

RADIUS KIRIKLARINDA PLAK FİKSASYONU VE İNTRAMEDÜLLER ÇİVİLEME YÖNTEMLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Halim Kovacı¹, Hojjat Ghahramanzadeh ASL¹, İrfan Kaymaz¹, Akgün Alsaran¹, Ayhan Çelik¹, Gürsel Saka²

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum, halim.kovaci@atauni.edu.tr
²Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul

ÖZET

Önkol kırıklarında plak-vida osteosentezi sıklıkla tercih edilen tedavi yöntemi olmakla birlikte intramedüller çivileme uygulamaları son yıllarda önem kazanmıştır. Bu amaçla, sırasıyla önkol BT görüntülerinden radius kemik modeli elde edilmiş, modelde kırık hattı oluşturularak iyileşme sürecinde oluşan kallus yapısı modellenerek kırık kısma yerleştirilmiştir. Plak ve intramedüller çivi modelleri radius modeline yerleştirilmiş, elde edilen implant-kemik modellerinin eksenel yük altındaki davranışları ve farklı implatlarla yapılan tedavide kallusun davranışı yapısal olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda plak veya intramedüller çivi ile yapılan tedavide, implant seçimine bağlı olarak; kemik-implant yapılarında oluşan gerilmelerin ve kallus yapısının hareketliliğinin uygulama ve kullanım açısından hangi etkilere sebep olabileceği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radius shaft kırığı, Plak, İntramedüller çivi, Kallus Sonlu elemanlar yöntemi

THEORETICAL INVESTIGATION OF PLATE FIXATION AND INTRAMEDULLARY NAILING METHODS ON RADIUS FRACTURES

ABSTRACT

While forearm fractures are often treated with plate-screw osteosynthesis, intramedullary nailing gained importance recently. For this aim, radius bone model was obtained using CT images, a fracture was introduced to the model and the callus, which is a structure forms during healing, was added to the model. Plate and intramedullary nail models were implemented to radius model. Structural behaviors of obtained models and callus on treatments with various implants were investigated under axial loading. In the light of these analyses, stresses on bone-implant structure and callus movement were investigated from the angle of application and treatment, depending on implant selection.

Key Words: Radius shaft fracture, Plate, Intramedullary nail, Callus, Finite element method

1. GİRİŞ

Görevi insan vücuduna destek sağlamak olan kemikler pek çok dış etki sonucunda hasara uğramaktadır. Kırılma genel olarak; kemikte geometrik olarak sürekliliğin bozulması ve kemiğin üstlendiği fonksiyonu yerine getirememesi olarak tanımlanabilir. Radius kemiği; bir taraftan dirsek ve el bileği eklemlerini oluşturması, diğer taraftan da üst

ekstremitede dirsek eklemine gelen yüklerin distalde el bileğine aktarması nedeni ile yaşam süreci içinde çok önemli bir yer tutar. Böylesine önemli görevi olan bu bölge aynı zamanda konumu gereği sıkça travmaya uğramaktadır [1].

Önkolun fonksiyonel uyumluluğu; radius ile ulna arasındaki proksimal ve distal bağlantıda uygun bağlantıya bağlıdır. Uzunluk, eksen ve rotasyona bağlı olarak önkol kemiklerinde dizilim kusuru oluşması önkol kemiklerinde rotasyonel ve fonksiyonel kısıtlılığa neden olur. Ayrıca yay şeklinde olan radius kemiği her hastada farklılık göstermektedir ve yay şeklinin bozulması radius kemiğin uzamasına neden olabileceğinden, orijinal yay şeklinin tam olarak yeniden oluşturulması gerekmektedir [2]. Erişkin radius shaft kırıklarının cerrahi tedavisinde en sık kullanılan yöntem plak-vida osteosentezidir. Buna karşın son yıllarda yeni tasarım intramedüller çivilerin geliştirilmesi ile birlikte bu yöntem plak- vida osteosentezine önemli bir alternatif haline gelmeye başlamıştır. İki yönteminde birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Plakla yapılan tedavide; plağın kemik periostuna zarar vermesi, kırık kısmın büyük bir bölümünün plakla temas halinde olması ve plağın çıkarılmasını takiben yeniden kırık oluşabilme riski önemli dezavantajlarındandır. İntramedüller çivi ile yapılan tedavide ise intramedüller çivinin kemik iliği boyunca konumlanıyor olması en büyük dezavantaj olarak görülmektedir. [3, 4], [2, 5].

Her iki yönteminde birbirine göre avantaj ve dezavantajları olmasına rağmen, kırık tedavisinde en önemli nokta kırık iyileşme sürecinde oluşan kallus yapısının korunmasıdır. Kırık bölgesindeki mekanik koşullar, özellikle kırık genişliği ve kırık parçalar arası hareket, kırık iyileşmesinin başlangıç safhalarında büyük öneme sahiptir. Kırık fragmanlar arasında azalan eksenel hareket kallus oluşumunu kolaylaştırır, kallus kalitesini artırır ve buna bağlı olarak artmış mekanik stabilite sağlar[1, 6-10]. Bu bakımdan seçilen tedavi yöntemine bağlı olarak kallus hareketinin incelenmesi gerekir. Ayrıca kemik ve implantlarda oluşan gerilmelerin de, kemik ve implantta oluşabilecek hasarlar bakımından incelenmesi gerekmektedir.

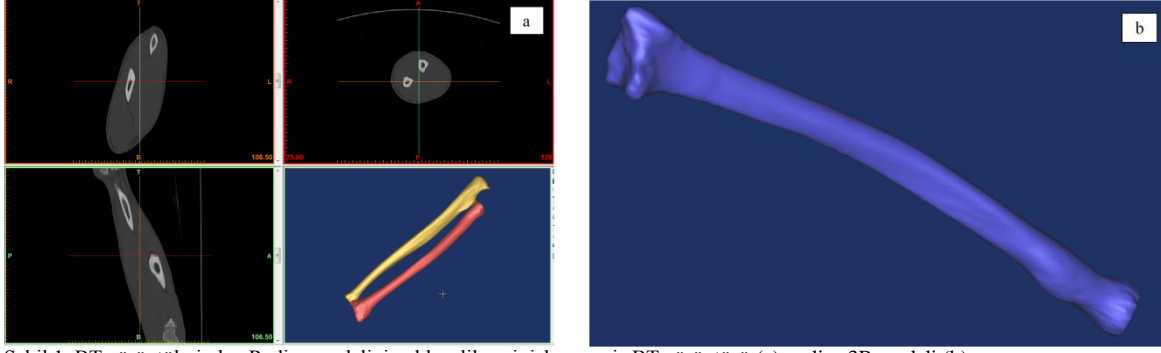
Bu çalışmada radius shaft kırıklarının tedavisinde kullanılan intramedüller çivileme ve plak-vida tespit yöntemlerinde, el bileğinden gelen eksenel yüklerin kemik ve implantlarda oluşturacağı mekanik etkiler ve iyileşme sürecine olan etkileri teorik olarak incelenmiştir.

Bu inceleme için bir gönüllüden alınan bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri MIMICS 14.01 programı kullanılarak üç boyutlu model haline getirilmiş, elde edilen modelin shaft kısmında kemik iyileşme sürecinde oluşan kallusu temsil eden bir yapı oluşturulmuş, bu kırık tipinde kullanılan intramedüller çivi ve plak modelleri kemik modeline yerleştirilmiştir. MIMICS 14.01 programından elde edilen kemik-intramedüller çivi modeli ANSYS Workbench 14.0 yazılımı kullanılarak yapısal olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kallus hareketliliği ve oluşan gerilmeler bakımından iki farklı tedavi yöntemi karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM:

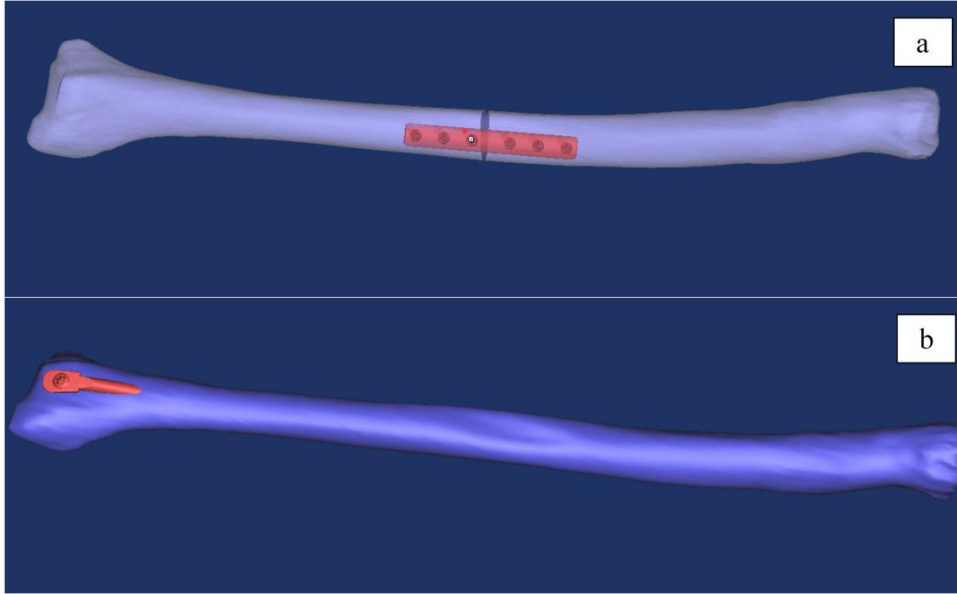
Çalışmada işlem basamakları aşağıdaki başlıklarla ele alınmıştır.

- 1- BT görüntülerinden önkol modelinin (radius ve ulna) elde edilmesi,
- 2- Radius modelinin kemik iliği ve kortikal kemik olarak ayrılması,
- 3- Kallus yapısının modellenmesi ve radius kemiğinin shaft kısmına yerleştirilmesi,
- 4- İntramedüller çivi ve plak modellerinin radius modeline yerleştirilmesi,
- 5- Elde edilen implant-kemik toplam modellerinin MIMICS 3-matic yazılımı kullanılarak hacimsel mesh yapısı oluşturulması ve ANSYS yazılımına aktarılması,
- 6- Malzeme özelliklerinin ve sınır şartlarının belirlenmesi,
- 7- Analizlerin gerçekleştirilmesi.



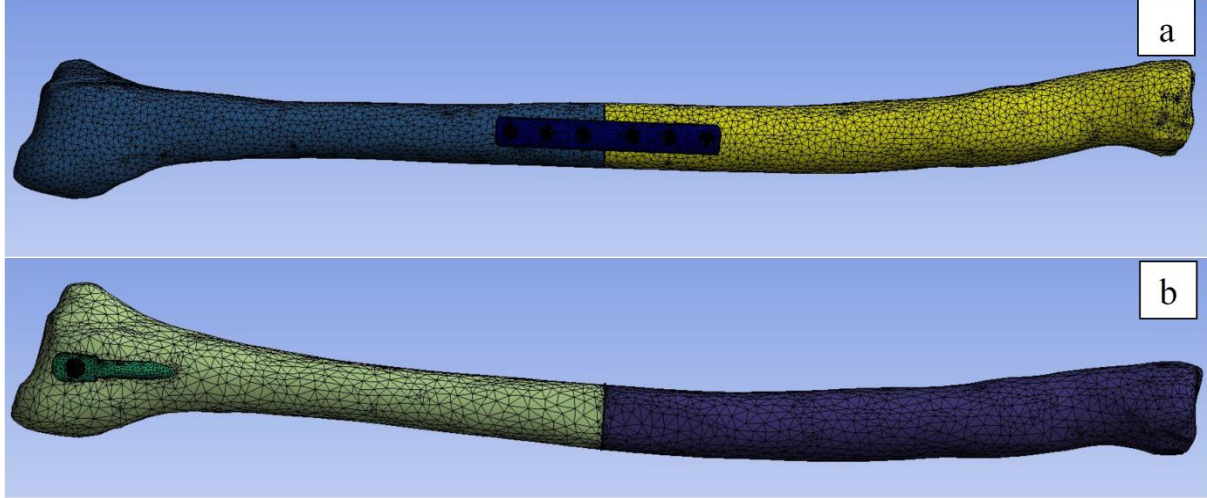
Şekil 1. BT görüntülerinden Radius modelinin elde edilmesi; işlenmemiş BT görüntüsü (a), radius 3B modeli (b)

Radius kırıklarında intramedüller çivi ve plakla tedavi yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla, 18 yaşında bir gönüllüden alınan BT görüntüleri (SIEMENS/ Sensation 40 120KV 153 mAs), 512x512 pixel çözünürlüğü ve 3 mm kalınlığında) MIMICS 14.01 programı aracılığıyla üç boyutlu (3B) model haline getirilmiştir [1]. İlk olarak BT görüntülerinden önkol geometrisi belirlenmiştir. Elde edilen önkol geometrisinden, radius ve ulna kemikleri ayrılmıştır. Oluşturulan radius modeli içerisinde kemik iliği olacak şekilde modellenmiştir (Şekil 1).



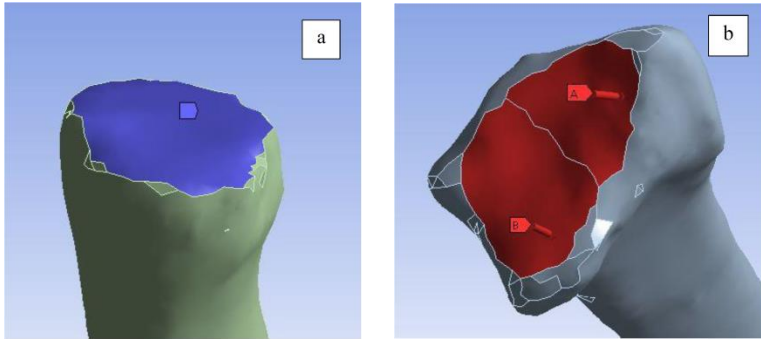
Şekil 2. Plakla fiksasyon yapılmış model (a), intramedüller çivi ile fiksasyon yapılmış model (b)

Elde edilen modellerin hacimsel mesh yapısı MIMICS 14.01 programının 3-matic (V5.1) modülü kullanılarak oluşturulmuştur. MIMICS programında oluşturulan hacimsel mesh yapılarının ANSYS Workbench programına aktarılması için, FEA modülü kullanılmış ve hacimsel mesh yapıları sonlu elemanlar modeline dönüştürülmüştür. Ayrıca sınır şartlarının uygulanacağı kısımlar FEA modülünde belirlenmiştir. Şekil 3'de FEA'da oluşturulan sonlu elemanlar modeli mesh yapıları gösterilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinde intramedüller çivileme yapılan model toplam 331632 eleman, plakla fiksasyon yapılan model toplam eleman 363649 içermektedir. Yapılan analizlerde, dört düğüm noktalı ve her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine sahip olan Solid 72 eleman kullanılmıştır.



Şekil 3. Sonlu elemanlar mesh modelleri; plak fiksasyonu yapılan model (a), intramedüller çivileme yapılan model (b)

Oluşturulan toplam modellerde malzeme özellikleri olarak; kortikal kemik için $E=18,9$ GPa, $\nu=0,4$ [1, 11], kallus için iyileşmenin başlangıç safhaları (3-4 haftalık iyileşme aşamasında) dikkate alınarak $E=5$ GPa, $\nu=0,3$ [1, 12] ve implant modelleri için ise Ti6Al7Nb için $E=114$ GPa, $\nu=0,342$ değerleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde ise el bileği ekleminden radius kemiğine gelen yükler dikkate alınmıştır. Bu bakımdan, aksel yüklenme durumu seçilmiş ve yükler %60 skafoid, %40 lunatum eklem yüzeyinden etki edecek şekilde uygulanmıştır. Ayrıca yapılan analizlerde aksel yüklenme durumu esas alındığı için radius kemiğinin humerus ile eklem yaptığı disk kısmı tüm yönlerden sabitlenmiştir [1, 11, 13, 14] (Şekil 4).



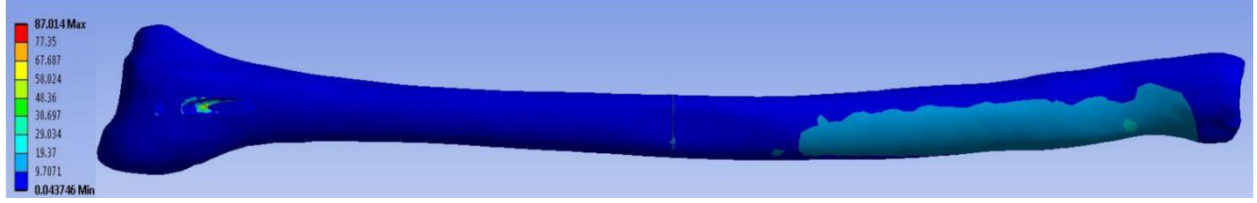
Şekil 4. Sınır şartları; proksimalden sabitleme (a), distal eklem yüzeylerinden yükleme (b)

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

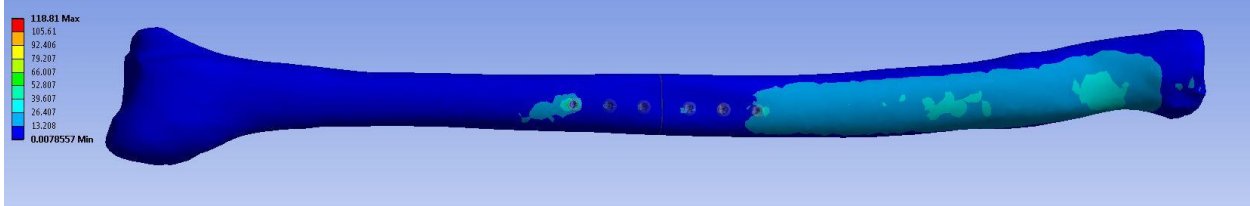
Yapılan analizler sonucunda intramedüller çivi ve plakla yapılan tedavi yöntemlerini karşılaştırma işlemi iki aşamada ele alınmıştır. Kemik-implant yapılarında oluşan gerilmeler ve kallus hareketliliği incelenmiştir.

3.1 Radius Modellerinde Oluşan Gerilmeler:

Radius modellerinde oluşan von Mises gerilmeleri incelendiğinde, plakla fiksasyon yapılan modelde ortalama gerilme değerinin kemik boyunca $13,208$ MPa ve intramedüller çivileme yapılan modelde $9,7071$ MPa değerinde olduğu görülmektedir. Her iki modelde de gerilme seviyeleri maksimum eğilmenin meydana geldiği proksimal kısımda artmaktadır. Bunların yanı sıra her iki modelde de maksimum gerilmeler implantların kemik ile temas ettiği tekil noktalarda görülmüştür (Şekil 5 ve Şekil 6).



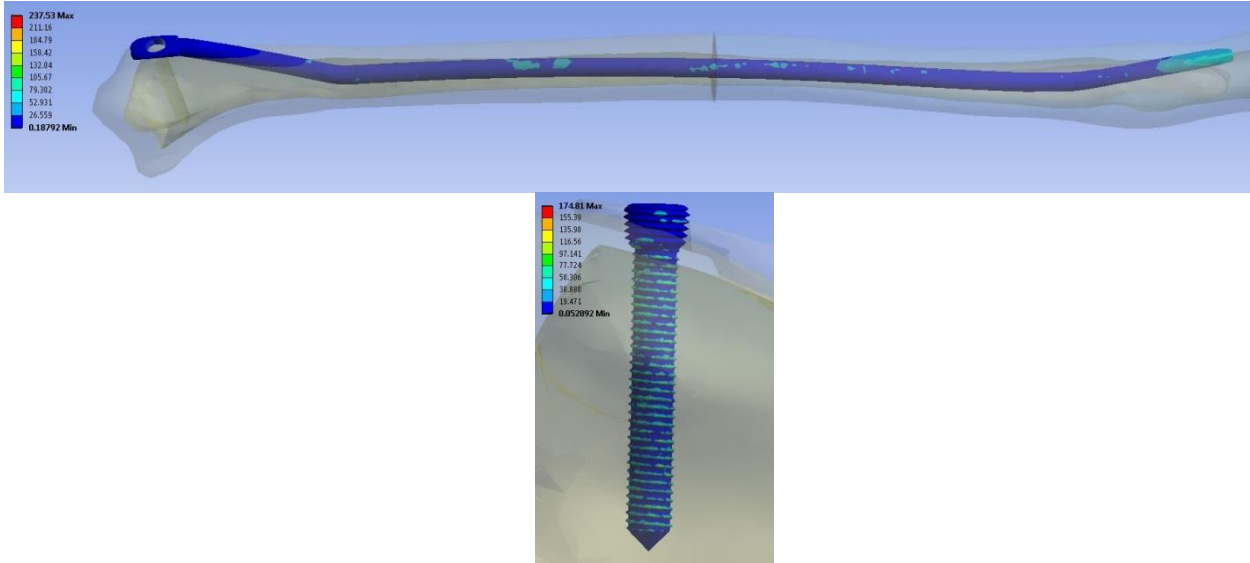
Şekil 5. İntramedüller çivileme yapılan modelde oluşan gerilmeler



Şekil 6. Plak fiksasyonu yapılan modelde oluşan gerilmeler

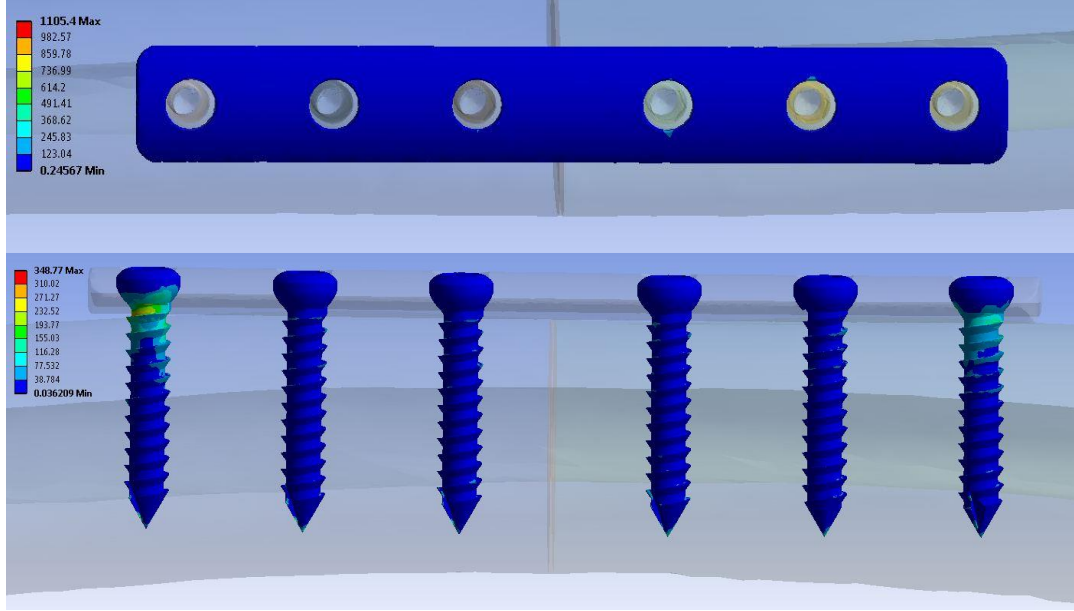
3.2 İmplantlarda oluşan gerilmeler:

Her iki model için, implantlarda oluşan gerilmeler Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. İntramedüller çivileme yapılan modelde, çivide oluşan ortalama von Mises gerilme dağılımı 26,559 MPa, plakla fiksasyon yapılan modelde ise 123,04 MPa'dır. Vida modellerinde oluşan ortalama von Mises gerilme değerleri, intramedüller çivileme yapılan model için 19,471 MPa ve plak modelindeki vidalar için ise 38,784 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 7. İntramedüller çivide ve fiksasyon vidasında oluşan gerilmeler

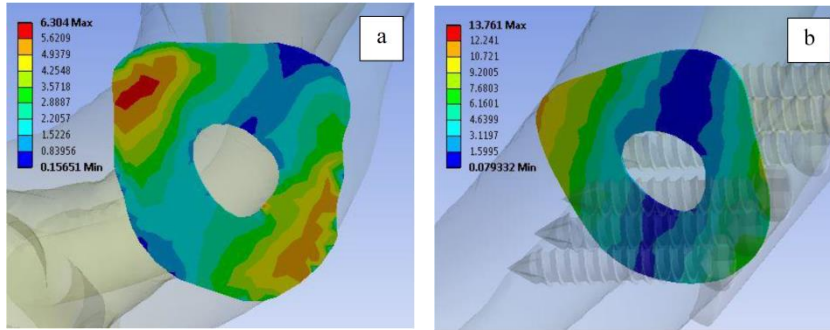
Analiz sonucunda elde edilen gerilme değerleri incelendiğinde, intramedüller çivi ve vida modellerinde gerilme değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, intramedüller çivide kullanılan vida da daha düşük gerilme değerleri elde edilmiştir. Fakat gerilme yığılmaları bakımından intramedüller çivi için kullanılan vida modelinde vida dişlerinde ani gerilme artışları gözlenmiştir. Plak fiksasyon modelinde ise ani proksimal ve distale en yakın vidalarda ise eğilmeye maruz kalmalarından dolayı gerilme artışları meydana gelmiştir. Bunun yanında hem implantlarda hem de fiksasyon vidalarında modellemeden kaynaklanan eksikliklerden dolayı gerçeği yansıtmayan noktasal gerilme değerleri elde edilmiştir.



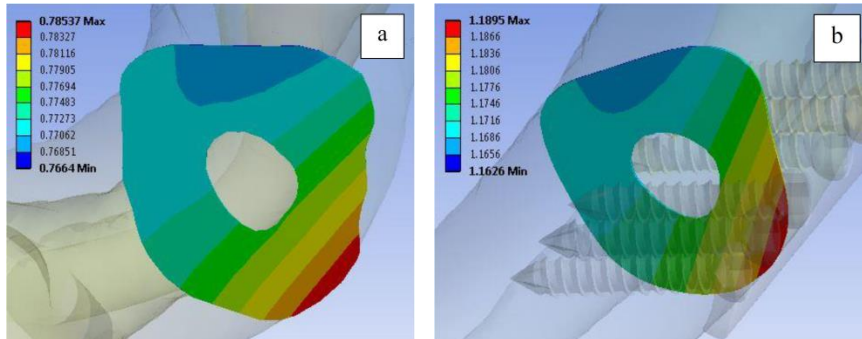
Şekil 8. Plak ve vidalarda oluşan gerilmeler

3.3 Kallus Modeli ve Kallus Hareketliliği

Radius kırıklarında iyileşmenin gecikmemesi ve özellikle kemik geometrisinin bozulmaması için kallus hareketinin mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Bu bakımdan kallus yapısında oluşan deformasyon miktarı ve gerilmeler incelendiğinde; intramedüller çivi ile yapılan fiksasyon modelinde, plak modeline göre gerilme ve toplam deformasyon miktarı daha düşüktür (Şekil 9 ve Şekil 10). Her iki modelde de oluşan maksimum gerilmeler, eğilmeye maruz kalan bölgelerden elde edilmiştir.



Şekil 9. Kallus modellerinde oluşan gerilmeler; intramedüller çivileme yapılan model (a), plakla fiksasyon yapılan model (b)



Şekil 10. Kallus modellerinde oluşan toplam deformasyonlar; intramedüller çivileme yapılan model (a), plakla fiksasyon yapılan model (b)

4. SONUÇLAR

Radius shaft kırıklarında intramedüller çivi ve plak ile yapılan tedavi yöntemlerinde implant-kemik yapısının davranışını ve iyileşmeye olan etkilerini incelemek için yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ✓ Radius kemik modellerinde oluşan gerilmeler açısından intramedüller çivi yapılan modelde, plakla fiksasyon yapılan modele göre daha düşük gerilmeler elde edilmiştir.
- ✓ İmplantlarda oluşan gerilmeler açısından, aynı yükleme şartlarında intramedüller çivilerde plaklara nazaran daha düşük gerilmeler elde edilmiştir.
- ✓ Fiksasyon vidalarında oluşan gerilmeler açısından, intramedüller çivilemede kullanılan fiksasyon vidasında özellikle vida dişlerinde gerilmeler artış göstermektedir. Fakat, oluşan ortalama von Mises gerilmeleri açısından intramedüller çivide kullanılan sabitleme vidasında daha düşük gerilmeler elde edilmiştir.
- ✓ Kallus yapılarında oluşan deplasman ve gerilmeler açısından, intramedüller çivileme yapılan modelde daha düşük gerilme ve deplasmanlar elde edilmiştir. Bu durumda kallus yapısının stabil olması durumunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde ise hem oluşan gerilmeler hem de deplasmanlar bakımından, radius shaft kırıklarında intramedüller çivileme yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bunun yanında yapılan analizlerde bazı eksiklik ve hatalar olduğu da görülmüştür. Analizlerde elde edilen gerilmeler; modelleme ve MIMICS-ANSYS yazılımları arasındaki sonlu elemanlar modeli geçişlerinde oluşan hatalardan implant ve kemik modellerinde noktasal olarak artmıştır. Bu hatalar mevcut modellerle giderilememiştir. Bu bakımdan bu çalışmanın bundan sonraki aşaması, farklı BT görüntülerinden elde edilmiş radius modeli ile sonuçların iyileştirilmesi, implant modellerinin daha detaylı ele alınıp modelleme hatalarının giderilmesi ve farklı yükleme durumlarında elde edilecek sonuçların incelenmesini içermektedir.

KAYNAKLAR

1. Kovacı, H., *Radius intramedüller çivilerde farklı sabitleme pozisyonları ile oluşan mekanik etkilerin sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
2. Weckbach, A., T. Blatter, and C. Weißer, *Interlocking nailing of forearm fractures*. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2006. **126** (5): p. 309-315.
3. Jones, D.J., et al., *A biomechanical comparison of two methods of fixation of fractures of the forearm*. Journal of orthopaedic trauma, 1995. **9**(3): p. 198.
4. Lee, Y.H., et al., *Interlocking contoured intramedullary nail fixation for selected diaphyseal fractures of the forearm in adults*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2008. **90** (9): p. 1891.
5. Houshian, S. and S.K. Bajaj, *Forearm fractures in children:: Single bone fixation with elastic stable intramedullary nailing in 20 cases*. Injury-International Journal of the Care of the Injured, 2005. **36** (12): p. 1421-1426.
6. Burkhart, K.J., et al., *Intramedullary nailing vs. palmar locked plating for unstable dorsally comminuted distal radius fractures: A biomechanical study*. Clinical Biomechanics, 2010. **25**(8): p. 771-775.
7. Claes, L., et al., *Influence of size and stability of the osteotomy gap on the success of fracture healing*. Journal of orthopaedic research, 1997. **15** (4): p. 577-584.
8. Duda, G.N., et al., *Interfragmentary movements in the early phase of healing in distraction and correction osteotomies stabilized with ring fixators*. Langenbeck's Archives of Surgery, 2003. **387** (11): p. 433-440.
9. Kaspar, K., et al., *Angle stable locking reduces interfragmentary movements and promotes healing after unreamed nailing. Study of a displaced osteotomy model in sheep tibiae*. The Journal of Bone and Joint Surgery, 2005. **87** (9): p. 2028.
10. Klein, P., et al., *The initial phase of fracture healing is specifically sensitive to mechanical conditions*. Journal of orthopaedic research, 2003. **21** (4): p. 662-669.
11. Rogge, R.D., B.D. Adams, and V.K. Goel, *An analysis of bone stresses and fixation stability using a finite element model of simulated distal radius fractures*. The Journal of hand surgery, 2002. **27**(1): p. 86-92.
12. Shefelbine, S.J., et al., *Prediction of fracture callus mechanical properties using micro-CT images and voxel-based finite element analysis*. Bone, 2005. **36** (3): p. 480-488.
13. Anderson, D.D., et al., *A three-dimensional finite element model of the radiocarpal joint: distal radius fracture step-off and stress transfer*. The Iowa Orthopaedic Journal, 2005. **25**: p. 108.
14. Troy, K.L. and M.D. Grabiner, *Off-axis loads cause failure of the distal radius at lower magnitudes than axial loads: a finite element analysis*. Journal of biomechanics, 2007. **40** (8): p. 1670-1675.