



KALÇA PROTEZİ TASARIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Fatih KAYA^{1*}, Gülhan İNCE², Mehmet AVCAR³, Lokman YÜNLÜ⁴

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Malzeme Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

³Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

⁴Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Anahtar Kelimeler

*Biyomedikal Mühendisliği,
Sonlu Elemanlar Yöntemi,
Kalça Protezi Tasarımı,
Statik Analiz.*

Öz

Total kalça protezi tasarımında protez performansı ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar gelişen cerrahi yöntemlerin yanı sıra malzeme ve üretim teknolojileriyle beraber son yıllarda oldukça hız kazanmıştır. Değişen ve gelişen biyomedikal teknolojisine her geçen gün ayak uydurabilen pratik yapısal ve mekanik çözümler günümüz mühendislik biliminin temel sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu nedenle bilim insanlarının ilgi odağı, farklı malzemelerden yapılmış yapısal ve mekanik bileşenlerin farklı davranışlarına ilişkin analitik, sayısal ve deneysel çalışmalar olmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi yeni protez tasarımlarının dayanım performansları hakkında prototip üretimi ve fiziksel testler yapılmaksızın gerçeğe oldukça yakın önemli bilgiler sağlamaktadır. Sunulan çalışmada kalça protezlerinde yaygın olarak kullanılan Ti-6Al-4V malzemesi kullanılarak ASTM F2996-20 kalça protezi sapı modeli üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile statik analiz yapılarak protezin performansı incelenmiştir. Ayrıca ağ tipi ve eleman boyutunun gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkileri nümerik olarak ANSYS 19 paket programı kullanılarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan, eleman boyutunun 1mm'den küçük olmasının gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat işlem süresini oldukça artırarak çözümü ekonomiklikten uzaklaştırdığı görülmüştür.

STATIC ANALYSIS OF HIP PROSTHESIS DESIGN USING FINITE ELEMENT METHOD

Keywords

*Biomedical Engineering,
Finite Element Method,
Hip Prosthesis Design,
Static Analysis.*

Abstract

Studies to increase prosthesis performance and service life in total hip prosthesis design have gained speed in recent years with the development of surgical methods, materials and production technologies. Practical structural and mechanical solutions that adapt to changing and evolving biomedical technology have become one of the main problems in engineering science today. For this reason, the scientists have been focused on analytical, numerical and experimental studies on the different behaviors of structural and mechanical components made of biomedical materials. The finite element method provides important information about the strength performance of new prosthesis designs without prototype production and physical tests. In this study, the static performance of the prosthesis is investigated by using the finite element method on the ASTM F2996-20 hip prosthesis stem model using Ti-6Al-4V material, which is widely used in hip prostheses. In addition, the effects of mesh type and element size on stress and strain were analyzed numerically by using ANSYS 19 package software. The results show that if the element size is smaller than 1mm, it has no significant effect on the stress and strain, but the solution is not economical by increasing the processing time considerably.

Alıntı / Cite

Kaya, F., İnce, G., Avcar, M., Yünlü, L., (2021). Kalça Protezi Tasarımının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Statik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 199-208.

* İlgili yazar / Corresponding author: fatihkaya_16@hotmail.com

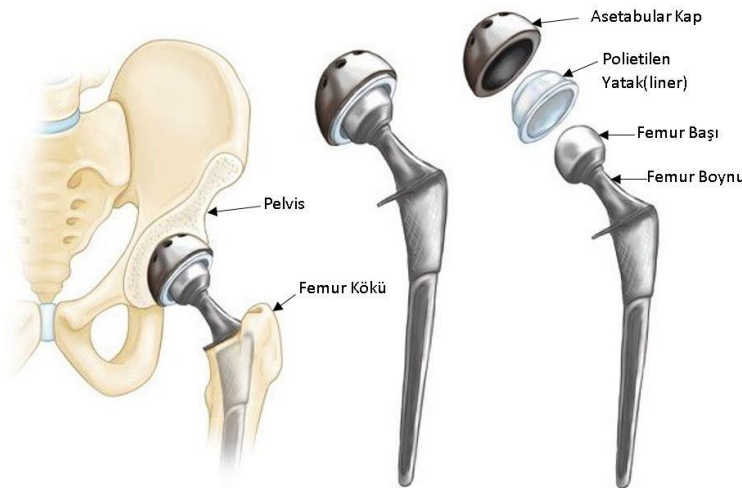
Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
F. Kaya, 0000-0003-0161-1658	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.12.2020
G. İnce, 0000-0003-4887-2900	Revizyon Tarihi / Revision Date	19.02.2021
M. Avcar, 0000-0002-0689-0601	Kabul Tarihi / Accepted Date	24.02.2021
L. Yünlü, 0000-0003-1625-995X	Yayın Tarihi / Published Date	30.03.2021

1. Giriş (Introduction)

Femur kemiği insan vücudunda bulunan en büyük ve en güçlü kemiktir. Boyutları kişiden kişiye değişmekle birlikte vücut uzunluğunun yaklaşık olarak %25'ini femur kemiği oluşturur. Femur doğrultusu ayakta durmakta olan bir insanda yukarıdan aşağıya doğrudur. Femur kemiğinin kendine has bir şekli ve geometrik yapısı olmakla birlikte öne doğru hafif bir eğriliğe sahip olup femur alt ucu üst ucuna göre daha arkadadır (Atik vd.,2012). Kalça eklemi geniş eklem yüzeyi ve uyumlu eklem bileşenleri olduğundan, stabil ve geniş eklem hareket açıklığına sahiptir. Ayakta durma, yük taşıma ve yürüme fonksiyonları için mükemmel bir yapıya sahiptir. Kalça eklemindeki stabilite; eklem, kemik, bağ ve kas yapılarının ortak birlikteliği sayesinde oluşur. Aynı zamanda kalça eklemi insan vücudunda en fazla yük taşıyan eklemdir. Bu nedenle, dejeneratif artrit yönünden yüksek potansiyel risk taşımaktadır. Kalça osteoartriti günümüzde çok sık görülen, yaşam kalitesini etkileyen önemli bir sağlık sorunudur.

Total kalça protezi ameliyatı (TKA) da ileri derecedeki osteoartritin cerrahi tedavisinde günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir (İnce, 2018). Kalça protezi hatalarından tamamen kaçınmak mümkün olmasa da son çalışmalar olumsuz durumları daha doğru bir şekilde tahmin etmek için tasarım araçlarına odaklanmıştır. Bir implant kırılmasının yıkıcı sonuçlarından kaçınmak ve önceden tahmin edebilmek için nümerik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen birçok araştırmanın amacı ortopedik implantların genel güvenilirliğini arttırmak olmuştur (Colic vd.,2016). Türkiye'de her yıl yaklaşık 3000 adet TKA ameliyatı yapıldığı ve bu sürecin yıllık maliyetinin yaklaşık 15 milyon TL olduğu bilinmektedir. Bu rakamlar gelecekte daha genç ve beklentisi daha yüksek bir hasta grubuyla karşılaşılacağını ve uzun ömürlü implant üretimi için protez tasarımına ve implant özelliklerine her zamankinden daha fazla önem verilmesi gerektiğini göstermektedir (Bilgen vd., 2011).

Artroplastinin gelişim süreci içerisinde, kemik arasına bir araya getirici malzeme sokulması fikri 1880'lerin sonlarında başlamış ve 20. yüzyılın ilk yıllarında eklem yüzey yenileme, kas dahil yumuşak dokular kullanılarak yapılmıştır (Abdullah, 1997). 1960'larda kalça artroplastisinde devrim niteliğinde bir gelişme yaşanmış, Charnley(1964) öncü çalışması ile düşük sürtünme artroplastisi kavramını ilk kez ortaya çıkararak, femur sapı ve asetabular kabı akrilik kemik çimentosu polimetilmetakrilat(PMMA) ile sabitlemiştir. Çimentosuz femur sapı ile çimentolu ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) kabın birlikte kullanılması total kalça artroplastisi pratiğini değiştirmiş ve kalça protezi ameliyatı başarı oranını benzeri görülmemiş bir seviyeye çıkarmıştır. Yapılan başarılı operasyonların sayısının artmasına ve uygulanan tekniklerin standart hale gelmesine karşın, kalça replasmanı uygulanan hastaların yaş ortalaması giderek azalmaktadır. Bu nedenle, en az komplikasyon ve en uzun servis ömrü sağlayan kombinasyonu bulmak için halihazırda kullanılan çeşitli malzeme ve teknikler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Knight vd.,2011). Bir kalça protezinin genel yapısı, bileşenleri ve geometrik özellikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Total kalça protezinin yapısı ve bileşenleri (Structure and components of total hip prosthesis) (Altinel,2021)

Sonlu elemanlar metodu, ortopedik protezlerin tasarımında kullanılan en gelişmiş simülasyon tekniği yöntemidir. Biyomedikal alanında canlılar üzerinde yapılan deneyler veya laboratuvar deneyleri yerine gerçeğe yakın tahminler oluşturabilen ANSYS analizleri tercih sebebi olmaktadır. Protez tasarım süreci, mühendis ve cerrahlar arasında disiplinler arası iş birliği gerektiren karmaşık bir süreçtir (Kayabaşı, 2011). Chethan vd. (2019) yapmış olduklarında nümerik çalışmalarında 12 farklı kalça protezi sapı tasarımı üzerinde ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile statik analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak inceledikleri protez tasarımları ile ilgili elde edilen gerilme ve deformasyonları tespit ederek içlerinden en uygun malzeme ve geometrik tasarımı tespit etmişlerdir.

Yaylacı (2016) dikey çatlak içeren katmanlı bir kompozit bileşeni 2 boyutlu düzlem problemi olarak sonlu elemanlar yöntemi ve analitik yöntem ile inceleyerek sonuçları literatürdeki diğer çözümler ile karşılaştırmıştır. Terzi vd. (2020) nümerik çalışmalarında protez tasarımı, malzeme seçimi, implantın yerleştirildiği kemiğin yapısı ve mekanik özelliklerinin gerilme dağılımını etkilediğini, gerilme dağılımının ise implant başarısını belirleyen başlıca faktörlerden birisi olduğunu belirterek malzeme seçimi ve protez tasarımının önemini ortaya koymuşlardır. Yapılan literatür incelemelerinde farklı özelliklerdeki malzemeler arasındaki temas problemleri sonlu elemanlar yöntemi ile birçok kez başarılı bir şekilde modellenerek sonuçları doğrulanmıştır (Yaylacı ve Terzi,2018; Yaylacı ve Avcı,2020; Yaylacı vd., 2019a; Yaylacı vd.,2019b)

Bu çalışmanın amacı ASTM F2996-20 temel alınarak sonlu eleman modeli oluşturulan kalça protezi sapı üzerinde ANSYS sonlu elemanlar yazılımı yardımıyla farklı eleman tipi ve düğüm noktalarına sahip ağ yapıları oluşturularak analiz edilen modeller ile eleman tipi, eleman boyutu ve düğüm noktası sayısının asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkilerini incelemektir.

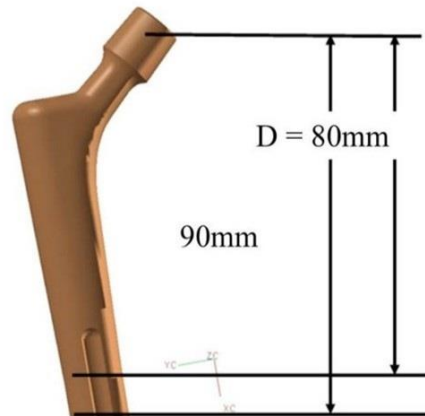
2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Analizlerde kullanılan total kalça protez sapı malzemesi olarak Ti-6Al-4V alaşımı kullanılmış, üç boyutlu protez CAD modeli ASTM F2996-20 standardından alınmıştır. Bu model, oluşan maksimum asal gerilmeler ve toplam deformasyonu değerlendirmek için ANSYS 19 paket programı yardımı ile farklı ağ tiplerinde modeller oluşturularak yapısal statik analize tabi tutulmuştur.

2.1. Ağ Yapısı ve Sınır Koşulları (Mesh Structure and Boundary Conditions)

ASTM F2996-20 kalça sapı modeli üzerinde ANSYS Workbench 19 programı ile yine ASTM F2996-20'de belirtilen sınır şartlarına ve ISO 7206-4'te belirtilen yükleme koşullarına uygun olarak statik analiz yapılmıştır. Sınır şartları ve yükleme düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yük= 2300N

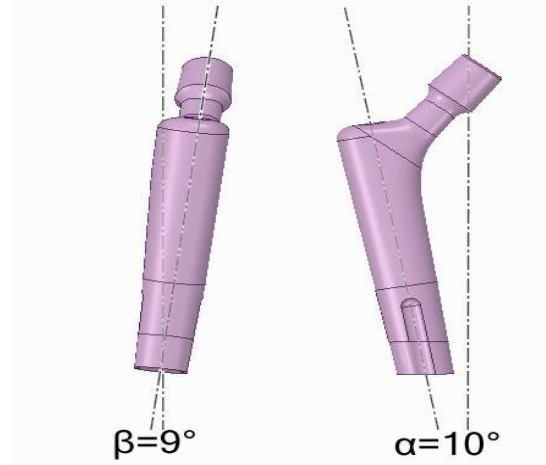


Şekil 2. Yükleme düzeneği ve sınır şartları (Loading and boundary conditions) (ASTM F2996-20)

Ayrıca ISO 7206-4 (2010)'da tanımlanan proksimal ve lateral düzlemdeki açıl konumlandırmalar ile yükleme koşulları aşağıdaki gibidir.

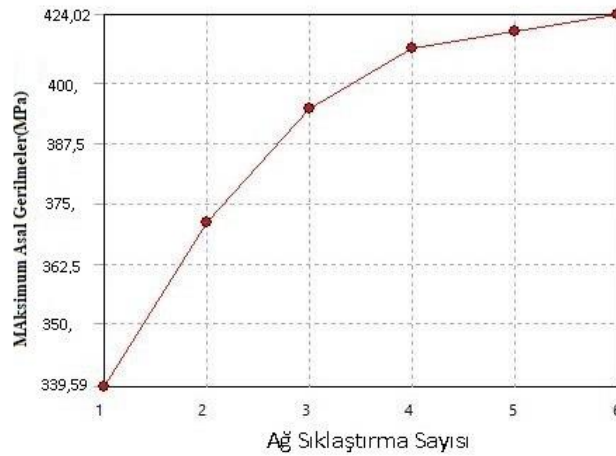
- $D = 80\text{mm}$
- $F_D = 2300\text{ N}$
- $\alpha = 10^\circ \pm 1^\circ$
- $\beta = 9^\circ \pm 1^\circ$

ASTM F2996-20 kalça sapı modeline ait proximal düzlemdeki β ve lateral düzlemdeki α konumlandırmaları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Femoral kalça sapının β ve α açılarında döndürülerek konumlandırılması.
(Rotating and positioning of the femoral hip stem according to β and α angles)

Yapılan ağ optimizasyonu çalışması sonucunda analiz için optimum ağ eleman boyutu seçilmiştir. Ağ eleman boyutu 5mm'den 1'ye kadar değiştirilerek birkaç eleman boyutu geliştirilmiştir. Ağ sıklaştırma iterasyon sayıları sonucunda elde edilen gerilme artış grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Ağ sıklaştırmasına bağlı gerilme artışı (Stress increase due to mesh densification)

Ağ eleman boyutu 5 mm'lik ilk boyuttan 1 mm'ye indikçe gerilmelerin önemli ölçüde arttığı görülebilir. Ağ boyutunun 1mm'den daha küçük olması, gerilmelerde büyük bir değişiklik oluşturmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki tüm modellerin analizi için 1mm ağ boyutu uygulanmıştır. Ayrıca tüm analizlerde ASTM F2996-20 standardında verilen %5 yakınsama sınırının aşılmadığı kontrol edilmiştir. 4 düğüm noktalı tetragonal (dört yüzlü) elemana ait sonlu elemanlar analizlerinde elde edilen eleman ve düğüm noktalarının sayısı ile yakınsama sonucu elde edilen maksimum asal gerilmeler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ağ yoğunluğu ile asal gerilmelerin değişimi (Variation of principal stresses due to mesh density)

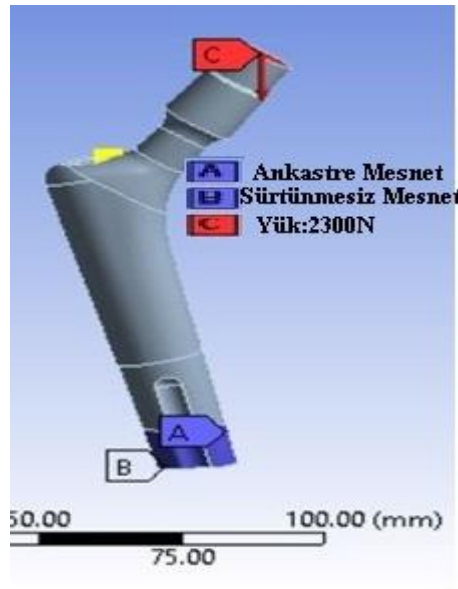
Ağ Sıklaştırma Sayısı	Maximum Asal Gerilme (MPa)	Rölatif Değişim (%)	Düğüm noktası	Eleman Sayısı
1	339.59		23376	122019
2	387	13.04	25968	136160
3	408.81	5.47	34829	184637
4	419.45	2.56	63375	341258
5	422.71	0.77	126398	689134
6	424.02	0.30	289155	1590024

Sonlu elemanlar analizi için malzeme olarak doğrusal elastik izotropik malzeme tanımlaması yapılmıştır. Femur sapı için kullanılan malzeme özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Femur sapı için tanımlanan malzeme özellikleri (Defined material properties for the femoral stem)

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Ti-6Al-4V	113.7	0.3

Sınır şartları ASTM F2996-20'ye göre uygulanmış ve yükleme düzeninde ISO 7206-4:2010'da belirtilen yük değerleri kullanılmıştır. Kalça protez sapı, en kötü durum senaryosuna göre baş/boyun offset bölgesinde ISO 7206-4:2010'a göre kesilmiştir. Başın merkezinden gelen bu kısım, implant üzerindeki gerilme dağılımını temsil etmektedir. İlk kesitin 10 mm altında ikinci bir kesit alınmıştır. Kalça sapı, distal kısmın tüm yüzeylerinde ikinci kesime kadar her yönde dönme ve ötelenmelere karşı sınırlandırılmıştır. Sapın bu şekilde sınırlandırılması, rijit sabitlemenin etkisi nedeniyle ilgili bölgede gerilme yığılmalarından kaynaklanan aşırı hatalı gerilmelerin meydana gelmesini engeller. ASTM F2996-20'de belirtilen "worst-case" (en kötü durum) senaryosuna göre femur başı +8mm uzatılarak en yüksek gerilme durumlarının oluşması sağlanmıştır. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerine ait yükleme düzeni ve sınır şartları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. ASTM F2996-20'e göre yükleme ve sınır şartları
(Loading and boundary conditions according to ASTM F2996-20)

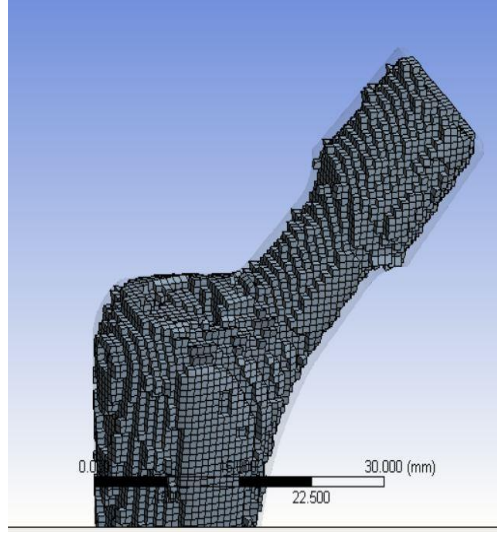
Ağ yapısının oluşturulması sonlu elemanlar metodunda ciddi bir öneme sahiptir. Bu nedenle sonlu elemanlar ağ yapısının hazırlanması büyük öneme sahiptir. Mühendislik problemlerinin doğru ve hassas bir şekilde çözülebilmesi için birkaç farklı sonlu eleman ağ yapısı oluşturularak sonuçların doğrulanmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışmada ASTM F2996-20 modeli farklı eleman tipi ve farklı düğüm noktalarına sahip toplamda 4 farklı ağ tipi ile analiz edilerek ağ tipi ve düğüm noktası sayısının asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Oluşturulan modellere ait eleman tipleri ve bu elemanlara ait düğüm noktaları tablo 3'te gösterilmiştir.

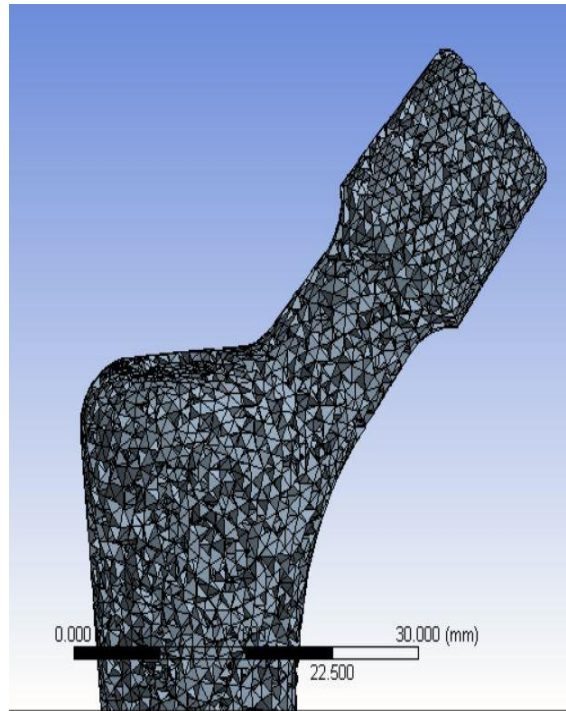
Tablo 3. Oluşturulan Sonlu elemanlar modelleri (Created finite element models)

Model No	Eleman tipi	Düğüm noktası
1	Tetragonal	4
2	Tetragonal	10
3	Hexagonal	8
4	Hexagonal	20

Hexagonal(altı yüzlü) ve tetragonal elemanlar kullanılarak oluşturulan modeller üzerindeki elemanlar Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.

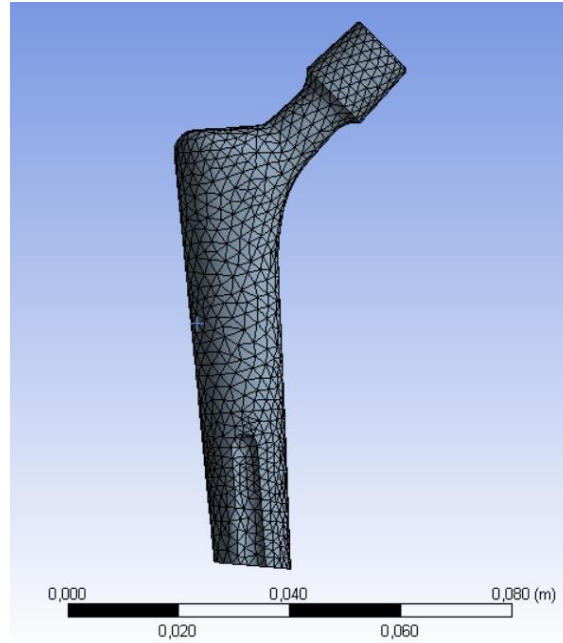


Şekil 6. Hexagonal ağ eleman tipi (Hexahedral mesh element type)

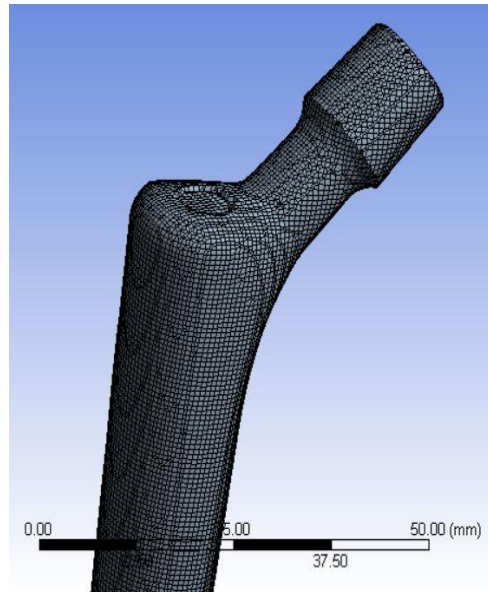


Şekil 7. Tetragonal ağ eleman tipi (Tetrahedral mesh element type)

Oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin tamamı için aynı yükleme ve sınır koşullarının uygulanması suretiyle statik yapısal analizler tamamlanmıştır. ASTM F2996-20 modeli üzerinde oluşturulan tetragonal ve hexagonal ağ yapıları Şekil 8 ve Şekil 9 'da gösterilmiştir.



Şekil 8. ASTM F2996-20 Modeli üzerinde oluşturulan tetragonal ağ yapısı
(Tetrahedral mesh structure created on ASTM F2996-20 Model)



Şekil 9. ASTM F2996-20 Modeli üzerinde oluşturulan hexagonal ağ yapısı
(Hexahedral mesh structure created on ASTM F2996-20 Model)

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

Yapılan statik analizler sonucunda boyun bölgesi, sökme/takma deliği ve sabitleme bölgelerindeki gerilme ve birim şekil değiştirmeler incelenmiştir. Analizler sonucu, kullanılan farklı eleman tiplerinin ağ optimizasyonu yapıldığı takdirde maksimum asal gerilmeler ve maksimum birim şekil değiştirme değerlerinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Oluşturulan sonlu elemanlar modellerine ait maksimum asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler sırasıyla Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Eleman tipi ve düğüm noktası sayısına bağlı maksimum asal gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler (Maximum principal stresses and strains depending on element type and number of nodes)

Model No	Eleman tipi	Maksimum Asal gerilmeler (MPa)	Maksimum birim şekil değiştirmeler
1	4 Nodlu Tetragonal	424.04	0.0911
2	10 Nodlu Tetragonal	426.04	0.0927
3	8 Nodlu Hexagonal	418.48	0.0964
4	20 Nodlu Hexagonal	430.28	0.0971

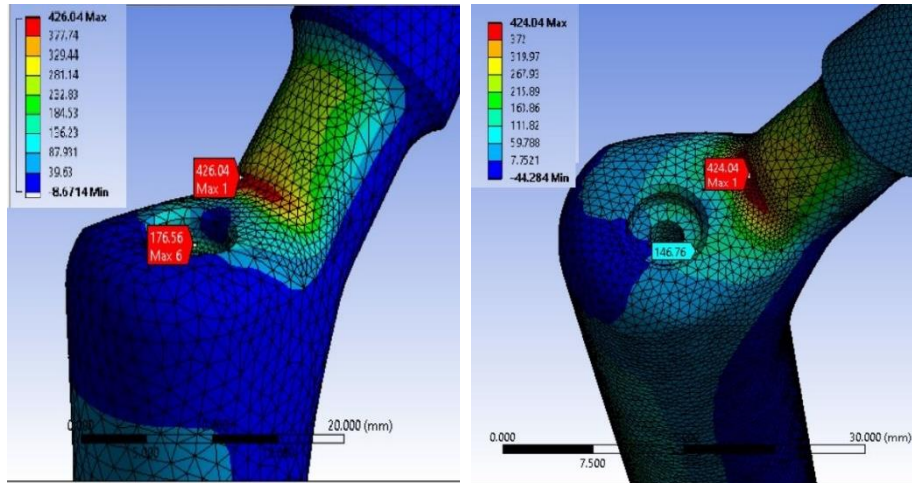
Genel olarak tetragonal elemanlar daha karmaşık ve kompleks geometrilere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca altı yüzlü hexagonal elemanlarla karşılaştırıldığında, tetragonal eleman modeli aynı eleman kenarı uzunluğu için daha az sayıda düğüm kullanmaktadır. Çözüm süresi ve çözüm sonrası işlem süreleri her iki tip eleman (tetragonal ve hexagonal) için de hemen hemen aynı olup, toplam analiz süresi yüksek dereceli kuadratik tetragonal elemanlarda hexagonal elemanlardan (hem düşük dereceli lineer hexagonal hem de yüksek dereceli kuadratik hexagonal elemanlar) çok daha düşüktür. Bu nedenle ASTM F2996-20 standardı, kalça protezi sonlu elemanlar analizleri için kuadratik tetragonal eleman kullanılmasını önermektedir.

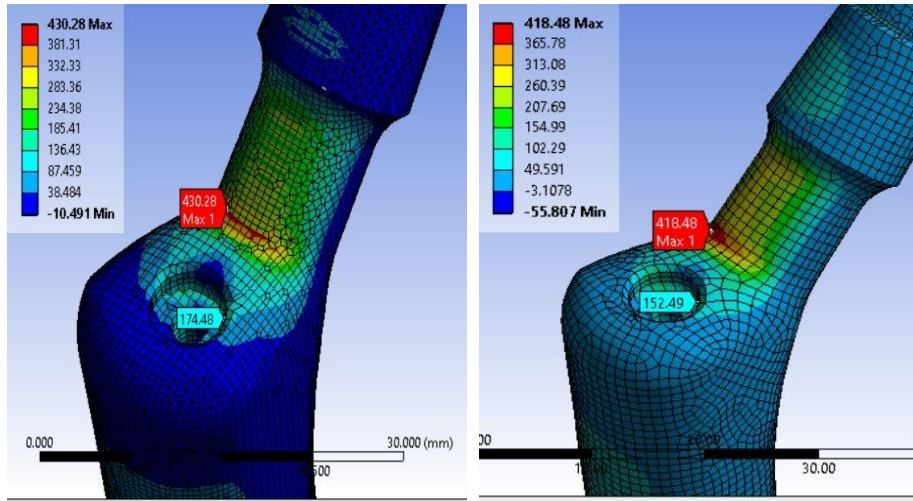
Tamamı 10 düğüm noktalı tetragonal eleman kullanılarak oluşturulan ASTM Çok katılımcılı çalışma ile ANSYS asal gerilme sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. ASTM F2996-20 çok katılımcılı FEA model sonuçları ile ANSYS maksimum aksel gerilme değerleri (MPa) (ANSYS maximum axial stress values with ASTM F2996-20 multi-participant FEA results) (MPa)

Katılımcılar	Boyun Bölgesi	Sökme/takma deliği	Sabitlenme Bölgesi
1 No'lu Şirket	413	183	174
2 No'lu Şirket	425	188	168
3 No'lu Şirket	432	194	169
4 No'lu Şirket	395	176	168
5 No'lu Şirket	409	168	158
Üniversite 1	403	165	169
Üniversite2	404	167	160
ANSYS Analizi	426	185	167
Ortalama	413	178	166
Standart Sapma	13	10	5

Farklı eleman tiplerine ait maksimum gerilme ve birim şekil değiştirmelerin meydana geldiği bölgeler Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.

**Şekil 10.** 10 düğüm noktalı (solda) ve 4 düğüm noktalı (sağda) tetragonal modellere ait maksimum aksel gerilmeler ve maksimum gerilme bölgeleri (Maximum axial stresses and maximum stress regions for 10-noded (left) and 4-noded (right) tetrahedral models.)



Şekil 11. 20 düğüm noktalı (solda) ve 8 düğüm noktalı (sağda) hexagonal modellere ait aksel gerilme durumları ve maksimum gerilme bölgeleri (Axial stress states and maximum stress regions of hexahedral models with 20 noded (left) and 8 noded (right)).

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Total kalça protezi tasarımında protez performansı ve kullanım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar gelişen cerrahi yöntemlerin yanı sıra malzeme ve üretim teknolojileriyle beraber son yıllarda oldukça hız kazanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi yeni protez tasarımlarının dayanım performansları hakkında prototip üretimi ve fiziksel testler yapılmaksızın gerçeğe oldukça yakın önemli bilgiler sağlamaktadır. Ağ optimizasyonu simülasyon sonuçlarının hassas ve güvenilir olmasını sağlayan önemli bir doğrulama aracıdır. Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir konu da eleman ve düğüm noktası sayısıdır. Uygun eleman tipi ve eleman boyutu seçimi sayesinde yakınsama hatalarından kaçınarak en kısa çözüm süresinde istenilen sonuçları elde etmek özellikle büyük ve kompleks modeller söz konusu olduğunda bir zorunluluk haline gelebilmektedir. Keskin köşeli ve sivri uçlara sahip geometrik özellikteki modellerde oluşabilecek gerilme yığılmaları ve bu bölgelerdeki birim şekil değiştirmelerin dikkatle incelenmesi önemlidir.

Bu çalışmada ASTM F2996-20 kalça protez modeli ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak ASTM F2996-20 ve ISO 7206-4(2010) da belirtilen konumlandırma, sınır şartları ve yükleme koşulları uygulanarak statik gerilme ve deformasyon analizleri yapılmıştır. Protez malzemesi olarak günümüzde üstün mekanik özellikleri ve yüksek biyouyumluluğu sayesinde cerrahi protez malzemesi olarak kullanılan Ti-6Al-4V kullanılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- ANSYS 19 paket programında oluşturulan ağ eleman boyutunun 1mm'den küçük olması durumunda gerilme ve birim şekil değiştirmeler üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat işlem süresini oldukça arttırarak çözümü ekonomiklikten uzaklaştırdığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle sonlu elemanlar analizlerinde ağ optimizasyonu ve eleman boyutu seçimi hem analiz sonuçlarının hassasiyeti hem de yüksek çözüm sürelerinden kaçınarak zaman açısından ekonomik analizlerin yapılması için oldukça önemlidir.
- Ağ yapısı oluşturulurken 4 düğüm noktalı ve 10 düğüm noktalı olmak üzere 2 farklı tip tetragonal eleman, 8 düğüm noktalı ve 20 düğüm noktalı olmak üzere 2 farklı tip hexagonal eleman kullanılarak toplamda 4 farklı eleman tipine sahip sonlu eleman ağ yapıları oluşturulmuştur. Kullanılan farklı eleman tiplerinin ağ optimizasyonu yapıldığı takdirde analiz sonuçlarına önemli derecede etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Sonlu elemanların medikal protezlerin tasarımında kullanımı yüksek maliyet ve zaman gerektiren tasarım ve doğrulama süreçlerinin hızlanmasına katkı sağlayarak sonlu elemanlar ile ilgili standart ve yönetmeliklerin geliştirilmesini sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdullah, K.A.1997. Stress and Stability Analysis of the Neck-Stem Interface of the Modular Hip Prosthesis, Queen's University Department of Mechanical Engineering, PHD Thesis,177p, Ontario.
- Altinel, L. 2021. <https://www.leventaltinel.com/kalca-protezi/> Erişim tarihi:09.02.2021
- ASTM F2996-20. 2020. Standard Practice for Finite Element Analysis (FEA) of Non-Modular Metallic Orthopaedic Hip Femoral Stems, American Society for Testing and Materials (ASTM), 11s.
- Atik, F., Özkan, A., Uygur, İ. 2012. İnsan Uyluk Kemiği ve Kalça Protezinin Gerilme ve Deplasman Davranışının Kıyaslanması, Sakarya University Journal of Science, 16(3), 249-253.
- Bilgen, Ö. F., Bilgen, S., Ermutlu, C. 2011. Kalça Protezlerinde Malzeme ve Tasarım Özellikleri, Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği Dergisi, 147-157.
- Charnley, J. 1964. The bonding of prostheses to bone by cement. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 46(3), 518-529.
- Chethan, K. N., Zuber, M., Shenoy, S., Kini, C. R. 2019. Static structural analysis of different stem designs used in total hip arthroplasty using finite element method. Heliyon, 5(6), 8s.
- Colic, K., Sedmak, A., Grbovic, A., Tatic, U., Sedmak, S., Djordjevic, B. 2016. Finite element modeling of hip implant static loading, Procedia Engineering 149, 257-262.
- İnce, A. 2018. Primer ve Sekonder Kalça Osteoartrili Hastalarda Çimentosuz ve Seramik Yüzeyli Total Kalça Protezi Uygulamalarımız- Kısa ve Orta Dönem Sonuçları, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Antalya Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Tıpta Uzmanlık Tezi, 98s, Antalya.
- ISO 7206-4(2010), Implants for Surgery- Partial and Total Hip Joint Prostheses- Part 4: Determination of Endurance Properties and Performance of Stemmed Femoral Components, ISO- International Organization for Standardization; Geneva, Switzerland.
- Kayabaşı, O. 2011. Probabilistic Approach on The Analysis of a Kayabaşı-Ekici Type Hip Prosthesis Using Approximate Solution Techniques, Marmara University Department of Mechanical Engineering, PHD Thesis.168s, Istanbul.
- Knight, R., Aujla, R., and Biswas, S.P. 2011. Total hip arthroplasty-over 100 years of operative history, Orthop. Rev., 3(2), 72-74.
- Terzi M., Güvercin Y., Ateş S.M., Sekban D.M., Yaylacı M. 2020. Effect of different abutment materials on stress distribution in peripheral bone and dental implant system. Sigma Journal of Engineering And Natural Sciences, 38(3), 1515-1527.
- Yaylacı M, Terzi C. 2018. Temas problemlerinde sonlu elemanlar yönteminin doğruluğunun incelenmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(3), 511-519.
- Yaylacı, M., Avcar, M. 2020. Finite element modeling of contact between an elastic layer and two elastic quarter planes. Computers and Concrete, 26(2), 107-114.
- Yaylacı, M., Terzi, C., Avcar, M. 2019a. Numerical analysis of the receding contact problem of two bonded layers resting on an elastic half plane. Structural Engineering and Mechanics, 72(6), 775-783.
- Yaylacı, M., Bayrak, M.Ç., Avcar, M. 2019b. Finite Element Modeling of Receding Contact Problem. International Journal of Engineering and Applied Sciences 11(4) 468-475.
- Yaylacı M. 2016. The investigation crack problem through numerical analysis. Structural Engineering and Mechanics, 57(6), 1143-1156.