



Yardımcı Sistem Olarak BCI ve EEG Sinyallerinin BCI Sistemlerde Kullanım Şekilleri

Using of BCI as an Assistant System and EEG Signals in BCI Systems

Kadir HALTAŞ ^{*1}, Atilla ERGÜZEN ², Erdal ERDAL², Murat LÜY³

¹2000 Evler Mah. F.Yılmaz Çakıroğlu Sok. No:6/7 Merkez , 50000 Nevşehir

²Kırıkkale Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

³Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 26/11/2018

Kabul/Accepted: 22/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

Öz

Günümüzde halen insan anatomisi ve buna bağlı olarak hastalıkların incelenmesi süregelmektedir. İnsanoğlunun en çok ilgisini çeken anatomik kısımlardan bir tanesi de şüphesiz ki beyindir. Günümüz çalışmaları beyin sinirsel faaliyetlerini izleyerek çeşitli alanlarda ilerlemeler göstermektedir. Beyin sinyallerinin izlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri EEG (Elektroensefalogram) olarak bilinmektedir. Günümüzde EEG tıbbi alanda tanı ve tedaviye yardımcı olarak kullanıldığı gibi aynı zamanda disiplinler arası olarak bilgisayar bilimlerinde BCI (Beyin Bilgisayar Arayüzü) sistemlerinde kullanılmaktadır. Beyin Bilgisayar Arayüzü (Brain Computer Interface (BCI)) sistemlerinin temelinde birey beyin sinyallerinin toplanarak bireyin dış dünyayla iletişime geçmesi için uygun şekilde kullanımı söz konusudur. BCI sistemlerinin kullanım alanları; kısmi motor hareket kayıpları, ağır felçli bireyler, ağır konuşma güçlükleri vb. olarak sıralanabilir. Bu çalışmada günümüzde BCI sistem tasarımlarında gelinen nokta hakkında derleme yapılmıştır. Bu sayede BCI sistemi çalışmalarının durumu izlenebilecek ve BCI alanında gelişmelerin doğrultusu görülebilecektir.

Anahtar Kelimeler

“EEG, BCI, Beyin, Kontrol, Sistem”

Abstract

Currently, human anatomy and related diseases are still under investigation. One of the most interesting anatomical parts of human beings is undoubtedly the brain. Today's studies show progress in various areas by monitoring the neural activity of the brain. One of the most common methods for monitoring brain signals is known as EEG (Electroencephalogram). Today, EEG is used as an adjunct to medical diagnosis and treatment, and is also used in interdisciplinary computer science systems in BCI (Brain Computer Interface) systems. Brain Computer Interface (BCI) systems are based on the use of individual brain signals and the proper use of the individual to communicate with the outside world. Usage areas of BCI systems; partial motor movement loss, severe paralyzed individuals, severe speech difficulties and so on. can be listed as. In this study, the current point of BCI system design is compiled. In this way, the status of BCI system studies can be monitored and the direction of developments in the BCI field can be seen.

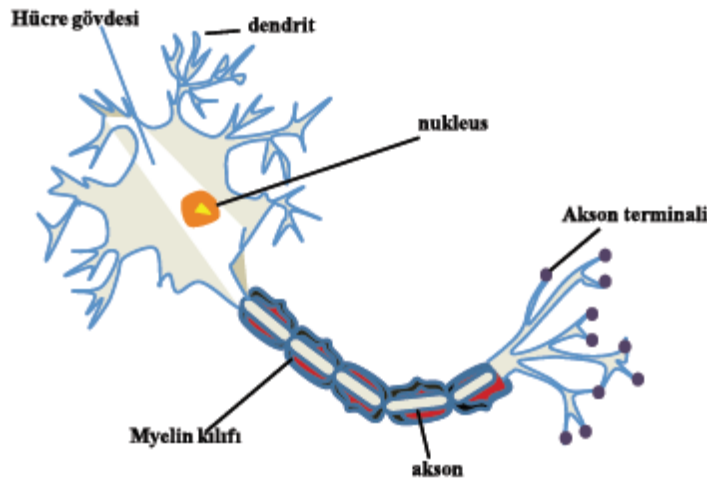
Key Words

“EEG, BCI, Brain, Control, System”

1. GİRİŞ

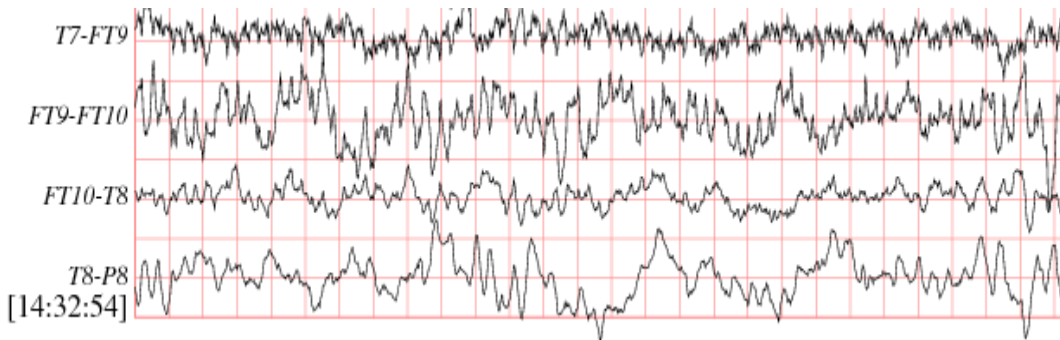
İnsan anatomisi geçmişten günümüze her zaman araştırma konusu olarak bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Günümüzde halen insan anatomisi ve buna bağlı olarak hastalıkların incelenmesi süregelmektedir. İnsanoğlunun en çok ilgisini çeken anatomik kısımlardan bir tanesi de şüphesiz ki beyindir.

Bilindiği üzere beyin vücudumuzu yönetmekle sorumlu organımız olup bu yönetsel faaliyeti sinir sistemimiz aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Beyin ve sinir sistemi nöronlardan oluşmaktadır. Şekil 1’ de temel nöron yapısı gösterilmektedir. Yetişkin bir insan beyninden yaklaşık 100 milyar adet sinir hücresi ve 10^{11} adet sinir hücreleri arası bağ bulunmaktadır (Bora & Yeni, 2012). Oluşturulmuş bu muazzam yapıda sinir hücreleri kendiler aralarından düşük şiddetli elektrik potansiyelleri üreterek haberleşmektedirler (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Söz konusu haberleşme faaliyetleri gerek istemsiz beyin faaliyetleri gerekse de bilinçli olarak yapılan düşünme, çözümlenme gibi karmaşık zihinsel beyin faaliyetler olarak karşımıza çıkar. Bu elektriksel faaliyetlerin incelenmesi sinir sistemi, beyin hastalıkları ve bunları bağlı anatomik hastalıkların teşhisi, tedavisi veya etkisinin azaltılması konusunda yardımcı olmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016).



Şekil 1 : Nöron yapısı (Bora & Yeni, 2012).

Sinir sisteminde var olan hastalık ve işlev bozukluklarının tanı, teşhis ve tedavisi aşamalarında EEG (Elektroensefalogram) sıklıkla kullanılan bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). EEG beyin korteksinde yer alan nöronların elektrik potansiyellerinde oluşan değişimlerin kayıt edilmesi olarak söylenebilir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002). Teknolojik ilerlemelerin yardımıyla EEG sinyalleri çeşitli cihazlarla farklı şekillerde izlenebilmekte ve kayıt altına alınabilmektedir. Bu durum EEG sinyallerinin disiplinler arası farklı çalışmalarda kullanılabilmesinin önünü açmıştır (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Lotte, Congedo, Lécuyer, Lamarche, & Arnaldi, 2007).



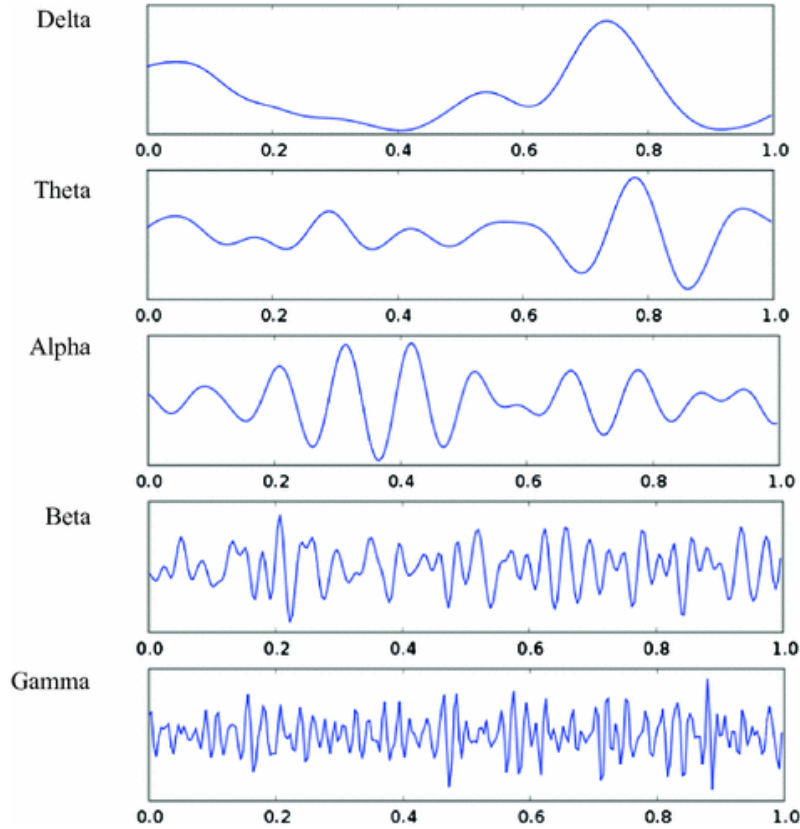
Şekil 2 : Örnek EEG kaydından alınmış bir kısım - CHB-MIT Scalp EEG Database

1.1. EEG Sinyalleri ve Temel Kavramları

Elektroensefalografi 20.yüzyılda Hans BERGER isimli bilim insanı tarafından bulunmuştur. Klinik uygulamalarında kullanımı ise 1929 yılında bir hastanın EEG sinyallerinin kaydı ile gerçekleşmiştir. Bu adımla beraber EEG üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Sonrasında Albert GRASS tarafından Harvard Tıp Okulu laboratuvarı için 3 kanallı bir EEG cihazı geliştirilmiştir. Bu çalışmaların ardından EEG sinyallerinin hem tıbbi hem de araştırma amaçlı kullanımı, özellikle 2.Dünya savaşıdan sonra olmak üzere, yoğun

bir artış göstermiştir. Öyle ki, nörofizyolojinin yanında farklı alanlarda da kullanımı üzerine çalışılmıştır. Klinik olarak EEG uygulamaları ülkemizde 1940'lı yıllarda başlamıştır (Bora & Yeni, 2012).

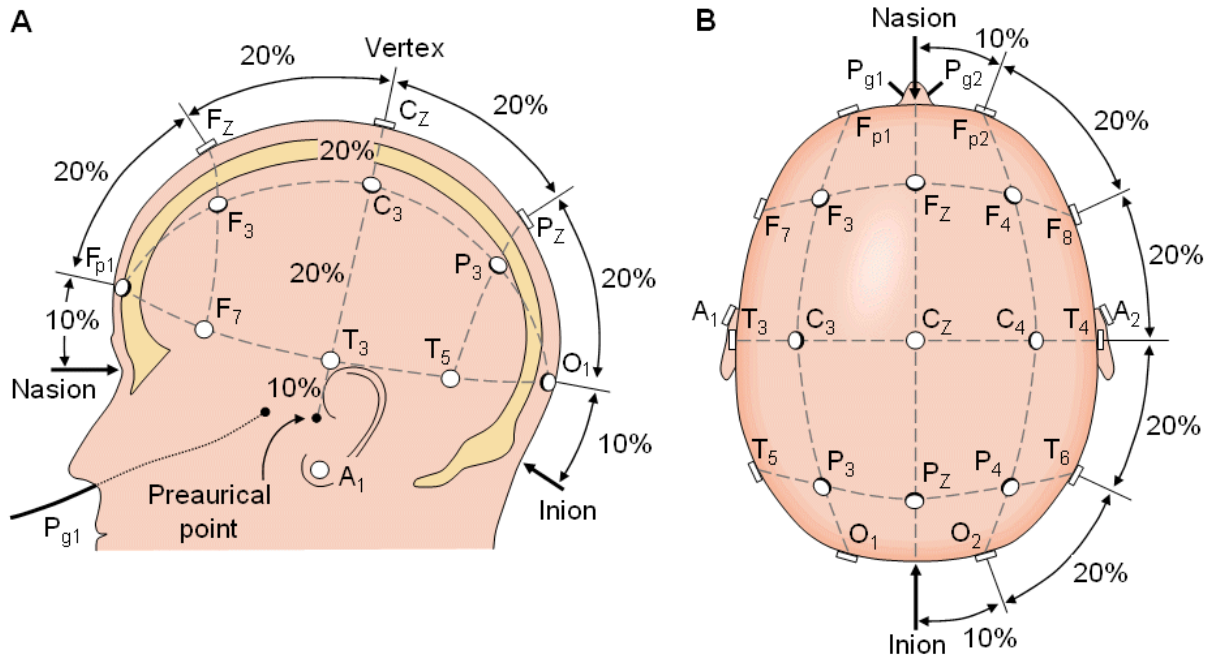
EEG kayıtlarında temel olarak gözlemlenen olgular, beyin sinirsel faaliyetleri sırasında gözlemlenen Şekil 3' de görüldüğü gibi 5 temel dalgadır. Bu tipik 5 adet dalga birbirlerinden frekanslarına göre ayrılmaktadırlar (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Öyle ki; dalga frekansları delta(δ) : 0,5 - 4 Hz., teta(θ): 4 – 8 Hz., alfa(α): 8 - 13 Hz., beta(β): 13 - 30 Hz., gama(γ): >30 Hz. olarak karşımıza çıkmaktadır (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016).



Şekil 3 : 5 temel EEG sinyal tipinin frekans gösterimleri (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

EEG kayıtlarında gözlemlenen bu farklı dalga formları EEG kaydının ait olduğu bireyin klinik durumu ve bilişsel faaliyetleri hakkında bilgiler vermektedir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Delta dalgaları öncelikli olarak derin uyku durumuyla olmak üzere beyin bozuklukları ve uyanma durumuyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002). Teta dalgalarının genlikleri genellikle 20 μ V değerinden daha büyüktür. Teta dalgaları duygusal durumlarla ilişkilidir. Özellikle hayal kırıklığı olmak üzere duygusal stres, ilham ve derin meditasyon durumlarıyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Alfa dalgalarının genlikleri ise 30 – 50 μ V arasında değişmektedir. Alfa dalgalarının temel sebebi bireyin gözlerinin kapalı olması ve rahatlama durumunda bulunmasıdır. Genel olarak yoğun beyin faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Alfa dalgaları ayrıca literatürde “mu” aktivitesi(etkinliği) olarak da geçmektedir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Beta dalgaları düşük genlikte oluşmaktadır, bireyin beyninin uyanıklık durumu ve aktif zihinsel faaliyetlerin sırasında gözlemlenir. Beta dalgaları genellikle odaklanma, aktif dikkat ve problemlere konsantre olma durumlarıyla ilişkilidir (Siuly, Li, & Zhang, 2016). Gama dalgaları genellikle 30 Hz. üstünde frekansa sahiptirler, bazı durumlarda bu frekans bandı en yüksek seviye olan 80-100 arasına ulaşabilmektedir. Gama dalgasının çok çeşitli bilişsel beyin faaliyetleriyle ilgisi bulunmaktadır (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

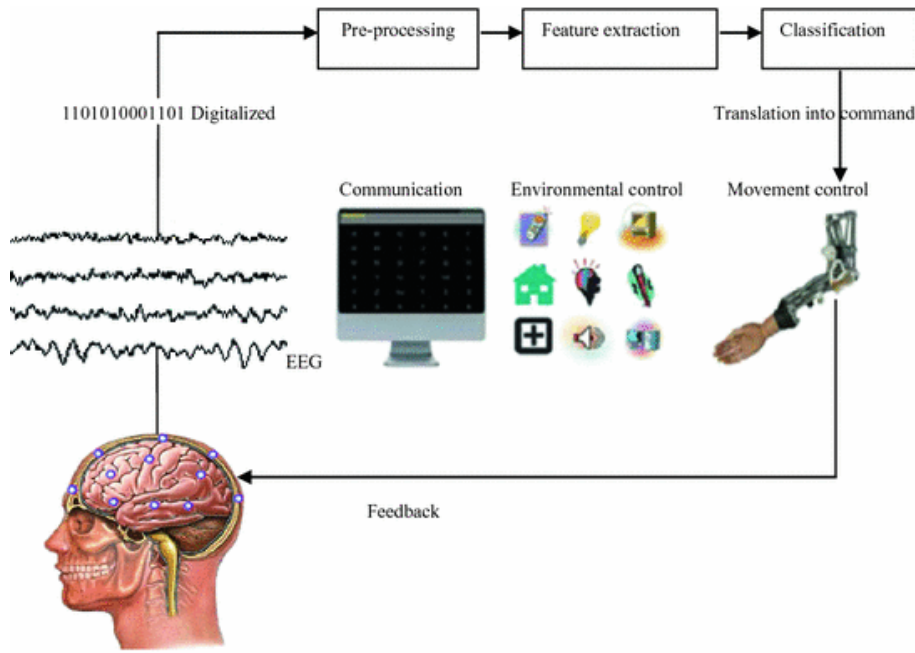
EEG sinyallerinin temininin doğru yapılabilmesi için EEG cihazının elektrotlarının skalp(kafa derisi) üzerine montaj şekillerinin de önemi büyüktür. Genel olarak klinik vakalarda ve bilimsel araştırmalarda 10-20 ve 10-10 montaj sistemleri tercih edilmektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017). 10-10 elektrot yerleşimi göreceli olarak daha çok kullanılan 10-20 sisteminin elektrot yerleşim düzenim daha sıklaştırılarak dağıldığı yapıdır. 10-20 elektrot diziliminin örneği Şekil 4 'de görülmektedir. Sözü geçen bu montaj sistemlerinde temel alınan nokta beynin serebral korteks tabakasının genelinden EEG sinyallerinin elde edilmesini sağlamaktır. Ancak EEG sinyallerinin elde edilmesi ve kayıt edilmesi için bu sistemlerin kullanılması mecburi bir durum değildir. Üzerinden çalışılan proje veya klinik duruma göre özgün elektrot montaj şekilleri uygulanabilmektedir.



Şekil 4 : Uluslararası kabul gören 10-20 elektrot yerleşimi.

2. BCI SİSTEMLERİ

Beyin Bilgisayar Arayüzü (Brain Computer Interface (BCI)) sistemlerinin temelinde birey beyin sinyallerinin toplanarak bireyin dış dünyayla iletişime geçmesi için uygun şekilde kullanımı söz konusudur (AIQattan & Sepulveda, 2017) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015). BCI sistemlerinin kullanım alanları; kısmi motor hareket kayıpları, ağır felçli bireyler, ağır konuşma güçlükleri v.b olarak sıralanabilir (AIQattan & Sepulveda, 2017) (Anupama, N.K., & Lingaraju, 2014) (Camacho & Manian, 2016) (Tatum, 2017) (Ernest, Smitha, & Vinod, 2015) (Jadav, Batistić, Vlahinić, & Vrankić, 2017) (Katona, Ujbanyi, Sziladi, & Kovari, 2016). Genel bir BCI sisteminin şeması Şekil 5’de görülmektedir. BCI sistemlerinin standart bir amacı olmayıp gerçekleştirilen projeye göre analiz edilen sinyaller ve çıktıları farklılık gösterebilir (Smitha , Vinod, & K, 2016) (Liu, Chen, Lee, Pei, & Mill’an, 2017) (Chan & Dascalu, 2017). Bir uygulamada tekerlekli sandalyeyi yönetmek amaçlı kullanılırken başka bir uygulamada konuşma güçlüklerinin üstesinden gelmek için işe koşulmuş olabilir (Katona, Ujbanyi, Sziladi, & Kovari, 2016). Temel bir BCI sistemi genel olarak bulunan katmanlar şu şekilde sıralanabilir; beyin faaliyetlerinin ölçülmesi (EEG sinyallerinin ölçülmesi), ön işleme, özellik çıkarımı, sınıflandırma, elde edilen sonucun hedef doğrultuda komuta dönüştürülmesi ve sonra olarak geri besleme (Liu, Chen, Lee, Pei, & Mill’an, 2017). BCI sistemlerinin temeli neredeyse standart olmasına karşın iki farklı uygulama şekli mevcuttur; invazif ve invazif olmayan (Siuly, Li, & Zhang, 2016). İnvazif sistemlerde BCI sistemine sinyal aktarımı sağlayan elektrotlar kafatası içerisine cerrahi müdahaleyle yerleştirilirler. Bu bakımdan invazif BCI sistemlerinin riskli ve maliyetli bir yapısı vardır (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017). İnvazif olmayan BCI sistemlerinde EEG sinyallerinin elde edilmesini sağlayan elektrotlar bir başlık içine yerleştirilir ve bu sayede kafa derisine sabitlenmiş olur. Bu yöntem genel olarak invazif yöntemle göre daha az maliyetli olduğu için daha çok yaygın kullanıma sahiptir.



Şekil 5 : Genel BCI sistem şeması (Siuly, Li, & Zhang, 2016).

BCI sistemlerinde; Ön işleme (pre-processing) işleminde EEG sinyallerinde bulunan artefaktlar giderilerek ve sinyaller güçlendirilerek özellik çıkarımı için uygun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Özellik çıkarımı (Feature Extraction) aşamasında üzerinde çalışılan proje bağlamında ve kullanılacak sınıflandırma yöntemleri de göz önünde bulundurularak özellik çıkarımı yapılır. Sınıflandırmada (Classification) özellik çıkarımında elde edilen özellikler üzerinde amaca uygun komut dönüşümünün gerçekleşmesi için sistemde kullanılması kararlaştırılan teknik ve algoritmalar işe koşulur. Sınıflandırma işleminden sonra komut dönüşümü gerçekleşir ve kullanıcının bir sistemi, donanımı veya bir uygulamayı kullanması/yönetmesi sağlanmış olur. Geri besleme (Feedback) sayesinde sistem çalışma kararlılığıyla ilgili veri toplayarak kendini eğitebilmektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Smitha, Vinod, & K, 2016) (Chan & Dascalu, 2017).

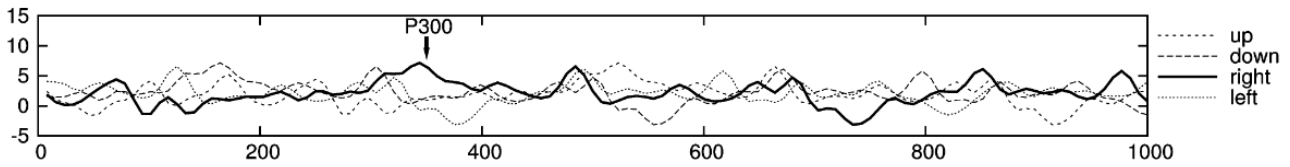
2.1. BCI sistemlerinde ön işleme (Pre-processing)

Temel olarak ön işleme işi sinyallerin asıl amaç için kullanılmasından önce sinyal/gürültü oranını arttırmak ve EEG sinyalleri özelinde göz kırpması, kalp atışı gibi artefaktları elemine etmek için kullanılmaktadır. Literatürde ön işleme için birçok teknik kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Common Average Reference (CAR), Laplacian filtreleri, Principal Component Analysis (PCA), Independent Component Analysis (ICA) olarak sıralanabilir (Dogru, King, & Chuanbg, 2017).

Bunlardan örnek olarak PCA incelendiğinde; matematiksel işlemler sonucunda sinyal değerlik vektörleri arasında var olan korelasyonu gözlemleyerek birbirleriyle ilişkisi olmayan “esas bileşenler (principal component)” olarak isimlendirilebilecek vektörler elde edilmesini hedeflemektedir (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015). Bu sayede üzerinde işlem yapılacak özellik vektörlerinin azaltılması mümkün olabilecektir (Dogru, King, & Chuanbg, 2017).

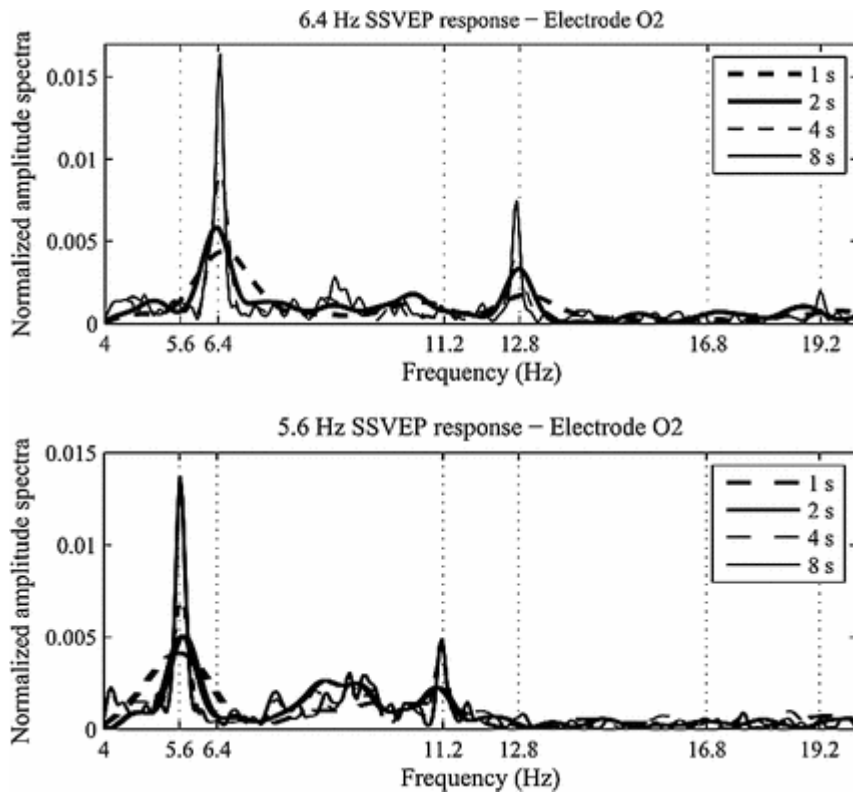
2.2. Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımı aşamasında öncelikli olarak EEG sinyallerinde inceleme işleminde kullanılacak metod seçilmelidir. Bu metodlar P300 potansiyelleri, SSVEP (Steady State Visual Evoked Potentials), Sensorimotor ritimleri, yavaş kortikal potansiyeller (SCP) olarak sıralanabilir. Bu metodların işe koşulmasında her biri EEG sinyallerini farklı açılardan işlemektedir. P300 potansiyeli; EEG sinyallerinde kişinin arzuladığı seçimin görsel olarak gösteriminden 300ms sonra meydana gelen pozitif potansiyel gözlemlenmeye çalışılmaktadır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). P300 potansiyelleri gözlenmesine dayalı birçok uygulama mevcuttur. Genel olarak P300 metodu metin yazdırma veya basit yönlendirme komutları için kullanılmaktadır. Sözü geçen bu tip çalışmalara örnek olarak Curtin ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışma gösterilebilir (Curtin, Ayaz, Liu, Shewokis, & Onaral, 2012). Şekil 6 ‘da Cuti ve arkadaşlarının “P300-Based BCI Mouse With Genetically-Optimized Analogue Control” isimli çalışmalarında elde ettiği örnek bir P300 sinyal gösterimi yer almaktadır. Guger ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları “How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)?” isimli çalışmaya göre deneye katılan insanlar %72 oranında P300 sinyal formu tabanlı harf kodlayıcı uygulamayı %100 oranında kullanmayı almışlardır (Guger, ve diğerleri, 2009) (Cotrina, 2017).



Şekil 6 : Örnek bir P300 sinyal gösterimi (Citi, Poli, Cinel, & Sepulveda, 2008).

P300 sinyallerinin kullanımına benzer başka bir metot olan SSVEP (Steady State Visual Evoked Potentials – Kararlı Hal Görsel Uyarılmış Postansiyelleri); sıklıkla görsel uyarının kullanılacağı BCI sistemlerinde tercih edilmektedir (Cotrina, 2017) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Şekil 7’de örnek bir SSVEP sinyal formu yer almaktadır. SSVEP sinyal inceleme metodunda genel olarak tepki süresi kısa olan N70 e P100 gibi dala formları gözlemlenmeye çalışılmaktadır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Bu sinyaller isimlerini; görsel uyarının fark edilmesinden ardından sırasıyla 70 ve 100ms sonra ortaya çıkmaları nedeniyle almışlardır. SSVEP sinyal inceleme metoduna görsel uyarınlar ardı ardına birkaç kez gösterilmeli ve böylece sinyal oluşumunda kararlı hal elde edilmeye çalışılmalıdır (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Allison ve arkadaşları 2010 yılında nüfus istatistiklerini temel olarak gerçekleştirdikleri SSVEP tabanlı BCI sistem kullanım başarımlarını %95 olarak elde etmişlerdir (Allison, ve diğerleri, 2010) (Cotrina, 2017).



Şekil 7: Örnek SSVEP sinyal formları (Cotrina, 2017).

Üzerinden çalışılacak sinyal formları belirlendikten sonra özellik çıkarımı için genel olarak PCA, DWT (Discrete Wavelet Transform), ICA, PSD (Power Spectral Density) veya FFT (Fast Fourier Transform) tekniklerinin kullanıldığı söylenebilir.

2.3. Sınıflandırma

BCI sistemlerinde EEG sinyalleri kullanılırken önemli olan aşamalardan biri de sınıflandırma yapmak için kullanılacak yöntem veya yöntemlerin belirlenmesidir. Sınıflandırma aşaması BCI sistemlerinde komut anlamlandırılması anlamına geldiği için sistem çalışması adına hayati önem taşımaktadır. Pek çok BCI sisteminde, sistemin başarımlarını sınıflandırma işleminin başarımlarıyla belirlenmektedir (Cotrina, 2017). Literatüre bakıldığında sınıflandırma için birçok algoritma kullanılabilir. Bunlardan bir kaç; LDA (Linear Discriminant Analysis), MLP (Multi Layer Perceptron), SVM (Support Vector Machine), YSA (Yapay Sinir Ağları), Karar Ağaçları gibi sıralanabilir (Abdel-Hadi , El-Khoribi, Shoman, & Refaey, 2015) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Maracine, Radu, Ciobanu, & Popescu, 2017) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Todorean & Chiuchisan, 2017) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). Elbette kullanılacak yöntemler bunlarla sınırlı değildir.

Literatürde EEG sinyal sınıflandırmasında kullanılan kimi algoritmalarının karşılaştırmaları hakkında çalışmalar mevcuttur (Ilyas, Saad, Ahmad, & Ghani, 2016) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Xing, McCardle, & Xie, 2012). (Xing, McCardle, & Xie, 2012)

çalışmasında araştırmacılar sınıflandırma algoritmalarını doğrusal, doğrusal olmayan ve karışık sınıflandırıcılar olmak üzere 3 temel sınıfa ayırmışlardır. Ayrıca yine (Xing, McCardle, & Xie, 2012)' de sınıflandırma işleminde makine öğrenmesi kullanılarak iyileştirme çalışmaları yapılabileceği ifade edilmiştir.

Başka bir EEG sinyal sınıflandırması performans karşılaştırma çalışması olan "Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interface Applications: Performance Comparison (Ilyas, Saad, Ahmad, & Ghani, 2016)" isimli çalışmada araştırmacılar; EEG sinyallerini sınıflandırmak için SVM(Support Vector Machine), k-NN(k-Nearest Neighbour), MLP-ANN(Muti Layer Percptron Artificial Neural Network) ve Lojistik Regresyon algoritmalarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Uluslararası 4. BCI sistemleri yarışması veri kümesi 1 üzerinde gerçekleştirilen başarımların karşılaştırılmasında LR ve SVM algoritmaları sırasıyla 73.03% ve 68.97% başarımla elde etmişlerdir.

3. BCI ALANINDA YAPILMIŞ BAZI ÇALIŞMALAR

Söz konusu çalışma alanında Anupama.H.S ve arkadaşları "Real-time EEG based Object Recognition System Using Brain Computer Interface" isimi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında karar ağaçlarını kullanarak %82 doğruluk oranıyla gerçek zamanlı nesne tanımlama yapmışlardır (Anupama, N.K., & Lingaraju, 2014). Başka bir çalışmada Masoud Maleki ve arkadaşları "A Novel Brain -Computer Interface based on the Gaze Rotating Vane Independent EEG" ismini verdikleri makalelerinde sanal ortamda oluşturulmuş bir pervaneyi döndürmek için EEG sinyallerini kullanmışlardır (Maleki, Manshouri, & Kayıkçıoğlu, 2015). EEG sinyallerinden özellik çıkarımını yapmak için PCA tekniğini, sınıflandırma gerçekleştirmek için k-En Yakın Komşu algoritmasını kullanmışlardır (Maleki, Manshouri, & Kayıkçıoğlu, 2015). Jiahui Pan ve arkadaşları gerçekleştirdikleri "An EEG-Based Brain-Computer Interface for Emotion Recognition" isimli çalışmalarında bireyin duygusal durumunu mutlu veya üzgün olarak sınıflandırmayı amaçlamışlardır (Pan, Li, & Wang, 2016). Gerçekleştirdikleri bu çalışmada kişiye özel EEG frekans bantlarının seçimi üzerine çalışılmışlardır. Duaa AIQattan ve Francisco Sepulveda yayınladıkları "Towards Sign Language Recognition Using EEG-Based Motor Imagery Brain Computer Interface" isimli çalışmada felçli hastaların Amerikan İşaret Dili 'nde kullanılan tek elle yapılabilen 6 adet temel işareti kullanabilmeleri üzerine çalışmışlardır (Pan, Li, & Wang, 2016). Bu çalışmada doğrusal olmayan Destek Vektör Makineleri(SVM) ve doğrusal diskriminant analizi (LDA) kullanmıştır. K. L. Hsieh ve arkadaşları gerçekleştirdikleri "Home Care by Auditory Brain Computer Interface for the Blind with Severe Physical Disabilities" çalışmada kısmi fiziksel engelli ve aynı zamanda ama olan bireyler için akıllı ev sistemlerinin temel yönetim işlemlerini gerçekleştirmek üzere ses temelli BCI sistemi geliştirmişlerdir (Hsieh, Sun, Yeh, & Pan, 2017).

Bu çalışmalardan da anlaşılabilceği gibi EEG sinyallerinin analizi ve işlenmesi sayesinde teşhis/tanı, mental aktivite sınıflandırması, duyu durumu, teçhizat/alet kullanımı ve karmaşık sistem yönetimi gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir (Bora & Yeni, 2012) (Siuly, Li, & Zhang, 2016) (Teplan, 2002) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (AIQattan & Sepulveda, 2017). Ancak bu işlemlerin yapılabilmesi için insan beyninden elde edilen EEG sinyallerinin doğru ve tutarlı bir şekilde analiz edilmesi ve işlenmesi gerekir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada EEG sinyalleri hakkında temel bilgilere ve EEG sinyallerinin BCI sistemlerinde kullanılış şekilleri hakkında bilgilere ve örneklere yer verilmiştir. Bazı BCI sistemlerinde EEG sinyallerinin bir türevi olan ERP de kullanılmaktadır. Bu konu başka bir çalışmada incelenecektir.

EEG sinyalleri klinik olarak bazı vakalarda kullanılabilir ancak BCI sistemlerinin henüz kararlı hale gelmemiş olması nedeniyle klinik olarak kullanımı yaygınlaşmamıştır. Ancak özellikle ağır motor kaybı yaşayan kişiler ve ağır felçli insanlar düşünüldüğünde BCI sistemlerinin gelecek için önemli olduğu açık bir şekilde gözlemlenebilir.

Bu alanda yapılan akademik çalışmalara daha birçok örnek gösterilebilir (Camacho & Manian, 2016) (Ernest, Smitha, & Vinod, 2015) (Ilyas, Saad, & Ahmad, 2015) (Jadav, Batistić, Vlahinić, & Vrankić, 2017). Bununla birlikte EEG sinyallerinin teknoloji sanayisinde de kullanımı son yıllarda artmıştır. NeuroSky ve EMOTIV gibi biyosensörler ve bunlara bağlı teknolojik ürünler üzerinde çalışmalar yapan birçok şirket mevcuttur. Sözü geçen bu iki firma piyasada kişisel kullanım için hazırlanmış EEG temelli başlıklar pazarlamaktadır. Bu başlıklar ile birey kendi EEG sinyallerini izleyebilmektedir.

REFERANSLAR

AIQattan, D., & Sepulveda, F. (2017). Towards Sign Language Recognition Using EEG-Based Motor Imagery Brain Computer Interface. *2017 5th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI)*. Sabuk.

Anupama, H., N.K., C., & Lingaraju, G. (2014). Real-time EEG based Object Recognition System Using Brain Computer Interface. *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. Mysore.

- Bora, İ., & Yeni, S. (2012). *EEG ATLASI. NOBEL TIP KİTABEVLERİ*.
- Camacho, J., & Manian, V. (2016). Real-Time Single Channel EEG Motor Imagery based Brain Computer Interface. *2016 World Automation Congress (WAC)*. Rio Grande.
- Chan, A., & Dascalu, S. (2017). Using Brain Computer Interface Technology in Connection with Google Street View. *2017 21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*. Bucharest.
- Citi, L., Poli, R., Cinel, C., & Sepulveda, F. (2008). P300-Based BCI Mouse With Genetically-Optimized Analogue Control. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, 16(1), 51-61.
- Cotrina, A. (2017). *Toward Brain-Computer Interaction in Paralysis*. Springer International Publishing.
- Curtin, A., Ayaz, H., Liu, Y., Shewokis, P., & Onaral, B. (2012). A P300-based EEG-BCI for Spatial Navigation Control. *34th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, (s. 3841-3844). San Diego.
- Dogru, W., King, J.-T., & Chuanbg. (2017). Spatial Filtering for EEG-Based Regression Problems in Brain-Computer Interface (BCI). *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(2), 771-781. doi:10.1109/TFUZZ.2017.2688423
- Ernest, T., Smitha, K., & Vinod, A. (2015). Detection of Familiar and Unfamiliar Images using EEG-based Brain-Computer Interface. *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Kowloon.
- Guger, C., Daban, S., Sellers, E., Holzner, C., Krausz, G., Carabalona, R., . . . Edlinger, G. (2009). How many people are able to control a P300-based brain-computer interface (BCI)? *Neuroscience Letters*, 462(1), 94-98.
- Hsieh, K., Sun, K., Yeh, J., & Pan, Y. (2017). Home Care by Auditory Brain Computer Interface for the Blind with Severe Physical Disabilities. *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. Sapporo.
- Ilyas, M. Z., Saad, P., & Ahmad, M. I. (2015). A Survey of Analysis and Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interfaces. *2nd International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*. Penang.
- Jadav, G. M., Batistić, L., Vlahinić, S., & Vrankić, M. (2017). Brain Computer Interface Communicator : A Response to Auditory Stimuli Experiment. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. Opatija.
- Katona, J., Ujbanyi, T., Sziladi, G., & Kovari, A. (2016). Speed control of Festo Robotino mobile robot using NeuroSky MindWave EEG headset based Brain-Computer Interface. *7th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2016)*. Wrocław.
- Liu, D., Chen, W., Lee, K., Pei, Z., & Mill'an, J. (2017). An EEG-based brain-computer interface for gait training. *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*. Chongqing.
- Lotte, F., Congedo, M., Lécuyer, A., Lamarche, F., & Arnaldi, B. (2007). A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*(4).
- Maleki, M., Manshour, N., & Kayıkçıoğlu, T. (2015). A Novel Brain -Computer Interface based on the Gaze Rotating Vane Independent EEG. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Malatya.
- Maracine, M., Radu, A., Ciobanu, V., & Popescu, N. (2017). Brain Computer Interface Architectures and Classification Approaches. *21st International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS)*, 217-222.
- Pan, J., Li, Y., & Wang, J. (2016). An EEG-Based Brain-Computer Interface for Emotion Recognition. *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. Vancouver.
- Siuly, S., Li, Y., & Zhang, Y. (2016). *EEG Signal Analysis and Classification Techniques and Applications*. Springer International Publishing.
- Smitha, K., Vinod, A., & K, M. (2016). Voice Familiarity Detection using EEG-based Brain-Computer Interface. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Budapest.
- Tatum, W. (2017). *AMBULATORY EEG MONITORING*. New York: demosMEDICAL.
- Teplan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. *MEASUREMENT SCIENCE REVIEW*, 2(2).
- Xing, S., McCardle, R., & Xie, S. (2012). Reading the Mind: the Potential of Electroencephalography in Brain Computer Interfaces. *19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, (s. 275-280). Auckland.