

MİNİ VİDA YERLEŞTİRİLMİŞ MANBİDULADA KORTİKAL KEMİK KALINLIĞINA BAĞLI OLARAK GERİLMELERİN İNCELENMESİ

Fatih Medetalibeyoğlu¹, İrfan Kaymaz², İsmail Hakkı Korkmaz³, İlhan Metin Dağsuyu⁴, Nesimi Akpınar⁵

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye. falibeyoglu@gmail.com

²Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye. ikaymaz@atauni.edu.tr

³Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Ağrı, Türkiye. ihk_erb@hotmail.com

⁴Dış Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye. intraso@yahoo.com

⁵Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye. nesimi.akpinar@gmail.com

ÖZET

Amaç: Alt çenenin küçük olması şeklinde ortaya çıkan mandibular gelişim yetersizliği cerrahi operasyonlarla mini vida kullanılarak giderilebilmektedir. Mini vida kullanımında kemik yapısı ve mini vida konumu önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada sonlu elemanlar programı vasıtasıyla bu etkiler incelenmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada mandibular gelişim yetersizliği görülen hastanın bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinden yola çıkılarak ameliyat öncesi, hastaya özel üç boyutlu (3B) kemik modelleri elde edilmiştir. Kemikğin tek katman olarak modellendiği yaklaşımların aksine hastaya özel verilerle kullanılarak kemik kortikal ve trabeküler olmak üzere iki katmana ayrıldı. Farklı kalınlıklarda kortikal kemiklere 3 farklı pozisyonda mini vida yerleştirildi. Böylece kortikal kemik kalınlıklarının gerilme dağılımı üzerindeki etkisi incelendi.

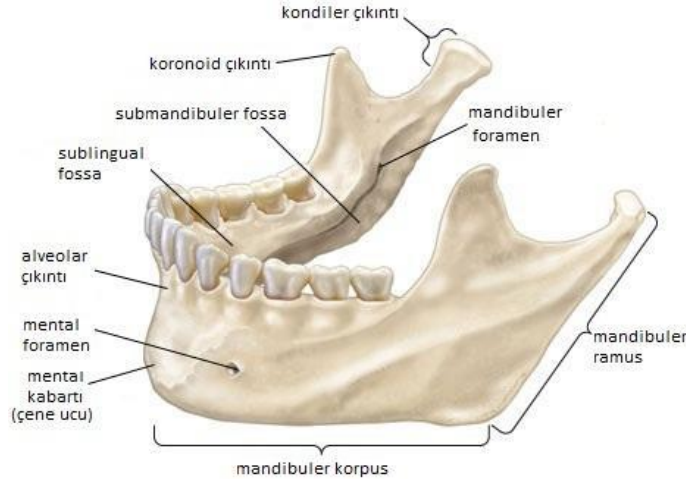
Bulgular: Yapılan analizler sonucunda, hastaya özel elde edilen mandibula modelinde kortikal kalınlığı dikkate alınarak mini vidanın hangi pozisyonda yerleştirileceği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, mini vidaya etki eden kuvvetler altında davranışı ameliyat öncesi belirlenerek ilgili hekime yardımcı bilgiler elde edilebilmektedir.

Sonuçlar: Yük altında kemikte ve mini vidada oluşan yüksek gerilmeler kırılmalara ve travmalara neden olabilir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda gerilmelerin güvenilir sınırlar içinde olduğu ve mini vidadaki gerilmelerin kortikal kalınlığı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarlı tomografi, mandibula, 3B tasarım, sonlu elemanlar analizi

1. GİRİŞ

Mandibula (alt çene kemiği), insanların konuşma, ısırma, çiğneme gibi fonksiyonları gerçekleştirmesini sağlayan kemiktir. Şekil 1'de gösterildiği gibi kondil ile kafatası ve kondiler çıkıntıyı birbirine bağlayan diskin alt yüzü arasında menteşe tipi bir hareketi (ginglymus) meydana gelir [Yalçın 2006].

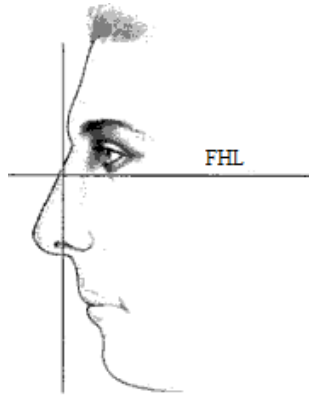


Şekil 1. Mandibula kemiğinin bölümleri [Britanica 2007].

Mandibulanın ya da maksillanın girinti veya çıkıntısının estetik görünümümüze önemli bir etkisi vardır. Bu çalışmada mandibular gelişim yetersizliği görülen bir hastanın verilerinden yola çıkılarak çene modeli oluşturulmuş ve sonlu elemanlar analizi yapılmıştır.

Profil görünüşünden Frankfort yatay çizgisine(FHL) dik bir çizgi çizilir; eğer çene bu dik çizgi gerisinde kalıyorsa mandibular gelişim yetersizliğinden söz edilebilir(Şekil 2). Çene yetersizliğini gidermek için aşağıda belirtilen cerrahi yöntemlerden biri kullanılabilir:

- Biyolojik olmayan implantın yerleştirilmesi;
- Greft koymak suretiyle yatay kesim ile ya da kayıcı (sliding genioplasty) çene operasyonu ile mandibular yetersizlik giderilebilir [Huizing 2003].



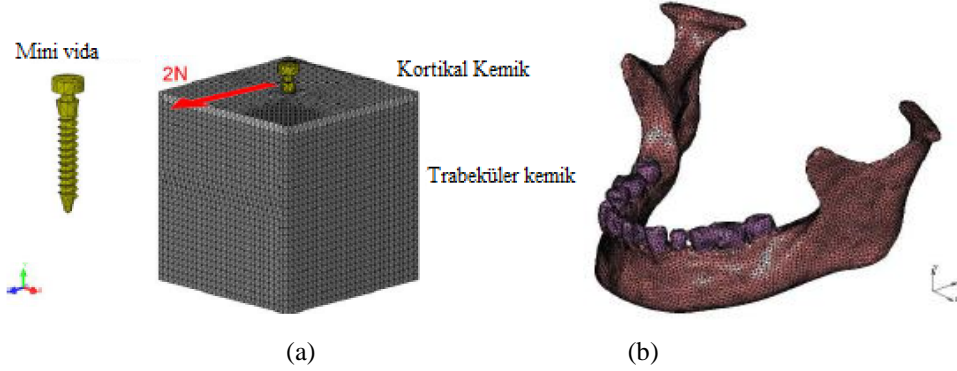
Dikey Çizgi

Şekil 2. Mandibular gelişim yetersizliği[Huizing 2003]

Çene uzayınca kadar geçen süreçte oluşan biyolojik olaylara distraksiyon osteogenez denir. Distraksiyon osteogenez, aşamalı traksiyon tekniği ile birbirinden dereceli olarak ayrılan kemik segmentleri arasında meydana gelen yeni kemik formasyonuna ait biyolojik bir olaydır. Ayrılan kemik segmentleri arasında, distraksiyon kuvveti uygulanması ile bir iyileşme kallusu oluşumu sonucu başlar ve en fazla, doku uzayana kadar devam eder [Keçeli vd 2006]. Mini vida ankraj şeklinde kullanılır ve sabitleme görevi görür.

Motoyoshi ve arkadaşları (2009b) yapmış oldukları çalışmada CAD programı yardımıyla üst kısmının kortikal kemik alt kısmının ise trabeküler kemik olduğunu kabul ettikleri 20 mm'lik bir küp oluşturarak mini vida yerleştirmişlerdir (Şekil 3a). Ulusoy vd. (2008) ise gerilme analizinin yapabilmek için genç bir hastadan 1,25 mm'lik kesit aralığına sahip BT dataları aracılığı ile Pro/Engineer vasıtasıyla kemik modellerini oluşturmuş ve dışta

1,8 mm sabit kortikal kemik kalınlığına sahip iç kısımda ise trabeküler kemiğin olduğu üç boyutlu katı mandibular modeli elde etmişlerdir (Şekil 3b).



Şekil 3.Kortikal ve trabeküler kemik tasarımı (Motoyoshi vd. 2009b)(a), Mandibulanın 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli (Ulusoy vd. 2008)(b).

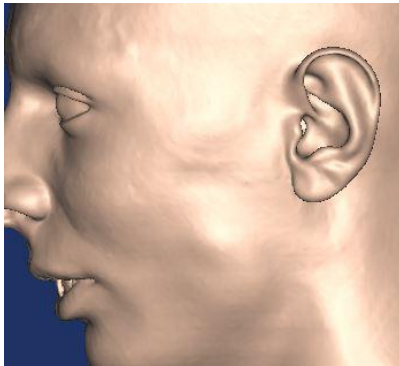
Literatürde birçok çalışmada kemikler herhangi bir CAD programı vasıtasıyla spesifik olmayan kemik blokları şeklinde modellenmiştir. Bu çalışmada ameliyat öncesi hastaya özel veriler yardımıyla kortikal ve trabeküler kemik katmanları oluşturulmuş ve kortikal kemik katmanları değişken kesit kalınlıklarına sahip olacak şekilde modellenmiştir.

Kemikte, mini vidaya uygulanan kuvvet neticesinde meydana gelebilecek yüksek gerilmeler kırılmalara ve travmalara neden olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada mandibula kemiği ve vida meydana gelen gerilmelerin klinik uygulama öncesi belirlenmesi hedeflenmiştir. Mini vidada oluşan gerilmeler, mini vidanın mandibula yerleştirildiği yerdeki kortikal kemik kalınlığı dikkate alınarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL METOD

Alt çenesinin yetersizliğinden dolayı Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti ve Ağız Diş Çene Cerrahisi ABD kliniklerine başvuran 17 yaşındaki hasta M.Ç. ye mandibular gelişim yetersizliği tanısı konulmuş ve alt çenede cerrahi ilerletme operasyonuna karar verilmiştir.

Şekil 4. Hasta M.Ç. ye ait tomografi görüntülerinden oluşturulan 3 boyutlu kafa modeli. 'de M.Ç. nin BT verilerinden elde edilen 3B yüz modelinde çene geriliği açıkça görülmektedir. 2B Bilgisayarlı Tomografi verileri Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji ABD BT ünitesinde bulunan çok kesitli bilgisayarlı tomografi cihazı (Aquillon; Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan) kullanılarak kaydedilmiştir (120 Kv, cm, 1 mm kesit kalınlığı, 0.5 mm rekonstrüksiyon intervali).

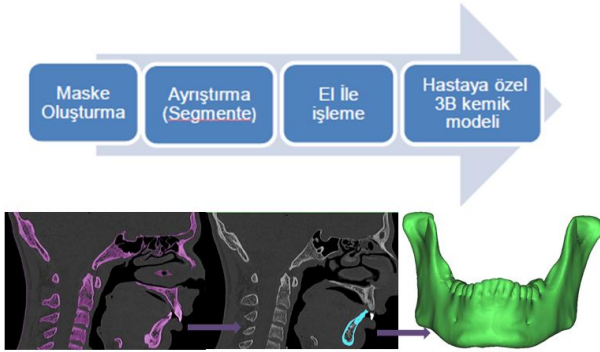


Şekil 4. Hasta M.Ç. ye ait tomografi görüntülerinden oluşturulan 3 boyutlu kafa modeli.

2.1. Hastaya Özel 3 Boyutlu Modelin Elde Edilmesi

Mini vida yerleştirilmesinin planlaması halen klinik kararlar ve 2 boyutlu panoramik filmler ile yapılmaktadır. Görüntünün büyütülmesi ile oluşacak çarpıklıklar, görüntü kirlilikleri ve manyetik yansımalar dijital radyografik görüntü kullanımı ile giderilebilir [Schnelle 2004]. Bu nedenle dijital görüntüler kullanılarak hastaya özel 3B modellerin elde edilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında alınan görüntüler MIMICS (Materialise's Interactive Medical Image Control System) kullanılarak işlenmiş hastaya özel üç boyutlu (3B) çene modeli elde edilmiştir. 3B modeli elde etmek için Şekil 5'de gösterilen adımlar sırasıyla takip edilmiştir.



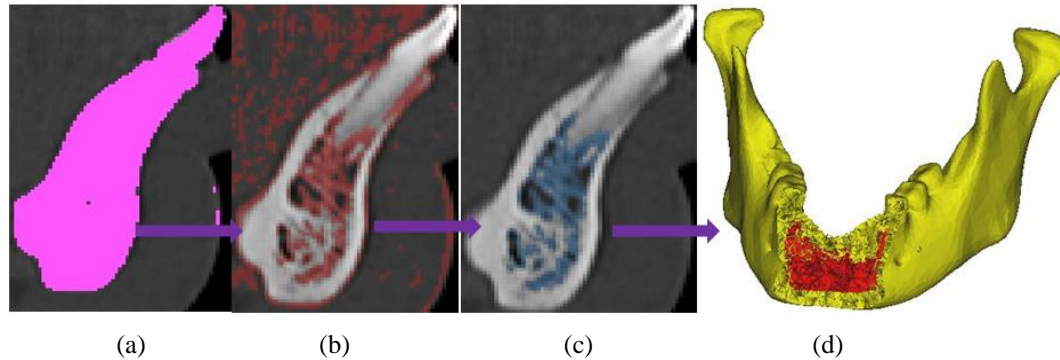
Şekil 5. 3B model oluşturma aşamaları

İstenilen fizyolojik bölgenin görüntüsünü işleyebilmek için, BT görüntü katmanları üzerinde renkli maske oluşturulup, o bölgenin ayrıştırılması (segmente) gerekir. Maske oluşturma işlemi, maske eşikleme (thresholding) komutu kullanılarak yapılır. Belirli HU değerleri aralığında kalan tüm piksellere renk atamasına eşikleme denir. HU değerleri; doku çeşidine veya yetişkinliğine olup olmama durumuna göre farklı limit değerleri ile tanımlanmıştır. Düşük eşikleme değerleri ile yumuşak dokular (bağ, damar vb.), yüksek eşikleme değerleri ile yoğun kemikler (diş, kortikal kemik vb.) maskelenebilir. Çene modeli için dokuları temsil edecek şekilde ilgili uzman hekim ile birlikte belirlenen limit HU değerleri Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Dokuya göre belirlenen limit HU değerleri

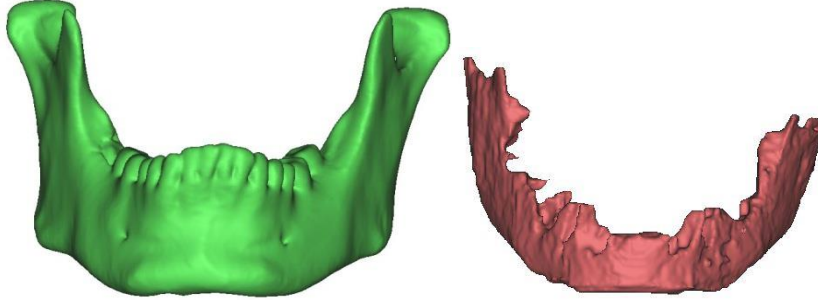
Doku	Alt HU değeri	Üst HU değeri
Çene Kortikal	226	1200
Çene Trabeküler	41	225
Diş	1200	3071

Şekil 6'da gösterilen adımlar takip edilerek kortikal kemikler elde edilmiştir. Trabeküler kemikleri elde etmek için aşağıda adımları verilen farklı bir yöntem izlenmiştir. Böyle bir yöntem izlenmesindeki amaç trabeküler kemiğin HU değerlerinin düşük olmasına bağlı olarak diğer dokulardan ayırt edilebilmesinin zor olmasıdır. Bu yöntemle görüntü segmentasyonu daha kolay bir şekilde yapılmıştır.



Şekil 6. Trabeküler kemik oluşturma aşamaları

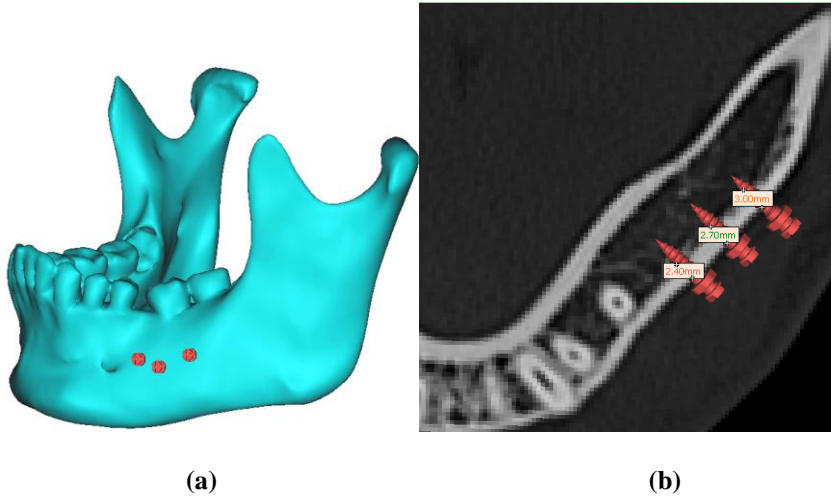
- Oluşturulan kortikal kemik modeli sınırlarını kapsayacak şekilde BT katmanları üzerinde bir kapalı alan oluşturuldu (Bkz.Şekil 6 a).
- Tablo 1’ de gösterilen limit Hounsfield değerleri girilerek yeni bir maske atandı(Bkz.Şekil 6 b).
- Trabeküler kemik için oluşturulan maske ile ilk oluşturulan kapalı alanın kesişim noktaları bulunup yeni bir maske oluşturuldu (Bkz. Şekil 6c).
- Böylece trabeküler kemik de elde edildi(Bkz.Şekil 6 d).



Şekil 7. Hastaya özel olarak elde edilen trabeküler ve kortikal kemik

2.2. Mini Vidanın Yerleştirilmesi Ve Meshleme

Farklı kortikal kemik kalınlıklarının mini vidada gerilme değerlerine olan etkisini inceleyebilmek için Şekil 8(a)’da gösterildiği gibi 3 farklı pozisyonda(2.40, 2.70 ve 3 mm/kortikal kalınlık) mini vida mandibula kemiğine yerleştirilmiştir. Bu 3 vidanın yerleştirildiği kortikal kalınlıkları BT kesiti üzerinde Şekil 8(b)’ de gösterilmiştir.



Şekil 8.Farklı konumlarda mini vida yerleştirilmiş mandibulanın gösterimi (a), kesit görünütüsü (b).

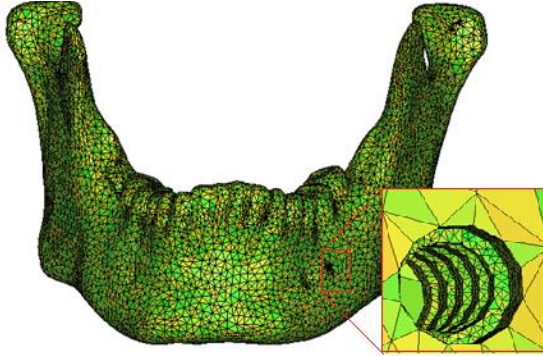
3B modeller meshlenmek üzere MIMICS/Remesher modülüne aktarıldı. Meshleme işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta geometrik hata faktörünün 3B model yüzeylerini bozmayacak şekilde belirlenmesidir. Geometrik hata faktörünün çok küçük değerlerde tutulması eleman sayısını artıracığından bunun için de optimum bir değer belirlemek zorunlu hale gelmiştir. Meshleme işlemi yapılırken, kalite eşiği ve geometrik hata faktörü değerleri optimum eleman sayısını verecek ve açı oranı parametresi değerleri eşkenar üçgeninkine yakın olacak şekilde seçildi. Geometrik hata, mini vida için 0.02 mm, mandibular kemikler (kortikal ve trabeküler) için 0.2 mm olarak belirlenmiştir. Kalite eşik değeri ise 0.4’ün altına düşmeyecek şekilde belirlenmiştir.

Bu değerler 3B modelin keskin köşelerinin olup olmadığına, parça boyutuna göre değişkenlik gösterdiği için deneme yoluyla tecrübeye dayalı olarak belirlenmiştir.

Mandibulayı oluşturan tüm bileşenlerin ayrı ayrı meshleme işlemi tamamlanmıştır ve Tablo 2’de eleman sayıları gösterilmiştir. Meshleme yapılırken, Şekil 9’da gösterildiği gibi mandibula kemiğinde mini vidanın girdiği yüzeyler gibi geometrik olarak kompleks şekillere sahip elemanlar daha hassas bir şekilde meshlenmiştir.

Tablo 2. Mandibular bileşenler için hacimsel eleman sayıları

Bileşen adı	Hacimsel eleman sayısı
Mandibula Trabeküler	54855
Mandibula Kortikal	106025
Mini Vida	32928
Toplam Hacimsel eleman sayısı	193808



Şekil 9. Mandibulada mini vidanın monte edildiği bölgenin yüzeysel meshi

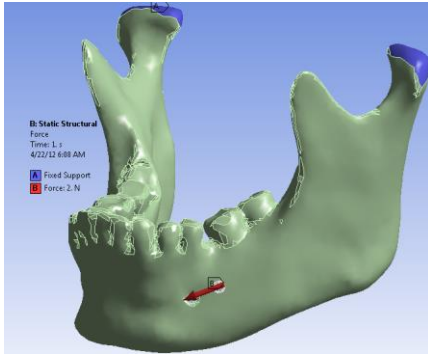
2.3. Sonlu Elemanlar Analizi

MIMICS/Remesher modülünde elde edilen sonlu elemanlar modeli Ansys formatında kaydedilerek aktarılmıştır.[Ansys 2012]. Elemanlar homojen kabul yapılmış ve literatürden elde edilen değerler malzeme özelliği olarak atanmıştır.

Tablo 3. Mandibula için belirlenen malzeme özellikleri [Motoyoshi vd. 2009]

Bileşen	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Mandibula Kortikal	14	0.3
Mandibula Trabeküler	0.3	0.3
Mini Vida	110	0.35

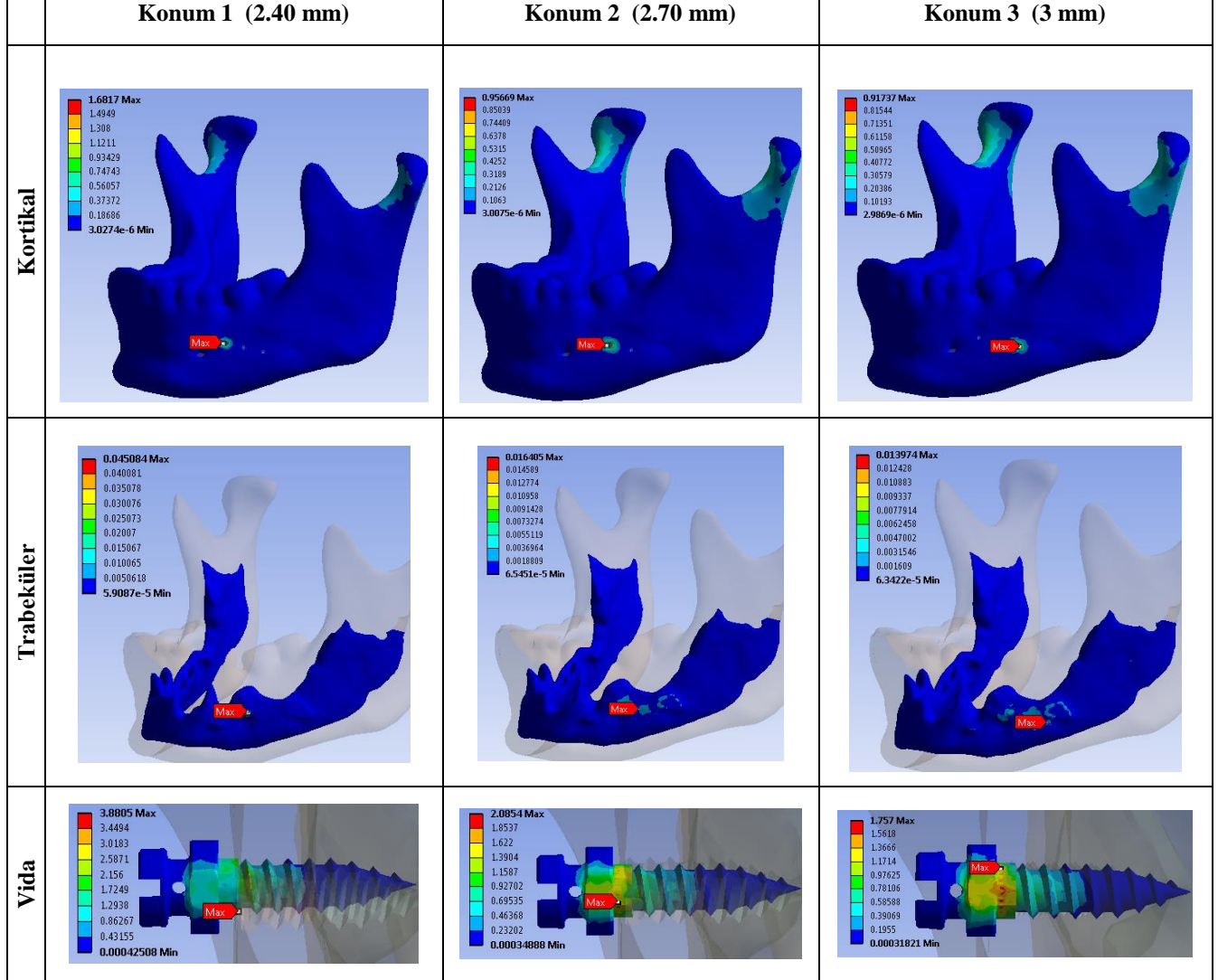
Mandibula Şekil 10’da görüldüğü gibi kondil başlarından sabitlendi ve mini vidaya klinik pratikte bir mini vidaya gelen yük olan 2N’luk kuvvet uygulandı. [Gracco vd. 2008]



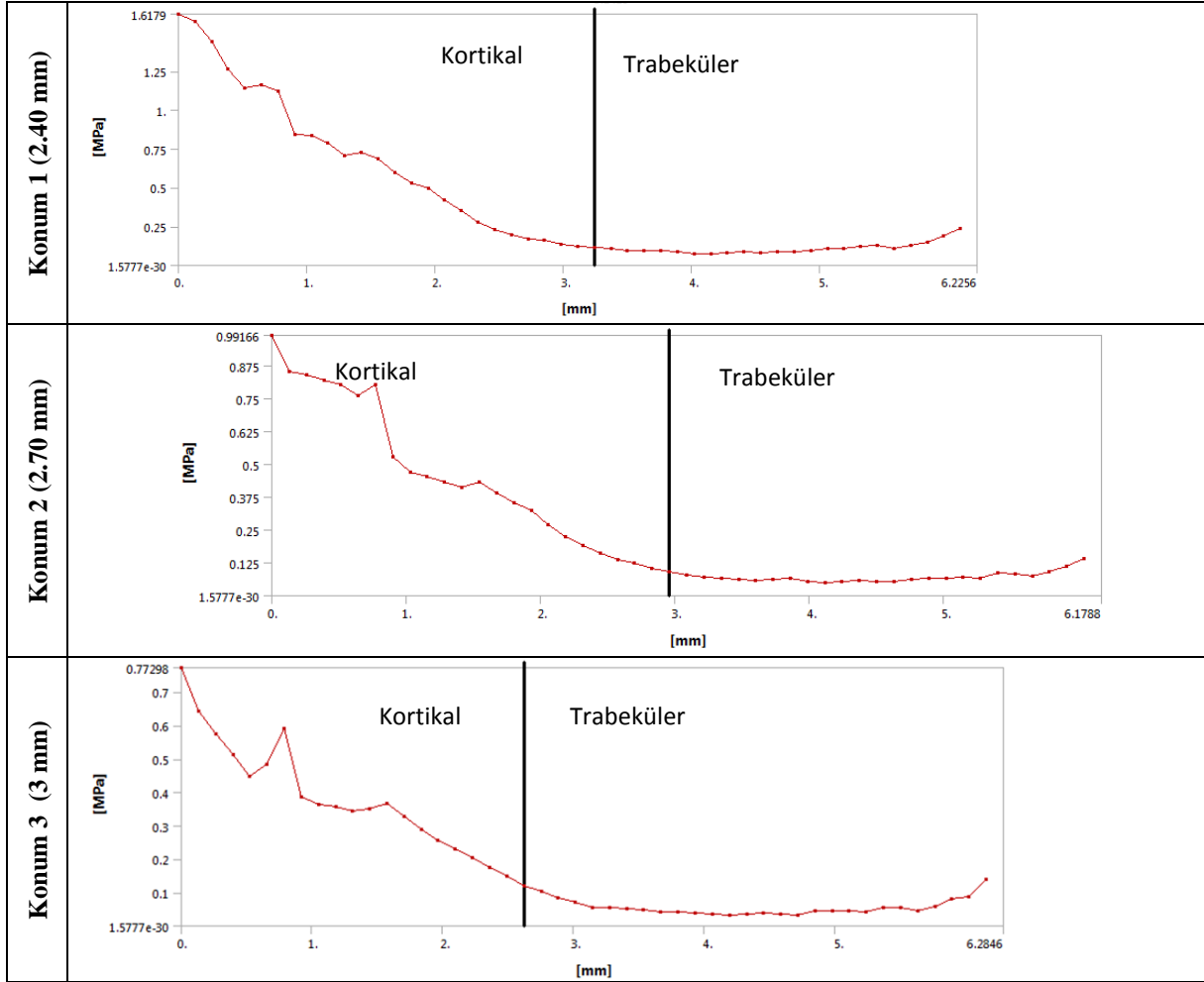
Şekil 10. Mandibula modelinin sınır şartları

3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Sonlu elemanlar modeli üzerinde statik gerilme analizi gerçekleştirilmiş ve Şekil 11’ de uygulanan kuvvet neticesinde mandibula kortikal, trabeküler ve mini vidada meydana gelen von Mises gerilme dağılımları modeller üzerinde gösterilmiştir. Verilen sonuçlardan görüleceği gibi mini vidada oluşan en büyük von Mises gerilmeleri vidanın boyun kısmında meydana gelmektedir ve bu sonuç literatürde belirtilen sonuçlar ile uyumludur [Ammar vd. 2010].



Şekil 11. Konumlara göre kemiklerde ve mini vida da oluşan gerilme dağılımları



Şekil12.Mandibula kortikal ve trabeküler kemikte vida yuvası boyunca gerilme dağılımı

Meydana gelen gerilmeler, mini vida malzemesinin akma gerilmesinin oldukça altında olduğundan vidada herhangi bir hasar durumu meydana gelmeyeceği açıktır. Klinik vakalar incelendiğinde minivida hasarından ziyade minivida gevşemesinin hasara yol açtığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada mini vida gevşemesine neden olan kortikal ve trabeküler kemikteki gerilme dağılımı dikkate alınarak aşağıda değerlendirilmiştir.

Şekil 11’de gösterilen farklı kortikal kalınlıklara sahip bölgelerde ve tüm model dikkate alındığında, mandibula kemiğinin kortikal kısmında gerilme değerinin daha yüksek olduğu ve uygulanan kuvvetin çoğunlukla kortikal bölge tarafından karşılandığı görülmektedir. Benzer gerilme dağılımı mini vida da gözlemlenmiş ve kortikal kalınlığı arttıkça az bir miktar olsa da gerilme değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi kortikal kalınlığı ile kortikal da oluşan gerilme dağılımı fazlaca değişmemektedir.

Vida yuvası boyunca hem kortikal hem de trabeküler kemikte gerilme dağılımı ile mini vida boyunca gerilme dağılımı Şekil 12’de verilmiştir. Vida boyunca gerilme dağılımı incelendiğinde kortikal kısımdaki von Mises gerilmelerin beklenildiği gibi trabeküler kısımdan daha yüksektir. Vida dişleri nedeniyle von Mises gerilme değerlerinde artma ve azalma gözlemlenmektedir. Şekil 12’deki gerilme dağılımından elde edilecek en önemli sonuçlardan birisi uygulanan kuvveti çoğunlukla ilk vida dişlerin taşımasıdır. Diğer önemli bir sonuç ise kortikal kalınlığı arttıkça daha az bir gerilmenin trabeküler kısma karşılık gelen dişlerde oluştuğu görülmektedir.

Mini vidadaki gerilme dağılımına benzer olarak kortikal kısımda vida dişlerinin etkisini de belirtecek şekilde von Mises gerilmelerin yüksek çıktığı görülmektedir. Ancak her üç vida konumunda da gözlemlendiği gibi gerilme değeri kortikal kısımdan trabeküler kısma geçildikçe azalmaktadır ve bu literatürde belirtilen sonuçlar ile de uyumludur. Ayrıca kortikal kemik kalınlığı arttıkça uygulanan kuvvet neticesinde oluşan gerilmelerin büyük bir

kısının kortikal kısımda meydana geldiği ve trabeküler kısımda daha az von Mises gerilmeleri olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Literatürde Motoyoshi nin yaptığı çalışmada, farklı kortikal kalınlıkları (0.5, 0.75,1,1.25 ve 1.5 mm) dikkate alarak suni bir model üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ise gerçek bir hastadan alınan mandibula görüntüsünde kortikal kemik kalınlığının farklı olduğu bölgelerde gerilme analizleri gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçlar bulunmuştur.
- Ayrıca malzeme modeli de yine hastaya özel olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak gerilme sonuçlarının gerçeğe daha yakın olacağı aşıkardır.
- Kortikal kemik kalınlığı arttıkça, hem kortikal kemikte ve hemde trabeküler kemikte von Mises gerilmesi düşmektedir. Dolayısıyla , klinik uygulamalarda en fazla görülen hasar durumu olan gevşemeye yol açacak etken azalmaktadır.
- Mini vidanın gevşemesi ile ilgili yapılan çalışmalarda, kemik yoğunluğuna bağlı olarak 6 ile 28 MPa arasında oluşan gerilmelerin gevşemeye yol açtığı belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen gerilmeler bu değerlerin çok altında olması, mini vida seçiminde farklı alternatifleri de değerlendirmeye imkan vermektedir.
- Dolayısıyla, gelişen görüntüleme teknikleri yardımıyla, gerçek hastadan alınacak görüntülerden hem malzeme modeli elde edilebilir ve hem de mini vida uygulama sonrası oluşacak gerilmeler gerçeğe daha yakın olarak elde edilebileceği bu çalışma ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan BDT ve malzeme modeli, literatürde kullanılanlara kıyasla daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Bununla birlikte özellikle kemiklerin malzeme özelliklerinin HU değerlerine bağlı olarak belirlenmesinde kullanılan fomüllerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. İleriki çalışmalarda, gerçek değerlere daha uygun modelleri içeren BDT modelleri ile analizler gerçekleştirilecektir.

REFERANSLAR

1. [Ammar 2010] Ammar H.H., Ngan P., Crout R.J., Mucino V.H., and Mukdadid O.M. Three- dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 139(1), 59-71, (2010)
2. [Ansys 14.0] Ansys 2012, Ansys Inc., USA
3. [Britannica 2007] Encyclopedia Britannica, Inc (2007).
4. [Gracco 2008] Gracco A., Cirignaco A., Cozzani M., Boccaccio A., Pappalettere C., and Vitale G., 2008. Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage, European Journal of Orthodontics Volume 31, Issue 1Pp. 12-20
5. [Huizing 2003] Huizing E. H., De Groot A. M. J., Functional Reconstructive Nasal Surgery Thieme (2003).
6. [Keçeli vd. 2006]Keçeli G., Demiralp B., Muhtarogulları M., Demiralp B., vd., Distraksiyon Osteogenez: Yeni Kemik Formasyonu, Tarihçe ve Biyolojik Prensipler, Hacettepe Dişhekimliği Fakültesi Dergisi Cilt: 30, Sayı: 1, Sayfa: 31-41, 2006.
7. [MIMICS 2010] MIMICS 14.0 Reference guide, Materialize Software, Belqium, (2010).
8. [Motoyoshi 2009] Motoyoshi M., Ueno S., Okazaki K., Shimizu N., Bone stress for a mini-implant close to the roots of adjacent teeth - 3D finite element analysis, Int. J. Oral Maxillofac. Surg.; 38: 363–368, (2009).
9. [Schnelle 2004] Schnelle MA, Beck FM, Jaynes RM, Huja SS. A radiographic evaluation of the availability of bone for placement of miniscrews. Angle Orthod 2004;74:832-7.
10. [Ulusoy vd. 2008]Ulusoy, Ç., Darendeliler, N., 2008. Çenelik uygulamasının mandibula üzerinde oluşturduğu gerilmenin üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. GÜ Diş. Hek. Fak. Derg. 25(2) : 25-32,
11. [Yalçın 2006] Yalçın T., İnsan Alt Çenesindeki Yüklemelerin Eklem Bölgesindeki Etkilerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniv. (2006).