eksenindeki ilişkiye bağlıdır. Kortikal kemikte osteonların kemik uzun eksenine paralel dizilmiş olmaları nedeniyle kortikal kemik uzun eksen boyunca, yan yönden daha sert ve dayanıklıdır. Kansellöz kemiğin mekanik özelliklerinde de vurgulandığı gibi, kortikal kemikte gözeneklilik kansellöz kemiğe oranla daha düşüktür. Gözeneklilik az olduğu için, kortikal kemikte şekil değiştirme miktarı az, sıklık (*stiffness*) daha yüksektir. Gözenekliliğin az, mineralizasyonun fazla olması, kortikal kemik doku yoğunluğunun daha fazla olmasını sağlar. Sonuç olarak kortikal kemiğin sıklık ve dayanıklılığı fazladır. Gözeneklilik açısından kortikal kemik oldukça kararlı denge özelliği taşır. Gözeneklilik oranı değişmediği için; kortikal kemikte gerilme kuvvetlerine karşı dayanıklılığın asıl belirleyicisi kollajen liflerin dizilimidir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 238, Kerr, 2010, s. 227).

#### **2.1.4. Kemiğin Moleküler Kompozisyonu**

Moleküler seviyede kemik, kollajen (başlıca tip 1), su, hidroksiapatit materyali, az miktarda proteoglikanlar ve kollajen olmayan proteinlerden oluşur. Bu yapı üç boyutlu çoklu sıralar halindeki matriks fibrilleri ve çapraz bağlı kollajen matriks şeklindedir (Garg, 2004, s. 11).

##### **2.1.4.1. Kemik Matriksi**

Kalsifiye kemik dokusunun yaklaşık %25'ini organik matris (kollajen ve

kollajen olmayan proteinler ile hücreler),%5 'ini su ve %70'ini inorganik mineraller oluşturur. Yeni oluşmuş kemik dokusu matriksi osteoid olarak isimlendirilir. Osteoid, çok az mineralize kollajen fibrillerden oluşur. Olgun kemik dokusunun temel yapıtaşı, mineralize kollajen fibrillerdir. Kollajen fibriller, yüzeyine ve içerisine mineralin yerleştiği üç boyutlu bir matriks yapısı oluşturur. Bu yapıya katılan mineral, karbonatlı apatit  $[(Ca_5 (PO_4, CO_3)_3 (OH)]$  ya da yaygın kullanılan ismiyle hidroksiapatittir. Su, bu yapının diğer önemli bileşenidir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 230,231; Martin ve diğerleri, 1998, s. 39).

İnorganik matriks komponenti kemiğin yaş ağırlığının yaklaşık %70'idir. Ancak %80'e kadar yükselebilir. Organik makromolekül içereği, yaş ağırlığın %20'si ve su içeriği %8-10 kadar olabilir. Organik matriks kemiğe şeklini verir ve gerilme gücünü sağlar. Mineral komponent ise kemiğin sıkışmaya karşı dayanıklılığını sağlar (Jee, 2005, s. 6; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 13).

Kemik organik matriksinin sindirilmesi veya kemik mineral kısmının ortadan kaldırılışı ile organik ve inorganik matriksin kemik mekanik özelliklerine katkısı gösterilir. Her bir komponentin uzaklaştırılması ile kemiğin orjinal formu ve şekli aynen kalır ancak demineralize kemik tendon veya ligament gibi aşırı esnekliğe ulaşır. Buna karşın organik matriksi uzaklaştırılmış kemik kırılmandır (Jee, 2005, s. 7; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 13).

- **Organik Matriks**

Kemiğin organik matriksi, tendon, ligament, *annulus fibrosis*, menisküs ve eklem kapsülü gibi sıkı fibröz dokuya benzer. Tip 1 kollajen organik matriksin %90'ından fazlasını oluşturur. Diğer %10, küçük proteoglikanlar, osteonektin ve az miktar tip V kollajeni, diğer kollajenler ve bir çok kollajen olmayan proteinler içerir (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 15).

Kemik yataktaki protein çoğunlukla tip 1 kollajendir; bu, keza tendon ve deride de temel yapısal proteindir. Bu kollajen birbirine sıkıca bağlanan 3 polipeptidin üçlü sarmalından yapılmıştır ve eş ağırlıkta çelik kadar sağlamdır. Bu polipeptidlerin ikisi, bir gen tarafından kodlanmış birbirinin aynı  $\alpha 1$  polipeptid, biri de farklı bir gen tarafından kodlanmış bir  $\alpha 2$  polipeptiddir. Kollajenler birçok farklı

organın bütünlüğünü sağlayan, birbirleri ile yapı yönünden akraba bir ailenin üyeleri olup, bugüne kadar bunların 15 farklı tipi bulunmuştur ve bu tipler 20'den fazla farklı gen tarafından kodlanmaktadır (Ergene, 2002, s. 371; Martin ve diğerleri, 1998, s. 39).

Mineralizasyon kemik organik matriks kompozisyonunu değiştirir ve stabilize eder. Kemik organik matriksi osteoid ile karşılaştırıldığında osteoidin daha fazla kollajen olmayan proteinler ve su içerdiği görülür. Mineralizasyon oluştuğunda rezorbe olana kadar organik matriks stabil kalır. Organik matriksteki anormallikler kemiği zayıflatır. Örneğin organik matriksin kollajen komponentinin sentez, sekresyon ve montajında bozukluk gösteren osteogenezis imperfekta hastalarının çoğunda kemik kırılabilirliği artar (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 15).

- **İnorganik Matriks**

Normal kemik yapısının korunması için hem proteinlerden hem de minarellerden yeterli miktarda olması gerekir. Yeni mineralize olmuş kemik matriksi çeşitli kalsiyum fosfat türleri içerir. Kemik olgunlaştığında inorganik matriks primer olarak kristal hidroksiapatit şeklindedir. Bu kristaller 20 nm'ye 3-7 nm boyutundadır. Bunlar osteokollajen fibriller boyunca dens birikintiler oluşturur. İnorganik yapıda karbonat, florid ve peptidler gibi diğer maddeler de bulunur. Bu maddelerin bazıları vücut sıvı içeriği tarafından düzenlenir ve kemik mineralinin çözünürlüğünü etkilerler (Ergene, 2002, s. 371; Garg, 2004, s. 11).

Matürasyonla birlikte mineralizasyonun derecesi arttığı için kemiğin materyal özellikleri değişir. Mineralizasyonun artması ile kemik sertliği artar. Bu değişiklik çocuklarda ve yetişkinlerde kırık şekillerinin farklı olmasının nedenlerini açıklar. Normalde yetişkin kemiği, aşırı yüklenmeye maruz kaldığında deforme olmaktan çok, kırılır. Buna karşın çocuk kemiği eğrilir veya kabartı yapar (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 13).

### **2.1.5. Kemiğin Hücresel Kompozisyonu**

Kemiğin oluşumu ve devamlılığı farklı kemik hücrelerinin koordineli çalışmalarına bağlıdır. Kemik hücreleri morfoloji, fonksiyon, ve karakteristik

özelliklerine göre 4 gruba ayrılır. Farklılaşmamış veya osteoprogenitor hücreler, osteoblastlar, osteositler ve osteoklastlar (Kerr, 2010, s. 233).

- **Farklılaşmamış veya Osteoprogenitör Hücreler**

Farklılaşmamış veya osteoprogenitör hücreler, küçük, tek nukleuslu, bir kaç organelli ve düzensiz şekillidirler. Osteoblastlar farklılaşma veya çoğalma stimülasyonu alana kadar farklılaşmamış durumda bulunurlar ve kemikten başka dokularda da bulunabilirler (Kerr, 2010, s. 233).

- **Osteoblastlar**

Osteoblastlar tek hücreli, ekzanterik nukleuslu, endoplasmik retikulum ve golgi membranları gibi büyük hacimli sentetik organeller içeren küboidal hücrelerdir. Bu hücreler kemik yüzeylerde bulunurlar ve stimüle olduklarında matriksi oluştururlar. Daha sonra bu hücreler osteoidin mineralizasyonunda rol alır. Osteoblastların mineralizasyona olan katkıları, kalsiyum ve fosfat iyonlarının serbestleştirilmesidir. Osteoblastlar, PTH'nin (paratiroid hormon) de aralarında bulunduğu birçok hormon ve yerel düzenleyici molekül tarafından uyarılarak osteoklastları aktive eden mediyatörler salgılar. Aktifleştiklerinde yuvarlak, oval veya polihedral şekle girer ve kendisini mineralize matriksten ayıran yeni osteoid doku oluştururlar. Osteoidden geçen sitoplazmik uzantıları mineralize matriks içindeki osteositlerle temas halindedir. Yeni matriks sentezi için aktivite kazandıklarında bir veya iki yol izlerler. Sentetik aktivitelerini azaltabilir ve kemik yüzeyde kalırlar; böylece yüzeyde uzanan yassı hücreler haline gelirler veya kendilerini matriksle sardırarak osteosit haline dönüşürler (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 239; Martin ve diğerleri, 1998, s. 45).

- **Osteositler**

Mezenşimal kökenli osteoprogenitör hücrelerden farklı osteoblastların, sentezledikleri matriks içinde hapsedikten sonra adları osteosit olur. Osteositler erişkin iskelet sistemindeki hücrelerin %90'dan fazlasını oluşturur. Bunlar, olgun kemik hücreleridir. Kemik dokusu içinde mineralize matriks ile çevrelenmiş olarak

bulunurlar ve sitoplazmik uzantıları aracılığıyla birbirleri ile bağlantılıdır. Temel olarak kemik matriks ile hücre dışı ortam arasında iyon alışverişinin sürdürülmesinden ve kemik dokusunun fizyolojik devamlılığının sağlanmasından sorumludurlar. Osteositler, kanalikül adı verilen ince tüpler içinde bulunan sitoplazmik uzantıları aracılığıyla birbirleriyle sıkı iletişim içindedir. Osteositler; kaderin adı verilen hücre yüzey moleküllerinin katıldığı oluklu bağlantılarla (*gap junction*) birbirine bağlıdır. Bu bağlantı birimleri gerilmeye duyarlıdır. Gerilme sonrası hücre dışı matriksten hücre içine aktif kalsiyum taşınmasının yanı sıra endoplazmik retikulumda da kalsiyum sentezi tetiklenerek hücresel yanıt başlatılır. Osteositler aynı zamanda kemiğin iç ve dış yüzeyinde tek sıra dizilmiş ve *bone lining cell* adı verilen hücrelerle benzer bağlantılar aracılığıyla iletişim içindedir. Kemiği içeriden veya dışarıdan etkileyen etmenler bu hücreler üzerinden etkir. İster mekanik, elektriksel, manyetik alan gibi fiziksel etmenler; ister kan, immün sistem veya sinir sistemi kökenli uyarılar olsun tüm mediyatörler kemik dokusu üzerindeki etkilerini yerel düzenleyiciler üzerinden kemik hücreleri aracılığıyla gösterir (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 239; Kerr, 2010, s. 234, Martin ve diğerleri, 1998, s. 46).

- **Osteoklastlar**

Osteoklastlar, kemik yıkımından sorumlu hücrelerdir. Diğer hücrelerden farklı olarak bunlar, hematopoetik kök hücrelerden farklı monositik hücre grubundandır. Normal kemik dokusu içinde nadiren bulunmalarına rağmen; endosteum, periosteum ve Havers sistemi içerisinde sıklıkla görülürler. Periosteal ve kansellöz yüzeylerde kendilerine özgü bir çöküntü olan Howship lakünalarına otururlar. Kortikal kemik dokusunda ise özellikle kırık iyileşmesi sürecinde kesici koniler oluşturarak tüneller açar ve rezorpsiyon boşluklarını oluştururlar. Kemik rezorpsiyonu işlemi sırasında osteoklastlar ortamın asitleştirilmesini sağlayarak minerallerin çözünmesine ve ardından asit proteaz enzimleri aracılığıyla organik matriksin bozunmasına yol açar. Ayrıca bu hücreler; bir miktar matriks parçasını fagosite eder (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 240, Kerr, 2010, s. 236).

Osteoklastlar çok nukleuslu, büyük, düzensiz şekilli olup, organik kemik matriks enerji gereksinimi için sitoplazmaları mitokondrialar ile doludur. Bir kemik rezorpsiyon alanından diğerine hareket edebilirler. Osteoklastların en ayırt edici

özelliklerinden biri, kemik rezorpsiyon yerlerinde kemik matriks üzerinde durduğunda, sitoplazmik membranlarının kompleks kıvrımlar yapmasıdır. Bu fırçamsı ve kıvrımlı kenar kemik rezorpsiyonda kritik rol oynar. Mevcut kemiğe göre hücrenin yüzey alanının artmasına yol açar ve keskin sınırlı lokalize bir ortam hazırlayarak kemik matriksini süratle degradasyona uğratırlar. Osteoklastların çoklu kemik iliği kaynaklı mononükleer hücrelerle birleşerek şekil oluşturdukları görülmektedir. Kemik rezorpsiyonu tamamlandığında osteoklastlar monosit grubu hücrelere bölünerek yeni osteoklastları oluşturmak için tekrar aktive olmak üzere bekleme durumuna geçer (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 12).

#### **2.1.6. Kemiğin Damar ve Sinir Yapısı**

Damarların özenli sistemi tüm kemiğe yayılmıştır. Uzun kemik diafiz ve metafizlerinde kan damarları için üç kaynak vardır: Nütrisyen arterler, epifizyal ve metafizyal arterler, periosteal arterler. Nütrisyonel arter diafiz korteksini delip geçer, proksimal ve distal medüller arter sistemi olarak dallara ayrılır ve diafizi kanlandırır. Nütrisyon arterin proksimal ve distal dalları periosteal ve metafizyel arterlerin çoklu ince dalları ile ağızlaşacak şekilde medüller vasküler sisteme katkıda bulunur. Normal şartlarda medullar vasküler sistem periostun büyük kısmını besler. Kortekste kan akış yönü sentrifugaldır. Kas insersiyonu, interosseöz membran insersiyonları gibi kemiğe sıkı fasyal tutunum bölgelerinde, periosteal veya insersiyon bölge damarları kemik korteksinin dış üçte birini kanlandırır (Jee, 2005, s. 7,8; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 16).

Büyüme plakları kapanmadan önce medüller arterler plağı nadiren geçerler. Epifizlerin damarlanması delici epifizyal damarlara bağlıdır. Fizisin kapanması ile penetran epifizyal ve metafizyal arter ile medüller arterler arasında interosseöz anastomoz gelişir. Ancak bu anastomoz epifizyal damarların katkısı olmadan epifiz kemik hücrelerine yeterli kan akımını sağlayamaz. Büyüme plağı kapandıktan sonra bile birçok epifiz damarlarıdaki kesintilere hassastır (Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 17).

Kansellöz kemikteki kemik iliği trabekülleri arasında kapiller geçitler bulunur. Kapillerlerin devamlı bir endotel katmanı ve endotel hücreleriyle çevrili bir

bazal membranı vardır. Kapillerler vasküler yolun son kısmıdır ve moleküler bir elek görevi görür (Jee, 2005, s. 8).

Kemik büyümesi, modeling ve remodeling işlemleri vasküler sisteme bağımlıdır. Vasküler sistem hücrelere oksijen sağlanmasının yanısıra kemik hücreleri için de kaynak görevi görmektedir (Jee, 2005, s. 8).

Özellikle kan damarları ile ilişkili olmak üzere kemik medullar kanalında sinir lifleri bulunmuştur. Havers kanallarında da myelinsiz sinir lifleri bulunur. Tahminen bu sinirlerin primer fonksiyonu kemik damar akışını kontrol etmektir. Kemik doku içinde kompleks sinir uçları yoktur (Jee, 2005, s. 8).

### **2.1.7. Periost**

Periost; Eklem kıkırdak yüzeyleri, tendon, ligament, eklem kapsülü ve interosseöz membran insersiyonları haricindeki bölgelerde, sert ince membranöz fibröz doku halinde kemiklerin dış yüzeylerini kaplar. Periost bazı ligament, tendon ve eklem kapsüllerinin kemiğe tutunmasına yardımcı olur. Ayrıca yeni kemik veya kıkırdak oluşturacak hücrelere kaynak sağlar (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 232; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 18).

Periostun iki tabakası vardır. Bunlar; dışta fibröz tabaka ve içte hücreden ve damardan zengin iç tabakadır. Dış tabaka yoğun fibröz doku matriksi ve fibroblast benzeri hücreler içerir. Tendon, ligament ve eklem kapsülü yapışıklıkları kemiğe tutunmak için bu tabakadan direkt geçemezler. Bazı bölgelerde yoğun fibröz doku insersiyonları periost ile devamlılık yapan membranlar ve uzantılar yaparlar. İç taraftaki osteojenik kambium tabakası osteojenik kapasitede hücreler içerir (Kerr, 2010, s. 231; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 18).

Periost yaşla beraber değişiklikler gösterir. İnfantlarda ve çocuklarda, kalın hücreden zengin ve vasküler olan periost yeni kemik yapımına hazırdır. Bu kapasite, çocukların diafizleri osteomiyelit travma ile harap olduğunda, periostun yeni diafiz oluşturması ile gösterilir. İlerleyen yaşla periost incilir, daha az vasküler hale gelir ve yeni kemik yapma kabiliyeti azalır. Derin tabakadaki hücreler yassılaşır ve sessizleşir. Ancak kemik çapını artırıcı yeni kemik üretimine devam ederler ve

yaralanmaya cevap olarak kemik ve kıkırdak oluşturma potansiyellerine hala sahiptirler (Kerr, 2010, s. 231; Weinstein ve Buckwalter, 2005, s. 19).

### **2.1.8. Kemik Oluşumu**

Kemik iki yolla şekillenir; osteoblastların salgıladıkları matriksin doğrudan doğruya mineralizasyonu ile (İntramembranöz kemikleşme) veya daha önce var olan kıkırdak matriks üzerine kemik matriksinin çöküşü ile (Enkondral kemikleşme). (Brinker ve O’Conner, 2006).

Bu her iki çeşit kemikleşme şeklinde de, ilk olarak ortaya çıkan kemik dokusu, primer veya olgunlaşmamış kemik dokusudur. Primer kemik dokusu geçicidir ve kısa bir süre sonra sekonder kemik dokusu (lamelli kemik) ile yer değiştirir. Büyüme sürecinde, primer kemik alanları, rezorbe olan alanlar ve lamelli kemik yan yana bulunur. Kemik sentezi ve yıkımı (yeniden şekillenme) sadece büyüyen kemiklerde görülmez, yetişkinlerde de hızını azaltarak hayat boyu devam eder (Brinker ve O’Conner, 2006).

#### **2.1.8.1. Endokondral Kemikleşme**

Vücuttaki kemiklerin çoğu, hyalin kıkırdak bir modelin geçici olarak öncelik ettiği endokondral kemikleşme yöntemiyle oluşur. Bu kıkırdak model, hem intersitisyel ve hem de apozisyonel olarak büyümeye devam eder. Daha sonra, kondrositler bölünür, hipertrofi ve maturasyona uğrayarak hyalin kıkırdak model kalsifiye olmaya başlar. Kıkırdak modelin kalsifikasyonu sürdükçe, besin maddelerinin ve gazların kalsifiye matriks yoluyla difüzyonu giderek azalır. Bunun sonucunda kondrositler ölür ve parçalanır. Kalsifiye matriks, kemik materyalin çökmesi için yapısal bir kafes gibi hizmet görür (Eroschenko, 2008, s. 80; Jee, 2005, s. 25).

Kalsifiye kıkırdak etrafına kemiksi materyalin tabakalar halinde çökmesinden sonra periostun iç tabakasındaki osteoprogenitör hücreler ve bağ dokusundaki kan damarları, kalsifikasyon ve dejenerasyonun başladığı kıkırdak model içine girerler. Osteoprogenitör hücreler çoğalır ve kemiksi matriks salgılayan osteoblastlara farklılanır. Böylece kalsifiye kıkırdak dokusu septumları, başlayan



ossifikasyona destek dokusu olarak bulunmaktadır. Osteoprojenitör hücreler; aynı zamanda endosteumdan da kaynaklanır (Eroschenko, 2008, s. 81).

Mezenşim dokusu, osteoblastlar ve kan damarları, gelişmekte olan kemikte bir kemikleşme merkezi oluştururlar. İlk kemikleşme merkezi, gelişmekte olan uzun kemiklerin diyafizinde görülür ve buraya birincil kemikleşme merkezi denir. Bunu, epifizde görülen ikincil kemikleşme merkezi izler. Daha sonra mineralizasyonla kemiğe dönüşecek olan osteoid matriks, başlangıçta osteoblastlar tarafından üretilir. Gelişen uzun kemiklerin tümünde, diyafiz ve epifizdeki kıkırdığın yerini kemik alır; ancak, büyümenin devam ettiği ve kemiğin boyuna uzamasını sağlayan epifiz plağı bölgesinde kemikleşme olmaz. Bu durum kemiğin boyuna büyümesi duruncaya kadar sürer. İki kemikleşme merkezinin genişlemesi, epifiz plağı da dahil, kıkırdığın tümünün yerini kemiğin almasıyla sonuçlanır. Ancak uzun kemiklerin serbest uçlarında eklem kıkırdığı bulunduğundan, hiçbir zaman kemikleşme olmaz (Eroschenko, 2008, s. 81,82).

### **2.8.1.2. İntramembranöz Kemikleşme**

İntramembranöz kemikleşmede, kemik kıkırdak bir modelden değil, mezenşimal bağ dokusundan gelişir. Mezenşimal doku yoğunlaşma alanlarında hücreler bölünerek, kemikleşme merkezinin devamlı olarak büyümesinden sorumlu olan hücreleri, yani osteoblastları meydana getirirler. Kimi mezenşim hücreleri doğrudan osteoblastlara farklılanır ve hızla kalsifiye olan osteoid matriksi üretirler. Daha sonra osteoblastlar, etraflarında oyuk biçimli lakünalar olacak şekilde, kemik tarafından çevrilirler ve osteosit haline gelirler. Gelişmekte olan bu kemik adacıklarına spikül adı verilir. Spikül olarak adlandırılmaları, histolojik kesitlerdeki görüntülerinden kaynaklanmıştır. Spiküller, aralarında kapillerler, kemik iliği hücreleri ve farklılaşmamış hücreler bulunduran kavitelerin uzamış duvarlarının kesitleridir. Böyle birkaç mezenşimal oluşum, kemikleşme merkezinde hemen hemen aynı zamanlarda ortaya çıkarak, birleşip zamanla süngerimsi yapıyı meydana getirirler. Kemik spikülleri arasındaki bağ dokusuna, kan damarları ve daha fazla farklılaşmamış mezenşimal hücrelerin girmesi ile kemik iliği hücreleri de meydana gelir (Brinker ve O'Conner, 2006; Eroschenko, 2008, s. 79).

Mandibula, maksilla, klavikulalar ve kafatasının yassı kemiklerinden çoğu, intramembranöz yöntemle oluşurlar. Gelişmekte olan kafatasında, kemik gelişim merkezleri işinsal olarak büyür, bağ dokusunun yerini alır ve daha sonra birleşirler. Yeni doğanda, kafatasındaki fontaneller yumuşak membranöz bölgelerdir. Bu alanlarda, kafatası kemiklerinin intramembranöz kemikleşmesi henüz tamamlanmamıştır (Eroschenko, 2008, s. 80).

### **2.1.9. Kemik Fizyolojisi**

#### **2.1.9.1. Kemik Metabolizması**

Kemik vücudun birincil kalsiyum rezervidir. Hızlı *turnover* kabiliyeti sayesinde vücudun metabolik gereksinimlerinin karşılanması ve stabil serum kalsiyum seviyesinin elde edilmesini sağlar. Akciğer ve böbreklerle birlikte fosfat ve karbonatların üretimine katkıda bulunarak vücut pH dengesinin sağlanmasına yardımcı olur. Kemik aynı zamanda sinir ve kas elektriksel yüklerinin iletimine de yardımcı olur (Ergene, 2002, s. 369; Garg, 2004, s. 8).

Kemik yapı ve kütlesi vücudun metabolik durumundan direk olarak etkilenir. Kalsiyum gereksinimi durumunda veya bazı hastalıklarda kemiğin yapısal bütünlüğü bozulabilir, hatta tehlikeye girebilir. Örneğin post-menopozal dönemdeki kadınlarda östrojen hormonu azaldığından kemik kütlesi de giderek azalmaya başlar ve trabeküller arası bağlantılar kaybolur. Ara bağlantılar kemiğin biyomekanik açıdan sertlik kazanmasında oldukça önemlidir. Kemikteki azalma frajilite artışına yol açar (Garg, 2004, s. 8).

Metabolik ve hormonal etkileşimler kemik yapısının korunmasında önemli rol oynar. En önemlisi kemik morfogenetik proteinleri aracılığıyla kemik rezorpsiyon ve apozisyon döngüsünün sürdürülmesine yardımcı olurlar. Osteoblastlar kemik oluştururken mineral matriksi içerisine BMP salgırlar. Asitte çözünmeyen bu protein osteoklastik rezorpsiyonla serbest kalıncaya kadar matriks içinde oturur. Osteoklast tarafından oluşturulan 1 pH değerinde kemik minerali çözülmekte ancak BMP etkilenmemektedir. Serbest kalan BMP farklılaşmamış mezenşim hücre duvarına bağlanır ve yüksek enerjili fosfat bağlarıyla membran sinyal proteinini aktive eder. Bu osteoblast farklılaşmasına ve yeni kemik üretiminin uyarılmasına yol

açar. Bu süreçte meydana gelen bozukluklar osteoporozu yol açabilir (Ergene, 2002, s. 374; Garg, 2004, s. 8).

Normal şartlarda bir günde insan iskeletinin %0.7'si rezorbe olmakta ve yerini yeni sağlıklı kemik almaktadır. Böylelikle tüm iskeletin normal *turnover*'i yaklaşık 142 günde gerçekleşir. Yaşlanma ve metabolik hastalıklar normal *turnover* sürecinde düşüşe, bu sebeple fonksiyonel kemiğin ortalama yaşında ise artışa yol açar. Yaşlı ve yorgun kemiğin zarar görme riski artmakta ve iyileşme kapasitesi azalmaktadır (Garg, 2004, s. 8).

### 2.9.1.2. Kemik *Modeling* ve *Remodeling*'i

Daha önce de bahsedildiği gibi vücuttaki aktif bölgelerde kemik sürekli olarak osteoblastlar tarafından yığılmakta ve osteoklastlar tarafından yıkılmaktadır. Yetişkinlerde osteoblastlar tarafından küçük bir miktar yeni kemik oluşturulmaktadır. Bu kemik miktarı herhangi bir zamanda tüm yüzeylerin %4'ü kadarına denk gelmektedir (Ergene, 2002, s. 373).

Çoğu ortopedist ve kemik bilimci her iki olayı da *remodeling* olarak tanımlasa da kemik *modeling* ve *remodeling*'i osseöz tamir sürecinde birbirinden farklı olaylardır. Kemik *modeling*'i kemik boyundaki büyüme sonrasında tipik olarak kemiğin yontulması ve şekillenmesi işlemidir. Bu süreç osteoklast ve osteoblastların bağımsız etkileri sonucu bazı bölgelerde kemiğin rezorbe olması, diğer bölgelerde ise ilave edilmesi işlemlerini içermektedir. Kemik *modeling*'i mekanik faktörler tarafından da kontrol edilebilmektedir. Örneğin ortodontik diş hareketinde, kuvvetin uygulanmasıyla diş üzerindeki kemik rezorbe olurken, karşı yüzeyde yeni kemik yapımı olmakta ve bu sayede diş alveol arasından değil çevresindeki kemik eşliğinde hareket etmektedir. *Modeling* işlemiyle kemiklerin hem şekli hem de boyutları değişebilmektedir (Garg, 2004, s. 12).

Diğer yandan kemik *remodeling*'i iki tip hücrenin birlikte ve sıralı etkileri olarak ortaya çıkar. Bu genellikle statik durumu koruyan, kemik şekil ve boyutunda değişikliğe yol açmayan döngüsel bir işlemdir. Kemik *remodeling*'i bir kısım eski kemiğin uzaklaştırılması ve yerini yeni kemiğin alması işlemidir. Kemiğin yeniden yapılanması aktivasyon, rezorpsiyon, reversal, formasyon fazından oluşur:

- 1) Aktivasyon: Kemik yüzeyindeki osteoblastlar tarafından sentezlenen nötral proteazlar, kemik dokusu ile yüzeyel hücreler arasında bulunan mineralize olmamış osteoidi rezorbe ederler. Ayrıca PTH, 1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> ve PGE uyarısına cevap olarak yüzeydeki osteoblastlar kontrakte olur ve mineralize matriks açığa çıkar ve aktivasyon süreci başlar. Erişkin iskelette her 10 saniyede bir aktivasyon olmaktadır. Osteoklast prekürsörleri osteokalsin, osteopontin, osteonektin gibi proteinlerin etkisiyle açığa çıkan matrikse yapışarak aktif hale gelirler.
- 2) Rezorpsiyon: Aktive olan osteoklastlar temasta bulundukları yüzeyin 2-3 kat daha fazla kemik yüzeyini rezorbe ederler. Yaklaşık 2-4 hafta kadar sürer.
- 3) *Reversal*: Kemik rezorpsiyonunun sona ermesi ve formasyonun başlaması arasında geçen süredir ve normal koşullarda 1-2 hafta sürer. Rezorpsiyon kavitesi belli bir derinliğe ulaşınca kollajenden fakir, proteoglikan ve glikoproteinden zengin dolgu maddesi (sement çizgisi) depolanır ve böylece daha ileri kemik rezorpsiyonu önlenir.
- 4) Formasyon: Osteoblastlar, çeşitli hormonların ve büyüme faktörlerinin etkisiyle farklılaşıp osteoid dokusunu sentezlerler. Yeni oluşan osteoid dokunun mineralizasyonu ile *remodeling* tamamlanmış olur.  
(Martin ve Rodan, 2001)

Büyüme sonrası oldukça yavaşlayan kemik *modeling*'inin aksine *remodeling* bir miktar yavaşlasa da hayat boyu oluşmaya devam eder. Kemik *modeling*'i iskelet boyunca kronolojik ve konumsal olarak farklı fokal noktalarda da oluşmaktadır. Bu durum kemik *remodeling*'inden sorumlu olan hücrel aktivasyonun lokal olarak kontrol edildiğine işarettir (Garg, 2004, s. 12; Jee, 2005, s. 27).

Kemik *modeling*'i aynı zamanda yara iyileşmesi ve kuvvet yüklemesi sırasında da gerçekleşmektedir. Kemik *remodeling*'inin aksine modeling işlemi rezorpsiyonla başlamak zorunda değildir. Kemik rezorbe eden ve oluşturan

hücrelerin aktivasyonu aynı kemiğin farklı yüzeylerinde gerçekleşebilmektedir. İlaveten, kemik *modeling*'i (yara iyileşmesi, greftleme ve osseointegrasyonda olduğu gibi) büyüme faktörleri tarafından da kontrol edilebilmektedir (Jee, 2005, s. 31).

Gerek *modeling* gerekse *remodeling* işleminde, kemik, taşıması gereken kompresyonel yük oranında yığılmaktadır. Örneğin atletlerin kemikleri atlet olmayanlara göre önemli ölçüde daha ağırdır. Benzer şekilde bir ayağı alçıda olan kişi eğer sağlam ayağını kullanmaya devam ederse kullanmadığı taraftaki kemiğin incelendiği görülecektir (Garg, 2004, s. 12).

Kemik dokusunu oluşturan yapıtaşlarının karmaşık düzeni, bu dokuya etkiyen temel kuvvetler olan gerilme, basma, makaslama ve bükülme kuvvetleri etkisi altında karmaşık biyomekanik özelliklerin ortaya çıkmasını sağlar. Bu mekanik özellikler, kollajen lifler ve mineralizasyon başta olmak üzere bu dokunun temel yapıtaşlarının ve bu yapıtaşlarının organizasyon özelliklerinin bir fonksiyonudur (Çırpar ve diğerleri, 2009, s. 247).

## 2.2. Maksiller Kemik ve Çevre Anatomisi

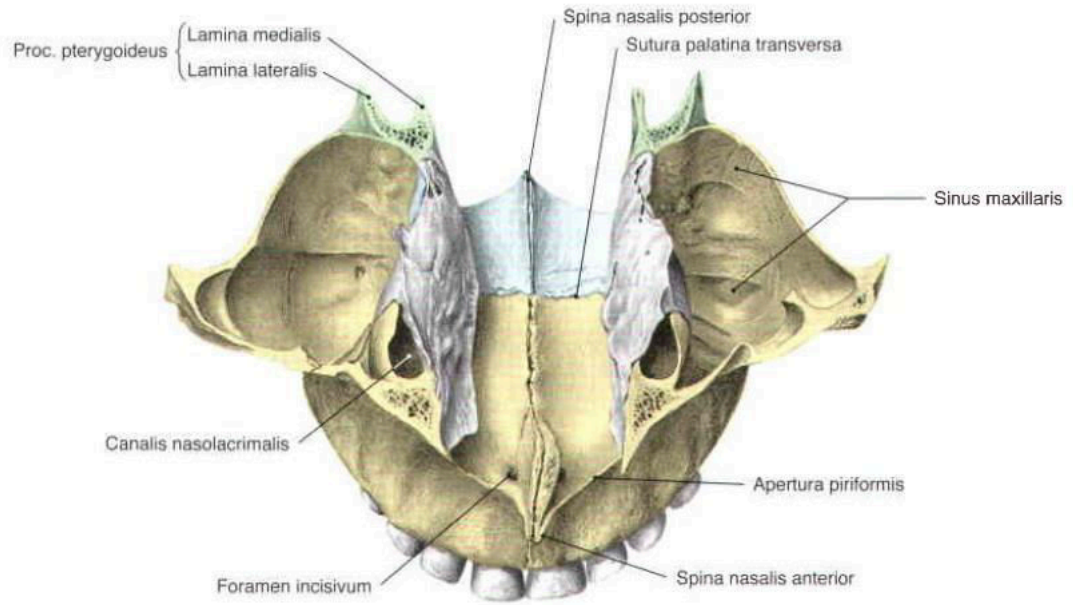
### 2.2.1. Maksilla

Maksilla *viscerocranium*'un çift kemiklerindendir. Her iki maksilla ortada *sutura intermaxillaris* ile birleşerek üst çenenin iskeletini oluşturur. Bu iskelet ağız boşluğunun tavanını, burun boşluğunun lateral duvarı ve döşemesini ayrıca orbita döşemesinin büyük bir kısmını yapar (Sancak ve Cumhur, 1999, s. 10).

Maksilla'nın bir gövdesi (*corpus maxillae*), dört yüzü (*facies anterior*, *facies nasalis*, *facies orbitalis* ve *facies infratemporalis*) ve dört çıkıntısı (*processus frontalis*, *processus zygomaticus*, *processus alveolaris* ve *processus palatinus*) vardır (Sancak ve Cumhur, 1999, s. 10).

Maksillanın gövdesi maksiller sinüsün tamamını barındırır (Şekil 2.1). Seyrek olarak sinüs apeksi zigomatik kemik içerisinde bulunabilir. Maksillanın anterior yüzü sinüsün anterolateral duvarıdır. İnfraorbital foramenin inferior orbital kenardan uzaklığı değişkendir. Bu foramenin aşağısında kanin dişin lateralinde konumlanan

*fossa canina* bulunur. Maksillanın sağ ve sol alveoler proçesleri *apertura piriformis*'in altında orta hat üzerinde birleşerek anterior nazal spinayı oluşturur. Bu kemik çıkıntısı nazal septumun anterior kartilajının en ön ve en alttaki ataçman bölgesidir. Nazal tabanı oluşturan maksillanın anterior ve nazal yüzünün birleşim noktasında sivri bir krest şeklinde bulunan bu yapı yukarıya piriform apturadan yukarıya doğru eğim yapar. Maksilla gövdesi ve frontal proçesi ince bir kenar şeklinde piriform apturanın superolateral sınırını oluşturur. Maksillanın nazal krest i orta hat üzerinde septal kartilaj ve vomer ile birleşir. Septal kartilaj arkadan öne doğru uzanan bir oluk üzerinde oturur. Orta hat üzerinde, maksilla ve premaksillanın birleşim bölgesinde insiziv fossa bulunur. Bu yapı nazopalatin arter ve sinirlerin iletildiği ve bir foramene açıldığı kanallar içerir (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1181,1182; Tortora ve Derrickson, 2012, s. 225).



**Şekil 2.1.** Maksilla anatomisi, üstten görünüm (Putz ve Pabst, 2006, s. 52)

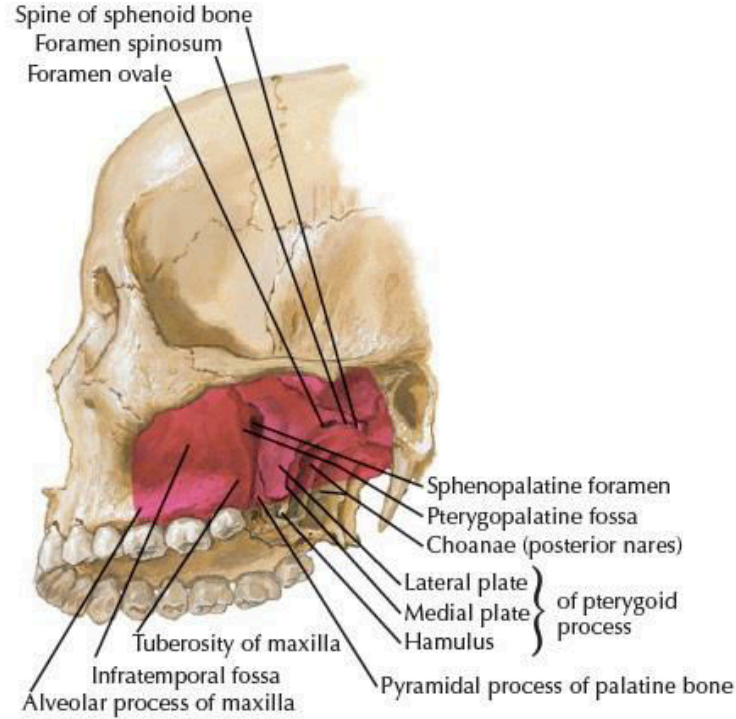
Sert damak maksillanın palatin proçesi ve palatin kemiğin horizontal laminası tarafından oluşturulur. Maksilla ve palatin kemikler arasındaki transvers sütün sert damağın posterior marjininin 1 cm kadar önünde bulunur. Bu sütün ikinci molar dişin 1 cm kadar posteromedialinde bulunan palatin majör foramene kadar uzanır. Majör palatin kanal palatin kemiğin *perpendicular* laminası ve maksillanın arasında bulunur. Bu iki yapı aynı zamanda inferior lateral nazal duvarı oluşturur. Inferior

nazal *concha*, lateral nazal duvarın maksiller ve palatin komponentiyle de ilişkidir (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1182).

Maksillanın posterolateralinde, üçüncü molar dişin arkasında maksiller tüber bulunur. Maksiller tüberin üzerinde posterior superior alveoler damar ve sinirlerin giriş yaptığı foramina görülür. Palatin kemiğin piramidal proçesi sphenoid kemiğin pterygoid proçeleri ve maksilla ile birleşir. Foramen rotundum pterygopalatin fossanın ve pterygoid kanalın arka duvarına açılır. Medialde sphenopalatin foramen lateral nazal kavitenin orta *concha*'nın arkasında kalan kısmına açılır. Ön kısımda infraorbital nörovasküler demet ve zigomatik sinirler infraorbital kanal içerisinde seyrederek. Altta ise palatin descendens arter palatin majör kanalı içerisinde aşağı doğru iner (Sancak ve Cumhuriyet, 1999, s. 11).

### 2.2.2. İnfratemporal Bölge

Tabanı yukarıda olan 4 yüzlü bir piramide benzer. Arka duvarını parotis bezinin ön-iç yüzü ve *riolan* kas demeti oluşturur. Ön duvarını maksiller tüberin arka yüzü, *buccinator* kasın arka kısmı ile *superior constrictor pharyngeus* kasın bir kısmı oluşturur. Dış duvarını mandibuler ramusun iç yüzü ve medial pterygoid kas oluşturur. İç duvarını ise, önden arkaya doğru maksiller tüberin dış yüzü, pterygomaksiller fissür, pterygoid proçesin lateral laminası ve *pharynx*'in yan duvarı oluşturur. Bölgenin üst sınırını zigomatik ark ve *crista infratemporalis*'ten geçen düzlem, alt sınırını ise mandibula alt kenarından geçen düzlem oluşturur (Şekil 2.2). Bölgede maksiller arterin pterygoid parçasından çıkan dallar, pterygoid ven pleksusu, mandibuler sinir, lateral ve medial pterygoid kaslar, otik gangliyon gibi önemli yapılar bulunur. Pterygoid ven pleksusu oldukça geniş bir venöz ağ olup kısmen temporal ve pterygoid kaslar arasında kalan boşluklara yayılmış haldedir (Şakul ve Bilecenoglu, 2009, s. 134,135).



Şekil 2.2. İnfratemporal bölgenin sınırları (Norton, 2012, s. 212)

### 2.2.3. Pterygopalatin Bölge

İnfratemporal bölgenin iç tarafında bulunur. Tabanı yukarıda, tepesi aşağıda dört yüzlü bir piramit şeklindedir. Orbita tepesinin hemen arkasında *fissura orbitalis inferior* ile *fissura pterygomaxillaris*'in birleşim yerinde bulunan *fossa pterygopalatina*'ya yerleşmiştir. Ön duvarında *tuber maxillae*, *fissura orbitalis inferior*, arka duvarında sphenoid kemiğin pterigoid proçeslerin taban kısmının ön yüzü ve *canalis pterygoideus*'un ön açıklığı bulunur. Tabanında foramen rotundum, tepesinde ise, *canalis pterygoideus*'un açıklığı bulunur. Foramen rotundum ve *canalis pterygoideus* ile *fossa cranii media*'ya, foramen sphenopalatina ile burun boşluğuna, *fissura orbitalis inferior* ile orbita'ya, *fissura pterygomaxillaris* ile *regio infratemporalis*'e, *canalis palatinus majus* ile ağız boşluğunun arkasına, *canalis pharyngeus* ile de *pars nasalis pharyngis*'e bağlanır. Bu bölgede *a. maxillaris*'in son bölümü olan *pars pterygopalatina*'dan çıkan 5 dalı bulunur. Bunlar *a. alveolaris superior posterior*, *a. infraorbitalis*, *a. palatina descendens*, *a. canalis pterygoidei* ve *a. sphenopalatina*'dır (Şakul ve Bilecenoğlu, 2009, s. 148,149).



#### 2.2.4. Çiğneme Kasları

- **M. Masseter**

Dörtgen şeklindeki bir kastır. *Os zygomaticum* ve *arcus zygomaticus*'tan başlayıp, *ramus mandibulae* boyunca aşağıya doğru uzanır. Kasın mandibula üzerindeki sonlanma yeri tıpkı başlangıcında olduğu gibi çok geniştir. Ön tarafta ikinci molar diş hizasıyla *angulus mandibulae*'daki *tuberositas masseterica* arasını tamamen doldurur. Kas yüzeysel ve derin olmak üzere iki bölümden meydana gelmiştir. Yüzeysel bölüm (*Pars superficialis*) *os zygomaticum*'dan başlayıp, aşağıya arkaya doğru uzanır. Derin bölüm (*Pars profunda*) ise, *arcus zygomaticus*'dan başlayıp aşağıya doğru daha vertikal planda uzanır. Kas kontraksiyon yaptığı zaman, mandibula yukarıya doğru kaldırılarak dişlerin kapanması sağlanır. Bu özelliğinden dolayı çiğneme fonksiyonunda çok etkili bir kastır. *Pars superficialis*'i ayrıca mandibulanın öne doğru çekilmesine de yardım eder. Mandibula öne doğru çekildiği ve ısırma işlemi yapıldığında, kasın derin kısmı mandibula kondilini fossa temporalis içinde stabilize de etmektedir (Sancak ve Cumhuriyet, 1999, s. 39; Şakul ve Bilecenoglu, 2009, s. 114).

- **M. Temporalis**

Kası saran fasiaya *fascia temporalis* denilir. Oldukça sağlam, fibröz bir tabaka olan *fascia temporalis*, *linea temporalis superior*'a yapışır. *Fascia temporalis*, *galea aponeurotica*, *fascia subcutanea* ve deri tarafından örtülmüştür. A. ve v. *temporalis superficialis* ile *n. auriculotemporalis*, bu fasianın yüzeyinde bulunur. Üst bölümü tek yaprak şeklinde incedir. *Arcus zygomaticus*'a yakın olan alt bölümü ise lamina *superficialis* ve lamina *profunda* olmak üzere iki yaprak şeklinde ve daha kalındır. Yüzeysel yaprak arkusun dış, derin yaprak ise iç kenarına tutunarak sonlanır. *Fascia temporalis*'in derin yaprağının altında bulunan m. *temporalis*, *fossa temporalis*'i tamamen dolduracak şekilde buradaki kemikten başlar. Ön bölüm lifleri vertikale, arka bölüm lifleri ise horizontale yakın bir seyir gösterir. En arka lifleri horizontal olarak uzanır. Kas lifleri ortak bir kırışte toplanarak *arcus zygomaticus*'un derininden geçer ve mandibulanın *proc. coronoideus*'unun üst kısmına tutunur. M.

temporalis, aynı zamanda *art. temporomandibularis*'in kaput, kapsül ve diskusuna da tutunur. Liflerinin bir bölümü son molar dişe kadar olan bölümde *linea obliqua*'ya tutunarak aşağıya iner. N. mandibularis tarafından innerve edilen bu kas, çeneyi kapatan en kuvvetli kastır. Arkadaki lifleri *caput mandibulae*'yi arkaya doğru çekerek *fossa mandibularis*'e gelmesini sağlar. Böylece alt çenenin retraksiyonunda da rol alır (Sancak ve Cumhur, 1999, s. 40; Şakul ve Bilecenoğlu, 2009, s. 41).

- **M. Pterygoideus Medialis**

*Ramus mandibulae*'nin iç tarafında bulunur ve *ramus mandibulae*'nin dış tarafındaki *m. masseter*'e paralel olarak uzanır. *M. pterygoideus medialis* ve *m. masseter ramus mandibulae*'yi asan kaslar olarak bilinir. Sfenoid kemiğin *lamina lateralis proc. pterygoidei*'sinin iç yüzünden, *fovea pterygoidea*'dan ve *os palatinum*'un *proc. pyramidalis*'inden başlar. *Tuber maxillae*'dan başlayan lifleri de bulunabilir. Önce *m. pterygoideus lateralis*'in iç kısmında aşağıya iner. Daha sonra aşağıya, arkaya ve dışa doğru uzanarak kuvvetli tendinöz bir yapı ile *angulus mandibulae*'nin iç yüzünde *tuberositas pterygoidea*'da sonlanır. Kasın iç tarafı *m. tensor veli palatini* ve *m. constrictor pharyngis superior* ile yakın komşuluk yapar. Bu kasın üst bölümü ile mandibula arasından, *lig. sphenomandibulare*, a. ve v. maxillaris, n. lingualis ile a., v. ve n. alveolaris inferior geçer. Esas fonksiyonu çeneyi kapatmak olan bu kas, *m. masseter*'le birlikte çeneyi askıya alan kastır (Şakul ve Bilecenoğlu, 2009, s. 142).

- **M. Pterygoideus Lateralis**

*Pars superior* ve *pars inferior* olmak üzere iki bölümden oluşur. Alt bölümü üst bölümünün yaklaşık 3 katı kadar büyüktür. Bazı araştırmacılar bu nedenle iki bölümü ayrı iki kas olarak kabul ederler. Üst bölüm, *ala majoris ossis sphenoidalis*'in *facies maxillaris*'inden, alt bölümü ise *proc. pterygoideus*'un *lamina lateralis*'in dış yüzünden başlar. Kas lifleri bir araya toplanarak horizontal yönde arkaya ve dışa doğru seyredererek, mandibula kondilinin ön yüzünde bulunan *fovea pterygoidea*'da sonlanır. Üst bölümün en yukarıda kalan lifleri, çene eklemi kapsülü ve *discus articularis*'in ön kısmında sona erer. Üst bölümün sonlanması daha çok tendinöz yapıdadır. Kas çift taraflı kasıldığında, *caput mandibulae* ve *discus articularis*'i öne

doğru çekerek ağzın açılması hareketini başlatır. Tek taraflı kasılmalarda ise, çene ucunu karşı tarafa kaydırır (Şakul ve Bilecenoglu, 2009, s. 142).

### 2.3. Ortognatik Cerrahi

Ortognatik cerrahi, ortodonti ve maksillofasiyal cerrahiyi birleştirerek çenelerin kas-iskelet, dento-osseöz ve yumuşak doku deformitelerinin tanısı, tedavi planlaması ve uygulaması ile ilgilenen bilim ve sanat dalıdır (Wolford ve Fields, 1999, s. 1205).

Dentofasiyal deformitelerin düzeltilmesinde 3 tedavi yaklaşımı vardır:

- 1) Büyüme modifikasyonu
- 2) Ortodontik kamuflaj tedavisi
- 3) Ortognatik cerrahi

(Aydinatay, 2007; Reyneke, 2003, s. 1,2; Spalding, 2004, s. 1070)

Eğer deformite çenelerin gelişimini sürdürdüğü dönemde tespit edilmişse bu durumda büyüme ve gelişimden yararlanılabilir. Ekstraoral apareylerle büyümenin yönlendirilmesi mümkündür. Büyüme ve gelişimin sonlandığı yaştan sonra iskeletsel bir deformitenin düzeltilmesi için geriye iki seçenek kalmaktadır. Eğer bu tip bir deformite diş hareketleriyle kabul edilebilir bir duruma gelmiyorsa, işte bu durumda ortognatik cerrahi tedavi ihtiyacı doğmaktadır (Proffit ve White, 2002, s. 3; Spalding, 2004, s. 1071).

Dentofasiyal deformiteler popülasyonun yaklaşık %20'sini etkilemektedir. Dentofasiyal deformiteye sahip hastalar çeşitli derecelerde estetik ve fonksiyonel sorunlar gösterebilir. Bu malformasyonlar tek çeneyle sınırlı veya birkaç kraniyofasiyal yapıyı içerecek şekilde olabilir. Unilateral veya bilateral olabilir. Vertikal, horizontal veya transvers düzlemlerde değişik derecelerde görülebilirler. Bu hastaların birçoğu ortognatik cerrahi tedavi ile tedavi edilebilmektedir (Proffit ve White, 2002, s. 3; Wolford ve Fields, 2000, s. 24).

Başarılı ortognatik cerrahi oral maksillofasiyal cerrah, ortodontist ve diş hekimi kooperasyonu ile mümkündür. En uygun fonksiyonel ve estetik sonucu elde etmek için diğer tıp dallarından da yardım almak gerekebilir. Bu bölümler arasında

periodontoloji, prostodonti, endodonti, nöroşirurji, oftalmoloji, otolaringoloji, plastik cerrahi ve konuşma terapisi bulunabilir (Harris ve Hunt, 2009, s. 1; Wolford ve Fields, 2000, s. 24).

Orta ve ileri derece okluzal uyumsuzluk durumlarında optimal fonksiyon ve estetik eldesi için ortodontik tedavi ve ortognatik cerrahi kombinasyonu gerekmektedir. Ortodonti çoğunlukla bazal kemik üzerinde küçük bir etkiye sahip olan diş alveol kemik hareketiyle sınırlıdır. Ortodontistin rolü alt ve üst çenedeki dişlerin düzenlenmesi ve dekompanzasyonudur. Oral ve maksillofasiyal cerrah ise yüz iskeletini hareket ettirir ancak dişlerin ayrıntılı düzeni ve interdijitasyonunu sağlayamaz. Cerrah sadece varolan deformite ve tedavi amaçlarına göre çene ve fasiyal yüz yapılarına yeni bir konum kazandırır. Ortognatik tedavi ekibi hastaya en güncel tedaviyi sağlayabilmek amacıyla şunları sağlamalıdır:

- 1) Varolan deformitenin doğru tanısı
  - 2) Uygun tedavi planının oluşturulması
  - 3) Tavsiye edilen tedavinin uygulanması
- (Wolford ve diğerleri, 2004, s. 1111)

Ortognatik cerrahinin temel amaçları şunlardır:

- Fonksiyon (Normal çiğneme, konuşma, oküler fonksiyon ve solunum fonksiyonu)
  - Estetik (Yüz harmonisi ve dengesinin sağlanması )
  - Stabilite (Kısa ve uzun dönem relapsın önlenmesi)
  - Kısa tedavi süresi (Yeterli ve etkili tedavinin sağlanması)
- (Harris ve Hunt, 2009, s. 2; Wolford ve Fields, 2000, s. 25)

### **2.3.1. Tedavi Planı**

#### **2.3.1.1. Cerrahi Öncesi Ortodonti**

Cerrahi öncesi ortodontik tedavi safhası, maksimum ağız hijyeninin sağlanması ile başlar; diş diziliminin düzenlenmesi, diş çekimi, ark ekspansiyonu, ön dişlerin dekompanzasyonunun sağlanması, cerrahi planlama için dental modellerin

oluşturulması, segmental osteotomi için osteotomi alanlarının belirlenmesi, intraoperatif ve postoperatif maksillomandibuler fiksasyon için ortodontik braket ve splintlerin hazırlanması aşamalarını içerir. Bu safha mevcut deformitenin durumuna ve yapılan planlamaya göre ortalama 12-18 ay kadar sürer (Harris ve Hunt, 2009, s. 51; Shanker ve Vig, 2000, s. 83).

Dento-iskeletal deformitelerde dişler, iskeletsel uyumsuzluğun yarattığı fonksiyon kaybını en aza indirmek amacıyla normal oküzyona yakın dental ilişkiyi sağlayacak şekilde dizilim gösterirler. Bu kompanzasyon her üç düzlemde de karşımıza çıkabilir. Antero-posterior düzlemde kompanzasyon, sınıf II maloklüzyonu bulunan hastalarda maksiller insiziv dişlerin retroklinasyonu, mandibuler insiziv dişlerin proklinasyonu şeklinde görülür. Sınıf III maloklüzyonu bulunan hastalarda ise maksiller insizivler proklinasyon, mandibuler insizivler ise retroklinasyon gösterirler. Her iki maloklüzyonda da dişler overjeti azaltma yönünde bir hareket içindedirler (Shanker ve Vig, 2000, s. 84, Winchester ve Young, 1999, s. 1266,1267).

Anterior openbite görülen maloklüzyonlarda, hem maksiller hem de mandibuler insizivler vertikal yönde uzayarak ön teması sağlamaya çalışırlar. Maksilla ile mandibula arasında ark uyumsuzluğunun bulunduğu durumlarda ise dişler transvers yönde içe veya dışa doğru hareket ederek kompanzasyonu sağlamaya çalışırlar. Diş diziliminin ortodontik tedavi yardımıyla cerrahi öncesi dekompanzasyonu, cerrahinin önündeki dental kısıtlamaları ortadan kaldırır ve cerrahi sonrasında optimal sonuç elde edilmesine katkıda bulunur (Shanker ve Vig, 2000, s. 89).

Çenelerin cerrahi konumlandırılmasından önce dişler bazal kaideye göre en uygun pozisyona getirilmelidir. Bu tedavinin hedefleri şunlardır:

- Dişlerin bazal kaideye göre konumlandırılması ve dental kompanzasyonların eliminasyonu
- Dişlerin ilgili dental arka göre seviyelendirilmesi
- Diş boyutu uyumsuzluğunun düzeltilmesi
- Cerrahi kesilere komşu diş köklerinin eğimlendirilmesi

- Üst ve alt ark genişliklerinin koordinasyonu (Wolford ve Fields, 1999, s. 1225,1226)

### 2.3.1.2. Cerrahi Operasyon

Cerrahi prosedürler kas – iskelet deformitelerinin stabil olarak optimal fonksiyon ve estetiği sağlayacak şekilde düzeltilmesi için kullanılır. Cerrahi öncesinde hastanın kayıtları yenilenir ve cerrahi için hazır olup olmadığı değerlendirilir. Sefalometrik cerrahi ve model cerrahisinden elde edilen veriler ışığında çeşitli cerrahi tekniklerle operasyon tamamlanır (Wolford ve Fields, 2000, s. 46).

Uygulanan cerrahi teknikler 4 farklı planlama ile kullanılabilir:

1. Mandibuler repozisyonu içeren tek çene cerrahisi: Mandibulanın yeni vertikal, anteroposterior, ve transvers pozisyonu maksiller dişlenme (özellikle kesiciler) tarafından belirlenir. Çene ucunun anteroposterior ve vertikal pozisyonu genioplasti yardımıyla değiştirilebilir. Bu işlemde çene ucunun şekli ve labiomenta katlantının durumu önemlidir.
2. Maksiller repozisyonu içeren tek çene cerrahisi: Maksillanın yeni anteroposterior konumu mandibula tarafından belirlenir. Ancak, cerrah maksillanın vertikal yüksekliğini aşağı alma ve gömme işlemleriyle değiştirebilir. Bu durumda mandibula kapanışı sağlamak için kondilde oluşan bir nokta etrafında otorotasyon yapar. Bu otorotasyondan sonra mandibuler kesicilerin geldiği konum, maksiller kesicilerin anteroposterior konumlarını da belirlemiş olur. Transvers uyumsuzluklar, vertikal okluzal düzlem uyumsuzluğu ve üst arktaki dişlerarası boşluklar segmentalizasyon ile düzeltilebilir. Vertikal fazlalığı bulunan maksillada gömme işleminden sonra mandibuler kesicilerin anteriora rotasyonu ile bir miktar ilerleme de oluşur. Bu durumda ortodontist bu fazladan ilerlemeyi kompanze etmek amacıyla mandibuler kesici eğimlerini düzeltebilir. Eğer düzeltme sağlanamıyorsa çift çene cerrahisi düşünülmelidir.
3. Maksiller ve mandibuler repozisyonu içeren çift çene cerrahisi: Çift çene cerrahisinde genellikle önce maksilla konumlandırılmaktadır. Bu konumun

belirlenmesinde anterior maksilla ve posterior maksillanın vertikal pozisyonu, maksillanın sağ ve sol kısımlarındaki vertikal değişiklikler, maksillanın anteroposterior ve transvers pozisyonu rol oynamaktadır. Maksillanın doğru konumu bulunduğundan sonra mandibula bu temele göre yeniden konumlandırılır.

4. Maksillomandibuler kompleksin rotasyonunu içeren çift çene cerrahisi: Bu kompleksin rotasyonu, okluzal düzlem açısını değiştirerek konvansiyonel tedaviyle elde edilemeyen fonksiyon ve estetik sonuca ulaşmayı amaçlar. Bu yöntemde mandibuler otorotasyon sonrası oluşan okluzal düzlem final okluzal düzlem değildir. Maksillomandibuler kompleksin rotasyon yönü ve yeni okluzal düzlem açısı çene ucunun pozisyonu, paranazal anatomi ve fasiyal kontur değerlendirilerek belirlenir.

(Reyneke ve Ferretti, 2010, s. 994-999)

### **2.3.1.3. Cerrahi Sonrası Ortodonti**

Rijit iskeletsel fiksasyon yapılmışsa, cerrahi sonrası ortodonti cerrahiden 4-8 hafta sonra başlar. Operasyonu takip eden ilk aylarda dişler ve kemik segmentleri hızlıca hareket ettirilebilir. Başlangıç iyileşme safhası tamamlanıp okluzyon stabil hale geldiğinde randevular daha geniş bir zaman aralığına yayılır. Dişlerin son pozisyonunu alması operasyondan 3-12 ay sonra sarkabilir. Cerrahi sonrası ilk 3-4 aydaki iyileşme ile yeterli stabilizasyon sağlansa da iyileşme safhasının sonlanması 9-12 ayı alacaktır. Daha sonra rutin retansiyon fazına geçilir (Wolford ve Fields, 2000, s. 46).

### **2.3.2. Ortognatik Cerrahi Teknikleri**

Dentofasiyal deformitelerin düzeltilmesi için birçok cerrahi teknik bulunmaktadır. En uygun tedavi planı için cerrahın bu yöntemlerin uygulamaları, potansiyel riskleri ve komplikasyonları konularında deneyimli olması gerekmektedir (Wolford ve Fields, 1999, s. 1227).

#### A) Maksillaya Yönelik Teknikler

- 1) Cerrahi Yardımlı Maksiller Ekspansiyon
- 2) Le Fort I Osteotomisi
- 3) Anterior ve Posterior Segmental Osteotomiler
- 4) Le Fort II Osteotomisi
- 5) Le Fort III Osteotomisi

#### B) Mandibulaya Yönelik Teknikler

- I) Ramusa Yönelik Teknikler
  - 1) Sagittal Split Ramus Osteotomisi
  - 2) Intraoral Vertikal Ramus Osteotomisi
  - 3) Ters L Osteotomisi
- II) Korpusa Yönelik Teknikler
  - 1) Anterior Mandibuler Subapikal Osteotomi (Anterior Segmental)
  - 2) Total Subapikal Osteotomi
  - 3) Mandibuler Gövde Cerrahisi (Mandibuler Osteotomi)
- III) Genioplastiler

#### 2.3.3. Maksiller Osteotomilerin Tarihçesi

İlk Le Fort I osteotomi von Langenback tarafından nazofaringeal poliplerin eksizyonu amacıyla 1859'da uygulanmıştır. Cheever ise 1867'de rekürrent epistaksis nedeniyle oluşan total nazal obstruksiyonun tedavisinde sağ hemimaksiller *downfracture* uyguladığını rapor etmiştir. Sonraki yıllar boyunca pek çok cerrah patolojik rahatsızlıkların tedavisinde uyguladıkları farklı osteotomileri tarif etmişlerdir (Aktaran: Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1179; Turvey ve White, 2002, s. 288).



Maksiller osteotominin oklüzyon problemlerinin tedavisinde ilk kez kullanılması 1921'de Cohn-Stock tarafından anterior segmental maksiller osteotomi ile olmuştur. Tüm maksillanın sadece palatal vasküler yapılara dayanılarak güvenli bir şekilde kırılabilceğı, mobilize edilebileceğı ve istenilen pozisyona getirilebileceğinin farkına varılana kadar bu tür anterior ve posterior segmental maksiller osteotomiler oklüzal anomalilerin tedavisinde sıkça kullanılmaya başlanmıştı (Aktaran: Stearns ve diğeri, 2000, s. 153).

İlk kez total maksiller osteotomi veya Le Fort I osteotomi ile ortognatik cerrahi uygulaması Martin Wassmund tarafından 1927 yılında rapor edilmiştir. Ancak bu ilk uygulamada maksillanın beslenmesinin bozulmasından endişe edilerek, maksilla osseöz bağlantılarından tamamen ayrılmamış ve cerrahi sırasında mobilize hale getirilmemiştir. Bunun yerine cerrahi sonrası maksillaya uygulanan elastik traksiyonlarla oklüzyon yeniden şekillendirilmeye çalışılmıştır. Axhausen benzer bir tekniğı 1934'te iyileşmiş bir maksiller kırığın düzeltilmesi amacıyla uygulamış ancak maksillayı tamamen mobil hale getirip cerrahi sırasında pozisyon vermiştir (Aktaran: Turvey ve White, 2002, s. 288).

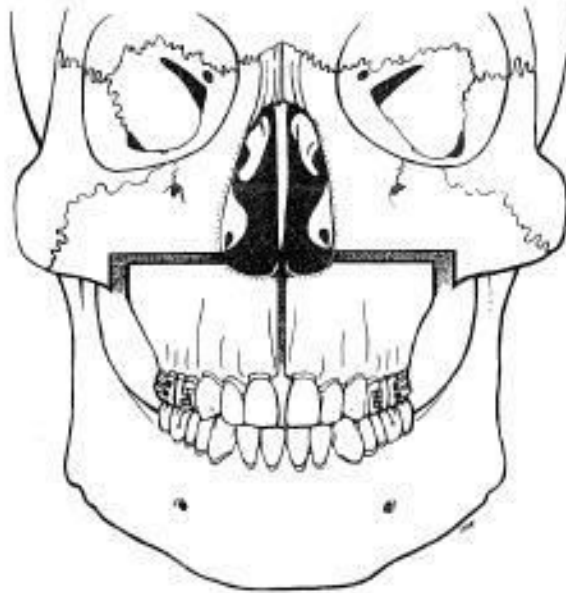
Schuchardt ilk kez 1942'de maksillanın serbestleştirilmesi amacıyla pterygomaksiller bileşkeden ayrılabilceğini savunmuştur. Moore ve Ward ise 1949'da maksillanın daha serbest hale gelebilmesi amacıyla pterygoid çıkıntıların horizontal düzlemde kesilmesini önermişlerdir. Ancak daha sonra yayınlanan raporlarda bu işlemin ciddi boyutlarda kanamaya neden olduğı ve kesinlikle sakınılması gerektiğı belirtilmiştir. Yukarıda tarif edilen tekniklerin çoğunda maksillanın ve dişlerin vaskülarizasyonunu bozmaktan endişe edildiğı için maksilla belirli ölçülerde serbestleştirilmekte ve daha sonra uygulanan ortopedik kuvvetler aracılığı ile istenen pozisyona getirilmekte idi. Ancak hemen hepsinde yüksek relaps oranları söz konusu olmaktadır (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1179).

Hugo Obwegeser, 1965'te maksillanın tam mobilizasyonunu sağlayarak aksi yönde herhangi bir kuvvete maruz kalmadan istenilen pozisyonu elde etmiştir. Bu uygulama tedavinin kalıcılığı yönünden oldukça önemli bir ilerleme sağlamıştır.

### 2.3.4. Cerrahi Yardımlı Maksiller Ekspansiyon

Transvers yöndeki maksillomandibuler uyumsuzluğun tedavisinde geleneksel olarak ortodontik ekspansiyon veya segmental maksiller osteotomi kullanılmaktadır. Ancak tedavi sonrası aparey çıkarıldığında sıklıkla relaps görülmektedir. Diğer bir tedavi tekniği olan rapid maksiller ekspansiyon ise yetişkinlerde maksillanın ekspansiyona direnç göstermesi sorunuyla karşılaşmaktadır. CYME prosedürü distraksiyon osteogenezi ve kontrollü yumuşak doku ekspansiyonunun kombinasyonudur. Bu kontrollü ekspansiyon sayesinde maksillanın uzun dönem stabilitesi artmaktadır. (Betts ve Ziccardi, 2000, s. 211; Woods ve diğerleri, 1997).

Genellikle transvers yön problemleri fasiyal yumuşak dokulardaki değişikliğin minimal olmasından dolayı gözden kaçmaktadır. Bu yüzden klinik ve radyografik açıdan dikkatle incelenmelidir. Klinik belirtileri arasında unilateral veya bilateral posterior çapraz kapanış, çapraşık ve rotasyonlu dişler, dar ve sivri ark formu, yüksek ve dar palatal kubbe görülebilir. CYME (Şekil 2.3) ortodontik ve ortopedik apareylerle osteotomileri kombine ederek 1-4 hafta içerisinde iskeletsel maksiller ekspansiyon elde etmektedir (Betts ve Ziccardi, 2000, s. 212,216)



**Şekil 2.3.** CYME osteotomi hattının önden görünüşü (Betts ve Ziccardi, 2000, s. 223)

CYME avantajları:

- Dental ve iskeletsel stabilitede artış
- Seri çekim yapılmadan ortodontik dizilimin sağlanması
- Gülme esnasındaki negatif (karanlık) alanların kaldırılmasıyla estetiğin artırılması
- Uzun dönem periodontal sağlığın geliştirilmesi
- Nazal kavitedeki genişlemeye bağlı olarak burun solunumunun gelişmesi (Vanarsdall ve diğerleri, 1995)

CYME endikasyonları:

- 1) Transvers yöndeki iskeletsel uyumsuzluğun 5 mm'den fazla olması
  - 2) Dar maksilla ve geniş mandibulanın görüldüğü transvers maksiller yetersizlik durumunda
  - 3) Başarısız ortodontik ekspansiyon durumunda
  - 4) Büyük miktarda (>7mm) ekspansiyon gereken durumlarda
  - 5) Aşırı ince, hassas dişeti dokusu varlığında
  - 6) Nazal stenoz varlığında
- (Silverstein ve Quinn, 1997)

### 2.3.5. Le Fort I

Maksiller deformiteler üç düzlemde de oluşabilir. Cerrahi uygulama her hastaya özgün şekilde dizayn edilir. Maksilla Le Fort I osteotomisi sayesinde superiora, inferiora, anteriora, posteriora veya transvers doğrultuda tek veya birden çok segment halinde hareket ettirilebilir. Maksillanın yukarıya hareketi *impaction* veya gömme, aşağıya hareketi *downgraft*, öne hareketi *advancement* ve geriye hareketi ise *setback* şeklinde ifade edilmektedir (Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 232; Wolford ve Fields, 1999, s. 1238).

Maksilla segmentalizasyonu; arkların genişletilmesi, daraltılması, seviyelendirilmesi, veya ark simetrisinin geliştirilmesine olanak sağlar. Bugün Le Fort I osteotomisi, tek parça veya segmental olarak hazırlanan, güvenilirliği yüksek

ve en sık kullanılan maksiller osteotomidir. Tekniğin kolay oluşu, pek çok fonksiyonel ve estetik probleme çözüm olabilmesi ve sonuçlarının güvenilir olması bu kadar tercih edilmesinin temel nedenleridir (Hausamen, 2001; Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1280; Wolford ve Fields, 1999, s. 1238).

Le Fort I osteotomisinin endikasyonları oldukça geniştir. Mandibuladan kaynaklı deformite ve malformasyonların tedavisinde dahi, mandibuler cerrahiye ek olarak uygulanmasıyla, özellikle openbite olgularında tedavinin kalıcılığını artırır. Maksillanın yukarı gömülmesi, özellikle uzun yüzlü hastalarda kozmetik açıdan fayda sağlamaktadır. Maksillanın inferior repozisyonu ve ekspansiyonu da değişen stabilite oranlarına sahip olmakla birlikte mümkündür. Le Fort I tekniği, maksillanın segmentler halinde hareket ettirilmesine imkan tanınması nedeni ile üç boyutlu düzeltmeleri de olanaklı kılmaktadır. Bu teknik sayesinde maksillanın gelişim yetersizliği, gelişim fazlalığı veya asimetri bulunan vakalarda söz konusu deformitenin düzeltilmesi amacıyla maksillanın ideal konuma getirilmesi mümkün olmaktadır (Harris ve Hunt, 2009, s. 181; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 232).

#### 2.3.5.1. Cerrahi Teknik

Bütün fasiyal kemik prosedürlerinde olduğu gibi maksiller osteotomi sırasında da hasta pozisyonu oldukça önemlidir. Baş yaklaşık olarak 10 derece kaldırılmalı ve işlem boyunca modifiye hipotansiyon (90 mm Hg sistolik basınç) sağlanmalıdır. Genellikle %2'lik *lidocaine* ve 1:100000 epinefrin içeren lokal anestezi solüsyonu maksillanın fasiyal yüzündeki mukobukkal dokulara infiltre edilir. Böylece insizyon sırasındaki yumuşak doku kanaması azaltılmış olur (Obeid, 2011, s. 651; Turvey ve White, 2002, s. 289).

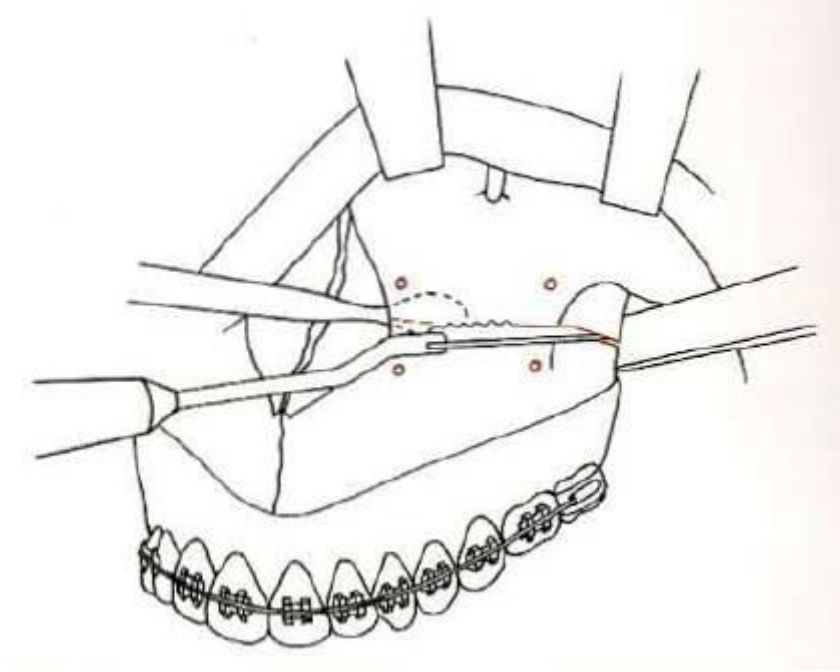
Oral insizyon üst dudağın mukobukkal katlantısı üzerinde olacak şekilde 1. Molar diş üzerindeki zigomatikomaksiller *butress* bölgesinden anteriora doğru devam ederek orta hatta kadar uzanır. İnsizyon maksilla lateral duvarı boyunca ilerler ve anteriora doğru biraz alçalır. Mukoza, lateral duvara yapışan kaslar ve periost bu insizyonla geçilmiş olur. İnsizyon bilateral olarak tamamlandığında maksilla lateral duvarları superiora doğru açığa çıkarılır. Orbital kenara doğru subperiosteal diseksiyonla infraorbital sinir açığa çıkarılır ve korunur. Anterior nazal spina ve

piriform kenar belirlenir ve septopremaksiller ligament ile transvers nazal kas spina üzerinden uzaklaştırılır. Daha sonra nazal mukoza lateral nazal duvar ve nazal tabandan diseke edilir. Nazal mukozanın olabildiğince az perforasyonla diseke edilerek kaldırılması, kan kaybının ve postoperatif şikayetlerin azaltılması açısından önemlidir. İnsizyonun inferior kısmından doku diseksiyonu yapılmaz. Bu kısımda bulunan bukkal ve palatal yumuşak dokular, maksilla repozisyonu sonrasında maksillanın perfüzyonunun sağlanmasında önemli olduğundan kemik üzerinden ayrılmamalıdır. Yumuşak dokunun geniş tabanlı korunması amacıyla posterior maksillada diseksiyon tünel şeklinde yapılır. Diseksiyon posteriorda pterygoid plaklara ve maksiller tübere doğru ilerledikçe aşağıya doğru açılarak devam eder (Perciaccante, 2012, s. 628; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 233).

Yumuşak doku diseksiyonu tamamlandığında vertikal referans noktaları piriform apertura ve zigomatikomaksiller buttress üzerine yerleştirilir. Sagittal eksen de dişler ve okluzal splintler rehber görevi gördüğünden horizontal işaretlemeye gerek duyulmaz (Frost, 1999, s. 1277).

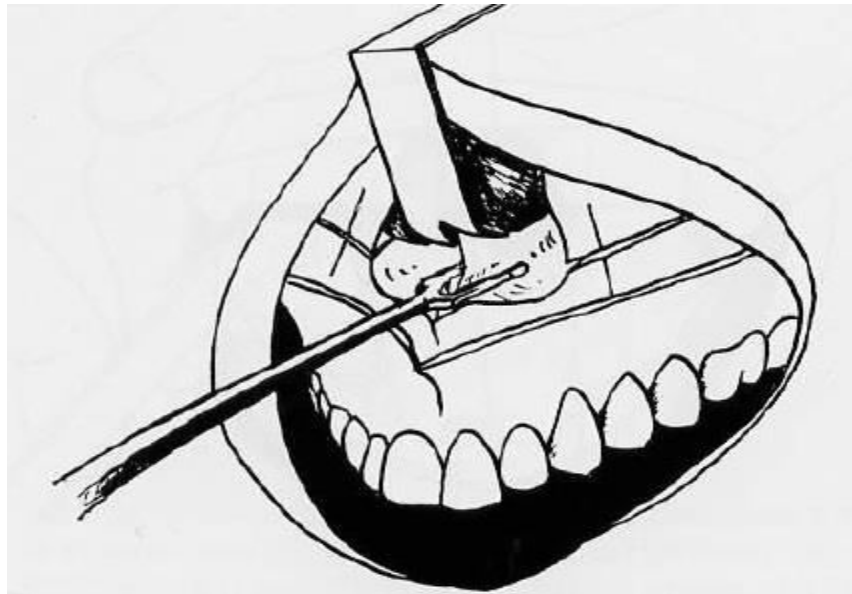
Lateral maksiller osteotomi (Şekil 2.4) posteriorda zigomatikomaksiller *butress*'den başlar ve bu yer vertikal referans noktasının hemen üstüne ve aynı zamanda maksiller okluzal düzlemin yaklaşık olarak 35 mm üzerine rastlar. Osteotomi daima piriform aperturaya doğru inferior yönde ilerleyecek şekilde planlanmalıdır. Bu şekilde nazolakrimal sistemin zarar görme riski azaltılmış olur. Bir resiprokal testere veya cerrahi frez ile osteotomi anteriora doğru ilerletilir. Posterior lateral maksiller duvar mukozal tünel içerisinden direkt görüş altında kesilir. Bu amaçla maksilla ve pterygoid proçes birleşimine bir retraktör yerleştirilir ve yeterli görüş sağlanır. Maksiller arter ve pterygopalatin fossaya inen terminal dallarının hasarını önlemek amacıyla posterior osteotomi, zigomatikomaksiller *butress*'den maksiller ve pterygoid birleşime doğru inferior doğrultuda ilerler. Posterior osteotomi dişlerin perfüzyonunu korumak amacıyla 2. molar dişin 5 mm üzerinde olmalıdır. Gömülü 3. Molar dişler osteotomi dizaynını etkilememelidir. Bunlar işlem sırasında ekspoz olurlar veya maksiller repozisyon ile çatışır ise uzaklaştırılırlar. Posterior duvar kesisi tamamlandıktan sonra testere ters yönde çalıştırılarak maksiller sinüs içerisinden dışa doğru osteotomi tamamlanmış olur.

Kemik kesileri tamamlandığında yara tamponlanarak aynı işlemler karşı tarafta da gerçekleştirilir (Frost, 1999, s. 1278, Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 235).



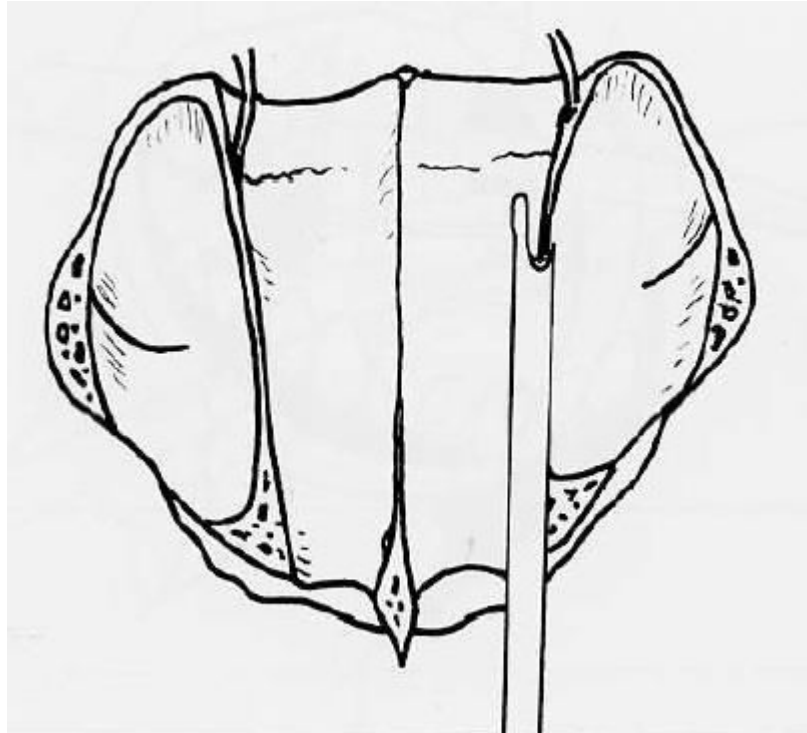
**Şekil 2.4.** Le Fort I, lateral maksiller osteotomi (Turvey ve White, 2002, s. 290)

Nazal kavite osteotomileri sırasında nazal mukoza özenle korunmalıdır. Septal osteotom yardımıyla posterioara ve inferiora doğru nazal septumun kemik ve kartilaj kısmı ve vomer serbestleştirilir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5.** Le Fort I, medial nazal osteotomi (Reyneke, 2003, s. 273)

Lateral nazal duvar kesisi (Şekil 2.6) sırasında bir periost elevatörü yardımıyla nazal mukoza korunur ve lateral nazal osteotomu piriform kenardan inferior ve posteriora doğru yönlendirilerek lateral nazal duvar boyunca palatin kemiğin perpendiküler plağına kadar ilerletilir. Osteotomi sırasında lateral nazal duvar ince olduğundan az bir dirençle karşılaşılır. Palatin kemiğe varıldığında ise osteotomun ilerlemesine gösterilen direnç artar. Bu aynı zamanda duyulabilir bir değişikliktir. Palatine descendens damarlar zarar görecektir olsa bile palatin kemik tamamen ayrılmalıdır. Maksillanın hareketlendirilmesi sırasında, palatin kemikteki kırık nazal taban hizasında olmalıdır. Palatin kemiğin tam olmayan kesisi orbitaya kadar ulaşabilen istenmeyen fraktürlere sebep olabilir. Palatin kemiğin yetersiz kesisi sonucu oluşan vasküler hasar ve kanamaya bağlı olarak görüş bozuklukları dahi görülmektedir. Bu manevra sırasında osteotom posteriora doğru fazlaca ilerletilirse palatin descendens damarlar zarar görür ve hemoraji ile karşılaşılır (Harris ve Hunt, 2009, s. 183; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 236).

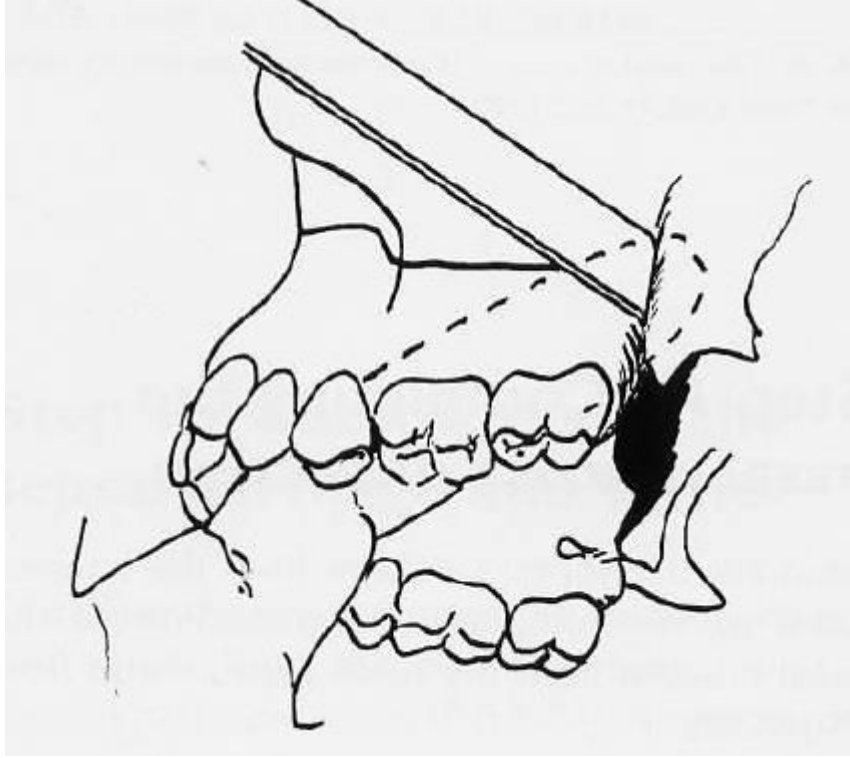


**Şekil 2.6.** Le Fort I, lateral nazal osteotomi (Reyneke, 2003, s. 272)

Le fort 1 osteotominin son aşaması maksillanın pterygoid plaklardan ayrılmasıdır. Bu işlem, maksilla ve pterygoid plakların birleşim yerinin en alt

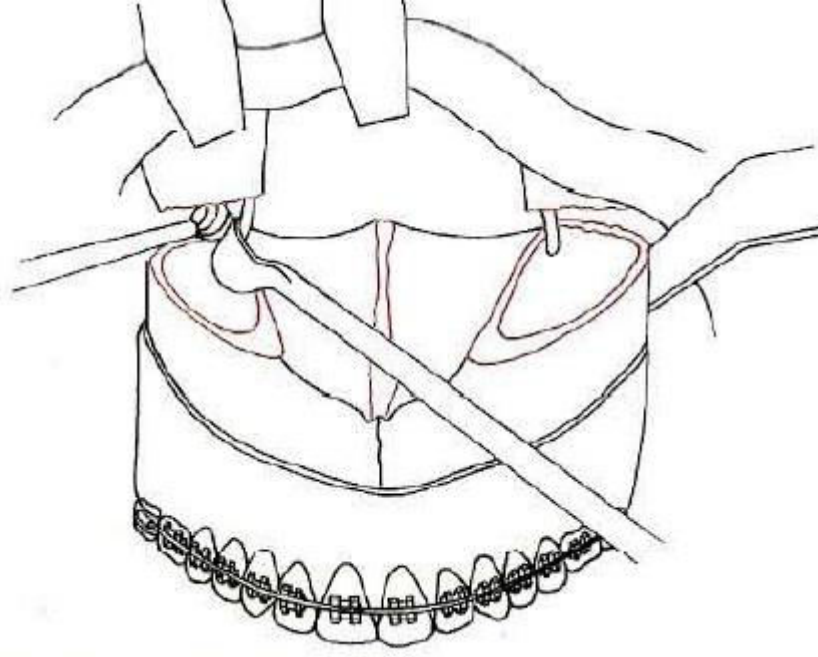
seviyesine medial ve anterior doğrultuda yerleştirilen eğri bir osteotom yardımıyla yapılır (Şekil 2.7). Bu osteotomun doğru şekilde yerleştirildiğinin anlaşılması amacıyla işaret parmak palatal tarafta hamular çentik üzerinde olacak şekilde palpasyon uygulanır. Kemik ayrımını sağlamak amacıyla osteotoma vurulduğunda, birleşim bölgesinden ilerleyen osteotomun ucu işaret parmağıyla palpe edilir. Maksilla artık *downfracture* için hazır hale gelmiştir. Parmak basıncı yardımıyla maksillanın ön yüzü hafifçe aşağıya doğru bastırılır. Bu noktada direnç ile karşılaşılır ise lateral nazal duvarın (özellikle palatin kemiğin perpendikular laminası) osteotomisinin tam olup olmadığı kontrol edilmelidir. Maksilla aşağı doğru hareket ettiğinde nazal yumuşak dokuların kalan yapışıklıkları da kaldırılır. Postoperatif konjesyon ve rahatsızlığın en aza indirilmesi amacıyla nazal mukozanın olabildiğince korunması tercih edilmelidir. Özellikle superior repozisyon planlanan olgularda, bir *rongeur* yardımıyla maksillanın nazal krest ve vomer üzerinde kalan kemik düzensizlikleri uzaklaştırılır. Benzer şekilde gerekli olduğu durumlarda lateral nazal duvarlar üzerinde de redüksiyon yapılabilir. Anterior nazal spina gerekli olmadıkça kaldırılmamalıdır. Bu yapı burun ucuna destek sağladığı için olabildiğince korunmalıdır. Kalan kemik bağlantılarının koparılması amacıyla mobilizasyon aletleri çift taraflı olarak maksiller tüber arkasına yerleştirilir ve direkt görüş altında maksilla öne doğru hareket ettirilir (Obeid, 2011, s. 653, Reyneke ve Ferretti, 2010, s. 1010; Turvey ve White, 2002, s. 194).





**Şekil 2.7.** Le Fort I, pterygomaksiller osteotomi (Reyneke, 2003, s. 271)

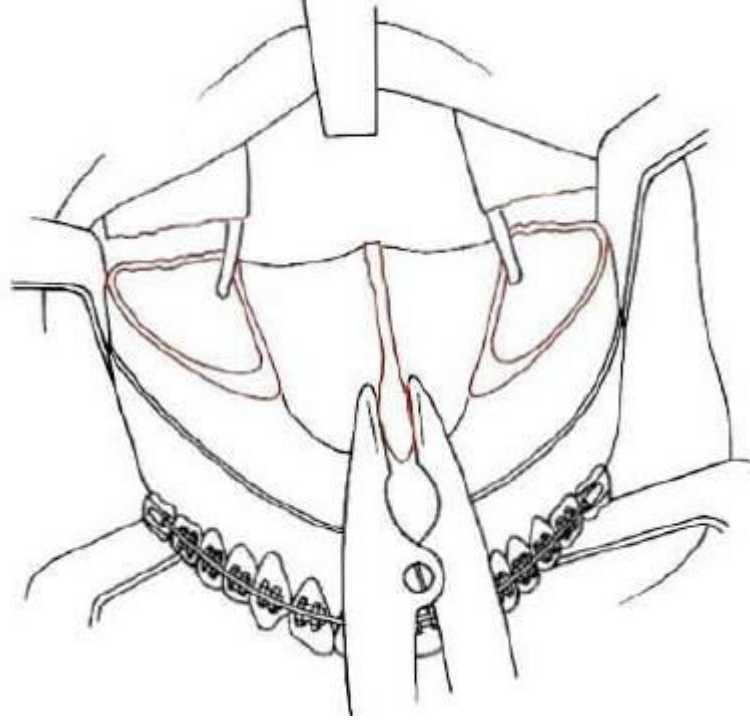
Palatin nörovasküler yapılar sıklıkla maksiller sinusun posteromedial yüzünde görülebilir. Posterior maksilla ve palatin descendens damarlar çevresindeki kemik; *rongeur*, frez veya osteotom yardımıyla dikkatlice uzaklaştırılmalıdır (Şekil 2.8). Eğer mümkünse bu damarlar korunarak maksillanın repozisyon sonrasındaki kan desteği güçlendirilebilir. Pterygoid plaklardan kemik kaldırıldığı durumlarda pterygoid kaslardan gelen kanama ile karşılaşılabilir. Bu kanama lokal anestezi enjeksiyonu ve nemli tampon uygulanarak kontrol altına alınabilir (Frost, 1999, s. 1279).



**Şekil 2.8.** Posterior osteotomi alanının düzeltilmesi sırasında palatin descendens nörovasküler yapının korunması (Turvey ve White, 2002, s. 294)

Eğer superior veya inferior repozisyon planlanıyorsa, maksillanın posterior ve medial kısımlarından yeterli miktarda kemiğin uzaklaştırılması önemlidir. Bu alanda kemik interferansı oldukça yaygındır ve maksillanın planlanan repozisyonuna engel olabilir. Bu durum maksillomandibular kompleksin rotasyonu sırasında mandibulanın pozisyonunu da etkileyebilir (Harris ve Hunt, 2009, s. 186; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 238).

Maksillanın superiora repozisyonu isteniyorsa, maksilla hareketini sağlayabilmek amacıyla nazal krestal çıkıntı ve nazal septum kartilajında yeterli miktarda redüksiyon yapılması gereklidir (Şekil 2.9). Bu redüksiyon nazal septumun eğilmeden orta hat üzerinde konumlanmasını sağlar. Septum üzerindeki düzensizlikler kaldırılır. Bu amaçla gerekiyorsa subperikondral diseksiyonla tüm septuma ulaşmak mümkündür. Maksillanın septal krestinden frez yardımıyla kemik kaldırılması nazal septum için ek boşluk sağlayabilir. Le Fort 1 nazal septuma en iyi görüş ve ulaşım sağlayan tekniktir (Obeid, 2011, s. 653; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 239).



**Şekil 2.9.** Maksiller nazal krestin redüksiyonu (Turvey ve White, 2002, s. 293)

Maksillanın repozisyonu sırasında inferior türbinler engel oluştuyorsa; bunlar nazal mukoza içerisinden makas veya kemik pensi yardımıyla trimlenebilir. Nazal mukozada oluşan laserasyonlar immedat postoperatif periyotta oluşacak nazal kanamayı azaltmak amacıyla 4-0 rezorbe olabilen sütur materyali ile onarılmalıdır (Reyneke, 2003, s. 279,280).

Osteotomilerin bu şekilde sıralanması (lateral maksiller duvarlar, nazal septum, lateral nazal duvarlar, pterygomaksiller birleşim); eğer prosedür sırasında kanamayla karşılaşılırsa, maksillanın hızlıca mobilizasyonuna imkan sağlayacaktır. İşlem sırasında kanama açısından en büyük risk taşıyan damarlar palatin descendens arterlerdir ve bu kanama direkt görüş altında lokal olarak kontrol edilebilir (Turvey ve White, 2002, s. 294).

Maksiller mobilizasyon ve yeterli miktarda kemiğin uzaklaştırılması sonrasında bir okluzal splint maksilla ve mandibula arasına telle yerleştirilir. Kemik interferansları ve deviasyonlar kontrol edilerek maksillomandibuler kompleks rotasyonu gerçekleştirilir. Prematür kemik kontakları mandibuler kondilin deplasmanına ve istenilen sonuçtan sapmaya yol açacağından dikkatle ortadan

kaldırılmalıdır. Mandibulanın kapalı şekildeki rotasyonu sırasında, kondillerin yerinde konumlanması amacıyla mandibula, angulus bölgesinin hemen önünden inferior *border* tutularak desteklenmelidir (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1188).

Maksilla konumlandırıldıktan sonra vertikal referans noktaları arasındaki mesafe ölçülerek vertikal repozisyon doğrulanır. İnterferans bölgelerindeki kemik aşamalı olarak kaldırılarak piriform bölge ve posterior duvarlarda düz bir kontak sağlanabilir. Lateral duvarlar ve *zygomaticomaksiller* bölgede aşırı kemik kaldırılması maksiller duvarlarda geniş defektler bırakabilir. Bu durum selektif şekilde kemik kaldırılması ile önenebilir (Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 240).

Maksilla stabilizasyonu genellikle vidalarla fiks edilen dört adet plakla sağlanır. Küçük kemik plakları (1.5 mm) bir miktar esnekliğe sahiptir ve bunlar cerrahi sonrasında elastik traksiyonla düzeltme yapılmasına izin verir. Direkt osseöz telleme de etkili şekilde kullanılabilmektedir. Tel fiksasyonu, tam olarak doğru olmayan repozisyonların cerrahi sonrası elastik traksiyonla kolaylıkla düzeltilebilmesi sebebiyle tercih edilebilmektedir. Kemik plakları ve interosseöz fiksasyon *zygomaticomaksiller* butress ve piriform apertura bölgesinden uygulanır. Bunun sebebi bu bölgelerin en kalın kemik duvarına sahip olmasıdır. Maksiller duvarların ince olduğu durumlarda yeterli maksiller stabilizasyonun sağlanmasına yardımcı olmak için plak ve vida fiksasyonu infraorbital kenara kadar uzatılır (Frost, 1999, s. 1283; Reyneke, 2003, s. 281,282; Wolford ve Fields, 1999, s. 1240).

### **2.3.5.2. Maksillanın Segmentalizasyonu**

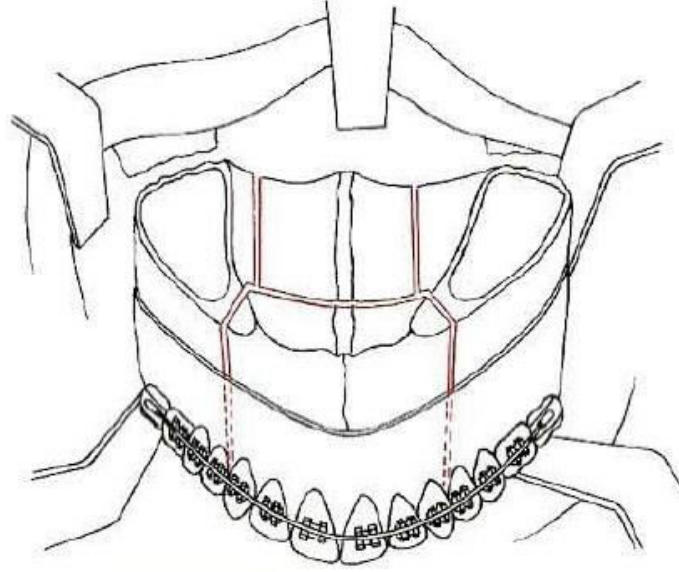
Tek parça Le Fort I osteotomisine kıyasla bazı avantajları vardır:

- Transvers yetersizlik veya fazlalığın düzeltilmesi
  - Asimetrinin düzeltilmesi
  - Transvers vertikal deformitelerin düzeltilmesi
  - Okluzyon eğrisinin düzeltilmesi
  - Ark içi boşluk eliminasyonu veya yaratılması
- (Wolford ve Fields, 1999, s. 1239)

Dental arklar arasındaki transvers uyumsuzluklar, maksiller okluzal

düzlemdeki vertikal basamaklar ve maksiller arkta boşlukların bulunduğu durumlarda maksillanın segmentlere ayrılması endikedir. Bu amaçla iki paramedian osteotomi ve bir transvers osteotomi kullanılmaktadır. Pale orta hattının ayrılmasından kaçınılmalıdır. Burada kemiğin kalın ve palatal yumuşak dokuların ince olması sebebiyle, gerilme veya hasar oluşması durumunda çoğunlukla yumuşak dokular ruptürasyona uğramaktadır. Laterale doğru kemik incelir ve bu bölgelerde kesi işlemi daha kolay hale gelir. Yumuşak dokular ise daha kalın olduğundan gerilme karşısında kolay ruptüre olmazlar. Ark genişlemesi veya daralması sırasında; bu iki paramedian osteotomi sayesinde, gerilim daha geniş bir yumuşak doku alanına yayılmakta ve kemik defekti oluşma riski azalmaktadır (Alcalde ve diğerleri, 2012, s. 642; Turvey ve White, 2002, s. 295,296).

Maksiller *downfracture* sonrasında yuvarlak uçlu bir fissür frez yardımıyla nazal tabanda osteotomiler oluşturulur. Uygun interdental boşluk seçilir ve mukoza dikkatlice diseke edilerek alveoler kemik üzerindeki kök kabartıları tespit edilir. Periapikal radyografiler kök pozisyonları ve oryantasyonlarının anlaşılmasına yardımcı olur. Alveol kemik üzerindeki bukkal mukozada minimal elevasyon yapılması oldukça kritiktir. Hedeflenen osteotomi bir frez yardımıyla işaretlenir (Şekil 2.10). İnce bir osteotom kullanılarak kökler arasındaki osteotomi tamamlanır. Bu işlem sırasında işaret parmağıyla palatal dokular palpe edilmelidir. İnterdental kesi, *paramidline* ve transvers palatal osteotomiler ile birleştiğinde, segment mobilizasyonu parmak basıncıyla sağlanabilir. Gerekli ekspansiyonun ve mobilizasyonun tam olarak sağlanması için kemik *spreader*'leri kullanılabilir. Mobilizasyon öncesi ortodontik ark teli de ayrılmalıdır (Alcalde ve diğerleri, 2012, s. 642; Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1191).



**Şekil 2.10.** Le Fort I segmentalizasyonu (Turvey ve White, 2002, s. 296)

Mobilizasyon gerçekleştikten sonra nazal tabandaki kemik adasına bağlı olan palatal yumuşak dokular ekspansiyon ve diğer hareketlere izin verecek şekilde rahatlatılabilir. Bu segment kendisini besleyen mukozadan tamamıyla sıyrılmamalıdır. Dentoalveoler segment üzerindeki dokular ise hiçbir durumda kaldırılmamalıdır. Aksi takdirde bu segmentin vasküler desteği riske girecektir. Dental arktaki boşluklar kapatılacaksa interdental kemiğin uzaklaştırılması gerekmektedir. Daha sonra bütün segmentleri yerinde konumlandırarak olan okluzal splint dental arka telle bağlanır (Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 242).

### **2.3.5.3. Maksillanın hareket yönleri**

- Superior Repozisyon

Maksilla'yı bütün halde yukarıya doğru 10 mm veya daha büyük miktarlarda ve neredeyse mükemmel bir stabiliteyle hareket ettirmek cerrahi olarak mümkündür. Relaps eğilimi ise genellikle istenilen hareketle aynı doğrultudadır. Yukarı hareketin devam etmesi halinde fazla gömülme durumu ortaya çıkabilir. Bu durum ise genellikle üst dudak ve burun yumuşak dokularında kontrol edilemeyen değişikliklere yol açmaktadır. Maksiller repozisyondan önce uygulanan lateral maksiller kama ostektomisi, maksilla yukarıya hareketlendirildiğinde kemik yüzeyleri arasında genellikle geniş boşluklar kalmasına sebep olur. Maksillanın kaydırılması, yana yatması ve ilerletilmesi kemik kontağını azaltır. Osseöz

kontakların sıralı şekilde kaldırılması gereksiz kemik kayıplarını önler ve maksilla ile kranial taban arasında daha güvenilir bir kontak oluşmasını sağlar. Bu amaçla maksillomandibuler fiksasyon (MMF) sağlanana ve vertikal repozisyon başlayana kadar kemik kaldırılmaz ve sadece horizontal osteotomi yapılır (Harris ve Hunt, 2009, s. 186, Mason ve Schendel, 1999, s. 1322; Proffit ve Sarver, 2002, s. 197).

MMF sağlandıktan sonra kondiller yerinde iken maksilla ve mandibula rotasyon arkı boyunca hareketlendirilir. Maksilla superior pozisyona getirildiği esnada kemik kontak alanları görülebilir. Sadece yeterli oranda kemik kaldırılmasıyla planlanan superior repozisyon gerçekleşebilir. Çoğu vakada bu işlem zigomatik *butress* duvarı veya maksiller duvar üzerindeki herhangi bir yerde oluklar veya yarıklar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu olukların maksillomandibuler kompleksin serbest rotasyonuna engel oluşturup oluşturmadıkları dikkatlice kontrol edilmelidir. Rijit fiksasyon yapıldıktan sonra MMF çıkartılır, mandibula okluziyona gelecek şekilde otorotasyon yapar ve maksiller pozisyon doğrulanır (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1192).

- Anterior Repozisyon

Maksilla cerrahi olarak bütünüyle öne hareket ettirilebilmektedir. Bu işlemin başarısı maksillanın posterior ve superior bağlantılarını serbestleştiren osteotomilere bağlıdır. Bu sağlandıktan sonra maksilla 10 mm'ye kadar ilerletilebilir ve genellikle iyi stabilite elde edilir. Maksillanın öne hareketini sınırlandıran faktörler önünde bulunan yumuşak dokuların özellikle üst dudağın rezistansıdır. Maksillanın büyük boyutlu (6 mm'den fazla) anterior hareketlerinde sıklıkla posterior yönlü relaps ortaya çıkabilir (Mason ve Schendel, 1999, s. 1322; Proffit ve Sarver, 2002, s. 197).

Geleneksel Le Fort 1 osteotomisi anteriordan posteriora gidildikçe inferiora doğru eğim yapar. Bunun sebebi göreceli olarak daha uzun olan kanin diş kökünü korumak ve kesi hattının zigomatik *butress*'in lateral çıkıntısının altında kalmasını sağlamaktır. Oluşan düzlemin eğimi istenen hareket yönü üzerine rastlamaz ise bazı problemler yaratabilir. Planlanan hareket yönüne uyması amacıyla düz, basamaklı, Z osteotomi gibi çeşitli osteotomi şekilleri dizayn edilmiştir. Eğer greftleme tercih ediliyorsa basamak veya Z osteotomisiyle pterygomaksiller fissürden daha iyi

greftleme sahaları oluşturulabilir (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1192).

- Inferior Repozisyon

Yüksek relaps eğilimi olmasından dolayı inferior repozisyonun ortognatik cerrahide ayrı bir yeri vardır. Tüm maksillayı aşağıya hareket ettirmek teknik olarak mümkündür, ancak çoğunlukla interpozisyonel kemik greftine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hareket, cerrahi sonrası stabilitenin az olmasından dolayı farklı bir zorluk içermektedir. Özellikle maksillanın aşağıya hareketinden sonra tekrar yukarıya doğru yükselmesi şeklinde güçlü bir eğilim vardır. Bu durum yumuşak dokuların gerilim kuvvetiyle ya da mandibuler postürün tekrar sağlanması sırasında ortaya çıkan kuvvetlerle ilişkili olabilir (Mason ve Schendel, 1999, s. 1323,1324; Proffit ve Sarver, 2002, s. 198) .

Maksillanın inferior repozisyonundan sonra stabilizasyon ve fiksasyon için çeşitli mekanizmalar savunulmuştur. Aşağıda konumlanan maksillanın stabilizasyonunda suspansiyon telleri, interosseöz telleme, kemik plakları, Steinmann pinleri ve Wessberg pinleri gibi değişik teknikler kullanılabilir. Z veya step osteotomisiyle inferiora repoze edilen maksillanın stabilizasyonunda greftlemeye ihtiyaç duyulmayabilir. Bu osteotomilerin eğimleri sayesinde maksilla anteriora ve inferiora ilerlediğinde kesi düzlemi boyunca kayar ve kemik teması olabildiğince korunmuş olur. Anterior ve posterior osteotomilerin eğimlerine bağlı olarak maksilla daha önde ve daha aşağıda konumlandırılabilir. Kemik temasının zigomatik *butress* ve piriform bölgelerde kaybolduğu durumlarda kemik greftleriyle ayrılan parçalar arasında köprü kurulması ve rijit fiksasyonla maksillanın yeni pozisyonunda tutulması tercih edilmektedir. Greftler kemik iyileşmesini hızlandırmakta ve stabiliteyi artırmaktadır. Yeterli kemik mevcut olduğunda bu greftler kemik vidaları veya plakları ile ya da teller yardımıyla sabitlenebilir. Bazı vakalarda maksilla duvarları oldukça incedir ve plakla rijit fiksasyona izin vermez (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1192).

- Posterior Repozisyon

Maksillanın geri hareketi konusunda Le Fort I osteotomisi ile ilgili kaynaklarda oldukça farklı görüşlerin bulunduğu görülmektedir. Hareketin limitleri



konusunda da fikir birliği bulunmamaktadır. Çalışmamız maksillanın geri hareketinin oluşturacağı etkileri inceleyerek bu konuya açıklık getirmeyi hedeflemektedir.

Proffit ve Sarver'e (2002) göre tüm maksiller dentisyon cerrahi olarak geriye hareket edebilir, ancak posterior kemik interferansları bunu sınırlar ve maksimum 3 – 5 mm'lik bir hareket söz konusudur. Maksiller posterior repozisyon sonucunda üst dudak ve paranazal bölgelerdeki yumuşak dokuların kemik desteğinde kayıp olacağından bu teknik dikkatle kullanılmalıdır.

Perciaccante ve Bays'e (2004) göre osteotomi pterygomaksiller birleşimden geçecek ise ya pterygoid plaklardan ya da maksiller tüber bölgesinden kemik kaldırılması gereklidir. Alternatif olarak osteotomi direkt olarak ikinci molar diş arkasında kalan maksiller tüber bölgesi içerisinde hazırlanabilir. Bu şekilde tüberin bir kısmı pterygoid plaklara bağlı kalır ve daha güvenli bir şekilde kemik kaldırılabilir. Horizontal yöndeki fazlalık, çekimin endike olduğu veya dişsiz boşlukların bulunduğu durumlarda anterior maksiller osteotomiler ile de düzeltilebilir.

Mason ve Schendel'e (1999) göre ise maksillanın tek parça halinde geri hareketinde hareket miktarı 6 mm'den büyük ise maksiller tüber ve pterygoid süreçler üzerinden kemik kaldırılması gerekmektedir. Yazarlar tekniğin bu şekliyle oldukça zor olduğunu aktarmıştır.

Mani (2010) maksillanın Le Fort I osteotomisiyle elde edilen geri hareketinin 1–2 mm gibi minimal bir değer olduğunu, daha büyük bir geri hareketin pterygoid süreç ve maksiller tüber redüksiyonuyla mümkün olacağını; bu redüksiyonun ise 5-10 mm'lik geri harekete izin verebileceğini açıklamıştır.

Moore (2011) ise bu konudaki görüşünü maksillanın geriye hariç tüm yönlere doğru konum değiştirebileceği şeklinde bildirerek maksiller *setback* kavramını kabul etmemiştir.

#### **2.3.5.4. Maksiller fiksasyon yöntemleri**

Rijit Fiksasyon: Günümüzde kullanılan plaklar çoğunlukla saf titanyum ve titanyum alaşımlarından oluşmaktadır. Bunun yanısıra genellikle polilaktik asit ve poliglaktolik asit içerikli, rezorbe olabilen plaklar da kullanılmaktadır. Bu materyaller

biyolojik olarak emilebilen, termoplastik, nonallerjenik, biyo-uyumlu ve nonkarsinojenik özellikler taşımaktadır. İdeal olarak 4 kemik plağı kullanılmalıdır. Çift taraflı piriform kenar ve zigomatik bölgeye plaklar yerleştirilir. Sıklıkla 1.5 veya 2 mm boyutlarında olan plaklar kullanılmaktadır. İyi kemik kontağının bulunduğu daha küçük ve stabil hareketlerde 1.5 mm'lik plaklar kullanılabilir. Greftleme gerektiren kemik boşlukları bulunan durumlarda ise 2 mm plakların kullanımı uygundur. Çok çeşitli plak şekilleri bulunmasına karşın en sık L şeklindeki plaklar tercih edilmektedir. T şeklindeki plaklar da maksillaya kolaylıkla yerleştirilebilmektedir. X plaklar ise iyi üç boyutlu stabilizasyon sağlamasına rağmen kontur verilmesi zor olduğundan seyrek kullanılmaktadır. Her plak için osteotomi hattının üstüne ve altına en az iki vida yerleştirilir. Plaklar kemik üzerinde pasif pozisyonda durmalı ve vidalar yerleştirilip sıkıldığında maksilla yer değiştirmemelidir. Rijit fiksasyon iskeletsel fiksasyona göre bazı önemli avantajlar sağlamaktadır. İntraoperatif olarak kemik segmentleri daha iyi kontrol edilebilmekte, zayıf kemik teması olan bölgelerde dahi stabilizasyon sağlanabilmektedir. İşlemin tamamlanması sonrasında okluzyonun değerlendirilmesi daha kolaydır. Uzun süre immobilizasyon gereksinimi duyulmaması, hastanın konuşma, hijyen, beslenme ve psikolojik açıdan daha konforlu bir tedavi geçirmesini sağlar. Hastanın havayolu etkilenmediğinden hemoraji ve emezis gibi durumlarda rijit fiksasyon daha güvenilirdir. Rijit fiksasyon erken mobilizasyona izin vererek çene fonksiyonlarının hızla geri kazanılmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca, kemik segmentlerinin kompresyonuna bağlı olarak primer kemik iyileşmesinin gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Plakların doğru şekilde manipülasyonu ve kemik segmentleriyle pasif ilişkide olması gerekmektedir. Plakların doğru bükülmemesi sonucu kemik segmentlerinde yer değiştirme, maloklüzyon, kondiler deplasman ve buna bağlı eklem şikayetleri gibi problemlerle karşılaşılabilir (Harris ve Hunt, 2009, s. 127; Turvey ve White, 2002, s. 297; Van Sickels, 1999, s. 1298,1299; .

İntraosseöz Telleme (Tel Osteosentez): Tel fiksasyonu instabil olmasından dolayı maksillanın stabilizasyonu için önerilen bir teknik değildir. Ancak kullanıldığı durumlar da mevcuttur. Bilateral olarak 4 tel kullanılır. Maksilla için askı teller, mandibula için sirkummandibuler teller stabiliteyi artırır. Vertikal ve AP relaps önemli ölçüde daha fazladır. Vertikal stabilitenin sağlanması için kemik teması

gereklidir. Teknik olarak plak vida sistemlerine göre daha az ekipman gerektirmekte ve daha kolay uygulanmaktadır. Tel osteosentezi rijit fiksasyona göre çok daha ucuz bir yöntemdir (Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 240; Turvey ve White, 2002, s. 298; Wolford ve Fields, 1999, s. 1240)

Askı Telleme: Çeşitli tipte askı teller kullanılabilir. İnfraorbital askı telleri ve zigomatik tümsek askı telleri ilgili kenarlardan geçirilir. Piriform kenar da askı için kullanılabilir. Rijit fiksasyonla karşılaştırıldığında relaps ve pozisyonel değişimler daha yaygın görülmektedir. İntraosseöz telleme ile birlikte de kullanılabilirler. Bu teknikler instabil doğaya sahip olduklarından sık tercih edilmemektedirler (Wolford ve Fields, 1999, s. 1240).

Steinmann Pinleri: Zigomatik tümsek içerisine horizontal olarak yerleştirilir ve ark lateraline doğru uzanır. Pin daha sonra 90 derece aşağıya doğru bükülür ve 1. Molar dişin headgear tüpüne veya diğer ortodontik apareylere bağlanır. Kemik plaklarının yetersiz olduğu durumlarda, büyük ilerletme ve ekspansiyon durumlarında endikedir (Wolford ve Fields, 1999, s. 1240).

Cerrahi Stabilizasyon Apareyi (Splint): Bu apareyler çene ve segmentlerin repozisyonu ve stabilizasyonuna yardımcı olur. Okluzal splint, palatal ve lingual splintler hazırlanabilir. Bunlar tel fiksasyonu ile çenelere bağlanabilir (Wolford ve Fields, 1999, s. 1240).

### **2.3.6. Anterior ve Posterior Maksiller Segmental Osteotomiler**

Total maksiller osteotominin çok amaçlı olması ve güvenilirliği, segmental osteotomilerin sadece bazı özel durumlarda kullanılmasını beraberinde getirmiştir. Segmental osteotomiler, defektin arkın bir bölümünde izole olduğu ve geriye kalan bölgelerde dental ve iskeletsel ilişkilerin normal olduğu dentofasiyal deformitelerde uygulanmaktadır. En önemli avantajları morbiditeyi azaltmalarıdır (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 249).

#### **2.3.6.1. Anterior Maksiller Segmental Osteotomi**

Posterior okluzyonu kabul edilebilir olan ancak maksiller alveoler proçeste vertikal ve anteroposterior yön gelişim fazlalığı bulunan hastalarda kullanılır. Bu

prosedür posterior maksiller segmental osteotomi ile birleştirilebilir veya bağımsız yapılabilir. Eğer anterior ve posterior segmental osteotomiler birlikte endike ise segmental total maksiller osteotomi tercih edilmektedir (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 250).

AMSO'nun günümüzdeki en yaygın kullanımı mandibuler subapikal osteotomi ile birlikte bimaksiller protrüzyonun düzeltilmesidir. Diğer endikasyonları şunlardır:

- 1) Kesici eğiminin alveol kemiğe göre normal olduğu belirgin maksiller protrüzyonu düzeltmek
- 2) Vertikal maksiller fazlalığının olmadığı durumda anterior openbite'nin kapatılmasında
- 3) Anterior dişlerin retraksiyonunun konvansiyonel ortodontik tedavi ile yapılamadığı durumlarda (Örn: hasta uyumsuzluğu)
- 4) Ortodontik diş hareketinin önerilmediği kök rezorpsiyonu ve ankiloz durumlarında
- 5) Üst dudağın burun ve alt yüze göre olan çıkıklığının azaltılmasında kullanılabilir.

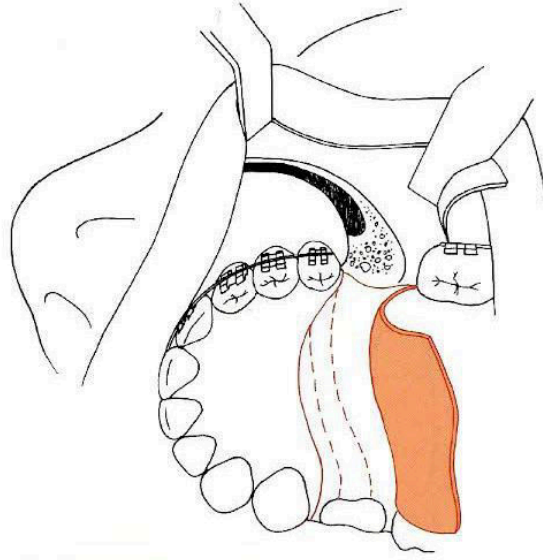
(Rosenquist, 1993; Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 250)

Yapılan çalışmalarda değişik flep dizaynlarının anterior segmentteki kan desteğini etkilemediği görülmüştür. Kan desteği sadece bukkal, sadece palatal veya her ikisinden de sağlanabilmektedir (Martis ve diğerleri, 1991; Stearns ve diğerleri, 2000, s. 159). Bu bilgi ışığında 3 teknik tanımlanmıştır:

#### 1) Wunderer Metodu:

Anterior maksiller segmentin geriye hareketi istendiğinde, transpalatal bir insizyon palatal osteotomi ve ostektomi için doğrudan giriş sağlar. Bu insizyon planlanan çekim ve osteotomilerin bulunduğu bölgede oluşturulan bukkal vertikal insizyonlarla birleştirilir (Şekil 2.11 ). Direkt palatal giriş ile gerekirse molar bölgede de transvers osteotomi uygulanabilir. Bu osteotomi tekniğinde kan desteğini bukkal yumuşak doku bağlantısı sağlamaktadır. Teknik horizontal osteotomiye tamamlamak amacıyla orta hatta oluşturulan vertikal bir insizyon içerecek şekilde modifiye

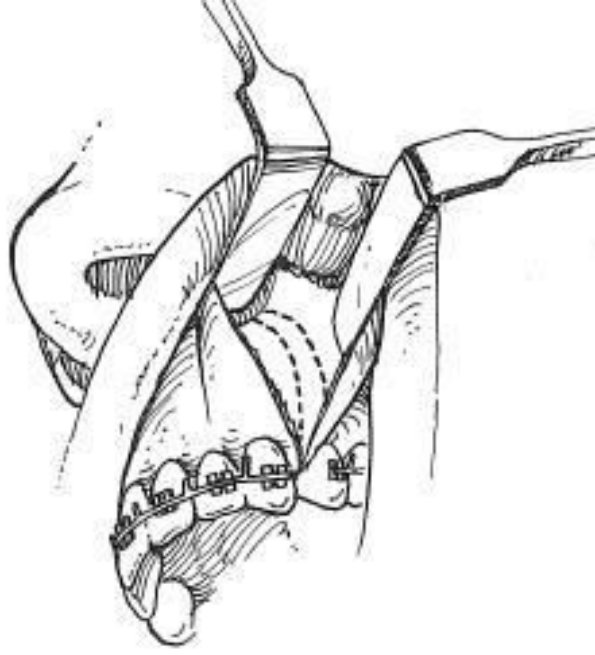
edilmiştir. Böylelikle nazal septumun maksiller segmentten ayrılması geleneksel Wunderer tekniğine göre direkt ve daha kolay uygulanmaktadır. Geleneksel yöntemde bu manevra palatal osteotomi içerisinde yapılmaktadır. Gerekli durumlarda anterior segment orta hat bukkal insizyon ile iki parçaya ayrılabilir (Turvey ve White, 2002, s. 305; Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 250,251).



**Şekil 2.11.** Wunderer osteotomi hattı (Turvey ve White, 2002, s. 306)

## 2) Wassmund Metodu:

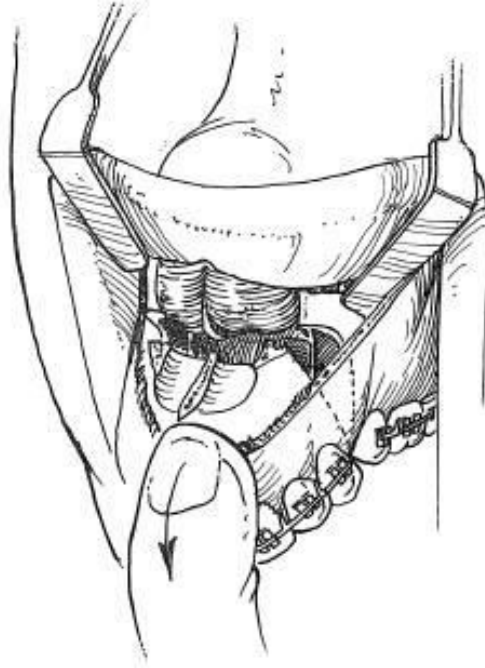
Bu metod hem bukkal hem de palatal yumuşak doku bağlantısını korunmaktadır. Ancak bu insizyon dizaynıyla anterior maksillanın superior ve palatal yüzlerine ulaşmak daha zordur. Planlanan çekim veya interdental osteotomi yakınında vertikal insizyon oluşturulur (Şekil 2.12). Aynı zamanda anterior nazal spina üzerinde de vertikal bir kesi yapılır. Bu insizyonla nazal septum maksiller çıkıntıdan ayırmak ve burun tabanını korumak mümkündür. Horizontal osteotomi anterior ve posterior vertikal insizyonlar arasında oluşturulan tünelden yapılır. Transpalatal osteotomi ise bukkal vertikal osteotomi içerisinde yapılır. Bu esnada palatal mukozayı kesmemek için yumuşak dokuya dijital palpasyon uygulanır. Transpalatal osteotomi damak orta hattındaki sert kemiğe doğrudan ulaşım sağlayan midpalatal sagittal bir insizyonla kolaylaştırılabilir. Tüm osteotomiler tamamlandıktan sonra anterior maksiller dento-osseöz segment repoze edilir (Chu ve diğerleri, 2007; Turvey ve White, 2002, s. 303; Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 251).



**Şekil 2.12.** Wassmund metodu (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 252)

### 3) Cupar Metodu:

Cupar tekniği AMSO için kullanılan en yaygın tekniktir. Gerçekte total maksiller osteotomideki hareketin minör bir versiyonudur. Anterior lateral duvarlara, piriform açıklığa, burun tabanı ve septuma doğrudan ulaşım sağlayan bir vestibuler insizyon oluşturulur. Nazal mukoza maksillanın üst yüzeyinden sıyrılır. Nazal septum maksiller çıkıntıdan serbestleştirilince diğer osteotomiler daha kolay hale gelir. Horizontal osteotomi tamamlanır ve dişler arasından bilateral vertikal osteotomi uygulanır. Bu vertikal kesi içerisinden testere veya osteotom kullanılarak transpalatal osteotomi tamamlanır. Ancak ostektomi için efor sarfedilmez. Bu sırada palatal mukoza olası hasar görme ihtimaline karşı palpe edilir. Sonrasında transpalatal ostektomi üst taraftan direkt görüş altında tamamlanır (Şekil 2.13). Bu yöntem maksillanın nazal çıkıntısına ve midpalatal kemiğe şekil verme işlemi için ulaşım sağlar. Endike olduğu durumlarda molar çekim bölgelerine de uygulanabilir (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 253).



**Şekil 2.13.** Cupar osteotomi tekniği (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 252)

Avantajları şunlardır:

- 1) Nazal yapılara direkt ulaşım sağlayarak kartilaj septumun manipülasyonuna ve eğilmeye bağlı deformitelerin önlenmesine izin verir.
- 2) Vertikal maksiller fazlalığın redüksiyonu için superior maksillaya en uygun ulaşımı sağlar ve greftlemeye izin verir.
- 3) Anterior maksilla indirildikten sonra doğrudan görüş ile palatinadan kemik kaldırma imkanı tanır.
- 4) Mükemmel palatal bağlantı vasıtasıyla kan desteği korunur.
- 5) Rijit internal fiksasyon kolay uygulanır.

### **2.3.6.2 Posterior Maksiller Segmental Osteotomi**

Endikasyonları:

- 1) Posterior maksiller alveoler hiperplazi
- 2) Total maksiller hiperplazi (AMSO ile kombine edildiğinde)
- 3) Gömülü bir kanin veya premolar dişin doğru erüpsiyonu için posterior alveoler fragmanın distale repozisyonu
- 4) Posterior segmentin öne repozisyonu ile kapatılabilecek olan boşluklar

- 5) Transvers yön fazlalığı veya yetersizliği
- 6) Posterior openbite

(Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 255)

Posterior maksiller hiperplazi arka dişlerini kaybeden hastalarda görülebilir. Bu durum supraerüpsiyona uğrayan maksiller arka dişlerle birlikteki alveoler kemiğin hipertrofisine yol açar. Tedavi seçenekleri arasında ekstrüze dişlerin çekimi ve alveolektomi veya profilaktik endodontik tedavi ve protetik kron boyu kısaltılması mevcuttur. PMSO'da alternatif bir tedavi işlemidir ve protetik rehabilitasyon için gerekli interark mesafesini sağlar. PMSO ile posterior crossbite düzeltmesi mümkündür. Ancak elastik olmayan palatal mukoza ve sık palatal kubbe varlığında bazı teknik zorluklarla karşılaşılabilir. Dentoalveoler segmentlerin mediale konumlandırıldığı durumlarda palatal osteotomi için yapılan midpalatal insizyonlar bukkal vestibuler insizyon ile birlikte oluşturulabilir. Bunun sebebi palatal yumuşak dokulardan gelen kan desteğinin parasagittal insizyonla kayba uğramamasıdır (Turvey ve White, 2002, s. 307; Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 255).

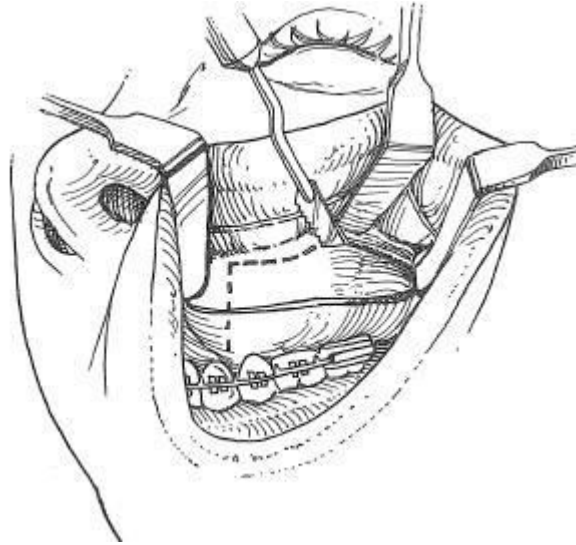
Posterior maksiller segmentin repozisyonu gömülü kanin ve premolar dişler için de kullanılır. Dentoalveoler segmentin distale hareketi ile gömülü diş için boşluk elde edilir. Bu işlem genellikle üçüncü molar dişin çekimi ile kombine edilir. Aksine, gömülü kanin veya premolar dişi bulunan ve ortodontik tedavi görmek istemeyen yetişkin hastada, PMSO ile gömülü dişin çıkarılması ve segmentin estetik fonksiyonel bir okluzyon sağlayacak şekilde ilerletilmesi uygun olacaktır. Alveoler kleft hastalarında daha küçük olan maksiller segment ileriye alınarak alveoler yarık kapatılabilir. Anterior openbite'ı olan ancak dudak profilinin normal olduğu hastalarda fonksiyonel okluzyonu sağlamak ve estetiği korumak amacıyla PMSO düşünülür. Total maksiller hiperplazi için ise anterior veya posterior segmental osteotomi yerine total maksiller osteotomi tercih edilmektedir (Turvey ve White, 2002, s. 307).

PMSO'da bukkal vestibuler insizyon kanin bölgesinden ikinci molar dişe kadar uzanır. Alternatif olarak anterior ve posterior osteotomi bölgelerinde vertikal insizyonlar oluşturulabilir ve parasagittal palatal insizyonla birleştirilebilir. İnsizyon seçimi ve osteotomi tipi hareketin yönü ve büyüklüğü ile birlikte cerrahın tercihine



de bağlıdır. Endike olduğu durumda alveol kemiği korumak için diş çekimi dikkatlice yapılmalıdır. Palatal osteotomi genellikle horizontal osteotomi içerisinde transantral olarak yapılır. Segmentin planlanan mediale hareketi birkaç milimetreyi geçmedikçe ve segmentin doğru konumu sağlanabilecekse palatal insizyona gerek yoktur. Aksi takdirde planlanan osteotomi alanından uzak olacak bir parasagittal insizyon yapılabilir. Palatal flebin kaldırılması sırasında vasküler yapıların korunmasına özen gösterilmelidir (Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1196).

Horizontal bukkal osteotomi kök uçlarının 5mm üzerinden olacak şekilde anterior vertikal kesiden başlayarak maksiller tübere kadar uzanır (Şekil 2.14). Segmentin superiora repozisyonu için gerekli osteotomi yapılmalıdır. Daha sonra vertikal osteotomi bir çekim bölgesi veya ortodontik tedaviyle oluşturulan bir boşluktan bir fissür frez veya osteotom yardımıyla oluşturulur. Periodontal defekt kalmaması için diş kökleri etrafında en az 1mm kemik kalmasına dikkat edilmelidir (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 256).



**Şekil 2.14.** PMSO osteotomi hattı (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 256)

Palatal osteotomi genellikle horizontal kesi alanı içerisine yerleştirilen bir eğri osteotom ile yapılır. Bu manevra derin damak kubbesine sahip hastalarda kolaylıkla uygulanırken, sıg ve düz damak yapısına sahip kişilerde palatal osteotomiye transantral olarak veya burun tabanı üzerinden tamamlamak gerekebilir. Posterior vertikal osteotomi 3. Molar çekim bölgesinden veya pterygomaksiller birleşim

bölgesinden gerçekleştirilir (Turvey ve White, 2002, s. 309).

Posterior dentoalveoler segment parmak basıncıyla aşağıya doğru kırılır ve gerekliyse daha önce görülmeyen bölgeler (segmentin medial ve posterior uzantıları) şekillendirilir. Posterior segment model cerrahisinden elde edilen stent üzerinde konumlandırılır ve mandibula kapanışa getirilerek okluzal interferans olup olmadığı kontrol edilir. Fiksasyonu sağlamlaştırmak amacıyla daha kalın bir splint veya transpalatal telleme kullanılabilir. Maksiller segment cerrahi stente bağlanır ve fiksasyonu sağlanır. Çoğu durumda miniplak fiksasyonu yeterlidir. Stabilizasyon için yeterli sayıda diş ve kemik kontağı bulunan durumlarda sadece cerrahi stent de kullanılabilir. Osteotomi alanında geniş boşluklar kaldıysa greftleme endikedir. Rijit fiksasyon kullanılmadıysa stent 3-6 ay kullanılmalı veya retantif bir ortodontik apareyle değiştirilmelidir (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 258).

### **2.3.7. Le Fort II**

Le Fort II osteotomisi Henderson ve Jackson tarafından nazomaksiller hipoplazisi olan hastaların tedavisi amacıyla tarif edilmiştir. Günümüzde kullanımı göreceli olarak sınırlıdır. Sadece anterior ve inferior hareketlere izin verir; rotasyonel hareketler oldukça güçtür. Ancak, burnun uzatılmasına imkan sağladığı için Binder sendromlu hastalarında kullanımı uygundur. Henderson nazomaksiller hipoplaziler 4 grup altında sınıflandırmıştır:

- 1) Dentoalveoler segmenti içeren
- 2) Dentoalveoler segment dışında (Binder's sendromu)
- 3) Cleft pale ile birlikte bulunan
- 4) Panfasiyal problemler

Le Fort II osteotomisi ilk üç grupta başarıyla uygulanabilmektedir. Çoğu vakada alternatif olarak daha iyi bilinen, daha güvenli ve daha kolay bir teknik olan Le Fort I osteotomisi modifiye edilerek veya ek prosedürlerle birlikte uygulanabildiğinden, bu teknik genellikle grup 2 ve 3'e dahil olan hastalar için saklanmaktadır (Moos ve Koppel, 2000, s. 290,293) .

### 2.3.8. Le Fort III

Le Fort III osteotomisi ve varyantları tüm orta yüzün anteriora veya inferiora ve her iki yöne hareketi için dizayn edilen ortognatik prosedürlerdir. Anteroposterior ve vertikal yönlerdeki total orta yüz hipoplazileri durumunda endikedir. Bu hastaların çoğu Apert veya Crouzon sendromu gibi kraniyofasiyal bir sendroma sahiptir. Bir kısmı ise orta yüz retrüzyonu veya post-travmatik deformitesi olan hastalardır. Le Fort III osteotomisinin tercihinde pitozis ve maksiller hipoplazinin derecesi önemli bir faktördür (Harris ve Hunt, 2009, s. 196; Moos ve Koppel, 2000, s. 281).

### 2.4. Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analizleri

Kuvvet analiz yöntemleri, bir cisme gelen kuvvetlerin nerede yoğunlaştığını ve buna göre cismin şeklinin nasıl oluşturulması gerektiğini gösteren yöntemlerdir. Diş hekimliğinde kuvvet analiz yöntemleri, tedavi sırasında uygulanan kuvvetlerin biyolojik yapılar üzerinde oluşturduğu gerilme ve gerinimlerin, bunların yoğunlaştığı bölgelerin, çene ve diş yapısında meydana gelebilecek deformasyonların izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Veli, 2012).

Günümüzde, diş hekimliğinde kullanılan stres analiz yöntemleri şunlardır:

1. Kırılğan Vernik Tekniği ile Kuvvet Analiz Yöntemi
  2. Fotoelastik Kuvvet Analiz Yöntemi
  3. Gerilim Ölçerli Kuvvet Analiz Yöntemi
  4. Holografik İnterferometri Yöntemi
  5. Termografik Kuvvet analizi
  6. Radyotelemetri
  7. Sonlu Elemanlar Yöntemi
- (Ulusoy ve Aydın, 2010, s. 113)

#### 2.4.1. Kırılğan Vernik Tekniği ile Kuvvet Analiz Yöntemi

Kırılğan vernik, kuvvet dağılımı incelenecek modelin üzerine sürülüp fırınlandıktan sonra, model üzerine kuvvet uygulaması ile gerçekleştirilir. Cisme

kuvvet uygulandığında, vernik üzerinde dik yönde uygulama noktasından uzaklaştıkça azalan çatlaklar meydana gelir. Kuvvetlerin yoğun olduğu bölgelerde izlenen çatlaklar, kuvvet hatlarının doğrultusunu gösterir (Sonugelen ve Artunç, 2002).

#### **2.4.2. Fotoelastik Kuvvet Analiz Yöntemi**

Geometrik şekilde olmayan cisimlerde kuvvetin akışını gözlemek için bu yöntemden yararlanılır. Bu yöntemde karışık yapılar içinde oluşan mekanik içsel gerilmeler ışık taslakları haline dönüştürülerek, gözle görülebilir hale getirilir. Oral yapılar gibi çok karmaşık şekli olan yapıların, fotoelastik özellik gösteren materyal ile şekillendirilerek yüklenmesi durumunda, restoratif elemanların ürettiği stresler modelin her kesiminde gözlenebilir. Modelden kesitler alınır ve polariskopta incelendikten sonra fotoğrafları çekilir (Sonugelen ve Artunç, 2002).

#### **2.4.3. Gerilim Ölçer ile Kuvvet Analizi**

Gerilim ölçer yük altındaki yapıların bünyesinde oluşan doğrusal şekil değişikliklerini saptayan bir araçtır. Bunların mekanik, mekanik-optik, optik, akustik, elektrik ve elektronik bünyeye sahip olan şekilleri mevcuttur. Bu yöntem, kalibre edilmiş elektriksel direnç elemanları yardımıyla stres altındaki boyutsal değişiklikleri inceler (Ulusoy ve Aydın, 2010, s. 114).

#### **2.4.4. Holografik İnterferometri Yöntemi**

Lazer ışını kullanılarak bir cismin üç boyutlu görüntüsünün holografik film üzerine kaydedilmesini sağlayan optik bir tekniktir. Bu yöntemle yapılan kuvvet analizinde, ışık girişim saçaklarını uzaktan ölçen interferometri denilen bir alet kullanılır. Bu alet cisimler üzerindeki aralık ve yer değiştirme miktarını, çıkardığı iki lazer ışın demeti ile ölçer. Işın verilmesi sırasında cisim hareket ettirildiğinde, holografik görüntüde şekillenen saçakların değerlendirilmesi ile sonuca gidilir (Sonugelen ve Artunç, 2002).

#### **2.4.5. Termografik Kuvvet Analizi**

Bu yöntem bir kuvvet karşısında materyalin içerisinde oluşan moleküler düzeydeki ısı değişikliklerinin ölçülmesi olarak tanımlanabilir. Dolayısı ile homojen materyallere uygulanan kuvvet yüklemelerinde oluşan streslerin toplamı ile orantılı olarak ortaya çıkan ısı değişiklikleri, materyal üzerinde yoğunlaşan belirli noktalarda incelenebilir (Craig, 2002).

#### **2.4.6. Radyotelemetri**

Bu yöntem, bilgisayar donanımları ile herhangi bir materyalle bağlantısı olmadan verilerin iletimi üzerine kurulu bir yöntemdir. Yöntemde bir güç kaynağı, radyotransmitter, bir alıcı, materyal üzerine yapışan gerilim ölçerler, gerilim ölçer amplifiyeri, anten ve bir veri kaydedici kullanılır. Gerilimölçer üzerinde oluşan direnç farklılıkları voltaj düşmelerine sebep olmakta, bu da radyo-elementlerin frekansını ayarlamakta ve etkilemektedir (Craig, 2002).

#### **2.4.7. Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi**

Sonlu elemanlar stres analizi yöntemi komplike mühendislik problemlerinin bilgisayar ortamında çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin temeli; sürekli ortamların daha küçük parçalara ayrılarak analitik şekilde modellenmesi ve böylece oluşan parçalar veya elemanlar ile ifade edilmesi esasına dayanır (Tuna, 2010).

Bu yöntem ilk defa 1960'ların başında havacılık ve uzay endüstrisindeki yapısal problemlerin çözümü için geliştirilmiş ve o zamandan beri statik analiz, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, elektromanyetik analiz ve akustik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar karmaşık geometriye sahip mühendislik yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere de paralel bir şekilde, dişhekimliği biyomekaniğinde de kullanım alanı bulmuştur (Adıgüzel, 2010).

Sonlu elemanlar yöntemi temel olarak bir yapının çok sayıda sonlu elemana

ayrılmasına ve bu elemanların karakteristikleri göz önünde tutularak yapının genel karakteristiğinin belirlenmesine dayanan bir matematiksel modelleme tekniğidir. Sonlu elemanlar yönteminin doğuş nedeni mühendislik uygulamalarında karşılaşılan zorluklar olmuştur. Mühendislik yapılarının tümü analitik formülasyona ya da her koşulda denenmeye uygun değildir. Dolayısıyla, yapıların çeşitli çalışma koşulları altındaki davranışlarını belirlemek de kolay olmamaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi bu durumda devreye girmekte ve modellenen yapı, sanki bir etki altındaymış gibi incelenebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak havacılık endüstrisinde kullanılmış, zamanla tüm mühendislik uygulamalarında verdiği etkin sonuçlarla benimsenmiştir. Uçak, makine, gemi, inşaat, elektrik ve nükleer gibi mühendislik bilimlerindeki geniş kullanımının yanı sıra tıp ve mühendisliğin bir kesişimi olan biyomekanik uygulamalarda da sonlu elemanlar yöntemini içeren çalışmalar gün geçtikçe artan bir hızda yapılmaktadır (Yaman, 1995).

Karmaşık geometrik yapılar bilgisayar ortamında, bir ağ yapıya (mesh) dönüştürülür. Bu yapıyı elemanlar (elements), bunlara bağlı düğüm noktaları (nodes) ve belirleyici sınır koşulları (boundary conditions) oluşturur. Düğüm noktaları, birbirleri ile köşe noktalarında birleşebilen eşit büyüklükte sonlu sayıda elemana bölünmüştür. Düğümler aracılığıyla, bir elemandaki fiziksel değişiklik diğer elemanlara da yansır. Kuvvet dağılımı hesaplaması, yapının tamamı yerine, her eleman için ayrı ayrı bulunacağından dolayı daha hassas bir analiz için eleman sayısı çoğaltılabilir. Böylece boyutları belirlenmiş bir modelde, yazılımlar ile belirlenen şiddet, yön ve alandaki kuvvet uygulamasına bağlı olarak ortaya çıkan gerilimler (stress), gerinimler (strain) ve yer değiştirmeler (deplasman) ölçülebilmektedir (Adıgüzel, 2010; Gülay, 2010).

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir, sürekli fonksiyonları, bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı, bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklük (ör: deplasmanın) değerinin, o elemanın düğümlerindeki değerler kullanılarak hesaplanmasıdır. Sistemi oluşturan her elemandaki deplasmanlar fonksiyonların lineer kombinasyonları olarak ele alınır ve bu kombinasyon komşu elemanlarda devam eder. Ana yapının veya sistemin potansiyel enerjisi, düğümlerin birleştiği elemanların potansiyel enerji toplamına

eşittir (Yüzbaşıoğlu, 2006).

Bu analiz üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada (*pre-processing*) kuvvet uygulanarak incelenecek yapı geometrik tanımlara uyacak şekilde bilgisayarda modellenir. Bu aşamadaki önemli iki nokta, sınır koşulları ve düğüm sayısıdır. Bu iki etmen ne kadar doğru belirlenir ve yapı ne kadar küçük elemanlara ayrılırsa analiz o kadar gerçeğe yakın sonuç verir. İkinci aşama, analiz verilerinin yüklenmesidir. Bu veriler elastisite modülü, Poisson oranı, düğüm noktalarına uygulanacak kuvvetin yönü, şiddeti ve açısıdır. Son aşama, analizin çözümlemesinin yapılmasıdır. Her bir alt yapının iç çözümlemesinden yapının tümünün çözümlemesine ulaşılarak sonuçlar elde edilir (Gülay, 2010).

#### 2.4.8. Sonlu Elemanlar Analizi ile İlgili Temel Kavramlar

- **Kuvvet**

Kuvvet cisimler arasında itme ya da çekme biçimindeki etkileşimdir. Kuvvetler temas halindeki cisimler arasında olabileceği gibi belirli uzaklıktaki cisimler arasında da (kütle çekimi, elektromanyetizma gibi) olabilir. Kuvvet vektörel bir niceliktir, Newton (N) birimiyle ölçülen bir büyüklük ve bir yön ile ifade edilir (Caputo ve Standlee, 1987).

- **Stres (Gerilim)**

Herhangi bir nesneye dışarıdan deforme edici bir kuvvet uygulandığı zaman, nesne içinde bu kuvvete karşı bir direnç oluşur. Oluşan bu içsel direnç uygulanan kuvvetle eşit büyüklükte ve ters yönde olup stres olarak adlandırılır. Birimi yaygın olarak Paskal'dır. Gerek uygulanan dış kuvvet gerekse içsel direnç nesnenin üzerinde belli bir alana yayılır, bu nedenle hem stres hem de dış basınç birim alana düşen kuvvet cinsinden gösterilir. Kısaca stres bir dış kuvvete karşı direnç gösteren bir kütlenin birim alanına uygulanan kuvvet olarak tanımlanır ve "S" ya da " $\sigma$ " simgeleriyle gösterilir (McNeill, 1997; Şeker, 2011).

Stres, aşağıdaki formülle hesaplanır;

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

Cisme uygulanan kuvvet herhangi bir yönden ve açıdan gelebilir. Bu etkiler çoğu zaman bir araya gelerek yapının içerisinde karmaşık gerilimlerin oluşmasına yol açar. Esas olarak üç temel stres tipi meydana gelmektedir:

Gerilme Stresi ( *tensile stress* ); cismin moleküllerini birbirinden ayırmaya zorlayan, aynı doğrultuda ve ters yönde iki kuvvetin cismi etkilemesiyle oluşur.

Sıkıştırma Stresi ( *compressive stress* ); cismin moleküllerini birbirine yaklaştırmaya zorlayan, aynı doğrultuda ve ters yönde iki kuvvetin cismi etkilemesi ile oluşur.

Makaslama Stresi ( *Shear stress* ); cismin moleküllerini birbiri üzerinde yüzeye paralel yönde kaymaya zorlayan farklı seviyelerde ve zıt yöndeki iki kuvvetin cismi aynı anda etkilemesi ile oluşur. (Craig, 2002; Veli, 2012)

Gerilme ve sıkıştırma streslerine normal stresler denir ve “ $\sigma$ ” sembolü ile gösterilir. Makaslama stresleri ise “ $\tau$ ” simgesi ile gösterilir. Yaşamda cisimlere uygulanan streslerin tek tipte olması güçtür. Yük uygulanan cisimlerde gerilme, sıkıştırma ve makaslama streslerinin bir arada bulunduğu bileşik stres durumları meydana gelmektedir (Ayılı, 2012).

- **Asal Stres (*Principal Stress*)**

Bütün düzlemlerde makaslama gerilmelerinin sıfır olduğu ve sadece alana dik olan normal gerilmelerden oluşan gerilmeler asal gerilmeler (Principal stress) adını alır. Maksimum, orta (intermediate) ve minimum olmak üzere 3 tip asal gerilme vardır (Franklin, 1998; Veli, 2012).

Maksimum asal gerilme (Maximum principle): Maksimum asal gerilmeler



pozitif değerdedir ve en yüksek çekme gerilmelerini ifade eder.

Minimum asal gerilme (Minimum principle): Minimum asal gerilmeler negatif değerdedir ve en yüksek basma gerilmelerini ifade eder.

Analiz sonuçlarında elde edilen pozitif değerler çekme şeklinde gerilmeleri, negatif değerler ise basma şeklinde gerilmeleri (sıkışma) ifade etmektedir. Mutlak değeri daha büyük olan gerilme, bir düğüm noktasında etkin olan gerilme şeklidir (Gümüş, 2007).

- **Eşdeğer Stres (*Equivalent Stress, Von Mises Stres*)**

Von Mises gerilmesi, belirli bir kuvvet uygulanan cisimde oluşan gerilme dağılımının gösterilmesi için kullanılmaktadır. Von Mises gerilmesi "*Bir yapının belli bir bölümündeki iç enerji belli bir değeri aşarsa, yapı bu noktada şekil değiştirecektir*" prensibi ile elde edilmiş bir kriterdir. Çekilebilir (*ductile*) zelliği olan maddeler için şekil değiştirmenin başlama anıdır. Von Mises gerilme değerleri ayrıca gerilmenin dağılımı ve yoğunlaşma bölgeleri hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla değerlendirilebilmektedir (O'Brien, 1997; Veli, 2012).

- **Gerinim (Strain)**

Gerinim, cisme uygulanan belirli bir kuvvet sonucu birim boyutta oluşan boyutsal şekil değişimidir. Cisme uygulanan kuvvet gerilim oluşturduğunda, aynı zamanda gerinim de oluşurmaktadır. Gerinim atomların yer değiştirme miktarı olarak da ifade edilebilir. Atomların arasında yer değiştirmeye karşı koyan kuvvetler gerilim iken, atomların yer değiştirme direnci gerinimdir. Herhangi bir ölçü birimi yoktur. Gerilim, büyüklüğü ve yönü olan bir kuvvet iken; gerinim ise sadece bir büyüklüktür. Hooke Kanunu, belli sınırlar içinde cisimdeki gerilimin gerinim ile doğru orantılı olarak arttığını öngörür (Ayalı, 2012; Franklin, 1998; O'Brien, 1997).

$Strain(\epsilon) = Deformasyon / Orjinal Uzunluk = \Delta L / L_0$  olarak formüle edilir.

Cisimler kuvvet uygulaması sonucu iki farklı biçimde şekil değiştirmektedirler (Veli, 2012).

Elastik şekil değiştirme: Cismin kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar başlangıç durumuna dönmesidir.

Plastik şekil değiştirme: Cismin kuvvet ortadan kalktıktan sonra tekrar başlangıç durumuna dönmemesidir

- **Elastiklik Modülü (Young Modülü)**

En basit ifadeyle gerilimin gerinime oranı olan elastiklik modülü, cismin elastikiyet sınırları içerisinde dayanıklılığını gösteren bir katsayıdır. Elastiklik modülü arttıkça cismin katılığı da aynı oranda artış göstermektedir. Yüksek elastisite modülüne sahip bir cisim, aynı kuvvet altında, düşük elastisite modülüne sahip bir cisimden daha az deformasyona uğramaktadır (Şeker, 2011).

$$\text{Elastisite Modülü}(E) = \text{Gerilim } (\sigma) / \text{Gerinim}(\epsilon)$$

- **Poisson Oranı**

Çekme veya basma kuvvetleri altında cisimlerin, elastik sınır içerisinde, enindeki birim boyut değişiminin boyundaki birim boyut değişimine oranıdır. Poisson oranı, bütün maddeler için 0 ile 0.5 arasında değişkenlik gösterir ve elastisite modülü gibi cisme ait ayırıcı bir özelliktir. Örnek olarak bir cisme uygulanan çekme kuvveti etki sonucu yükün geldiği yönde boyda uzama olurken, yüke dik olan diğer boyutlarda ise boy kısalması olmaktadır (Franklin, 1998; Şeker, 2011).

$$\text{Poisson Oranı } (V) = \text{Lateral Strain} / \text{Axial Strain}$$

$$(\text{Poisson Oranı} = \text{Endeki Birim Uzama} / \text{Boydaki Birim Uzama})$$

- **Oransal Sınır (*Proportional Limit*)**

Oransal sınır, gerilimin gerilmeye oransal değerinin değişmeden stabil kalabildiği maksimum gerilim olarak ifade edilir. Oransal sınır değerinin altında uygulanan kuvvetler materyalde daimi deformasyona sebep olmaz ve kuvvet kalkınca materyal ilk formuna döner (Şeker, 2011).

- **Elastik Limit**

Elastik limit, kalıcı deformasyon olmaksızın bir materyalin mukavemet gösterebileceği maksimum gerilim olarak ifade edilir (Şeker, 2011).

- **Homojen Cisim**

Cisim içerisinde elastik özelliklerin her noktada aynı olduğu cisimlerdir (Moaveni, 2003).

- **Lineer Elastik Cisim**

Gerilim ile birim uzamanın doğru orantılı olduğunun varsayılması ve aradaki ilişkinin basitçe ifade edilmesidir. Bu varsayım, ancak belli bir gerilim sınırına kadar geçerlidir. Kemik için bu sınır kabul edilebilir olsa da, yumuşak dokuda oldukça küçüktür ve bu sınırın ötesinde ciddi hesaplama yanlışları ortaya çıkar (Hancı ve diğerleri, 2000).

- **İzotropi ve Anizotropi**

İzotropi, bir cismin farklı doğrultularda aynı elastik özellikleri göstermesidir. İzotrop cisimler farklı doğrultulardan uygulanan kuvvetler sonucu oluşan çekme, basma ve makaslama gerilmelerinde aynı elastiklik modülüne sahiptirler. Anizotrop cisimler ise farklı elastiklik modülüne sahiptirler (Hughes, 1987).

- **Eleman (*Element*)**

Sonlu elemanlar yönteminde sistemi tanımlayan bölge, eleman (element) olarak adlandırılan basit geometrik şekillere bölünür. Bu elemanlar, düğüm olarak adlandırılan özel noktalardaki bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilmektedir. Sınır koşullarını da içerecek şekilde, elemanların birleştirilmesi sonucu lineer veya lineer olmayan cebirsel denklem seti elde edilir ve bu denklemlerin çözümü, sistemin gerçeğe yakın davranışını verir. Model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilir. Elemanlar geometrik şekil (üçgen, paralel kenar, dörtgen), boyut (Tek boyutlu, iki boyutlu, üç boyutlu) ve düğüm sayısı gibi özelliklere göre sınıflandırılırlar (Geng ve diğerleri, 2001; Moaveni, 2003).

- **Düğüm (*Node*)**

Sonlu elemanlar analizinde modellerin bölünmesiyle oluşan sonlu sayıda eleman belli noktalardan birbirleriyle bağlanmakta ve bu noktalara düğüm (node) adı verilmektedir. Modellerde, her bir elemandaki yer değiştirmeler, doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ile ilişkilidir. Sonlu elemanlar analizinde bu düğüm noktalarının belirli yerlerden birbirlerine sabitlenmesi gereklidir (Geng ve diğerleri, 2001).

- **Ağ Yapısı (*Mesh*) Oluşturma**

Ağ yapısı ile düğüm noktalarının ve elemanların koordinatları oluşturulur. Ağ üretimi programlar tarafından otomatik olarak yapabildiği gibi kullanıcıya da ağ üretme imkanı tanımaktadır. Ağ yapısı oluşturmada genellikle kendi içinde büyük değişime sahip olan ya da olduğu tahmin edilebilen bölgelerde, birim alana daha fazla eleman yerleştirilir. Önemli olan modelin en iyi şekilde nasıl daha küçük parçalara bölüneceğidir. Ağ yapısı oluşturma işleminden sonra, cismin nereden sabitlendiğini ve kuvvetin neresinden uygulandığını gösteren sınır şartları belirlenir. Eleman sayısı artırılarak, eleman tipi değiştirilerek, ağ üretim yöntemi değiştirilerek, yeniden ağ oluşturularak çözüm tekrarlanabilir (Adıgüzel, 2010; Ayah, 2012).

- **Sınır şartları (*Boundary Conditions*)**

Sınır şartları gerilmelerin ve yer değiştirmelerin (deplasman) sınır ifadelerini kapsar. Cismin nereden sabitlendiğini ve kuvvetin nereden uygulandığını gösterir. Analizi yapılan cismin hangi bölgesine kuvvet uygulanacaksa sınır şartları da ona göre belirlenir (Adıgüzel, 2010; Ayalı, 2012).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda Le Fort I osteotomileri sonrası maksillanın değişik miktarlardaki geri hareketlendirmelerinin oluşturduğu biyomekanik etkiler 3 boyutlu sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmiştir.

Çalışmamızda kullanılan maksilla modeli, Yakın Doğu Üniversitesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı arşivlerinden kullanılmak üzere incelenen üç boyutlu tam dişli genç erkek hastalardan alınan maksilla tomografileri arasından seçilmiştir. New-Tom 3G (Quantitative Radiology, Verona, İtalya) Cone - Beam CT (CBCT) görüntüleme sisteminden, ortalama kesit kalınlığı 0.5 mm olan ve dişli maksilladan elde edilen seri kesitler DICOM 3.0 medikal görüntüleme sistemi kullanılarak 3 boyutlu medikal görüntü işletim yazılımı Maxilim (Medicim Company, Mechelen, Belçika) versiyon 2.2.2'ye aktarılmış ve maksillanın 3 boyutlu görüntüsü elde edilerek .stl formatına getirilmiştir. Hazırlanan bu format MSC MENTAT (MSC Software Corporation, Santa Ana, Ca, Amerika) version 2005 programı kullanılarak ön hazırlık ve model oluşturma işlemleri tamamlanmıştır.

Elde edilen maksilla modeli üzerinde yapılan *refinement* işlemleri sonrasında elde edilen verilerin gerçeğe en yakın olabilmesi amacıyla, dişler artefaktlar temizlenerek işlenmiş ve dişler çevresi periodontal membran 0.2 mm boyutunda her bir dişin kökleri çevresince modele dahil edilmiştir. Böylelikle maksillanın *solid meshing* işlemi tamamlanmıştır.

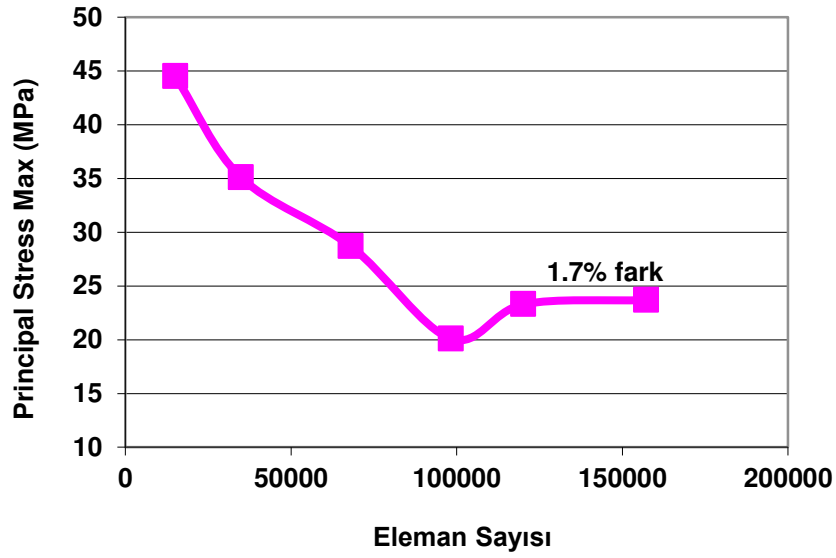
Materyallerin mekanik özellikleri homojen, izotropik ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir. Analizde kullanılan materyallerin *Young Modülüsü* ve *Poisson Oranları* Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Analizde kullanılan materyallerin Young Modülüsü ve Poisson Oranları

|                            | Young Modulus ( e ) | Possion Oranı ( v ) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Kortikal Kemik</b>      | 14.8                | 0.3                 |
| <b>Spongioz Kemik</b>      | 1.85                | 0.3                 |
| <b>Diş</b>                 | 20.7                | 0.3                 |
| <b>Periodontal Membran</b> | 0.0689              | 0.145               |

Çalışmada kullanılan maksiller modelin, olabildiğince gerçeği yansıtabilecek ve bununla birlikte komputasyonel hesaplama zamanını optimize edecek düzeyde olmasına dikkat edilerek, yüksek sayıda eleman kullanılarak modellenmeleri sağlanmıştır. Çalışmamızda kullanılan maksilla modelinde eleman sayısı 157174, nod sayısı 34019'dur. Kullanılan elemanlar tetrahedral element tipindedir. Modellerdeki eleman ve nod sayılarının gerçekliğe yakınsamalarını test etmek amacıyla "*convergence* analizi" uygulanmıştır. Çok yoğun eleman sayısından kaçınarak bilgisayar ortamındaki analiz süresini de kısaltmak adına da RBE-2 (*Rigid Body Element*) tanımlanmıştır.

Çalışmamızda kullanılan modelin 2 mm'lik deplasman durumunda, tutulma noktalarında oluşan Pmax stresleri baz alınarak yapılan *convergence* analizi sonuçları ve eleman sayılarındaki yakınsama şekilde izlenmektedir (Şekil 3.1).

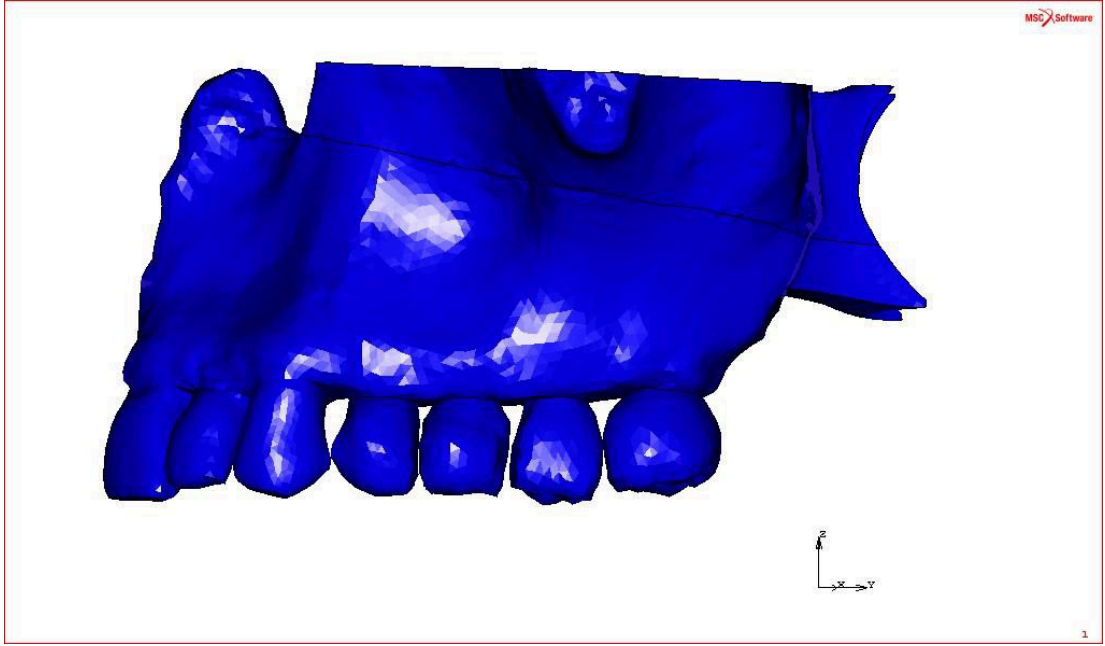


**Şekil 3.1.** *Convergence* analiz sonuçları

Üç boyutlu maksilla modeli uzayda orbita tabanından geçen düzlem boyunca fıkse edilmiştir. Medial pterygoid ve lateral pterygoid proçesler üzerinde birer yay tanımlanarak posterior pterygoid kaslar bu şekilde simüle edilmiştir.

Elde edilen model oluşturulduktan sonra Le Fort I kesisi standart Le Fort I kesi hattı boyunca uygulanarak simüle edilmiştir. Pterygoid proçesler alt 1/3 seviyesinden lateral maksiller duvar kesi hattıyla birleşecek şekilde horizontal olarak kırılmış olma durumu simüle edilmiştir (Şekil 3.2).

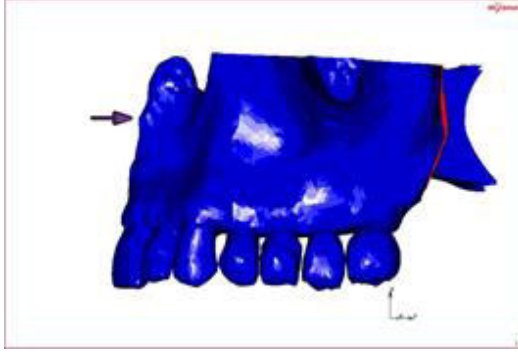




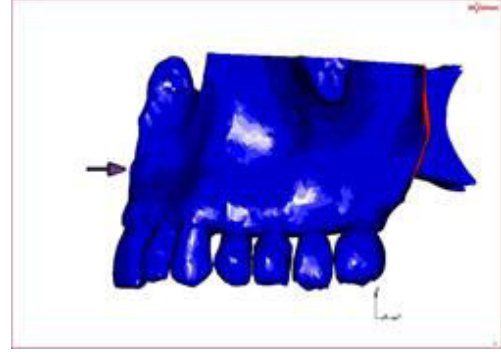
**Şekil 3.2.** Maksilla modeli üzerinde simüle edilen Le Fort I kesi hattı

Çalışmamızda kullanılan model üzerinde Le Fort I kesi hattı boyunca deplasmana engel olacak her türlü kesişme yaratan kemik alanları kaldırılmıştır. Maksiller segmentin Le Fort I kesi hattı üzerinde posterior yönde 12 mm deplasmanın sağlanması için ilgili bilgisayar programında veri tanımlaması yapılmış ve her bir milimetrelilik deplasmanda maksiller kaide ve maksiller dişli segmentin birbirleri ile konumsal ilişkileri değerlendirilmiştir.

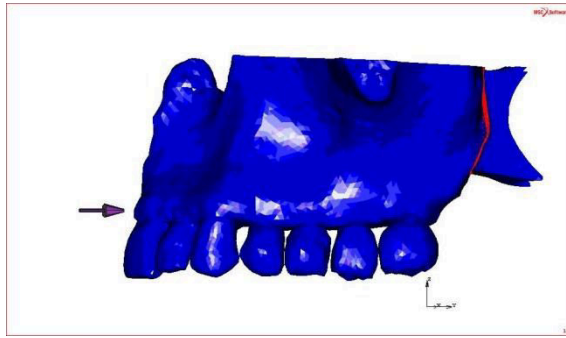
Le Fort 1 kesi hattı boyunca posterior yönlü olarak planlanan deplasmanı sağlayan kuvvet yönleri ise 3 farklı noktadan olacak şekilde tanımlanmıştır. Üst kuvvet uygulama bölgesi olarak, SNA noktası (Şekil 3.3), orta kuvvet uygulama alanı olarak bazal kemik - alveolar process birleşim noktası (Şekil 3.4), alt kuvvet uygulama bölgesi olarak da midsagittal bölgede marjinal kemik kullanılmıştır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.3.** Üst kuvvet uygulama bölgesi



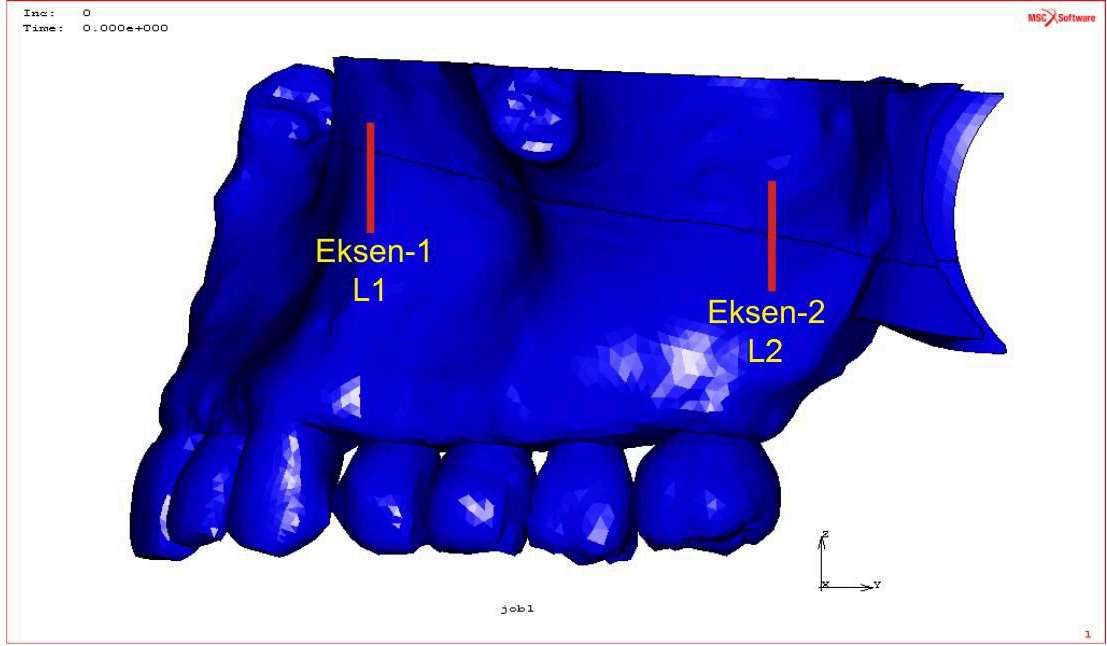
**Şekil 3.4.** Orta kuvvet uygulama bölgesi



**Şekil 3.5.** Alt kuvvet uygulama bölgesi

Her milimetredeki deplasman durumunda maksillanın alt ve üst segmentleri arasında belirlenmiş standart noktalardan iki ve üç boyutlu olarak ölçümler yapılmış ve posterior hareket esnasında segmentler arasında vertikal ve transvers yönlü oluşan deplasman miktarı ölçümlenmiştir.

Bu amaçla çalışmamızda deplasman ölçümü için kullanılan standardize noktalar önde üst segment üzerinde *fossa canina*'nın en derin noktası, önde alt segment üzerinde kanin diş *apex impresio*'su baz alınmış ve bu eksen L1 olarak adlandırılmıştır. Posteriorıda ise *crista zygomaticomaxillaris*'in en derin noktası ile 7 nolu dişin vestibül apeksleri orta noktası arasında kalan eksen ise L2 olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.6). Maksillaya verilen deplasmanı takip eden değişimler bu tanımlanan referans noktaları aracılığıyla iki ve üç boyutlu olarak ölçümlenmiştir.



**Şekil 3.6.** Deplasman ölçümünde referans alınan eksenler (L1 ve L2)

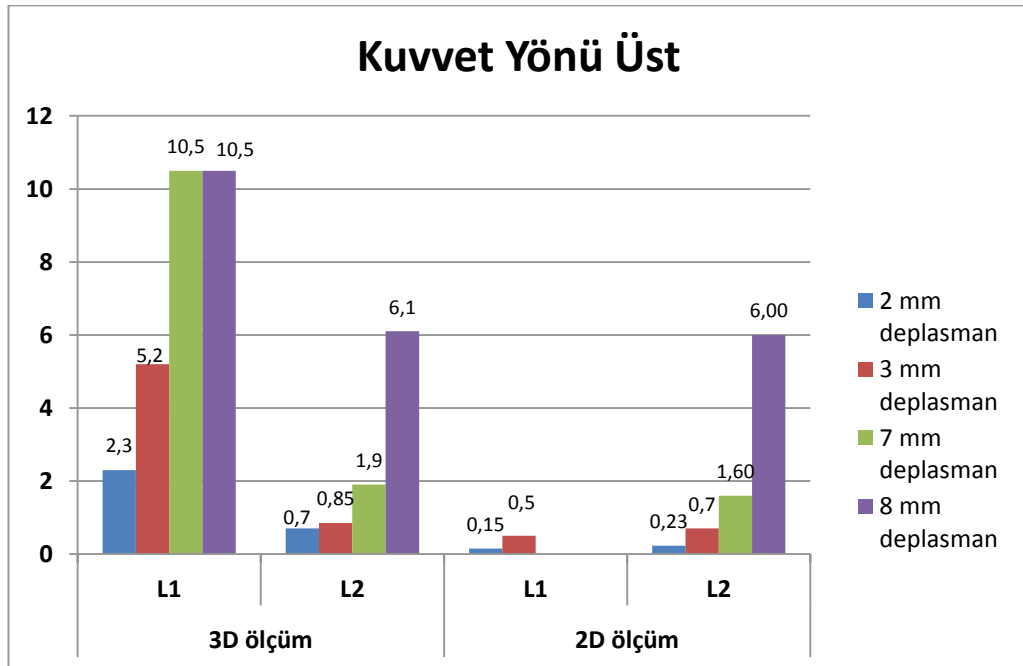
Oluşturulan maksiller modelde oluşan deplasman miktarlarını hesaplamak için MSC MARC 2005 (MSC Corporation, Santa Ana, CA, 92707, USA) Finite Element Solver yazılımı kullanılmış ve böylece kemik dokuda oluşan yer değiştirme hesaplanıp şematize edilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Üst Yönlü Kuvvet Uygulaması

Bu kuvvet uygulama noktasından maksilla alt segmentine posterior yönlü verilen deplasman hareketi sonucu maksilla 8 mm'ye kadar deplase olabilmış, 8mm'den sonra ise rotasyona başlamış ve 12 mm deplasman miktarına gelindiğinde ise 12 mm'lik bir deplasmanın mümkün olmadığı, alt segmentin 3 boyutta üst segmentten ileri rotasyonla tamamen ayrıldığı izlenmiştir.

Üst kuvvet uygulamasında, maksiller segmentin sagittal plandaki posterior yönlü deplasman karakteri 2, 3, 7 ve 8 mm'lik geri hareketlendirmelerde, L1 ve L2 referans noktalarındaki değişim miktarı iki ve üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Sonuçlar grafikte görülmektedir (Şekil 4.1 ).



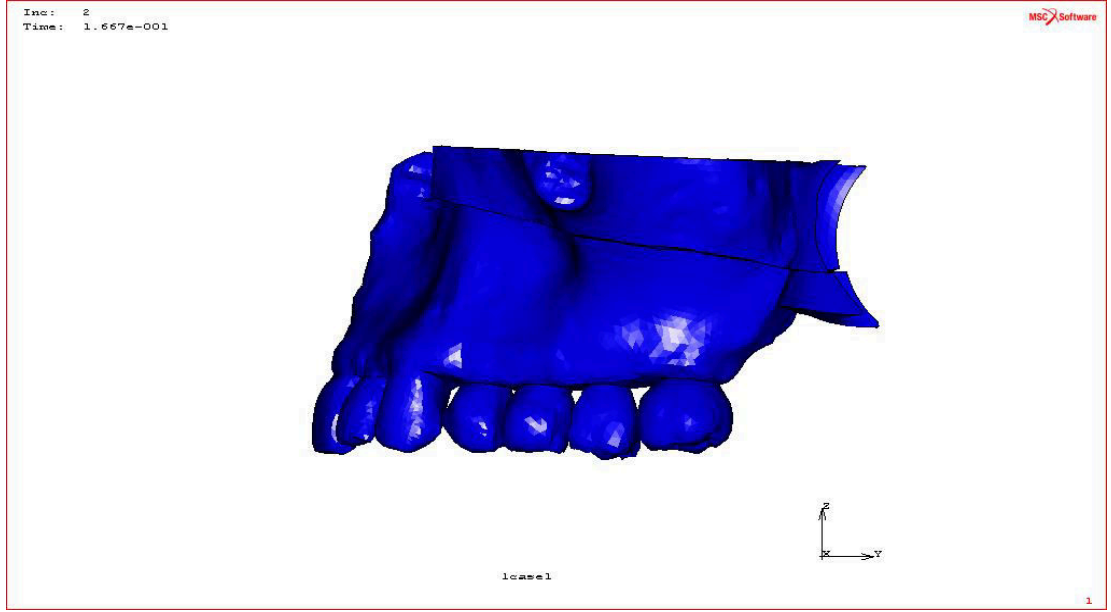
**Şekil 4.1.** Kuvvet yönü üst olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

**Tablo 4.1.** Kuvvet yönü üst olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

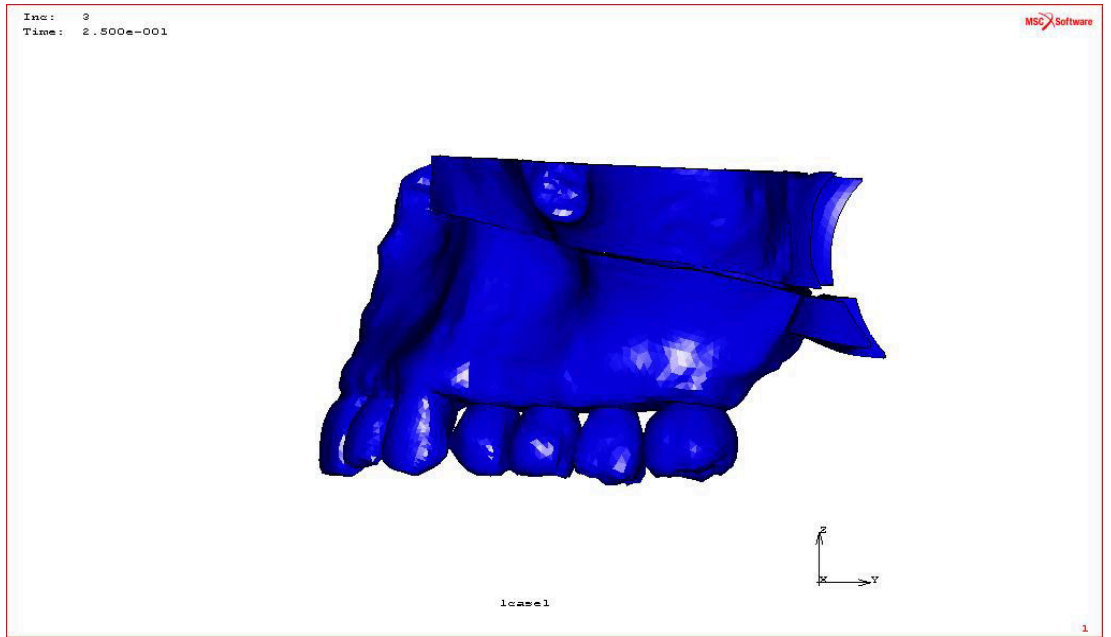
|                       | 3D ölçüm |      | 2D ölçüm |      |
|-----------------------|----------|------|----------|------|
|                       | L1       | L2   | L1       | L2   |
| <b>2 mm deplasman</b> | 2.3      | 0.7  | 0.15     | 0.23 |
| <b>3 mm deplasman</b> | 5.2      | 0.85 | 0.5      | 0.7  |
| <b>7 mm deplasman</b> | 10.5     | 1.9  | 0.00     | 1.60 |
| <b>8 mm deplasman</b> | 10.5     | 6.1  | 0.00     | 6.00 |

#### 4.1.1. 3D Ölçüm

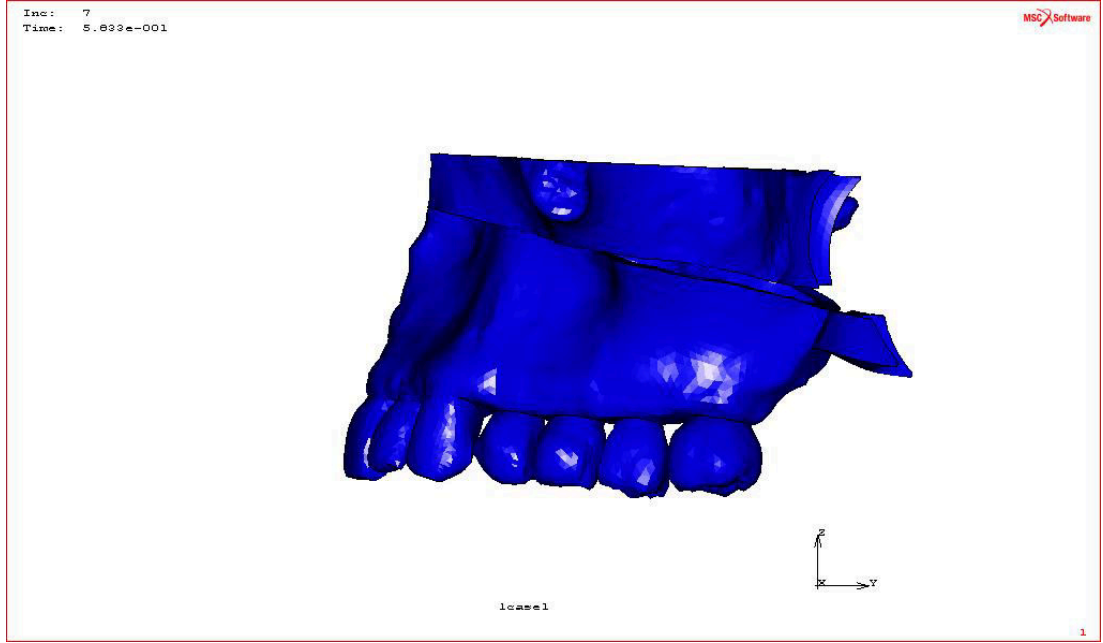
2 mm'lik geri hareketlendirme üç boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasında 2.3 mm, L2 referans noktasında ise 0.7 mm boyutunda bir deplasmana yol açmıştır (Şekil 4.2 ). 3 mm'lik geri hareketlendirme ile üç boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasında 5.2 mm, L2 referans noktasında 0.85 mm'lik bir deplasman gözlenmiştir (Şekil 4.3). 7 mm'lik posterior hareket verildiğinde üç boyutlu ölçümlerde L1 referans noktası 10.5 mm, L2 referans noktası 1.9 mm'lik bir deplasman göstermiştir (Şekil 4.4). 8 mm geri hareketlendirmede üç boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasının 10.5 mm, L2 referans noktasının ise 6.1 mm deplasmana maruz kaldığı izlenmiştir (Şekil 4.5).



**Şekil 4.2.** Kuvvet yönü üst 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

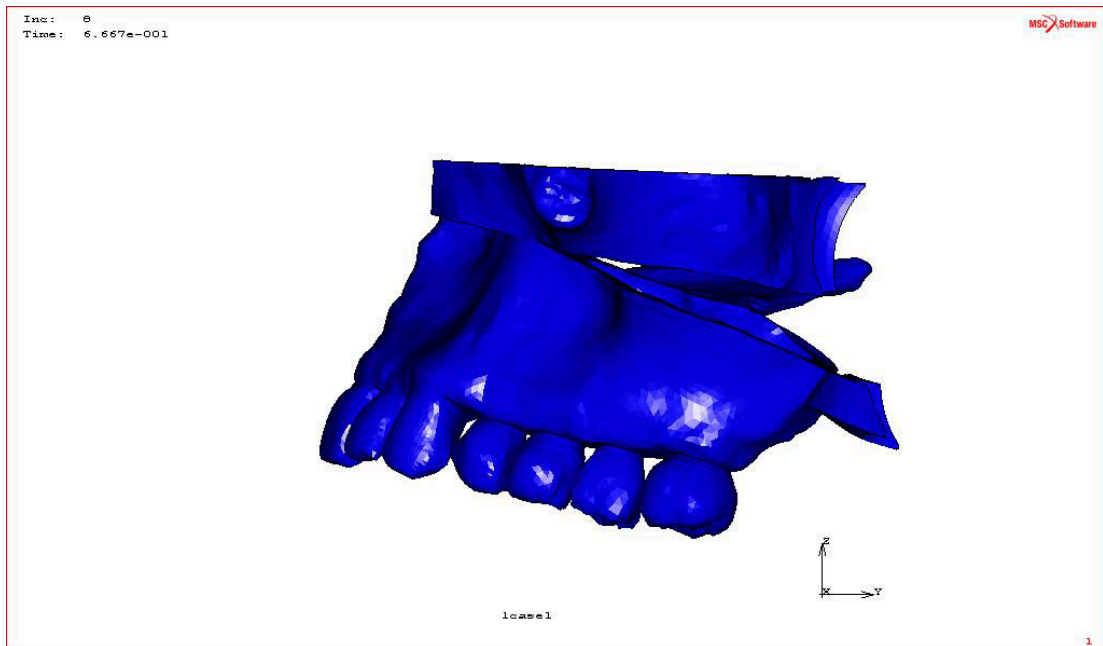


**Şekil 4.3.** Kuvvet yönü üst 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman



**Şekil 4.4.** Kuvvet yönü üst 7 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

Üç boyutlu ölçümlerde referans noktalarında ölçülen deplasman miktarı vertikal ve transvers eksenlerde oluşan hareketleri içerdiğinden, tüm geri hareketlendirme durumlarında L1 – L1 ve L2 – L2 ölçümleri karşılaştırıldığında üç boyutlu ölçümlerin iki boyutlu ölçümlerden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.5.** Kuvvet yönü üst 8 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

Geri hareketlendirme miktarı arttıkça L1 ve L2 referans noktalarının üç boyutlu deplasmanı da artış göstermiştir. Ancak; 7 ve 8 mm'lik geri hareketlendirme sonucu L1 noktasında görülen üç boyutlu yer değiştirme değişiklik göstermemiş ve her iki deplasman miktarı da 10.5 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer, aynı geri hareket durumlarında iki boyutlu ölçümlerde gözlenen vertikal deplasmanın 0 olduğu dikkate alındığında, sadece transvers yöndeki hareketi temsil ettiği anlaşılmaktadır. Bu şekilde maksillanın L1 referans noktasında 10.5 mm mediale doğru deplase olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

#### 4.1.2. 2D Ölçüm

İki boyutlu ölçümlerde 2 mm'lik geri hareketlendirme L1 referans noktasında 0.15 mm, L2 referans noktasında 0.23 mm'lik bir deplasmana yol açmıştır. 3 mm'lik geri hareketlendirme ile iki boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasında 0.5 mm, L2 referans noktasında 0.7 mm'lik bir deplasman gözlenmiştir. 7 mm'lik posterior hareket verildiğinde iki boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasında vertikal düzlemde deplasman görülmemiş ve değer 0 olarak bulunmuştur. L2 referans noktasının hareketi ise 1.6 mm olarak ölçülmüştür. 8 mm geri hareketlendirmede iki boyutlu ölçümlerde L1 referans noktasında yine vertikal bir deplasman görülmezken, L2 referans noktasının 6.0 mm'lik bir deplasmana maruz kaldığı izlenmiştir.

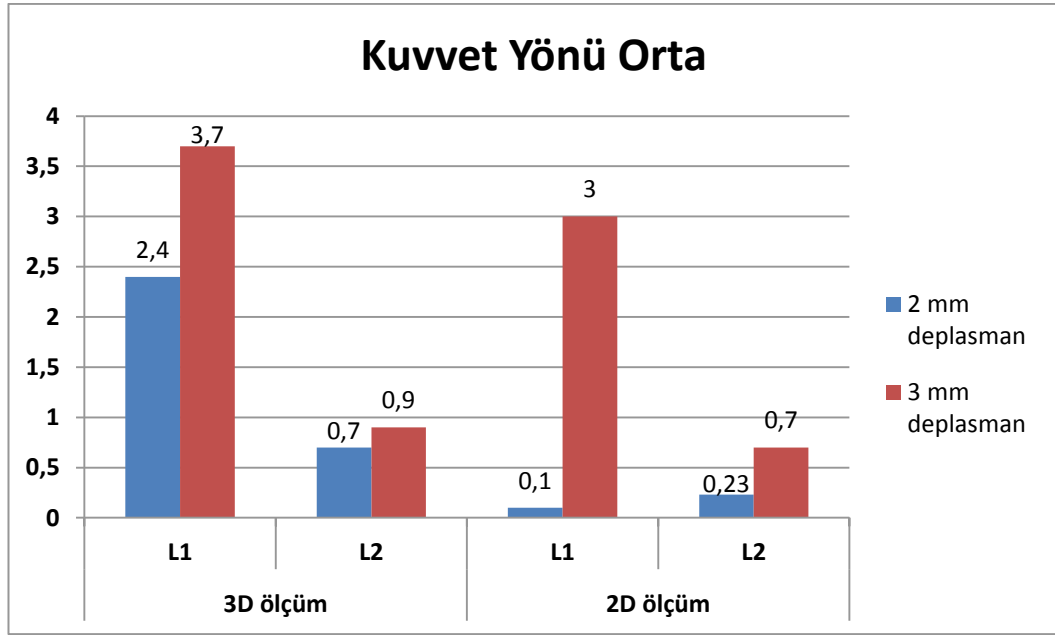
7 ve 8 mm posterior hareketlendirme koşulunda deplasmanı incelenen maksillada 2 ve 3 boyutlu L1 – L1 karşılaştırması yapıldığında, 3 boyutlu ölçümlerde L1 miktarının 10.5 mm'lik bir değer göstermesine karşın 2 boyutlu ölçümlemede bu miktarın 0 olduğu görülmektedir. L2 – L2 karşılaştırmasında ise her iki boyutta da deplasman miktarının artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumda; üst kuvvet yönü seviyesinin bazal kaide ile olan yakınlığı ve maksiller segmentin bu geri hareketlendirme koşulunda saat yönünde rotasyona maruz kaldığı düşünüldüğünde, alt segmentin anterior bölgede üst segmentle temasını koruduğu, böylece L1 referans noktasındaki iki boyutlu vertikal deplasmanının 0 olarak ölçüldüğü ve aynı zamanda posteriora gidildikçe segmentin rotasyonla aşağıya hareketlendiği, bu sebeple L2 referans noktasının iki boyutlu vertikal deplasman miktarının ise arttığı izlenmektedir.



#### 4.2 Orta Yönlü Kuvvet Uygulaması

Orta kuvvet uygulama noktasından maksiller segmente verilen posterior yönlü deplasman hareketi sonucunda segment 3 mm'ye kadar deplasman yapabilmiş, 3 mm hareketlendirmenin ötesinde uzaysal olarak ölçülebilir sınırdan uzaklaşmış ve posterior deplasmanın mümkün olamayacağını göstermiştir.

Orta kuvvet uygulamasında maksiller segmentin sagittal plandaki posterior yönlü deplasman karakteri, 2 ve 3 mm geri hareketlendirmelerde, L1 ve L2 referans noktalarındaki değişim miktarı, iki ve üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Sonuçlar grafikte görülmektedir (Şekil 4.6).



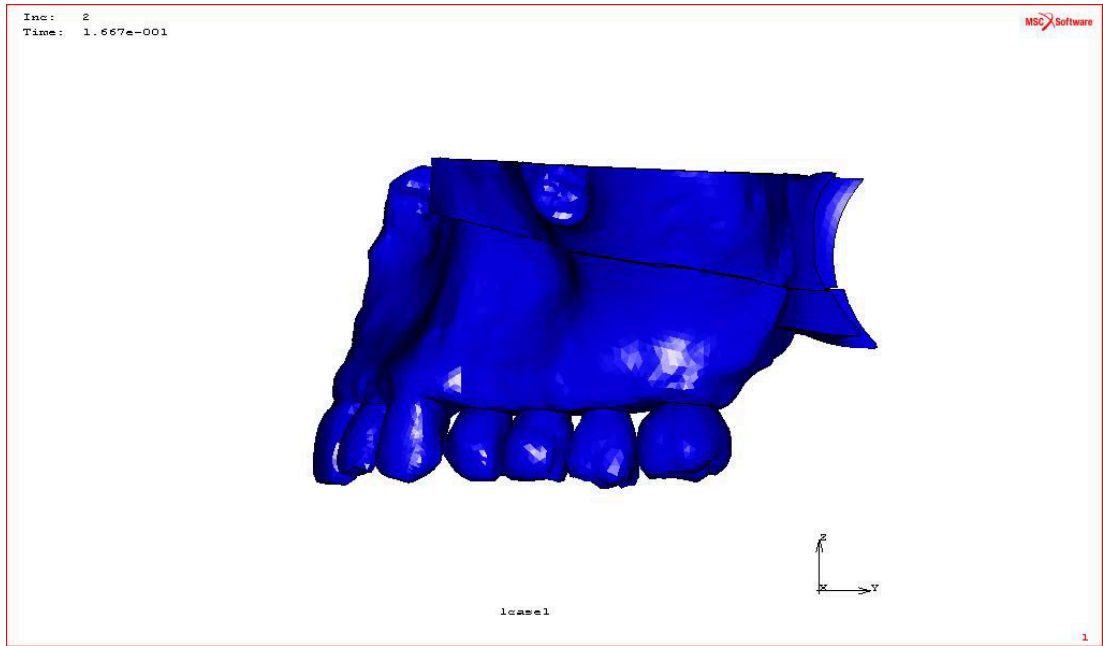
**Şekil 4.6.** Kuvvet yönü orta olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

**Tablo 4.2.** Kuvvet yönü orta olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

|                | 3D ölçüm |     | 2D ölçüm |      |
|----------------|----------|-----|----------|------|
|                | L1       | L2  | L1       | L2   |
| 2 mm deplasman | 2.4      | 0.7 | 0.1      | 0.23 |
| 3 mm deplasman | 3.7      | 0.9 | 3        | 0.7  |

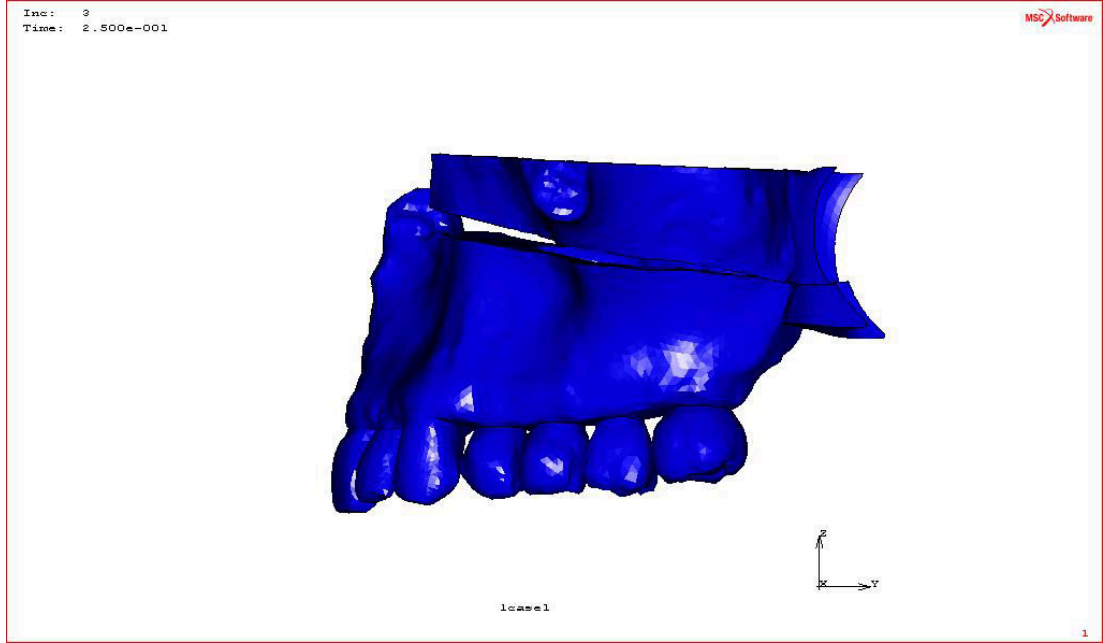
#### 4.2.1. 3D Ölçüm

Üç boyutlu ölçümlerde 2 mm'lik geri hareketlendirmenin L1 referans noktasında 2.4 mm, L2 referans noktasında 0.7 mm'lik bir deplasmana yol açtığı izlenirken (Şekil 4.7); 3 mm'lik posterior hareketlendirmede L1 referans noktasının 3.7 mm, L2 referans noktasında ise maksillanın 0.9 mm'lik bir deplasmana uğradığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.7.** Kuvvet yönü orta 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

İki boyutlu ölçümlerde bulunan vertikal yer değiştirme hesaba katıldığında orta yönlü kuvvet uygulaması sonrasında transvers eksendeki lateral hareketlerin minimal olduğu izlenmektedir.



**Şekil 4.8.** Kuvvet yönü orta 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

#### 4.2.2. 2D Ölçüm

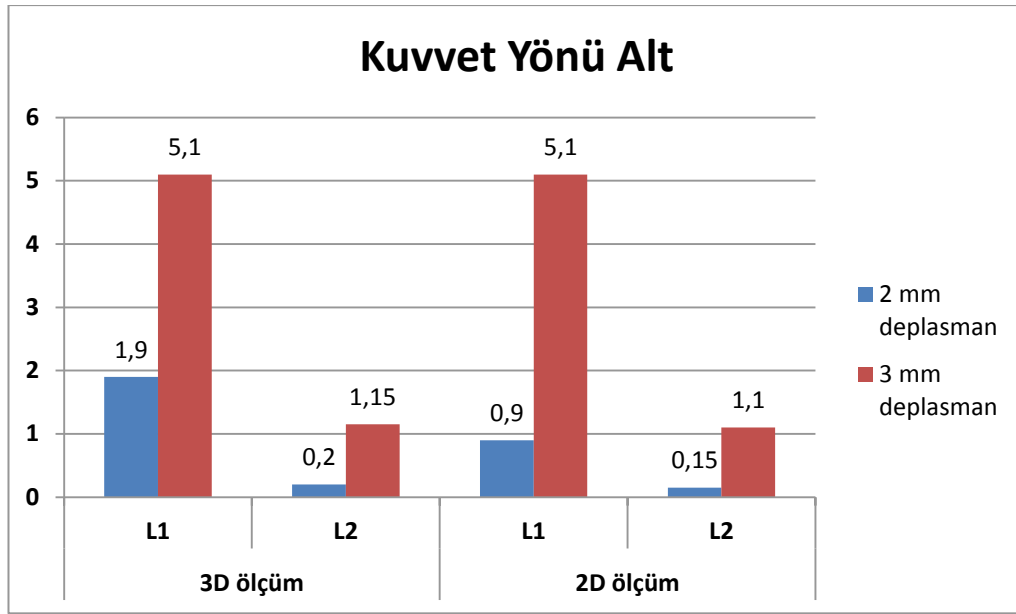
İki boyutlu ölçümlerde ise 2 mm’lik geri hareketlendirmenin L1 referans noktasında 0.1 mm, L2 referans noktasında 0.23 mm’lik bir deplasmana yol açtığı izlenirken; 3 mm’lik posterior hareketlendirmede L1 referans noktasının 3.0 mm, L2 referans noktasında ise maksillanın 0.7 mm’lik bir deplasmana uğradığı tespit edilmiştir.

Orta seviyeden uygulanan geri hareketlendirme sonucu iki boyutlu ve üç boyutlu ölçümlerde L1 ve L2 deplasman miktarlarının 2 mm’den 3 mm’ye geçildiğinde artış gösterdiği ve özellikle iki boyutlu ölçümde L1 noktasındaki deplasmanın L2’ ye göre daha fazla arttığı görülmektedir. Kuvvetin orta seviyeden uygulanmasıyla elde edilen geri hareketin, pterygoid prosesler üzerinde bir rotasyon eksenini oluşturma eğiliminde olduğu ve böylece maksiller segmenti saat yönünün tersi rotasyona maruz bıraktığı gözlemlenmiştir. Bu şekilde her iki boyutta da L1 noktasındaki deplasmanın, maksiller segmentin anteriorda aşağı rotasyonu ile birlikte daha fazla artış gösterdiği görülmüştür.

### 4.3. Alt Yönlü Kuvvet Uygulaması

Alt kuvvet uygulama noktasından maksiller segmente uygulanan posterior doğrultudaki deplasman hareketinde, bu segmentte gözlemlenen deplasman miktarının yine 3 mm'nin ötesine geçemediği görülmüş ve 3 mm'den sonraki harekette uzaysal olarak ölçülebilir sınırdan uzaklaşmış ve posterior deplasmanın mümkün olamayacağını göstermiştir.

Alt kuvvet uygulamasında maksiller segmentin sagital plandaki posterior yönlü deplasman karakteri, 2 ve 3 mm geri hareketlendirmelerde L1 ve L2 referans noktalarındaki değişim miktarı iki boyutlu ve üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Sonuçlar grafikte görülmektedir (Şekil 4.9).



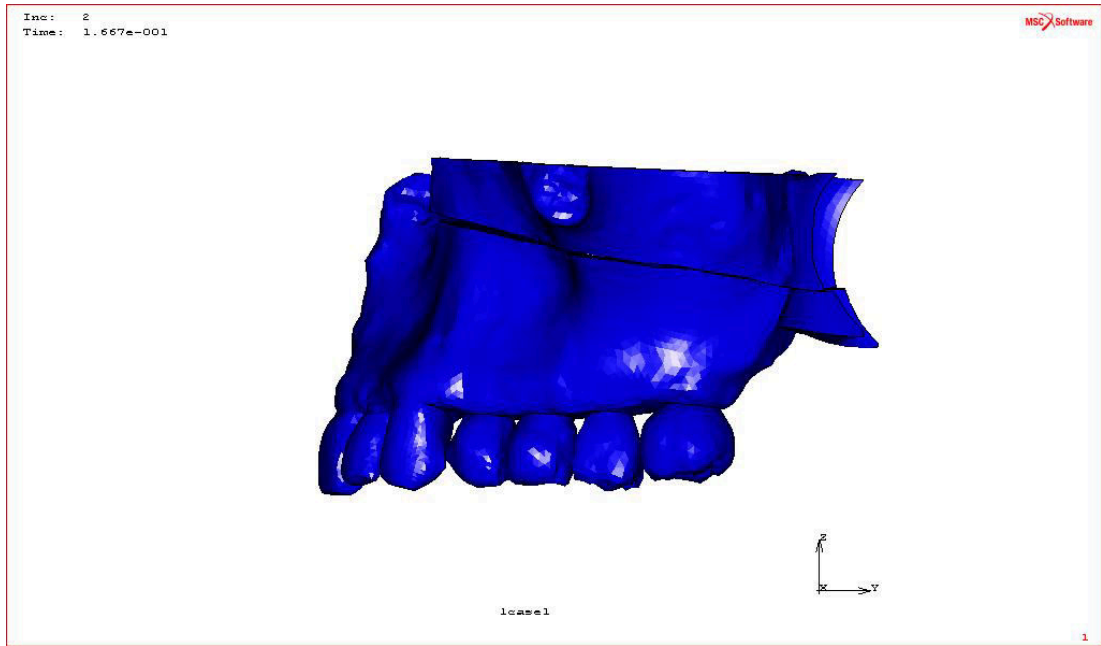
**Şekil 4.9.** Kuvvet yönü alt olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

**Tablo 4.3.** Kuvvet yönü alt olan geri hareketlendirme sonucunda oluşan deplasman değerleri

|                | 3D ölçüm |      | 2D ölçüm |      |
|----------------|----------|------|----------|------|
|                | L1       | L2   | L1       | L2   |
| 2 mm deplasman | 1.9      | 0.2  | 0.9      | 0.15 |
| 3 mm deplasman | 5.1      | 1.15 | 5.1      | 1.1  |

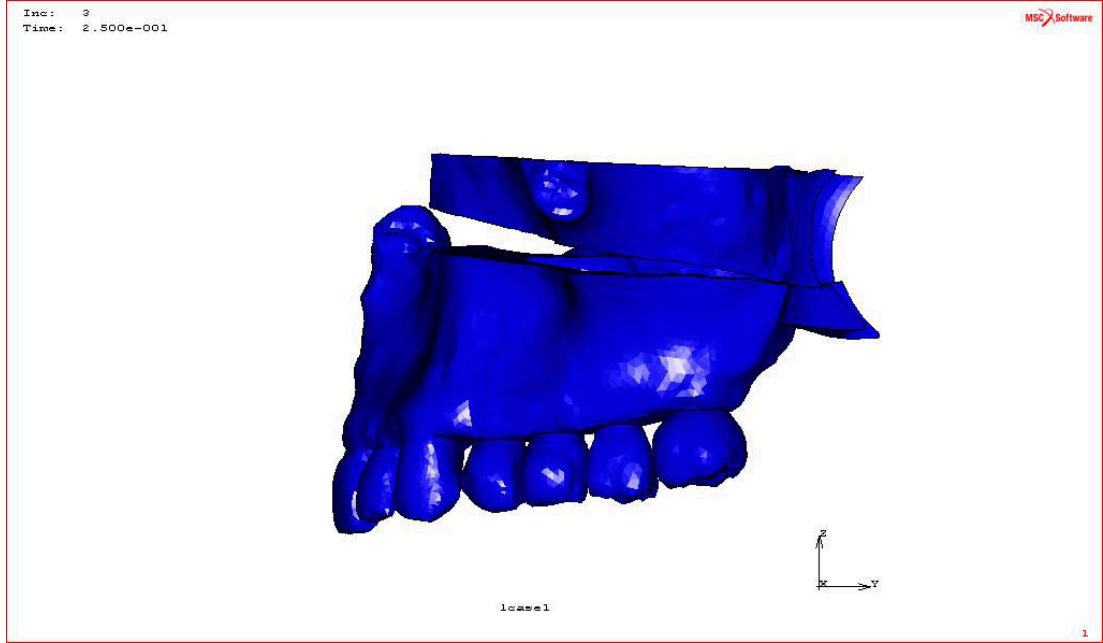
### 4.3.1. 3D Ölçüm

Üç boyutlu ölçümlerde 2 mm'lik geri hareketlendirmenin L1 referans noktasında 2.4 mm, L2 referans noktasında 0.7 mm'lik bir deplasmana yol açtığı izlenirken (Şekil 4.10); 3 mm'lik posterior hareketlendirmede L1 referans noktasının 3.7 mm, L2 referans noktasının ise 0.9 mm'lik bir deplasmana uğradığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.11).



**Şekil 4.10.** Kuvvet yönü alt 2 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

3 mm geri hareketlendirme sonrasında L1 noktasında ölçülen iki boyutlu mesafenin, bir diğer deyişle vertikal yer değiştirmenin 5.1 mm olduğu görülmektedir. L1 noktasındaki 3D ölçümün de 5.1 olması maksillanın transvers yönde herhangi bir hareket yapmadığını göstermektedir. L2 noktasında ise 3D ölçümün 2D ölçümden sadece 0.05 mm fazla olduğu görülmektedir. Burada ise maksillanın çok az miktarda lateral hareket yaptığı anlaşılmaktadır.



**Şekil 4.11.** Kuvvet yönü alt 3 mm geri hareketlendirme koşulunda görülen deplasman

#### 4.3.2. 2D Ölçüm

İki boyutlu ölçümlerde 2 mm'lik geri hareketlendirmenin L1 referans noktasında 0.9 mm, L2 referans noktasında 0.15 mm'lik bir deplasmana yol açtığı izlenirken; 3 mm'lik posterior hareketlendirmede L1 referans noktasının 5.1 mm, L2 referans noktasında ise maksillanın 1.1 mm'lik bir deplasmana uğradığı tespit edilmiştir.

Alt seviyeden uygulanan kuvvetler sonrasında orta seviyede elde edilen hareket karakterine benzer şekilde, üç boyutta ve iki boyutta yapılan ölçümlerde her iki referans noktasındaki deplasman miktarlarında artış olduğu ve L1 deplasman değerlerinin daha büyük fark gösterdiği izlenmiştir. Kuvvet uygulama seviyesinin bazal kaideden iyice uzaklaştığı alt yönlü geri hareketlendirmede, maksiller segmentin fazlaca saat yönünün tersi rotasyona maruz kaldığı ve posteriora doğru gidildikçe segmentin aşağıya olan hareketinin rotasyon sebebiyle azaldığı ve böylece L1 deplasman miktarlarının her iki boyutta da L2 deplasman değerlerine göre daha fazla artış gösterdiği tespit edilmiştir.

## 5. TARTIŞMA

Ortognatik cerrahi, dentofasiyal deformiteler ve maloklüzyonların ortodonti ve cerrahi operasyonlarla birlikte düzeltilmesi işlemidir. Tedavi sadece yüz yapılarının kemik ilişkilerini değil, aynı zamanda yumuşak dokuların ilişkilerinde de değişikliğe yol açarak hastanın profil görüntüsünü etkilemektedir (Harris ve Hunt, 2009, s. 1; Forssell ve diğerleri, 1998; Wolford ve Fields, 2000, s. 24).

Ortognatik cerrahi son üç yüzyıl içerisinde gelişim göstererek günümüzde fasiyal deformitelerin düzeltilmesinde rutin bir prosedür haline gelmiştir (Moos ve Ayoub, 2010). Dental oklüzyon stabilitesinin sağlanması, temporomandibular eklem fonksiyonunun düzeltilmesi ve yüz oranlarının geliştirilmesi amacıyla uygulanan ve çenelerde şekil değişikliği yaratan cerrahi teknikler ortognatik cerrahi kapsamına girmektedir (Robinson ve Holm, 2010, Perciaccante, 2012, s. 627).

Günümüze gelene kadar geçen süreçte zamanla birlikte ortognatik cerrahi ile ilgili bilgi birikimi de artış göstermiş ve birçok cerrahi teknik geliştirilerek modern ortognatik cerrahi, çoğu kompleks dentofasiyal deformitenin tedavisini güvenle yapabilecek düzeye erişmiştir (Reyneke ve Ferretti, 2010, s. 973). Maksilla ve mandibuladaki deformitelerin cerrahi tedavisi için günümüzde geçerliliğini koruyan farklı teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklerin kullanım alanları ve endikasyonları deformitelerin üç boyutlu olarak hangi düzlem üzerinde bulunduğu ve konumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Tucker ve diğerleri, 2008, s. 529).

İlk geliştirildiği dönemlerde maksilla üzerindeki cerrahi prosedürler çoğunlukla anterior dentoalveoler segmentte uygulanan birkaç teknikle sınırlıydı (Hill ve Thomas, 2007, s. 179). 1970'lerin başlarında yapılan çalışmalar ışığında total maksiller cerrahilerin maksillanın vasküler desteğini tehlikeye atmaksızın yapılabileceğini göstermiştir. Çalışmalarda kemik segmentlerindeki kan akımının yeterli olduğu ve maksillanın beslenmesinin normal olarak devam ettiği gösterilmiştir (Richardson ve Pospisil, 1999, s. 1308; Stearns ve diğerleri, 2000, s. 156; Turvey ve White, 2002, s. 289). Bu bilgiler ışığında total maksiller osteotomiler maksillanın anteroposterior, vertikal ve transvers yön deformitelerinde yaygın olarak

kullanılmakta olan teknikler haline gelmiştir (Stearns ve diğerleri, 2000, s. 153).

Total maksiller osteotomilerin çok amaçlı olması ve güvenilirliği, segmental osteotomilerin sadece bazı özel durumlarda kullanılmasını beraberinde getirmiştir. Segmental osteotomiler, defektin arkın bir bölümünde izole olduğu ve geriye kalan bölgelerde dental ve iskeletsel ilişkilerin normal olduğu dentofasiyal deformitelerde uygulanmaktadır (Ziccardi ve Wilk, 2000, s. 249).

İlk olarak 1859 yılında von Langenbeck tarafından tanımlanan maksiller cerrahi girişimler o dönemlerde üst çene bölgesindeki patolojilere ulaşım sağlamak amacıyla uygulanmaktaydı. 1901 yılında Fransız cerrah René Le Fort, üst çene kırıklarının olduğu seviyeye göre hazırladığı klasik sınıflandırmayı bildirmiştir. 1927 yılında Wassmund orta yüz deformitelerinin düzeltilmesi için Le Fort I osteotomisini tanımlamıştır. 1934'te Axhausen ilk kez maksillanın bütünüyle hareketlendirip farklı bir şekilde konumlandırılması işlemini gerçekleştirerek total maksiller osteotominin öncüsü olmuştur. 8 yıl sonra Schuchardt maksillada total bir hareketlendirilme sağlanabilmesi için pterygomaksiller birleşimin ayrılması gerektiğini savunmuştur. 1949 yılında Moore ve Ward maksillanın ileri yönde tekrar konumlandırılabilmesi için pterygoid plakların horizontal olarak kesilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. 1965'de Obwegeser üst çene osteotomisi yapıldıktan sonra, segmentin tamamen mobilize hale getirilerek, istenilen konumlandırmanın daha kolay ve relaps olmadan gerçekleştirilebileceğini iddia etmiştir (Aktaran: Genç, 2008; Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1179).

Günümüzde Le Fort I osteotomisi maksiller deformitelerin tedavisi amacıyla tek parça veya segmental olarak kullanılan cerrahi teknikler arasında en fazla tercih edilen tekniktir (Choi ve diğerleri, 2013; Frost, 1999, s. 1276; Hausamen, 2001; Reyneke ve Ferretti, 2010, s. 1009). Birçok fonksiyonel ve estetik problemin çözümü amacıyla geniş kapsamlı olarak uygulanabilmesi, kolay bir teknik oluşu ve sonuçlarının güvenilirliği sebebiyle maksillada en yaygın kullanılan teknik sıfatını kazanmıştır (Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 232).

Canlı doku ve organlarda kuvvet ve deplasman analizi yapmak güç, çoğu



zamanda olanaksızdır. Bu nedenle yapılmak istenen analizler, bilgisayar ortamında oluşturulan modeller üzerinde gerçekleştirilir ve modeller gerçeğe ne kadar yakın olursa oluşacak gerilmelerin canlı dokulardaki benzerliği de o oranda fazla olmaktadır (Üstün, 2008; Veli, 2012).

Fotoelastik kuvvet analizi, gerilim ölçer ile kuvvet analizi, holografik interferometri ve sonlu elemanlar analizi gibi metodlar ile oluşturulan yapı içerisinde ortaya çıkan stresler hesaplanabilir ve ayrıca bu yöntemler diğer stres analizi yöntemlerinden farklı olarak, oluşturulan yapıda gözlenen deplasmanları veya yer değiştirmeleri de göstermektedir (Adıgüzel, 2010; Ertürk, 2008; Güngör ve diğerleri, 2005; Ulusoy ve Aydın, 2010, s. 115).

Fotoelastik analiz yönteminde, incelenecek yapının fotoelastik malzemeden modeli yapılmaktadır. Fakat oluşturulan modelin karmaşık geometrileri temsil edecek kadar ayrıntılı yapılamaması, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilememesine yol açmaktadır (Güngör ve diğerleri, 2005; Mahler ve Peyton, 1955).

Gerilim ölçerlerin dış hareketlerinin ölçümünde güvenilir olduğu bildirilmiştir. Ancak *in-vivo* analizlerde dokuların içinde oluşan gerilmelerin belirlenebilmesi için gerilim ölçerlerin doku içine yerleştirilmeleri gerekmektedir. İnvaziv bir yöntem olması bu yöntemin başlıca dezavantajıdır. *In-vitro* ortamda kullanılan gerilim ölçerlerin kullanıldığı analizlerde, oluşturulan çevre dokuların fiziksel özelliklerinin gerçek dokuların fiziksel özelliklerini tam olarak yansıtamaması bu yöntemin bir diğer dezavantajıdır (Ertürk, 2008; Güngör ve diğerleri, 2005).

Holografik interferometre analiz yöntemi ile yüzey deformasyonları hassas bir şekilde kaydedilirken bu yöntemle canlı dokularda meydana gelen gerilme bölgelerinin belirlenmesi mümkün değildir (Güngör ve diğerleri, 2005).

Diğer analizlerin bu dezavantajlarına rağmen, sonlu elemanlar analizi, karmaşık geometriye sahip yapıların bilgisayarda oluşturulan ayrıntılı modellerini kullanarak gerilim, gerinim ve yer değiştirmelerin hassas ve kantitatif olarak

incelenmesini sağlayan matematiksel bir yöntemdir. Oluşturulan modelleri oluşturan parçaların her birine fiziksel özellikleri kazandırılarak analizlerin gerçeğe uygun bir şekilde yapılmasına olanak sağlanmaktadır (Ertürk, 2008; Güngör ve diğerleri, 2005). Bu avantajlarından dolayı araştırmamızda sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar analizlerinin avantajları yanında bazı dezavantajları da vardır. Sonlu elemanlar yönteminin lineer elastik bir stres analizi olması bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Çünkü, gerçekte canlı veya cansız yapılar yük altında belli bir sınıra kadar elastik, sonra plastik deformasyon gösterirler. Diş hekimliğinde uyguladığımız kuvvet miktarları gerçek uygulamada olduğu gibi ancak elastik deformasyon oluşturacak limitler içerisinde (Yaman, 1995).

Diş hekimliği alanında yapılan çalışmalarda materyaller homojen ve izotropik kabul edilmiştir. Gerçekte ise doğada bulunan hiçbir materyal %100 homojen ve izotrop değildir. Esasen organik maddelerden oluşan canlı sisteminin de homojen ve izotrop olması beklenmez. Aynı cinsden iki organizmaya ait her bir dokunun iç yapısı ve izotropik özelliği dahi belli sınırlar içinde sayılamayacak kadar çok etkenle sürekli değişebilmektedir. Bu durumda materyal değerlerini ortalama değer olarak homojen ve izotrop varsaymak, çok geniş bir popülasyon için vardığımız deney sonuçlarının gerçeğe yaklaşımını engellemeyecektir. Çalışmamızda da taklit edilen tüm canlı dokular bu varsayım nedeniyle %100 homojen, izotropik ve lineer elastik olarak tanımlanmıştır. Yine de analiz sonuçları gerçek değerlere yalnızca bir yaklaşım olarak kabul edilmelidir. Gerek sonlu elemanlar, gerekse diğer stres analiz yöntemlerinde bulguların değerlendirilmesi kantitatif değil kalitatif olarak yapılmalıdır (Üstün, 2008; Güngör ve diğerleri, 2005).

Sonlu elemanlar analizinin diş hekimliğinde kullanılması 1973'te Farah ve arkadaşlarının restoratif materyallerin özellikleri üzerine yaptığı çalışmalarla başlamıştır. Bu dönemde kullanılan dental modeller iki boyutlu ve olabildiğince fazla hesaplamayla sınırlanmış şekilde hazırlanmıştı. 1990 yılında Rieger ve arkadaşları dental implant yivlerinin stres dağılımına etkisini incelemek amacıyla iki boyutlu modeller hazırlamıştır. 1990'lı yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle birlikte

üç boyutlu dental modeller hazırlanmaya başlanmıştır. 1992 yılında Korioto ve arkadaşları üç boyutlu çene modellerinde çiğneme kuvvetleri üzerinde çalışmışlardır. 1996'da Baiamonte ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, osteointegre titanyum implantlar yerleştirilmiş maymun mandibulasında, gerinim değerlerinin in-vitro çalışmasıyla elde ettiği sonuçlarıyla sonlu elemanlar metoduyla elde ettiği sonuçları karşılaştırmış, sonuçların mükemmel bir şekilde benzerlik göstermesiyle sonlu elemanlar yönteminin dental sistemlere uygulanabileceğini ortaya koymuştur (Aktaran: Erkmén ve diğérleri, 2005a). 2000'li yıllarda ise görüntüleme teknolojisinin gelişimiyle birlikte üç boyutlu modeller CT görüntüleri kullanılarak oluşturulmaya başlanmıştır. Bununla birlikte CAD yazılımların kullanımı ile oldukça ayrıntılı anatomik modelleme imkanı da doğmuştur (Aktaran: Moratal, 2012, s. 4,6).

Sonlu elemanlar analizinde simüle edilecek olan matematiksel model iki boyutlu veya üç boyutlu olarak hazırlanabilir. İki boyutlu modellerin hazırlanması basittir, ancak üzerinde çalışılan gerçek problemin karmaşıklığını yansıtmamaktadır. Bu sebeple iki boyutlu analizler basit yapılar için daha uygundur. İki boyutlu sistemlerde düzlemin dışındaki deformasyonlar ve gerilimler önemsizdir. Bu durum maliyeti azaltmakta ancak, sonuçların doğruluğunu kısıtlamaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sayesinde üç boyutlu model hazırlanması her ne kadar zaman ve ekonomik açıdan zor olsa da sonuçların doğruluğu açısından oldukça avantajlı hale gelmiştir. Dijital görüntüleme teknikleri ve programlarındaki ilerlemeler ise, sonlu elemanlar analizi ile biyolojik dokuların üç boyutlu olarak daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Üç boyutlu analizde özellikle kompleks geometrilerin gerçeğe yakın şekilde temsil edilebilmesi sayesinde, analiz sonuçlarının daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Ayrıca anizotropik ve homojen olmayan yapıların biyomekanik davranışlarını yansıtabilmesi sebebiyle de tercih edilmektedir (Borcic ve Braut, 2012, s. 5-8). Tüm bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda, çalışmamızda doğru sonuçlara olabildiğince yaklaşmak amacıyla üç boyutlu modelleme kullanılmıştır.

Ortognatik cerrahi alanında sonlu elemanlar metodunun kullanılması 1992 yılında Motoyoshi ve diğérlerinin fasiyal yumuşak dokuları modelledikleri ve cerrahi ile birlikte oluşan deformasyonu analiz ettikleri çalışmalarla başlamıştır. 1993'te

Ayoub ve diğerleri genioplasti sonrasında oluşan değişiklikleri simüle etmek amacıyla sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır. Yine Ayoub ve arkadaşları 1994 yılında bimaxiller osteotomiler sonrasında tel osteosentez ve vida fiksasyonunu SEA kullanarak karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalar 2000’li yıllarda artış göstermiş ve çeşitli amaçlarla ortognatik cerrahi simülasyonu uygulanan üç boyutlu modeller üzerinde SEA kullanılmıştır (Ataç ve diğerleri, 2008; Erkmen ve diğerleri, 2005b).

SEA’nın Le Fort I osteotomisinde kullanımı ise ilk olarak 2007 yılında Nagasao ve diğerleri tarafından maksiller fiksasyon için kullanılan vida çaplarının stabilite ile olan ilişkisinin tespit edilmesi amacıyla yapılan çalışmayla gösterilmiştir. Daha sonra ise Erkmen ve arkadaşları (2009), değişik maksiller hareketler sonrasında kullanılan iki plak ve dört plak fiksasyonunu üç boyutlu SEA ile karşılaştırdıkları bir çalışma serisi yayınlamışlardır.

Sonlu elemanlar analiz yönteminin başarısı ve gerçeğe yakın bir simulasyon elde edilmesi için, hazırlanan matematik modeldeki eleman sayısı ve şekli de önemli bir parametredir. Gerçek modele en yakın geometrinin elde edilebilmesi için eleman ve düğüm sayısı mümkün olduğunca fazla olmalıdır (Borcic ve Braut, 2012, s. 7; Gülay, 2010). Sayı arttıkça elde edilen sonuçların doğruluğu da artmakta, sayı azaldıkça çok daha genel bilgiler elde edilmektedir. Bununla birlikte, eleman ve düğüm noktası sayısı arttıkça analiz süresi de uzamaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmaların çoğunda eleman ve düğüm noktası sayısı sınırlı tutulmaktadır (Yüzbaşıoğlu, 2006). Çalışmamızda kullanılan maksilla modeli 157174 tane eleman ve 34019 tane nod kullanılarak oluşturulmuştur. Bu nod ve eleman sayılarının sistemin davranışını gerçeğe yakın ölçüde anlamaya yetecek miktarda olduğu düşünülmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminde yükleme koşulları altında, kullanılan yazılıma bağlı olarak farklı parametrelerle ilgili asal stresler, Von mises stresleri, strain ve yer değiştirme değerleri ortaya çıkmaktadır (Borcic ve Braut, 2012, s. 4; Ertürk, 2008). Çalışmamızda elde edilen bulgular, oluşturulan bir mekanik sisteme uygulanan kuvvetler sonucu gerçekleşen yer değiştirmeleri içermektedir.

Literatürde maksillanın deplasmanı ile ilgili SEA çalışmaları oldukça sınırlı olmakla birlikte yapılan çalışmaların çoğunun rapid palatal ekspansiyon (RPE) üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Jafari ve diğerleri (2003), hazırladıkları kafa iskeleti modeli üzerinde bir transvers aparey simüle ederek RPE vasıtasıyla her iki taraftaki dişlerde 5 mm deplasman olacak şekilde toplam 10 mm' lik deplasman verildiğinde; maksilla, zigomatik kemik, dentoalveoler segment, sphenoid kemik gibi bölgelerdeki deplasmanları x, y ve z eksenleri üzerinde ayrı ayrı ölçümlemişlerdir. Benzer şekilde Gautam ve diğerleri (2007), midpalatal sütur üzerinde oluşturulan 10 mm'lik bir deplasmanı simüle ederek çeşitli kemik yapılarında gözlenen yer değiştirmeleri ölçmüşlerdir. Boryor ve diğerleri (2008), ise uyguladıkları rapid palatal ekspansiyonu, önce apareyin aktivasyonu ile oluşturdukları 100 N'luk bir kuvvetle simüle etmişler ve kemik yapılarındaki deplasmanları tespit etmişlerdir. Daha sonra RPE'yi kuvvet yerine dişlere verilen 0.5 mm'lik deplasman ile simüle ederek aynı ölçümleri yapmışlar ve bu değerleri karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalarda da görüldüğü gibi oluşturulan üç boyutlu yapı üzerinde her üç eksen de ölçülmesi planlanan deplasman, ya bir referans noktasına verilen yer değiştirme miktarı ile ya da belirlenen referans noktasına uygulanan kuvvet değeri ile sağlanmıştır. Çalışmamızda referans noktasına verilen yer değiştirme miktarları kullanılarak maksilla deplasmanı incelenmiştir.

RPE'nin etkilerinin incelendiği deplasman çalışmalarında maksilla transvers eksen de hareketlendirilmektedir. Yu ve diğerleri (2007), 0.2 mm'lik deplasmanlar ile oluşturulan RPE'ye ilaveten 500 g değerinde bir protraksiyon kuvveti de simüle ederek maksiller kompleksin x, y ve z eksenlerindeki deplasman karakterini göstermişlerdir. Bu şekilde maksillaya anteroposterior eksen de hareket vermişlerdir. Gautam ve diğerleri (2009) yaptıkları diğer bir çalışmada, üç değişik headgear traksiyonu simüle ederek maksillaya 1 kg değerinde kuvvet uygulayarak posterior yönlü deplasmanı incelemişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada maksilla sagittal eksen de posteriora doğru hareket ettirilerek oluşan deplasman vertikal eksen üzerinde ve üç boyutlu yer değiştirme olarak ölçülmüştür.

Literatürde Le Fort I osteotomisinin simüle edildiği ve maksiller segmentin SEA ile deplasmanının incelendiği sadece iki çalışma bulunmaktadır. Han ve

diğerleri (2009), CYME ve Le Fort I osteotomilerini farklı gruplarda simüle ederek, Hyrax apareyi üzerinden uyguladıkları transvers yönlü 6000 g büyüklüğündeki kuvvet ile x, y ve z eksenlerinde oluşan deplasman miktarlarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada Le Fort I osteotomisinin transvers ekseninde gerçekleşen palatal ekspansiyon hareketine olan etkisi tartışılmıştır. Çalışmamızda ise anteroposterior ekseninde uygulanan posterior hareketlendirmenin oluşturduğu etkiler incelenmiştir.

Uçkan ve diğerleri (2009), hazırladıkları hemimaksilla modeli üzerinde geleneksel Le Fort I osteotomisini takiben 5 – mm’lik ilerletme (*advancement*) hareketini simüle etmişlerdir. Daha sonra rezorbe olabilen ve titanyum L plaklar kullanılarak fikse edilen maksiller segment üzerine uygulanan değişik miktarlardaki vertikal yönlü çiğneme kuvvetlerinin oluşturduğu deplasman miktarları bulgulanmıştır. Çalışmamızla paralellik göstermekle birlikte, Uçkan ve diğerlerinin çalışmasında farklı olarak vertikal ekseninde uygulanan yukarı yönlü çiğneme kuvvetlerinin fikse edilmiş maksiller segmentte oluşturduğu etkiler incelenmiştir.

Le Fort I osteotomisinin maksiller hipoplazi ve hiperplazi, maksiller vertikal fazlalık veya yetersizlik, asimetri, transvers yön anomalileri, okluzal düzlem problemlerinin düzeltilmesi, obstrüktif uyku apnesi, farinks ve kafa tabanı tümörlerinin rezeksiyonu için ulaşım amaçlı kullanılması gibi geniş bir endikasyon yelpazesi bulunmaktadır (Obeid, 2011, s. 649). Bu teknik kullanılarak maksilla superiora, inferiora, anteriora, posteriora veya transvers doğrultuda tek parça veya segmentler halinde hareket ettirilebilir (Bang ve diğerleri, 2012; Choi ve diğerleri, 2009; Turvey ve Schardt-Sacco, 2000, s. 232; Wolford ve Fields, 1999, s. 1238).

Maksillanın posterior, bir diğer deyişle setback hareketi segmental osteotomiler yardımıyla oluşturulan premaksiller segmentinin geriye hareketi ile veya Le Fort I osteotomisi ile tüm maksillanın geri hareketi şeklinde elde edilebilir (Chu ve diğerleri, 2007; Mason ve Schendel, 1999, s. 1322; Proffit ve Sarver, 2002, s. 198; Schouman ve diğerleri, 2010; Tucker ve diğerleri, 2008, s. 538).

Maksiller setback, dış çekimi için ortodontik bir sebep bulunmayan bimaxiller protrüzyon tedavisinde veya Le Fort I osteotomisi sonrası saat yönü

rotasyonu ile üst keser eğimlerinin yeterli şekilde düzeltilebileceği maksiller fazlalık durumunda anterior segmental osteotomilere alternatif olabilir. Segmental maksiller osteotomiler daha çok Spee eğrisinin fazla açılı olduğu durumlarda ve vertikal maksiller fazlalık tedavisinde kabul gören tekniklerdir (Chu ve diğerleri, 2009). Ward ve diğerlerine (2007) göre, eğer diş arkları çekim yapılmaksızın sınıf I oklüziona getirilebilecekse ve dişler bazal kemiğe göre ideal konumlarında ise maksillanın tek parça halinde geri pozisyonlandırılması tercih edilebilir. Harris ve Hunt'a (2009) göre küçük azı çekimlerinin bukkal segmentleri kısalttığı durumlarda en iyi estetik ve oklüzyonu sağlamak için en iyi yaklaşım Le Fort I geriye alma işlemidir.

Schouman ve diğerlerine (2010) göre Le Fort I setback bazı dentofasiyal sınıf II anomali vakalarında; tatminkar okluzal, fonksiyonel ve estetik sonuçlar sağlayan güvenilir bir tekniktir. İlgili vakalarda özellikle derin nazolabial açığa sahip belirgin üst çene prognatizmi olmasına dikkat edilmelidir. Cerrahi planlama ise maksiller setback işleminin önemini ön plana çıkarmak ve üst dudakın düzleşmesine engel olmak amacıyla bimaksiller cerrahi şeklinde olmalıdır. Bu gibi vakalarda segmental maksiller işlemlerin uygulanmasının başlıca sebebi yazarlara göre maksiller setback tekniği konusundaki bilgi yetersizliği ve pratiğinin azlığıdır.

Wolfe ve diğerleri (1997) maksillanın posterior hareketinin şiddetli maksiller veya bimaksiller protrüzyonun tedavisinde endike kabul edilebileceğini ve bu tekniğin fonksiyonel olarak önemli olan dişlerin korunmasına imkan tanıdığını aktarmıştır.

Lee ve diğerlerine (2013) göre sınıf III maloklüzyonun tedavisinde özellikle asyalı hastalarda total maksiller setback sıklıkla ihtiyaç duyulan bir tekniktir. Yazarlar ayrıca maksillanın tümüyle geri alınmasının mandibular setback hareketinin limitini de artıracak ve *nasopharyngeal* havayolu hacminde meydana gelecek azalmanın yanı sıra *oropharyngeal* havayolu hacminde de azalma görülebileceğini iddia etmiştir.

Sınıf II iskeletsel uyumsuzluğun düzeltilmesinde genel görüş mandibuler

ilerletme üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu durum daha protrüziv bir profil oluşturulmasının yanısıra TME disfonksiyonu ve relaps riskini de beraberinde getirmektedir. Özellikle superior protrüzyon vakalarında bu tedavinin en iyi morfolojik sonucu vereceği şüphelidir. Maksiller *setback* ise sadece nazolabial komplekste değil aynı zamanda orta yüz estetiğinde de değişimlere kapı açmaktadır. Bu açıdan bakıldığında yaygın olarak benimsenen mandibuler ilerletme yerine maksiller *setback* prosedürünün tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir (Schouman ve diğerleri, 2010).

Anterior segmental osteotomiler maksillanın vertikal ve transvers yöndeki düzeltmelerinde tek başına yeterli olamamaktadır. Maksillanın doğru anteroposterior ve vertikal repozisyonu amacıyla segmental osteotomilerin Le Fort I osteotomisi ile kombine edilmesi gerektiği durumlarda cerrahinin zorluğu ve morbiditesi artmaktadır. İki veya üç segmente ayrılmış Le Fort I osteotomisi tek parça olanına göre daha yüksek komplikasyon oranına sahiptir. Dolayısıyla, maksiller *setback*, labiale eğimli üst keserlerin bulunduğu sınıf III iskeletsel protrüzyonu olan vakalarda, ortodontik yer kapatılması veya anterior segmental osteotomilere alternatif olarak görülmektedir (Baek ve diğerleri, 2009; Ward ve diğerleri, 2007).

Segmental maksiller setback işlemleri öne eğimli keserler ile birlikte molar sınıf I kapanışla karakterize izole premaksiller protrüzyon veya dentoalveoler protrüzyonun tedavisinde endikedir. Bu tedavi Sınıf II molar ilişkisi bulunan vakalarda bazı dezavantajlar barındırmaktadır. İskeletsel deformiteden ziyade anterior okluzal uyumsuzluğu düzelttiğinden dolayı, molar sınıf II ilişkide değişiklik yaratmamaktadır. Bunun yanısıra ortodontik çekimlerle diş kaybı söz konusu olmakta, osteotomi sınırındaki dişlerde ise vitalite kaybı olabilmektedir (Schouman ve diğerleri, 2010; Wolfe ve diğerleri, 1997).

Choi ve diğerleri (2013), asimetri veya vertikal hiperplazinin eşlik ettiği iskeletsel bimaksiller fazlalıkta optimum yüz profilinin Le Fort I maksiller *setback* ve mandibuler sagittal split osteotomisi kullanılarak elde edildiğini açıklamıştır.

Chu ve diğerleri (2007), *setback* osteotomisinin bimaksiller protrüzyonun



tedavisinde oldukça etkili olduğunu ancak yüz üzerinde istenmeyen bir yaşlanma görüntüsü oluşabileceğine ve hastaların bu konuda önceden uyarılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Yazarlar bu durumun orta yüz yumuşak dokularının iskeletsel desteğinin arkaya hareket etmesi sonucu bu dokularda relaksasyon, nazolabial katlantıda belirginleşme, nazolabial açıda artış, dudak vermilion hattının alçalması ile gülme esnasında dişeti görünürlüğünde azalma gibi etkilerinin olacağını ve bu bulguların işlem öncesinde mevcut olduğu vakalarda setback planlamasında oldukça dikkatli olunması gerektiğini vurgulamıştır. Yapılan bir araştırmada maksillanın posteriora hareketlendirilmesinin fasiyal kaslarının uzunluğunu azalttığı ve gülme esnasında kasların yüz derisini germe ve kaldırma gücünün azaldığı görülmüştür. Çalışmada advancement ve inferior repozisyonda yüz hareketliliğinin arttığı, setback ve impaction işlemlerinde ise azaldığı sonucuna varıldığından, hiperaktif dudak elevasyonu olan iskeletsel sınıf II hastaların tedavisinde mandibuler advancement cerrahisi yerine maksiller setback cerrahisi önerilmiştir (Johns ve diğerleri, 1997).

Maksillanın tümüyle geri hareketine olanak sağlayan cerrahi işlem literatürde total maksiller setback osteotomisi (TMSO) adıyla da bilinmektedir (Baek ve diğerleri, 2009; Schouman ve diğerleri, 2010). Bu hareket konusunda literatürde değişik görüşler bulunmakla birlikte yazarlar çoğunlukla iki temel görüş etrafında toplanmaktadır. Bazı yazarlar maksillanın tümüyle geri hareket ettirilebilmesi için tüber maksilla veya pterygoid süreçler üzerinde bir kesi yapılarak bu bölgelerde kemik redüksiyonu sağlanması gerektiğini savunmuştur (Chu ve diğerleri, 2009; Perciaccante ve Bays, 2004, s. 1192; Schouman ve diğerleri, 2010; Ward ve diğerleri, 2007; Wolfe ve diğerleri, 1997). Bazı yazarlar ise ideal maksiller setback hareketine olanak sağlamak amacıyla pterygoid süreçlerin yapay olarak alt seviyeden kırılıp mobil hale getirilebileceğini vurgulamıştır (Choi ve diğerleri, 2013; Lanigan ve diğerleri, 1990; Lee ve diğerleri, 2012; Ueki ve diğerleri, 2004).

Posterior maksilla üç kemiğin birleşimi ile oluşmaktadır. Bunlar maksilla, palatin kemik ve sphenoid kemiğin pterygoid süreçleridir. Pterygomaksiller birleşim adı verilen bu yapı maksillayı pterygoid süreçlerden ayıran bir fissür şeklinde veya bu iki kemiğin füzyonuyla oluşan bir sinostoz biçiminde olabilir. Cheung ve diğerlerinin (1998) kuru kafalar üzerinde yaptığı çalışmada

pterygomaksiller birleşimin %88 oranında fissür olarak kaldığı, %12'sinin ise sinostoz olarak bulunduğu gösterilmiştir. Sinostoz, birleşmiş fissür yapısının sertliğini arttırdığından, pterygomaksiller ayrılma esnasında osteotomla bu bölgeye kuvvet uygulanmasıyla birlikte daha zayıf yapıda olan pterygoid proçeslerin kırılması olasılığının oldukça fazla olduğu düşünülmektedir.

Hwang ve diğerleri (2001), pterygomaksiller birleşimi kalın ve sığ konkavitesi olan tip A ve ince ancak derin konkaviteye sahip olan tip B olarak iki gruba ayırmıştır. Pterygomaksiller birleşimin ince olduğu ve derin konkavite oluşturduğu tip B varlığında pterygoid proçeslerin Le Fort I osteotomisi sırasında kırılmaya yatkın olduğu bildirilmiştir.

Le Fort I osteotomisi sonrası pterygoid proçes kırıklarının insidansının yüksek olduğunu gösteren klinik ve kadavra çalışmaları bulunmaktadır. Precious ve diğerleri (1993), osteotom kullanılarak ve kullanılmadan yapılan pterygomaksiller ayırma işlemi sonrasında sırasıyla %87 ve %82 oranlarında pterygoid proçes kırığına rastladıklarını rapor etmiştir. Diğer bir çalışmada 12 hastadan Le Fort I osteotomisi sonrasında alınan CT taramalarında %58 oranında pterygoid proçes kırığı olduğu ve bunların çoğunun lateral kesi hattı seviyesinde olan alt seviye kırıkları olduğu bildirilmiştir (Renick ve Symington, 1991). Altı kadavra üzerinde yapılan bir araştırmada sağ tarafta pterygomaksiller osteotomi uygulanan, sol taraf ise intakt bırakılan Le Fort I cerrahisi sonrasında CT ile pterygoid proçes kırıklarına bakılmıştır. Buna göre toplam beş tarafta kırık bulunduğu; bunların dört tanesinin Le Fort I osteotomi hattından daha alt seviyede, birinin ise osteotomi hattının üstünde olduğu aktarılmıştır (Dolanmaz ve diğerleri, 2008). Robinson ve Hendy (1986), sekiz kadavra üzerinde uygulanan Le Fort I osteotomisi ile ilgili yaptıkları incelemede sadece dört tarafta sorunsuz pterygomaksiller separasyonun gerçekleştiği; yedi taraftaki pterygoid proçeslerde osteotomi hattı seviyesinde, beş tarafta ise bu seviyenin üzerinde kırık olduğu rapor edilmiştir. Bunlardan iki tarafta oluşan pterygoid proçes kırığının maksilla üzerine atake olduğu gözlenmiştir. Wilson ve diğerleri (2000), yaptıkları klinik ve kadavra çalışmaları sonucunda bu tür posterior bölge kırıklarının klinik insidansının yüksek olabileceği görüşünü desteklemiştir. Çalışmamızda pterygoid proçeslerin Le Fort I osteotomisi esnasında oluşan bu

yüksek kırık insidansı ve bu kırıkların sıklıkla osteotomi hattı seviyesinde olduğu göz önünde bulundurularak pterygoid proçeslerin lateral osteotomi hattının devamı şeklinde horizontal olarak kırıldığı ve maksilla üzerinde atake olarak kaldığı simüle edilmiştir.

Teknikle ilgili farklı bulgu ve görüşler barındıran diğer bir konu ise kanama komplikasyonları ile ilgilidir. Maksiller osteotomi sırasında veya sonrasında görülen ciddi hemorajiler pterygoid pleksus, palatin majör damarlar, nazopalatin damarlar ve maksiller arterden kaynaklanabilir (Richardson ve Pospisil, 1999, s. 1310). Lanigan ve diğerleri (1990), Le Fort I osteotomisi sırasında ciddi hemorajinin en yaygın görüldüğü bölgenin posterior maksilla olduğunu ve bunun sıklıkla internal maksiller arterin terminal dallarından olan palatin descendens arterden kaynaklandığını belirtmiştir. Yazarlar en fazla venöz kanamaya yol açan yapının pterygoid pleksus olduğunu ve pterygoid kaslardaki laserasyonların önemli venöz ve arteriyel kanamalara sebep olabileceğini bildirmiştir. Krekmanov ve diğerleri (1990), maksillanın posteriora hareketi sırasında zengin pterygomaksiller damar ağının zedelenmesi sonucu büyük miktarda kanamaların kaçınılmaz olduğuna dikkat çekmiştir. O'Regan ve diğerleri (2006), pterygomaksiller separasyon sırasında olası ciddi kanamaların önlenmesi amacıyla yüksek risk zone olarak tanımladıkları bölgeye güvenli mesafedeki maksiller tüber üzerinde osteotomi yapılmasını önermiştir. Bazı yazarlar ise palatin descendens arterin bir kısmının medial sinüs duvarında bulunması sebebiyle, maksiller tüber osteotomisinin tehlikeli olabileceği; bu yüzden pterygoid proçeslerin kırılması gerektiğini açıklamıştır (Choi ve diğerleri, 2013; Ueki ve diğerleri, 2004).

Ueki ve diğerleri (2004), pterygoid proçeslerin ultrasonik kemik küreti yardımıyla kırılarak mobil hale getirilmesinin oldukça güvenli olduğunu ve sadece bu teknikle pterygomaksiller alandaki nörovasküler yapıların korunabileceğini bildirmiştir. Bu çalışmada yazarlar 9 hastada pterygoid proçesler üzerinde yapay kırık oluşturularak yapılan maksiller setback cerrahisi sonrasında minimal bir kanama ile karşılaşıldığını aktarmıştır.

Diğer bir çalışmada maksiller setback esnasında oluşan vasküler

laserasyonların genellikle aşırı kuvvet uygulanmasıyla oluşan kontrolsüz pterygoid süreç fraktürlerinden veya maksillanın keskin kemik spikülleri uzaklaştırılmadan hareket ettirilmesiyle oluştuğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada beklenmeyen bir malfraktür ve pterygoid pleksus hasarını önlemek amacıyla pterygoid sürecin subperiosteal diseksiyonunu takiben osteotomi hattı bir rond frez yardımıyla aralıklı delikler açılacak şekilde belirlenmiş ve işaretlenen kısım çok az bir kuvvet uygulanarak dikkatle kırılmıştır. Bu prosedür maksiller *setback* yapılan 31 hastada uygulanmış ve hiçbirinde ciddi bir kanama gözlenmemiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkarak yazarlar maksiller setback gerektiren bimaxiller ortognatik cerrahi sonrasında kan transfüzyonuna ihtiyaç olmadığını bildirmiştir (Choi ve diğerleri, 2013).

Schouman ve diğerleri (2010), 12 hastada pterygoid süreç ostektomisi ile yaptıkları maksiller *setback* sonrasında herhangi bir komplikasyonla karşılaşmadığını ve pterygoid süreçler konusundaki kanama endişesinin abartılı boyutta olduğunu iddia etmiştir. Yazarlar bu iddialarını internal maksiller arterin pterygoid süreçleri sphenoid korpusa yakın taban kısmından çaprazladığını gösteren anatomik çalışmalara dayandırmıştır (Cheung ve diğerleri, 1998). Buna göre internal maksiller arter lateral pterygoid kasın yukarıya ekartasyonu ile korunmuş, pterygoid süreç rezeksiyonu ise yükseklik olarak 10 mm'yi geçmemiştir. Yazarlar intraoperatif kanama ile karşılaşılrsa bile geniş açılan Le Fort I osteotomisinin infratemporal fossa damarlarına ulaşım sağlayacağını ve bu kanamaların kontrol altına alınabileceğini ifade etmiştir.

Precious ve diğerleri (1993), %80 oranının üzerinde pterygoid fraktürü tespit ettikleri çalışmada herhangi bir kanama komplikasyonuna rastlamadıklarını bildirmiştir. Ueki ve diğerleri (2009), 37 hasta üzerinde osteotom yerine ultrasonik alet kullanarak yaptıkları diğer bir araştırmada, pterygomaksiller separasyon tiplerini sekiz grup altında toplamış ve gözlemlenen kan kaybının az miktarda olduğunu bildirmiştir. 2005 yılında 137 cerrah arasında anket çalışmasına göre pterygomaksiller separasyon esnasında sadece %8'inin kan transfüzyonu gerektirecek bir vasküler komplikasyonla karşılaştığı rapor edilmiştir (O'Regan ve Bharadwaj, 2006).

TMSO okluzal ve palatal düzlemin değişimine bağlı olarak paralel ve rotasyonel olmak üzere iki şekilde yapılabilir (Baek ve diğerleri, 2009; Bang ve diğerleri, 2012; Lee ve diğerleri, 2012). Çalışmamızda maksillaya okluzal düzleme paralel yönlü bir kuvvet ile geri hareket verilmesi dolayısıyla paralel setback prosedürü amaçlanmıştır.

Ortognatik cerrahi pratiğinde ve literatürde total maksiller *setback* miktarları ile ilgili farklı rakamlar telaffuz edilmekte ve bu hareketin limitleri konusunda herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Posterior maksilla üzerinde yapılacak kemik redüksiyonu sonrasında tüm maksillanın çıkarılan parçanın horizontal büyüklüğü kadar geri hareketi beklenmektedir. Ancak, pterygoid proçeslerin kırıldığı durumda maksillanın mümkün olan *setback* miktarı bilinmezliğini korumaktadır. Çalışmamızda elde edilebilen *setback* limitinin yanısıra bu hareketin üç boyutlu ortamda oluşturacağı diğer etkiler de incelenmiştir.

Proffit ve Sarver (2002), yazdıkları kitap bölümünde maksillanın tümüyle posteriora hareketinin kemik interferansları sebebiyle sınırlandığını ve bunun maksimum 3 – 5 mm olduğunu ifade etmiştir.

Mason ve Schendel (1999), maksillanın 6 mm üzerindeki posterior hareketi, tüber ve pterygoid proçesler üzerinden kemik kaldırılmasını gerektireceği için teknik olarak zor olduğunu bildirmiştir.

Mani (2010) ise kendi kitabında maksillanın Le Fort I osteotomisiyle elde edilen geri hareketinin 1 – 2 mm gibi minimal bir değer olduğunu, daha büyük bir geri hareketin pterygoid proçes ve maksiller tüber redüksiyonuyla mümkün olacağını; bu redüksiyonun ise 5 – 10 mm’lik geri harekete izin verebileceğini açıklamıştır.

Choi ve diğerleri (2013), yaptıkları çalışmada ortalama *setback* miktarının  $3.7 \pm 1.2$  mm olduğunu, 5 mm’ den büyük hareketlerin pterygoid pleksus hasarı ve havayolu obstrüksiyonu riskini artıracığını belirtmiştir.

O'Regan ve Bharadwaj (2007), ortalama 2 mm miktarında maksiller *setback* yapılan iki vaka bildirmiştir. Diğer bir çalışma 1.91 – 3.81 mm aralığında değişen ortalama 2.78 mm miktarında maksiller *setback* yapılan 10 vaka rapor edilmiştir. Bu çalışmada setback hareketinin kontrolünün ilerletme hareketine göre daha zor olduğu ancak, doğru cerrahi planlama ile total maksiller *setback* işleminin de oldukça tutarlı olduğunu bildirmiştir (Choi ve diğerleri, 2009).

Lee ve diğerleri (2012), TMSO uygulanan 15 hastada ortalama 3.63 mm iskeletsel maksiller *setback* saptadıklarını bildirmiştir.

Baek ve diğerleri (2009), 20 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada farklı referans noktalarına göre izlenen rotasyonel *setback* miktarlarını ölçmüşlerdir. Buna göre iskelet referans noktaları olan A noktasında 5.5 mm, PNS'de ise 4 mm' ye varan miktarda, dental referans noktalarında ise maksimum 8 mm değerinde *setback* elde edildiği görülmüştür.

Ueki ve diğerlerinin (2009) yaptıkları CT ölçümlerinde pterygomaksiller ayrılma sonucu lateral pterygoid proçesin ortalama 2.8 mm, medial pterygoid proçesin ise ortalama 2.1 mm posteriora yer değiştirdiği görülmüştür.

Çalışmamızda yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre üst kuvvet uygulama yönünde maksimum 8 mm'lik bir geri hareketin mümkün olduğu görülmektedir. Bu sonuç Baek ve arkadaşlarının gözlemlediği en yüksek *setback* miktarı ile benzerlik göstermektedir. Kuvvet yönü orta ve alt olan analizlerde ise maksilla en fazla 3 mm'lik bir geri hareket yapabilmektedir. *Setback* hareketinin limitleri düşünüldüğünde bulunan sonuçların yapılan çalışmaları destekleyecek şekilde paralellik gösterdiği görülmektedir (Choi ve diğerleri, 2013; Lee ve diğerleri, 2012; Proffit ve Sarver, 2002; Ueki ve diğerleri, 2009). Yapılan araştırmalarda ölçülen değişik değerlerin alınan farklı iskeletsel ve dental referans noktalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Üst yönlü kuvvet uygulamasında L1 referans noktası 7 ve 8 mm'lik *setback* sonucunda üç boyutlu olarak 10.5 mm yer değiştirme yapmıştır. Bu değer, *setback*

hareketi esnasında maksillanın diğer eksenlerde oluşan hareketlerinin de yüksek rakamlara ulaşabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda maksillanın geri hareketlendirme sırasında aynı zamanda diğer eksenler üzerinde de hareket etme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Üst yönlü kuvvet uygulamasında meydana gelen saat yönü rotasyonu ile posterior maksilla aşağıya yönlenererek vertikal eksen üzerinde deplasmana uğramıştır. 2 ve 3 mm'lik setback koşulunda oluşan vertikal deplasman değerleri 2D ölçümün gösterdiği şekilde 1 mm'yi geçmemiştir. 7 mm geri hareketlendirme koşulunda ise 2D ölçüm 1.6 mm aşağı yönlü vertikal deplasman gösterirken, bu değer; 8 mm hareket koşulunda 6.1 mm'ye yükselerek ciddi bir artış göstermiştir. Alt ve orta yönlü kuvvet uygulaması sonucunda ise maksillanın saat yönünün tersi rotasyonu sonucunda anterior maksilla aşağıya hareket eğilimi göstermiştir. Bu eğilim sonucuna göre orta yönlü kuvvet uygulamasında L2 değerleri 2D ölçümlerde 1 mm'yi geçmeyen minimal bir vertikal deplasman gösterirken, L1 değeri 0.1 mm'den 3 mm'ye doğru belirgin bir artış göstermiştir. Alt yönlü kuvvet uygulamasında ise L1 değerinin 0.9 mm'den 5.1 mm'ye yükselmesi bu koşulda anterior maksillanın orta kuvvet koşuluna göre daha fazla vertikal rotasyon yaptığına işaretir.

Transvers ekseninde gözlenen maksilla hareketleri en fazla oranda üst yönlü kuvvet uygulaması sonucunda saptanmıştır. 3 mm geri hareket koşulunda 3D ölçüm L1 noktasında 5.2 mm değerinde deplasman gösterirken, 7 mm koşulunda görülen deplasman 10.5 mm değerini bularak yaklaşık olarak iki katına çıkmaktadır. Bu durum maksillanın üst kuvvet uygulaması esnasında transvers ekseninde mediale doğru belirgin bir hareket eğilimi olduğunu açıklamaktadır. Bu hareket eğilimi orta yönlü kuvvet uygulaması incelendiğinde 2 mm geri hareket koşulunda tekrar ön plana çıkmaktadır. Bu bulgu ise; L1 değerinin 2D ölçümde 0.1 mm iken, 3D ölçümde 2.4 mm değerini almasına dayanmaktadır. Benzer şekilde alt kuvvet yönü uygulamasında 2 mm'lik geri hareket koşulunda L1 değeri 3D ölçümde daha yüksek bulunarak maksillanın transvers hareketine işaret etmektedir. Farklı olarak 3 mm'lik geri hareket koşulunda ise L1 değeri hem 2D hem de 3D ölçümlerde 5.1 mm'lik aynı değeri alarak maksillanın transvers hareket yapmadığını, sadece vertikal olarak aşağıya rotasyon yaptığını göstermektedir.

L2 referans noktasına ait tüm kuvvet yönlerinde ölçülen 2 ve 3 boyutlu deplasman değerleri birbiriyle yakınlık göstermektedir. Bu farkın az olması maksillanın geri hareket sırasında bu noktada transvers eksen üzerinde oldukça az bir yer değiştirme yaptığı anlamına gelmektedir.

Hem üç boyutlu hem de iki boyutlu ölçümler değerlendirildiğinde oluşan bu farklı hareket eğiliminin *setback* tekniği ile elde edilmesi hedeflenen tedavi sonuçlarında sapmaya yol açabileceği ve aynı zamanda maksillanın geri hareket sonrasında kazandığı yeni konumundaki stabilitesinin de etkilenebileceği düşünülmektedir.



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının sınırları dahilinde aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır:

1. Maksilla uygulanan kuvvetler sonucunda en fazla 8 mm posterior deplasman göstermektedir. Bu sonuç kuvvet uygulama yönlerinden sadece üst yönlü koşulda gözlenmiştir. Diğer iki yön koşulunda ise maksilla maksimum 3 mm geri hareket göstermiştir. Genel olarak maksillanın her koşulda 3 mm setback yapabileceği bulunmuştur.
2. Üst kuvvet koşulunda elde edilen 7 ve 8 mm'lik geri hareket durumlarında maksilla vertikal ve transvers yönlerde de hareket yapmıştır. Vertikal hareket özellikle 8 mm koşulunda posterior maksillanın belirgin aşağı rotasyonu şeklinde gözlenmiştir. Transvers hareket ise 7 ve 8 mm'lik geri hareketin her ikisinde de 10.5 mm'lik oldukça yüksek bir değerde ortaya çıkmıştır. Diğer eksenlerde oluşan bu farklı hareketlerin setback tekniğinde elde edilmesi planlanan maksilla konumunu saptırmaya yönelik eğilim göstereceğinden tedavi sonucu ve stabilitesi üzerinde olumsuz etki yaratacağı düşünülmektedir. 7 ve 8 mm'lik setback hareketinin mümkün olduğu ancak hedeflenen tedaviyi olumsuz etkileyebileceği sebebiyle tercih edilmemesi önerilebilir.
3. Maksillaya verilen geri hareketin miktarı arttıkça uygulanan kuvvet yönüne göre maksilla, saat yönüne veya saat yönünün tersine olacak şekilde vertikal eksen üzerinde rotasyonel bir hareket karakteri kazandığı bulunmuştur.
4. 3 mm'lik geri hareketlendirme sonucunda maksilla her ne kadar vertikal eksende az miktarda hareket etmiş olsa da bu hareket 1 mm değerine ulaşamamıştır. Bu koşulda 3D ölçüm değerlerinin yükselmesine yol açan transvers hareket ön plana çıkmaktadır. Maksillanın transvers yöndeki medial deplasmanının özellikle üst kuvvet yönlü 3 mm geri hareket koşulunda en yüksek olduğu bulunmuştur. Maksillanın 3 mm'lik geri

deplasmanında vertikal rotasyondan ziyade medial veya laterale deplasman eğilimi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Maksillanın 2 mm'lik geri deplasmanı sonucunda vertikal ve transvers eksenlerde görülen hareket oldukça minimaldir. Bu ölçümlere göre maksilla en saf setback hareketini bu koşulda yapmaktadır. Total maksiller setback hareketinin ortognatik tedavideki yeri düşünüldüğünde tüm kuvvet yönü koşullarında en güvenilir sonucu veren hareketin 2 mm geri hareketlendirme olduğu sonucuna varılabilir.

Maksillanın tümüyle posterior hareketi konusunda literatürde farklı görüşler bulunmakla birlikte maksillanın herhangi bir redüksiyon olmaksızın setback hareketinin mümkün olduğu bu çalışmayla desteklenmiştir. Bu konuda oldukça sınırlı sayıda çalışma olduğundan görüş birliğine varılması güçleşmiştir. Maksillanın posterior hareketlerinin avantaj ve dezavantajlarının görülmesi ve ortognatik tedavideki etkinliğinin tespit edilmesi amacıyla daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel, Ö., (2010). Sonlu elemanlar analizi: derleme, bölüm 1: Dişhekimliğinde kullanım alanları, temel kavramlar ve eleman tanımları. *Dicle Dişhekimliği Dergisi*, 11(1), 18-23.
- Alcalde R. E., Bloomquist D. S. ve Joondeph D. (2012). Maxillary Deficiency: Transverse Plane Discrepancies. S. C. Bagheri, R. B. Bell ve H. A. Khan (Ed.). *Current Therapy in Oral and Maxillofacial Surgery* (s. 640-9). ABD: Saunders
- Ataç, M.S., Erkmen, E., Yücel, E. ve Kurt, A., (2008). Comparison of biomechanical behaviour of maxilla following Le Fort I osteotomy with 2- versus 4-plate fixation using 3D FEA Part 1: Advancement surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 37: 1117-1124.
- Ayalı A. (2012). *Mandibular Angulus Bölgesi Favorable ve Unfavorable Fraktürlerinde Uygulanan Farklı Fiksasyon Metotlarının Biyomekanik Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi ile İncelenmesi*. Doktora Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, KKTC
- Aydınatay B. S. (Mart 2007) *Ortognatik Tedavi* [Bildiri]. Ortodonti Seminerleri, Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi.
- Ayoub A. F., Stirrups D. R. ve Moos K. F. (1993). Evaluation of changes following advancement genioplasty using finite element analysis. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 31(4), 217-22.
- Ayoub A. F., Stirrups D. R. ve Moos K. F. (1994). A comparison of wire osteosynthesis and screw fixation in the stability of bimaxillary osteotomies. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 9(4), 257-72.
- Baek S. H., Kim K. ve Choi J. Y. (2009). Evaluation of treatment modality for skeletal Class III malocclusion with labioversed upper incisors and/or

protrusive maxilla: surgical movement and stability of rotational maxillary setback procedure. *Journal of Craniofacial Surgery*, 20(6), 2049-54.

Bang S. M., Kwon Y. D., Kim S. J., Lee B. S., Choi B. J., Ohe J. Y. ve diğeri. (2012). Postoperative stability of 2-jaw surgery with clockwise rotation of the occlusal plane. *Journal of Craniofacial Surgery*, 23(2), 486-90.

Betts N. J. ve Ziccardi V. B. (2000). Surgically Assisted Maxillary Expansion. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 211-29) ABD: Saunders.

Borcic J. ve Braut A. (2012). Finite element Analysis in dental medicine. F. Ebrahimi (Ed.) *Finite element analysis: New trends and developments* (s. 3-17). Hırvatistan: InTech.

Boryor A., Geiger M., Hohmann A., Wunderlich A., Sander C., Martin S. F. ve diğeri (2008). Stress distribution and displacement analysis during an intermaxillary disjunction--a three-dimensional FEM study of a human skull. *Journal of Biomechanics*, 41(2), 376-82.

Brinker M. R. ve O'Connor D. Kemik. (2006). Miller M (Ed.) *Miller'in Ortopedi Kitabı*. (H. Yetkin ve M. Yazıcı, Çev.). Ankara: Nobel Tıp Kitabevi.

Caputo A. A. ve Standlee J. P. (1987). *Biomechanics in Clinical Dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing.

Cheung L. K., Fung S. C., Li T. ve Samman N. (1998). Posterior maxillary anatomy: implications for Le Fort I osteotomy. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 27(5), 346-51.

Choi B. K., Yang E. J., Oh K. S. ve Lo L. J. (2013). Assessment of blood loss and need for transfusion during bimaxillary surgery with or without maxillary setback. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 71(2), 358-65.

Choi J. Y., Choi J.P. ve Baek S. H. (2009). Surgical accuracy of maxillary repositioning according to type of surgical movement in two-jaw surgery. *The*

*Angle Orthodontist*, 79(2), 306-11.

- Chu Y. M., Bergeron L. ve Chen Y. R. (2009). Bimaxillary protrusion: an overview of the surgical-orthodontic treatment. *Seminars in Plastic Surgery*, 23(1), 32-9.
- Chu Y. M., Po-Hsun C. R., Morris D. E., Wen-Ching K. E., Chen Y. R. (2007). Surgical approach to the patient with bimaxillary protrusion. *Clinics in Plastic Surgery*, 34(3), 535-46.
- Cortese A. (2012). Le Fort I Osteotomy for Maxillary Repositioning and Distraction Techniques. J. P. Waddell (Ed.). *The Role of Osteotomy in the Correction of Congenital and Acquired Disorders of the Skeleton*. (s. 23-53). Hırvatistan: InTech.
- Craig R. G. (2002). *Restorative Dental Materials* (11. bs.) Toronto: Mosby
- Çırpar M., Korkusuz F. ve Korkusuz P. (2009). Kemiğin Yapısı ve Fiziksel Özellikleri. İ. D. Akçalı, M. Gülşen ve K. Ün (Ed.). *Kas İskelet Sistemi Biyomekaniği* (s. 227-47) Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Dolanmaz D., Esen A., Emlik D., Candirli C., Kalayci A. ve Çiçekcibaşı A. (2008). Comparison of two different approaches to the pterygomaxillary junction in Le Fort I osteotomy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, And Endodontics*, 106(3), 1-5.
- Ergene N. (2002). Kalsiyum Metabolizmasının Hormonal Kontrolü ve Kemik Fizyolojisi. W. F. Ganong (Ed.) *Tıbbi Fizyoloji* (20. Bs.) (s. 369-74) İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi.
- Erkmen E., Şimşek B., Yücel E., ve Kurt A., (2005a). Three-dimensional finite element analysis used to compare methods of fixation after sagittal split ramus osteotomy: setback surgery-posterior loading. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43, 97-104.
- Erkmen, E., Şimşek, B., Yücel, E. ve Kurt, A., (2005b). Comparison of different

fixation methods following sagital split osteotomies using three-dimensional finite elements analysis Part 1: advancement surgery-posterior loading. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34, 551-558.

Erkmen, E., Ataç, M.S., Yücel, E. ve Kurt, A., (2009). Comparison of biomechanical behaviour of maxilla following Le Fort I osteotomy with 2- versus 4-plate fixation using 3D FEA Part 3: Inferior and anterior repositioning surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 38, 173-179.

Eroschenko V. P. (2008). *DiFiore's Atlas of Histology*. (11. bs.). ABD: Lippincott Williams & Wilkins.

Ertürk T. (2008) *Anterior dişlerin mikroimplant desteği ile intrüze edilerek retrakte edilmesi sırasında meydana gelen değişikliklerin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Forssell H., Finne K., Forssell K., Panula K. ve Blinnikka LM (1998). Expectations And Perceptions Regarding Treatment: A Prospective Study Of Patients Undergoing Orthognathic Surgery. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 13(2), 107-13.

Franklin F. E. (1998). Stress Analysis. M. Kutz (Ed.). *Mechanical Engineers' Handbook*. (s. 191-245). ABD: Wiley Publishing.

Frost D. E. (1999) Orthognathic Surgical Techniques. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1273-93). ABD: Churchill Livingstone.

Garg A. K. (2004). *Bone Biology, Harvesting, Grafting For Dental Implants, Rationale And Clinical Applications*. (1. bs.). Illinois: Quintessence Publishing.

Gautam P., Valiathan A. ve Adhikari R. (2007). Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element

method study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(1), 1-11.

Gautam P., Valiathan A. ve Adhikari R. (2009). Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(4), 507-15.

Genç F. (2008). *Le Fort I osteotomisini takiben oluşan işitsel değişiklikler*. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Geng J. P., Tan K. B. ve Liu G. R. (2001). Application Of Finite Element Analysis İn İmplant Dentistry: A Review Of The Literature. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 85, 585-598.

Gülay G. (2010). Farklı destek ve konnektor tasarımlarının üç üyeli posterior zirkonyum köprüler üzerindeki stres etkisinin üç boyutlu sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Gümüş H. Ö. (2007). *Üç Farklı Dental İmplant Yiv Tasarımının ve İki Farklı Dental İmplant Çapının Değişik Yoğunluktaki Kemik Üzerinde Oluşturdukları Gerilmelerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Gerilme Analiz Yöntemi İle Karşılaştırılması*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Güngör M. A., Dünder M. ve Artunç C. (2005) Dişhekimliğinde Gerilme Analiz Yöntemleri. *Ege Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi*, 26, 107-116.

Han U. A., Kim Y. ve Park J. U. (2009). Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion. *Journal of Cranio-maxillofacial Surgery*. 37(3), 145-54.

Hancı M., Bozdağ E. ve Arpacı A. (2000). *Biyomekanik* (s 10-55). İstanbul: Logos Yayıncılık.

Harris M. ve Hunt N. (2009) *Ortognatik Cerrahinin Temelleri* (A. Apaydın, Çev.).

İstanbul: İstanbul Medikal Yayıncılık.

- Hausamen J. E. (2001) The scientific development of maxillofacial surgery in the 20th century and an outlook into the future. *Journal of Cranio-maxillofacial Surgery*, 29, 2-21.
- Hill C. M. ve Thomas D. W. (2007). Surgical aids to orthodontics and surgery for dentofacial deformity. In: Pedlar J, Frame LW; *Oral and Maxillofacial Surgery an objective-based textbook* (s. 166-179). Churchill-Livingstone, China, 2007
- Hughes T. J. R. (1987) *The Finite Element Method*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hwang K., Lee D. K., Chung I. H. ve Lee S. I. (2001). Le Fort I osteotomy with sparing fracture of lateral pterygoid plate. *Journal and Craniofacial Surgery*. 12(1), 48-52.
- Jafari A., Shetty K. S. ve Kumar M. (2003). Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces--a three-dimensional FEM study. *The Angle Orthodontist*, 73(1), 12-20.
- Jee W. S. (2001). Integrated Bone Tissue Physiology. S. C. Cowin (Ed.). *Bone Mechanics Handbook* (2. bs.)(s. 3-33). Florida: CRC Press.
- Johns F. R., Johnson P. C., Buckley M. J., Braun T. W. ve Close J. M. (1997). Changes in facial movement after maxillary osteotomies. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(10), 1044-8.
- Kerr J. B. (2010). *Functional Histology* (2. bs.) Sydney: Mosby.
- Krekmanov L., Lilja J. ve Ringqvist M. (1990). Posterior repositioning of the entire maxilla without postoperative intermaxillary fixation. A clinical and cephalometric study. *Scandinavian Journal Of Plastic And Reconstructive Surgery And Hand Surgery*, 24(1), 53-9.



- Lanigan D. T., Hey J. H. ve West R. A. (1990). Major vascular complications of orthognathic surgery: hemorrhage associated with Le Fort I osteotomies. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 48(6), 561-73.
- Lee J. Y., Kim Y. I., Hwang D. S, Park S. B. (2012). Effect of setback Le Fort I osteotomy on midfacial soft-tissue changes as evaluated by cone-beam computed tomography superimposition for cases of skeletal Class III malocclusion. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. Erişim: 13 Kasım 2012, ScienceDirect.
- Lee J. Y., Kim Y. I., Hwang D. S. ve Park S. B. (2013). Effect of Maxillary Setback Movement on Upper Airway in Patients With Class III Skeletal Deformities: Cone Beam Computed Tomographic Evaluation. *Journal of Craniofacial Surgery*, 24(2), 387-91.
- Mahler D. B. ve Peyton FA. (1955). Photoelasticity as a research technique for analyzing stresses in dental structures. *Journal of Dental Research*, 34, 831-838.
- Mani V. (2010). *Surgical correction of facial deformities*. Yeni Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.
- Martin J. M. ve Rodan A.G. (2001). Coupling of bone resorption and formation during bone remodeling. R. Marcus, D. D. Feldman ve J. Kelsey (Ed.). *Osteoporosis* (s. 189). San Diego: Academic Press.
- Martin R. B., Burr D. B. ve Sharkey N. A. (1998). *Skeletal Tissue Mechanics*. New York: Springer.
- Martis C., Martis K. ve Papadogeorgakis N. (1991). A modified anterior maxillary osteotomy: 15 years experience. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 29(3), 213-4.
- Mason M. E. ve Schendel S. A. (1999) Revision Orthognathic Surgery. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1321-33). ABD: Churchill Livingstone.

- McNeill C. (1997) *Science and practice of occlusion*. Hong Kong: Quintessence Publishing.
- Moaveni, S. (2003) *Finite Element Analysis: Theory and Application with Ansys*. New Jersey: Prentice Hall.
- Moore U. J. (2011). *Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* (6. bs.). İngiltere: Blackwell Publishing Ltd.
- Moos K. F. ve Ayoub A. F. (2010). The Surgical Correction Of Dentofacial Deformities, Past, Present And Future. *Egyptian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 1, 2-6.
- Moos K. F. ve Koppel D.A. (2000). High-Level Midface Osteotomy Surgery. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 281-94) ABD: Saunders.
- Moratal D. (2012). *Finite Element Analysis – From Biomedical Applications to Industrial Developments* (s. 2-19). Hırvatistan: InTech.
- Motoyoshi M., Yamamura S., Nakajima A., Yoshizumi A., Umemura Y. ve Namura S. (1992). Finite element model of facial soft tissue: Deformation following surgical correction. *Journal of Nihon University School of Dentistry*, 34(2), 111-22.
- Nagasao T., Miyamoto J., Hikosaka M., Nagasao M., Tokumaru Y., Ogawa K. ve diğerleri (2007). Appropriate diameter for screws to fix the maxilla following Le Fort I osteotomy: an investigation utilizing finite element analysis. *Journal of Cranio-maxillofacial Surgery*, 35(4-5), 227-33.
- Norton N. S. (2012). *Netter's Head and Neck Anatomy for Dentistry* (2. bs.). Philadelphia: Saunders.
- O' Brien W. J. (1997) *Dental Materials and Their Selection*. Tokyo: Quintessence Publishing.

- Obeid G. (2011). Orthognathic Surgery – Maxilla (Le Fort I, II And III). J. Langdon, M. Patel, R. Ord ve P. Brennan (Ed.). *Operative Oral and Maxillofacial Surgery* (2. bs.)(s. 649-58) İtalya: Hodder & Stoughton Limited.
- O'Regan B. ve Bharadwaj G. (2006). Pterygomaxillary separation in Le Fort I osteotomy UK OMFS consultant questionnaire survey. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 44(1), 20-3.
- O'Regan B. ve Bharadwaj G. (2007). Prospective study of the incidence of serious posterior maxillary haemorrhage during a tuberosity osteotomy in low level Le Fort I operations. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(7), 538-42.
- Perciaccante V. J. (2012) Maxillary Deficiency: Le Fort I Osteotomy. S. C. Bagheri, R. B. Bell ve H. A. Khan (Ed.). *Current Therapy in Oral and Maxillofacial Surgery* (s. 640-9). ABD: Saunders.
- Perciaccante V. J. ve Bays R. A. (2004). Maxillary orthognathic surgery. M. Miloro (Ed.). *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* (2. bs.)(s. 288-309) Kanada: BC Decker Inc.
- Precious D. S., Goodday R. H., Bourget L. ve Skulsky F. G. (1993). Pterygoid plate fracture in Le Fort I osteotomy with and without pterygoid chisel: a computed tomography scan evaluation of 58 patients. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 51(2), 151-3.
- Proffit W. R. ve Sarver D. M. (2002). Treatment Planning: Optimizing Benefit to the Patient. W. R. Proffit, R. P. White ve D. M. Sarver (Ed.). *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity* (s. 182-200) ABD: Mosby.
- Proffit W. R. ve White R. P. (2002). Dentofacial Problems: Prevalence and Treatment Need. W. R. Proffit, R. P. White ve D. M. Sarver (Ed.). *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity* (s. 2-27) ABD: Mosby.
- Putz R. ve Pabst R. (2006). *Sobotta Atlas of Human Anatomy Volume 1* (14. bs.). Münih: Elsevier.

- Renick B. M. ve Symington J. M. (1991). Postoperative computed tomography study of pterygomaxillary separation during the Le Fort I osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(10), 1061-5.
- Reyneke J. P. (2003) *Essentials of Orthognathic Surgery*. Çin: Quintessence Publishing Co.
- Reyneke J. P. ve Ferretti C. (2010). Diagnosis and Treatment Planning for Orthognathic Surgery. L. Andersson , K. E. Kahnberg ve M. A. Pogrel (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery* (s. 973-1012). Singapur: Blackwell Publishing.
- Richardson D. ve Pospisil O. A. (1999) Avoiding Surgical Complications in Orthognathic Surgery. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1307-20). ABD: Churchill Livingstone.
- Robinson P. P. ve Hendy C. W. (1986). Pterygoid plate fractures caused by the Le Fort I osteotomy. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 24(3), 198-202.
- Robinson R. C. ve Holm R. L. (2010) Orthognathic surgery for patients with maxillofacial deformities. *AORN J*, 92, 28-49.
- Rosenquist B. (1993). Anterior segmental maxillary osteotomy. A 24-month follow-up. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 22(4), 210-3.
- Sancak B. ve Cumhuri M. (1999). *Fonksiyonel Anatomi, Baş – Boyun ve İç Organlar*. Ankara: METU Press.
- Schouman T., Baralle M. M. ve Ferri J. (2010). Facial morphology changes after total maxillary setback osteotomy. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(7), 1504-11.
- Shanker S. ve Vig K. W. L. (2000). Orthodontic Preparation for Orthognathic Surgery. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 82-96) ABD: Saunders.

- Silverstein K. ve Quinn P. D. (1997). Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 55(7), 725-729
- Sonugelen M. ve Artunç C. (2002). *Ağız Protezleri ve Biyomekanik* (1. bs.) İzmir: Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Yayınları.
- Spalding P. M. (2004). Craniofacial Growth and Development: Current Understanding and Clinical Considerations. M. Miloro (Ed.). *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* (2. bs.)(s. 1051-80) Kanada: BC Decker Inc.
- Stearns J. W., Fonseca R. J., Saker M. (2000). Revascularization and healing of orthognathic surgical procedures. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 151-66) ABD: Saunders.
- Şakul U. ve Bilecenoğlu B. (2009). *Baş ve Boynun Klinik Bölgesel Anatomisi*. Ankara: Özkan Matbaacılık.
- Şeker E. (2011). *Greftlenmiş ve greftlenmemiş posterior maksillada uygulanan implant destekli farklı tasarımlı sabit protezlerin destek dokulardaki etkilerinin üç boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemi ile incelenmesi*. Doktora Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi, KKTC.
- Tortora G. J. ve Derrickson B. (2012). *Principles of Anatomy and Physiology* (13. bs.) ABD: John Wiley & Sons Inc.
- Tucker M. R., Farrell B. B. ve Farrell BC (2008). Correction of Dentofacial Deformities. J. R. Hupp, Ellis III ve M. R. Tucker (Ed.) *Contemporary Oral and Maxillofacial Surgery* (s. 521- 568). Çin: Mosby.
- Tucker M. R., Schardt-Sacco D. S. ve White R. P. (2002) Principles of Surgical Management of Dentofacial Deformity. W. R. Proffit, R. P. White ve D. M. Sarver (Ed.). *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity* (s. 270-85) ABD: Mosby.

- Tuna F. K. (2010). *Farklı destek ve gövde boyutlarındaki kantilever köprülerde fonksiyonel streslerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Turvey T. A. ve Schardt-Sacco D. (2000). Le Fort I osteotomy. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 232-47) ABD: Saunders.
- Turvey T. A. ve White R. P. (2002). Maxillary Surgery. W. R. Proffit, R. P. White ve D. M. Sarver (Ed.). *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity* (s. 288-99) ABD: Mosby.
- Uçkan S., Veziroğlu F., Soydan S. S. ve Uçkan E. (2009). Comparison of stability of resorbable and titanium fixation systems by finite element analysis after maxillary advancement surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 20(3):775-9.
- Ueki K., Hashiba Y., Marukawa K., Okabe K., Alam S., Nakagawa K. ve diğerleri (2009). Assessment of pterygomaxillary separation in Le Fort I Osteotomy in class III patients. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(4), 833-9.
- Ueki K., Nakagawa K., Marukawa K. ve Yamamoto E. (2004). Le Fort I osteotomy using an ultrasonic bone curette to fracture the pterygoid plates. *Journal of Cranio-maxillofacial Surgery*, 32(6), 381-6.
- Ulusoy M. ve Aydın A. K. (2010). *Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protezler*. Cilt I. (3. bs). Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi.
- Üstün Ö. (2008). *Laminate veneerlerde termal ve yükleme kuvvetlerinin oluşturduğu stres dağılımının üç boyutlu sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi*. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Van Sickels J. E. (1999) Stability in Orthognathic Surgery. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1297-1305). ABD: Churchill Livingstone.

- Vanarsdall R. L., Barber H. D., Higgins-Barber K. ve Fonseca R. J. (1995). Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency; *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 10(2), 75-96
- Veli İ. (2012). *Üst Kanin Distalizasyonunda Oluşan Değişikliklerin Sonlu Elemanlar Analizi ile incelenmesi*. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Ward J. L., Garri J. I. ve Wolfe S. A. (2007). Posterior movements of the maxilla. *Journal of Craniofacial Surgery*, 18(4), 882-6.
- Weinstein S. L. ve Buckwalter J. A. (2005). *Türk Ortopedi İlkeler ve Uygulamaları* (M. Alpaslan, Çev). İstanbul: Güneş Tıp Kitabevi (2009).
- Wilson M. W., Maheshwari P., Stokes K., Wheatley M. J., McLoughlin S., Talbot M. ve diğerleri (2000). Secondary fractures of Le Fort I osteotomy. *Ophthalmic Plastic And Reconstructive Surgery*, 16(4), 258-70.
- Winchester L. J. ve Young D. R. (1999). Orthodontic Role in Planning – Clinical Aspects. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1259-1270). ABD: Churchill Livingstone.
- Wolfe S. A., Hu L. ve Berkowitz S. (1997). In search of the harmonious face: Apollo revisited, with an examination of the indications for retrograde maxillary displacement. *Plastic and reconstructive surgery*, 99(5), 1261-71.
- Wolford L. M. ve Fields R. T. (1999). Surgical Planning. P. W. Booth, S. A. Schendel ve J. E. Hausamen (Ed.). *Maxillofacial Surgery* (s. 1205–55). ABD: Churchill Livingstone.
- Wolford L. M. ve Fields R. T. (2000). Diagnosis and Treatment Planning for Orthognathic Surgery. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 24-54) ABD: Saunders.
- Wolford L. M., Stevao E. L., Alexander C. M. ve Goncalves J. R. (2004). Orthodontics for orthognathic surgery. M. Miloro (Ed.). *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* (2. bs.)(s. 1112-34) Kanada: BC Decker

Inc.

Woods M., Wiesenfeld D. ve Probert T. (1997). Surgically-assisted maxillary expansion. *Australian Dental Journal*, 42(1) 38-42.

Yaman S. D. (1995). Sonlu elemanlar yöntemi ve dişhekimliğindeki uygulamalar. *Atatürk Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi*, 5, 87-96

Yu H. S., Baik H. S., Sung S. J., Kim K. D. ve Cho Y. S. (2007). Three-dimensional finite-element analysis of maxillary protraction with and without rapid palatal expansion. *European Journal of Orthodontics*, 29(2), 118-25.

Yüzbaşıoğlu H. E. (2006). *İmplantüstü sabit protezlerde kullanılan seramik implant dayanaklarının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi*. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.

Ziccardi V. B. ve Wilk R. (2000). Anterior and Posterior Maxillary Segmental Osteotomies. R. J. Fonseca, N. J. Betts ve T. A. Turvey (Ed.). *Oral and Maxillofacial Surgery; Orthognathic Surgery* (s. 249-58) ABD: Saunders.