



# EEG İşaretlerinin Apne Süreci Analizinde Parametrik Olmayan GSY Tespit Yöntemlerinin Karşılaştırılması

## Comparison of Non – Parametric PSD Detection Methods in the Anaylsis of EEG Signals in Sleep Apnea

Onur Koçak<sup>1</sup>, Faruk Beytar<sup>2</sup>, Hikmet Fırat<sup>3</sup>, Ziya Telatar<sup>4</sup>, Osman Eroğul<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
okocak@baskent.edu.tr

<sup>2</sup>Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, TOBB – Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
{fbeytar, erogul}@etu.edu.tr

<sup>3</sup>Uyku Bozuklukları Merkezi, Dış Kapı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ankara, Türkiye  
hikfirat@gmail.com

<sup>4</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
ziya.telatar@ankara.edu.tr

**Özetçe**—Uyku apnesendromu, uyku sırasında ağız ve burundaki hava akımının 10 saniye veya daha fazla süreyle durmasından kaynaklanan ve uyku düzeninin bozulmasına sebep olan önemli bir rahatsızlıktır. Tedavi edilmediği durumlarda, kalp krizi, felç gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Hastalığın tanısında kullanılan altın standart inceleme yöntemi polisomnografidir (PSG). Bu çalışmada, polisomnografi kayıtlarından elde edilen EEG sinyalleri alt bantlarına (delta,teta,alfa,beta) ayrılarak, sinyallerin apne öncesi(pre), apne anı(intra) ve apne sonrası(post) epokları incelenmiştir. EEG sinyallerine uygulanan parametrik olmayan güç spektral yoğunluğu (GSY) tespit yöntemleri (Periodogram, Welch ve Çoklu Konik (Multi Taper)) karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — uyku apnesi; parametrik olmayan GSY analizi; EEG sinyalleri.

**Abstract**—Sleep apnea is characterized by complete cessation of airflow in the mouth and nose for at least 10 seconds and it is a disease that causes significant disruption of sleep patterns. In the absence of treatment, it can lead to serious health problems such as heart attack and stroke. Polysomnography is the gold standard examination methods used in the diagnosis of the disease. In this study, EEG signals obtained from the polysomnography recording are divided into sub-bands and their epochs in pre apnea, intra apnea and post apnea were analyzed. Non-parametric power spectral density (PSD) detection methods (Periodogram, Welch and Multi Taper) applied to the EEG signals were compared.

**Keywords**—Sleep apnea; nonparametric PSD analysis; EEG signals.

### I. GİRİŞ

Uyku apnesi, uykuda hava akımının en az 20 saniye süreyle normal değerinin %20'sine veya daha altına düşmesi ile tanımlanabilir. Uyku apnesinin teşhis edilmesinde genellikle polisomnografi cihazı kullanılmaktadır. Beyin aktivitesi, solunum, kalp ritmi, nabız, kan oksijen düzeyi, vücut hareketleri başta olmak üzere vücutta uyku boyunca ortaya çıkan tüm aktivitelerin kaydedilmesi işlemine ise polisomnografi (uyku tetkiki) ismi verilmektedir. Bu tetkik, hastanelerin uyku laboratuvarlarında, tüm gece boyunca hastanın ağız, burun, çene, baş, göğüs, karın ve bacak bölgelerine yerleştirilen elektrotlar ile kayıtların alınması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Uyku esnasında kalp atımındaki değişiklikler, oksijen saturasyonundaki değişim, solunum eforu, hava akımı, beyin elektriksel aktivitesi, gözdeki hareket değişiklikleri, kasların hareketleri incelenerek hastanın apne durumu hakkında bilgi elde edilmesi hedeflenmektedir[1,2]. Özellikle uyku dönemindeki EEG işaretlerinde gerçekleştirilecek olan GSY analizleri ile apne sürecinde beyin elektriksel aktivitesi hakkında bilgi toplanabilir. Apne anında meydana gelen, gözle görülemeyen ve mikroyapılar olarak adlandırılan kısa süreli değişimler tespit edilerek apne süreci hakkında daha detaylı bilgi sahibi olunabilir.



EEG işareti oldukça geniş bir frekans bandına sahiptir fakat klinik çalışmalarda 0.5 ile 30 Hz arası frekanslar ele alınmaktadır. EEG spektrumu temelde 4 ana frekans bandına ayrılmaktadır. Bunlar; Delta (0.5-4Hz), Teta (4-8Hz), Alfa (8-13Hz) ve Beta (13-30Hz) olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada, polisomnografi kayıtlarından elde edilen EEG sinyalleri karakteristik alt bantlarına ayrılarak, sinyallerin apne öncesi(pre), apne anı(intra) ve apne sonrası(post) epokları tespit edilerek parametrik olmayan güç spektral yoğunluğu (GSY) tespit yöntemleri (Periodogram, Welch ve Multi Taper) uygulanmıştır. Bu analizler apne geçiş süresince (apne öncesi, apne anı ve apne sonrası) incelenerek, EEG sinyallerinin 4 temel alt bandında yöntemler arası anlamlı farklılıklar olup olmadığı istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Gerçekleştirilen istatistiksel karşılaştırmalara dayanarak apne sürecinde (pre, intra ve post) uygulanan GSY yöntemleri arasında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Özellikle EEG alt bantlarında farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu çalışmanın GSY analiz yöntemlerinin EEG sinyallerine uygulanmasına ve yorumlanmasına farklı bir bakış açısı sunacağı düşünülmektedir.

## II. MALZEME VEYÖNTEM

### A. EEG Sinyallerinin Elde Edilmesi

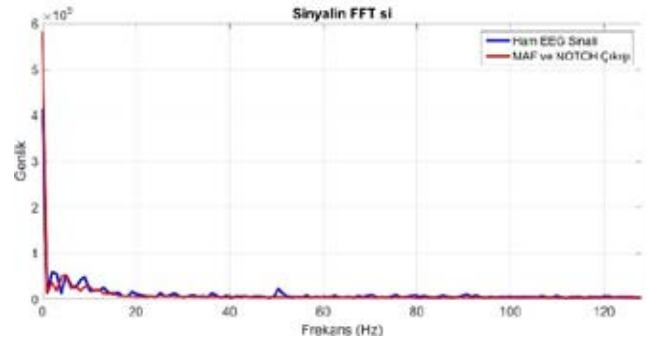
Ankara Dışkapı Eğitim ve Araştırma Hastanesi Göğüs Hastalıkları Kliniği Uyku Bozuklukları Merkezi'nde 5 hastaya 64 kanallı Compumedics™ marka E-Serisi Polisomnografi cihazı ile tüm gece polisomnografik tetkik uygulanmıştır. Bu işlem için EEG elektrotları ulusal 10-20 elektrot sistemine göre yerleştirilerek 256 Hz örnekleme frekansı ile örneklenmiştir. Gerçekleştirilen PSG kaydında EEG bant geçiren filtresi 0.1 Hz – 40 Hz şeklinde seçilmiştir. Elde edilen kayıtlar MATLAB™ programı kullanılarak işaret işleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Apne süreci belirlenen hastalardan toplam 254 epok analiz edilmiştir. Her hastanın apne anı tespit edilmiş, apneden önceki bir epok, apne anı (apnenin olduğu epok) ve apneden sonraki bir epok analiz edilmiştir. Kliniğe şikayetli olarak başvuran hastaların endikasyonlu yatmaları olmadığından, çalışma için herhangi bir özel sarf malzeme harcaması yapılmadığından, verilerin klinik retrospektifolmasından ve verisi incelenen hastaların her birinin “onam formları” alındığından klinik şefliği onayı ile etik kurula başvurulmamış, çalışma bu şekilde tamamlanmıştır.

### B. EEG Sinyalleri Ön İşlenmesi

İlk olarak EEG sinyali üzerindeki yüksek frekans gürültüsünün bastırılabilmesi için 8.dereceden Hareketli Ortalama Değer Filtresi (MAF) kullanılmıştır. MAF'ın genel formülü denklem (1)'de verilmiştir. MAF, giriş olarak sinyal örneklerini aldığından ayrık zamanlı bölgede tasarlanan bir alçak geçiren filtredir.

$$y[n] = \frac{1}{h} \sum_{p=0}^{h-1} x(n-p) \quad (1)$$

Derece sayısının artması sinyal üzerindeki yüksek frekans gürültülerinin daha fazla giderilmesini sağlar. Yapılan çalışmada girişimlerin (artifakt) yok edilmesi amacı ile 8.derece yeterli olmuştur. Ayrıca Sinyal üzerindeki şehir şebekesi gürültüsünü bastırmak için ise bant durduran filtre yapısında 50 Hz çentik (notch) filtre tasarlanmıştır. Ham EEG sinyalinin fourier dönüşümü ve bu filtrelerin uygulanmasından sonraki fourier dönüşümü Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Ham EEG Sinyali ve Hareketli Ortalama Değer ve Çentik Filtrelerinden Geçen EEG Sinyali

### C. Periodogram Yöntemi

Periodogram yöntemi Fourier dönüşümü temelli bir yöntem olup, klasik spektral kestirim yöntemi olarak bilinir. Periodogram öz ilinti fonksiyonu ile Fourier dönüşümü uygulanmış sinyalin karesinin alınmış halidir. Periodogram yöntemi ile güç spektral yoğunluğu tespiti denklem (2)'de görülmektedir [3].

$$\hat{\phi}(w) = \lim_{N \rightarrow \infty} E f(x) = \left\{ \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^N x(n) e^{-jwn} \right|^2 \right\} \quad (2)$$

### D. Welch Yöntemi

Welch Yöntemi, periodogramın iyileştirilmiş hali olup, bu yöntemde işaret üst üste çakışabilecek bölümlere ayrılmaktadır. Daha sonra her bölümün iyileştirilmiş periodogramı alınıp, elde edilen bu bölümlere ait periodogramların ortalaması alınmaktadır. İyileştirilmiş periodogramların ortalaması tüm verinin tek bir periodogram kestirimine göre varyansını azaltır. Welch yöntemi güç spektral yoğunluğunu iyileştirilmiş periodogramların ortalamasını olarak kestirmektedir. i'inci iyileştirilmiş periodogram denklem (3)'te verilmiştir.

$$S_{xx}(f) = \frac{T_s}{KM} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n) w(n) \cdot e^{-j2\pi f n} \right|^2 \quad (3)$$

Burada f = fsnormalize edilmiş frekans değişkenidir. Ölçekleme faktörü Ts ayrık-zaman işaret spektrumunun

## Sinyal İşleme 5

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

genliğini analog işaret spektrumuna eşit olmasını sağlar. Bu son eşitlikte  $w(n)$  ise pencereleme fonksiyonu ve  $K$  normalize sabiti olup denklem (4)'te görülmektedir [4,5].

$$K = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n) \quad (4)$$

Sonuçta güç spektral yoğunluğu kestirimi denklem (5)'te görülmektedir.

$$P_{Welch}(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} S_{xx}(f) \quad (5)$$

Burada  $L$  zaman dizisi serisinin uzunluğudur. Özellikle işaret gürültü oranı düşüğe periodograma göre daha iyi bir çözünürlük elde etmek için Welch yöntemi kullanılabilir [6,7].

### E. Çoklu Konik (Multi Taper) Yöntemi

Periodogram geniş anlamda durağan sürecin gerçek güç spektral yoğunluğunu tahmin etmede tutarlı değildir. Tutarlı bir PSD tahmini üretilebilmesi için, Çoklu konik yöntemi, ortak ortogonaltaperları (pencereleri) kullanarak modifiye edilmiş periodogramın ortalamasını alır. Ortak ortogonallığe ek olarak, pencereler ayrıca optimum zaman-frekans konsantrasyon özelliklerine sahiptir. Hem ortogonallık hem de pencerelerin zaman-frekans konsantrasyonu, Çoklu konik tekniğinin başarısı açısından kritiktir. Çoklu konik yöntemi modifiye edilmiş  $K$  periodogramını, pencereye ait her biri farklı elde edilmiş Slepian dizileri ile kullanır. Aşağıda denklem verilmiştir:

$$S_{k(f)} = \Delta t \left| \sum_{n=0}^{N-1} g_{k,n} x_n e^{-i2\pi f n \Delta t} \right|^2 \quad (6)$$

Modifiye edilmiş periodogramdan elde edilen ve  $k$ . Slepian dizisi  $g_{k,n}$  olarak temsil edilmektedir. En basit formu ile, Çoklu konik yöntemi, PSD tahminini üretmek için basitçe modifiye edilmiş  $K$  periodogramının ortalamasıdır.

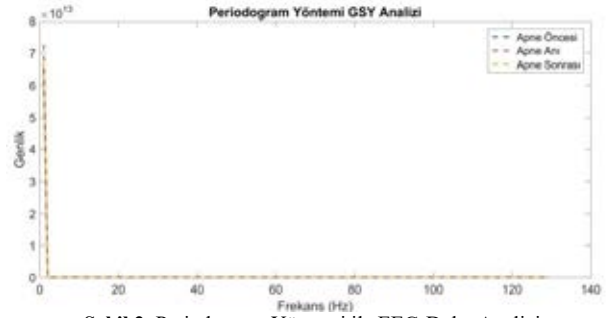
$$S^{(MT)}(f) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} S_k(f) \quad (7)$$

### F. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Analizi

Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 20 (IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.) istatistik paket programı kullanılmıştır. Değişkenler ortalama ± standart sapma değerleri kullanılmıştır. Verilerin tekrarlanan ölçümler varyans analizine uygunluğu Mauchly's Küresellik Testi ve Box-M Varyansların Homojenliği Testi ile değerlendirilmiştir. Testlerin anlamlılık düzeyi için  $p < 0,05$  ve  $p < 0,01$  değeri kabul edilmiştir.

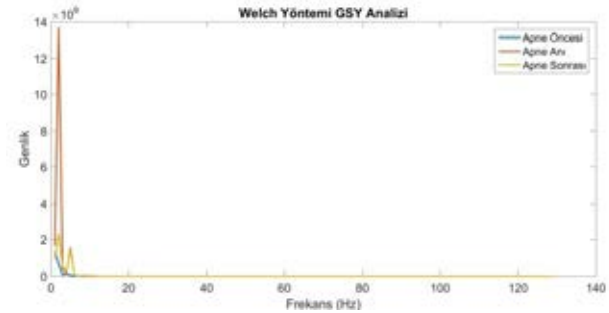
## III. BULGULAR

Şekil 2'de Periodogram yöntemi ile analizi gerçekleştirilen EEG-Delta sinyalinin GSY görülmektedir. Delta sinyalinin GSY pre-intra-post geçişlerinde hastanın tek bir epöğundan alınan analizde gözle görülür bir fark ortaya çıkmamıştır.



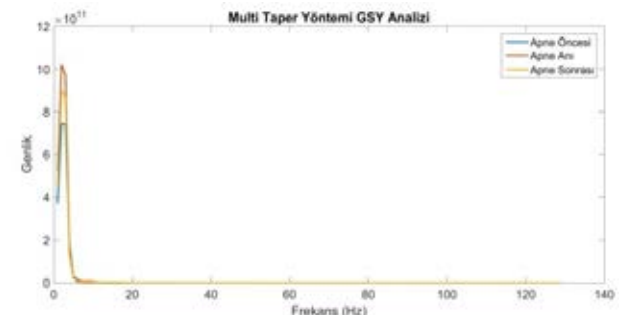
Şekil 2. Periodogram Yöntemi ile EEG-Delta Analizi

Şekil 3'te ise Welch yöntemi ile EEG - Delta sinyali analiz edilmiştir. Hastanın incelenen bu epöğunda pre-intra apne geçişinde delta bandında belirgin bir artış gözlenmiştir. Apne sonrasında ise değerin tekrar düşüş gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. Welch Yöntemi ile EEG-Delta Analizi

Şekil 4'te Çoklu konik yöntemi ile EEG - Delta sinyalinin GSY analizi gerçekleştirilmiştir. Burada pre-intra-post geçişlerinin Welch yöntemine benzer seyrettiği fakat geçişlerin daha yumuşak (smooth) gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4. Çoklu konik Yöntemi ile EEG-Delta Analizi

Tablo 1'de EEG Delta spektrumunun GSY değerleri 3 parametrik olmayan yöntem için karşılaştırmalı olarak



## Sinyal İşleme 5

3. Gün / 29 Ekim 2016, Cumartesi

analiz edilmiştir. Tüm yöntemlerin birbirleri ile kıyaslanması sonucu  $p < 0,01$  elde edilmiş ve sonuçların anlamlı olduğu, yöntemler arasında anlamlı bir fark olduğu elde edilmiştir.

GSY Yöntemi ve İstatistik	predelta	intradelta	postdelta	
Periodoram	N	42	42	
	Ort.	9255901,14	8539797,68	13579575,94
	Std. Sp.	10745134,08	3941051,33	16188522,84
	Ortanca	7824092,26	8797707,84	11151144,55
	Min.	131555,72	173564,6	930891,71
	Maks.	67475839,98	17721466,65	98463009,16
Welch	N	42	42	
	Ort.	19919847,46	15132486,01	28709447,15
	Std. Sp.	26338753,05	10498657,96	34091019,18
	Ortanca	12630855,25	14265701,24	20906299,63
	Min.	742098,15	3143213,19	3003367,25
	Maks.	135268756,7	61337094,3	209102049,9
Mtapar	N	42	42	
	Ort.	2769021,2	2228571,32	3917536,47
	Std. Sp.	3425125,51	1307616,34	4114041,43
	Ortanca	2369620,8	2387161,99	2889206,02
	Min.	90329,94	309575,72	180899,95
	Maks.	17943271,98	6467174,8	25390891,95
Mtpaper-periodogram	p	0,001	0,001	
Mtapar-Welch	p	0,001	0,001	
Periodogram-Welch	p	0,001	0,001	

Tablo 1. Parametrik Olmayan GSY Yöntemleriyle EEG-Delta Analizi

## IV. SONUÇ TARTIŞMA

Tablo 2'den görüleceği üzere tüm hastaların verilerinden elde edilen sonuçlarda, Periodogram yöntemi ile analizde pre-intra-post geçişinde tüm EEG aktivitesi içinde EEG - Delta aktivitesinin (%99,7) baskın olduğu görülmektedir. Welch yöntemi ile analizde de Periodogram yöntemi ile alınan sonuçlarla benzerlik görülmektedir. Pre-intra-post geçişinde EEG - Delta aktivitesinin %99,3 oranlarında olduğu görülmektedir. Çoklu konik yönteminde ise güç spektral yoğunluklarının ortalamasının daha düşük seviyelerde kalması ve EEG - Delta aktivitesinin yanında EEG - Teta aktivitesinin de görülmesi dikkat çekmektedir.

Uyku apnesi geçiş evresinin güç spektral yoğunluğu analizi parametrik olmayan yöntemlerden Periodogram, Welch ve Çoklu konik yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Apne geçiş süreci epokepok incelenerek EEG sinyalinin alt bantlarının apne geçiş sürecinde nasıl değişikliklere uğradığı araştırılmıştır. Analiz sürecinde mutlaka GSY tespitinde tercih edilen bir yöntem üzerinden tüm analizlerin

gerçekleştirilmesi sonuçların tutarlılığı açısından önemlidir.

	Periodogram	Welch	Mtapar
PreEmeantop	9281375,97	20058276,97	4319922,31
%PreD	0,9973	0,9931	0,6410
%PreT	0,0011	0,0028	0,2473
%PreA	0,0011	0,0027	0,0801
%PreB	0,0005	0,0013	0,0316
intEmeantop	8565342,65	15265543,73	3688567,66
%intD	0,9970	0,9913	0,6042
%intT	0,0013	0,0037	0,2526
%intA	0,0010	0,0031	0,1062
%intB	0,0007	0,0019	0,0371
postEmeantop	13614087,26	28881837,23	6424095,30
%PostD	0,9975	0,9940	0,6098
%PostT	0,0011	0,0026	0,2640
%PostA	0,0008	0,0021	0,0940
%PostB	0,0006	0,0013	0,0321

Tablo 2. Parametrik Olmayan GSY Yöntemlerinin Karşılaştırılmasında EEG Alt Bantlarının Dağılımı

Apnenin yaşandığı durumlarda da delta ve teta aktivitesinin daha baskın olduğu böylece kişiyi uyutmaya yönelik karakterize olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın apne geçiş süreci analizleri ve uyku apnesinin GSY analizleri ile incelenmesi konusundaki çalışmalara ışık tutması amaçlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] Marino, Miguel, et al. "Measuring sleep: accuracy, sensitivity, and specificity of wrist actigraphy compared to polysomnography." *Sleep* 36.11 (2013): 1747.
- [2] Özgen, Fuat. "Uyku ve uyku bozuklukları." *Psikiyatri Dünyası* 5 (2001): 41-48.
- [3] Akar, Saime Akdemir, et al. "Spectral analysis of photoplethysmographic signals: The importance of preprocessing." *Biomedical Signal Processing and Control* 8.1 (2013): 16-22.
- [4] Ahmet Alkan · M. Kemal Kıymık., Comparison of AR and Welch Methods in Epileptic Seizure Detection *J Med Syst* (2006) 30:413-419, DOI 10.1007/s10916-005-9001-0.[10] J. D. Bronzino, *The Biomedical Engineering Handbook*, IEEE Press, 3rd edition.
- [5] Parhi, Keshab K., and Manohar Aynala. "Low-complexity Welch power spectral density computation." *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 61.1 (2014): 172-182.
- [6] Proakis, J.G., ve Manolakis, D.G., *Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications*. Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- [7] Ubeyli, E. D., and Güler, I., Selection of optimal AR spectral estimation method for internal carotid arterial Dopplers using Cramer-Rao bound. *Comput. Electr. Eng.* 30:491-508, 2004.