

## Gastroözofageal Reflü Hastalığının Ayrık Dalgacık Dönüşümü Kullanarak EGG Sinyallerinden Teşhisi

Emre ÇELİKZENCİR<sup>1</sup>, Çiğdem G. ACER<sup>1</sup>, Fatma LATİFOĞLU\*<sup>1</sup>, Gülten CAN SEZGİN<sup>2</sup>, M. Alper YURCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Gastroenteroloji Bölümü, 38039, Kayseri

(Alınış / Received: 04.03.2016, Kabul / Accepted: 22.04.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 29.06.2016)

### Anahtar Kelimeler

Gastroözofageal reflü,  
Sinyal işleme,  
Elektrogastrografi (EGG),  
Güç Spektral Yoğunluğu,  
Ayrık Dalgacık Dönüşümü

**Özet:** Gastroözofageal reflü hastalığı; alt özofagus kapağının işlevini yitirmesi üzerine midedeki besinlerin yemek borusuna geri kaçışı olarak tanımlanmaktadır. Teşhisi invaziv tekniklerle yapılmaktadır. Teşhiste altın standart olarak ph-metre tekniği kabul edilmektedir ve bu yöntem bazı dezavantajlara sahiptir. Elektrogastrogram (EGG) mide elektriksel aktivitesinin deri yüzeyinden elektrotlar ile non-invaziv ölçümüdür. Bu çalışmada, Gastroözofageal reflü hastaları ve sağlıklı bireylerden kaydedilen EGG sinyalleri Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Güç Spektral Yoğunluğu (GSY) grafikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmadaki temel amaç, reflü hastalığının teşhisini EGG sinyalleri ile sağlayabilecek özellikler elde etmektir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda kullanılan tekniklerle, reflü hastalarına ve sağlıklı bireylere ait EGG sinyallerini ayırt edebilecek öznelikler elde edilmiştir. Ayrıca Reflü hastalığının teşhisi için elektrotların yerleşiminde kullanılacak en uygun noktaların seçimi sağlanmıştır.

## Diagnosis of Gastroesophageal Reflux Disease Using Discrete Wavelet Transform from EGG Signals

### Keywords

Gastroesophageal reflux,  
Signal processing,  
Electrogastrography,  
Power Spectral Density,  
Discrete Wavelet  
Transformation

**Abstract:** Gastroesophageal reflux is a disease of the stomach in which the stomach on tent sleek back into the esophagus because of loss of function in the lower esophageal valve. The disease is diagnosed by invasive techniques. The pH meter technique is accepted as the gold standard in diagnosis although it has many disadvantages. Electrogastrography (EGG) is a method to measure the stomach's electrical activity via surface electrodes on the skin. In this study, the EGG signals obtained from healthy subjects and patients with gastroesophageal reflux were analyzed using Discrete Wavelet Transform (DWT) and Power Spectral Density (PSD). The main purpose of the study was to obtain the characteristics of EGG signals to assist in diagnosis. In conclusion, features were extracted to reveal difference between EGG of reflux patients and healthy person. Also, the most appropriate point placement of electrodes is provided to be used for the diagnosis of reflux disease.

### 1. Giriş

#### 1.1. Gastroözofageal reflü hastalığı

Gastroözofageal reflü hastalığı toplumda sık görülen, kişilerin yaşam kalitesini belirgin düşürebilen bir hastalıktır. Üst Gastrointestinal Sistemin (GİS) ayırıcı tanısına diğer midevi hastalıklar girmektedir. Tanıda hastadan alınan hastanın öyküsü son derece önemlidir. Gastroözofageal reflü hastalığı ön tanısı konulan bireylere genellikle üst GİS endoskopi uygulanarak özofagus mide birleşim yerindeki Z

çizgisinde erozyonlar olup olmadığı, diyaframa basısı ile Z çizgisinin aynı lokalizasyonda olup olmadığı yani hiatalherni (mide fitiği) varlığı ve reflü zemininde gelişebilecek Barrett özofagusu gibi mukozal değişikliklerin varlığı araştırılır [1].

Reflü hastalığı endoskopik olarak erozyonların tespitine göre eroziv ve noneroziv reflü olarak ikiye ayrılmaktadır. Endoskopik olarak erozyon saptanmayan olgularda reflü hastalığının varlığını tam olarak ekarte etmekte endoskopi yetersiz kalmaktadır. Ph-metre ile özofagus alt ucundaki

asidite değişikliklerinin ölçümü ise nazal yolla yerleştirilebilen bir kateter vasıtasıyla olmakta ve 24 saatlik ölçüm içerisinde ne kadar süreyle asiditenin özofagusta ölçülebildiğine göre bir skor belirlenerek kişide reflü olup olmadığı objektif olarak ortaya konabilmektedir. Ancak gerek ph-metre gerekse endoskopi invaziv yöntemlerdir. Ph ölçümü altın standart kabul edilmekle birlikte uygulanması pratik değildir ve günümüzde pek çok klinikte rutin olarak uygulanmamaktadır. Üst GİS endoskopi işleminin ise hastaya sedasyon uygulanması gibi başkaca dezavantajları söz konusudur [1].

Midenin elektriksel aktivitesi, midede büyük eğrilik (greater curvature) bölgesinde corpusta boylam kaslarının kırılmaya başladığı yerde ortaya çıkmaktadır [2]. Fundus bölgesinde düz kasların elektriksel aktivitesi yoktur. Midenin elektriksel aktivitesini açıklamak için birçok görüş bulunmaktadır. Bunlar yavaş potansiyel, yavaş dalga, başlangıç potansiyeli, kontrol potansiyeli gibi başlıklarda ifade edilmektedir. Hücre zarında ani iyon değişimleri sonucu oluşan depolarizasyon dalgası mide düz kaslarının kasılıp gevşemesine sebep olduğu ortaya konulmuştur. Midedeki elektriksel aktivitenin kalpten en büyük farkı, oluşan her depolarizasyon dalgası sonucu kasılma olmamasıdır [2].

### 1.2. Mide elektriksel aktivitesi

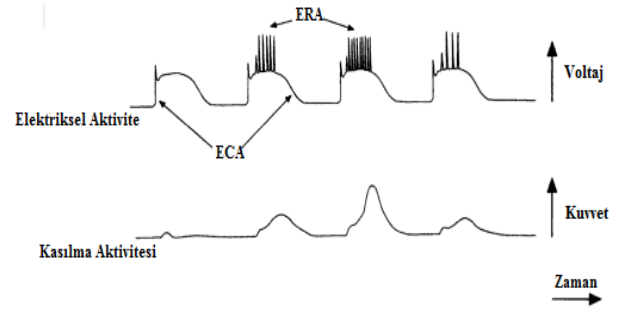
Midenin elektriksel aktivitesi olan (GEA) iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; elektriksel yanıt aktivitesi (ERA) ve elektriksel kontrol aktivitesi (ECA) dir [3,4].

Gastric elektrik aktivitenin bir hücreden diğer bir hücreye geçişi hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Elektriksel kontrol aktivitesinin periyodu 20 sn (3 cpm) dir ve elektriksel kontrol aktivitesinin hücrenin içinde her zaman var olduğu bilinmekle birlikte hücrenin kasılmasını sağlayan ilk depolarizasyon dalgası olduğu düşünülmektedir. Fakat elektriksel kontrol aktivitesinin şiddeti midede kasılmayı başlatabilmek için yeterli seviyede ve sürede değildir [3,4].

Şekil 1'de görüldüğü gibi midenin elektriksel aktivitesinin ERA bileşeni, ECA bileşenine göre daha uzun süreli ortaya çıkmaktadır ve kasılma hakkında bilgi vermektedir. Bu aktivitenin belirli bir sınır değerinin üzerinde olması kasılma olacağı veya kasılmanın halen sürdüğünü göstermektedir.

Vücut dışından ve içinden olmak üzere midenin elektrik aktivitesi ölçümleri iki şekilde yapılmaktadır. Vücut içinden yapılan ölçümlerde mide içinden ve mide dışından olmak üzere iki şekildedir. Mide içerisinden yapılan ölçümler özel laboratuvarlarda daha spesifik olan mikro elektrotlarla gerçekleştirilmektedir. Mide dışından yapılan

ölçümlerde genelde iğne elektrotlar kullanılmaktadır. Vücut dışından yapılan ölçümlerde ise cilt (yüzey) elektrotlar kullanılmaktadır [3,4].



Şekil 1. ERA ve ECA elektriksel aktivite [3]

EGG sinyalleri, ECA ve ERA sinyallerinin birleşiminden oluşmaktadır ve sinyaller yüzey elektrotlarla kaydedilebilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalarda sadece midenin bir noktasından alınan ölçümlerle değerlendirmeler mevcuttur [2]. Ancak bu çalışmada ECA ve ERA aktiviteyi kullanarak mide elektriksel aktivitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için elektriksel aktivitenin asıl çıktığı yer olarak düşünülen ve midenin altında bulunan greater curvature noktası referans alınmıştır. Bu noktanın üstü ve altı olmak üzere iki farklı noktasından sinyal kaydı eş zamanlı olarak yapılmıştır.

Ayrıca EGG'de elektriksel kontrol aktivitesinin normal frekansı 0.03 Hz. ile 0.07 Hz. aralığındadır. Midede oluşabilecek ritimsizlikler EGG sinyallerinin frekans spektrumunda değişikliğe sebep olacaktır. EGG sinyalinin frekans sahası 0.0083 Hz ile 0.03 Hz. aralığında ise bradigastri, 0.07 Hz. ile 0.15 Hz. aralığında ise taşigastri ritimsizliğinin var olduğu anlaşılmaktadır [5].

EGG sinyallerinin sinyal işleme metotları ile analizi konusunda literatürde sınırlı sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarını aşağıda bahsedilmiştir.

Kara S., Dirgenali F. ve Okkesim Ş. tarafından karın derisi üzerine yerleştirilen elektrotlar yardımıyla kaydedilen midenin elektriksel aktivitesi, klinik diyabetik gastroparezis hastalarda ADD kullanılarak anormallikleri belirlemek amaçlanmıştır. Ayrıca zaman-frekans çözünürlüğü bakımından Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ve ADD yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, bireyleri sağlıklı ve hasta olarak sınıflandırmak için ADD sonogramlarının kullanılabilceği gösterilmiştir [6].

Chen J.D.Z., Lin Z., Wu Q., McCallum R.W. tarafından yapılan çalışmada Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları kullanılarak yüzeyden alınan EGG sinyallerinden mide kasılmalarının noninvaziv olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, yüzey elektrotları kullanılarak EGG sinyalleri kaydedilmiştir ve mide

kasılmaları anlık olarak intraluminal manometrik bir prob ile görüntülenmiştir. Yapay Sinir Ağı kullanılarak sınıflandırma için EGG sinyallerinden, 5 bireye ait olanı eğitim grubu, diğer 5 bireye ait olanı ise test grubu için seçilmiştir. Gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu %92 lik bir başarı elde edilmiştir [7].

Leahy A., Besherdas K, Clayman C., Mason I., Epstein O., tarafından fonksiyonel mide-bağırsak hastalıklarında elektrogastogram anormallikleri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. EGG sinyalleri fonksiyonel sindirim güçlüğü olan 170, irritabl bağırsak sendromu olan 70, reflüsü olan 20 hasta bireyden ve 30 asemptomatik kontrollerden elde edilmiştir. EGG sinyalleri ile gerçekleştirilen çalışmada fonksiyonel sindirim güçlüğü olan hastaların yaklaşık %36'sında anormal ve yaklaşık %93 bir özgülüğe sahip olduğu sonucu elde edilmiştir [8].

Bu çalışmada reflü hastaları ve sağlıklı bireylerden alınan EGG sinyalleri ADD yöntemi ile frekans bandlarına göre ayrıştırılmıştır. Elde edilen alt bandların analizi ile Reflü teşhisine yardımcı olacak özneliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu öznelikler kullanılarak gruplar arasında anlamlı farklılığın olup olmadığı istatistiksel olarak incelenmiştir. Ayrıca EGG sinyallerinden reflü hastalığını belirleyebilmek için en uygun elektrod yerleşimi belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri seti

Bu çalışmada, Gastroözofageal Reflü tanısı olan ve farklı şikâyetlerle Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesine başvuran hastalardan EGG sinyalleri alınmıştır. Sinyal kaydı için endoskopi uygulanan hastalardan hastalık derecesi evre A, B ,C, D olan bireyler çalışma kriterine uygun görülmüştür. Gastroözofageal Reflü tanısı konmuş hastalardan ve sağlıklı gönüllülerden EGG kayıtları uzman doktor yardımıyla alınmıştır [9].

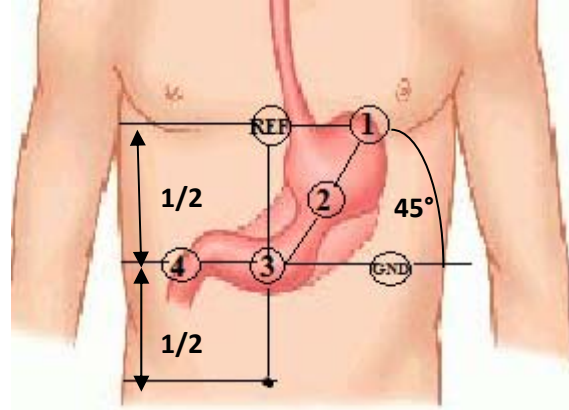
Gerçekleştirilen çalışmada, EGG sinyalleri cilt elektrotları kullanarak Biopac MP-150 EGG sistemi ile 30 dakika açlık ve 30 dakika tokluk durumlarında olmak üzere iki aşamalı olarak toplam 60 dakikada kaydedilmiştir. Ölçümlerin birinci aşamasında gönüllüler aç iken 30 dakika süreyle EGG ölçümü yapıldıktan sonra, ikinci aşamasında, bireylere %30 yağ, %15 protein, %55 karbonhidrattan oluşan 1600kcal'lik bir yemek verilip aynı sürede tokluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hasta bireylerden alınan kayıtlar için hastaların kullandığı ilaçlar EGG işleminden en az üç gün önceden kesilmiştir. Bununla birlikte antidepressanlar ve oral kontraseptif ilaçlar yavaş dalga aktivitesini etkilemesi nedeni ile zorunlu olarak kesilmiştir. Açlık kaydı alınırken gönüllülerden

ölçümden 8 saat öncesine kadar hiçbir şey yemeyip içmemeleri istenmiştir [9]. Gönüllülerin karın bölgesine 6 adet yüzey elektrotları yerleştirilmiştir ve midenin elektriksel aktivitesi anlık olarak kaydedilmiştir. EGG sinyallerin kaydı, bireyler yatar pozisyonda rahatsız olmayacak şekilde Şekil 2'de görüldüğü gibi ve 500 Hz. örnekleme frekansı ile gerçekleştirilmiştir. [9, 10].



Şekil 2. EGG sinyallerinin kaydı

Ölçümler bireylere; mental ve fiziksel olarak hiçbir rahatsızlık vermemektedir. EGG kayıtları MP-150 sisteminden 1-4 ve 2-3 noktalarına olmak üzere ayrı 2 kanalla elde edilmiştir. Elektrot yerleşimleri Şekil 3'de verilmektedir. Burada 1-4 elektrot yerleşimine ait EGG sinyal kaydı birinci kanal sinyal; 2-3 elektrot yerleşimine ait EGG sinyalleri ikinci kanal sinyal kaydı olarak belirlenmiştir. EGG kayıtları uzman hekim yardımıyla 25 sağlıklı ve 25 gastroözofageal reflülü bireylerden alınmıştır [9,10].



Şekil 3. EGG sinyallerinin kaydı için kullanılan elektrot yerleşimi

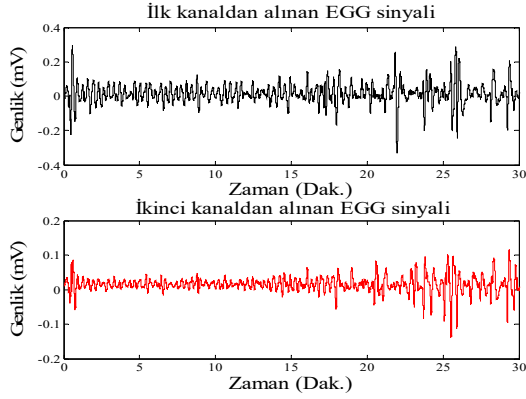
Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de örnek olarak hasta ve sağlıklı bireyden açlık ve tokluk durumunda alınan EGG sinyalleri gösterilmektedir:

### 2.2. Güç spektral yoğunluğu

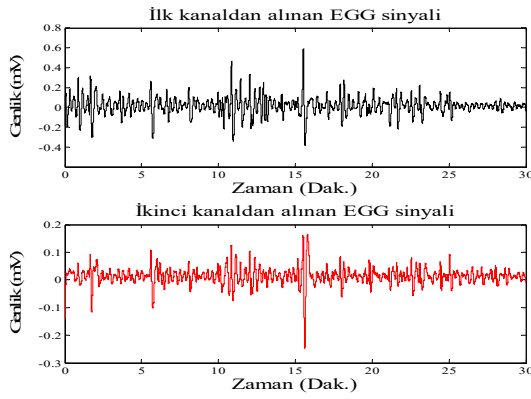
Sinyallerin frekans spektrumunu belirlemek için Fourier dönüşümü kullanılmaktadır. Ancak Fourier dönüşümü gürültüye karşı çok hassastır. GSY yöntemi sinyalin kendisiyle otokorelasyonunun Fourier Dönüşümünün alınması ile elde edilmektedir. Bu yöntem, sinyalin otokorelasyonunun kullanılması sonucu sinyaldeki gürültünün elimine edilmesi

avantajından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanmıştır [11].

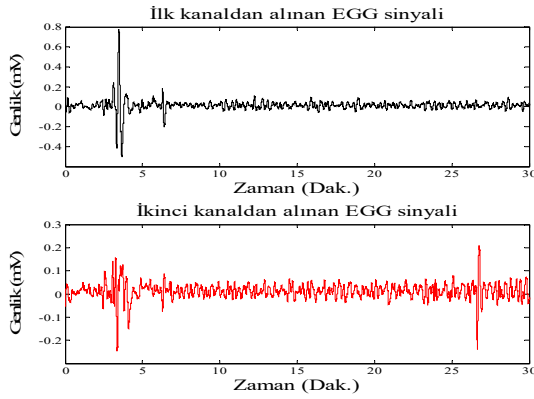
$$PSD = \int_{-\infty}^{\infty} |X(t)|^2 e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$



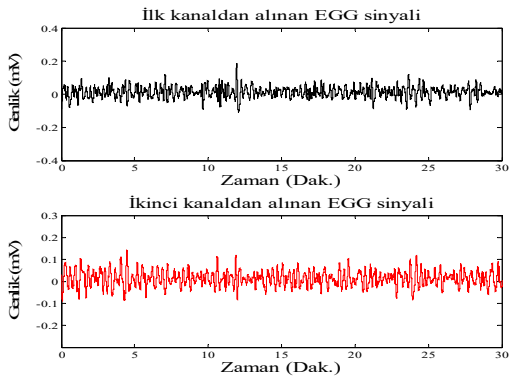
Şekil 4. Sağlıklı bireye ait açlık durumu EGG sinyali



Şekil 5. Sağlıklı bireye ait tokluk durumu EGG sinyali

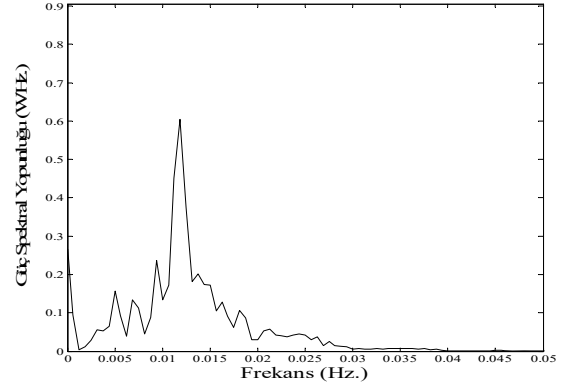


Şekil 6. Hasta bireye ait açlık durumu EGG sinyali



Şekil 7. Hasta bireye ait tokluk durumu EGG sinyali

Bu çalışmada Şekil 8'de görüldüğü gibi GSY grafikleri Welch metodu kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemde sinyaller üst üste çıkışabilecek bölümlere ayrılmakta ve her bir bölümün GSY'su hesaplanarak elde edilen GSY'ların ortalaması alınmaktadır. Ortalama işlemi ile elde edilen GSY hesabı, tek bir GSY hesabına göre varyansı azaltmaktadır [11].



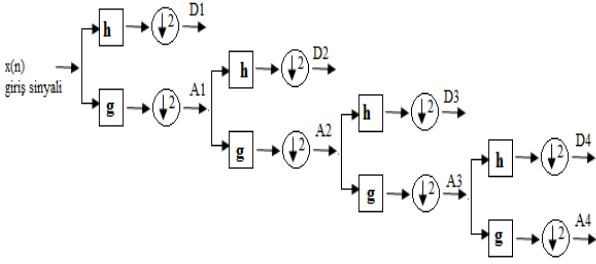
Şekil 8. Sağlıklı bireye ait açlık durumu birinci kanal EGG sinyaline ait GSY grafiği

### 2.3. Ayırık zamanlı dalgacık dönüşümü

Bu çalışmada EGG sinyalleri frekans bileşenine göre ADD kullanılarak ayrıştırılmıştır ve frekans bantlarına ait öznitelikleri araştırılmıştır. ADD sinyalleri frekans bantlarına göre ayrıştıran filtre bankası gibi çalışmaktadır [5]. Bu yöntem, farklı kesim frekanslı filtreler kullanılarak sinyali farklı ölçeklerde analiz etmek için ortaya konulmuş bir yöntemdir. Alt-bant (sub-bant) kodlama üzerine kurulan bu metod Sürekli Dalgacık Dönüşüm metodunun hızlı bir şekilde hesaplanması için ortaya konmuştur. Sürekli Dalgacık Dönüşümü bir dalgacık fonksiyonunu zaman düzleminde ötelenmiş ve ölçeklenmiş halleriyle çarpılan sinyalin tüm zaman boyunca toplamıdır. Bu işlemlerin sonucunda ölçek ve konuma bağlı olarak dalgacık katsayıları elde edilir. Eğer ölçekleme ve öteleme ikinin üsleri şeklinde seçilirse çözümlenmeler sürekli dalgacığa göre daha etkili ve sürekli dalgacık dönüşümü kadar doğru sonuç vermektedir. Bu çeşit çözümleme ADD olarak isimlendirilmektedir [12].

ADD'de sinyaldeki yüksek frekansları analiz etmek için sinyal yüksek geçiren filtreden geçirilirken sinyaldeki alçak frekansları analiz etmek için sinyal, alçak geçiren filtreden geçirilir. Sinyaldeki detaylı bilginin miktarının ölçüsünü gösteren sinyalin çözünürlüğü, filtreleme işlemi ile değiştirilir ve ölçek aşağı-yukarı örnekleme (downsampling-upsampling) işlemleri ile değiştirilir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, giriş sinyali  $x[n]$  ile gösterilmektedir. Burada  $n$  bir tamsayıdır. Alçak geçiren filtre  $g$  ile

gösterilirken yüksek geçiren filtre  $h$  ile gösterilmektedir [12].



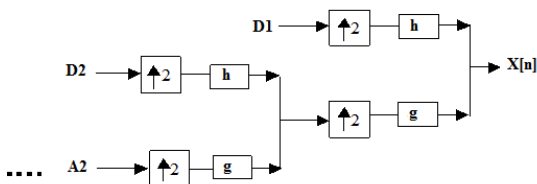
**Şekil 9.** ADD metodunun gerçekleşmesinde alt bantlara ayrılma işlemi

Her bir seviye için, yüksek geçiren filtre detay ( $D[n]$ ) bilgisini üretirken, ölçek fonksiyonu ile ilişkili alçak geçiren filtre yaklaşıklık (approximation- $A[n]$ ) bilgisini üretir.

Eşitlik 2 de gösterildiği gibi  $x[n]$  giriş sinyalinin alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçlerle konvolüsyonu sonucu detay ve yaklaşıklık bilgileri elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} A1 &= \sum X[k]g[2n-k] \\ D1 &= \sum X[k]h[2n-k] \end{aligned} \quad (2)$$

Her bir ayrıştırma seviyesinde, yarı bant filtreleri frekans bandının yarısı kadar frekanstaki sinyal aralığında işaret üretilir. Filtreleme işlemi istenilen seviyeye ulaşıncaya kadar devam eder. Bu işleme, çoklu çözünürlük analizi de denilmektedir. Seviyenin maksimum sayısı, işaretin uzunluğuna bağlıdır. Şekil 10'da dalgacık katsayılarından orijinal sinyali elde etmek için yeniden yapılanma işlemi göstermektedir.



**Şekil 10.** Wavelet katsayılarından orijinal sinyali elde etmek için yeniden yapılanma işlemi

Bu işlem, ayrıştırma işleminin tersi olarak gerçekleştirilmektedir. Her bir seviyedeki detay ve yaklaşıklık katsayıları ile yukarı örneklenerek alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilir ve birleştirilir. Bu işlem orijinal sinyali elde etmek için ayrıştırma işlemindeki seviyeye kadar devam eder [12].

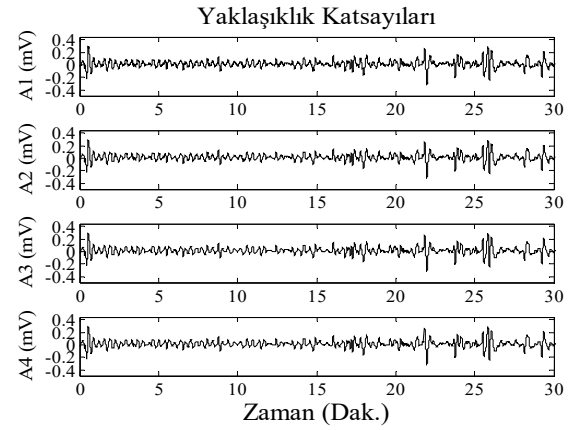
Bu çalışmada EGG sinyalleri ADD ile dört seviyeye ayrıştırılarak alçak ve yüksek frekans bileşenli sinyaller elde edilmiştir.

Bu çalışmada, EGG sinyallerinin frekans bantlarına ayrışımı için farklı Dalgacık fonksiyonları denenmiştir. Ancak istatistiksel analiz aşamasında hasta ve sağlıklı bireyleri ayırt etmede EGG

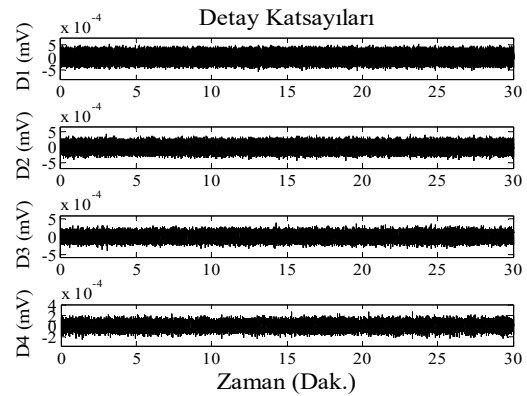
sinyallerinin Daubechies dalgacık ailesinden 'db4' dalgacığı ile ayrışım neticesinin daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle EGG sinyallerinin frekans bantlarına ayrışımı için Daubechies dalgacık fonksiyonu seçilmiştir. Ayrıştırma ise 4 seviyede yapılmıştır. Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterildiği gibi yaklaşıklık katsayıları olan A1, A2, A3, A4 ve detay katsayıları olan D1, D2, D3, D4 elde edilmiştir. Bradigastri ve taşigastri bölgelerinin açıkça belirlenebilmesi amacıyla ayrıştırma seviyesinin dört olarak belirlenmiştir. Ayrıştırma neticesinde elde edilen detay ve yaklaşıklık katsayıları değişen frekans değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Giriş sinyalinin 0-2 Hz. frekans aralığında olması durumunda;

D1: 0,1-02 Hz., A1: 0-0,1 Hz., D2: 0,05-0,1 Hz., A2: 0-0,05 Hz., D3: 0,025-0,05., Hz., A3: 0-0,025 Hz., D4: 0,0125-0,025 Hz., A4: 0-0,0125 Hz. frekans aralığında olacaktır.



**Şekil 11.** Açlık durumunda sağlıklı bireyden alınan birinci kanal EGG sinyaline ait Yaklaşıklık katsayıları



**Şekil 12.** Açlık durumunda sağlıklı bireyden alınan birinci kanal EGG sinyaline ait Detay katsayıları

## 2.4. Bağımsız örneklem t-testi

Gerçekleştirilen çalışmada, 25 hasta ve 25 sağlıklı bireylerden elde edilen özniteliklerin grupları belirlemede anlamlılığı Bağımsız örneklem t-Testi (BÖTT) kullanılarak incelenmiştir. Bu test, birbirinden bağımsız 2 grubun veya örneklemin ortalamaları arasındaki farkın belirli bir güven

düzeyinde (%95, %99 gibi) önemli olup olmadığı ve farkın hangi yönde olduğunun test edilmesinde kullanılır [13, 14]. Bu teste ait formüller aşağıda verilmiştir.

$$t = \frac{x_1 - x_2}{s_{\Delta x}} \quad (3)$$

$$s_{\Delta x} = \sqrt{\frac{(s_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2)^2}{n_2 - 1}} \quad (4)$$

Eşitlik 3'te verilen  $x_1$ , birinci grup ve  $x_2$ , ikinci gruba ait verilerin ortalamasını göstermektedir. Eşitlik 4'te verilen  $s_1$ , birinci grup ve  $s_2$  ikinci gruba ait verilerin standart sapmasını göstermektedir. Eşitlik 3 ile hesaplanan  $t$  değerinin standart normal dağılımdaki yerine bakılarak normal dağılımda  $p < 0.05$  lik alana karşılık gelen değerler için iki grup arasındaki farklığın önemli olduğu kabul edilir.

### 3. Bulgular

Sağlıklı ve reflü hastası bireylerden açlık ve tokluk durumlarında farklı kanallardan alınan EGG sinyallerinden reflü hastalığını belirlemek üzere gerçekleştirilen bu çalışmada, EGG sinyallerinin zaman eksenini analizi aşamasında sinyallerin gerilim seviyeleri arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Bu nedenle EGG sinyallerinin frekans analizi için Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Güç Spektral Yoğunluk grafikleri kullanılmıştır.

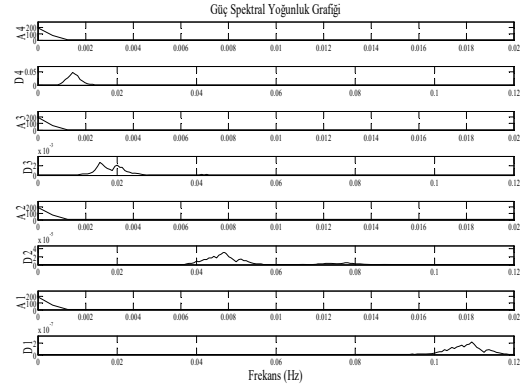
#### 3.1. Ayrık dalgacık dönüşümü ve güç spektral yoğunluğu ile EGG sinyallerinin analizi sonuçları

EGG sinyalleri frekans, genlik ve dalga şekilleri bakımından durağan olmayan sinyallerdir. Bu doğrultuda, reflü hastası ve sağlıklı bireylerden alınan EGG sinyallerinden öznitelik elde etmek amacıyla Dalgacık Dönüşümü uygulanmıştır. Dalgacık dönüşümü, daha iyi zaman-frekans kararlılığı sağlayan skala kavramını içerdiği için durağan olmayan sinyallerin analizine de uygundur.

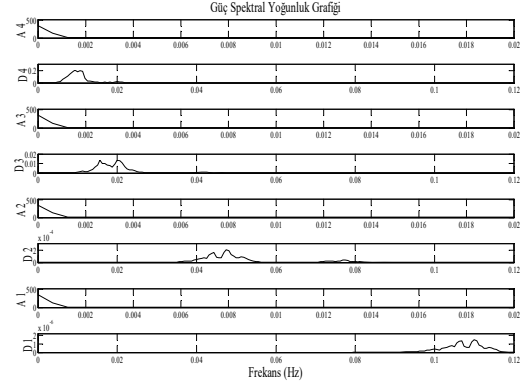
Bu aşamada, EGG sinyallerinin gürültü eliminasyonu için Sonlu Dürtü Yanıtına ve Sonsuz Dürtü Yanıtına sahip sayısal filtre yapıları ile Butterworth, Chebyshev ve Eliptik tür analog filtre yapıları denenmiştir. Ancak geçirme ve durdurma bandında dalgalanma olmaması avantajından dolayı bu çalışmada, Butterworth filtre yapısı kullanılmıştır [15].

Kullanılan 4. dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin kesim frekansı 0.4 Hz olarak belirlenmiştir. Daha sonra filtrelenmiş sinyallerin ADD yöntemi ile frekans ekseninde ayrışımı yapılmıştır [12]. EGG sinyallerinin bradigastric ve taşigastric gibi tüm aktivitelerini belirleyebilmek için ADD ile ayrışım

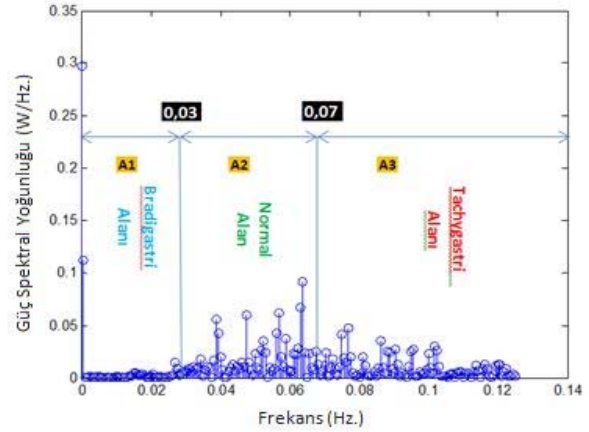
seviyesi 4 olarak belirlenmiştir. Elde edilen 4 detay ve 4 yaklaşıklık katsayılarının GSY grafikleri Şekil 13 ve 14'de görülmektedir. Bu grafiklerde bradigastric, taşigastric ve normal frekans bölgesine ait GSY alan hesabı ve GSY'nin maksimum frekansı özellikleri Şekil 15'de görüldüğü gibi incelenmiştir.



Şekil 13. Açlık durumunda hasta bireyden alınan EGG sinyalinden elde edilen ADD katsayılarının GSY grafiği



Şekil 14. Açlık durumunda sağlıklı bireyden alınan EGG sinyalinden elde edilen ADD katsayılarının GSY grafiği



Şekil 15. GSY grafiğindeki özelliklere ait Bradigastric, Normal ve Taşigastric Alanları

#### 3.2. Açlık/Tokluk durumunda EGG sinyallerinin ADD-GSY analizi sonuçları

GSY grafiğinden elde edilen Bradigastric Alanı, Normal Alanı ve Taşigastric Alanı değerleri açlık tokluk durumu ve birinci kanal, ikinci kanal EGG

sinyallerinden hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 1-8' de görülmektedir.

**Tablo 1.** Açlık durumunda sağlıklı bireylerden kaydedilen 1-4 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

1-4 Kanalı Açlık Durumu	Sağlıklı		
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan
A4 Ortalama	38.65243	0.113261	0.789668
A4 Standart Sapma	10.94777	0.073109	0.556555
D4 Ortalama	1.39E-05	0.205752	0.026819
D4 Standart Sapma	1.35E-05	0.133215	0.017351
A3 Ortalama	38.65262	0.231741	0.904254
A3 Standart Sapma	10.94785	0.132228	0.638587
D3 Ortalama	4.56E-07	0.025061	3.46E-06
D3 Standart Sapma	3.34E-07	0.016322	1.92E-06
A2 Ortalama	38.65262	0.255062	0.905861
A2 Standart Sapma	10.94786	0.143831	0.639534
D2 Ortalama	2.94E-10	0.00058	5.8E-10
D2 Standart Sapma	3.1E-10	0.000439	5.56E-10
A1 Ortalama	38.65262	0.255629	0.90587
A1 Standart Sapma	10.94786	0.144111	0.639539
D1 Ortalama	2.18E-12	4.48E-06	3.43E-12
D1 Standart Sapma	2.87E-12	3.92E-06	4.52E-12

**Tablo 2.** Açlık durumunda hasta bireylerden kaydedilen 1-4 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

1-4 Kanalı Açlık Durumu	Reflü Hastası		
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan
A4 Ortalama	43.75013	0.110083	0.771056
A4 Standart Sapma	11.61231	0.08184	0.771266
D4 Ortalama	9.79E-06	0.182361	0.022006
D4 Standart Sapma	5.94E-06	0.109795	0.015825
A3 Ortalama	43.75023	0.221244	0.863164
A3 Standart Sapma	11.61228	0.11815	0.866711
D3 Ortalama	3.98E-07	0.023495	3.31E-06
D3 Standart Sapma	3.72E-07	0.01431	2.01E-06
A2 Ortalama	43.75021	0.243215	0.864635
A2 Standart Sapma	11.61227	0.130604	0.867713
D2 Ortalama	3.61E-10	0.000603	6.7E-10
D2 Standart Sapma	4.36E-10	0.000395	7.54E-10
A1 Ortalama	43.75021	0.243809	0.864643
A1 Standart Sapma	11.61227	0.130896	0.867718
D1 Ortalama	3.11E-12	5.03E-06	4.9E-12
D1 Standart Sapma	2.9E-12	4.08E-06	4.57E-12

**Tablo 3.** Tokluk durumunda sağlıklı bireylerden kaydedilen 1-4 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

1-4 Kanalı Tokluk Durumu	Sağlıklı		
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan
A4 Ortalama	40.53981	0.097207	0.807208
A4 Standart Sapma	11.9334	0.074566	0.684088
D4 Ortalama	1.22E-05	0.190894	0.024594
D4 Standart Sapma	1.15E-05	0.150002	0.021185
A3 Ortalama	40.53985	0.189137	0.930928
A3 Standart Sapma	11.93344	0.146063	0.785834
D3 Ortalama	3.91E-07	0.019151	2.82E-06
D3 Standart Sapma	5.77E-07	0.015477	2.26E-06
A2 Ortalama	40.53985	0.206841	0.932486
A2 Standart Sapma	11.93345	0.159503	0.787012
D2 Ortalama	2.52E-10	0.000412	4.97E-10
D2 Standart Sapma	2.7E-10	0.000332	4.98E-10
A1 Ortalama	40.53985	0.207245	0.932494
A1 Standart Sapma	11.93345	0.159759	0.787018
D1 Ortalama	1.68E-12	3.05E-06	2.64E-12
D1 Standart Sapma	2.29E-12	2.54E-06	3.61E-12

**Tablo 4.** Tokluk durumunda hasta bireylerden kaydedilen 1-4 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

1-4 Kanalı Tokluk Durumu	Reflü Hastası		
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan
A4 Ortalama	39.28393	0.155789	1.105222
A4 Standart Sapma	8.228918	0.123938	0.812169
D4 Ortalama	1.44E-05	0.296022	0.038919
D4 Standart Sapma	1.15E-05	0.216001	0.028833
A3 Ortalama	39.28404	0.302331	1.293231
A3 Standart Sapma	8.228911	0.241313	0.973723
D3 Ortalama	5.87E-07	0.032757	4.93E-06
D3 Standart Sapma	7.78E-07	0.034055	4.39E-06
A2 Ortalama	39.28404	0.332572	1.295726
A2 Standart Sapma	8.228904	0.271299	0.975741
D2 Ortalama	6.15E-10	0.000745	1.17E-09
D2 Standart Sapma	1.22E-09	0.00097	2.2E-09
A1 Ortalama	39.28404	0.333304	1.295738
A1 Standart Sapma	8.228905	0.272085	0.975751
D1 Ortalama	3.05E-12	5.64E-06	4.8E-12
D1 Standart Sapma	5.01E-12	7.71E-06	7.88E-12

**Tablo 5.** Açlık durumunda sağlıklı bireylerden kaydedilen 2-3 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

2-3 Kanalı Açlık Durumu	Sağlıklı			
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan	
A4	Ortalama	0.123805	0.059538	0.476811
	Standart Sapma	0.142101	0.072899	0.729894
D4	Ortalama	6.96E-06	0.112989	0.014389
	Standart Sapma	8.24E-06	0.133598	0.017596
A3	Ortalama	42.13466	0.123805	0.539933
	Standart Sapma	24.72311	0.142101	0.824974
D3	Ortalama	3.17E-07	0.013593	2.06E-06
	Standart Sapma	2.68E-07	0.015803	1.76E-06
A2	Ortalama	42.13465	0.136523	0.54081
	Standart Sapma	24.72309	0.155771	0.826028
D2	Ortalama	2.23E-10	0.00034	4.24E-10
	Standart Sapma	2.44E-10	0.000382	4.52E-10
A1	Ortalama	42.13465	0.136856	0.540815
	Standart Sapma	24.72309	0.156105	0.826034
D1	Ortalama	1.26E-12	2.66E-06	1.98E-12
	Standart Sapma	1.34E-12	3.04E-06	2.1E-12

**Tablo 6.** Açlık durumunda hasta bireylerden kaydedilen 2-3 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

2-3 Kanalı Açlık Durumu	Reflü Hastası			
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan	
A4	Ortalama	0.152317	0.06499	0.396501
	Standart Sapma	0.168082	0.078451	0.450907
D4	Ortalama	6.08E-06	0.128584	0.016666
	Standart Sapma	6.86E-06	0.148634	0.019118
A3	Ortalama	42.47678	0.152317	0.455358
	Standart Sapma	14.58561	0.168082	0.523252
D3	Ortalama	4.68E-07	0.015942	2.48E-06
	Standart Sapma	4.31E-07	0.015296	2.35E-06
A2	Ortalama	42.47678	0.167454	0.456192
	Standart Sapma	14.58559	0.181797	0.524177
D2	Ortalama	3.52E-10	0.000365	6.48E-10
	Standart Sapma	3.95E-10	0.000341	7.22E-10
A1	Ortalama	42.47678	0.167813	0.456196
	Standart Sapma	14.58559	0.182099	0.524182
D1	Ortalama	2.27E-12	2.88E-06	3.58E-12
	Standart Sapma	2.85E-12	2.77E-06	4.49E-12

**Tablo 7.** Tokluk durumunda sağlıklı bireylerden kaydedilen 2-3 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

2-3 Kanalı Tokluk Durumu	Sağlıklı			
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan	
A4	Ortalama	0.122585	0.062619	0.504696
	Standart Sapma	0.184154	0.093366	0.761984
D4	Ortalama	7.06E-06	0.118826	0.01606
	Standart Sapma	1.03E-05	0.185879	0.025745
A3	Ortalama	40.70413	0.122585	0.578977
	Standart Sapma	21.42101	0.184154	0.874028
D3	Ortalama	4.67E-07	0.013416	2.47E-06
	Standart Sapma	3.8E-07	0.020606	2.63E-06
A2	Ortalama	40.70414	0.13505	0.579956
	Standart Sapma	21.42098	0.202823	0.875462
D2	Ortalama	3.25E-10	0.000288	6.11E-10
	Standart Sapma	3.88E-10	0.000438	7.06E-10
A1	Ortalama	40.70414	0.135332	0.579961
	Standart Sapma	21.42098	0.203238	0.875469
D1	Ortalama	1.38E-12	2.17E-06	2.18E-12
	Standart Sapma	1.9E-12	3.23E-06	2.99E-12

**Tablo 8.** Tokluk durumunda hasta bireylerden kaydedilen 2-3 kanalına ait EGG sinyallerinin istatistiksel özellikleri

2-3 Kanalı Tokluk Durumu	Reflü Hastası			
	Bradigastri alanı	Taşigastri Alanı	Normal Alan	
A4	Ortalama	0.18517	0.085566	0.613053
	Standart Sapma	0.230861	0.107572	0.768094
D4	Ortalama	9.15E-06	0.160501	0.021521
	Standart Sapma	1.2E-05	0.200775	0.027038
A3	Ortalama	45.53669	0.18517	0.695728
	Standart Sapma	32.76261	0.230861	0.871766
D3	Ortalama	5.76E-07	0.018809	3.22E-06
	Standart Sapma	5.58E-07	0.025364	3.37E-06
A2	Ortalama	45.53668	0.202667	0.697025
	Standart Sapma	32.76255	0.253422	0.873319
D2	Ortalama	4.61E-10	0.000433	8.66E-10
	Standart Sapma	5.29E-10	0.00061	9.72E-10
A1	Ortalama	45.53668	0.203092	0.697031
	Standart Sapma	32.76255	0.253962	0.873327
D1	Ortalama	2.44E-12	3.21E-06	3.83E-12
	Standart Sapma	3.56E-12	4.61E-06	5.6E-12



EGG sinyallerinin ADD ile ayrışımı sonucunda toplam A4, A3, A2, A1, D4, D3, D2, D1 olmak üzere sekiz adet altband sinyali elde edilmiş ve bu altband sinyallerinin GSY grafiklerinden bradigastrî, normal ve taşıgastrî aktivitesine ait üç adet alan hesabının yapılmasıyla sonuç olarak yirmi dört adet özellik oluşturulmuştur. Elde edilen bu özneliklerin istatistiksel olarak analizi gerçekleştirilmiştir. Özneliklerin gruplar arasındaki farklılıkları belirlemedeki anlamlılıkları BÖTT ile incelenmiştir.

- Hastalarda 1-4 kanalı EGG sinyalinin açlık ve tokluk durumlarının karşılaştırılması:

ADD ile ayrıştırılan sekiz alt banddan GSY'na ait elde edilen özneliklerin açlık ve tokluk durumunda farklılık olup olmadığının istatistiksel analizi sonucunda; D4 altbandına ait EGG sinyallerinin taşıgastrî ve normal frekans bölgesi alanlarının gruplar arasında anlamlı farklılık oluşturduğu sonucu Tablo 9'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

**Tablo 9.** Hastalıklı bireylere ait 1-4 kanalı açlık/tokluk durumu EGG sinyallerinin ADD-GSY grafiklerinden elde edilen özneliklerin istatistiksel analizi sonucu

Özellik	Varyans Eşitliği için		Ortalamaların Eşitliği için t testi		
	Levene's Testi F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)
D4-Taşıgastrî	19.890	0.000	-2.345	35.63	0.025
D4-Normal Frekans	15.628	0.000	-2.571	37.26	0.014

- Hasta bireylerde 2-3 kanalı EGG sinyalinin açlık ve tokluk durumlarının karşılaştırılması:

Hasta bireylerde açlık/tokluk durumunda 2-3 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

- Sağlıklı bireylerde 1-4 kanalı EGG sinyalinin açlık ve tokluk durumlarının karşılaştırılması:

Sağlıklı bireylerde açlık/tokluk durumunda 1-4 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

- Sağlıklı bireylerde 2-3 kanalı EGG sinyalinin açlık ve tokluk durumlarının karşılaştırılması:

Sağlıklı bireylerde açlık/tokluk durumunda 2-3 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

### 3.3 Hasta/Sağlıklı gruplarda EGG sinyallerinin ADD-GSY analizi sonuçları

Hasta/Sağlıklı gruplarda EGG sinyallerinden elde edilen özneliklerin gruplar arasında farklılığı ortaya

koyup koymadığını belirleyebilmek için istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir.

- Hasta/Sağlıklı gruplarda açlık durumu 1-4 kanalı EGG sinyallerinin karşılaştırılması:

Hasta/Sağlıklı bireylerde açlık durumunda 1-4 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

- Hasta/Sağlıklı gruplarda tokluk durumu 1-4 kanalı EGG sinyallerinin karşılaştırılması:

ADD ile ayrıştırılan sekiz altbanddan elde edilen GSY'na ait özneliklerin hasta ve sağlıklı gruplarda farklılık olup olmadığının istatistiksel analizi sonucunda; A4 altbandına ait EGG sinyallerinin taşıgastrî ve D3 altbandına ait EGG sinyallerinin normal frekans bölgesinin alanlarının gruplar arasında anlamlı farklılık oluşturduğu sonucu Tablo 10'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

**Tablo 10.** Hasta/Sağlıklı bireylere ait 1-4 kanalı tokluk durumu EGG sinyallerinin ADD-GSY grafiklerinden elde edilen özneliklerin istatistiksel analizi sonucu

Özellik	Varyans Eşitliği için		Ortalamaların Eşitliği için t testi		
	Levene's Testi F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)
D4-Taşıgastrî	8.074	0.007	-2.025	39.36	0.050
D4-Normal Frekans	6.835	0.012	-2.137	35.91	0.039

- Hasta/Sağlıklı gruplarda açlık durumu 2-3 kanalı EGG sinyallerinin karşılaştırılması:

Hasta/Sağlıklı bireylerde açlık durumunda 2-3 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

- Hasta/Sağlıklı gruplarda tokluk durumu 2-3 kanalı EGG sinyallerinin karşılaştırılması:

Hasta/Sağlıklı bireylerde tokluk durumunda 2-3 kanalı EGG sinyalinden elde edilen tüm özelliklerin istatistiksel analizi sonucu gruplar arasında anlamlı farklılık görülmemiştir.

## 4. Tartışma ve Sonuç

EGG sinyallerinden reflü teşhisine yardımcı özneliklerin çıkarılmasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikli olarak EGG sinyallerinin ADD katsayıları elde edilmiş ve bu katsayılardan GSY hesabı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen GSY grafiklerinden bradigastrî, normal ve taşıgastrî aktivitesine ait üç adet alan hesaplanarak öznelikler elde edilmiştir. Bu özneliklerin gruplar arasında anlamlı farklılıkların bulunup bulunmamasını araştırmak üzere BÖTT testi ile istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir.

EGG sinyallerinden açlık/tokluk durumunun analizinde, 2-3 kanalı EGG sinyallerinden elde edilen öznelikler arasında farklılık bulunmamıştır. Ancak hasta bireylerin açlık ve tokluk durumu analizinde 1-4 kanalı EGG sinyallerinden elde edilen öznelikler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık elde edilmiştir. Hasta/sağlıklı gruplarının karşılaştırılmasında ise 2-3 kanalı EGG sinyallerinden elde edilen öznelikler arasında farklılık bulunmamıştır. Ancak Hasta/Sağlıklı bireylerinin tokluk durumlarında 1-4 kanalı EGG sinyallerinden elde edilen öznelikler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık elde edilmiştir.

Sağlıklılardan elde edilen öznelikler **Açlık/Tokluk** durumlarının belirlenmesinde yeterli olmamıştır. Hastalarda ise D4 altband sinyalinin taşıgastrisi ve normal alan değerleri gruplar arasında anlamlı fark oluşturmuştur. **Hasta/Sağlıklı** gruplardan elde edilen EGG sinyallerinin analizinde, 2-3 kanalı EGG sinyallerinden elde edilen öznelikler farklılığı ortaya koymada başarılı olamamıştır. Açlık durumunda 1-4 kanalıdan elde edilen EGG sinyaline ait özellikler arasında anlamlı seviyede farklılık ortaya çıkmamıştır. **Tokluk** durumda 1-4 kanalıdan elde edilen özneliklerden A4 altband sinyalinde taşıgastrisi alanı ve D3 altband sinyalinde normal alan öznelikleri hasta/sağlıklı gruplar arasında anlamlı farklılık oluşturmuştur. Bunun sonucunda reflü hastalarında taşıgastrisi olabileceği yorumu ortaya çıkmıştır.

Sağlıklılardan alınan verilerden elde edilen özneliklerin açlık-tokluk durumlarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmaması, hastalarda ise 1-4 kanalıdan elde edilen özneliklerin anlamlı farklılık oluşturması; sağlıklılarda açlık ve tokluk durumunda EGG sinyallerinin birbirinden farklı olmadığını ortaya koymaktadır. Hastalarda ise açlık ve tokluk durumlarındaki anlamlı farkın çıkması hastalarda besin alımında mide giriş ve çıkışında mide elektriksel aktivitesinde farklılık olduğu ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, Reflü hastalığını teşhisine yönelik elde edilen öznelikler istatistiksel olarak incelendiğinde 2-3 kanalıdan elde edilen öznelikler hasta-sağlıklı ayırımında yeterli olmamıştır. Tokluk durumunda 1-4 kanalıdan elde edilen özellikler hasta ve sağlıklı grubu birbirinden ayırt etmede başarılı olmuştur. Böylece Reflü hastalığının teşhisi için elektrod yerleşiminde birinci kanalın kullanılması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Böylece Reflü hastalığının teşhisine yönelik EGG sinyallerinin kaydı aşamasında önerilen özneliklerle birinci kanalın kullanılmasının uygun olduğu sonucu ile literatüre katkı sağlanmıştır. Ayrıca reflü hastalığının teşhisinde yardımcı olabilecek öznelikler elde edilmiştir. Bu özneliklerden ADD ile elde edilen dördüncü seviye altband sinyallerinin GSY grafiklerinin alanı, grupları başarılı bir şekilde ayırt edici bir özellik olarak literatüre katkı

sağlanmıştır. İleriki çalışmalarda farklı sinyal işleme metodları kullanılarak farklı özneliklerin ortaya konması ve bu özneliklerin sınıflandırıcılarda hastalığı ayırt etme başarısının ölçülmesi planlanmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 3001 Başlangıç Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir (Proje No: 114E002). Çalışmada gönüllülerden sinyal alımı Erciyes Üniversitesi Etik kurulundan alınan 2013/758 sayılı onay ile gerçekleştirilmiştir.

## Kaynakça

- [1] Celikbilek, M., Dogan, S., Yurci, A., Ozbakir, O. 2012. Neutrophilolymphocyteratio: A Hopeful Marker Predicting the Disease Severity in Patients with Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Liver International: Official Journal of the International Association for the Study of the Liver*, 32(7), 1188-1890.
- [2] Alvarez, W. C. 1922. New Methods of Studying Gastric Peristalsis. *The Journal of American Medical Association*, 79(16), 1281-85.
- [3] Chen, J., McCallum, R. W. 1991. Electrogastrography: Measurement, Analysis and Prospective Applications. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 29, 339-50.
- [4] Dubois, A., Mizrahi, M. 1994. Electrogastrography, Gastric Emptying, and Gastric Motility, pp. 247-256. In: *Electrogastrography, Principles and Applications* Raven Press, New York.
- [5] Kara, S., Dirgenali, F., Okkesim, Ş. 2005. Estimating Gastric Rhythm Differences using a Wavelet Method from the Electrogastrogram of Normal and Diabetic Subjects. *Instrumentation Science and Technology*, 33, 519-532.
- [6] Kara, S., Dirgenali, F., Okkesim, Ş. 2006. Estimation of Wavelet and Short-time Fourier Transform Sonograms of Normal and Diabetic Subjects' Electrogastrogram. *Computers in Biology and Medicine*. 36(3), 1289-1302.
- [7] Chen J. D. Z., Lin Z., Wu, Q., McCallum, R. W. 1995. Non-invasive Identification of Gastric Contractions from Surface Electrogastrogram Using Back-propagation Neural Networks. *Medical Engineering & Physics*. 17(3), 219-225.
- [8] Leahy A., Besherdas K, Clayman C., Mason I., Epstein O. 1999. Abnormalities of the electrogastrogram in functional gastrointestinal

disorders, The American Journal of Gastroenterology, 94(4), 1023–1028.

- [9] Çelikzencir, E., Acer Ç. G., Latifoğlu, F., Can Sezgin G., Yurci, M. A. 2015. Gastroözofageal Reflü Hastalığında Noninvaziv Elektrogastrogram Sinyallerinin Tanıda Kullanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi TIP TEKNO'15, 15-18 Ekim, Muğla, Türkiye, 69-72.
- [10] Acer, Ç. G., Latifoğlu, F., Çelikzencir, E. , Can Sezgin G., Yurci, M. A. 2015. A New Approach on Elimination of Noise From Electrogastrogram Signals: Singular Spectrum Analysis-Wiener Filter. 19th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers, (CSCC 2015): Proceedings of the 19th International Conference on Systems, 16-20 Temmuz, Zakynthos, Yunanistan, 523-527.
- [11] Norton, M. P., Karczub, D. 1989, Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers, Cambridge University.
- [12] Debnath, L., Shah, F. A. 2015. Wavelet Transforms and Their Application, Second Edition, Springer, New York, 545s.
- [13] Vasfi, T. N. 2009. SPSS Uygulamalı İstatistik Teknikleri. Seçkin Yayıncılık, 296s.
- [14] Ural, A., Kılıç, İ. 2006. Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS ile Veri Analizi, Detay Yayıncılık, 320s.
- [15] Butterworth, S. 1930. On the Theory of Filter Amplifiers, In Wireless Engineer, 7, 536–541.