

# Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu Alt Tiplerinin EEG Sinyallerinin Nonlinear Analizi ile Değerlendirilmesi

## Evaluating Sub-types of Attention Deficit Hyperactivity Disorder with Nonlinear Analysis of EEG

Miray ALTINKAYNAK, Ayşegül GÜVEN  
Biyomedikal Mühendisliği  
Erciyes Üniversitesi  
Kayseri, Türkiye  
miray, aguven@erciyes.edu.tr

Nazan DOLU  
Tıp Fakültesi  
Biruni Üniversitesi  
İstanbul, Türkiye  
nazandolu66@gmail.com

Esra DEMİRCİ, Sevgi ÖZMEN  
Tıp Fakültesi  
Erciyes Üniversitesi  
Kayseri, Türkiye  
esrademirci, sevgiaktas@erciyes.edu.tr

Meltem İZZETOĞLU  
Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği  
Villanova University  
Villanova, ABD  
meltem.izzetoglu@villanova.edu

Ferhat PEKTAŞ  
Tıp Fakültesi  
Ahi Evran Üniversitesi  
Kırşehir, Türkiye  
ferhat.pektas@ahievran.edu.tr

**Özetçe**—Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB) çocukluk çağının en sık gözlenen nörogelişimsel bozukluklarından biridir. DEHB'in klinik özellikleri göz önüne alınarak tanımlanmış 3 alt tipi bulunmaktadır: Dikkat eksikliği baskın tip (DEHB-DE), aşırı hareketlilik/dürtüsellik baskın olduğu tip (DEHB-HI), her iki tipin özelliklerini taşıyan birleşik tip (DEHB-B). Çalışmada işitsel oddball paradigması esnasında alınan EEG sinyallerinin nonlinear özelliklerinin DEHB alt tiplerinde farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. Çalışmaya yaşları 7-12 arasında değişen 14 kontrol grubu, 26 DEHB'li grup olmak üzere (9 DEHB-DE, 6 DEHB-HI, 11 DEHB-B) 40 çocuk katılmıştır. Kontrol grubunun Lempel-Ziv Karmaşıklık (LZC) değerlerinin tüm DEHB alt tiplerinden anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Fraktal boyut (FD) değerleri incelendiğinde kontrol grubu ile DEHB-B ve DEHB-DE grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu gözlenirken, DEHB-HI grubuyla anlamlı bir fark gözlenmemiştir. FD ve LZC değerleri DEHB alt tiplerinde anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Sonuçlar DEHB'de EEG karmaşıklığının azaldığını göstermektedir. EEG sinyallerinin nonlinear analizinde DEHB alt tiplerinde anlamlı bir farklılık gözlenmemesi, bu alt tiplerin aynı bozukluğun birer varyantı olduğu görüşünü destekler niteliktedir.

**Anahtar Kelimeler;** EEG, DEHB alt tipleri, Nonlinear analiz

**Abstract**— Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is one of the most common neurodevelopmental disorders of childhood. ADHD is categorized into three groups according to clinical symptoms: predominantly inattentive subtype (ADHD-I), predominantly hyperactive-impulsive subtype (ADHD-HI) and combined subtype that combines features of both the other types (ADHD-C). A total of 40 children; 14 control group, and 26 ADHD group (9 with ADHD-DE, 6 with ADHD-HI and 11 with ADHD-C type) were included in the study. This study investigates the nonlinear features of EEG signals regarding ADHD subtypes while performing an auditory oddball task. Lempel-Ziv Complexity (LZC) values of control group were significantly higher than all ADHD subtypes. Fractal dimension (FD) measures showed there was a significant difference between the control group and ADHD-C and ADHD-I groups, but no significant difference was observed with the ADHD-HI group. FD and LZC values did not differ significantly in ADHD subtypes. The results show that EEG complexity is reduced in ADHD. ADHD subtypes did not differ significantly from another in EEG nonlinear analysis during an executive task that supports the subtypes are variants of the same condition.

**Keywords;** EEG, ADHD Subtypes, Nonlinear Analysis

## I. GİRİŞ

DEHB, çocukluk çağıının en sık görülen nöropsikiyatrik bozukluklarından biridir. Ülkemizde yapılan ve 2019'da yayınlanan çok merkezli ve geniş örneklemliler bir çalışmada, DEHB en sık görülen psikiyatrik patoloji olarak saptanmış ve ülkemizdeki prevalansının %19,5 olup; işlevsel bozulma dikkate alındığında oranın %12,4 olduğu bildirilmiştir [1]. DEHB dikkat eksikliği, aşırı hareketlilik ve dürtüsellikle karakterize olmakla beraber bazı hastalarda dikkat eksikliği bazılarında hiperaktivite ve dürtüsellik ön plandadır. DEHB'in klinik özellikleri göz önüne alınarak tanımlanmış 3 alt tipi bulunmaktadır: Dikkat eksikliği baskın tip (DEHB-DE), aşırı hareketlilik/dürtüsellik baskın olduğu tip (DEHB-HI), her iki tipin özelliklerini taşıyan birleşik tip (DEHB-B) [2]. Oldukça heterojen bir bozukluk olarak tanımlanan DEHB'de beynin nörobiyolojisinin incelenmesine yönelik birçok fonksiyonel ve yapısal nörogörüntüleme çalışması gerçekleştirilirken az sayıda çalışmada DEHB alt tipleri arasında farklılık görülüp görülmediği araştırılmıştır. Yapılan bir çalışmada beyindeki gri madde hacmi DEHB alt tipleri arasında karşılaştırmış ve DEHB-DE ve DEHB-B grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu gösterilmiştir [3]. Bir başka çalışmada arka frontal lob, kortikal kalınlık, hacim ve tüm korteksin yüzey alanının alt tiplerde farklılık gösterdiği bildirilmiştir [4]. Öte yandan farklı bir çalışmada alt tipler arasında hacimsel bir farklılık gözlenmemiştir [5]. Görev tabanlı bir fonksiyonel Manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) çalışmasında DEHB-DE grubunda DEHB-B grubuyla karşılaştırıldığında daha fazla frontal disfonksiyon gözlenmiştir [6]. Barkley, alt tiplerin yürütücü fonksiyonlarının birbirinden farklı olduğu hipotezini ortaya atmış ve bu alt tiplerin farklı bozukluklar olarak tanımlanmasını önermiştir [7]. Öte yandan Seidman, DEHB alt tiplerinin çalışıldığı nörogörüntüleme çalışmalarını gözden geçirmiş ve alt tiplerin birbirlerine benzer sonuçlar ürettiğini belirtmiştir [8]. Solanto ve diğ. yaptıkları çalışmada fMRI çekimi yaparken alt tiplere Go-No/Go paradigmasını uygulamış ve grupların görev performanslarının benzer olduğunu vurgulamışlardır [9]. Görüldüğü gibi DEHB alt tiplerinin ayırımına yönelik yapılan çalışma sonuçlarında tutarsızlıklar ve belirsizlik gözlenmektedir.

Son yıllarda biyolojik sinyallerin analizinde doğrusal olmayan (nonlinear) yaklaşımlara sıkça başvurulmaktadır. EEG sinyalleri doğrusal olmayan karmaşık davranışlar sergiler. DEHB'de EEG'nin nonlinear özelliklerin incelendiği çalışmalarda entropi, Lempel-Ziv Karmaşıklık (Lempel Ziv Complexity-LZC), fraktal boyut (Fractal Dimension-FD), Lyapunov üstelleri, yaklaşık entropi, hurst üsselleri gibi çeşitli parametreler incelenmiş ve kontrol grubuyla farklılıklar gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda en tutarlı sonucun DEHB'de azalan karmaşıklık değerleri olduğu söylenebilir [10, 11]. Literatürde EEG sinyalleriyle DEHB alt tiplerinin incelendiği çalışmalarda genellikle frekans analizi yapılmış olup farklı bantların güçlerinin alt tiplerde değiştiği gösterilmiştir [12]. Nonlinear EEG analizinde ise genellikle kontrol grubu ve DEHB grubu arasında farklılıklar aranmış DEHB alt sınıflarında karmaşıklık değerlerinin farklılık gösterip göstermediği sınırlı sayıda çalışmada araştırılmıştır. Yapılan çalışmada çeşitli nonlinear dinamik özellikler hem kontrol grubu ve DEHB grubu

arasında hem de DEHB alt tipleri arasında karşılaştırılarak alt tipler arasında farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

## II. YÖNTEM

### A. Katılımcılar

Çalışmaya yaşları 7-12 arası değişen 14 kontrol grubu (ort. yaş =10.33± 2.12), 9 tane DEHB-DE (ort. yaş=9,66±2,95), 6 tane DEHB-HI (ort. yaş=8,16±0,75) ve 11 tane DEHB-B (ort. yaş=10±1.61) teşhisi konan toplam 40 çocuk dahil edilmiştir. DEHB alt tipleri DSM-IV kriterleri baz alınarak, psikiyatri uzmanları tarafından belirlenmiştir. DEHB grubunda; komorbid bir bozukluk eşlik eden, nörolojik ve endokrin rahatsızlığı olan, daha önce tedavi uygulanan bireyler çalışmaya dahil edilmemiştir. Kontrol grubu, nörolojik, endokrin ve psikiyatrik değerlendirmelerden geçen sağlıklı çocuklardan oluşturulmuştur. Wechsler Çocuklar İçin Zekâ Ölçeği (WISC-R) testi ile yapılan ölçümlere göre IQ değeri 80'nin üzerinde olan çocuklar çalışmaya dahil edilmiştir. DEHB ve kontrol grubu arasında yaş, eğitim yılı, IQ bakımından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ( $p>0,05$ ).

### B. Görev

Bireylerden işitsel uyaran paradigması eşliğinde EEG kayıtları alınmıştır. Hazırlanan oddball testinde işitsel uyarılar, seyrek gelen (hedef uyaran, 2000 Hz, 70 dB, %20 olasılıklı) ve sık tekrarlayan (hedef olmayan-standart uyaran, 1000 Hz, 70 dB, %80 olasılıklı) 160 sestem oluşmuştur. Rastgele olarak verilen uyarılar arasındaki süre 1250ms ve 2500 ms arasında değişiklik göstermiştir. Katılımcılara hedef uyarana dikkat etmeleri, hedef olmayan uyarana ise önemsememe görevi verilmiştir.

### C. EEG Kaydı

EEG kayıtları, Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı Beyin Dinamiği Laboratuvarında bulunan BIOPAC MP 150 Sistemi ile alınmıştır. Kayıtlar uluslararası 10-20 sistemine göre frontal (Fz), santral (Cz), parietal (Pz) ve oksipital (Oz) bölgelerden kaydedilmiştir. Referans ve toprak elektrotları, her iki kulak memesine yerleştirilen Ag-AgCl disk elektrotlarının bileşkesi olarak alınmıştır. Elektrot dirençlerinin 5 kOhm'un altında olmasına dikkat edilmiştir. EEG kaydı 2500Hz örnekleme frekansı ile alınmıştır. Sinyallere 0,05 ve 100Hz bant geçiren 4. dereceden Butterworth filtre ve 2. dereceden notch filtre uygulanarak gürültü giderimi yapılmıştır. Göz hareketleri ve kas hareketlerinden kaynaklanabilecek hareket artefaktlarını gidermek için 100  $\mu V$ 'un üzerindeki genlikler çalışmadan çıkarılmıştır. Çalışmada daha önceki analizlerimizde DEHB grubu için ayırt edici sonuçlar sunan Fz bölgesinden alınan kayıtlar değerlendirilmiştir [13, 14].

### D. Çıkarılan Özellikler

Bu çalışmada EEG verileri için yaygın olarak kullanılan nonlinear dinamik ölçümler; FD ve LZC değerleri incelenerek DEHB alt tipleri arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Aşağıda bu metodların kısa bir açıklaması sunulmuştur.

### E. Lempel Ziv Karmaşıklık

LZC, biyolojik sinyallerin karmaşıklığının tahmininde yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan bir ölçümdür. Bu karmaşıklık ölçüsü, belirli bir dizi boyunca farklı alt dizilerin

sayısı ve görülme sıklığı ile ilgilidir. LZC hesaplanmadan önce sinyal bir eşik değere göre ( $T_d$ ) ikili dizilere dönüştürülür [15]. Bu çalışmada  $T_d$  değeri literatüre uygun olarak EEG sinyalinin ortalama değeri ile belirlenmiştir [16]. Orijinal  $x(n)$  sinyali ikili  $R = \{s(1), s(2), s(3) \dots s(n)\}$  dizisine aşağıdaki şekilde dönüştürülür:

$$s(i) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } x(i) < T_d \\ 1, & \text{diğer} \end{cases} \quad i = 1, 2, 3 \dots n \quad (1)$$

Daha sonra oluşan ikili R dizinleri soldan sağa doğru dizi boyunca taranır ve her yeni örüntü görüldüğünde karmaşıklık sayacı  $c(n)$  bir birim artar. Dolayısıyla  $c(n)$ , dizideki farklı örüntülerin sayısını belirtir. n dizinin uzunluğu,  $\alpha$  dizideki farklı örüntülerin sayısı olmak üzere  $c(n)$ 'nin üst sınırının;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = b(n) = \frac{n}{\log_{\alpha} n} \quad (2)$$

olduğu ispatlanmıştır [15]. Dizinin uzunluğundan bağımsız olarak karmaşıklık ölçüsünün belirlenmesi için  $c(n)$ 'nin normalize edilmesi gerekir.

$$C(n) = \frac{c(n)}{b(n)} \quad (3)$$

Bu şekilde segmentin uzunluğundan bağımsız olarak LZC değerleri hesaplanır. Algoritmanın sonunda  $C(n)$ , sinyalin karmaşıklığına karşılık gelir Dolayısıyla daha yüksek LZC değeri daha karmaşık bir sinyali temsil eder.

#### F. Fraktal Boyut

FD zaman serilerinin kendine benzerliğini ve karmaşıklığının derecesini gösteren bir ölçümdür. Yapılan çalışmalar, FD değerlerinin EEG sinyalleri için ayırt edici olduğunu göstermektedir. Literatürde FD'yi ölçmeye yönelik yaklaşımlardan biri olan Higuchi algoritması, nörolojik bozukluklarda EEG sinyallerinin karakterizasyonunda sıklıkla tercih edilmektedir. Çalışmada da tercih edilen bu metotta FD zaman serilerinden doğrudan hesaplandığından diğer metotlara göre daha hızlı ve basittir. Higuchi algoritması FD değerlerini aşağıdaki şekilde hesaplar [17]: Verilen bir zaman serisinden  $X(1) + X(2) \dots + X(N)$  algoritma k adet yeni alt seriler ( $X_k^m$ ) oluşturur;

$$X_k^m = \left\{ X(m) + X(m+k) + \dots + X\left(m + \left[\frac{N-m}{k}\right] \cdot k\right) \right\} \quad (4)$$

$$m = 1, 2, 3, \dots, k$$

Burada [ ] gauss notasyonuna, m başlangıç zamanına, k ayırık zaman aralığına karşılık gelmektedir. k tane zaman aralığı için k adet zaman serisi oluşturulur. Her bir  $X_k^m$  zaman serisi için ortalama uzunluk;

$$L_m(k) = \left( \left( \sum_{i=1}^{\left[\frac{N-m}{k}\right]} |X(m+ik) - X(m+(i-k) \cdot k)| \right) \frac{N-1}{\left[\frac{N-m}{k}\right] \cdot k} \right) / k \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada N orijinal zaman serisinin uzunluğunu,  $(N-1)/\left(\left[\frac{N-m}{k}\right] \cdot k\right)$  normalizasyon faktörüne karşılık gelmektedir. Tüm zaman serisi için ortalama uzunluk;

$$L(k) = \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k L_m^k \quad (6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $m=1, 2, \dots, k$ ;  $k=1, 2, 3 \dots k_{\max}$  Fraktal boyut D ile gösterilecek olursa ortalama uzunluk ve D arasında  $L(k) \propto k^{-D}$  şeklinde bir ilişki vardır. D değeri,  $\ln(1/k)$ 'ya karşılık  $\ln(L(k))$  noktalarına en iyi uyum doğrunun eğimi hesaplanarak bulunur. En uygun  $k_{\max}$  değerini belirlemek için HFD değerleri  $k_{\max}$  aralığına karşı çizdirilir ve saturasyon noktası  $k_{\max}$  olarak belirlenir. Bu yaklaşıma göre çalışmada  $k_{\max}$  değeri 40 olarak seçilmiştir.

### III. SONUÇLAR

Hesaplanan değerler kontrol grubu ve DEHB alt tipleri arasında istatistiksel analizle karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analiz için, 'SPSS 21.00 for Windows' paket programından yararlanılmıştır. Karşılaştırılan özelliklerin normalliği kontrol edilerek bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Tablo 1'de hesaplanan değerler, Tablo 2 ve Tablo 3'de analiz sonuçları sunulmaktadır.

TABLO I. Çeşitli özelliklerin DEHB alt-tipleri ve kontrol grubundaki değerleri

	Kontrol	DEHB-DE	DEHB-HI	DEHB-B
FD	1,091±0,046	1,059±0,19	1,057±0,19	1,06±0,16
LZC	0,062±0,011	0,0526±0,08	0,048±0,007	0,053±0,005

TABLO II. Özelliklerin DEHB alt-tipleri ile kontrol grubu arasında karşılaştırılması

Özellikler	Kontrol vs. DEHB-DE		Kontrol vs. DEHB-HI		Kontrol vs. DEHB-B	
	t	p	t	p	t	p
FD	2,27	0,035*	1,6	0,107	2,08	0,035*
LZC	2,1	0,048*	2,6	0,018*	2,21	0,037*

\*anlamlı

TABLO III. Özelliklerin DEHB alt-tiplerinde karşılaştırılması

Özellikler	DEHB-DE vs. DEHB-B		DEHB-DE vs. DEHB-HI		DEHB-B vs. DEHB-HI	
	t	p	t	p	t	p
FD	0,12	0,904	0,19	0,848	0,33	0,743
LZC	0,38	0,709	0,84	0,416	1,6	0,126

EEG karmaşık analizi değerlendirildiğinde kontrol grubunun LZC değerlerinin DEHB'nin tüm alt tiplerinden anlamlı olarak daha yüksek olduğu görülürken, DEHB'nin alt tiplerinde LZC değerlerinin anlamlı bir farklılık göstermediği gözlenmiştir. FD değerleri incelendiğinde kontrol grubu ile DEHB-B ve DEHB-DE grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu gözlenirken DEHB-HI grubuyla anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

#### IV. TARTIŞMA

DEHB'de yapısal ve fonksiyonel çalışmalara sıkça rastlansa da bu çalışmaların çoğunda DEHB alt tiplerinde farklılık olup olmadığı araştırılmamıştır. Klinik olarak DEHB tipleri aynı bozukluk başlığı altında toplansa da alt tipler, dikkat semptomları, olay ilişkili beyin aktivasyonu, ilaç tedavisine verdikleri cevapla farklılıklar gösterebilirler [18]. Bu nedenle yapılan çalışmalarda alt tipler arasındaki farkların ortaya konması sonuçların güvenilirliği açısından önemlidir. DEHB'de alt tipler arasındaki farklılıkların incelendiği çalışmaların bir kısmı DEHB'nin alt tiplerinin farklı birer bozukluk olarak tanımlanması gerektiği [7], heterojen DEHB literatürünün temelde bundan kaynaklandığı görüşü söz konusuken bazı çalışmalarda DEHB'nin alt tiplerinin aynı bozukluğun birer varyantı olduğu gösterilmiştir [19].

Çalışmanın sonuçları DEHB'de EEG karmaşıklığının azaldığını gösteren çalışmaları destekler niteliktedir. Kontrol grubu ile DEHB-HI grubu arasında FD değerlerinin anlamlı bir farklılık göstermemesi DEHB-HI'nin diğer alt tiplere göre daha az örnek sayısı içermesinden kaynaklanabilir. Daha doğru yorumun yapılabilmesi için örnek sayısının artırılması gerekmektedir. Daha önce aynı grupta yapılan fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi çalışmamızda DEHB alt tipleri arasında prefrontal korteks oksijenlenmesinde farklılık gözlenmemiştir [20]. Bu çalışmada EEG sinyallerinin nonlinear analizinde benzer şekilde alt tipler arasında farklılık gözlenmemiştir.

Kognitif aktivitelerin artmasıyla EEG sinyalinin karmaşıklığının arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla belli görevler altında alınan EEG sinyallerinin karmaşık analizi, kognitif fonksiyonları incelemede farklı bakış açıları katabilir. Çalışmada DEHB'de alt tipler arası farklılıklar literatürde sıkça tercih edilen lineer yöntemler yerine nonlinear özelliklerle incelenerek literatüre katkıda bulunulmuştur. Çalışmanın sonuçları DEHB'nin alt tiplerinin aynı bozukluğun birer varyantı olduğu görüşünü desteklemektedir.

#### BİLGİLENDİRME

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 – Bilimsel ve teknolojik araştırma projelerini destekleme programı tarafından desteklenmiştir. (Proje Kodu: 114S470)

#### KAYNAKLAR

1. Ercan, E. S., Polanczyk, G., Akyol Ardıc, U., Yuce, D., et al., 2019. The prevalence of childhood psychopathology in Turkey: a cross-sectional multicenter nationwide study (EPICPAT-T). **Nordic Journal of Psychiatry**, **73**(2): 132–140. (<https://doi.org/10.1080/08039488.2019.1574892>)
2. *American Psychiatric Association Diagnostic Diagnostic And Statistical Manual Of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-V)*, Washington, DC. 2013.
3. Saad, J. F., Griffiths, K. R., Kohn, M. R., Clarke, S., et al., 2017. Regional brain network organization distinguishes the combined and inattentive subtypes of Attention Deficit Hyperactivity Disorder. **NeuroImage: Clinical**, **15**(April): 383–390. (<https://doi.org/10.1016/j.nicl.2017.05.016>)
4. Qureshi MNI, Min B, Jo HJ, L. B., 2016. Multiclass Classification for the Differential Diagnosis on the ADHD Subtypes Using Recursive Feature Elimination and Hierarchical Extreme Learning Machine: Structural MRI Study. **PLoS One**, **11**(8): e0160697.
5. Vilgis V, Sun L, Chen J, Silk TJ, V. A., 2016. Global and local grey matter reductions in boys with ADHD combined type and ADHD inattentive type. **Psychiatry Res Neuroimaging**, **254**: 119–26.
6. Orinstein AJ, S. M., 2014. Brain activity in predominantly-inattentive subtype attention-deficit/hyperactivity disorder during an auditory oddball attention task. **Psychiatry Res**, **223**(22): 121–128.
7. Barkley, R., 1997. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. **Psychol Bull**, **121**(1): 69–94. (<https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>.)
8. Seidman, L., 2006. Neuropsychological functioning in people with ADHD across the lifespan. **Clin Psychol Rev**, **26**(4): 466–85.
9. Solanto, M. V., Gilbert, S. N., Raj, A., Zhu, J., et al., 2007. Neurocognitive functioning in AD/HD, predominantly inattentive and combined subtypes. **Journal of Abnormal Child Psychology**, **35**(5): 729–744. (<https://doi.org/10.1007/s10802-007-9123-6>)
10. Fernández, A., Quintero, J., Hornero, R., Zuluaga, P., et al., 2009. Complexity Analysis of Spontaneous Brain Activity in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Diagnostic Implications. **Biological Psychiatry**, **65**(7): 571–577. (<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.10.046>)
11. Chenxi, L., Chen, Y., Li, Y., Wang, J., et al., 2016. Complexity analysis of brain activity in attention-deficit/hyperactivity disorder: A multiscale entropy analysis. **Brain Research Bulletin**, **124**: 12–20. (<https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2016.03.007>)
12. Aldemir, R., Demirci, E., Per, H., Canpolat, M., et al., 2018. Investigation of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) subtypes in children via EEG frequency domain analysis. **International Journal of Neuroscience**, **128**(4): 349–360. (<https://doi.org/10.1080/00207454.2017.1382493>)
13. Altinkaynak, M., Dolu, N., Güven, A., Pektaş, F., et al., 2020. Diagnosis of Attention Deficit Hyperactivity Disorder with combined time and frequency features. **Biocybernetics and Biomedical Engineering**, **40**(3): 927–937. (<https://doi.org/10.1016/j.bbe.2020.04.006>)
14. Güven, A., Altinkaynak, M., Dolu, N., İzzetoğlu, M., et al., 2019. Combining functional near-infrared spectroscopy and EEG measurements for the diagnosis of attention-deficit hyperactivity disorder. **Neural Computing and Applications**, **7**. (<https://doi.org/10.1007/s00521-019-04294-7>)
15. A. Lempel and J. Ziv, 1976. On the Complexity of Finite Sequences No Title. **IEEE Transactions on Information Theory**, **22**(1): 75–81. (<https://doi.org/10.1109/TIT.1976.1055501>.)
16. Zhang XS, Zhu YS, Thakor NV, W. Z., 1999. Detecting ventricular tachycardia and fibrillation by complexity measure. **IEEE Trans Biomed Eng**, **46**(5): 548–55.
17. T. Higuchi, 1988. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, **31**(2): 277–283.
18. Barkley RA, DuPaul GJ, M. M., 1990. Comprehensive evaluation of attention deficit disorder with and without hyperactivity as defined by research criteria. **J Consult Clin Psychol**, **58**(6): 775–89.
19. Geurts, H. M., Verté, S., Oosterlaan, J., Roeyers, H., et al., 2005. ADHD subtypes: Do they differ in their executive functioning profile? **Archives of Clinical Neuropsychology**, **20**(4): 457–477. (<https://doi.org/10.1016/j.acn.2004.11.001>)
20. Altinkaynak M., Güven A., Dolu N., İzzetoğlu M., Demirci E., Özmen S., et al., 2018. Prefrontal Brain Activation in Subtypes of Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. **Electrica**, **18**: 256–262.