

EMG Kontrollü Mobil Robot Uygulaması

EMG Controlled Mobile Robot Application

Umut MAYETİN¹, Serdar KÜÇÜK¹, Ömer ŞAYLI¹

¹ Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi

umayetin41@gmail.com, skucuk@kocaeli.edu.tr, omer.sayli@kocaeli.edu.tr

Özetçe

Kola bağlanan elektrotlar yardımıyla elde edilen Elektromiyografi (EMG) sinyalleri değerlendirilerek klinik tedavi süreçlerinde, biyomedikal çalışmalarda ve insan-makina etkileşimli cihazların geliştirilmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada ön kol kaslarındaki EMG sinyalleri üç kanaldan eş zamanlı algılanarak bir mobil robotun yön ve hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Son olarak elde edilen EMG sinyallerinin frekans grafikleri açık bir şekilde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler — EMG sinyali, önkol kasları, frekans cevabı, devre tasarımı, mobil robot kontrol.

Abstract

Electromyography (EMG) signals obtained from electrodes on the forearm are evaluated for the usage several fields such as clinical health processes, biomedical studies and development of human-machine interface devices. In this study velocity and direction of a mobile robot is controlled by means of EMG signals simultaneously obtained from three channels on the forearm. Finally the frequency responses of EMG signals are illustrated as graphs.

Keywords — EMG signal, forearm muscles, frequency response, circuit design, mobile robot control.

1. Giriş

Biyoelektrik işaretler hücrelerin yapısındaki elektrokimyasal olayların sonucu görülür. Normalde bütün hücrelerin içi ile dışı arasında elektriksel bir potansiyel farkı vardır. Bu potansiyel farkı hücre fonksiyonlarının başlatılmasında ve tetiklenmesinde kullanılır. Dinlenme esnasındaki potansiyel farkı, membran potansiyeli olarak adlandırılır.

Kas hücreleri uyarıldıklarında sinir hücreleri gibi aksiyon potansiyeli oluşur. Kaslar kasılırken uyarıldıklarında kas fibrillerinde oluşan aksiyon potansiyeli kas fibrili boyunca yayılır. Bir grup hücrenin aksiyon potansiyelleri çeşitli elektrotlar ile algılanabilir. Basit olarak bileğe ekstensiyon hareketi yaptırıldığında bu hareketten sorumlu kası/kas grubunu oluşturan hücrelerde sürekli bir aksiyon potansiyeli görülecektir. Bu aksiyon potansiyelleri çeşitli elektrotlar yardımıyla algılanabilir.

Biyoelektrik işaretlerin sağlıklı biçimde kullanılabilmesi için öncelikle hangi amaca yönelik çalışma yapılıyorsa buna göre sinyallerin toplanması gerekir. Bu durumda uygun elektrot seçimine, elektrot sayısına ve anatomik olarak elektrotların hangi noktalara yerleştirileceğine dikkat edilir. Elektriksel sinyallerin doğru biçimde elektronik ortama taşınması ve değerlendirilmesi ile amaca uygun cihazların geliştirilmesi sağlanabilir.

Bu alanda literatürde yapılmış çalışmalardan bazıları şunlardır: Mazumder ve Kundu (2012), ön kol üzerine bağladıkları 4 adet bipolar elektrot ile elde ettikleri yüzey EMG sinyalleri ile rehabilitasyon amaçlı çok kanallı bir oyun platformu geliştirmişlerdir. Bilek ekleminde yapılan ekstensiyon, fleksiyon, addüksiyon ve abdüksiyon hareketlerini bir bilgisayar oyununda kullanmışlardır[1]. Engin ve Taşan (2014) önkol kaslarındaki EMG işaretlerini kullanarak, çok işlevli protez el kontrolü için dört sınıflandırma yöntemini incelemiştir[2]. Taşar, Kaya ve Gülten (2014) bir kanallı EMG sensörü ile ön kol kasından yüzey elektrotla alınan EMG işareti kullanılarak iki temel el hareketinin (el açma ve kapama), temel bileşen analizi ile sınıflandırılması konusunda çalışmış, anlamlandırdıkları EMG sinyalleri ile Matlab Grafik Ara Yüz programında tasarlanan el simülasyonunun kontrolünü sağlamışlardır[3]. Tepe, Küçük ve Eminoğlu (2012), sağlıklı bir denekten alınan yüzey EMG sinyallerini kullanarak farklı sabit hızlarda elin açma ve kapama hareketini yaparken el açma-kapama sabit hız bilgisini kestiren bir sistem tasarlamıştır[4]. Güvenç ve Demir (2014), kol EMG sinyallerinin örüntü tanıma tabanlı ve yapay sinir ağları ile sınıflandırılmasını çalışmıştır.

Bu çalışmada insan kolunda bulunan kaslardaki elektriksel aktiviteler ölçülerek bir mobil robotun yön ve hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Burada literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak başparmaktan alınan sinyaller mobil aracın hızının kontrolünde kullanılmıştır.

2. EMG Sinyallerinin Toplanması

Yapılması planlanan çalışma için öncelikle EMG sinyallerinin yapısı ve kaynağı tanınmalıdır. Ön kol üzerinde yer alan kasların düzeni, görevlerini tanımak yine bilinmesi gereken unsurlardandır. Bu bölümde belirtilen hususlar ile birlikte EMG sinyallerinin elektronik ortama taşınması ve analog olarak işlenmesi için gerekli devre yapıları yer almaktadır.

Tıbbi Cihaz Tasarımı 3

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

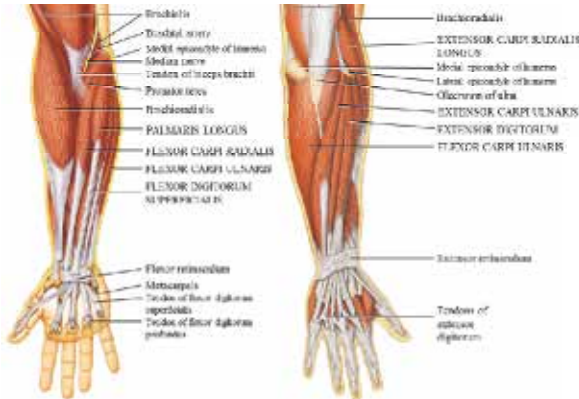
2.1. EMG Sinyalleri

Sinir sistemi çeşitli fiziksel hareketlerin yerine getirilmesinde kasları etkin biçimde kullanır. Beyin tarafından sinir sistemi üzerinden gönderilen uyarıcı sinyaller, motor ünite aksiyon potansiyelleri (MUAP) tarafından kasların kasılması gerçekleşir. Kasılma ile beyinden gönderilen bilgi kasa bağlı eklem üzerinde harekete dönüşür.

Kaslarda elde edilen EMG sinyalleri kasların kasılma ve serbest durum sinyalleri incelenerek, normal değer aralığında olup olmaması çeşitli sorunların belirlenmesinde kullanılır. Ayrıca fizik tedavi ve rehabilitasyon çalışmalarında bu değerler sürekli takip edilip hastanın normal değer aralığına ulaşmış olup olmadığı ve kas aktivitelerini geri kazanma durumları değerlendirilir.

2.2. Ön Kol Kasları

Ön kol olarak adlandırılan bölgede, dirsek eklemi ve bilek arasında yerleşmiş, toplam 20 adet kas bulunmaktadır. Bu kaslar, bilek, el ve parmak hareketlerinin gerçekleştirilmesinde rol oynar. Kolun dışı bakan (posterior) kısmında 12, içe bakan (anterior) kısmında ise 8 adet kas bulunur. Kaslar ön kol üzerinde katmanlar halinde yer almaktadır. Bir kısım kaslar kolun yüzeyinde bulunurken bir kısım kaslar ise yüzeyden daha derinlerde olup kemiklerin hemen üzerinde bulunur.



Şekil 1: Ön kol kaslarının yüzeysel görünümü.

Bileğin ekstensiyon, fleksiyon, abduksiyon, addüksiyon, pronasyon ve supinasyon hareketleri bu kaslar yardımıyla gerçekleşir. Ayrıca parmakların hareketini sağlayan kasların büyük bir kısmı yine bu bölgede yer alır.

Ön kol ve el üzerinde hangi hareketler izlenecekse ilgili hareketi sağlayan kas veya kas grubu üzerinde EMG sinyallerinin toplanması gerekmektedir. Yüzeyle yer almayan kaslardan EMG sinyalleri iğne elektrotlar yardımıyla toplanabilir. Eğer deri içerisinde müdahale gerektirmeyen (non-invaziv) bir uygulama gerçekleştirilmek isteniyorsa, en yakın bölgeden EMG sinyalleri toplanmalıdır. Gerekli durumlarda EMG sınıflandırma ve hareket tanımlama çalışmaları yapılabilir.

Uygulamada kullanılan ekstensiyon, fleksiyon ve başparmak abduksiyonu hareketlerini yerine getirmede görevli kaslar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Uygulamadaki el-bilek hareketleri yerinde getirmede görevli kaslar.

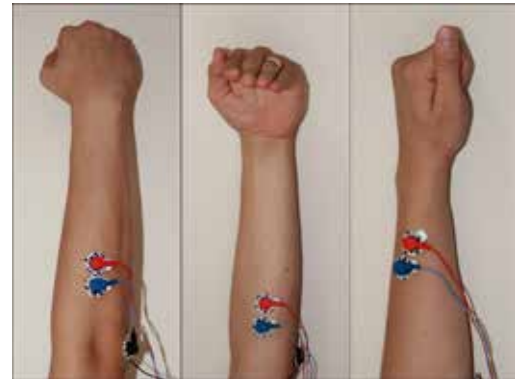
Hareket	Görevli Kaslar
Bilek Ekstensiyonu	- E. Carpi Radialis Longus* - E. Carpi Radialis Brevis* - E. Carpi Ulnaris* - E. Digitum - E. Digi Minimi - E. Indisic - E. Pollicis Longus
Bilek Fleksiyonu	- F. Carpi Radialis* - Palmaris Longus - F. Carpi Ulnaris* - F. Digitum Superficialis - F. Digitum Profundus - F. Pollicis Longus
Başparmak Abduksiyon	- A. Pollicis Longus - A. Pollicis Brevis**

* Hareketi gerçekleştirilmede birincil kaslar.

** El kasları grubunda yer alır.

2.3. EMG Elektrotlarının Yerleşimi

EMG sinyallerinin doğru analiz edilebilmesi için sağlıklı bir ölçüm yapılması zorunludur. Yapılacak uygulamanın ihtiyacına göre uygun elektrot seçimi yapılmalıdır. Robotik uygulamalarda yüzey EMG kullanımı yaygındır. Yüzey EMG sinyalinin doğruluğunu belirleyen en önemli etkenlerden biri gürültüdür. Gürültü, farklı genlik, biçim ve frekanslarda görülebilir. Deri ve elektrot arası bölgenin iletkenliği, çevredeki çeşitli elektronik cihazların yaydığı sinyaller, şebeke gürültüsü, ölçüm esnasında kablo veya elektrotun yerinden oynaması ile oluşan hareket bozunumu, yan ve alt kas gruplarından gelen EMG sinyalleri, elektrotun ölçüm yapılacak kas üzerine doğru yerleşimi EMG sinyalini etkileyen en önemli unsurlardır [6,7].



Şekil 2: Yapılan çalışmada yüzeysel elektrotların yerleşimi

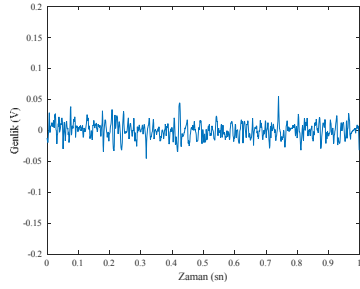
Uygulamada bileğin ekstensiyon ve fleksiyon hareketleri ile başparmağın abduksiyon hareketinden faydalanılacaktır. Her hareket için birer bipolar elektrot grubu kullanılacaktır.

2.4. Yüzey EMG sinyalleri ve Frekans Spektrumu

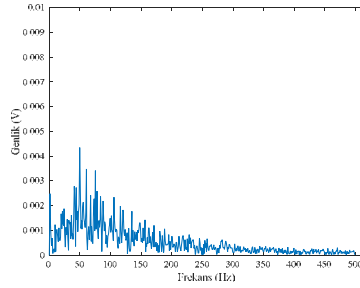
Yüzey EMG sinyalleri yoğunluk olarak 10Hz-500Hz frekans aralığına sahiptir. Nyquist kriteri göz önünde bulundurulduğunda en az 1000Hz'lik bir örnekleme ile sinyallerin alınması gereklidir. Bu sebeple EMG sinyalleri 16 bit nicemleme ve 1000 örnek/sn örnekleme hızında NI-USB6003 veri toplama kartı kullanılarak alınmıştır. Şekil 3'te ve Şekil 4'te toplanan EMG sinyallerine ait zaman grafikleri ve frekans spektrumları verilmiştir.

Tıbbi Cihaz Tasarımı 3

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma



(a)

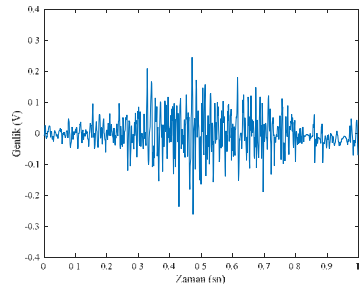


(b)

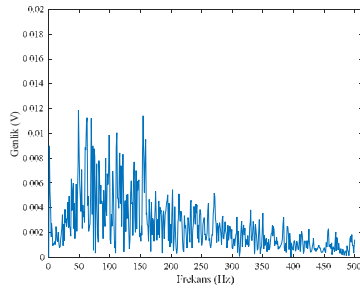
Şekil 3: Dinlenme anında ekstensör kası yüzey EMG ölçümleri a) Zaman grafiği, b) Frekans spektrumu.

Şekil 3a'da elin açık tutulduğu dinlenme anındaki ekstensör kaslar üzerinden alınan ham EMG sinyalinin zaman grafiği, Şekil 3b'de ise bu sinyale ait frekans spektrumu görülmektedir.

Şekil 4a'da ekstensiyon anında alınan ham yüzey EMG sinyalinin zaman grafiği ve Şekil 4b'de de bu sinyale ait frekans spektrumu görülmektedir.



(a)



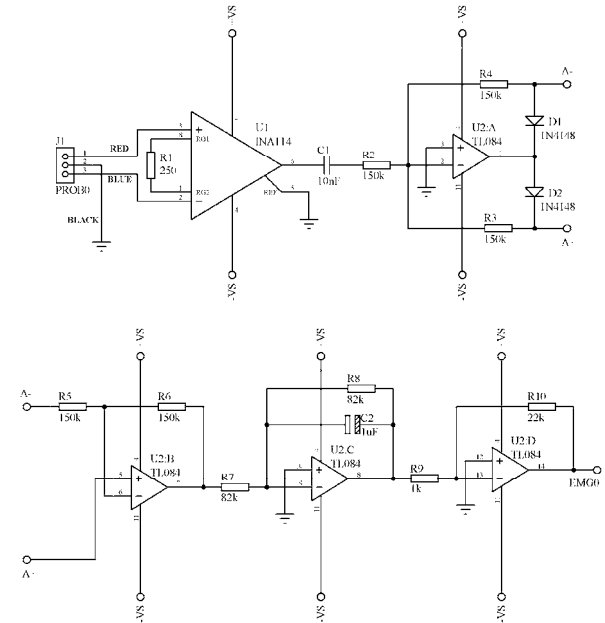
(b)

Şekil 4: Ekstensiyon anında ekstensör kası yüzey EMG ölçümleri a) Zaman grafiği, b) Frekans spektrumu.

2.5. Yüze EMG Sinyallerinin Alınması ve İşlenmesi

Elektrotlardan elde edilen ilk sinyallere ham EMG sinyali denir. Bu sinyallerin anlamlı olarak kullanılabilmesi için çeşitli işlemlerden geçirilir. Ayrıca gürültü faktörlerinden de ayrıştırılması gereklidir. Sinyal işleme çalışmaları analog ve dijital olmak üzere iki türlü yapılabilir. Analog yapılan çalışmalarda temel hareketlerin varlığı izlenip değerlendirilebilir. Dijital sinyal işleme çalışmalarında ise çok daha ayrıntılı olarak hareketlerin analizini yapmak mümkündür.

Uygulamada elektrotlardan alınan EMG sinyalleri bir analog işlem devresinden geçirilmektedir. Analog işlem devresi sırasıyla, INA114 enstrumantasyon yükseltici, yüksek geçiren filtre (YGF), sinyal doğrultucu, alçak geçiren filtre (AGF) ve çıkış yükseltici birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 5: Uygulamada kullanılan analog işlem devresi.

Enstrumantasyon yükseltici, bipolar elektrottan aldığı fark sinyalini 200 kat yükseltmektedir. Buradaki sinyal 100Hz'lik bir yüksek geçiren filtreye uygulanıp, sinyal doğrultucuya girmektedir. Sinyal doğrultucu EMG sinyalini tek yönlü EMG sinyaline dönüştürür. Tek yönlü EMG sinyali alçak geçiren filtre devresine uygulandığında sinyalin integrali alınır. Bu sinyal mikrodenetleyici tarafından daha kolay yorumlanabilmesi için bir çıkış yükselticine uygulanmıştır.

3. Mobil Robot Uygulama Düzenegi ve Sonuç

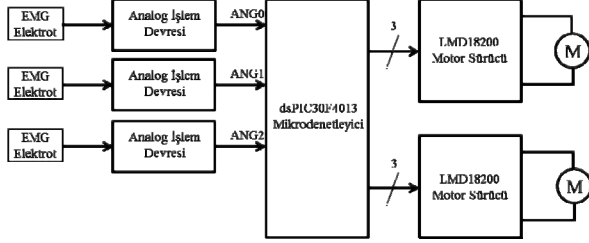
Mobil robot düzenegi, Şekil 6'da verilen blok diyagramda görüldüğü üzere üç adet bipolar EMG elektrotu, üç adet analog işlem devresi, mikrodenetleyici, bir çift motor sürücü ve bir çift motordan oluşmaktadır. Uygulamada, üç kanaldan alınan EMG sinyallerinden elde edilen genlik bilgisi ile mobil robotun ilerlemesi ve sağa-sola hareketi sağlanmaktadır.

Elektrotlardan alınan ham EMG verileri ilk olarak analog işlem devresine girer. Buradan elde edilen EMG sinyalleri dsPIC30F4013 mikrodenetleyicisinin analog kanalına iletilir. 12 bit analog-dijital dönüşüm ile elde edilen dış kas değeri, iç

Tıbbi Cihaz Tasarımı 3

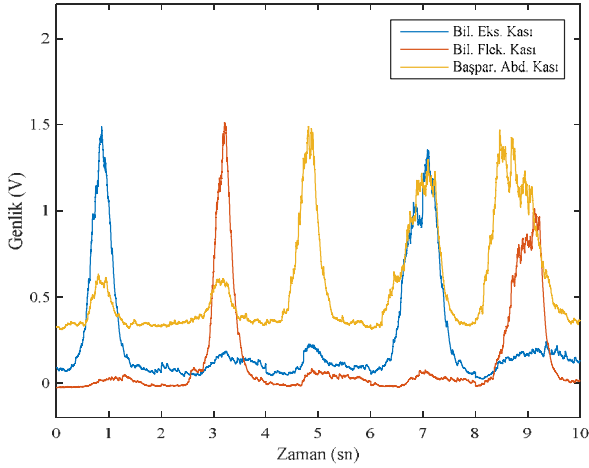
2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

kas değeri ve başparmak hareketi kası değeri mobil robotun motor hızlarını belirlemede kullanılır.



Şekil 6: EMG kontrollü mobil robot blok diyagramı.

Şekil 7'de sırasıyla bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon, başparmak abdüksiyon, bilek ekstensiyon ve başparmak abdüksiyon, bilek fleksiyon ve başparmak abdüksiyon olmak üzere 5 hareket için elde edilen gerilim değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 7: Bilek ve başparmak hareketleri ile elde edilen gerilim grafikleri.

Dinlenme esnasında (hareket olmadığı durum) ANG0 kanalından dış kas değeri olarak 50mV'luk bir ortalama gerilim görülmektedir. Bilek ekstensiyon hareketi ile bu gerilim 1500mV değerlerine ulaşmaktadır. Aynı kanalda bilek fleksiyon hareketinde 200mV, başparmak abdüksiyon hareketinde ise yine 200mV'a varan gerilim değerleri görülmektedir.

Her hangi bir kasa yönelik hareket gerçekleştirildiğinde diğer kaslar üzerinde düşük de olsa bir miktar gerilim artışı görülebilmektedir. Buna göre alınan değerler orantılı olarak doğrudan motorlara aktarıldığında mobil robotun etkili kontrolü sağlanamamıştır. Bu nedenle her bir kanalda kontrol amacıyla kullanılacak değerleri belirlemede bir eşik değeri kullanılmıştır. Bu eşik değerleri ANG0, ANG1 ve ANG2 kanalları için sırasıyla 150 mV, 200 mV ve 300mV'tur. Kanallardan elde edilen gerilim değerleri eşik değerinin üstünde ise işleme alınarak net gerilim değerleri bulunmaktadır. Aksi durumda ise net gerilim değeri 0 (sıfır) kabul edilmektedir.

$$Sol = K_2 * A2net + K_0 * A0net \quad (1)$$

$$Sag = K_2 * A2net + K_1 * A1net \quad (2)$$

Denklem 1 ve denklem 2'de yazılımsal olarak kullanılan eşitlik verilmiştir. Denklemlerde belirtilen 'A0net', 'A1net', 'A2net' sırasıyla bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon ve başparmak abdüksiyon kaslarından elde edilen net değerlerdir. K_0 , K_1 , K_2 , alınan kas değerlerine göre motorlara uygulanacak çıkış sinyal değerinin belirlenmesine kullanılan katsayılarıdır. Bu formül altında sistem çalıştırıldığında sadece başparmağın abdüksiyon hareketi mobil robotun gaz pedalı olarak davranır. Parmağın hareketini sağlayan kas gerildikçe iki motor aynı hızda hareket ederek robotun ilerlemesini sağlar. Fleksiyon hareketi ile sol motorun hızı artırılarak robotun sağa dönmesi, ekstensiyon hareketi ile de sağ motorun hızı artırılarak robotun sola dönmesi sağlanır. Uygulamada alınan işaretler saniyede 100 kez motor gerilimine dönüştürülmektedir.

Yapılan testlerde motor hızı kontrolü başarı ile sağlanmıştır. Mobil robotun sağa ve sola dönüşü sağlıklı olarak elde edilebilmektedir. Ekstensiyon anında bileğe küçük bir açı yaptırma kontrol için yeterli genlik oluşturmaktadır. Fakat fleksiyon anında sağlıklı bir kontrol için bileğin daha yüksek bir açı yapması gerekmektedir. Bu durum motorların hızlarını elde edilen EMG sinyallerinin farklı orantı katsayıları ile kullanılması sonucu giderilmiştir. Ek olarak mobil robotun sürekli ilerlemesi için başparmak kasının da sürekli kasılı olması gereklidir. Bu da zamanla parmağın yorulmasına neden olmaktadır. EMG sinyallerinin gerilme durumları ve süreleri kullanılarak komut tabanlı kontrol işlemi gerçekleştirilebilir.

4. Kaynakça

- [1] Mazumder O., Kundu A.S., "EMG Based Multichannel Human Computer Interface for Rehabilitation Training", *8th National Conference on Medical Informatics*, 2012.
- [2] Engin E.Z., Taşan D., Engin, M., "Çok İlevli Protez El Kontrolü İçin Önkol Elektromiyografi İşaretlerinin Sınıflandırılması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17, 35-46, 2015.
- [3] Taşar B., Kaya T., Gülten A., "EMG Tabanlı El Hareketinin Analizi aracılığı İle Robot El Simulatörünün Kontrolü", *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014, 389-392
- [4] Tepe C., Küçük H., Eminoğlu İ., "Yüzeysel Elektromiyogram (yEMG) İşaretinden El Aç-Kapa Hız Bilgisinin Kestirimi", *ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012, 401-405.
- [5] Güvenç S.A., Demir M., "Kol Emg Sinyallerinin Örüntü Tanıma Tabanlı Analizi ve Yapay Sinir Ağları İle Sınıflandırılması", *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2014, 2209-2212.
- [6] De Luca C.J., "The use of surface electromyography in Biomechanics", *Journal of Applied Biomechanics*, 135-163, 1997.
- [7] Konrad P., *The ABC of EMG – A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*, Noracson Inc., USA, 2005.