



## Spor Yapan Bireylerde Elektromiyogram Sinyallerinin Dalgacık Dönüşümü Kullanarak Sınıflandırılması

### Classification of Electromyogram Signals Obtained from Sportsmen Using Wavelet Transform

Çiğdem Gülizar Acer, Fatma Latifoğlu, Kübra Eset, Hacer Kuduz

Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi  
{ciğdemacer, flatifoglu,1031010082,1031010115}@erciyes.edu.tr

#### Özetçe

*Bu çalışmada sporcu ve sporcu olmayan bayan ve erkek gönüllülerden alınan Yüzeysel EMG sinyallerine Ayırık Dalgacık Dönüşümü uygulanarak öznelik elde edilmeye çalışılmıştır. Özellik çıkarımında dört seviyeli dalgacık katsayılarının hepsi incelenmiştir ve literatür çalışmalarına yeni öznelikler dalgacık katsayıları kullanılarak ortaya konmuştur. Elde edilen özellikler cinsiyet ve spor yapma durumuna göre farklı gruplara ayrılarak istatistiksel anlamlılıkları incelenmiştir. Sonuçta 4. Seviye katsayılarından elde edilen güç spektral yoğunluğuna ait özellikler tüm gruplar arasında anlamlı farklılık oluşturmuştur. Ayrıca spor yapan bayan ve erkekler, Ayırık Dalgacık Katsayılarından elde edilen öznelikler kullanılarak Yapay Sinir Ağları aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma başarısına göre sporun bireyin kas aktivitesindeki etkisi incelenmiştir.*

#### Abstract

*In this study, Surface EMG signals attained from sportsmen and non-sportsmen female and male volunteer have been applied Discrete Wavelet Transform and tried to obtain features. For feature extraction, all of Four-level Wavelet coefficients have been examined and new features have been revealed on studies of literature using wavelet coefficients. Extracted features have been divided to different groups according to gender and sports, statistical significance has been studied. Eventually, Features of Power Spectral Density attained from 4th level coefficients have constituted significance difference between all groups. Also, sports men and women have been classified via Artificial Neural Network using features attained from Discrete Wavelet Transform. According to classification success, sports impact of individual's muscle activity has been examined.*

#### 1. Giriş

Elektromiyogram (EMG), kasın kasılmasını sağlayan elektriksel aktivite sonucu oluşan biyoelektriksel sinyaldir. Yüzeysel elektrotları veya iğne elektrotlar ile elde edilir. İğne EMG'de iğne elektrotların kas dokusuna batırılmasıyla, yüzeysel EMG'de cilde yapıştırılan elektrotlarla kas aktivitesi elde edilir. İğne EMG iğnenin batırıldığı küçük bölge hakkında bilgi verirken, yüzeysel EMG ise geniş bir kas bölgesi hakkında bilgi verir. Yüzeysel EMG noninvaziv ve tehlikesiz bir ölçüm yöntemidir. Bu nedenle daha çok tercih edilir [1].

EMG sinyalleri, 100µV-1mV (tepeden tepeye) veya 0-1.5mV (rms) genlik değerine, 50-500 Hz frekans aralığına sahiptir. Bu değerlerden sapma işarete gürültü binmesi sonucu oluşmaktadır. EMG sinyalleri düşük genlikli sinyallerdir ve gürültülerden çok çabuk etkilenebilmektedir. Bu sinyalleri anlamlı yapıya kavuşturabilmek için etkilendiği gürültü karakteristiği iyi bilinmeli analiz edilerek gürültüden arındırılmalıdır.

EMG sinyalleri tıpta kas ve sinir hastalıklarının teşhisinde kullanılmasıyla birlikte, mühendislikte yapay uzuvlar gibi mekanik sistemlere giriş olarak modelleme amaçlı da kullanılmaktadır.

Teknolojinin getirdiği yeniliklerle veri elde etmek kolaylaşmış, veri sayısı artmıştır. Verinin kısa zamanda ve yüksek doğrulukta analizi, yorumlanması fazlasıyla önem kazanmaktadır. İstatistiksel işaret işlemenin amacı ise karmaşık veriden anlamlı bilgiyi elde etmektir. Çeşitli işaret işleme yöntemleri ile veri işlenerek gerekli bilgilerin elde edilmesi sağlanmaktadır. İşaret işleme algoritmalarının sürekli geliştirilmesi ile verinin hızlı ve doğru analizi amaçlanmaktadır.

Günümüzde EMG sinyallerinin incelenmesi için; birçok sinyal işleme, istatistiksel inceleme, örüntü tanıma, sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. İşaret işleme teknikleri zaman, frekans, zaman-frekans spektrumunda yapılmaktadır [2]. Literatür incelendiği zaman görüldüğü üzere dalgacık dönüşümü pek çok sinyal ve uygulamada kullanılmıştır [13]. EMG sinyallerinden de dalgacık dönüşümü ile özellik çıkarımı ve sınıflandırma yapılan çalışmalar bulunmaktadır [4-5]. EMG sinyallerinin incelenmesi için ortalama mutlak değer, medyan frekans, ortalama frekans, karekök ortalama (RMS) gibi özellikler kullanılmıştır. Dalgacık ailelerinden hangisinin kullanılacağı veya en iyi ayrışma seviyesi kesin olmamakla birlikte, optimum bulma konusunda çalışmalar da yapılmıştır [3-4-5-13].

Bu çalışmada da EMG sinyallerine dalgacık dönüşümü uygulanmış ve literatür çalışmalarından farklı olarak elde edilen detay ve yaklaşık katsayılarının güç spektral yoğunluk grafikleri elde edilmiştir. Güç spektral yoğunluk grafikleri üzerinde yeni öznelik çıkarımı yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı olan öznelikler ile sınıflandırma yapılarak başarı ölçülmüş, gruplar arasındaki farklılıklar yorumlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen özneliklerle yapılan sınıflandırma ile sporun ve cinsiyetin bireyin kas aktivitesindeki ne gibi farklılıklara neden olduğu incelenmiştir.

## Sinyal İşleme 1

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

### 2. Yöntem

Çalışmada sinyallere öncelikle dalgacık dönüşümü uygulanarak detay ve yaklaşıklık katsayıları elde edilmiştir. Ardından bu katsayıların güç spektral yoğunluk grafikleri elde edilmiş ve bu grafiklerden 6 özellik çıkarılmıştır. Bu özellikler SPSS programında t testi ile değerlendirilerek yorumlanmış ve anlamlı özellikler yapay sinir ağı eğitimi için seçilmiştir. Aşağıdaki çalışmanın adımları detaylı olarak sunulmuştur.

#### 2.1 Data Seti

Çalışmada 15 sporcu ve 15 sporcu olmayan erkek, 10 sporcu ve 10 sporcu olmayan bayandan olmak üzere toplam 50 bireyin EMG sinyalleri kullanılmıştır. Gönüllüler 18-25 yaşları arasındadır. Sporcu bireyler Erciyes Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulunda öğrenim görmektedir. EMG sinyalleri her bir kişinin sağ kolundaki biceps kaslarından alınmıştır. EMG sinyalleri 8 saniyelik süreli kayıtlar olup bireyler kollarını stres topu kullanarak 4 saniye kasarak ve 4 saniye gevşek olarak kaydedilmiştir. Kayıt işlemi BIOPAC MP-36 sisteminden Ag-Cl yüzey elektrodları ile gerçekleştirilmiştir. Kayıtlar oda sıcaklığında ve bireyler oturur vaziyetteyken alınmıştır. İki kişi toprak olarak bileğe yerleştirilmek üzere toplam 3 elektrot kullanılmıştır. Sinyallerin örnekleme frekansı 1000 Hz olarak belirlenmiştir.

#### 2.2 Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımını yapabilmek için dalgacık dönüşümü ve güç spektral yoğunluk grafiklerinden yararlanılmıştır.

##### 2.1.1. Dalgacık Dönüşümü (DD) :

Fourier dönüşümünün durağan olmayan sinyallerde zaman frekans çözünürlüğü gibi dezavantajları gidermek için Dalgacık Dönüşümü (DD) geliştirilmiştir. Bu yöntemin gürültüye hassasiyeti daha azdır. Canlılardan elde edilen sinyallerin hemen hepsi durağan olmayan sinyaller olduğu için frekans bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dalgacık dönüşümünün biyomedikal sinyal işleme ve pek çok alanda kullanımı Fourier dönüşümünden daha yaygındır [6-7].

DD işaretleri alçak ve yüksek frekans bileşenlerine ayırır. Bu ayırma işlemi belirlenen seviyeye kadar devam ettirir. Bu dönüşüm yüksek frekanslarda yüksek zaman çözünürlüğü ve düşük frekans çözünürlüğüne, alçak frekanslarda ise yüksek frekans çözünürlüğü ve düşük zaman çözünürlüğüne sahiptir.

DD sürekli ve ayrık olmak üzere iki çeşittir. Sürekli Dalgacık Dönüşümünde işlem yükü oldukça fazla olmasından dolayı Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) yaygın olarak kullanılır. DD'nin sinyal işleme teknikleri içerisinde veri sıkıştırma, gürültü giderme, devamsızlık tespiti, öznelik çıkarma gibi kullanım alanları bulunmaktadır.

Sinyali farklı frekans bantlarına ayırmak, art arda yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirmekle mümkün olmaktadır. Yüksek frekanslı bileşenleri analiz etmek için işaret yüksek geçiren filtreler serisinden, alçak frekanslı bileşenleri analiz etmek için ise alçak geçiren filtreler serisinden geçirilir.

ADD'nin sürekli dalgacık dönüşümünden farkı ana dalgacık fonksiyonunda kullanılan ölçek parametresinin fonksiyondan ayrıştırılmasıdır.

ADD'de kullanılan filtreleme işlemine ayna filtre denir. Bu filtrelerden alçak geçiren filtreye ( $h[n]$ ) ait Denklem-1 'de belirtilmektedir.

$$H(z)H(z^{-1}) + H(-z)H(-z^{-1}) = 1 \quad (1)$$

Bu formülde  $H(z)$   $h[n]$  filtresinin  $z$  dönüşümüdür. Bu filtresinin tümleyeni olan yüksek geçiren filtre ( $g[n]$ )'nin  $z$  dönüşümü ile bağıntısı denklem 2'deki gibidir.

$$G(z) = zH(-z^{-1}) \quad (2)$$

Zaman olarak aralarındaki bağıntı Denklem-3'te belirtilmiştir.

$$h[L - 1 - n] = (-1)^n g[n] \quad (3)$$

Filtre dizileri ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$H_{i+1}(z) = H(z^{2^i})H_i(z) \quad (4)$$

$$H_{i+1}(z) = G(z^{2^i})H_i(z), i = 0, \dots, L - 1$$

Başlangıç şartı  $H_0(z)=1$ 'dir ve zaman ekseninde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\begin{aligned} h_{i+1}(k) &= [h]_{\uparrow 2^i} * h_i(k) \\ g_{i+1}(k) &= [g]_{\uparrow 2^i} * h_i(k) \end{aligned} \quad (5)$$

$[\cdot]_{\uparrow m}$  alt simgesi yukarı örnekleme,  $k$  ise ayrık zamanı belirtmektedir.

Ana dalgacık fonksiyonundan elde edilen dalgacık ( $\varphi_{i,l}(k)$ ) ve ölçek ( $\psi_{i,l}(k)$ ) fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

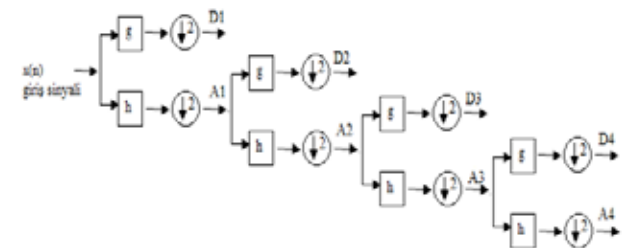
$$\varphi_{i,l}(k) = 2^{i/2} h_i(k - 2^i) \quad \psi_{i,l}(k) = 2^{i/2} g_i(k - 2^i) \quad (6)$$

Burada  $2^{-i/2}$  iç çarpım normalizasyonu,  $i$  ölçeklendirme parametresine 1 dönüşüm faktörüne karşılık gelmektedir. Bu değerleri kullanarak yaklaşıklık ve detay katsayıları Denklem-7'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$y_i(l) = x(k) * \varphi_{i,l}(k), \quad d_i(l) = x(k) * \psi_{i,l}(k) \quad (7)$$

$y_i(l)$  yaklaşıklık (düşük frekans) katsayılarını,  $d_i(l)$  detay (yüksek frekans) katsayılarını ifade etmektedir [8-9-10-11].

Bu çalışmada Daubechies dalgacık ailesinden 'db4' dalgacığı kullanılmıştır. Ayırıştırma ise 4 seviyede yapılmıştır (Şekil-1). Şekil-1'de gösterildiği gibi yaklaşıklık katsayıları olan  $A1, A2, A3, A4$  ve detay katsayıları olan  $D1, D2, D3, D4$  elde edilmiştir.



Şekil 1: ADD ile 4 seviyeli ayırıştırma

##### 2.1.2. Güç Spektral Yoğunluk Grafikleri

Fourier dönüşümü gürültüye karşı çok hassastır. Güç Spektral Yoğunluk (GSY) yöntemi sinyalin kendisiyle otokorelasyonu

## Sinyal İşleme 1

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

ile elde edildiği için gürültüyü elimine etmesi avantajından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. GSY aşağıdaki gibi hesaplanır:

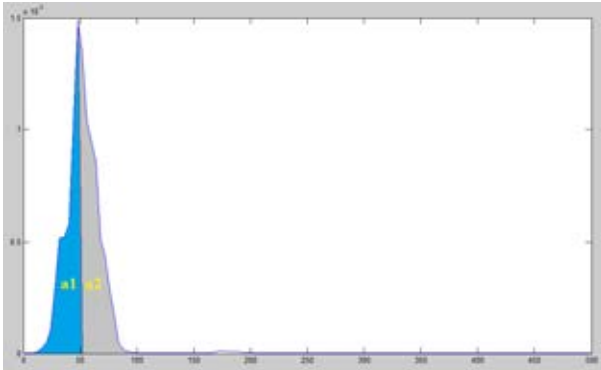
$$PSD = \int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

Gerçekleştirilen çalışmada ADD uygulanan sinyallerden elde edilen 8 katsayının GSY grafiği elde edilmiştir. Şekil-2'deki görüldüğü grafiğin maksimum noktasına kadar olan bölgenin alanı (a1), maksimum noktadan sonra kalan bölgenin alanı (a2) ve grafiğin toplam alanı (a3) hesaplatılmıştır.

Her bir yaklaşıklık ve detay katsayısının GSY grafiğinin a1,a2,a3 alanları hesaplanmıştır. Ardından bu değerlere göre altı (6) adet özellik belirlenmiştir. Bu özellikler aşağıdaki gibidir:

1. Or1=a1/a3
  2. Or2=a2/a3
  3. Or3=a1/a2
  4. Or4=a1/a3
  5. Or5=a2/a3
  6. Or6=a1/a2
- (9)

Yukarıdaki özelliklerden Or1,Or2,Or3 detay katsayısına, Or4,Or5,Or6 ise yaklaşıklık katsayısına aittir.



Şekil 2: Sporcu Erkek Bireyin Güç Spektral Yoğunluk Grafiği

### 2.3. Öznitelik Vektörlerinin Belirlenmesi

Elde edilen 6 özellik içerisinde anlamlı olanların seçilerek öznitelik vektörlerinin oluşturulması doğru sınıflandırma işlemi için çok önemlidir. Özellikler oluşturulan farklı gruplar arasında anlamlı farklılık oluşturup oluşturulmadığına göre istatistiksel olarak Bağımsız Örneklem t-testi ile değerlendirilmiştir.

T-testi analizlerinde gruplar arası farklılıkların anlamlılık düzeyleri incelenmektedir. Bağımsız örneklem t-testinde iki farklı grubun ortalamaları ve varyansları karşılaştırılır. Güven düzeyine bakılarak gruplar arasında anlamlı farklılığın olduğu söylenmektedir [12].

Sporun cinsiyet ve birey üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla elde edilen özellikler çeşitli gruplar içerisinde incelenmiştir. Bu gruplar aşağıdaki gibidir:

- ✓ Grup1: Sporcu-Sporcu olmayan bayan
- ✓ Grup2: Sporcu-Sporcu olmayan erkek
- ✓ Grup3: Sporcu bayan-erkek
- ✓ Grup4: Sporcu olmayan bayan-erkek

Tablo 1: Elde edilen özelliklerden gruplar arasındaki farklılığı gösteren Bağımsız örneklem t-testi sonuçları ve anlamlılık değerleri

	Özellik	F	Levene's Sig.	Sig.
Grup1	Or3	85,582	0,000	0,002
	Or6	14,380	0,001	0,000
Grup2	Or3	98,122	0,000	0,013
	Or6	113,447	0,000	0,011
Grup3	Or3	63,088	0,000	0,014
	Or6	263,104	0,000	0,012
Grup4	Or3	66,045	0,000	0,014
	Or6	72,287	0,000	0,018

Tablo 1'de görüldüğü gibi gruplar arası farklılığın en iyi ortaya çıktığı özellikler Or3 ve Or6 olmuştur ve bu özellikler dördüncü seviye ayrık dalgacık katsayılarına aittir. Diğer seviyedeki özellikler ise anlamsız çıkmıştır. Anlamlı elde edilen Or3 ve Or6 özelliği 4. seviye katsayılarına aittir. Diğer seviyedeki tüm özellikler anlamsız çıkmıştır. F değeri gruplar arası kareler ortalamasının grup içi kareler ortalamasına oranıdır. Dolayısıyla varyans analizine göre F değeri arttıkça gruplar arasındaki fark artmaktadır.

### 2.4. Yapay Sinir Ağları

Çalışmada kullanılan Yapay Sinir Ağı (YSA) ADD'den elde edilen katsayıların GSY grafiklerinden çıkarılan Or3 ve Or6 öznitelikler ile eğitilmiştir. YSA içerisinde yer alan çok katlı perseptron (ÇKP) giriş katı, gizli kat ve çıkış katı olmak üzere üç ana kattan oluşur. Bu çalışmada iki adet gizli katman kullanılmıştır. Giriş katında 2 nöron bulunmaktadır. Gizli kat nöron sayısı for döngüleri kullanılarak 1 den 13 nörona kadar değiştirilmiştir ve en iyi sınıflandırma başarısının elde edildiği nöron sayısı ağ eğitiminde kullanılmıştır. Ortalama karesel hata 0,0001 ve iterasyon sayısı 50 olarak tanımlanmıştır. YSA yapısını eğitmek için Levenberg Marquat algoritması kullanılmıştır. Eğitim işleminde test ve eğitim verileri çapraz onaylama (k-fold cross validation) ile rastgele olarak oluşturulmuştur. Toplam veri seti beşe ayrılarak rastgele oluşturulan veriden bir kısmı eğitim bir kısmı test için kullanılmıştır. YSA ile sınıflandırma her bir grup için ayrı olarak yapılmıştır. Gruplar spor yapan ve yapmayan bayanlar, spor yapan ve yapmayan erkekler, spor yapan erkek ve bayanlar, spor yapmayan erkek ve bayanlar olmak üzere dört tanedir. Sınıflandırma başarısı ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE), duyarlılık, hassasiyet ve artı tahmin parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2: Test Sonuçları

Grup 1	Birey Sayısı	Doğru	Yanlış	MAE	MSE
Artı (Sporcu Bayan)	10	10 (%100)	0 (%0)	0,05172	0,04707
Eksi(Sporcu olmayan Bayan)	10	9 (%90)	1 (%10)		
Toplam	20	19 (%95)	1 (%5)		
Duyarlılık=(TP)/(TP+FN) % = %90,9					
Hassasiyet= TN/(TN+FP) % = %100					
Artı Tahmin=TP/(TP+FP) % = %100					
TP: Doğru Artı TN: Doğru Eksi		FP: Yanlış Artı FN: Yanlış Eksi		MAE: Ortalama Mutlak Hata MSE: Ortalama Karesel Hata	



### Sinyal İşleme 1

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (09.00-10.00)

Grup 2	Birey Sayısı	Doğru	Yanlış	MAE	MSE
Artı (Sporcu Erkek)	15	13 (%86,67)	2 (%13,33)	0,10666	0,02943
Eksi (Sporcu olmayan Erkek)	15	10 (%66,67)	5 (%33,33)		
Toplam	30	23 (%76,67)	7 (%23,33)		
Duyarlık=(TP)/(TP+FN) % = %72,22					
Hassasiyet= TN/(TN+FP) % = %83,33					
Artı Tahmin=TP/(TP+FP) % = %86,67					
TP: Doğru Artı TN: Doğru Eksi MAE: Ortalama Mutlak Hata FP: Yanlış Artı FN: Yanlış Eksi MSE: Ortalama Karesel Hata					

Grup 3	Birey Sayısı	Doğru	Yanlış	MAE	MSE
Artı (Sporcu Erkek)	15	15 (%100)	0 (0%)	0,04348	0,03890
Eksi (Sporcu Bayan)	10	9 (%90)	1 (%10)		
Toplam	25	24 (%96)	1 (%4)		
Duyarlık=(TP)/(TP+FN) % = %93,75					
Hassasiyet= TN/(TN+FP) % = %100					
Artı Tahmin=TP/(TP+FP) % = %100					
TP: Doğru Artı TN: Doğru Eksi MAE: Ortalama Mutlak Hata FP: Yanlış Artı FN: Yanlış Eksi MSE: Ortalama Karesel Hata					

Grup 4	Birey Sayısı	Doğru	Yanlış	MAE	MSE
Artı (Sporcu Olmayan Erkek)	15	11 (%73,33)	4 (%26,67)	0,11810	0,03702
Eksi (Sporcu Olmayan Bayan)	10	7 (%70)	3 (%30)		
Toplam	25	18 (%72)	7 (%28)		
Duyarlık=(TP)/(TP+FN) % = %78,57					
Hassasiyet= TN/(TN+FP) % = %63,64					
Artı Tahmin=TP/(TP+FP) % = %73,33					
TP: Doğru Artı TN: Doğru Eksi MAE: Ortalama Mutlak Hata FP: Yanlış Artı FN: Yanlış Eksi MSE: Ortalama Karesel Hata					

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Gerçekleştirilen çalışmada, elde edilen ve Tablo 2'de görülen test sonuçlarına göre; sınıflandırma başarısı spor yapan ve yapmayan bayanlar ile spor yapan bayan ve erkek gruplarında yüksektir. Aynı özelliklerin spor yapmayan erkek ve bayan, spor yapan, yapmayan erkeklere ait grupların sınıflandırmasında başarısı daha düşük olduğu görülmektedir. Dördüncü ayrık dalgacık katsayılarından elde edilen öz niteliklerin spor yapma durumundaki kas aktivitesini daha iyi ortaya koyması, EMG sinyallerine ait düşük frekans bölgesinde değişikliklerin daha belirgin olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlara göre sporun bayanların kas aktivitesinin düşük frekans bölgesinde ciddi farklılıklar oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca düzenli spor yapan bir bayan ile erkekler arasında da kas aktivitelerinin sınıflandırılma başarısının yüksek olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak belirlenen öz nitelikler ile sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde, sporun EMG sinyallerine

etkisini, bayanlarda ve cinsiyet farklılıklarında önemli olduğu görülmektedir.

EMG sinyalleri tıp ve mühendislik için önemli olmasıyla birlikte spor bilimleri içinde çok önemlidir. EMG analiziyle elde edilen bilgiler özellikle; sporunun gelişiminin takip edilmesi, yetenek seçimi amaçlarıyla kullanılabilir. Bu bilgiler doğrultusunda antrenör ve spor bilimciler farklı antrenman yaklaşımlarını ortaya koyabilirler. Sporcu için önemli olan kas gelişiminin izlenmesidir. Bu elde edilen özellikler spor bilimlerindeki çeşitli hastalıkların teşhisine yardımcı olarak kullanılabilir.

Gerçekleştirilen çalışmada belirlenen özellikler spor yapan bireylerin sınıflandırılmasında başarılı olmasına rağmen ileriki çalışmalarda veri sayısı çoğaltılarak sınıflandırmadaki ve grupları ayırmadaki başarı artırılabilir.

### 4. Kaynakça

- [1] Conrad P., "The ABC of EMG", 2006.
- [2] Yazgan E., Korürek M., "Tıp Elektronigi", İTÜ Rektörlüğü Yayın, 1996.
- [3] Phinyomark A., Nuidod A., Phukpattaranont P., Limsakul C., "Feature Extraction and Reduction of Wavelet Transform Coefficients for EMG Pattern Classification", *ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING*, 122(6), 27-32, 2012.
- [4] Mahdavi F.A., Ahmad S.A., Hamiruce M., Akbarzadeh M.R., "Surface Electromyography Feature Extraction Based on Wavelet Transform", *International Journal of Integrated Engineering*, 4(3), 1-7, 2012.
- [5] Phinyomark A., Nuidod A., Phukpattaranont P., "Application of Wavelet Analysis in EMG Feature Extraction for Pattern Classification", *Measurement Science Review*, 11(2), 45-52, 2011.
- [6] Beck T. W., Housh T.J., Johnson G.O., Weir J. P., Cramer J. T., Coburn J. W., Malek M. H., "Comparison of Fourier and wavelet transform procedures for examining the mechanomyographic and electromyographic frequency domain responses during fatiguing isokinetic muscle actions of the biceps brachii", *Journal of Electromyography and Kinesiology* 15, 190-199, 2005.
- [7] Alp H., Akıncı T.C., Albora M., "Jeofizik Uygulamalarda Fourier ve Dalgacık Dönüşümlerinin Karşılaştırılması", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 67-76, 2008.
- [8] Zhang X., Wang Y., Han R.P.S., "Wavelet Transform Theory and its Application in EMG Signal Processing", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010 Seventh International Conference on*, 5, 2010, 2234 - 2238.
- [9] Brennan M., "Wavelets And Signal Processing", 2006.
- [10] Kilby J., "Wavelet Analysis and Classification of Surface Electromyography Signals", *Thesis submitted in partial fulfilment of the degree of the Master of Engineering*, 2005.
- [11] Daubechies I., "The wavelet transform, timefrequency localization and signal analysis", *IEEE Transactions on Information Theory*, 36(5), 961-1005, 1990.
- [12] Kalaycı Ş., "SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri", 2010.
- [13] Unser M., Aldroubi A., "A Review of Wavelets in Biomedical Applications", *Proceedings of the IEEE*, 84(4), 626-638, 1996.