



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İnsan Femurunda Eksenel ve Yanal Darbe Yüküne Maruz Kalan Kemik-İmplant Sisteminin Analizi

 Okan MADEN ^a,  Kenan TÜFEKÇİ ^{b,*}

^a Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kenantufekci@uludag.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1096478

Öz

Bu çalışmada uyluk (femur) kemiği gövdesinde meydana gelen kırıkları tedavi etmek için halihazırda kullanılan implanta alternatif olarak yeni tasarım implant sunulmuş ve implant-kemik sistemindeki kemik üzerine gelen gerilme azaltılmaya çalışılmıştır. Halihazırda kullanılan implant, üretici katalogdan seçilmiştir. ANSYS 19.2 programında dinamik ve statik analizler gerçekleştirilerek her iki implantın mekanik performansı karşılaştırılmıştır. İmplant-kemik sistemine yatay ve dikey yönlerde 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s hızlarında 80 kg olduğu varsayılan ağırlığın darbe modellemeleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre alternatif yeni tasarım implant kullanılarak eksenel yönden gelen kuvvetin kemikte oluşturduğu gerilme sağlam kemiğe göre %38,7 oranında, eksene dik yönden gelen kuvvetin kemikte oluşturduğu gerilme ise %28,3 oranında azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik, Dinamik ve statik analiz, İmplant

Analysis of Human Femur-Implant System Subjected to Axial and Lateral Impact Loading

ABSTRACT

In this study, proposed alternative implant design that can be used for the treatment of femoral fractures in order to decrease stress distribution on the bone-implant interface especially in the condition of impact loading. The numeric analysis of the most commonly using implant design in orthopedic operations and alternative implant design proposed in this study were performed by ANSYS 19.2, and compared the mechanical performances, both static and dynamic loading conditions. In the analyses, impactor weight were assumed to be 80 kg and impact velocity were chosen as 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. The best performance were obtained in Design 1 as the stresses due to vertical force were reduced in the rate of 38,7% and the stresses due to horizontal force were reduced in the rate of 28,3%.

Keywords: Biomechanic, Dynamic and static analysis, Implant

I. GİRİŞ

Kemikler, insan vücudunun daha yumuşak kısımlarını destekleyen, insan vücudunun korunmasından sorumlu olan, kas yüklerinin, yer çekiminin, genel olarak iç ve dış kuvvetlerin etkisine maruz kalan, doğal, bileşik, canlı dokulardır [1]. Kemik kırığı dış yüklerin oluşturduğu stres birikmesi, sürünme, yorgunluk, bazı hastalıklar (osteoporoz gibi) ve aşırı yüklenme koşullarında (spor kazası, motorlu araç kazası, düşme gibi) meydana gelen kemik bütünlüğünün bozulmasıdır [2], [3].

Kemik kırık tedavisi geliştirmek için yapılan analizlerin birçoğunda statik deneylerden elde edilen veriler ve statik gerilme analizleri kullanılmaktadır. İmplantlarla sabitlenmiş kemikler tedavi sürecinde de darbe yüklerine maruz kalmaktadır. Bu durumda yapılan statik analizler gerçek durumu tam olarak yansıtmamakta ve öngörülmeyen hasarlar meydana gelebilmektedir.

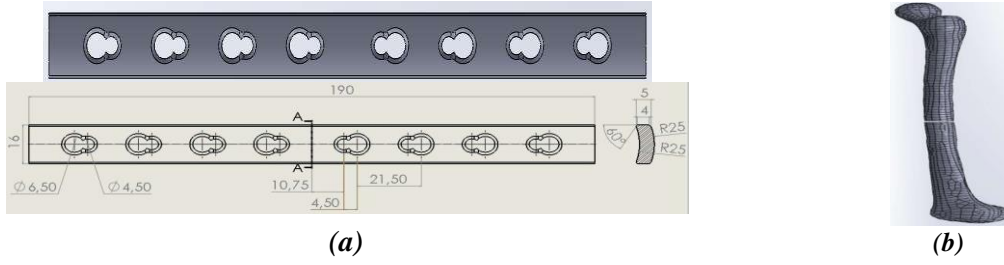
Kemiğin canlı bir doku olması ve kemiğe gerinim ölçer yerleştirip ölçüm yapmaya çalışmanın hem masraflı hem de içerdiği riskler bakımından (enfeksiyon gibi) uygun olmaması nedeniyle kemik-implant sisteminin maruz kaldığı darbe yükleri neticesinde oluşacak gerilme-gerinme değerleri in-vivo deneylerle belirlemek zorlaşmaktadır. Bu yüzden birçok araştırmacı sonlu elemanlar modelleri üzerinde işlem yapmayı tercih etmektedir.

Uyluk (Femur) kemiği, vücuttaki leğen kemiğinden dize uzanan, tek bir parçadan oluşan, insan vücudundaki boyu en fazla, en kuvvetli ve en ağır kemiktir. Bir kişinin farklı vücut duruşu modlarında kalça eklemi ile diz eklemi arasında ayakta kalması veya yürümesi için stabilite ve destek sağlar. Vücudun bütün yükü, bu kemikler aracılığı ile daha aşağıya intikal eder. İnsan vücudundaki maksimum deformasyona ve baskı gerilmelerine maruz kalan kemiktir. Boyu insan boyunun yaklaşık %26'sı ve kütlesi yaklaşık 0,455 kg'dır [4]. Femur gövdesi uzun, ince ve yapı olarak neredeyse silindriktir. Alt ucu üst uçtan daha büyüktür. Kemik ucu yumrusu olarak bilinen iki dikdörtgen tepeden oluşur. Kemiğin duruşu yukarıdan aşağı ve dıştan içe doğrudur. Alt ucu üst ucundan daha arka planda bulunur. Konveksliği öne bakan bir eğrilik gösterir. Kemiğin bir gövdesi, üst ve alt olmak üzere iki ucu vardır. Kemiğin gövdesi kalibre olarak oldukça düzgündür ancak iki ucu oldukça düzensizdir [5].

II. MALZEME VE YÖNTEM

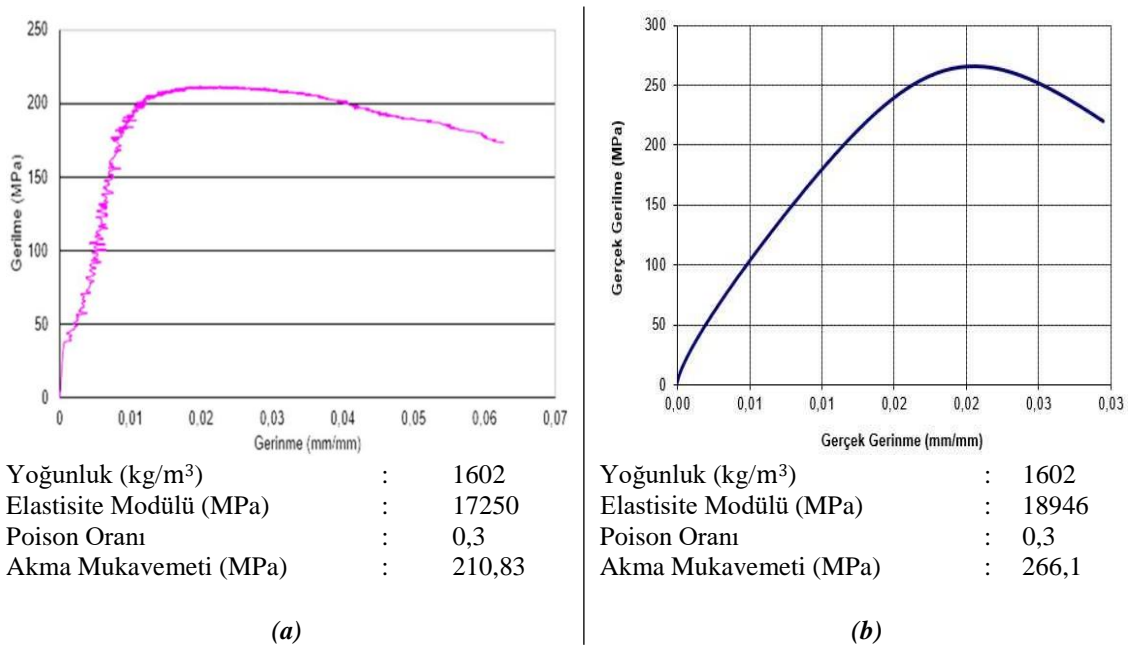
Halihazırda kullanılan implant, üretici kataloglarından seçilmiş [6] ve Mevcut implant olarak adlandırılmıştır. Bu implant kataloglarda verilen ölçüler doğrultusunda Solidworks programında tasarlanarak kırık femur kemiğine dış açılmamış basit vidalar ile montajı yapılmıştır. ATO/AO kırık sınıflandırmasına göre kemiğin gövde kısmından Basit-A tipi transvers olarak kırıldığı varsayılmıştır (Şekil 1b) [7]. Mevcut implant, incelenen kemiğin boyuna uygun olarak toplam uzunluğu 190 mm ve 8 delikli olarak seçilmiştir. İmplant genişliği 16 mm ve kalınlığı 5 mm'dir. Vida yuvaları Ø4,5 mm ve Ø6,5 mm çaplarında ve birbirlerine geçmiş şekilde olup eğrilik yarıçapı 25 mm'dir (Şekil 1a) [8].

Femur kemik geometrisi bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinin DICOM (Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim) formatında kaydedilip Mimics (Materialize Interactive Medical Image Control System) yazılımına aktararak oluşturulur [9]. Oluşturulan model Solidworks programına aktarılmıştır. Femur kemik modeli 15014 düğüm ve 75138 elementten oluşmuştur. Ayrıca kemik diyafiz açısı 140°, mekanik eksen ölçüsü yaklaşık 5,5° olup maksimum uzunluk 413 mm ve gövde çapı ortalama 85,5 mm'dir.



Şekil 1. (a) Mevcut İmplant model ve teknik resmi, (b) Kırık kemik modeli

Analizlerde kullanılacak kemik malzemesi özelliklerini belirlemek için insan femur kemiğine osteonel olarak benzeyen at kemiği kullanılarak Split Hopkinson Pressure Bar deney sistemi ile dinamik basma ve konvensiyonel cihazlar kullanılarak statik basma deneylerinden elde edilmiş veriler kullanılmıştır (Şekil 2) [10]. Tüm implant ve vidalarda malzeme olarak Ti-6Al-4V kullanılmıştır (Tablo 1) [11].

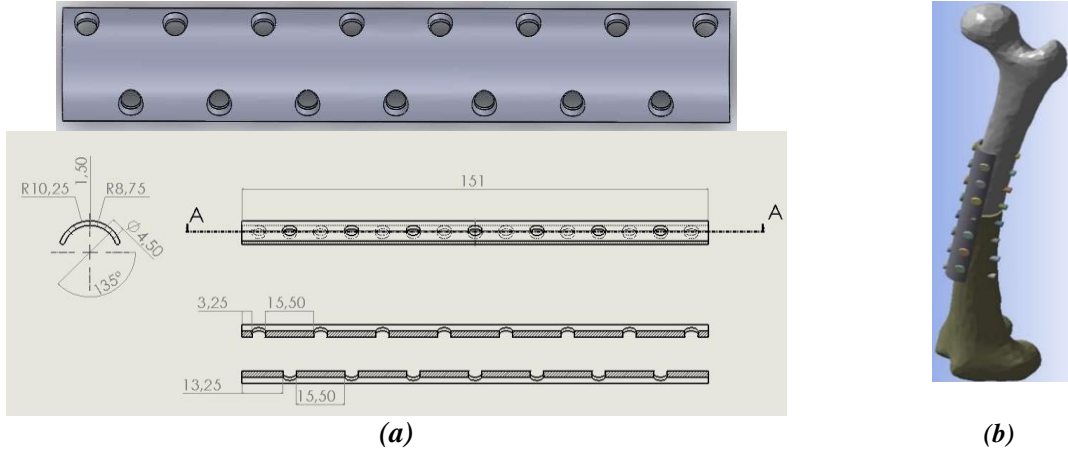


Şekil 2. Kemik malzeme özellikleri (a) Statik basma eğrisi, (b) Dinamik basma eğrisi.

Tablo 1. Ti-6Al-4V malzeme özellikleri.

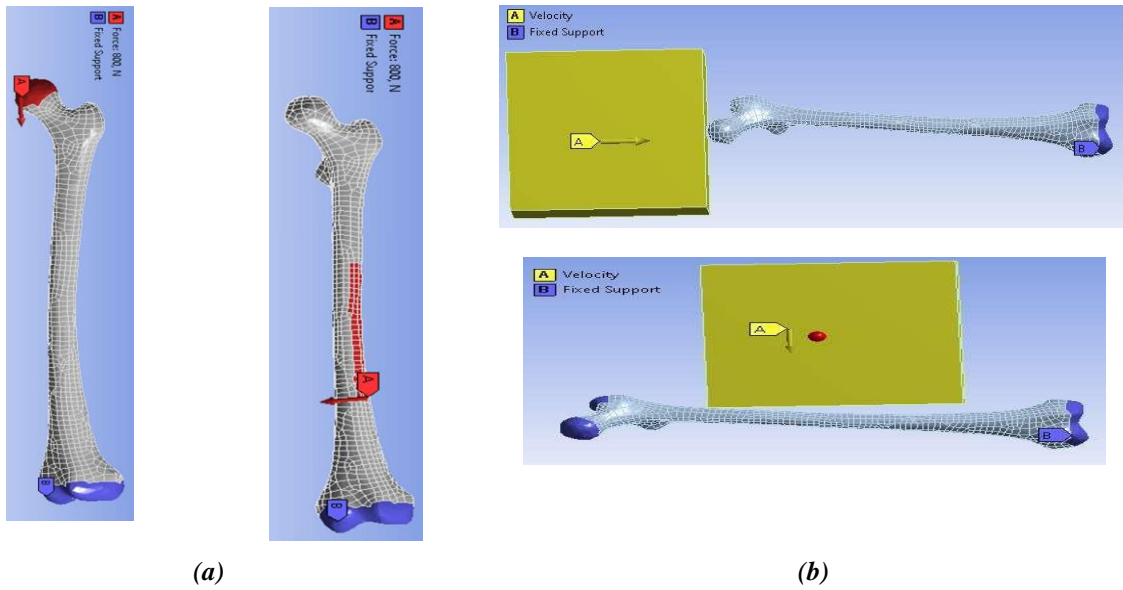
Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poiss— on Oranı	Akma Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)
Ti-6Al-4V	4419	113800	0,342	880	950

Mevcut tasarıma alternatif olarak geliştirilen implant tasarımı Solidworks programında tasarlanmış ve Alternatif tasarım implant olarak adlandırılmıştır. Mevcut tasarımda vidalar kemiğe aynı eksen üzerinde ve aynı açı ile montajlanırken yeni alternatif tasarımda vidalar kemiğe iki farklı eksen üzerinde ve simetrik açılarla montajlanmıştır. Böylece daha sıkı bağlama ve hareket sırasında çözülme özellikleri kazandırılması amaçlanmıştır. Yeni tasarım implant; toplam boyu 151 mm, et kalınlığı 1,5 mm ve eğrilik yarıçapı 10,25 mm, vida delik çapları 4,5 mm, delikler arası uzaklık 15,5 mm ve vida yuvaları merkez eksen ile 45° yapacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Yeni tasarım implant (a) model ve teknik resmi, (b) Montajlı hali.

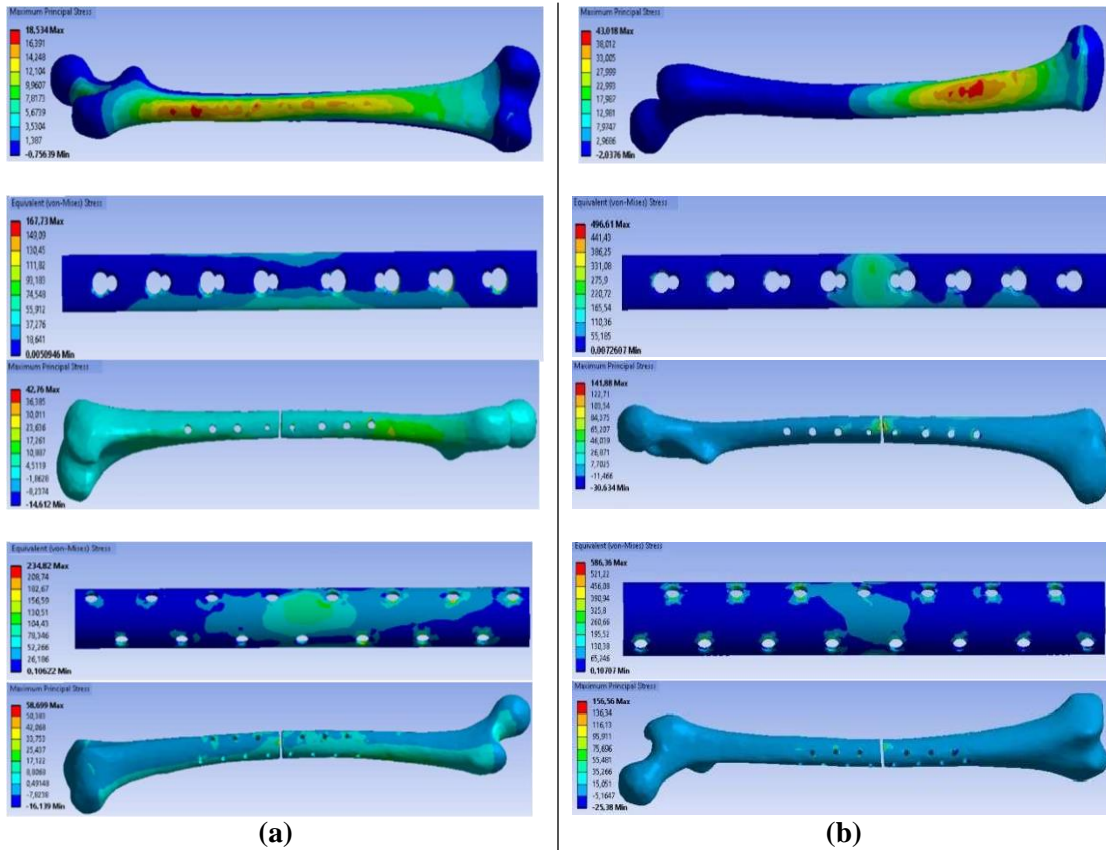
Kırık kemik-implant sistemlerini oluşturan bileşenlerin aralarındaki kontak ilişkisi olarak birbirine bağlı, temas yüzeyleri birbiri üzerinden kayabilir ama birbirlerinden ayrılamaz olarak tanımlanmıştır. Mesh özelliği olarak tetragonal, 3 boyutlu, 8 düğümlü yüzey temas elemanı olarak tanımlanmıştır. Mesh boyutu implantlar için en küçük 2 mm, kemik için en küçük 4 mm, vidalar için en küçük 3 mm olarak belirlenmiştir. Toplam mesh eleman sayısı 150000 ve düğüm sayısı 105000 civarı olmaktadır. Oluşturulan sistemlerin statik ve dinamik analizleri ANSYS Workbench 19.2 programında yapılmıştır. Analizler için insan ağırlığı 80 kg ve insan ayakta durduğunda bu kuvvetin direkt femur kemiğine geldiği kabul edilmiştir. Statik analiz modelinde kuvvet (800 N) aksel ve eksene dik olarak ayrı ayrı uygulanmıştır. Solak [12] yaptığı çalışmada, uyluk ve kaval kemiklerinin araç çarpması sonucu kemiklerde meydana gelen değişimlerini inceleyerek aracın yaya bacak koruma aparatı için sonuçlar elde etmiştir. Analiz modellemesini kuvvet, kemik gövdesine gelecek şekilde ve tek noktadan sabitleyerek belirlemiştir. Bu modelleme şekli, incelenen kemik-implant sistemlerinin eksene dik gelen kuvvetin etkisi analiz edilirken uygulanmış olup mesnetleme şartı olarak proximal epifiz serbest bırakılmış, distal epifiz ise sabitlenmiştir. Aksel kuvvetin kemik-implant sistemine etkisini incelemek için ise kuvvet, femur baş kısmından uygulanmış olup distal kısımdan mesnetleme yapılarak modellenmiştir. (Şekil 4a). Dinamik analiz modelinde kırık kemik-implant sistemine çarpan cismin ağırlığı 80 kg olarak kabul edilmiştir ve cismin hızı 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, zaman 60 ms alınmıştır (Şekil 4b). Bu hızlarda femur başı çatlamadan veya kırılmadan önceki gerilme değerleri görülmüştür.



Şekil 4. a) Statik modelleme, b) Dinamik modelleme

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İncelenen sistemlerin ve sağlam kemiğin ANSYS 19.2 programında yapılan statik analiz görsel sonuçları Şekil 5’te, sayısal analiz sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Statik analiz sonuçlarına göre kırık kemik-implant sistemlerinde aksel ve eksene dik uygulanan kuvvetin kemik üzerinde oluşturduğu gerilmeler sağlam kemikte oluşan gerilme değerinin üzerinde değerler ortaya çıkarmıştır. Aksel ve eksene dik uygulanan statik kuvvetin oluşturduğu gerilmeler, implant-kemik sistemlerini oluşturan elemanların tümünün kendi akma gerilmelerinden daha az gerilme oluşturduğunu göstermektedir.

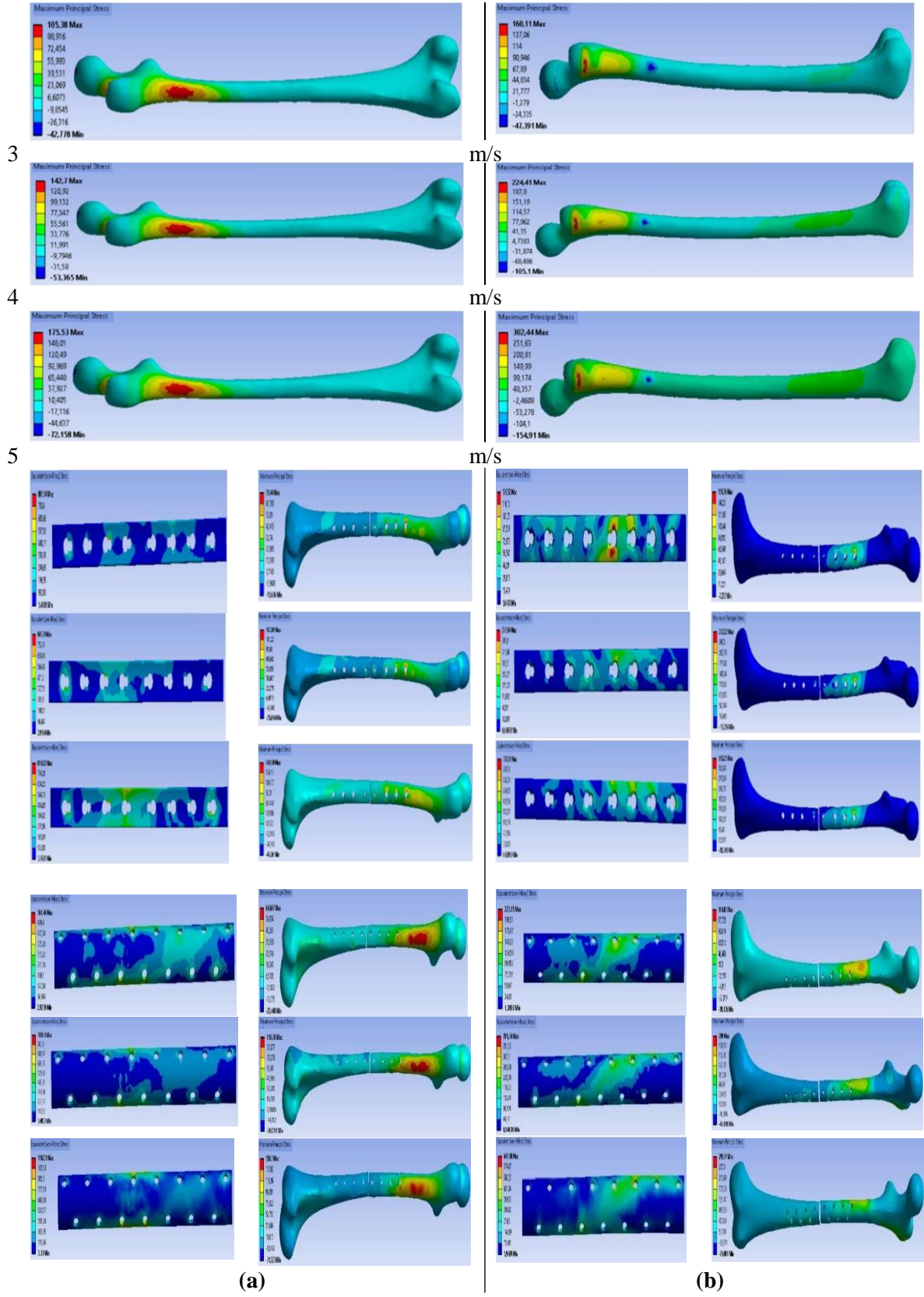


Şekil 5. a) Aksel yüklemeye, b) Eksene dik yüklemeye statik analiz sonuçları.

Tablo 2. Sistemlerin statik analiz sonuçları.

Statik Analiz	Eksenel Kuvvet		Eksene Dik Kuvvet	
	İmplant von-Mises Gerilme (MPa)	Kemik Asal Gerilme (MPa)	İmplant von-Mises Gerilme (MPa)	Kemik Asal Gerilme (MPa)
Mevcut İmplant- Kemik Sistemi	167,73	42,76	496,61	141,88
Alternatif Tasarım İmplant-Kemik Sistemi	234,82	58,699	586,36	156,56
Sağlam Kemik	-	18,534	-	43,018

İncelenen mevcut implant sistemlerinin ve sağlam kemiğin 3 m/s, 4 m/s ve 5 m/s çarpma hızlarındaki dinamik analiz sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sistemlerin (a) Eksenel yükleme, (b) Eksene dik yükleme dinamik analiz sonuçları.

Kemik-implant sistemleri ve sağlam kemiğin dinamik analiz sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Kemik-implant sistemlerin aksel yüklemeye dinamik analiz sonuçları.

Dinamik Analiz	Eksenel Kuvvet Etkisi					
	İmplant (von-Mises Gerilmesi-MPa)			Kemik (Asal Gerilme-MPa)		
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s
Mevcut İmplant-Kemik Sistemi	881,14*	845,79	814,35	71,44	117,01	147,69
Alternatif Tasarım İmplant-Kemik Sistemi	561,46	1038,8*	1162,1*	64,607	110,78	158,1
Sağlam Kemik	-	-	-	105,38	142,7	175,53

*Malzeme akma mukavemetini geçen değerler.

Mevcut implant-kemik sistemindeki hali hazırda kullanılan implantın üzerinde oluşan gerilmenin çarpma hızı arttıkça azaldığı görülmüştür. Mevcut İmplant düşük çarpma hızında kemiğe aktarılan yükü daha fazla absorbe edebilmektedir. İmplantın çarpma hızı 4 m/s'de kemik üzerinde oluşan gerilmeyi %18 oranında azaltmıştır. Alternatif tasarım implant-kemik sisteminde tasarlanan implantın 3 m/s çarpma hızında kemikte oluşan gerilmeyi %38,7 oranında azalttığı görülmüştür. İmplantın 4 m/s ve 5 m/s çarpma hızlarında oluşan gerilmelerin akma gerilmesini aştığı görülmüştür.

Tablo 4. Sistemlerin eksene dik yüklemeye dinamik analiz sonuçları.

Dinamik Analiz	Eksene Dik Kuvvet Etkisi					
	İmplant (von-Mises Gerilme-MPa)			Kemik (Asal Gerilme-MPa)		
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s
Mevcut İmplant-Kemik Sistemi	130,52	271,94	337,11	158,76	272,22*	365,25*
Alternatif Tasarım İmplant-Kemik Sistemi	223,15	395,34	645,58	117,83	209	299,91*
Sağlam Kemik	-	-	-	160,11	224,41	302,44*

*Malzeme akma mukavemetini geçen değerler.

İmplant-kemik sistemdeki hali hazırda kullanılan implant monte edildiği kırık kemiği 4 m/s ve 5 m/s çarpma hızlarında koruyamadığı ve bu iki çarpma hızında kemikte oluşan gerilmeler akma gerilmesini (266,1 MPa) aştığı görülmüştür. Alternatif tasarım implant-kemik sisteminde 3 m/s çarpma hızında kemik üzerinde oluşan gerilme değeri sağlam kemikte oluşan gerilmeye göre %28,3 oranında azaldığı görülmüştür.

IV. SONUC

Bu çalışmada hali hazırda kullanılan implanta alternatif olabilecek yeni bir implant tasarımı gerçekleştirilmiş ve her iki implantın statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik analiz sonuçlarına göre mevcut implant-kemik sisteminde aksel yönde kemik üzerine gelen gerilme 42,76 MPa ve eksene dik yönde kemik üzerine gelen gerilme 141,88 MPa iken alternatif tasarım implant-kemik sisteminde aksel yönde kemik üzerine gelen gerilme 58,699 MPa ve eksene dik yönde kemik

üzerine gelen gerilme 156,56 MPa'dır. Mevcut implant statik kuvvet altında alternatif tasarım implanta göre daha iyi bir performans göstermektedir. Dinamik analizler sonucunda ise mevcut implant-kemik sisteminde eksenel yönde 4 m/s çarpma hızında kemik üzerine gelen gerilme 117,01 MPa ve eksene dik yönde 3 m/s çarpma hızında kemik üzerine gelen gerilme 158,76 MPa iken alternatif tasarım implant-kemik sisteminde eksenel yönde 3 m/s çarpma hızında kemik üzerine gelen gerilme 64,607 MPa, eksenel yönde 4 m/s çarpma hızında kemik üzerine gelen gerilme 110,78 MPa ve eksene dik yönde 3 m/s çarpma hızında kemik üzerine gelen gerilme 117,83 MPa'dır. Alternatif tasarım implant dinamik kuvvet altında mevcut implanta göre daha iyi bir performans göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] P. S. Senthil Maharaj, R. Maheswaran, A. Vasanthanathan, "Numerical analysis of fractured femur bone with prosthetic bone plates," *Procedia Engineering*, vol. 64, pp. 1242-1251, 2013.
- [2] A. Bettamer, "Prediction of proximal femur fracture: finite element modeling based on mechanical damage and experimental validation," Ph.D. dissertation, Doctorale School for Sciences and Technology, University of Orleans, France, 2013.
- [3] S. Das and S. K. Sarangi, "Finite element analysis of femur fracture fixation plates," *International Journal of Basic and Applied Biology*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2014.
- [4] U. Mughal, H. A. Khawaja, M. Moatamedi, "Finite element analysis of human femur bone," *International Journal of Multiphysics*, vol. 9, no. 2, pp. 101-108, 2015.
- [5] W. Chang, "Computer aided stress analysis of the femur with prosthetic hip stem utilizing computed tomography," PhD dissertation, Department of Mechanical and Industrial Engineering, New Jersey Institute of Technology, USA, 1994
- [6] Tipmed Medikal. (2022, 16 Mart). *Traditional plate systems* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.tipmed.com/catalogue/6-celik_plak/celik_plak.html?iframe=true&width=980&height=600
- [7] F. Bayram, "Femur kemik kırıklarının bilgisayar destekli sınıflandırılması," Doktora tezi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2016.
- [8] Medikal EXPO. (2022, 16 Mart). *Femur compression plate* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.medicalexpo.com/prod/tst-orthopedic-implants/product-70382-702198.html>
- [9] P. K. Satapathy, B. Sahoo, "Finite element analysis of functionally graded bone plate at femur bone fracture site," *Materials Science and Engineering*, vol. 330, 012027, 2017.
- [10] K. Tüfekçi, "Gerinim hızının kortikal kemiğin mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.
- [11] D. S. Angadi, "Biomechanical analysis of femoral fracture fixation using the expert adolescent lateral femoral nail system," PhD dissertation, School of Clinical and Experimental Medicine, University of Birmingham, England, 2017.

[12] H. A. Solak, "Taşıt bölge tasarım parametrelerinin yaya bacak koruma performansına etkileri," Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.