



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



**Klavikula kırıklarında plak uygulamasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi**

*Investigation of fatigue behaviour of plate applications in clavicle fractures by finite element method according to the plate replacement position*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Levent UĞUR<sup>1</sup>, Selami KARADENİZ<sup>2</sup>, Arif ÖZKAN<sup>3</sup>, Alper GÜLTEKİN<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0003-3447-3191

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-8233-5028

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-1288-6166

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0002-9234-215X

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Uğur L., Karadeniz S., Özkan A., ve Gültekin A., “ Klavikula kırıklarında plak uygulamasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 69-74, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.466176

# Klavikula Kırıklarında Plak Uygulamasının Yerleşim Konumuna Göre Yorulma Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Levent UĞUR<sup>1\*</sup>, Selami KARADENİZ<sup>2</sup>, Arif ÖZKAN<sup>3</sup>, Alper GÜLTEKİN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Amasya Üniversitesi, Teknoloji fakültesi, Makine Mühendisliği,05100, Amasya,

<sup>2</sup>Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji,05100, Amasya,Turkey

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, 41100, Kocaeli, Türkiye

<sup>4</sup>Kocaeli Derince Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Kocaeli,04100, Türkiye

(Geliş/Received : 11.11.2017 ; Kabul/Accepted : 03.09.2018)

## ÖZ

**Amaç;** Klavikula, omuz ve kolun hareketlerinde önemli bir göreve sahip olan anatomik bir yapıdır. Klavikula kırıkları iskelet sistemi yaralanmaları içerisinde sık karşılaşılan bir problemlendir. Klavikula kırıklarında, kırığın türüne göre çeşitli implantlar kullanarak omuzun ağrısız ve fonksiyonlarını en uygun düzeye getirmek asıl amaçtır. Bu çalışmada klavikula kırıklarında kullanılan anatomik plak uygulamasının biyomekanik açıdan incelenmesi amaçlanmıştır.

**Yöntem;** Bu çalışmada, DICOM formatında bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak normal anatomiye sahip klavikula modellenmiş ve klavikula üzerinde kırık hattı oluşturularak superior ve anteriora plak yerleştirilmiştir. Plaklarda meydana gelen gerilmeler, oluşturulan modeller üzerine eksenel kompresyon ve konsol bükme yüklemeleri uygulanarak non-lineer sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Analizler, ANSYS (sorum 18) sonlu elemanlar programında yapılmış ve tüm modellerde aynı sınır şartları uygulanmıştır.

**Bulgular;** Analizlerde plaklar üzerinde meydana gelen maksimum eşdeğer gerilmelere (MES) bakılmış ve özellikle anteriora yerleştirilen plakta gerilmenin azaldığı tespit edilmiştir. Klavikula üzerine yerleştirilen plakların konumlarına göre yorulma davranışları karşılaştırılmıştır.

**Sonuçlar;** Bu çalışmada, klavikulanın anteriorüne yerleştirilen plaklarda gerilmenin daha az olduğu sonlu elemanlar yöntemi ile gösterilmiştir. Ayrıca, anterior bölgeye yerleştirilen plakların en uzun ömre sahip olmasından dolayı kırılma kararı açısında daha güvenli olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Omuz, klavikula, plak, Sonlu Elemanlar Analizi .

## Investigation of Fatigue Behaviour of Plate Applications in Clavicle Fractures by Finite Element Method According to the Plate Replacement Position

### ABSTRACT

**Background:** The clavicle is an anatomical structure which has an important role on the movements of the shoulder and arm. Clavicular fractures are a common problem in skeletal system injuries. The main purpose is to achieve a painless shoulder joint and to optimise its function in clavicle fractures. In this study, it was aimed to investigate biomechanically the application of anatomic plaque used in clavicle fractures. **Methods:** In this study, a normal anatomical clavicle was modeled using computed tomography images in DICOM format, a fracture line was created on the clavicle and the plate was placed superiorly and anteriorly. The stresses on the plates under axial compression and console bending were investigated on the formed models by using finite element method. Analyzes were made non-linear using ANSYS (v.18) and same limit conditions were applied in all models. **Findings:** The maximum equivalent stresses (MES) on the plaques were observed in the analyzes and it was found that the tension on the plaque, especially placed anteriorly, decreased. Fatigue behaviours were compared according to the positions of the plates placed on the clavicle. **Results:** In this study, the finite element method was used which showed less tension on the plates placed on the anterior of the clavicle. It was also found that the plates placed in the anterior region were safer in terms of fatigue fracture stability due to longest longevity of the plates.

**Keywords:** Shoulder, clavicle, plate, finite element analysis.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : leventozge@gmail.com

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

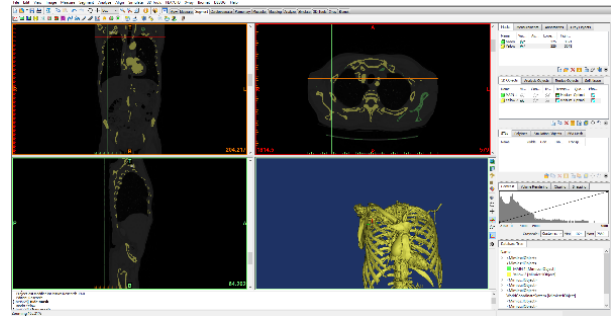
Klavikula; omuz hareketlerine, kolun kuvvet ve stabilitesine, solunum fonksiyonuna, önemli nörovasküler yapıların korunmasına yardımcı olan, adalelerin yapıştığı, kozmetik öneme sahip bir anatomik yapıdır [1]

Klavikula kırıkları iskelet sistemi yaralanmalarının içerisinde en sık karşılaşılan problemlerendir ve tüm iskelet sistemi kırıklarının % 2.6-5'ini oluşturur [2]. Omuz bölgesi kırıklarının ise yaklaşık %44'ünü oluşturmaktadır. [2, 3]. Klavikula kırıklarının yaklaşık% 80'i orta şaft bölgesinden kırılmaktadır [1, 4]. Günümüzde orta şaft klavikula kırıkları için genelde cerrahi tedavi ile plak uygulaması tercih edilmektedir [5]. Plak uygulaması klavikulanın anterior veya superior bölgesine uygulanmaktadır. Ancak plağın yerleşiminin tam olarak nereden uygulanması gerektiği konusunda tam bir fikir birliğine varılmamıştır[6, 7] Anterior veya superior plak uygulamalarının klinikte kendi aralarında çeşitli avantaj ve dezavantajları olduğu gösterilmiş olup plağın yerleşimi konusunda bir ortak bir görüş oluşturulamamıştır [8]. Bunun en önemli nedenlerinden biri omuz bölgesinin çok fazla kas ve bağ dokudan meydana gelmesinden dolayı çok karmaşık bir yapıya sahip olmasıdır [9]. Karmaşık bir yapıya sahip olan omuz bölgesindeki orta şaft klavikula kırıklarında gerekli biyomekanik deneylerin yapılmasının zor olmasından dolayı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı orta şaft kırıklı klavikulada iki farklı pozisyonda yerleştirilen plak uygulamasının konumlarının sonlu elemanlar metodu ile karşılaştırarak en uygun konumu belirlemektir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

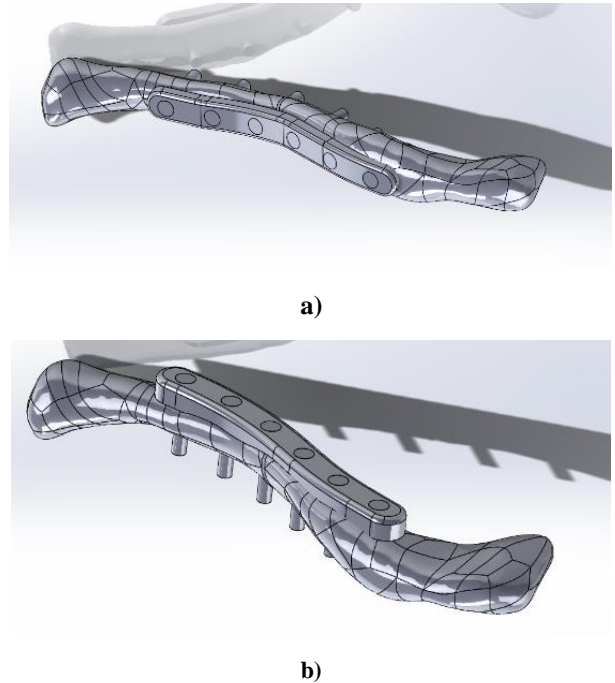
Bu çalışmada klavikulanın üç boyutlu modelinin oluşturulması için 28 yaşında 78kg ve 1,80m boya normal anatomisine sahip sağlıklı bir insanın Şekil 1'de görülen bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri kullanılmıştır. BT taraması Toshiba Aquilion BT aygıtıyla Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde yapılmıştır. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında ham veri 120 Kv 'da 0,891 mm piksel büyüklüğünde 512x512 piksel çözünürlüğü ile tarama yapılarak elde edilmiştir. BT çekimleri görselleştirme ve segmentasyon işlemleri için BT görüntülerini kullanan interaktif bir yazılım olan MIMICS® (Materialise's Interactive Medical Image Control System/ Materialise NV, Belgium) yazılımı ile işlenerek model oluşturulmuştur [10].



Şekil 1.BT görüntülerinde modellerin oluşturulması (Creation of models in CT images)

Klavikula modelinde oluşan parlama (artifak) ve istenmeyen geometrileri düzenlemek ve doğru geometriyi elde edebilmek için MIMICS yazılımından geometriler STL (stereolithography) formatına dönüştürülerek tersine mühendislik yazılımı olan GEOMAGIC® Studio programına gönderilmiştir. Son olarak buradan elde edilen model SolidWorks® (Dassault Systems, USA) programına gönderilerek 1mm boşluğa sahip kırık hattı oluşturulmuştur.

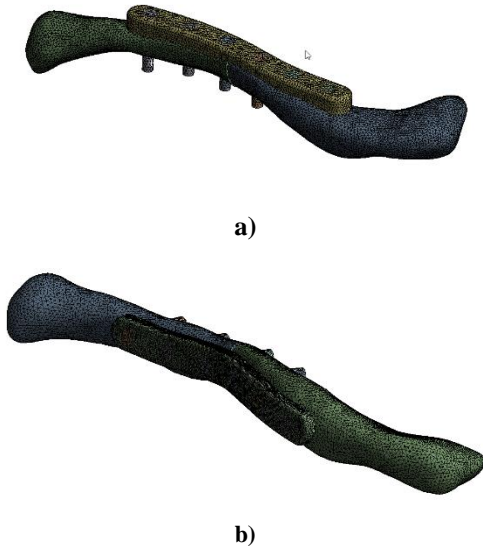
Çalışmada Klavikula kırıklarında kullanılan plak ve vidalar katalog değerlerinden bakılarak 3 boyutlu katı modelle programı olan SolidWorks® (Dassault Systems, USA) programında modellenmiş ve şekil 2'de görüldüğü gibi orta şaft kırığı bulunan klavikulanın superior ve anteriora bölgelerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.Solidworks programında plakların yerleşimi a) Anteriora b) Superior (Placing plates in Solidworks)

### Ağ Yapısı ve Malzeme Özellikleri

ANSYS Workbench (Version 18, Ansys Inc.,USA) yazılımı kullanılarak Şekil 3’de görüldüğü gibi ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapıda oluşturulan kemiklere tetrahedral mesh atılmıştır. Kemik yapılarında ağ yapı boyutu 2 mm verilmiştir. Modeller ortalama olarak 685962 node ve 452828 elemandan oluşmaktadır. Analizler Newton-Raphson metoduna göre non-lineer olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Sonlu elemanlar modeli ağ yapısı (Finite element model mesh structure)

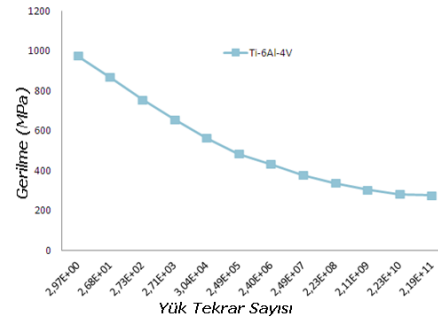
Literatürde yer alan çalışmalara göre kortikal kemik, koncellous kemik, plak ve vidalar için malzeme özellikleri (Ti-6Al-4V) Çizelge 1’de gösterildiği gibi izotropik malzeme olarak tanımlanmıştır [9].

Çizelge 1. Kemik ve diğer malzeme özellikleri (Bone and other material properties)

	Young Modulus (E) (MPa)	Poisson Ratio (ν)
Kortikal Kemik	11,000	0.3
Cancellous Kemik	500	0.1
Titanium (Ti-6Al-4V)	110,000	0.33

Analizlerde kullanılan plak (Ti-6Al-4V) metal malzemenin, farklı sabit gerilmeler altında malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağını veya kırılacağını gösteren yorulma diyagramı (S-N) Şekil 4’deki gibi Ansys Workbench malzeme özellikleri tanımlanırken girilmiştir. Static Structural modülünde yapılan

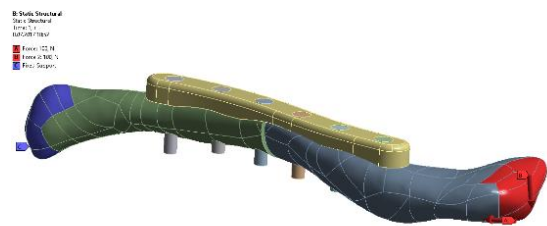
analizlerde Fatigue Tool kullanılarak malzemede meydana gelen yorulma değerleri Goodman yöntemine göre incelenmiştir [10].



Şekil 4. Titanyum (Ti6Al4V) malzemesi için S-N diyagramı (S-N diagram for titanium (Ti6Al4V) material)

### Sınır şartları

Malzeme tanımlanmasından sonra kırık hattında sürtünmesiz (frictionless) kontak tanımlanması yapılmıştır. Ayrıca vidalar ve klavikula arasında yapışkan (Bonded) kontak ve plak ile kemik arasında yine sürtünmesiz doğru (frictionless) kontak tanımlanmıştır. Kontaklarda MPC algoritması ve Augmented Lagrange algoritması seçilmiştir. Favre ve ark. tarafından iki tip sınır ve yükleme koşulları (eksenel kompresyon ve aşağı doğru bükme) kullanılmıştır. [11]. Her iki koşulda Şekil 5’de gösterildiği gibi klavikula distal kısmında ayrı ayrı toplam 100 N aşağı doğru bükme ve 100 N ekstenel kompresyon kuvveti uygulanmıştır [12, 13]. Klavikülün sternal ucu bütün serbestlik derecelerine sabitlenmiştir. Tüm modellerde aynı sınır şartları uygulanmıştır.



Şekil 5. Sonlu elemanlar yükleme ve sınır şartları (Finite element loading and boundary conditions)

### 3. BULGULAR (RESULTS)

Yapılan Non-lineer gerilim analizleri ve yorulma hesaplamaları sonucunda en yüksek von Mises gerilim değerlerinin superiora yerleştirilen plaklarda meydana geldiği görülmüştür. Analizler sonucunda plak yerleşim yerlerine göre plakta ve kemikte meydana gelen gerilim dağılımları Çizelge 2’de verilmektedir.

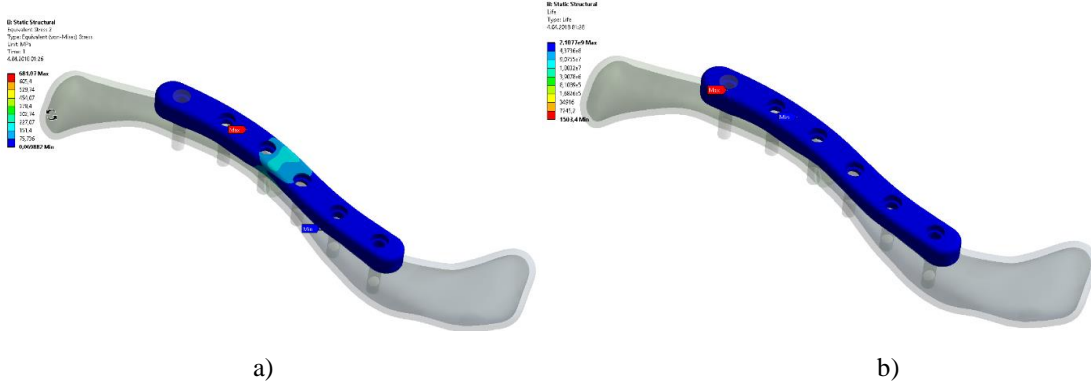
Çizelge 2. Sonlu elemanlar Analiz Sonuçları (Finite Element Analysis Results)

	Yüklenmeler	Meydana Gelen Gerilmeler		Ömür	
		Superior Plak	Anterior Plak	Superior Plak	Anterior Plak
Plakta Meydana Gelen Gerilme (Mpa)	Eksenel Kompresyon	170,24	70,965	2,11E+09	2,11E+09
	Bükme	578,47	432,78	20292	2,11E+09
	Tüm Kuvvetler Uygulandığında	681,07	480,46	1503,4	154930
Kemikte Meydana Gelen Gerilme (Mpa)	Eksenel Kompresyon	35,822	11,366		
	Bükme	101,6	56,8		
	Tüm Kuvvetler Uygulandığında	137,39	62,888		

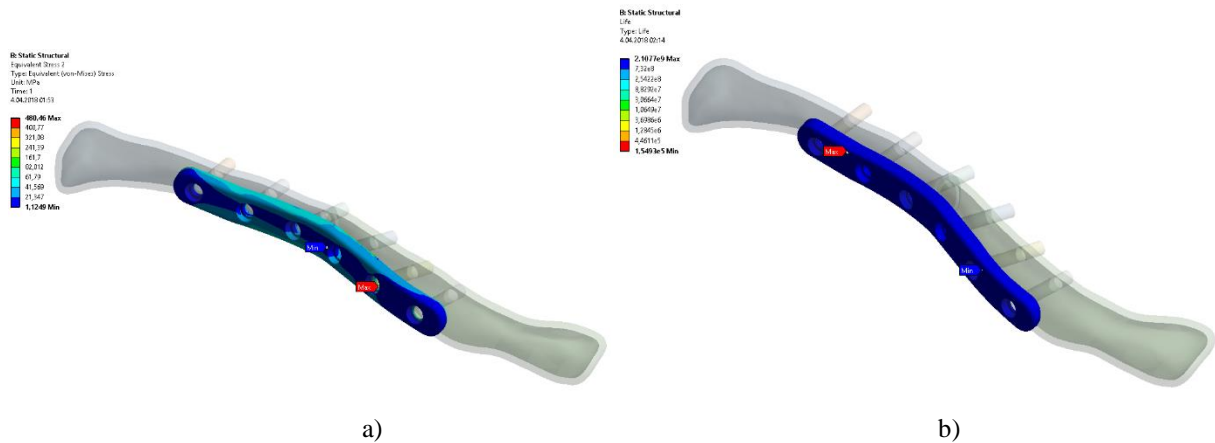
Bu sonuçlara göre, tüm kuvvetlerin uygulandığı durumda anteriora yerleştirilen plak için maksimum von Mises gerilme 480,46 MPa ve yorulma ömrü 154930 çevrim olurken superiora konumlandırılan plak için maksimum von Mises gerilme 681,07 MPa ve yorulma ömrü 1503,4 çevrim olarak hesaplanmıştır. Şekil 6' da Superiora plakta meydana gelen maksimum von Mises gerilmesi ve ömrünü, Şekil 7' de anterior yerleştirilen plakta meydana

gelen maksimum von Mises gerilmesi ve ömrü görülmektedir. Yine analiz sonuçlarına bakıldığında her iki konumda bükme kuvvetinde plak ve kemikte daha fazla gerilmeye maruz kaldığı görülmektedir.

Tüm kuvvetlerin uygulandığı durumda kemik yapıda meydana gelen maksimum von Mises gerilme değerleri şekil 8'de görülmektedir. Anterior'a yerleştirilen plakta



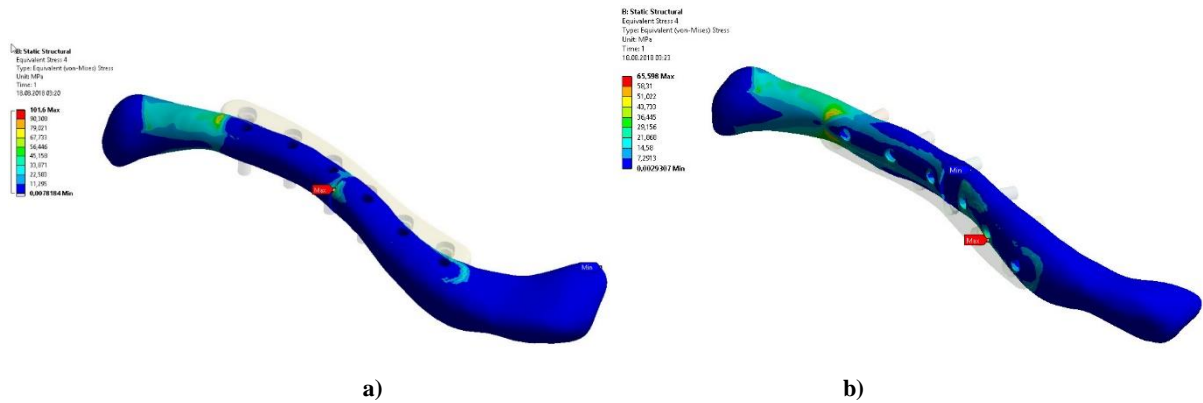
Şekil 6. Superiora yerleştirilen plakta tüm kuvvetler uygulandığında meydana gelen a) Maksimum von-Misses Gerilme b) Ömür ((a) Maximum von-Misses Stress b) Lifetime that occurs when all forces are applied to the plate placed in the Superior)



Şekil 7. Anteriora yerleştirilen plakta tüm kuvvetler uygulandığında meydana gelen a) Maksimum von-Misses Gerilme b) Ömür ((a) Maximum von-Misses Stress b) Lifetime that occurs when all forces are applied to the plate placed in the Anterior)

maksimum von Mises gerilmesi 65,568 MPa olurken superiora yerleştirilen plakta maksimum von Mises gerilmesinin 101,6 MPa olduğu görülmektedir.

tasarımları arasındaki biyomekanik stabiliteyi karşılaştırmıştır [18]. Onların deneysel sonuçları, anterior kaplama tekniklerine göre üstün plakalarda



**Şekil 8.** Analizler sonucunda klavikulada meydana gelen maksimum gerilmeler a) Anterior b) Superiora (Maximum stresses in the clavicle as a result of analysis)

#### 4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Ortopedi uzmanları klavikula kırıklarının optimal tedavisi ile ilgili olarak ikiye bölünmüştür, ancak ortopedik cerrahi alanında orta şaft klavikula kırıklarında kullanılan plağın nasıl konumlandırılacağı giderek daha fazla önem kazanmaktadır [6]. Mevcut çalışmada, sonlu elemanlar analizi, klavikula kırıklarında plağın yerleşim yerinin ömür tayini ve kararlılığı açısından karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonuçlarının klavikula kırıklarında plağın yerleşimi konusunda ortopedistlere yol gösterebileceği düşünülmektedir.

Araştırmalar için en uygun yöntemi klinik ve biyomekanik çalışmalarıdır, ancak klinik çalışmalarda çok farklı sorunlar meydana geldiği için sonuç almak zor, bazı zamanlar ise imkânsızdır. Bunun yanı sıra kadavra çalışmaları ve diğer biyomekanik çalışmalar için gerekli deneysel test cihazları yapmak hem zor hem de zaman alıcı ve maliyetlidir. Sonlu elemanlar analiz tekniği sürekli geliştirilmekte ve analizler sonucunda birçok veri elde edilmektedir. Ayrıca parametreler çoğaltılarak birçok kombinasyonun simülasyonu yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Açık redüksiyon internal fiksasyon tekniği, ameliyat süresinin azalması, kırık iyileşmesinin etkinliği ve daha az tıbbi masraf gibi klinik bulgularla klavikula kırığının tedavisinde kabul edilmiştir [14-16]. Birkaç çalışmada orta şaft klavikula kırığının konservatif tedavisinden sonra zayıf klinik sonuç bildirilmiştir. Konservatif tedavi sonrası (malunion, sendikal olmayan, instabilite vb.) sözü edilen genel komplikasyonların yanı sıra, Hill ve ark. tarafından yapılan klinik çalışmada kırık alanındaki kısılma sorunu hastaların %31'inde yaşanmıştır [17]. Bu nedenle, tatminkâr bir klinik sonuç elde etmek için anatomik redüksiyon ve klavikula plakası sabitlemesinden sonra yapısal stabilitenin korunması şarttır. Daha önce, Iannotti ve ark. orta şaft klavikula kırığına üstün ve anterior fiksasyon için çeşitli plaka

eksenel kompresyonda ve ekstenel torsiyonda daha fazla yapısal sertliğin görüldüğünü göstermiştir. Farve ve ark.'nın çalışmasında da sonlu elemanlar analizleri ile benzer sonuçlar bildirilmiştir. [11].

Bu çalışmada bazı sınırlamalar da dikkate alınmalıdır. Sadece homojen, izotropik ve doğrusal elastik malzeme özellikleriyle sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Bu sonuçlar, biyomekanik testlerin sonuçlarını tahmin etmede rehberlik sağlayabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada uygulanan modellerin tam olarak geçerliliği için pratik bir biyomekanik test şarttır. Ayrıca omuz eklemi (deltoid, supraspinatus, infraspinatus, subskapularis, teres major ve minor kaslar vb.) geçen yumuşak dokuların kuvvetleri ve biyomekanik etkileri göz ardı edilmiştir. Ayrıca farklı plak geometrilerinin etkilerine bakılmamıştır. Bununla birlikte, bu çalışma, klavikula biyomekanikinde gelecek çalışmalar için referans olacak bir analiz içermektedir.

#### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda, klavikulada meydana gelen orta şaft kırıklarının tedavisinde plağın yerleşim konumunun etkisi incelenmiştir. Özellikle, bu çalışmada yapılan sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen veriler doğrultusunda anteriora yerleştirilen plak modelinde konsol bükülme ve ekstenel kompresyon altında en düşük gerilmenin meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, anteriora yerleştirilen plakta en uzun ömrün meydana gelmesinden dolayı kırılma kararlılığı açısından daha güvenli olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerin klinik çalışmalar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [19, 20].

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu yayın Amasya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FMB-BAP 15-0225).

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Gustilo, R.B., R.M. Mendoza, and D.N. Williams, "Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures." *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 24(8): 742-746,( 1984.)
- [2] Postacchini, F., et al., "Epidemiology of clavicle fractures." *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 11(5): 452-456,( 2002).
- [3] Robinson, C.M., "Fractures of the clavicle in the adult: epidemiology and classification." *The Journal of bone and joint surgery. British* volume, 80(3): 476-484,( 1998).
- [4] Nordqvist, A. and C. Petersson, "The incidence of fractures of the clavicle." *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 127-132,( 1994).
- [5] Canadian, O.T.S., "Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial". *The Journal of bone and joint surgery. American* 89(1): 1, (2007).
- [6] Eden, L., et al., "Biomechanical comparison of the locking compression superior anterior clavicle plate with seven and ten hole reconstruction plates in midshaft clavicle fracture stabilisation." *International orthopaedics*,. 36(12): 2537-2543,(2012).
- [7] Renfree, T., B. Conrad, and T. Wright, "Biomechanical comparison of contemporary clavicle fixation devices." *The Journal of hand surgery*, 35(4): 639-644,( 2010).
- [8] Nourian, A., et al., "Midshaft Fractures of the Clavicle: A Meta-analysis Comparing Surgical Fixation Using Anteroinferior Plating Versus Superior Plating." *Journal of orthopaedic trauma*, 31(9): 461-467,( 2017).
- [9] Marie, C., "Strength analysis of clavicle fracture fixation devices and fixation techniques using finite element analysis with musculoskeletal force input." *Medical & biological engineering & computing*, 53(8): 759-769,( 2015).
- [10] Uğur, L., "Pedikül vidasının yerleşim konumuna göre yorulma davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi." *Sakarya University Journal of Science*, 20(2): 301-306,( 2016).
- [11] Favre, , et al., "Superior versus anteroinferior plating of the clavicle: a finite element study. *Journal of orthopaedic trauma*", 25(11): 661-665,( 2011).
- [12] Iannolo, M., et al., "Forces across the middle of the intact clavicle during shoulder motion." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 19(7): 1013-1017(2010).
- [13] Scepi, M., et al., "A three-dimensional model of the shoulder girdle. Forces developed in deltoid and supraspinatus muscles during abduction." *Surgical and Radiologic Anatomy*, 26(4): 290-296,( 2004).
- [14] Altamimi, S.A. and M.D. McKee, "Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures:" *Surgical technique. JBJS*, 90(Supplement\_2\_Part\_1): 1-8,( 2008).
- [15] Althausen, L., et al., "Clinical and financial comparison of operative and nonoperative treatment of displaced clavicle fractures." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 22(5): 608-611,( 2013)
- [16] Xu, J., et al., "Operative versus nonoperative treatment in the management of midshaft clavicular fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials." *Journal of shoulder and elbow surgery*, 23(2): 173-181,( 2014).
- [17] Hill, J.M., M.H. Mcguire, and L.A. Crosby, "Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results." *The Journal of bone and joint surgery. British* , 79(4): 537-538,( 1997).
- [18] Iannotti, M., et al., "Effects of plate location and selection on the stability of midshaft clavicle osteotomies: a biomechanical study. " *Journal of shoulder and elbow surgery*, 11(5): 457-462,( 2002).
- [19] Chen, C.-E., R.-J. Juhn, and J.-Y. Ko, "Anterior-inferior plating of middle-third fractures of the clavicle." *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 130(4): 507-511, (2010).
- [20] Kloen, , et al., "Anteroinferior plating of midshaft clavicular nonunions." *Journal of orthopaedic trauma*, 16(6): 425-430, (2002).