

PARSİYEL ENDOPROTEZ ARTROPLASTİSİNDE İNKLİNASYON AÇISININ VE KEMİK ÇİMENTOSU İLAVESİNİN GERİLME DAĞILIMINA ETKİSİ

Murat Yavuz SOLMAZ*, **İsmail Hakkı ŞANLITÜRK**** ve **Aydın TURGUT**

*mysolmaz@firat.edu.tr Fırat Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, 23119, Elazığ

**ihsanliturk@firat.edu.tr Fırat Üniversitesi, Makine Müh. Bölümü, 23119, Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada, insan femurunun hasarı neticesinde gerçekleştirilen parsiyel endoprotez artroplastisinde, inklınasyon (kollodiyafizer) açısının ve kemik çimentosu (polimetilmetakrilat) ilavesinin femur ve implant üzerindeki gerilme dağılımına etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. İmplant malzemesi olarak ülkemizde ve dünyada sıklıkla tercih edilen Ti6Al4V seçilmiştir. Sayısal çalışmada SolidWorks 2010 programı kullanılarak femurun ve implantın katı modeli oluşturulmuş daha sonra bu model ANSYS Workbench 12.0 kullanılarak 120, 125, 130, 135 ve 140° olmak üzere 5 farklı inklınasyon açısı için kemik çimentolu (polimetilmetakrilat) ve kemik çimentosuz olarak gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Modellerin tamamında anteversion açısı 12.5° olarak kabul edilmiştir. Sonuçta inklınasyon açısı artışı ve kemik çimentosu ilavesinin femur ve implant üzerinde meydana gelen gerilme değerlerini azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: İnsan Femuru, Inklınasyon açısı, Polimetilmetakrilat, Gerilme analizi, ANSYS, Anteversion açısı.

ABSTRACT

In this study, in the partial endoprotez arthroplasty implemented after damage of human femur, effect of inclination (kollodiyafizer) angle and bone cement (polimetilmetakrilat) filling on the stress distribution of the femur and implant was investigated numerically. As an implant material, Ti6Al4V which is preferred commonly both in our country and in the world was chosen. In the numerical study, solid models of the implant and femur were created by using SolidWorks2010 package program then stress analysis for five different inclination angles which are 120, 125, 130, 135 and 140° respectively, was carried out with and without bone cement (polimetilmetakrilat) by using ANSYS Workbench 12.0 package program. Anteversion angle was assumed to be 12.5° for all models. As a result of the inclination angle increases and the addition of bone cement, stress values occurred on the femur and implant was determined to reduce.

Keywords: Human femur, Inclination angle, Polymethylmethacrylate, Stress analysis, ANSYS, Anteversion angle.

1. GİRİŞ

Gerçek hayatta trafik ve iş kazaları, sportif faaliyetlerdeki kazalar, ani vücut hareketleri gibi birtakım olaylar sonucunda, insan vücudunda kemik kırıkları meydana gelebilmektedir. Bu kırıkların tedavi yöntemleri, kırığın şekli ve büyüklüğü ve vücuttaki yerine göre çeşitlilik arz eder.

Bu kırık tipleri arasında en çok rastlanılanlardan birisi de femur (kalça kemiği) boyun kırıklarıdır. Femurun boyun bölgesinden kırılması sonucunda, bu bölgedeki kalça eklemi fonksiyonunu yitirmiş olur. Bu fonksiyonun tekrar kazanılması amacıyla femurun boyun ve baş kısımlarının görevini görmesi amaçlanan ve femur kanalı içine yerleştirilen metal kalça protezleri kullanılır. Protezlerin sabitlenmesi ise çoğu uygulamalarda kemik çimentoları yardımı ile yapılır. Ancak bugüne kadar yapılan bazı uygulamalarda, tedaviden belli bir süre sonra kemikte, çimentoda veya protezde ikinci bir kırılma veya gevşeme gibi istenmeyen bazı durumların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu duruma hastanın ani veya uzun süreli vücut hareketleri, kemik, çimento ve protez üçlüsünün farklı mekanik özellikleri, ameliyat sırasında iki malzeme ara yüzeyinde oluşan kusurlar, vücuttaki fizyolojik bozuklar, protez şekli ve malzemesi, çimento kalınlığı gibi bir çok faktörün etki ettiği söylenebilir.

Çömelekoğlu ve arkadaşları, normal ve osteoporotik sıçan kortikal femurunun biyomekanik özelliklerini hem deneysel biyomekanik analiz hem de sonlu elemanlar analizi (SEA) ile değerlendirmiş ve elde ettikleri sonuçlar ışığında, klinik uygulamada osteoporotik hastalarda sonlu elemanlar analizi ile kemiğin biyomekanik kalitesinin in vivo olarak belirlenebileceğini göstermişleridir[1]. Wirtz ve arkadaşları, proximal femurun anizotropik sonlu eleman modelini oluşturmak ve cortical ve cancellous kemiğin malzeme özellikleri ile ilgili literatürdeki mevcut bilgiye katkı yapmak için 2000 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmalarında elastisite modülü, çekme, basma ve burulma mukavemeti, poisson oranı ve kayma modülü mekanik özellikleri deneysel olarak tespit etmişlerdir [2]. Mizobuchi ve arkadaşları, burulma yüküne maruz tavşan femurunun mekanik özellikleri üzerine kalsiyum fosfat çimentosu ilavesinin etkisini araştırdıkları bir çalışmalarında kalsiyum fosfat ilavesinin uzun kemiklerin burulma mukavemetini arttırdığını öne sürmüşlerdir [3]. Pasinli, 2004 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmada biyomedikal uygulamalarda kullanılan metalik ve metalik olmayan biyomalzemeler ve bu malzemelerin biyouyumluluğu hakkında bu konudaki araştırmacıların faydalanabileceği bir çalışmasını yayınlamıştır [4]. Sabatini ve Goswami, birkaç farklı implant gövdesini konu alan çalışmalarında farklı kesit alanına sahip gövdeler için sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmişlerdir. Gövdeleri von-mises gerilmelerini göz önüne alarak karşılaştırmışlardır[5]. Andriacchi(1977) Finite Element Metodu ile diz eklemine hareket ve kuvvet değişimini analiz eden bir model geliştirmiştir. Ligamanlar, eklem kapsülü doğrusal olmayan yaylar şeklinde temsil edilmiş ve eklem yüzeyleri düz yüzeyler olarak modellenmiştir [6]. Mutlu ve arkadaşları, uyluk kemiğinin BDT tabanlı katı modele dönüştürülmesi için yaygın olarak kullanılan dört farklı yöntemin tasarım ve analiz açısından avantajları ve dezavantajlarını tanımlayarak karşılaştır. Karmaşık modelin analizinde sonuçlara daha hızlı ulaşılmak istendiğinde tersine mühendislik programının, fakat birebir modelin elde edilip daha kesin sonuçlara ulaşılmak istendiğinde ise tasarım programının seçilmesinin daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir [7].

Bu çalışmanın amacı, parsiyel endoprotez artroplastisinde kullanılan implantlardaki inklınasyon (kollodiyafizer) açısının ve bu ameliyatların kemik çimentolu ve kemik çimentosuz olarak gerçekleştirilmesi durumunda kemik çimentosu ilavesinin kemik ve implant üzerinde meydana gelecek gerilme dağılımlarına etkisini tespit etmektir. Bu amaçla SolidWorks programı kullanılarak insan femuru ve 5 farklı inklınasyon açısına sahip implantların modelleri oluşturulmuş ve oluşturulan bu modeller Ansys Workbench paket programına aktararak gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir.

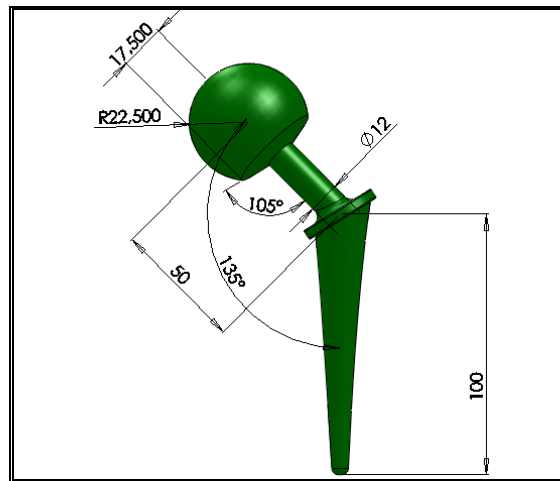
2. MATERYAL VE METOT

Oluşturulan katı modellerde, implant malzemesi olarak Ti6Al4V, kemik olarak insan femuru ve kemik çimentosu olarak polimetilmetakrilat kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [2, 5].

	Ti6Al	Femur	Çimento
Yoğunluk (kg/m ³)	4428.8	2000	1200
Elastisite Modülü (GPa)	104	20	2.6
Poisson oranı	0.31	0.37	0.3
Çekme akma dayanımı (MPa)	1050	80	55
Basma akma dayanımı (MPa)			73
Çekme kopma dayanımı (MPa)			73
Basma kopma dayanımı (MPa)			124

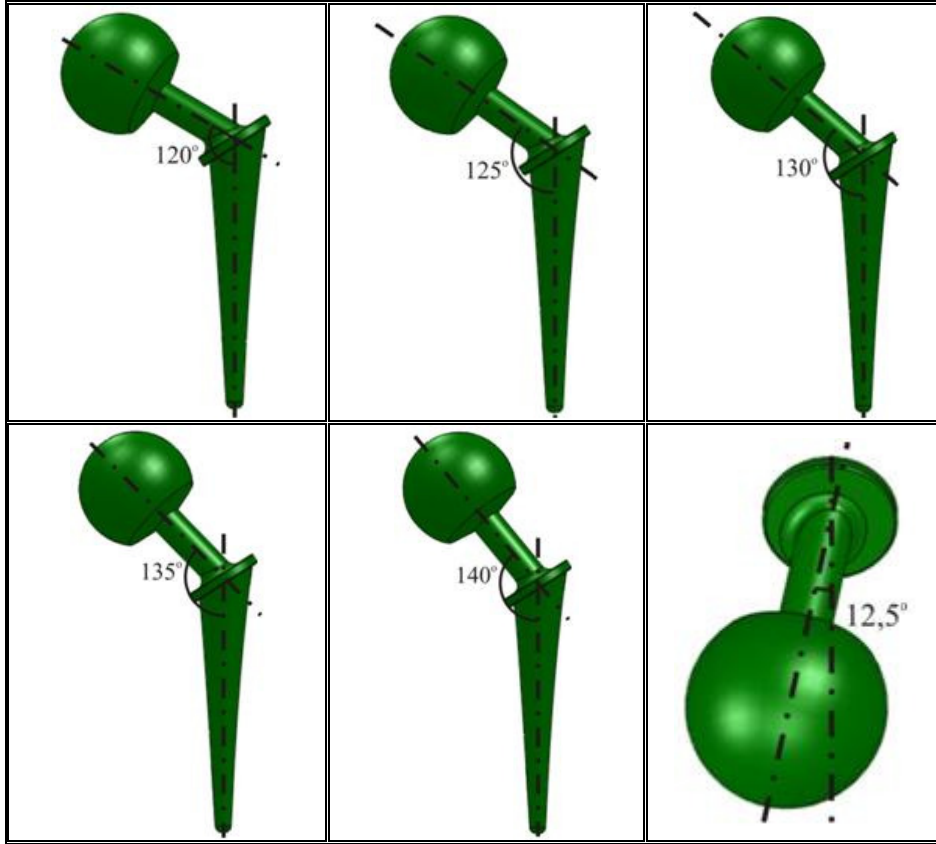
Çalışmada 120, 125, 130, 135 ve 140° olmak üzere 5 farklı inklınasyon açısına sahip 3-boyutlu implant modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan implant modellerinin tamamında anteversion açısı 12.5° olarak alınmıştır. Şekil 1 de çalışmada kullanılan implantın boyutları gösterilmiştir.



Şekil 1. İmplant boyutları

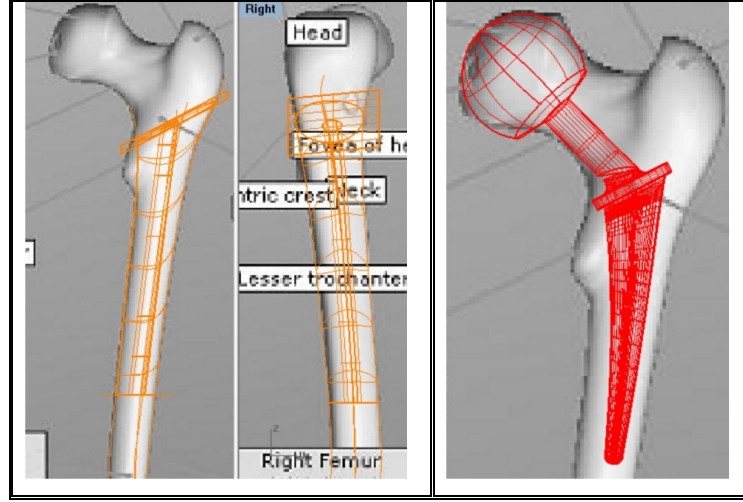
Şekil 2 de, SolidWorks (2010) programı kullanılarak oluşturulan farklı inklınasyon açısına sahip katı modeller verilmiştir. Katı modeli oluşturulan implantın yerleştirildiği insan femur kemiğinin ön ve yan görünüşleri ile ölçüleri Fundamentals Of Biomechanics (Knudson) isimli kitaptan alınmıştır. Ön ve yan görünüşler ölçüleri doğrulayacak şekilde ölçeklendirilmiş ve bu görünüşler üzerinden modelleme yapılmıştır (Şekil 3). Model

öncelikli olarak yüzey olarak oluşturulmuş, üst ve alt yüzeylerin yerleştirilip kapalı bir cisim oluşturmasıyla katıya çevrilmiştir.

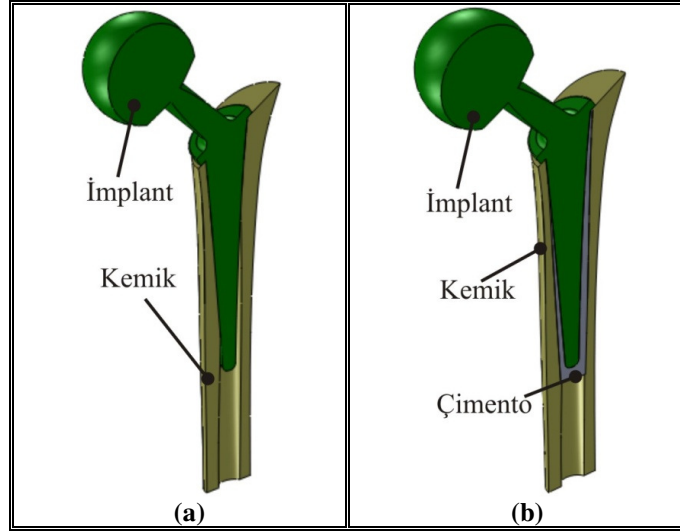


Şekil 2. 12.5° lik anteversion açısına göre oluşturulmuş farklı inklinasyon açılarına sahip implant modelleri.

Parsiyel endoprotez artroplastisinde bazı uygulamalarda kemik çimentosu kullanılmazken bazı uygulamalarda ise implantın femur içerisinden çıkmasını engellemek için kemik çimentosu ilavesi söz konusu olmaktadır. Çalışmamızda her iki durum içinde analizler gerçekleştirilmiş, anteversion ve femoral boyun açıları Avrupa Patent Ofisi'nde kayıtlı EP 1 787 581 A1 kodlu patentteki ölçümlere göre modele aktarılmıştır [8]. Şekil 4 de implant ve kemik çimentosunun femur içerisine yerleştirildiği montaj halindeki katı model gösterilmiştir.



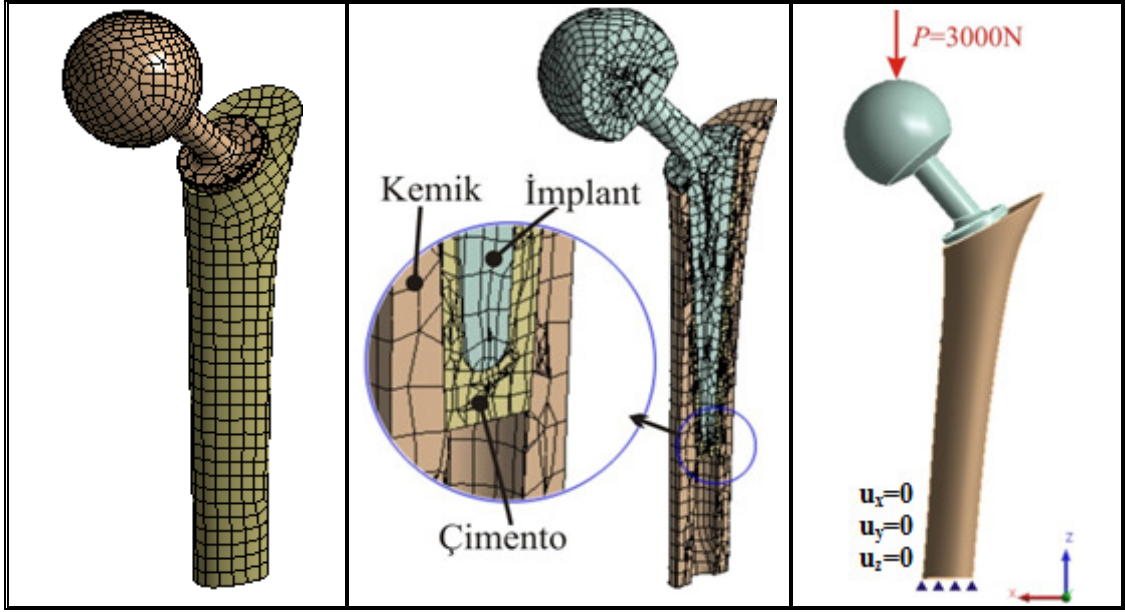
Şekil 3. İmplant ve femurun boyutlandırılmasında kullanılan referans resim.



Şekil 4. Femur içerisine yerleştirilmiş implant modeli. **a)** çimentosuz ve **b)** çimentolu

SolidWorks da katı model oluşturulduktan sonra oluşturulan model Ansys Workbench 12.0 programına aktarılmış ve gerekli analizler bu program yardımı ile yapılmıştır. Şekil 5 de Ansys paket programına aktarılan modellerin ağ yapısı, sınır şartları ve yükleme durumu gösterilmiştir.

Ansys de oluşturulan modellerde tüm parçalar birbirine yapışmış (bonded) olarak kabul edilmiştir. Ansy Workbench, oluşturulan femur, implant ve kemik çimentosu için eleman tipini 8 düğümlü 6 serbestlik derecesine (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY ve ROTZ) sahip katı elemanlar olarak kendisi atamıştır.



Şekil 5. Katı modellerin ağ yapısı, sınır şartları ve yükleme durumu[5].

Şekil 5 deki yükleme şartlarına göre oluşturulan katı modelde femur kemiğinin alt yüzeyindeki tüm düğümlerde x, y ve z-yönündeki yer değiştirmelerin sıfır ($u_x = u_y = u_z = 0$) olduğu kabul edilmiştir. İmplantın femur başını oluşturan kısmına ise z-ekseni doğrultusunda 3000 N'luk düşey kuvvet uygulanarak lineer gerilme analizi gerçekleştirilmiştir [5].

Gerilme analizleri gerçekleştirilen modellerin eleman ve düğüm sayıları Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Sonlu eleman modellerinde kullanılan düğüm ve eleman sayıları.

	Düğüm Sayısı		Eleman Sayısı	
	Çimentosuz	Çimentolu	Çimentosuz	Çimentolu
120	24308	43836	7885	14163
125	25927	43879	8328	14165
130	24576	44875	8002	14740
135	24681	44434	7957	14456
140	25091	44291	8154	14350

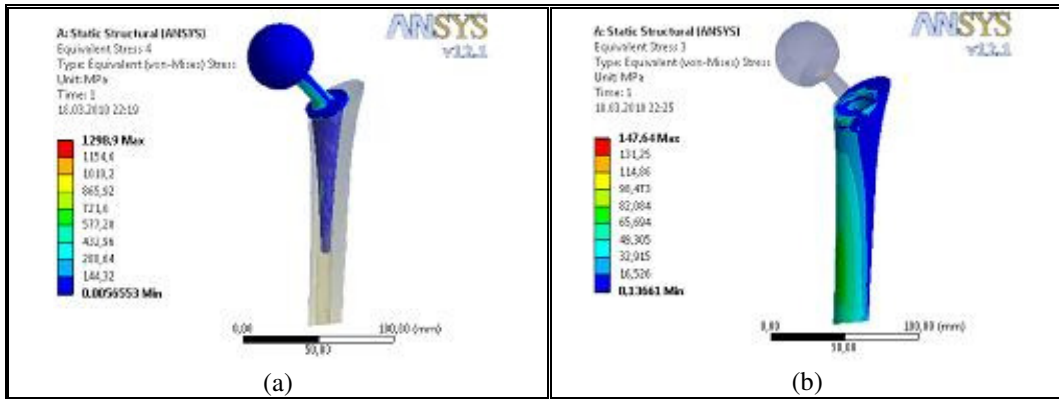
3. SONUÇLAR VE İRDELEME

120, 125, 130, 135 ve 140° olmak üzere 5 farklı inklinasyon açısı ve kemik çimentosu ilavesinin gerilme dağılımına etkisi sayısal olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar implant (Ti6Al4V), femur ve kemik çimentosu (polimetilmetakrilat) için Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Farklı inklınayon açılarında implant, femur ve kemik çimentosu üzerinde meydana gelen Von-Misses ve asal gerilme değerleri.

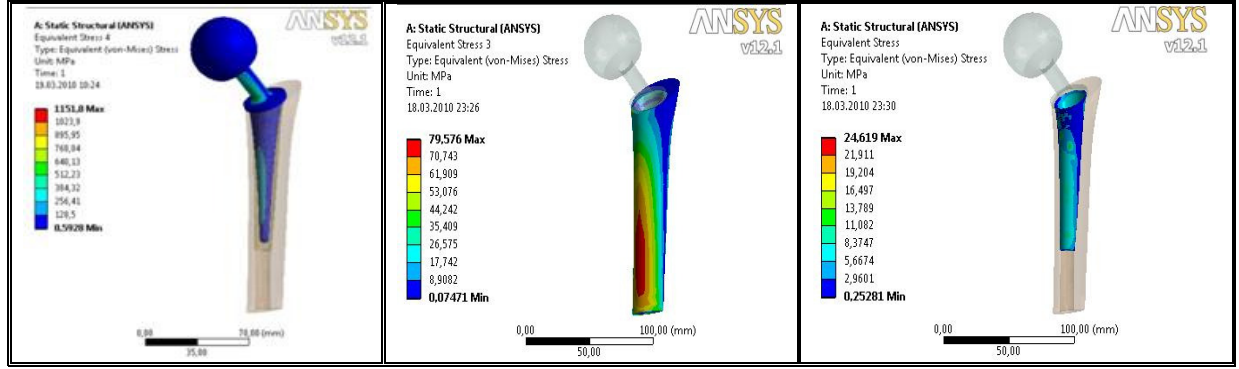
	İnklınayon Açısı (°)	İMLANT (Tİ6AL4V)				FEMUR				KEMİK ÇİMENTOSU (POLİMETİLMETAKRİLAT)			
		Von Misses	S1	S2	S3	Von Misses	S1	S2	S3	Von Misses	S1	S2	S3
Çimentosuz	120	1797.8	1548.4	700.75	316.51	133	118.82	53.589	45.532				
	125	1427.2	1380.1	585.97	265.85	144.39	132.87	47.823	40.372				
	130	1442.5	1485.8	614.61	329.37	114.56	98.264	41.114	35.145				
	135	1298.4	1524.2	528.89	311.03	105.2	106.64	41.856	28.268				
	140	1148.8	955.98	382.63	242.53	93.912	80.916	28.652	24.001				
Çimentolu	120	2208.6	553.24	139.16	121.16	126.48	102.6	51.56	44.294	86.156	72.667	15.063	6.1285
	125	1801.2	540.6	135.93	69.058	110.55	91.293	46.352	39.832	29.502	17.525	6.8267	4.2728
	130	1697.7	490.96	138.48	78.229	103.67	83.008	39.881	34.329	27.317	14.983	4.3943	3.0109
	135	1151.8	506.48	105.36	64.795	79.576	74.43	33.13	28.587	24.619	13.692	5.8603	3.6629
	140	670.52	462.51	74.098	30.935	92.175	65.168	26.557	22.456	22.7	16.89	3.6117	1.7673

Şekil 6'da Ansys paket programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz neticesinde çimentosuz model için implant ve femurda meydana gelen gerilme dağılımları gösterilmiştir. Buna göre implantta en yüksek gerilmeler femur boynu olarak adlandırılan femur başı ile femur gövdesi arasında kalan bölgede meydana gelirken (Şekil 6a), femurda ise gerilmeler mesnet bölgesine doğru artmıştır (Şekil 6b).



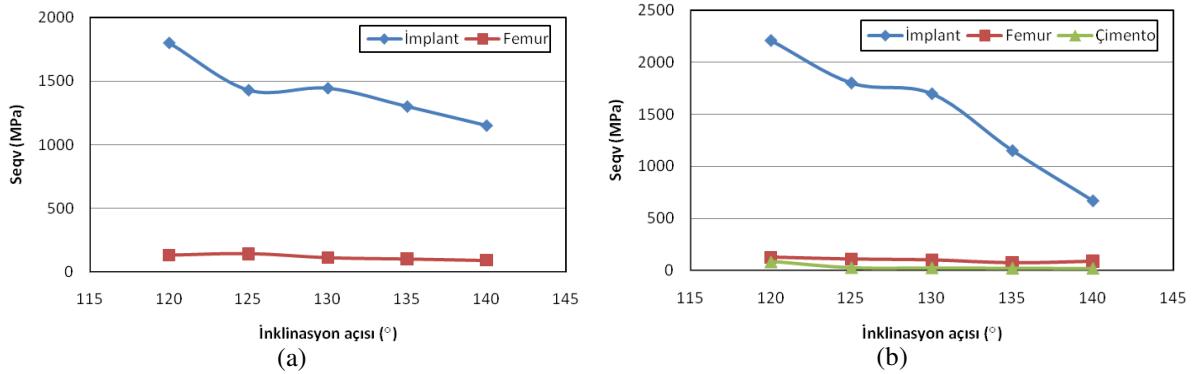
Şekil 6. Kemik çimentosu kullanılmayan durumda a) implant ve b) femurda meydana gelen gerilme dağılımı.

Şekil 7'de ise kemik çimentosu ilave edilmiş model için Ansys paket programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz neticesinde implant, femur ve kemik çimentosunda meydana gelen gerilme dağılımları gösterilmiştir. İmplant ve femurdaki gerilme dağılımı hemen hemen çimentosuz modeldeki ile aynıdır (Şekil 7a ve 7b). Kemik çimentosu üzerinde meydana gelen gerilme dağılımı incelendiğinde ise femurdaki duruma benzer olarak mesnet bölgesine doğru gidildikçe gerilmeler artmıştır (Şekil 7c).



Şekil 7. Kemik çimentosu kullanılan durumda a) implant ve b) femurda meydana gelen gerilme dağılımı.

Şekil 8 de, çimentolu ve çimentosuz olarak oluşturulan modeller için 5 farklı inklınasyon açısında gerçekleştirilen analizler neticesinde implant, femur ve kemik çimentosu için elde edilen maksimum Von-Misess gerilmeleri gösterilmiştir.

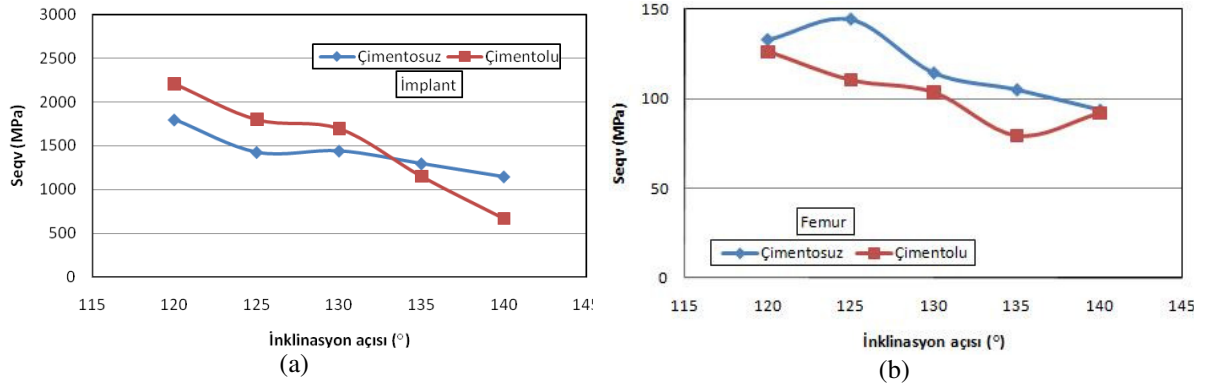


Şekil 8. İnklinasyon açısının maksimum Von-Mises gerilmesine etkisi
a) Kemik çimentosuz b) Kemik çimentolu model.

Çimentosuz modelde inklınasyon açısı arttıkça implant üzerinde meydana gelen gerilme değerleri azalmıştır. 120° de implant üzerinde meydana gelen maksimum Von-Misess gerilme değeri 1797.8 MPa iken bu değer 140° de 1148.8 MPa a düşmüştür. İnklinasyon açısının değişimi implantla kıyaslandığında femur üzerinde çok fazla bir etki yapmamıştır. 120° de femur üzerinde meydana gelen maksimum Von-Misess gerilme değeri 133 MPa iken bu değer 140° de 93.912 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 8a).

Kemik çimentosu ilave edilmiş modellerde de femur ve kemik çimentosu üzerinde meydana gelen gerilme değerlerine inklınasyon açısının etkisi implant üzerinde meydana gelen gerilmeler ile kıyaslandığında düşük kalmıştır. 120° de implant üzerinde meydana gelen maksimum Von-Misess gerilme değeri 2208.6 MPa iken bu değer 140° de 670.52 MPa a kadar düşmüştür (Şekil 8b).

Şekil 9'da, kemik çimentolu ve kemik çimentosuz modeller için implant ve femur üzerinde meydana gelen Von-Misess gerilmelerine kemik çimentosunun etkisi gösterilmiştir. Şekil 9a dan görüleceği üzere kemik çimentosu ilave edilmiş olan modellerde femur üzerinde meydana gelen gerilme değerleri hemen hemen bütün inklınasyon açılarında daha düşüktür. Bunun nedeni implant ve femurdan daha sünek olan kemik çimentosunun implanttan femura transfer edilecek gerilmeyi şekil değiştirerek sönmülemesidir.



Şekil 9. Kemik çimentosu ilavesinin maksimum Von-Misess gerilmesine etkisi. a) İmplant b) Femur

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada implant, femur ve kemik çimentosunda meydana gelen gerilmelere inklinasyon açısının etkisi araştırılmış ve aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

- İnklinasyon açısı arttırıldıkça hem kemik çimentolu hemde kemik çimentosuz modellerde implant üzerinde meydana gelen maksimum gerilme değerleri azalmaktadır.
- Kemik çimentosu ilavesi femur üzerinde meydana gelen maksimum gerilmeleri de azaltmaktadır.
- İmplant ve femurdan daha sünek olan kemik çimentosu implanttan femura transfer edilen gerilmeyi şekil değiştirerek düşürmektedir.
- Gerçekleştirilen çalışma neticesinde, insan femurunun hasarı sonucunda gerçekleştirilen parsiyel endoprotez artroplastisinde, kişiye uygun inklinasyon açısı, anteversiyon açısı, kemik çimentosu ilavesi vb. parametrelerin operasyondan önce test edilebileceği gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] CÖMELEKOĞLU, U., MUTLU, H., YALIN, S., BAĞIŞ, S., YILDIZ, A., OGENLER, O., Normal ve Osteoporotik Sıçan Femurunda Kemiğin Biyomekanik Kalitesinin Biyomekanik Testle ve Sonlu Elemanlar Analizi ile Belirlenmesi, **Acta Orthop Traumatol Turc**, 41 (1), 53-57 (2007).

[2] WIRTZ, D.C., SCHIFFERS, N., PANDORF, T., RADERMACHER, K., WEICHERT, D., FORST, R., Critical Evaluation of Known Bone Material Properties to Realize Anisotropic FE-Simulation of The Proximal Femur, **Journal of Biomechanics**, 33, 1325-1330 (2000).

[3] MIZOBUCHI, H., TANI, T., TAKEMASA, R., YAMAMOTO, H., SONOBE, H., Mechanical Properties of The Femur Filled with Calcium Phosphate Cement Under Torsional Loading: A Model in Rabbits, **Journal of Orthopaedic Science**, 7, 562–569, (2002).

- [4] PASİNLİ, A., Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 4, 25-34, (2004).
- [5] SABATINI, A. L., GOSWAMI, T., Hip İmplants VII: Finite Element Analysis and Optimization of Cross-Sections, **Materials and Design**, 29, 1438–1446, (2008).
- [6] ANDIACCHI, T.P., MIKOSZ, R.P., HAMPTON, S.J., GALANTE, O., A Statically Indeterminate Model of the Human Knee Joint, **Biomechanics Symposium AMD.**, 23, 227-239, (1977).
- [7] MUTLU, İ., ÖZKAN A., KİŞİOĞLU, Y., Sonlu Elemanlar Tabanlı Analiz İçin Biyomekanik Model Oluşturma Teknikleri, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, (2009).
- [8] **European Patent Application**, Date of publication: 23.05.2007, Bulletin 2007/21, Application number: 05025014.1, EP 1 787 581 A1.
- [9] ANSYS User's Manual (Version 12.0).