

Gözler açık/kapalı durumunda EEG bantlarındaki frekans değişiminin Güç Spektral Yoğunluğu ile belirlenmesi

Ömer Türk¹, Mehmet Sıraç ÖZERDEM^{*,2}, Nezahat AKPOLAT³

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Midyat Meslek Yüksekokulu, Mardin

² Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Diyarbakır

³ Dicle Üniversitesi, Tıp Fakültesi Diyarbakır

Öz

Elektroensefalogram (EEG) işareti, beyindeki elektriksel aktivite hakkında bilgi edinmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, gözün açık ve kapalı durumunda EEG de görülen değişimin güç spektral yoğunluğu (GSY) incelenmiş olup, frekans değişiminin hangi aralıkta etkin olduğu farklı yaklaşımlar ile kabaca belirlenmiştir. Belirlenme sürecinde dalgacık yöntemi (DD) kullanılarak, işaret alt bandlarına ayrıştırılmıştır. GSY tahmini için klasik yöntemlerden Welch metodu ile işaret modelleme sürecini kullanan parametrik yöntemlerden Burg ve Yule-Walker yöntemleri kullanılmıştır. Gözler açık durumuna göre gözler kapalı iken EEG'de alfa ritminde yer alan frekansların baskın olduğu görülmüştür. Güç spektral yoğunluk hesabında, parametrik yöntemler ile işaretlerdeki var olan farklılıkların daha belirgin görülebilmeye olanak sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç spektral yoğunluğu; Welch, Burg; Yule Walker; Dalgacık Dönüşümü

Giriş

Elektroensefalogram (EEG), beynin fonksiyonları ile ilişkili elektriksel aktivitelerini ifade eder. Beynin aktivitesine göre EEG işaretinde değişimler gözlenebildiği gibi, aynı zamanda sağlıklı ve belirli sinir hastalıklarına sahip bireylerin arasındaki EEG değişimleri de farklılık gösterebilmektedir. Söz konusu farklılıklar, hastalık teşhisi amaçlı kullanılabilir (Adeli vd., 2003; Sharma ve Pachori, 2015). Sağlıklı bireylerde ölçülen EEG işaretlerinin genlikleri genellikle $100\mu\text{V}$ seviyesinde seyrederek. Hastalıklarda ise bu sevir farklı seviyelerde yer aldığı görülebilmektedir. EEG kapsamındaki spektral değişim, farklı frekans bantlarına göre değerlendirilir. Bu bantlar: delta (δ , 0.5-4Hz), teta (θ , 4-8Hz) alfa (α , 8-13), beta (β , 15-30Hz) ve gama (γ , 30-100Hz) bantlarıdır (Crespel vd., 2006). Baskın frekansların farklı bantlarda, kişinin aktivitesine göre değişim gösterdiği literatürde görülebilmektedir (Başar vd., 2000; Başar vd., 2010).

Bu çalışmada, bantların elde edilmesi için Dalgacık dönüşümü (DD) yöntemi kullanılmıştır. DD yöntemi ile aynı zamanda işaretlerden öznelik çıkarılabilmekte ve işaretlerin zaman-frekans dağılımı elde edilebilmektedir.

Spektral analiz, işaretlerin karakteristiğini frekans düzlemlerinde incelemek amacıyla kullanılır. Diğer bir deyişle, EEG işaretindeki gücün frekansa göre dağılımının belirlenmesi, spektral analiz ile gerçekleşir. Doğrudan işaretin kendisinden kestirilen güç spektral yoğunluk (GSY) yöntemleri, parametrik olmayan (nonparametrik) yöntemler olarak adlandırılır. Sinyal modelleme sürecini kullanan yöntemler ise parametrik yöntemler olarak adlandırılır.

Literatürde EEG verilerine dayalı spektral analiz çalışmaları yer almaktadır. Bunlardan bazıları; EEG işaretleri ile spektral güç ve dalgacık analizi kullanılarak EEG nöbetlerinin tespit edilmesi (Correan vd., 2015), post-travmatik

stres bozukluğu (TSSB) olan hastaların dinlenme (RS) durumuna göre EEG spektral güç değişiminin incelenmesi (Imperatoria vd., 2014), Kuzey Rusya 'daki normal çocuklarda EEG spektral güç ve frekans değişimlerine ilişkin özelliklerin ortaya çıkarılması (Soroko vd., 2014), EEG spektral ve fMRI haritalamaya göre beynin dinamiğine göre özelliklerin belirlenmesi (Bridwell vd., 2013), Sağlıklı bireylerin fizyolojik temelli EEG spektral parametrelerinde yaşa bağlı değişikliklerin incelenmesidir (Albada vd., 2010).

Bu çalışmada, gözler açık ve kapalı sürecinde kayda alınan sağlıklı bir bireyin EEG değişiminin spektral analizi yapılmıştır. Frekans bantları, DD yöntemi ile elde edilmiş ve baskın frekans bileşenlerinin güç spektral yoğunlukları hem parametrik hem de parametrik olmayan yöntemlerle incelenmiştir. Özellikle gözler açık ve kapalı sürecinde, alfa bandındaki frekansların baskın durumda olduğu hem parametrik hem de parametrik olmayan yöntemlerde gözlemlenmiştir. Literatürde buna benzer çalışmaların olduğu görülmekte olup (Başar ve Guntekin, 2013; Başar vd., 2001; Başar ve Düzgün, 2015), yapılan bu çalışmanın literatürdeki çalışmalarını desteklediği görülmektedir.

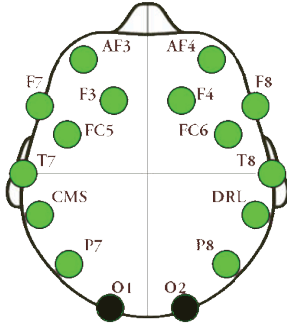
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, EEG kayıtlarının frekans bantlarına ayrışımı için DD yöntemi kullanılmış ve spektral analiz için hem parametrik hem de parametrik olmayan yöntemlerden birkaçı kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan veri seti, filtreleme için kullanılan yöntem ve güç spektral değerlerinin hesabı için kullanılan yöntemler kısaca açıklanmıştır.

Veri Seti

Bu çalışmada, Emotive EEG Neuroheadset kullanılarak sağlıklı bir bireyden gözler açık ve kapalı sürecinde alınan kayıtlar kullanılmıştır. Gözler açık ve kapalı olmak üzere toplam ölçüm süresi 117 saniye olup, örnekleme frekansı olarak 128Hz kullanılmıştır. Kullanılan kayıt

setinde AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 ve AF4 kanalları kullanılmış olup, elektrotların yerleşimi uluslararası 10-20 sistemine göre yapılmıştır (web, 2014). Bu çalışmada özellikle gözlerin açık/kapalı durumu değerlendirildiğinden, O1 ve O2 kanalları dikkate alınmıştır. Kanalların konumu, şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan O1 ve O2 kanallarının konumu

Filtreleme için Dalgacık Dönüşümü (DD)

İşaretin frekans içeriğinin zamanla değişimini incelemek amacıyla kullanılan en etkin yöntemlerden biri dalgacık dönüşümüdür. Bu değişimler dalgacık fonksiyonu ile birlikte farklı ölçek (scale) ve kaydırma (shift) değerleri kullanılarak hesaplanır (Kannathal vd., 2005). Dalgacık dönüşümünde en iyi çözünürlüğü sağlamak amacıyla, yüksek frekanslar için küçük; düşük frekanslar için de büyük boyutlu ölçek kullanılır. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) ayrıştırma işlemi:

$$DD(a, u) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-u}{a}\right) dt \quad (1)$$

Burada $x(t)$ işareti, $DD(a, u)$ dalgacık dönüşümü, ψ ana dalgacık fonksiyonu, a ölçek ve u kaydırma parametresini ifade eder.

SDD çok fazla hesaplama ve çevirmeden dolayı karmaşık hesaplamalara neden olmaktadır

(Falamarzi vd., 2014). SDD Fonksiyonunun temel özelliklerini temsil eden bazı örnekler seçilirse, ayrık dalgacık dönüşümü elde edilmiş olur. Sürekli dalgacık formülünde ölçek ve kaydırma parametreleri sırasıyla $a = 2^m$ ve $u = n.2^m = n.a$ olarak alınır ve elde edilen Ayrık Dalgacık Dönüşüm (ADD) bağıntısı:

$$D(j, k) = \sum_j \sum_k x(n) 2^{-m/2} \psi(2^{-m}n - k) \quad (2)$$

İşareti farklı frekans aralıklarına ayrıştırmak, işaretin ard arda yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirilmesi ile sağlanır. İşaret $x(t)$, önce yarım bantlı yüksek geçiren $g(k)$ filtresinden ve ardından alçak geçiren $h(k)$ filtresinden geçirilir. Bu işlemde kullanılan filtrelerin matematiksel ifadeleri (3) ve (4) eşitliklerinde verilmiştir.

$$g(k) = \sum_n x(t)g(2k - t) \quad (3)$$

$$h(k) = \sum_n x(t)h(2k - t) \quad (4)$$

Tablo 1: EEG Frekans bantları ve DD katsayıları

EEG Bantları	Frekans Aralıkları (Hz)	Bantlar için kullanılan seviye katsayıları	
		Açık Göz	Kapalı Göz
delta	0.5-4 Hz	A4	A4
teta	4-8 Hz	D4	D4
alfa	8-13 Hz	D3	D3
beta	15-30 Hz	D2	D2
gama	30-100 Hz	D1	D1

ADD ile işaret alçak ve yüksek frekans bileşenlerine ayrıştırılarak yaklaşım (approximation) ve detay (detail) bileşenleri elde edilir (Kannathal vd., 2005). Bu çalışmada kullanılan EEG kayıtların alt bantlarının temini için DD kullanılmış ve elde edilen katsayıların hangi banda karşılık geldiğini Tablo1’de gösterilmiştir.

Güç Spektral Yoğunluk Kestirimi (GSY)

Welch Metodu

Bir işaretin frekans bileşenlerinin GSY kestirimi için kullanılan periyodogram yöntemi, Fourier dönüşümü temeline dayanmaktadır.

Periyodogram yöntemi ile bir bir işaretin GSY elde etmek için, işaret ikini üssü ve 64, 128 ve 256 gibi çerçevelere bölünür. Bu yöntemde, veriler üst üste binen bölümlere ayrılır ve her bir bölümün Fourier dönüşümünün ortalaması alınıp GSY kestirimi hesaplanır (Semmlow, 2004).

Periyodogram gibi parametrik olmayan spektral kestirim teknikleri dezavantajı, sonlu veri setlerinde oluşan loblardaki sızıntıların olmasıdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, Welch yöntemi geliştirilmiştir. Welch metodu 4 adımdan oluşmaktadır. İlk önce işaret üst üste çakışan segmentlere ayrılır. İşaretlerin kenarlarını düzleştirmek için her segment verisi pencerelendirilir. Daha sonra pencerelendirilmiş her segmentin periyodogramı alınıp, tahmini ortalaması hesaplanır. Welch yöntemi güç spektral yoğunluğunu iyileştirilmiş periyodogramların ortalamasını alarak kestirir. i'inci iyileştirilmiş periyodogram :

$$\hat{S}_{XX}^i(f) = \frac{Y_s}{K.M} \left| \sum_{n=1}^{M-1} x_i(n)w(n)e^{-j2\pi n} \right|^2 \quad (4)$$

şeklinde verilir. Burada $f = fs$ normalize edilmiş frekans değişkeni Y_s ölçekleme faktörü, $w(n)$ pencerleme fonksiyonu ve K normalize sabiti olup aşağıdaki ifade verilir.

$$K = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n) \quad (5)$$

Welch metodu güç spektral yoğunluğu kestirimi:

$$\hat{P}_w(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} \hat{S}_{XX}^i(f) \quad (6)$$

ifadesiyle verilir. Burada L işaretin uzunluğudur.

Burg Metodu

AR metodu GSY tahmini, sistemin lineer eşitliklerini çözerek bulur. Ar metodunda, verilen zamandaki sinyalin genliği önceki örneklerin farklı genliklerini toplayarak ve tahmin hatasının ekleyerek elde edilir. AR model parametrelerinin kestiriminde ileri geri yöndeki tahmin hatalarının en aza indirilmesi ve yansıma katsayısı kestirimini kullanır. Burg güç kestirimi aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\hat{P}_B(f) = \frac{E_p^2}{|1 + \sum_{k=1}^p \hat{a}_p(k)e^{-j2\pi fk}|^2} \quad (7)$$

Yule-Walker Yöntemi

Parametrik yöntemlerden biri olan Yule-Walker metodu GSY tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, işaretin otokorelasyon fonksiyonunun çapraz tahminini oluşturan ve ileri tahmin hatasının en küçük kareler yöntemini çözerek AR parametrelerini hesaplar. Yule-Walker güç spektrum tahmini aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$\hat{P}_{YW}(f) = \frac{\hat{\sigma}^2}{|1 + \sum_{k=1}^p \hat{a}_p(k)e^{-j2\pi fk}|^2} \quad (8)$$

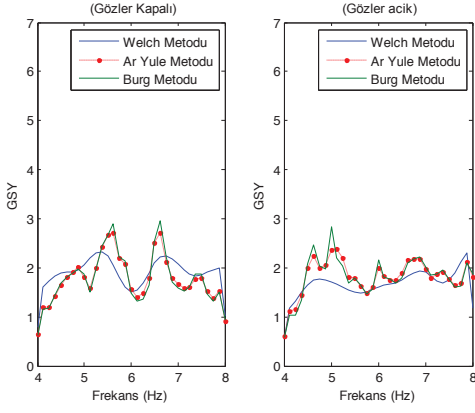
İşlem Akışı

Bu çalışmada, kullanılan EEG işareti 4 sn'lik epoklara bölünmüştür. Her epok için dalgacık yöntemi kullanılarak, söz konusu bantlar elde edilmiştir. Bu bantların GSY hesabı yapılmış ve tüm GSY değerlerinin ortalaması alınarak, değişimler grafiğe aktarılmıştır. O1 ve O2 kanallarının kullanılmasının sebebi ise, görsel faaliyetlerin yer aldığı bölgenin kanalların olmasından kaynaklıdır.

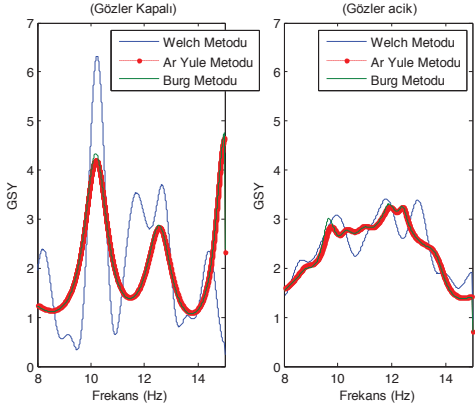
Bulgular

Teta, alfa ve beta bantları için hesaplanan güç spektral yoğunluk değişimleri sırasıyla şekil 2, şekil 3 ve şekil 4' de gösterilmiştir. Şekillerde yer alan değişimlerden soldaki grafik gözler kapalı iken, sağdaki grafik gözler açığı ifade etmektedir. Teta ve beta bantlarında, hem gözler açık hem de gözler kapalı için güç spektral

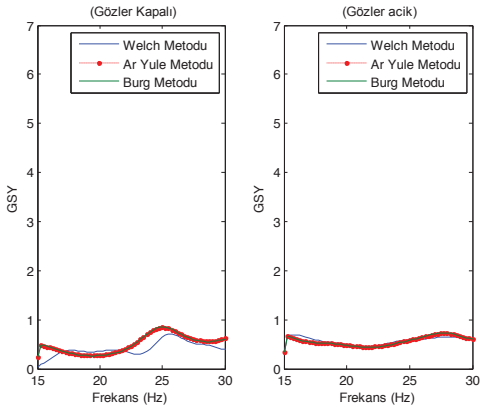
Gözler açık/kapalı durumunda EEG bantlarındaki frekans değişiminin GSY ile belirlenmesi



Şekil 2. Tetha bandı için güç GSY



Şekil 3. Alfa bandı için GSY



Şekil 4. Beta bandı için GSY

yoğunlukta belirgin bir farklılık olmadığı görülmüştür. Alfa bandında gözler açık için frekans bileşenlerinde bir aktivite gözlenmezken, gözler kapalı durumunda ise frekans bileşenlerinde belirgin bir aktivite gözlenebilmektedir. Özellikle 8-15 Hz arası aktivitenin en üst seviyeye eriştiği görülmüştür (şekil 3). GSY yöntemleri açısından bakıldığında, Burg ve Ar-Yule yöntemlerinin benzer bir yaklaşım sergilediklerinden, benzer değişim sergiledikleri görülmüştür. Welch yöntemi ise özellikle alfa bandında görülmesi beklenen ve yukarıda sözü edilen değişimi sergilediği görülmüştür.

Sonuçlar

Bu çalışmada, gözün açık ve kapalı durumunda EEG de görülen değişimin güç spektral yoğunluğu (GSY) incelenmiş olup, frekans değişiminin hangi aralıkta etkin olduğu farklı yaklaşımlar ile kabaca belirlenmiştir. Belirlenme sürecinde dalgacık yöntemi (DD) kullanılarak, işaret alt bandlarına ayrıştırılmıştır. GSY tahmininde, parametrik olmayan yöntemlerden Welch ve parametrik olan Burg ve Yule-Walker yöntemleri kullanılmıştır. Gözler açık duruma göre gözler kapalı iken EEG'de alfa ritminde yer alan güç spektral yoğunluğunun yüksek olduğu görülmüştür. Güç spektral yoğunluk hesabında, parametrik yöntemler ile işaretlerdeki var olan farklılıkların daha belirgin görülebilmesine olanak sağladığı görülmüştür. Literatürde buna benzer çalışmaların olduğu görülmekte olup, yapılan bu çalışmanın literatürdeki çalışmaları desteklediği görülmektedir.

Kaynaklar

Adeli, H., Zhou, Z. and Dadmehr N., "Analysis of EEG records in an epileptic patient using wavelet transform", *Journal of Neuroscience Methods*, Vol 123, Iss 1, pp. 69-87, 2003.

Sharma,R.and Pachori,R.B., "Classification of epileptic seizures in EEG signals based on phase space representation of intrinsic mode functions", *Expert Systems with Applications*42, 1106–1117, 2015.

Crespel,A. Géllisse,P., Bureau M. and Genton,P., "Atlas of Electroencephalography", *Third ed., J LibbeyEurotext, Paris, 2006*

Başar, E., Eroglu C.,Karaka,S., Schurmann, M. "Brain oscillations in perception and memory", *International Journal of Psychophysiology*, 35p. 95, 124, 2000.

Başar, E, Güntekin, B.,Tülay,E. And Yener ,G.,G. "Evoked and event related coherence of Alzheimer patients manifest differentiation of sensory-cognitive networks", *Brain Research* 13, 57, 79 – 90, 2010

Correan, G., A., Orosco, O., Diez P., Laciari E., "Automatic detection of epileptic seizures in long-term EEG records", *Computers in Biology and Medicine*, 2015

Imperatoria, C., Farina, B., Quintiliana, M. I., Onofri, A., Gattinarab, P.C., Leporeb, M., Gnonic, V., Mazzucchie, E. , Contardia, A. and Marca, G. D., "Aberrant EEG functional connectivity and EEG power spectra in resting state post-traumatic stress disorder: a soretta study" *Biological Psychology* 102, 10–17, 2014.

Soroko, S.I., Shemyakina, N. V., Nagornova, Zh. V., and Bekshaev, S. S. "Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North", *International Journal of Developmental Neuroscience* 38, 127–137, 2014.

Bridwell, D. A.,Wu, L., Eichele, T. and Calhoun, V. D., "The spatio-spectral characterization of brain networks: using concurrent EEG spectra and fMRI maps" *Neuro Image* 69, 101–111, 2013.

Albada, S.J.V., Kerr, C.C., Chiang, A.K.I.,Rennie, C.J. and Robinson, P.A., "Neurophysiological changes with age probed by inverse modeling of EEG spectra" *Clinical Neurophysiology* 121, 21–38, 2010.

Basar, E., and Güntekin,B., "Review of delta, theta, alpha, beta, and gamma response oscillations in neuropsychiatric disorders", *Application of Brain Oscillations in Neuropsychiatric Diseases (Supplements to Clinical Neurophysiology)*, Vol. 62, 2013

- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. and Schurmann, M., "Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes", *International Journal of Psychophysiology*, 39 241, 248, 2001.
- Başar, E. And Düzgün, A., "How is the brain working? Research on brain oscillations and connectivities in a new "Take-Off" state", *International Journal of Psychophysiology*, Available online 7 February 2015, In Press, 2015
- Semmlow JL., "Biosignal and biomedical image processing MATLAB based applications." *Marcel Dekker Inc.*; 2004.
- Falarzi Y., Palizdan N., Huangb Y. F. & Lee, T.S., "Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs)", *Agricultural Water Management*, 140, 26–36, 2014.
- Kannathal, N., Choo, M. L., Acharya, U. R., & Sadasivan, "Entropies for detection of epilepsy in EEG", *Journal of Medical Systems*, 80(3), 187–194., 2005.
- <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/EEG+Eye+State#>

Determination of changes in EEG bands frequencies with PSD in eyes open/closed conditions

Abstract

Electroencephalogram (EEG) sign is extensively used to obtain the information about the electrical activities in brain. In this study, the changes of the power spectral density (PSD) in the EEG data during eyes-closed and eyes-open states were analyzed. In the analysis, the interval of dominant frequencies was roughly determined with different approaches. The EEG signal is separated into sub bands with wavelet transform (WT). The Welch method which is the one of the classical methods was used for PSD prediction and the Burg and Yule-Walker parametric methods were used also for PSD prediction of the EEG signal. It was observed that the alpha rhythm is dominant band in the eyes closed state compared to eyes open state. It is also seen that the differences between the signals can be reveal with parametric methods compared to nonparametric methods.

Keywords: *Power spectral density, Welch, Burg, Yule Walker, Wavelet Transform*