

# BİYOMEKANİK ALANDA KULLANILAN İLERİ ÖLÇME TEKNİĞİ METODLARI VE OPTİK ÖLÇME SİSTEMLERİ

**Binnur SAĞBAŞ**  
**Anıl AKDOĞAN**  
**Numan DURAKBAŞA**

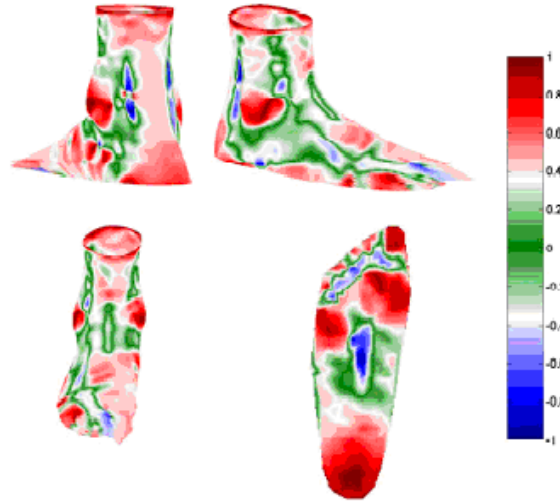
## ÖZET

Biyomekanik alanda özellikle insan vücudunda kullanılan, çok karmaşık geometri ve anatomilere sahip olabilen implantların modellenebilmesi için uzun yıllardır ölçme tekniği ve değerlendirme metodlarına başvurulmaktadır. Bugün endüstride sıkça kullanılan koordinat ölçme sistemlerinin yanı sıra birkaç farklı 3D yüzey ölçme metodu da diz, kalça kemiği, dirsek gibi çok çeşitli implant uygulamalarında kullanılmaktadır. Verilen bir anatomik bölgenin şeklini belirleyebilmek için matematiksel analizlerin de gerçekleştirilebilmesine imkân veren yüksek hassasiyetli 3D yüzey verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu alanda yapılmış, literatürde yer alan çalışmalar hakkında özet bilgiler verilmektedir. Ayrıca bir kalça kemiği implantının 3D optik ölçme cihazında yüzey doku analizleri gerçekleştirilmiş ve ölçme ve değerlendirme sonuçları verilmiştir.

## 1. GİRİŞ

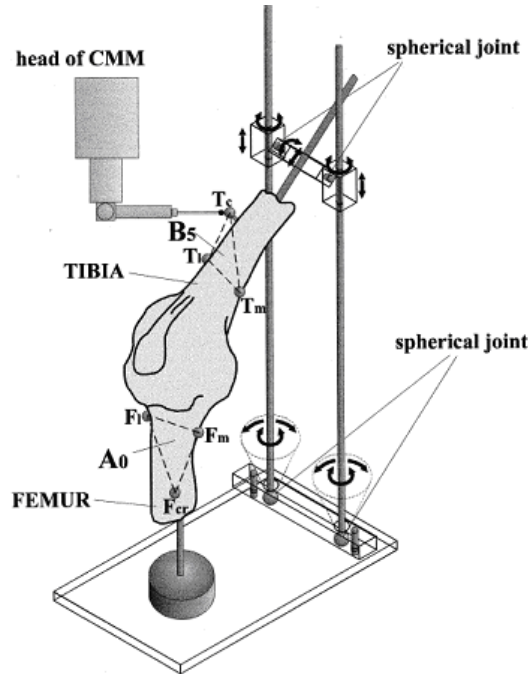
Optik yüzey analizleri metodu, biyomekanik alanda özellikle insan vücudunda kullanılan, çok karmaşık geometri ve anatomilere sahip olabilen implantların ölçme ve kontrollerinin yapılabildiği bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu metod, yüksek sayıda veri noktasının çok kısa sayılabilecek bir zamanda yüksek hassasiyetle ve temassız olarak toplanmasını sağlar (3). 3D lazer tarayıcılardaki son gelişmeler yüzey kaydetme ve analizleri için etkili bir başka yoldur. Liu vd. (2004) ayaktaki ve bacadaki (dizaltı) eğilmeleri (cruature) ortaya çıkarmak ve prominent yapıları değerlendirmek için bir metod geliştirmişlerdir. Uygulamalarında temassız 3D lazer tarayıcı kullanmışlardır. Bu metodla, insan vücudunda kullanıldığında fonksiyonlarını tam olarak yerine getirebilecek bir ayak implantı tasarlarken kullanılmak üzere, yüzeydeki konkav ve konveks şekilsel yapıların bilgilerinin tam olarak tespitine olanak sağlamışlardır[2].



**Şekil 1.** Ayak bileği bölgesi - Koenderink şekil içeriği 3D harita gösterimi [2]

Kırmızı: Konveks, Yeşil: her iki yöne doğru eğim veren, Mavi: Konkav, Beyaz: 3 farklı şekilsel yapı arasındaki geçişler

Koordinat ölçme cihazları dünya genelinde makine mühendisliği, uzay bilimleri, otomotiv endüstrisi gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Koordinat Ölçme Cihazları (CMM) aslında çok çeşitli komponentlerin muayenesi için tasarlanmışlardır. CMM'lerin insan eklemlerindeki biyomekanik uygulamalarda kullanımı da aslında çok da yeni bir uygulama değildir. Veselko vd. (1988), CMM'lerin biyomekanikteki kullanım alanlarının literatürde henüz tam olarak tanımlanmadığına inanarak bu konudaki gelişmelerden söz etmişler ve bir diz implantının 3D ölçüm verilerini özel tasarlanmış bir bilgisayar programıyla analiz etmişlerdir [3].

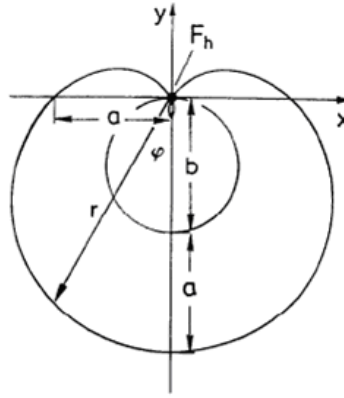


**Şekil 2.** Destekleyici bir mekanizmaya bağlanmış anatomik numune,  $F_{cr}$ :cranial femur noktası,  $F_m$ :orta femur noktası,  $F_1$ : yanıl femur noktası,  $T_c$ :uyruğa yakın tibia noktası,  $T_m$ : orta tibia noktası,  $T_1$ :yanıl tibia noktası,  $A_0$ :Femur düzlem,  $B_5$ : 20° bükülmede tibia düzlemi [2]

Bu program sayesinde implantın her bir hareketinin olası sonuçları tanımlanabilmektedir. Diz bağlantısı içindeki belirlenmiş herhangi bir noktanın izlenmesi de mümkün olabilmektedir. Femur ve Tibia kemikleri arasındaki herhangi bir çift nokta arasında oluşacak mesafede hesaplanabilmektedir. Elde edilen verilerle oluşturulan katı model sayesinde ve sonlu elemanlar metodu yardımıyla yeni cerrahi tekniklerin izin verdiği yeniden tasarım uygulamalarının simülasyonu da mümkün olmaktadır [2].

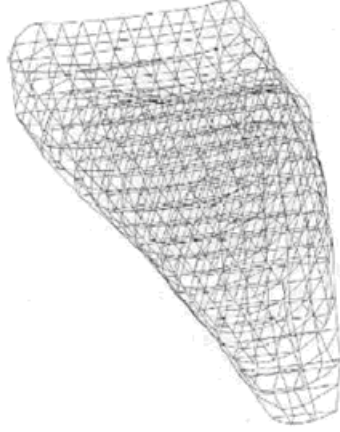
İnsan vücudu implant uygulamalı kısımlarına daha iyi bir hareket kabiliyeti kazandırabilmek adına yapılabilecek yeniden üretim uygulamalarına robot sistemleri ilave edilebilmektedir. Kemiklere yerleştirilen uygun "marker" ve sensörler yardımıyla optik ölçme sistemleri de aynı amaçla kullanılabilir.

Menschik (1997), kalça kemiği "Femur başı"nın ideal dairesel şekle sahip olup olmadığını bir CMM ile yaptığı 3D ölçümler ile tespit etmiştir [4]. Implantların insan hareketlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirebilmesi için hayati önemli olan bu şeklin; literatürde bazen bir daire bazen de bir küre olarak tanımlanmasına rağmen, Menschik tarafından "rotasyonel konkoid" olarak tanımlanan bu şekil, gerçekte ilk kez 1786 yılında E. Pascal tarafından aşağıdaki formül ile tanımlanan bir geometridir.



**Sekil 3.**  $r = a + b\cos\phi$  genel eşitliği ile tanımlanan bir konkoid.  
F<sub>h</sub> geometrik merkezi temsil etmektedir. [1]

Durakbasa ve Osanna (2003), çalışmalarında, Menschik tarafından "rotasyonel konkoid" olarak tanımlanan bu şeklin, CMM'in tarayıcı modda kullanarak elde edilen ölçme verisinin değerlendirme bilgisayarına transferi ve optimizasyon için hesaplama yazılımının kullanımıyla nasıl çıkartıldığını ve tanımlandığını açıklamaktadırlar. Yazarlar çalışmalarında aynı zamanda, koordinat metrolojisinin, karmaşık boyutsal ve geometrik ölçme problemlerinin, özellikle yüksek hassasiyet ve yüksek esneklik içeren taleplerinde, çok etkili bir çözüm olduğu konusuna vurgu yapmaktadırlar. Çalışmalarında, üzerinde kıvrımlar ve eğimli bölgeler olan bir diş protezindeki yapay bir dişin şeklini, 0,3mm radyuslu bir proba sahip olan CMM ile bir serbest yüzeymiş gibi tespit etmişlerdir. Bu örnek koordinat metrolojisinin biyomekanikle ilgili olan boyutlar hakkında da kesin nümerik bilgiler sağlayabildiğinin iyi bir kanıtıdır [5].



**Şekil 4.** Yapay bir dişin ölçme verisinin değerlendirilmesi [4]

Yüzey pürüzlülüğü sürtünme ve aşınma üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Geleneksel olarak bağlantı topografyasının değerlendirilmesinde 2D  $R_a$  parametresi tercih edilen bir yol olmuştur. Günümüzde bu alanda yapılan araştırmalarda gelişmekte olan 3D tekniklerin kullanımı mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, yüzey karakterizasyonunda yüksek çözünürlüklü 3D optik mikroskop kullanım imkânı ve önemi üzerinde durulmuştur [5].

Bu çalışmada, bir kalça kemiği implantının 3D optik ölçme cihazında yüzey doku analizleri gerçekleştirilmiş ve ölçme ve değerlendirme sonuçları verilmiştir. Birinci bölümde özet literatür bilgilerini ve konunun önemini takiben, ikinci bölümde 3D optik ölçme sistemleri ve kullanım alanları, üçüncü bölümde ise deneysel çalışmadan bahsedilmektedir. Son bölümde ise çalışmanın özet sonuçları verilmektedir.

## 2. 3D OPTİK ÖLÇME SİSTEMLERİ VE DİĞER DOKUNMASIZ METODLAR

Direkt metodlar ile yapılan işlemlerde yüzey iğne uçlu bir cihaz tarafından değerlendirilmektedir. İğne ucun ölçüm yapılacak yüzey boyunca hareket ettirilmesi ile ölçüm değerleri elde edilmekte ve iğnenin yüzeye dik hareketi kaydedilmektedir. Kaydedilen yüzey profili daha sonra pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Metod cihazın çalışması sürecinde duraklama yapılmasını gerektirmektedir. Bunun yanında sivri uçlu elmas iğne de yüzeyde mikro çizikler oluşturabilmektedir.



**Şekil 5.** Optik ölçme cihazı

Dokunma ile yapılan ölçme tekniklerinin aksine optik ölçme metodları son derece yüksek doğruluk, güvenilirlik ve kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar. İmplantların kalitesi önemli derecede geometrilerine ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Dayanıklılık, besleme hızı ve makinenin diğer tüm özellikleri, kesme geometrisinden (kesme açısı, yarıçap) oldukça etkilenmektedir. Dokunmatik ölçüm cihazlarında, iğne ucun yüzey ile temasından dolayı bu geometrilerde doğru sonuçların alınması çoğu kez mümkün olamamaktadır. İğne ucun eğri üzerinden kayma eğilimi içerisinde olması yanlış sonuçlar alınmasına sebep olacaktır. Yüzeyde optik olarak yapılan ölçme işlemi ise bu yanlışlıkları ortadan kaldıracaktır. Şekil 5'de görülen optik ölçme sitemleri; yükseklik, alan, hacim ve yüzey pürüzlülüğü gibi alanlarda oldukça kapsamlı analizlerin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Fakat düşey ve yanal çözünürlükleri farklıdır. Profil, alan, hacim ve yüzey pürüzlülüğü gibi 3D ölçümler optik renk görüntüleme ile direkt olarak yapılabilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için pek çok metod geçmişten günümüze kullanılmaktadır. Örneğin, Makine Vizyon tekniğinde, bir ışık demeti ile yüzeyin aydınlatılması sağlanarak, sayısal sistem ile yüzey görüntülenir ve veriler analiz edilmek üzere bilgisayara gönderilir. Sayısal veriler daha sonra bir korelasyon diyagramı ile birlikte kullanılarak gerçek pürüzlülük değerleri elde edilir. Bir diğer pürüzlülük ölçüm tekniği olan indüktans metodunda, yüzey ile tarayıcı uç (pick up) arasındaki mesafenin ölçülmesi için bir indüktans ucu kullanılır. Karşılaştırmalı pürüzlülük değerlerinin elde edilmesinde kullanılabilen parametrik değerler veren bu yöntem, manyetik malzemelerin ölçümleri ile sınırlıdır. Ultrases tekniği olarak adlandırılan bir başka yöntemde ise küresel odaklanmış ultrasonik bir sensör, normal olmayan bir geliş açısı ile yüzey üzerine yerleştirilir. Sensör aracılığı ile kişisel bilgisayara gönderilen ultrasonik sinyaller, pürüzlülük parametrelerinin hesaplanması ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İmplat bağlantılarının bir fonksiyonu da sürtünme kuvvetinden kaynaklanan torkun ve bağlantıda oluşan kuvvetlerin azaltılmasıdır. Böylelikle titanyum alaşımları (Ti 6Al 4V), paslanmaz çelikler (316S), kobalt krom molibden alaşımları (Co28Cr6Mo), veya alüminyum oksit seramiklerden yapılmış olan protezlerin yüksek yükler altında genişlemeleri ihtimalinin azaltılması amaçlanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Günümüzde bu alanda yapılan araştırmalarda kullanılmak üzere geliştirilmeye devam edilen 3D teknikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yüzey karakterizasyonunda yüksek çözünürlüklü 3D optik mikroskop kullanım imkânı ve önemi üzerinde durulmuştur [5].

Bu çalışmada, titanyum malzemedan yapılmış bir insan kalça kemiği bağlantı implantı (Şekil 6) üzerinde 3D ölçümler yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ölçüm işlemi optik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, 20 nm çözünürlük ile z yönünde alınmıştır.



Şekil 6. Bir insan kalça implantı

**Tablo 1.** İnsan kalça kemiği bağlantı implantı üzerinde yapılan 3D ölçüm sonuçları

| Ölçüm No                         | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )          | 8,38  | 8,69 | 8,59 | 8,66 | 8,62 | 7,35 | 7,75 | 7,87 | 7,92 | 8,01 |
| Ortalama $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) | 8,18  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Standart sapma                   | 0,466 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Beklentiler implant bir kalça bağlantısının 30 milyondan fazla bükülme yapabilmesi ya da 20 yıldan fazla kullanılabilmesi yönündedir. Yapay bağlantılardaki temel fonksiyonel beklenti, bu bağlantıların ömrünün 20 yıldan fazla olması gerektiği doğrultusundadır. Bu durum eklem boyunca temas yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetini ve aşınmayı azaltmak için sürtünme katsayısının minimize edilmesini gerektirmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı ve aşınmaya dayanıklı polimer malzemeler –ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE)- ile sert metal veya seramik başlıkların kombinasyonun bu alandaki başarısı ispatlanmış malzemelerdir. Fakat kalça bağlantılarının aşınma ve sürtünme problemlerine önemli ölçüde etkisi olan topografik faktörler de sorunun basitleştirilmesi ve optimize edilmesi açısından son derece önem arz etmektedirler [5].

Deneyisel çalışmanın ölçme işlemi sonuçları incelendiğinde  $R_a = 8,18 \mu\text{m}$  (10 ölçme sonucunun ortalaması) olarak karşımıza çıkmaktadır. 5X büyütülmüş yüzey görüntüsü Şekil 7’de verilmektedir. Şekil 6’daki görüntüye baktığımızda son derece parlak ve pürüzsüz görünen yüzeyin, mikroskop altındaki görüntüsü incelendiğinde (Şekil 7) küçük tepeciklerin ve pürüzlerin olduğu görülmektedir. İmplantın bir süre kullanımının ardından kemik içerisindeki hareketlerine bağlı olarak yüzeyinde bir takım çizilmelerin ortaya çıktığı gözlemlenebilir. Bu çizilmelerin ileride mikro çatlakların tetiklenmesi ve kırılma başlangıcı sorununa etkisi kaçınılmaz olacaktır.

**Şekil 7.** 5X büyütülmüş femoral implant başının yüzey görüntüsü

## SONUÇ

Bir implant bağlantısında, protezin yüksek yükler altında genişlemesi ihtimalinin azaltılması için, bağlantıda sürtünmeden kaynaklanan torkun ve ortaya çıkan kuvvetlerin minimize edilmesi gerekmektedir. Kullanılacak malzeme türü ve kombinasyonları açısından alınacak önemler ile bağlantının dayanımı arttırılabileceği gibi malzemenin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ile de implantın aşınma dayanımı ve bağlantı özellikleri iyileştirilebilecektir. Yüzey karakterizasyonu alanında yapılan araştırmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olan yüksek çözünürlüklü 3D optik mikroskoplar, özellikle yüzey özelliklerinin son derece önemli olduğu kalça implantı gibi medikal uygulamalar için, yüzeye zarar vermeyecek şekilde, hassas ölçümlerin alınabileceği ve gerekli analizlerin yapılabileceği bir yöntem olarak gelişmeye devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] ISO 4287 (1997) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: profile method - terms, definitions and surface texture parameters.
- [2] Liu X., Kim W., Drerup B., 3D Characterization and Localization of Anatomical Landmarks of the Foot by FastSCAN, Real-Time Imaging, 10, 217–228, 2004
- [3] Veselko M., Jenko M., Lipuscek I., The use of the Co-ordinate Measuring Machine for the Study of Three-Dimensional Biomechanics of the Knee, Computers in Biology and Medicine, 28, 343-357, 1998
- [4] Menschik F., The Hip Joint as a Conchoid Shape, J., Biomechanics, Vol. 30, No. 9, pp. 971-973, 1997
- [5] Durakbasa M.N., Osanna P.H., Utilization of Co-ordinate Measurement Technique in Biomedicine to Evaluate the Shape of Non-technical Structures, Measurement, 33, 157–161, 2003
- [6] Handbook of Infinite Focus, Optical 3D Surface Metrology, Alicona Imaging GmbH.
- [7] SO 4288 (1996) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: profile method - rules and procedures for the assessment of surface texture.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Binnur SAĞBAŞ

1980 Çanakkale doğumludur. 2004 yılında Y.T.Ü. Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2007 yılında aynı üniversiteden Yüksek Mühendis ünvanı almış, aynı yıl İşletme Yönetimi Yüksek Lisans Programından mezun olmuştur. Halen Y.T.Ü. Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak görev yapmakta ve doktora programına devam etmektedir.

### Anıl AKDOĞAN

1976 Antalya doğumludur. 1992 yılında Y.T.Ü. Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2000 yılında Yüksek Mühendis, 2006 yılında Doktor ünvanını almıştır. Halen aynı Üniversitede Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

### Numan DURAKBAŞA

Viyana Teknik Üniversitesi, Makina ve Endüstri Mühendisliği Fakültesi'nde öğretim üyesi, Kalite Yönetimi ve Ölçme Tekniği Bölümü ve Nano Teknoloji Laboratuvarı Başkanı olan Prof. Dr. M. Numan Durakbaşa 1998 yılından beri Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Ana Bilim Dalında, Kalite Yönetimi ve Ölçme Tekniği alanında misafir profesör olarak öğretim üyeliği görevi

yapmaktadır. Üniversitedeki çalışmalara paralel olarak, Viyana Teknik Üniversitesinin EOQ Şemasına göre akredite edilen „Kalite Personeli Eğitimi ve Sertifikasyonu Kuruluşu“ Başkan Vekilliği ile aynı kuruluştaki Baş Denetçi/Denetçi Eğitimliği ve 2006 yılında Avusturya’da oluşturulan ve kurucu üyesi olduğu „Kalite Bilimleri Forumu“ nda başkan vekilliği görevlerini yürütmektedir.

1985 yılından beri Avusturya Standartları Enstitüsünün üyesi olan Durakbaşa halen enstitünün „Kalite Yönetimi“ ile „Geometrik Mamul Şartları ve Doğrulanması“ Standardizasyon Teknik Komitelerinde başkan vekilliği görevini yürütmektedir. Uluslararası Standartlar Teşkilatı ISO’ nun (International Organization for Standardization) „Kalite Yönetimi“, TC 176 ile „Geometrik Mamul Şartları ve Doğrulanması“ TC 213 Teknik Komitelerinde Avusturya Temsilcisi olarak uluslararası alanda standardizasyon çalışmalarında aktif görev yapmaktadır. Uluslararası alanda bilimsel çalışmaları ile onursal profesör ünvanı ve ulusal ödüllerin sahibi olan ve ABD, Çin, Japonya, Brezilya, Azerbaycan, BAE, Mısır ve Türkiye ile çeşitli Avrupa ülkelerinde 180 den fazla bilimsel konferans veren Durakbaşa’nın 200 den fazla bilimsel yayını ve 9 kitabı bulunmaktadır.