

## Bağ Kesen Total Diz Protezinde Post Geometrisinin Konveks ve Konkav Durumunun Aşınmaya Etkisinin SEA ile Araştırılması

Serdar KOLUAÇIK<sup>1</sup>, Murat CAN<sup>1</sup>, Erkan BAHÇE<sup>2\*</sup>, Ender EMİR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Malatya Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Malatya

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

<sup>3</sup>Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan MYO, Otomotiv Teknolojileri Programı, Kahramanmaraş

(Geliş Tarihi/Received Date: 17.04.2019; Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.05.2019)

### Öz

Diz osteoartritinde oluşan ağrı ve eklem hareket kısıtlılığını gidermede metal ve polietilen malzemeden imal edilen diz eklem protezleri kullanılmaktadır. Bu protezlerde hastanın yaşı, aktivite düzeyi, kilosu ve ek hastalıkları gibi nedenlere bağlı olarak aşınma, gevşeme, dengesizlik ve enfeksiyon gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunlara bağlı olarak da protezlerin kullanım ömürleri değişmektedir. Protezlerde görülen bu sorunların çözümü için protez tasarımları üzerine yoğun çalışmalar devam etmektedir. Bunlardan biri de arka çapraz bağın görevini yapması için tasarlanan bağkesen total diz protezidir. Bağkesen protezlerdeki post-cam değişik geometrik şekillere göre dizayn edilmesine rağmen ideal tasarımın yapılması üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada post-cam'deki düz-düz, konveks-konkav ve konkav-konveks olmak üzere üç farklı geometrik temas alanının von mises gerilmesine ve kontak basıncına etkileri sonlu elemanlar analizi ile araştırılarak aşınma üzerindeki etkileri incelendi. Çalışma sonucunda temas yüzeyi alanının artmasının von mises gerilmesi ve kontak basıncını azalttığı ve buna bağlı olarak da aşınma miktarının azaldığı tespit edildi. Analiz sonuçlarına göre de aşınmanın konkav-konveks temasa dayalı tasarımlarda en düşük olduğu ölçüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Diz protezi, Post-cam, Aşınma

## The Investigation of the Effect of Convex and Concave State of Post Geometry on Wear in Total Knee Prosthesis with FEA

### Abstract

Knee joint prostheses made of metal and polyethylene material are used to relieve pain and joint motion limitation in knee osteoarthritis. Problems such as wear, loosening, imbalance and infection can be encountered in these group prostheses due to age, activity level, weight and additional diseases of the patients. Lifetime of prostheses may change depending on these problems. In order to solve these problems observed in prostheses, intensive studies on prosthetic designs are progressing. One of these is the PCL-substituting total knee prosthesis designed to perform the function of the posterior cruciate ligament. Although

\* Sorumlu yazar/ Corresponding author: [erkan.bahce@inonu.edu.tr](mailto:erkan.bahce@inonu.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-5389-5571>

Serdar KOLUAÇIK: [skoluacik@yahoo.com](mailto:skoluacik@yahoo.com), <https://orcid.org/0000-0002-1450-4029>

Murat CAN: [mrt44cn@gmail.com](mailto:mrt44cn@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1539-3973>

Ender EMİR: [enderemir.inonu@gmail.com](mailto:enderemir.inonu@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4972-5064>

post-cam in PCL-substituting prosthesis is designed according to different geometric shapes, studies are still being conducted to create the ideal design. In this study, the effects of three different geometric contact areas such as flat-flat, convex-concave and concave-convex on von misses stress and contact pressure were investigated with finite element analysis and their effects on wear were investigated. As a result of the study, it was determined that the increase of the contact surface area reduced the von misses stress and contact pressure and consequently the amount of wear. According to the results of the analysis, wear was the lowest in designs based on concave-convex contact.

**Keywords:** Knee arthroplasty, Post-cam, Wear

## 1. Giriş

Total diz protezleri (TDP), aşınmış olan eklem yüzlerinde, ağrısız eklem hareketini oluşturmak için metal ve polietilen malzemeden oluşturulan yapay bir eklemdir. Diz protezlerinin bileşenleri arasındaki sürtünmeye ve hastanın yaşına, eşlik eden hastalıklarına, aktivite düzeyine, alışkanlıklarına ve kilosuna bağlı olarak aşınma, gevşeme, enfeksiyon ve dengesizlik gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Fraser ve ark., 2015). Bu problemlerin sonucu olarak protezlerin kullanım süreleri değişmektedir. Bu nedenle değişik geometrilere eklem protezi geliştirme üzerine çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Yaygın olarak kullanılan bu protezlerden biri de bağkesen diz protezleri olup, post-cam mekanizmalarına bağlı birçok tasarım şekli mevcuttur. Bu mekanizmada ki tibial post ve femoral kam mekanizması, diz fleksiyonu ile femoral geri yuvarlanmayı sağlayan ve diz fleksiyonu sırasında posterior tibial subluksasyonu önleyen arka çapraz bağın rolünü üstlenir (Watanabe ve ark., 2017). Bu protez türlerinde post-cam tasarımı eklem kinematiki etkileyerek eklem yüzey uygunluğunu değiştirebilmektedir (Koh ve ark., 2018).

Bunun sonucu yapılan çalışmalarda post-cam mekanizmalarında, genellikle post üzerinde yüksek strese bağlı olarak aşınma, deformite ve post kırılması gibi sorunlarla karşılaştığı bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2015; D'Angelo ve ark., 2010; Chiu ve ark., 2004). Ayrıca bağkesen TDP'de derin fleksiyonla birleşen tibial rotasyon post-cam sıkışma problemini indükleyerek yüzey aşınması veya implant yetmezliğine neden olmaktadır (Mikulak ve ark., 2001; Nakayama ve ark., 2005; Puloski ve ark., 2001). Bu olumsuzluğu en aza indirmek için literatür de hem post hem de cam tasarımının sagittal ve aksiyel düzlemde değişik geometrik şekiller kullanılması dikkat çekmektedir. Çizelge 1'de yapılan çalışmalarda diz protezlerinde temel amacın, eklem kinematiki bozmadan, kontak basıncı en aza indirecek şekilde post-cam mekanizmaları tasarımı yapılmaya çalışıldığı görüldü.

Bunun yanında farklı tibiofemoral eklem yüzeyi uyumu ve post-cam mekanizmasına ek olarak quadriceps kas gücü de eklenerek yapılan çalışmalarda en iyi kinematik değerler konveks post tasarımı ve anatomik tibiofemoral eklem yüzey uyumu olan protezlerde elde edilmiştir (Koh ve ark., 2018). Kare ve yuvarlak post-cam tasarımlı protezlerde post'taki stres ve kontakt basınç farklı fleksiyon derecelerinde karşılaştırıldığında, yuvarlak post'a sahip protezlerde stres ve kontakt basınç daha düşük değerlerde bulunmuştur (Watanabe ve ark., 2017; Huang ve ark., 2005; Nakayama ve ark., 2005). Diz fleksiyonu ilerledikçe femoral geri yuvarlanma ile birlikte tibia da iç rotasyon meydana geldiği ve en iyi değerler daire cam ve konveks post tasarımına sahip protezlerde gözleendiği belirtilmiştir (Fallahiarezoodar ve ark., 2014; Lin ve ark., 2011). Bunun için ise yaygın olarak düz-düz,

konveks-konkav ve konkav-konveks post-cam tasarımları kullanılmaktadır ve konu ile ilgili araştırmalar halen ideal tasarımı bulmak için devam etmektedir. Bu çalışmada da post-cam tasarımının kinematiğe, post'taki ve tibial insert'teki kontak temas alanı ve basınç değerlerine ek olarak post-cam arasındaki kontakt basınca bağlı meydana gelen aşınma derinlikleri de incelendi.

**Çizelge 1.** Bağ kesen total diz protezinde post-cam ve kinematik üzerine literatür çalışmaları

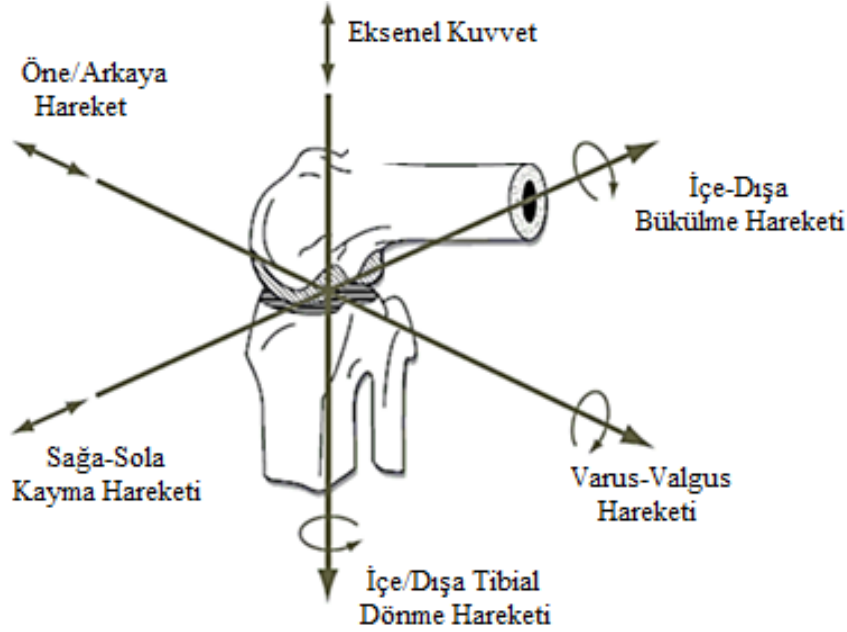
Yazarlar ve dergiler	Kinematik	Kontak basıncı	Quadriceps kası	Post-cam tasarımı	Tibiofemoral eklem yüzey uyumu
Koh et al., 2018 (Bio-Med Research İnt. Hindawi)	+		+	+	+
Koh et al., 2018 (J Experimental Orthopeadics)	+		+	+	+
Watanabe et al., 2017	+	+		+	
Fallahiarezoodar et al., 2014	+			+	
Lin et el., 2011	+			+	
Huang et al., 2006	+	+		+	
Nakayama K. 2005	+	+			
Tsumori et al., 2011	+	+		+	
Peter et al., 2013	+			+	+

## 2. Diz Eklem Biyomekaniği

Diz eklemi 6 serbestlik derecesine sahip oldukça karmaşık yapılı bir eklemdir. Kendi içerisinde zıt hareketler çifti olarak adlandırılan 6 farklı hareketten oluşmaktadır (Şekil 1). Eklem yüzlerinin geometrik yapısı nedeni ile fleksiyon arttıkça femurda arkaya doğru bir yer değiştirme hareketi meydana gelir. Femurun bu arkaya doğru olan kayma-yuvarlanma hareketine “femoral roll-back” adı verilir. 0-90o fleksiyon hareketi arasında femoro-tibial temas noktası 14 mm'ye kadar geriye doğru kayar. Ön ve arka çapraz bağların kesişme noktasındaki anlık rotasyon merkezi fleksiyonda posteriora doğru yer değiştirerek femoral roll-back'i sağlar.

Diz eklemi protezi de eklem geometrisini taklit etmesi amacı ile kullanılmaktadır. Bu nedenle kullanılan protezlere de diz eklemine maruz kaldığı çok yönlü kuvvetler etki etmektedir. Yürümenin fazına göre değişmekle birlikte, normal yürüme sırasında, dize vücut

ağırlığının 2 ila 5 katı yük biner (Uluçay, 2005). Bağkesen diz protezinde bu yük özellikle post-cam mekanizmasına binmektedir. Bunun sonucunda post mekanizmasında kontak basınç artışı ve hatta kırıklarda oluşmaktadır.

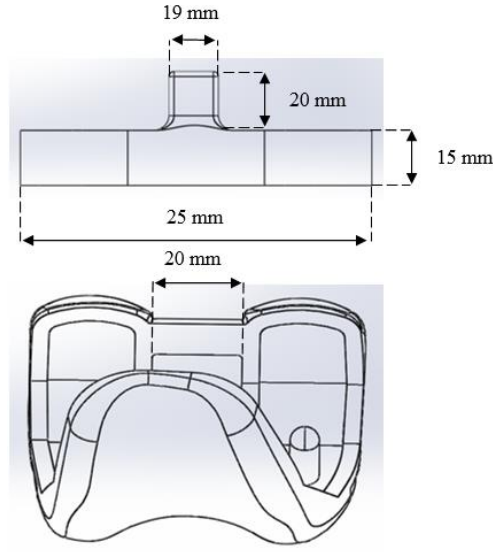


Şekil 1. 6 serbestlik dereceli diz eklemi

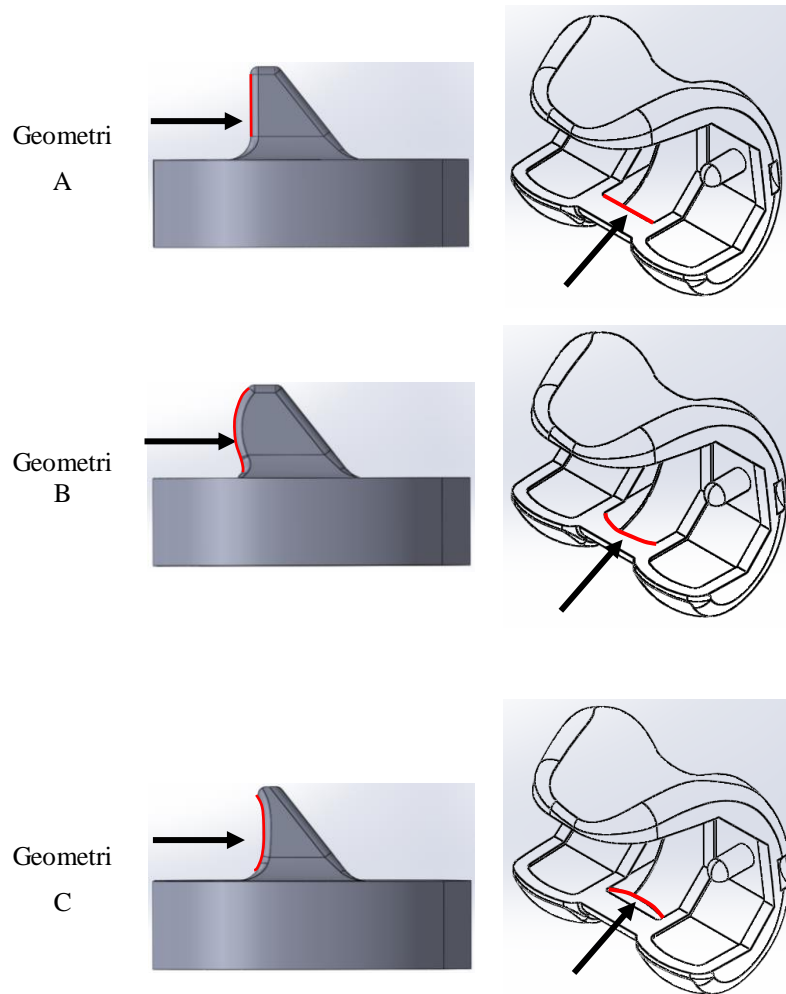
### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1. Post-Cam Mekanizma Tasarımı ve SEA

Analizlerin tümünde size 5 insert ve femur bileşen CAD modelleri kullanıldı. Bileşenlerin post ve cam geometrik ölçüleri Şekil 2’de verildiği gibidir. Çalışmada post-cam mekanizmasında meydana gelen gerilme ve kontak basıncının azaltılması için CAD ortamında üç farklı geometri oluşturuldu (Şekil 3). Bunlar düz-düz, konveks-konkav, konkav-konveks post-cam geometrileridir. Literatür çalışmaları dikkate alınarak oluşturulan tibial post’un yarıçapı 9.5 mm, femurun kam yarıçapı da 10 mm olarak oluşturuldu (Huang ve ark., 2006; Lin ve ark., 2011), (Şekil 2).

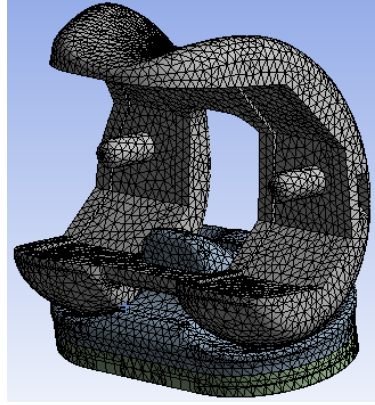


Şekil 2. Bağkesen diz protezi post-cam geometrik ölçüleri



Şekil 3. Femur-insert post-cam geometrileri; a) Düz-düz, b) Konveks-konkav, c) Konkav-konveks

Geometrik farklılıkların oluşturulmasından sonra SEA ile post-cam mekanizmasının temas noktalarında meydana gelen eş değer gerilmeler, kontak basınçları ve aşınma derinliklerinin hesaplanması işlemleri sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analizler gerçekleştirildi. Analizlerde malzeme olarak insert bileşenin yüksek moleküler yoğunluklu polietilen (UHMWPE) ve femur bileşeni olarak ise CoCrMo alaşımı kullanıldı. Analiz için kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge.2’de verildiği gibidir. CAD programında montajı gerçekleştirilen protez bileşenleri ANSYS static structural arayüzüne aktararak meshleme, sabitleme ve kuvvet uygulama noktaları belirlendi. Meshleme işlemi yapılırken toplam 123283 (element sayısı:78290) düğüm sayısında mesh atıldı (Şekil 4).



Şekil 4. Mesh görüntüsü

Çizelge 2. Analiz mekanik özellikleri

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Poisson Oranı
CoCrMo	220	0.29
UHMWPE	69	0.29

### 3.2. Post-Cam Aşınma Derinliklerinin Hesabı

Çalışmada post ve cam mekanizması arasında meydana gelen kontak basınç değişimlerine göre aşınma derinlikleri Archard aşınma yasasına göre hesaplandı. Hesaplamalar bireyin günlük olarak 10.000 adım attığı kabulü yapılarak gerçekleştirildi (Rawal ve ark., 2016).

$$H = (k_0 + k^*x^*) * C_p * d \quad (1)$$

$C_p$  : Kontak basıncı (N/mm<sup>2</sup>)

$k_0$  : Doğrusal hareket katsayısı (0)

$k^*$  : Çapraz kesme hareket katsayısı (mm<sup>3</sup>/N.mm) (1.8x10<sup>-9</sup>)

$x^*$  : Normalleştirilmiş çapraz kesme yoğunluğu (1/100 )

$d$  : Çapraz uzunluk (mm)

$H$  : Aşınma derinliği (mm)

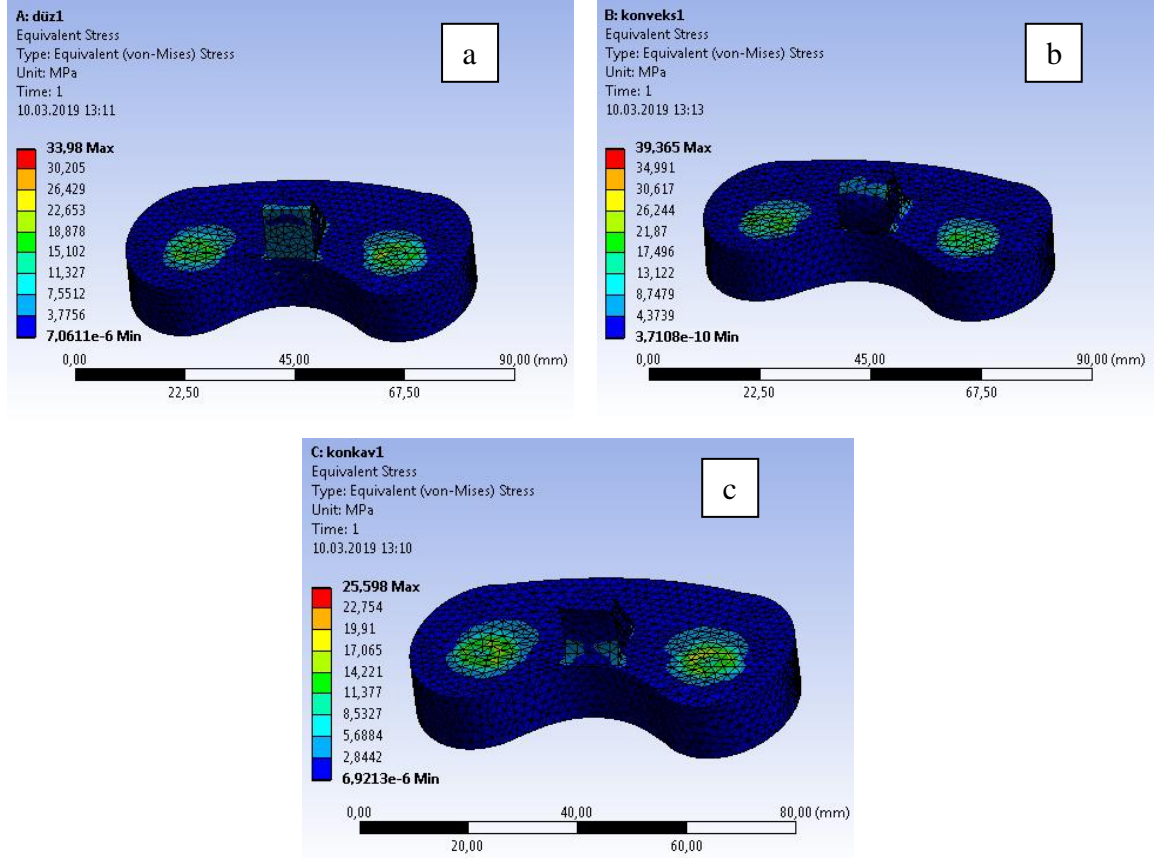
#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde farklı post-cam geometrisinde tasarlanmış diz eklem protez bileşenlerinde yük altında meydana gelen eş değer gerilmeler, kontak basıncı ve aşınma derinlikleri için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler incelendi.

##### 4.1. Von-Misses (Eş Değer) Gerilme Analiz Sonuçları (Gerilme Dağılımı)

Analizler sonucunda elde edilen maksimum kayma gerilmesi için SEA görüntüleri Şekil 5’de verildiği gibidir. 60° fleksiyon açısındaki temasta meydana gelen gerilme dağılımında A geometrisine sahip post-cam geometrisi için maksimum 33.98 MPa gerilme değeri elde edildi. B geometrisi olması durumunda ise maksimum 39.365 MPa gerilme değeri, C olması durumunda ise 25.59 MPa gerilme değeri elde edildi. Analiz sonuçlarına göre en optimum gerilme dağılımı femur cam kısmının konveks, insert post kısmının ise konkav olduğu durumda elde edildi. Sonuçlar incelendiğinde düz-düz ve konveks-konkav post-cam geometrisinin temas alanının konkav-konveks post-cam geometrisine göre daha fazla olduğu görüldü. Nitekim Şekil 5’de görüldüğü gibi post geometrisinde meydana gelen gerilme dağılımlarının büyüklüklerinde farklılıkların meydana geldiği görüldü.

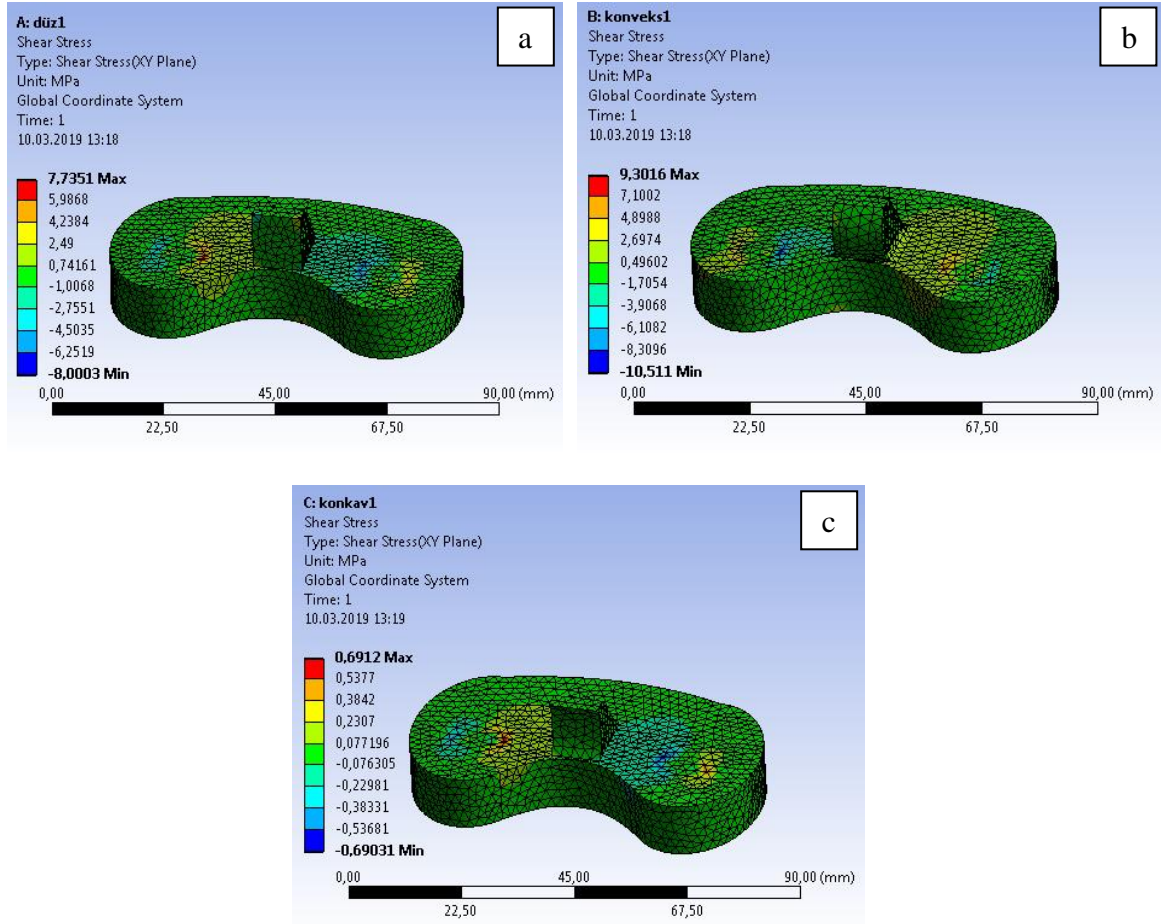
Diğer yandan insert bileşenin iç (medial) ve dış (lateral) kondillerinde oluşan gerilmelerinde post-cam geometrisine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edildi (Çizelge.3). Dış kondilde oluşan gerilmelerin iç kondile oranla daha yüksek seviyelerde olduğu görüldü. En düşük eş değer gerilme değeri C geometrisinde iken en yüksek gerilme değerinin ise B geometrisinde meydana geldiği görüldü. Bu durum konveks cam ve konkav post mekanizmasının eklem içe-dışa bükülmesiyle meydana gelen femoral geri yuvarlanma hareketinde daha uyumlu çalışmasını sağlamakta ve sonucunda kondil yüzeylerinde oluşan gerilme dağılımlarını daha geniş alana yaymaktadır (Watanabe ve ark., 2017; Koh ve ark., 2018; Fallahiarezoodar ve ark., 2014). Nitekim kayma gerilme değerleri ve dağılımları incelendiğinde de elde edilen sonuçlar da gerilme dağılımında konkav-konveks post-cam mekanizmasının daha düşük kayma gerilme değerlerinde olduğunu gösterdi (Şekil 6).



Şekil 5. Eş değer gerilme analiz sonuçları; a) düz-düz, b) konveks-konkav, c) konkav-konveks  
Çizelge 3. Medial ve lateral kondillerdeki gerilmeler

		Geometri		
		A	B	C
Von-Misses Gerilmeleri (MPa)	İç (medial)	18.65	22.14	16.48
	Dış (lateral)	21.88	26.03	21.05
Kayma Gerilmeleri (MPa)	İç (medial)	6.42	8.13	5.83
	Dış (lateral)	7.15	9.21	6.02

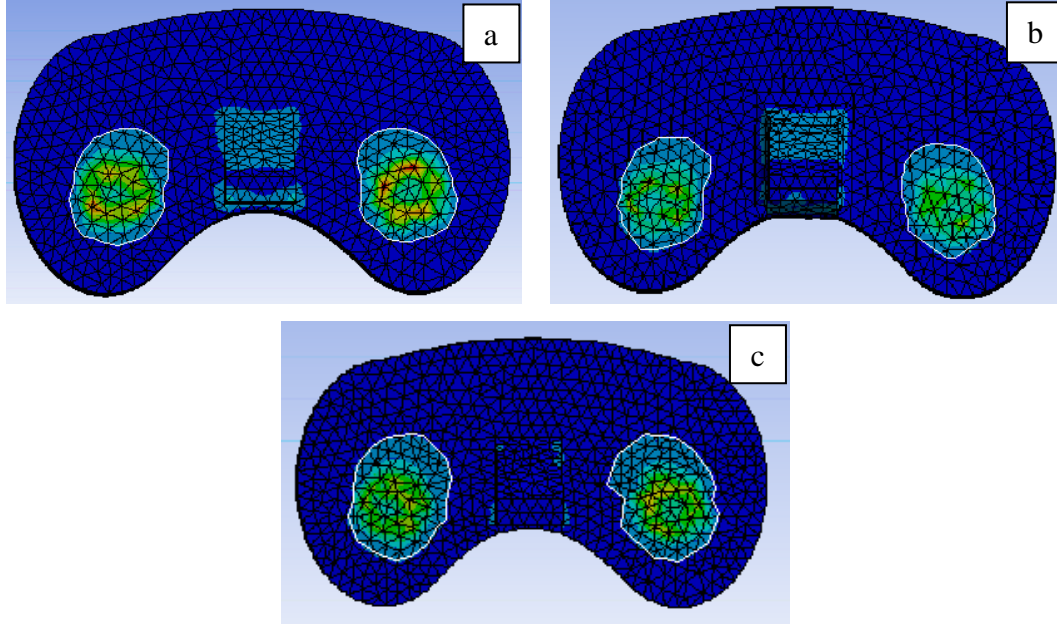




Şekil 6. Kayma Gerilmesi Analiz Sonuçları; a)düz-düz, b)konveks-konkav, c)konkav-konveks

#### 4.2. Kontak Basınç Dağılım Sonuçları

Femur cam ve insert post geometrilerindeki farklılıklara bağlı olarak gerçekleştirilen SEA’da elde edilen kontak basınç dağılımları Şekil 7’de verildiği gibidir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda A geometrisine sahip femur-insert post-cam geometrisinin 60° fleksiyon açısındaki temasında meydana gelen gerilme dağılımında maksimum 127.64 MPa kontak basınç değeri elde edilmiştir. B geometrisi olması durumunda ise maksimum 138.49 MPa kontak basınç değeri, C geometrisi olması durumunda ise 94.2 MPa kontak basınç değeri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en optimum gerilme dağılımının femur cam kısmının konveks, insert post kısmının ise konkav olduğu durumda elde edildi. Gerilme oluşan alanın artması ile kontak basınç değerlerinde düşüş meydana gelmekte ve sonucunda gerilmelerde azalma olmaktadır. Ayrıca dış kondilde oluşan temas alanının iç kondildekinden daha fazla olduğu tespit edildi (Çizelge.4). Temas alanının artmasına bağlı olarak gerilme alanının genişlemesi sonucunda kontak basıncında düşüş gözlemlendi.



Şekil 7. İnsert kondillerinde meydana gelen gerilme alanları; a) düz-düz, b) konveks-konkav, c) konkav-konveks

Çizelge 4. Medial ve lateral kondillerdeki temas alanları

		Geometri		
		A	B	C
Kontak Basıncı (MPa)	Post-Cam	12.76	13.8	9.42
Temas Alanları (mm <sup>2</sup> )	İç (medial)	12.641	13.18	11.59
	Dış (lateral)	12.913	13.46	11.73

#### 4.3. Post-Cam Aşınma Sonuçları

Her bir analiz için elde edilen kontak basınç değerlerine göre 1 milyon döngü sonucunda oluşabilecek aşınma değerlerinin sonuçları Çizelge.5’de verildiği gibidir. Elde edilen sonuçlarda 1 milyon çevrim sonucunda maksimum aşınma derinliği düz-düz post-cam mekanizmasında, minimum aşınma derinliğinin ise konkav-konveks post-cam mekanizmasında meydana geldiği görüldü. Temas alanının değişimine bağlı olarak kontak basınç değerlerinde meydana gelen farklılıklardan dolayı aşınma derinliklerini etkilemektedir. Sonuç olarak farklı geometrilerdeki post-cam mekanizmasının temas alanlarında ki farklılıklardan dolayı kontak basınç değerleri de değişmekte ve bu durum sonucunda da aşınma derinlikleri için farklı sonuçlar elde edilmektedir.

**Çizelge 5.** Aşınma derinlik sonuçları

	Çevrim sayısı	Düz-Düz	Konveks- Konkav	Konkav- Konveks
Aşınma Derinliği (mm)	1 çevrim	4.59E-07	4.98E-08	1.19E-08
	10.000 çevrim	4.59E-03	4.98E-04	1.19E-04
	100.000 çevrim	4.59E-02	4.98E-03	1.19E-03
	1 milyon çevrim	4.59E-01	4.98E-02	1.19E-02

Analizler sonucunda post-cam eğri formunun şekli temas yüzeyi alanını değiştirmesi von misses gerilmesini ve kontak basıncını etkilediği için aşınma da etkilenmektedir. Post eğriliğinin dış bükey olmasının iç bükeye kıyasla temas alanını azalttığı bunun sonucunda da basınçta %46 oranında, aşınma derinliğinde ise 4.1 oranında artışın olduğu tespit edildi.

## 5. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, bağkesen diz eklem protezlerinde kullanılan post-cam geometrilerinin düz, konveks ve konkav olmasının UHMWPE insert bileşeninin aşınması üzerinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler maddeler halinde aşağıda verildiği gibi sıralanabilir.

1. Post-cam geometrisinin protez temas noktalarında meydana gelen gerilme ve basınç dağılımlarını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda en optimum gerilme ve kontak basınç dağılımı konkav-konveks post-cam geometrisinde elde edilmiştir.
2. Post-cam geometrisinin insert iç ve dış kondillerinde meydana gelen gerilme dağılımlarında da etkili bir parametre olduğu görüldü.
3. Archad aşınma yasasına göre yapılan hesaplamalarda kontak basıncına bağlı olarak minimum aşınma derinliği konkav-konveks post-cam mekanizmasında elde edildi.

Sonuç olarak bağkesen diz eklem protezlerindeki post-cam geometrisinin doğru bir şekilde oluşturulması protez aşınma oranlarını azaltabilmektedir. Böylece aşınmaya bağlı olarak ortaya çıkan protez revizyon ameliyatlarının sayısının azalmasına ve bu sayede hasta sağlığına olumlu yönde katkı sağlanması imkanı verebilecektir.

## Teşekkür

Çalışmalardaki yardımlarından dolayı OTİMED (OTTOMAN) Grup İmplant'a teşekkür ederiz.

## **Kaynaklar**

1. Chiu, Y. S., Chen, W. M., Huang, C. K., Chiang, C. C., ve Chen, T. H. (2004). Fracture of the polyethylene tibial post in a NexGen posterior – stabilized knee prosthesis. *Journal of Arthroplasty*, 19(8), 1045-1049.
2. D'Angelo, F., Marcolli, D., Bulgheroni, P., Murena, L., Congiu, T., ve Cherubino, P. (2010). Two stage fracture of a polyethylene post in a 9-year-old posterior-stabilized knee prosthesis: A case report. *Journal of Medical Case Reports*, 4,65.
3. Fallahiarezoodar, A., Abdul, Kadir, M. R. Alizadeh, M., Naveen, S. V., ve Kamarul, T. (2014). Geometric variable designs of cam/post mechanisms influence the kinematics of knee implants. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 22(12), 3019–3027.
4. Fraser, J. F., Werner, S., ve Jacofsky, D. J. (2015). Wear and loosening in total knee arthroplasty: A quick review. *Journal of Knee Surgery*, 28(02), 139-144.
5. Huang, C. H., Liau, J. J., Huang, C. H., ve Cheng, C. K. (2006). Influence of post-cam design on stresses on posterior-stabilized tibial posts. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 450, 150–156.
6. Koh, Y. G., Nam, J. H., ve Kang, K. T. (2018). Effect of geometric variations on tibiofemoral surface and post-cam design of normal knee kinematics restoration. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 5(1), 53.
7. Koh, Y. G., Son, J., Kwon, O. R., Kwon, S. K., ve Kang, K. T. (2018). Tibiofemoral conformity variation offers changed kinematics and wear performance of customized posterior-stabilized total knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(4), 1213-1223.
8. Koh, Y.G., Son, J., Kwon, O. R., Kwon, S. K., ve Kang, K. T. (2018). Effect of post-cam design for normal knee joint kinematic, ligament and quadriceps force in patient-specific posterior-stabilized total knee arthroplasty by using finite element analysis. *Hindawi BioMed Research International*, 11 sayfa
9. Kumar, N., Yadav, C., Raj, R., ve Yadav, S. (2015). Fracture of the polyethylene tibial post in a posterior stabilized knee prosthesis: A case report and review of literature. *Journal of Orthopaedics*, 12(3), 160–163.
10. Lin, K. J., Huang, C. H., Liu, Y. L., Chen, W. C., Chang, T. W., Yang, C. T., Lai, Y.S., ve Cheng, C. K. (2011). Influence of post-cam design of posterior stabilized knee prosthesis on tibiofemoral motion during high knee flexion. *Clinical Biomechanics*, 26(8), 847-852.
11. Mikulak, S. A., Mahoney, O. M., ve dela Rosa, M. A. (2001). Loosening and osteolysis with the press-fit condylar posterior-cruciate–substituting total knee replacement. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American*, 83(3), 398–403.
12. Nakayama, K., Matsuda, S., Miura, H., Iwamoto, Y., Higaki, H., ve Otsuka, K. (2005). Contact stress at the post-cam mechanism in posterior-stabilised total knee arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery British*, 87(4), 483-488.
13. Puloski, S. K., McCalden, R. W., MacDonald, S. J., Rorabeck, C.H., ve Bourne, R. B. (2001) Tibial postwear in posterior stabilized total knee arthroplasty. An unrecognized source of polyethylene debris. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American*, 83-A(3), 390-397.
14. Rawal, B. R., Yadav, A., ve Pare, V. (2016). Life Estimation of knee joint prosthesis by combined effect of fatigue and wear. 3rd International Conferences On Innovations in Automation And Mechatronics Engineering, (pp.60-67). Vallabh Vidhyanagar, India.

15. Tsumori, Y., Yoshiya, S., Kurosaka, M., Kobashi, S., Shibanuma, N., ve Yamaguchi, M. (2011). Analysis of weight-bearing kinematics of posterior-stabilized total knee arthroplasty with novel helical post-cam design. *The Journal of Arthroplasty*, 26(8), 1556-1561.
16. Uluay, . (2005). Diz osteoartritinde artroskopik debridman ve viskosüplemantasyonun yeri. Uzmanlık tezi, Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi, 2.Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü, İstanbul.
17. Walker, P.S., Lowry, M. T., ve Kumar, A. (2014). The Effect of Geometric Variations in Posterior-stabilized Knee Designs on Motion Characteristics Measured in a Knee Loading Machine, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 472(1), 238–247.
18. Watanabe, T., Koga, H., Horie, M., Katagiri, H., Sekiya, I., ve Muneta, T. (2017). Post-cam design and contact stress on tibial posts in posterior-stabilized total knee prostheses: Comparison between a rounded and a squared design. *Journal of Arthroplasty*, 32(12), 3757–3762.