



# El Protezlerinde Kullanılan Yüzey EMG Elektrotları ile Kuvvet Sensörlerinin Karşılaştırılması

## Comparison between Force Sensors to Surface EMG Electrodes Used in Hand Prosthetics

Yusuf Hakan Usta<sup>1</sup>, Mohammad Ghosheh<sup>1</sup>, Yalçın İşler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biyomedikal Mühendisliği, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
yhakan.usta@gmail.com, mohammad.gh95@hotmail.com, islerya@yahoo.com

**Özetçe**—Çoklu serbestlik derecesine sahip, aynı anda birden çok parmak ve bilek hareketlerini yapmaya yarayan modern el protezi tasarımlarında, hem boyut hem de enerji kullanımında; avantajlı farklı sensör yapılarının kullanımı önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada, yüzey EMG sinyalleri yerine piezoelektrik prensibiyle çalışan kuvvet sensörlerinin el protezi tasarımlarında kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, EMG sensörleri yerine piezoelektrik prensibiyle çalışan kuvvet sensörlü sistemlerin kullanımının daha avantajlı olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler** — el protezleri; sinyal işleme; kuvvet sensörleri; esnek algılayıcı sensörler; yüzey EMG.

**Abstract**— Design of modern prosthetic hand that have multiple degrees of freedom and able to move multiple fingers and wrist simulataneously, it has been important to use different sensor structures having advantegous in both size and energy usage. In this study, it is investigated whether piezoelectricity-based force sensors can be used instead of EMG sensors in prosthetic hand design or not. As a result of experimental studies, it is shown that using piezoelectricity-based force sensors is more affordable instead of using EMG sensors.

**Keywords** — hand prosthetics; signal processing; force sensors; flexy sensors; surface EMG.

### I. GİRİŞ

Protezler; bir hastalık veya fonksiyon kaybı sonucu el, kol, ayak veya bacak gibi uzuvlarından amputasyona uğramış bireyler için üretilen ve bu uzuvların yerine geçip ampute bireylerin temel fiziksel hareketlerini yapmalarını sağlayan tıbbi cihazlardır [1]. Protez çalışmalarına örnek olarak diğer vücut çıkıntılarında göre daha karmaşık yapıya sahip olan el protezi çalışmaları verilir. Günümüzde kullanılan el

protezleri için üç çeşit protez tipinden bahsedilmektedir. Birincisi kozmetik amaçlı işlevi neredeyse hiç olmayan sadece görsel açıdan bireye destek veren ürünlerdir. İkincisi vücut kontrollü protezler, birden fazla kablo tarafından çalıştırılıp, bu kablolar bireyin vücuduna bağlanır. Bu protezlerin en büyük avantajı elektrik güç kaynağına gerek kalmamasıdır. Üçüncüsü ise miyoelektrik biyonic el protezlerdir [2]. Miyoelektrik Biyonic El, mekanik, elektronik ve ampute bireyin invaziv yada invaziv olmayan EMG sinyalleriyle birçok parçanın bir araya gelmesi ile oluşan elektro-mekanik bir sistemdir. Böyle bir sistemde elektrikli parçaların kontrolü ile birlikte mekanik parçalar tahrik edilerek yapılır [3]. Bu protezlerin en büyük avantajları çoklu serbestlik derecesine sahip olmaları ve aynı anda birden fazla hareketi yapabilmeleridir. Bunlara örnek olarak ticari boyutu da bulunan Otto Bock [4], TouchBionics [5], Deka Arm [6], Bebionic [7] ve benzeri ürünler verilmektedir. Bu protezlerin gelişiminde elin hareketlerini sağlamada EMG sinyallerinin işlenmesi büyük bir rol oynamaktadır [8].

İnvaziv olmayan EMG yada yüzey elektromiyografisi kaslar üzerinde oluşan; fizyolojik olarak “nöromuskuler” sistemin oluşturduğu kaslara iletilen sinirlerin enerjilerini ölçmek, verileri analiz etmek ve sonuçları görüntülemek için elektronik cihazların kullanımı konusunda uzmanlaşmış bir alandır [9].

Mühendislik alanlarında el protezleri ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmaktadır. Özellikle günümüzde ucuz maliyetli üretimin yanında; toplamda 7 serbestlik derecesine sahip olan kol ve 20’den fazla serbestlik derecesine sahip olan elin anatomisine ve fizyolojisine yakın hareket ve kabiliyet amacı eklenmesi bu alanda çalışan bilim insanlarını farklı yöntem ve metotlara yönlendirmektedir [10]. Bu serbestlik derecesine sahip olan

## Biyomedikal Ölçüm 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

protezlerin hareketleri anlamlı, gerçeğe yakın ve farklı bir çok fonksiyonu bir arada yapmaları protez tasarımında ve üretiminde önemli bir nokta içerisinde yer almaktadır [11]. Diğer önemli nokta ise bu hareketlerin hafif, az ve uzun süreyle enerji harcayan, boyut olarak yer kaplamayan ve üretim olarak ucuz sistemlerle desteklenmesidir.

Bu çalışmada çoklu serbestlik derecesine sahip, aynı anda birden çok parmak hareketlerini yapmaya yarayan ve boyut olarak yer kaplamayan mekanik direnç enerjisini elektrik enerjisine çeviren piezoelektrik el protezi tasarımlarında; yüzey EMG sinyalleri yerine piezoelektrik prensibiyle çalışan kuvvet sensörlü modülün kullanılabilirliği tartışılmıştır [12]. Esnek algılayıcı sensörlü eldiven ile her bir parmak ve bilek hareketleri yapılarak alınan sinyallerle; yüzey elektromiyografi (EMG) ve piezoelektrik kuvvet sensörlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Temel amaç, el protezleri tasarımlarında kullanılan EMG modülleri yerine daha ucuz maliyetli ve her bir parmak hareketini rahat yapmaya yarayan kuvvet sensörlü modül tasarımı yapmaktır.

## II. YÖNTEM

Bu çalışmada 22 ile 25 yaş arası 6 sağlıklı gönüllü ile ellerine giydikleri esnek sensörlü eldiven sayesinde her bir parmak ve bilek hareketi yaptırılmış, aynı hareketler Biopac Öğrenci Deney Seti [13-14] EMG simülasyonu ve piezoelektrik prensibiyle çalışan üzerindeki direnç değişimine göre voltaj değerleri oluşturan kuvvet sensörleri ile tekrarlanarak sinyaller elde edilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır.

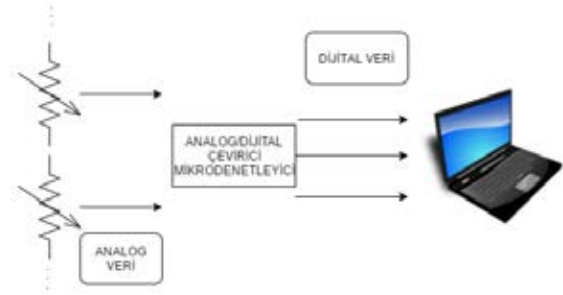
### A. Biopac MP36U Öğrenci Laboratuvar Sistemi

Biopac MP36U EMG-I deney simülasyonu kaslardaki maksimum ve minimum elektriksel aktiviteleri ölçen biyosinyal sistemidir [15]. Bu çalışmada gönüllülerin sağ ellerine bağlanan toplamda 3 tane; artı, eksi ve toprak Ag/AgCl tek kullanımlık elektrotları sayesinde 5-500 Hz frekans aralığında değişen ortalama -1 ile +1 Volt arasındaki EMG ve entegre EMG olarak ortalama -0.60 ile 0.40 V arasındaki her bir parmak ve bilek hareketlerinin aktiviteleri ölçülmüştür.

### B. Esnek Algılayıcı Sensörler

Esnek algılayıcı sensörler ayak bileği, diz, kalça ve el parmakları gibi biyolojik uzuvların fleksiyon ve ekstansiyon hareket açılarını hesaplamada kullanılır. Çift yönlü ve tek yönlü olarak bulunan bu sensörler fleksiyon ve ekstansiyon sırasında 9 k $\Omega$  ve 22 k $\Omega$  arasındaki direnç değişimine bağlı olarak çalışır [16]. Bu sensörler maliyet açısından ucuz olmalarının yanında yüksek mekanik dayanıklılık sağlarlar. Hareketli ve mekanik bileşenlerde aşınma ve gürültü faktörü etkisi çok az olduğu için elektriksel istikrar ve statik kazanç sağlanmış olur [17].

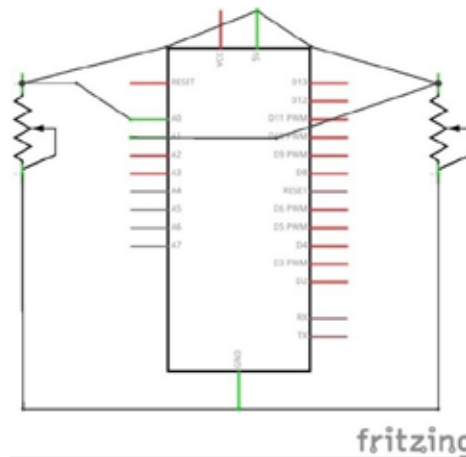
Çalışmada 6 tane esnek algılayıcı sensör el anatomik yapısı farklı olan gönüllüler için farklı ölçülerdeki eldivenler içerisine yerleştirilmiş ve her bir parmak hareketi ve bilek hareketleri yaptırılmıştır. Elde edilen analog sinyaller kurulmuş olan analog/dijital çevirici (Şekil 1) devre ile dijital sinyallere çevrilmiştir.



Şekil 1. 6 tane esnek algılayıcı sensörlerden gelen analog sinyallerin devresi kurulan analog/dijital çevirici ile dijital sinyallere çevrilmesi sürecinin çalışma akışı

### C. Kuvvete Duyarlı Sensörler

Kuvvete duyarlı olarak direnç değişimini ölçen bu sistemler; 5mm çapındaki aktif dairesel alana uygulanan kuvvetle orantılı olarak direnç değerlerinde düşüş gösterirler. Bu sayede kuvvet ya da basıncın algılanması sağlanmaktadır. Yapılan testlerde üzerlerine uygulanan kuvvetler 1M $\Omega$  ile 100M $\Omega$  arasındaki direnç değerlerine ulaşmıştır. Piyasa fiyatı 5 ile 13 dolar arasındadır [18-19]. Bu çalışmada; iki tane 0.6 " Kuvvete Duyarlı Kısa Saplı Dairesel Sensörler; Fritzing [20] programı ile simülasyonu yapıldıktan sonra Arduino Uno R3 [21] kullanarak gönüllülerin sağ ellerine bağlanmıştır. Şekil 2'de gösterilen iki tane piezoelektrik kuvvet sensörlerinden gelen analog sinyaller mikro denetleyicinin içinde yer alan analog/dijital çevirici sayesinde dijital verilere çevrilmiştir.



Şekil 2. Kuvvete Duyarlı Sensörlerin Fritzing simülasyon programınca oluşturulan mikrodeneleyiciye entegre şeması

## Biyomedikal Ölçüm 2

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

### D. Test Protokolü

Altı sağlıklı gönüllünün sağ elinden sırasıyla esnek algılayıcı sensörleri Biopac MP36U EMG-I ve kuvvet sensörleri ile parmak hareketleri ve bilek hareketleri (Şekil 5) ikişer saniye arayla gönüllüler oturur vaziyette yaptırılarak bu protokol üç kez tekrarlanmıştır.

Bu çalışmada toplam 6 adet esnek algılayıcı sensör, 2 adet kuvvet sensörü ve Biopac MP36U cihazı kullanılmıştır. Özel olarak içine esnek algılayıcı sensörler yerleştirilen eldiven sayesinde ilk olarak her bir parmak hareketi ve bilek hareketleri yaptırılmıştır. Daha sonra Biopac MP36U EMG-I deney protokolü için elektrotlar kol kısımlarına bağlanıp (Şekil 3) aynı hareketler tekrarlanmıştır. Kuvvet sensörü içinde aynı aşamalar gerçekleştirilmiştir. Son adım olarak tüm sistemler aynı anda gönüllülere uygulanıp aynı hareketler tekrarlatılmıştır.



Şekil 3. Biopac MP36U EMG-I deneyi için artı, eksi ve toprak elektrotlarının bağlantısı

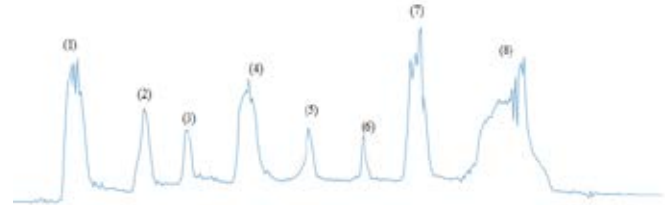
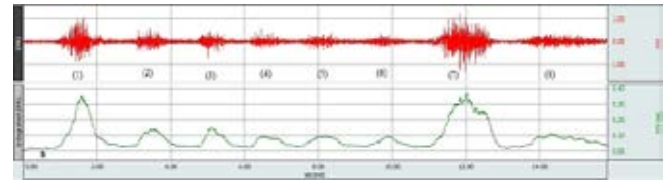
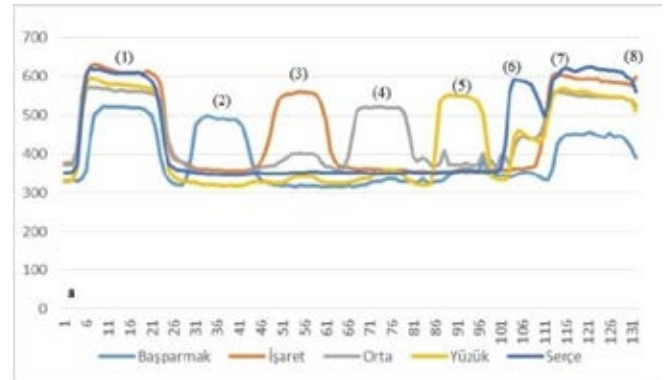
### III. SONUÇLAR

Altı sağlıklı gönüllünün sağ ellerinden alınan her bir parmak ve bilek hareketleri esnek algılayıcı sensörler referans alınarak Biopac MP36U EMG-I ve kuvvet sensörleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen üç farklı grafik (Şekil 4) 22 yaşındaki gönüllü erkek bireyden alınmıştır. Burada en alttaki grafikler üçer kez tekrarlan 8 hareketin kendi içlerindeki ortalamasını vermektedir. 6 gönüllü bireyde üçer kez yapılan aynı testlerin ortalaması her gönüllünün kendi grafikleri içerisinde tutarlılık göstermektedir.

### IV. TARTIŞMA

İlk etapta 6 tane esnek algılayıcı sensörler 8 farklı hareket yaptırılmıştır. Her bir parmak ve bilek hareketi üçer kez tekrarlandıktan sonra alınan analog sinyaller dijital sinyallere çevrilerek şekil 4a'daki grafik elde edilmiştir. Grafığe göre her bir parmağın ve bileğin ayırt edilebilecek noktada değere sahip olduğu görülmektedir. İkinci etapta Biopac MP36U EMG-I deneyi ile aynı hareketler tekrarlatılıp şekil 4b'deki grafik elde edilmiştir. Ancak maksimum ve minimum genlik değerleri birbirine çok yakın olduğu için değerlerin işlenip ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Buna ek olarak tek kanaldan değer alınması

sinyallerin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır. Ama şekil 4c'deki grafikten elde edilen sonuçlara göre her bir parmak hareketi değerleri çok rahat ayırt edilmektedir ve esnek algılayıcı sensörlerden alınan değerlere yakınlık göstermektedir. Bu durum bize tek kanaldan her bir parmak hareketini ve bilek yapabileceğimizi göstermektedir. Ancak esnek algılayıcı sensörler ve Biopac MP36U'daki 2. ve 3. hareketler birbirlerine benzer sonuçlar verirken kuvvet sensörleri farklı sonuçlar vermektedir. Bu 2. ve 3.hareketlerin ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır.



Şekil 4. Her bir parmak hareketi ve bilek hareketinin sırasıyla; Esnek algılayıcı sensörler (üstte), Biopac MP36U EMG-I (ortada), Kuvvet sensörü (altta) ile yaptırılması

El protezi tasarımdan hem maliyet açısından hem de her bir parmak hareketini daha az ve/veya tek kanaldan yapmak için EMG sensörleri yerine piezoelektrik prensibiyle çalışan kuvvet sensörleri kullanımı daha avantajlı olduğu görülmektedir. Genel olarak elde edilen sonuçlara göre parmak hareketlerinde elde edilen hedefler için kuvvet sensörlerinin kullanımı hem maliyet açısından hem de kullanım açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Aynı zamanda el protezi tasarımlarında hafif olması, az yer kaplaması, tek kanaldan her bir parmak ve bilek hareketinin yapılabilmesi ve çok kanallı yüzey EMG sistemlerine göre az enerji ile çalışması avantajlar olarak değerlendirilmektedir.

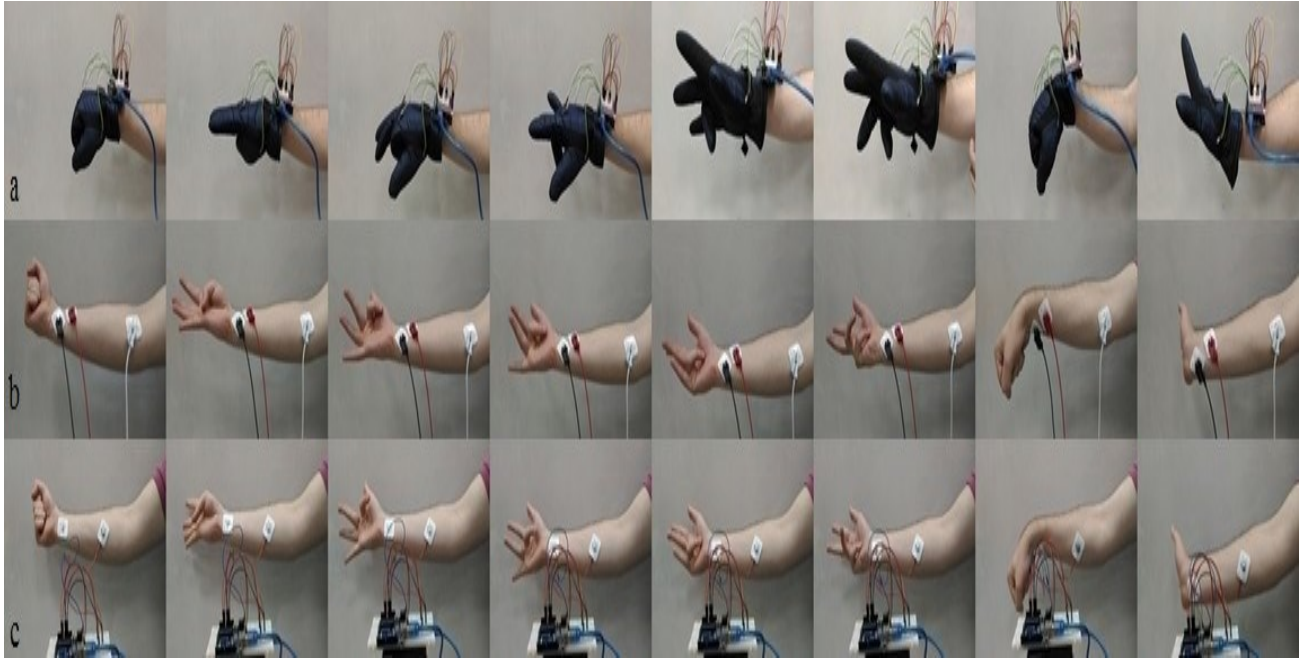
## V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İzmir Katip Çelebi Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 2013-2-FMBP-49 nolu ÖNAP projesi olarak desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] Edin, B. B., Ascari, L., Beccai, L., Roccella, S., Cabibihan, J. J. and Carrozza, M. C. "Bio-inspired Sensorization of a Biomechatronic Robot Hand for the Grasp-and-lift Task," *Brain Research Bulletin*, 75(6): 785-795, 2008.
- [2] K. Talbot, "Using Arduino to Design a Myoelectric Prosthetic", M.S. Thesis, Department of Physics, College of Saint Benedict, Saint John's University, 2014.
- [3] Karaçizmeli, C., Çakır G. and Tükel, D., "Robotic Hand Project", 2014 *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2014, pp. 473-476.
- [4] <http://www.ottobock.com.tr/en/prosthetics/upper-limb/>
- [5] <http://www.touchbionics.com/>
- [6] [http://www.dekaresearch.com/deka\\_arm.shtml](http://www.dekaresearch.com/deka_arm.shtml)
- [7] <http://bebionic.com/>
- [8] Edwards, J., "Signal Processing in Next-Generation Prosthetics", *IEEE Signal Processing Magazine*, 32(1): 5-9, 2015.
- [9] Cram, J. R., Kasman, G. S. and Holtz, J., *Introduction to Surface Electromyography*, Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland, 1998.
- [10] <http://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/the-limbitless-arm/>

- [11] Weir, R. F., "The great divide—The human-machine interface: Issues in the control of prostheses, manipulators, and other human machine systems," in *Proc. 29th Annual Northeast Bioengineering Conf.*, 2003, pp. 275-276.
- [12] Beebe, D., Hsieh, A. and et al., "A silicon force sensor for robotics medicine", *Sensors and Actuators A Physical*, Vol. 50, pp. 55-65, 1995.
- [13] Akhanda, A. B. S., Islam, F. S. and Rahman, M., "Monitoring the Performance of Computer User by Analyzing Physiological Signals", *6th Intl. Conf. Computer and Information Technology*, 2014, pp. 120-125.
- [14] <https://www.biopac.com/product/upgrade-to-mp36-system/>
- [15] Gibbs, P. T. and Harry, H., "Wearable conductive fiber sensor for multi-axis human joint angle measurement," *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2:7, 2005.
- [16] Nathan, D.E., Johnson, M.J., McGuire, J.R., "Design and validation of low-cost assistive glove for hand assessment and therapy during activity of daily living-focused robotic stroke therapy," *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 46(5): 587-602, 2009.
- [17] Hogrel, Y., "Clinical applications of surface electromyography in neuromuscular disorders," *Neurophysiol. Clin. Neurophysiol.*, 35(2-3): 59-71, 2005.
- [18] <http://www.digikey.com/product-detail/en/interlink-electronics/34-00015/1027-1018-ND/5416350>
- [19] [https://www.amazon.com/s/ref=nb\\_sb\\_noss\\_1?url=search-alias%3Daps&field-keywords=force+sensor](https://www.amazon.com/s/ref=nb_sb_noss_1?url=search-alias%3Daps&field-keywords=force+sensor)
- [20] <http://fritzing.org/home/>
- [21] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>



Şekil 5. Esnek algılayıcı sensörlerle beş parmak ve bilek hareketleri (a), Biopac MP36U EMG-I deney protokolünde 5 parmak ve bilek hareketleri (b), Kuvvet algılayıcı sensörle oluşturulan sistem ile beş parmak ve bilek hareketleri (c)