

# Beyin Sinyalleri Kullanılarak Elde Edilen Dikkat Değeri ile Araç Yönetimi

Çağın ÇEVİK<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Biophysics, Cerrahpaşa Medical Faculty, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey.

<sup>2</sup> SANKARA Brain and Biotechnology Research Center, Entertech Technocity, Avcılar, Istanbul, Turkey.

## ÖZ

Bu çalışma, araç kullanıcısının dikkatsizliğinden kaynaklı olası kazaların önüne geçilmesi ve iş kalitesinin artırılması amacıyla uygulanabilecek, dikkat seviyesine bağımlı bir araç yönetim mekanizmasının araştırılması ve deney düzeneğinin oluşturulması amacı ile yapılmıştır. Çalışma için gerekli sinyaller tek kanallı kuru elektroda sahip bir Elektroensefalografi (EEG) cihazı aracılığıyla elde edilmiştir. Çalışma dahilinde kullanıcının dikkat değerinin tespitinde uygulanmış olan, beyin sinyallerinin işlenmesi ve sınıflandırılması yöntemleri incelenmiştir. Deney düzeneği üzerinde pratikler sağlanarak, uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Oluşturulan Beyin Bilgisayar Arayüzüne (BBA), EEG sinyalleri üzerinden özellik çıkarımlarının sağlanması ile makine öğrenmesi modellerinin dahil edilmesi, böylece daha hassas sınıflandırma yeteneği üzerinden, risk analizi ve kontrol uygulamalarının geliştirilmesi üzerinde tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** EEG, BBA, Sinyal Analizi, Dikkat Seviyesi

# Vehicle Management with The Attention Score Obtained by Using Brain Signals

## ABSTRACT

This study was done with the aim of investigating an attention-dependent vehicle management mechanism and establishing an experimental setup that can be applied in order to prevent possible accidents caused by the car driver's carelessness and to increase the quality of work. The signals required for the study were obtained through an Electroencephalography (EEG) device with a single channel dry electrode. In the study, the methods of processing and classifying brain signals, which have been applied in detecting the user's attention value, were examined. Practices are provided on the experimental setup and its applicability is emphasized. It has been discussed on the inclusion of machine learning models by providing feature extractions through EEG signals to the created Brain Computer Interface (BBA), thus developing risk analysis and control applications through more precise classification capability.

**Keywords:** EEG, BCI, Signal Analysis, Attention level

## 1 Giriş

Bir operatörün dikkat düzeyine ait verilerin eş zamanlı olarak çıkarılıp yorumlanması, operasyon güvenliğini artırmak ve kazaları önlemek için büyük öneme sahiptir. Güncel çalışmalarda, kronik yorgunluk, akut uyku hali ve dikkatsizlik davranışına sahip araç kullanıcılarının, dikkatlerini toplamadaki sıkıntıları nedeniyle kaza riskini önemli ölçüde arttırdıkları doğrulanmıştır [1]. Bu çalışmada kullanıcının beyin sinyalleri aracılığı ile dikkat ve meditasyon düzeyleri tespit edilip değerlendirilerek, bu değerler doğrultusunda aracın yönetilmesi için onay mekanizmasına sahip deney

\* Sorumlu Yazar e-mail: cgncvk@outlook.com

düzenegi geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen işlemlerin bilgisayar arayüzü üzerinden eş zamanlı takip edilebilmesi sağlanmıştır. Düzenek ile elde edilen verilerin yanında eklenebilecekler ile örnek veri kümesi oluşturulup risk sınıflandırmasının gerçekleştirilmesi ile düzenegin hassasiyetinin artırılması durumu belirtilmiştir.

## 2 Araştırma Metodolojisi

Sinir hücrelerinin üzerlerindeki elektro-kimyasallar görevlerini yerine getirme sürecinde elektrik yükü akışına ve dolayısıyla elektrik alanında değişikliğe neden olur. EEG tekniği, beyin sinirlerindeki zamana bağlı elektrik alan değişikliklerini incelemeye ve cerrahi müdahaleye gerek kalmadan beyin işleyişini öğrenmeye imkan tanımaktadır.

EEG elektrotları aracılığıyla, tercih edilen alanların sinir hücrelerindeki elektriksel değişiklikleri algılanmaktadır. Bahsi geçen değişiklikler mikrovolt seviyesindedir, bu nedenle beyin sinyalleri yaklaşık 100 kat güçlendirilerek amplifikasyon işlemi gerçekleştirilir. Ancak bu, beyin sinyallerinin yanı sıra istenmeyen gürültü ve yan etkilerin artmasına da neden olur ve bunlar daha sonra filtreleme yoluyla ayklanır.

Sinyaller ve beyin aktivitesi arasındaki korelasyonu, dikkat ve meditasyon gibi beyin aktivitelerindeki zamana bağlı değişiklikleri anlamak için elektrik sinyallerinin zaman-frekans analizine ihtiyaç vardır. Frekans ve genlikteki artışın, birim zamanda sinirlerdeki elektro-kimyasalların tekrar ve akış miktarı ile doğrudan bağlantılı olduğu bilinmektedir [2].

### 2.1 EEG Verilerinin Eldesi

Ticari bir EEG cihazı olan, beyin elektriksel aktivitesini okuyarak dikkat ve meditasyon durumlarının tespit edilmesi için doğrudan bir biyosensör olarak geliştirilen Neurosky MindWave Mobile 2, EEG verilerinin eldesinde düşük maliyet ve kullanım kolaylığı sağlamasının yanında, güvenilirliğine vurgu yapılan çeşitli çalışmalar nedeniyle tercih edilmiştir. Bir araştırmada gönüllülere uygulanan Stroop ve Towers of Hanoi testlerine ait sonuçlar ile NeuroSky kafaseti aracılığıyla elde edilen dikkat ve meditasyon düzeyi verilerinin paralellik gösterdiğine ait çeşitli kaynaklar mevcuttur [3,4].

Tek bir kuru elektrodun mevcut olduğu NeuroSky Mindwave Mobile 2 cihazı, gürültünün sınırlandırılmasında yeterli donanımına sahip ve uzun süreler boyunca da sağladığı tutarlı kayıtlar ile geleneksel ıslak elektrotlu EEG cihazlarına kıyasla yeterli kalitededir [5].



Şekil 1: Neurosky Mindwave Mobile 2 Cihazı

Kulak memesine takılan referans elektrodu ve diğer elektrodun alnın sol tarafına takılmasıyla mikrovolt seviyesinde bir voltmetre görevi gören cihaz, sinirsel aktivitelerden beyin sinyallerinin alınmasını sağlamaktadır. Dikkat ve meditasyon değerleri için e-Sense Metriği ile 0-100 arasında bir puanlama yapılmaktadır. Bu işlemler MindWave Mobile 2 cihazının içindeki ThinkGear kartı tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu kart, frekans analizi yoluyla ham ve filtrelenmiş beyin dalgalarını gönderebilmektedir. Çalışmamızda veri analizi kolaylığı için cihazdan dikkat ve meditasyon verileri alınmasının yanında prosedürlerin yorumlanması ve pratik amacıyla ham veriler üzerinde de çalışılmıştır. ThinkGear kartı, belirli bir periyotla bir dikkat ve bir meditasyon verisi göndermektedir [6].

Thinkgear EEG çipi, A, ASIC ve M, Modül anlamına gelen ThinkGear AM ürün ailesindedir. Çipin EEG, shield, topraklama, referans dahil 5 girişi vardır. EEG elektrodu bir shield ile EEG pinine doğrudan bağlanmıştır. Bu verilerin referansı, kulağımıza bağlanan referans elektrodudur. TGAM çipinde filtrasyon sağlayan işlemci aracılığıyla gürültünün filtrelenmesi ve farklı beyin dalgası tiplerinin ayrılması gerçekleşir.

Filtrasyon sonrası sinyaller 512 Hz ile örneklenmekte ve 12-bit çözünürlükle analog-dijital çeviriciye gönderilmektedir. Elde edilen dijital sinyale ait FFT, işlemci tarafından hesaplanmaktadır. Ham formattaki tüm beyin sinyallerinin FFT değerlerini aldıktan sonra işlemci, ayarlanan baud hızında Tx pin aracılığıyla her sinyal için dijital FFT değerlerini seri olarak iletir. Varsayılan değer, normal çıkışla 9600'dür.

FFT uygulaması sonrası çıktısı alınan değerlerin büyüklükleri yaygın olarak EEG dalgalarının sınıflandırılmasında tercih edilen standartlar ile tanımlanır. Bu standart değerler sırasıyla şunlardır: Derin meditasyon ve rüyasız uykuda oluşan 0.5 - 4Hz aralığındaki delta dalgaları, 4 ile 8 Hz arasında değişen meditasyon ve uykuda oluşan teta dalgaları, 8 ile 12 Hz aralığındaki sakinlik ve öğrenme durumunda yoğunluğu artan alfa dalgaları, 12 ile 25 Hz aralığında problem çözme ve karar verme ile meşgul iken baskın olan beta dalgaları ve net odaklanma, konsantrasyon ve dikkatin sağlandığı 25 Hz'den daha yüksek olan, gama dalgalarıdır [7].

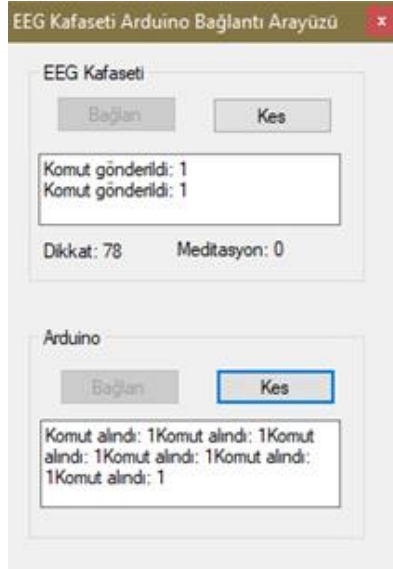
Ham EEG sinyalleri üzerinde yapılan yukarıdaki işlem ve frekans analizleri sonrası cihaz, Esense protokolü dahilinde tüm frekansları belirtilen standartlarda ayrıntılandırır ve iki tür durum döndürür: Dikkat ve meditasyon. Tasarladığımız deney düzeneğinde kullanılacak dikkat ve meditasyon verileri periyodik aralıklar ile bilgisayara gönderilir.

EEG sinyallerine ait salınımların, bilişsel açıdan hazırlıklı olma durumu, yaratıcılık ve uyanıklık ile ilişkisi, bilişsel performansa yönelik inceleme ve analizler dikkat ve meditasyon şeklinde sınıflandırma kriterlerinde etkili olmaktadır [8].

## 2.2 Deneysel Kurulum

Çalışmanın test edilmesi amacıyla, ölçüm cihazı, haberleşme donanımı ve kontrolü sağlanacak araç olmak üzere üç kısımdan oluşan bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Ölçüm cihazı, beyin dalgalarını ölçen MindWave Mobile 2 adlı mobil EEG başlıktır. Bilgisayara ait dahili Bluetooth modül, seri port üzerinden kablolu şekilde EEG cihazı ile iletişim halindedir. Ölçüm cihazından gelen verilerin, geliştirilen arayüz aracılığıyla görselleştirilip toplanması ve araç kontrolü için komut sinyalinin oluşturulması bilgisayar üzerinden sağlanmaktadır.

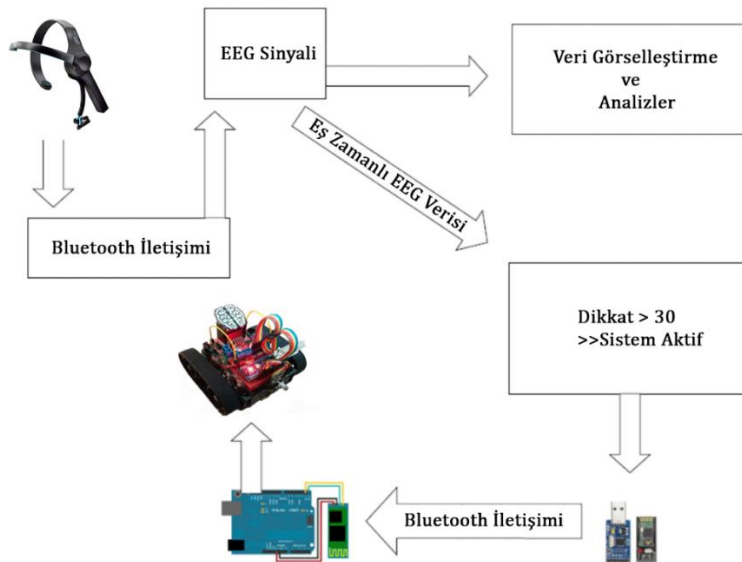
Bilgisayar ile bağlantısı sağlanmış cihaz ve konsol, seri port aracılığıyla haberleştirilerek veriler konsol ekranında görüntülenmiştir. Pratik ve estetik açıdan Visual Studio üzerinden C# kullanılarak arayüz formu oluşturulmuştur. Biyosensörden gelen veri paketlerini ayırmak ve etkileşimi sağlamak için ThinkGear SDK for .NET kütüphanesinden yararlanılmıştır. Veriler kütüphaneye ait algoritma aracılığıyla frekans karakteristiği baz alınarak sınıflandırılmakta ve arayüz üzerinde görüntülenmektedir. Ayrıca form dahilinde, sinyaller aracılığıyla kontrolünü sağlayacağımız araç üzerindeki Arduino mikrodenetleyici ile haberleşmenin sağlanacağı kod mevcuttur.



Şekil 2: EEG kafaseti ve Arduino bağlantı arayüzü

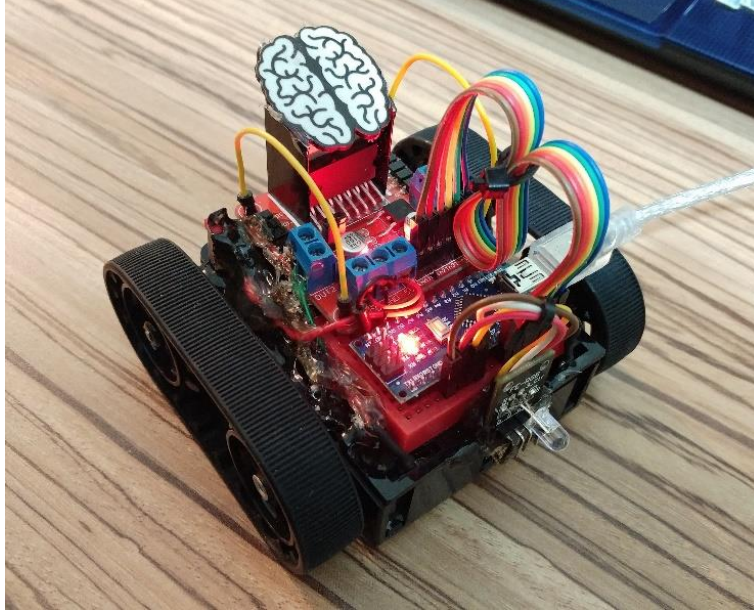
Yararlandığımız bilgisayara ait dahili Bluetooth modülümüz aynı anda 2 cihaz ile bağlantı kuramadığı için, sinyaller ile araç üzerinde kablosuz kontrolün sağlanması amacıyla oluşturulan sistem şu şekildedir:

USB ile bilgisayar iletişimi sağlanmış Arduino mikrodenetleyiciye bağlı verici olan, master moddaki HC-05 ve slave mod durumunda araç üzerindeki başka bir Arduino mikrodenetleyiciye bağlı, harici sistemden beslenen alıcı HC-06 devresi mevcuttur. Dikkat seviyesine bağımlı algoritma dahilinde şartların sağlanmasıyla, verici sistem aracılığıyla kontrol sinyalleri gönderilir ve mikrodenetleyiciye iletilen bu sinyaller ile araç, motorlarının sürülmesi için hazır duruma geçer. Deneysel kurulum şeması Şekil-3'te gösterilmektedir.



Şekil 3: BBA algoritma ve mekanizması genel incelenmesi

Başarılı şekilde kafaseti, arayüz ve Arduino bağlantısı sağlandıktan sonra, arayüz üzerinden görüntülenen dikkat seviyesinin "30" değerini geçmesiyle motor aktivitesi için onay sağlanarak komut oluşturulmakta ve düzenek görevini tamamlamaktadır.

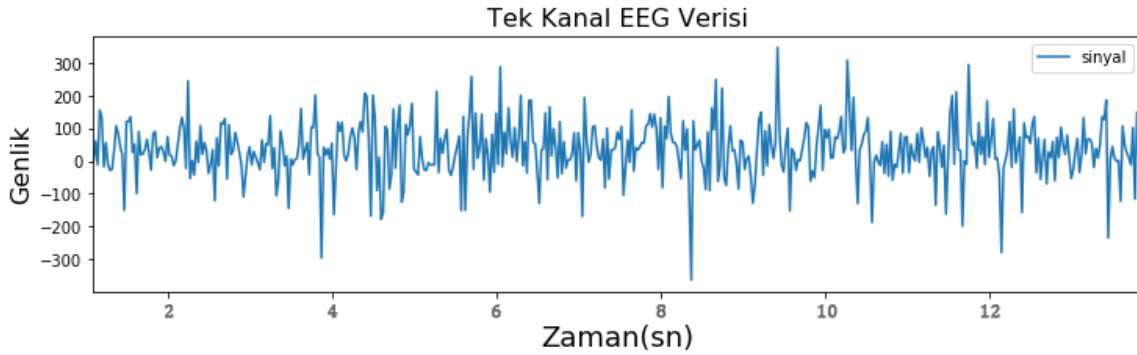


Şekil 4: Araç Genel Görünüm

Deneyde kullanılan kontrol ve haberleşme donanımı harici, L298N motor sürücüsü, 600 rpm 6V dc motor ve mini sumo robot gövdesine sahip araca ait genel görünüm Şekil 4'te mevcuttur.

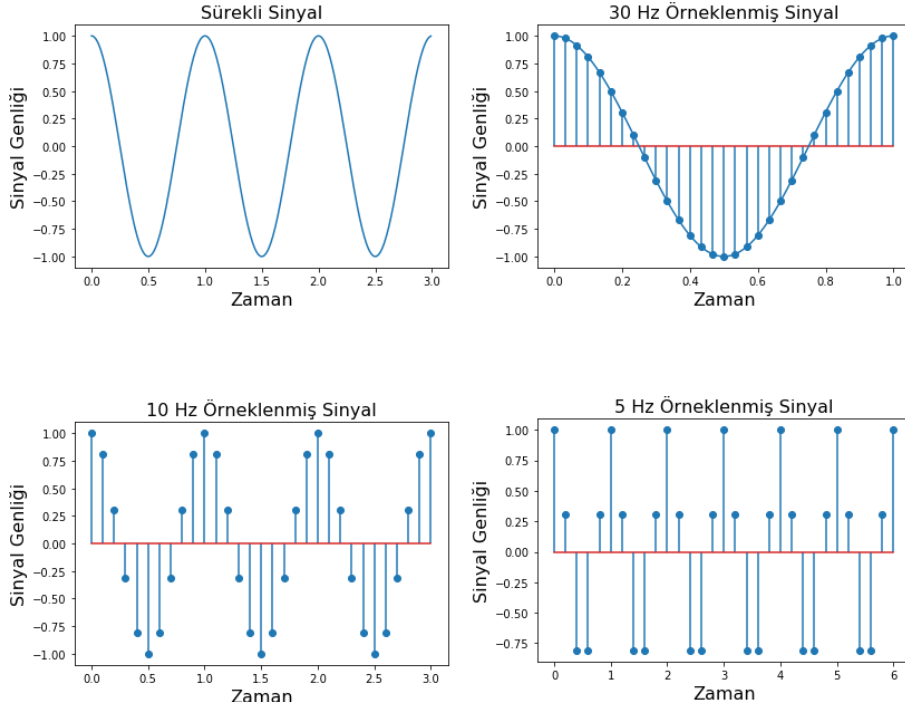
### 3 Teori ve Hesaplama

EEG verileri, fizyolojik, teknik şartlar gibi belirsiz sayıda değişkene bağımlı fonksiyona sahip stokastik sinyallerdir. Bu sinyallerin sınıflandırılmasında sinyallerden özelliklerin çıkarımı için kullanılacak FFT, PSD, korelasyon uygulamaları gibi çeşitli sinyal işleme tekniklerinden yararlanılmaktadır.



Şekil 5: Ham EEG sinyali

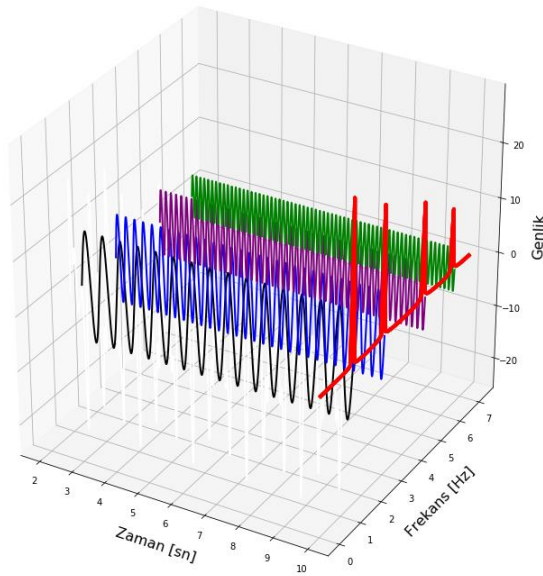
Doğada karşılaştığımız sinyallerin çoğu gibi EEG sinyalleri de analog (sürekli) yapıdadır. Bilgisayarda analiz etmek ve görselleştirmek için bu analog sinyalleri sayısallaştırmak istersek sinyaller ayrık hale getirilir. Bir analog sinyalin sayısallaştırılması genellikle belirli bir örnekleme oranıyla yapılır.



Şekil 6: Farklı frekanslarda örneklenen sürekli bir sinyal

Fourier analizi, sinyallerdeki periyodikliği analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bir sinyal doğası gereği periyodik olan bileşenler içeriyorsa Fourier analizi, bu sinyali periyodik bileşenlerinde ayrıştırmak için kullanılabilir. Bu yöntem bize periyodik bileşenlerin sıklığının ne olduğunu söyler. Bir sinyali zaman alanından frekans alanına dönüştüren matematiksel fonksiyon Fourier Dönüşümü ve tersini yapan fonksiyon ise Ters Fourier Dönüşümü olarak adlandırılır.

Aşağıda 4, 6, 8, 10 genliklerine ve 7, 5, 3, 2 Hz frekanslarına sahip dört sinüs dalgası (yeşil, mor, mavi, siyah sinyaller) vardır. Fourier Dönüşümü bu sinyali frekans alanına (kırmızı sinyal) dönüştürür ve bize bileşen sinyallerinin hangi frekanslarda salındığını gösterir. Aynı zamanda EEG frekans spektrumu çıkarımında yapılan işlemin tersi gerçekleştirilerek, bu sinyaller birleştirilip yeni bir bileşik oluşturulabilmektedir.



Şekil 7: FFT uygulanmış bir sinyalin bileşiklerine ait frekans alanına dönüşümü

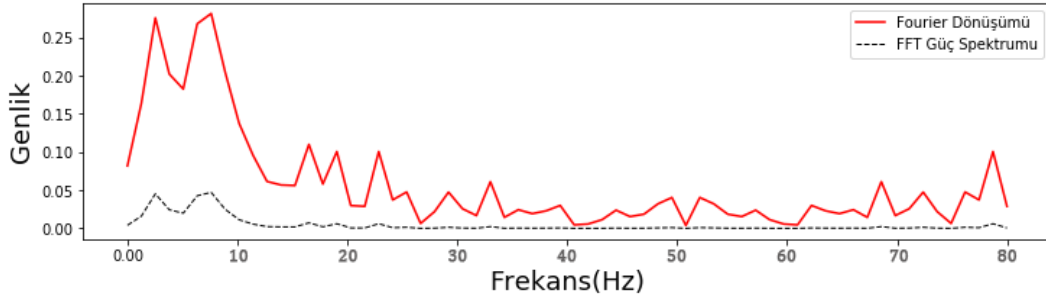
Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), Ayrık Fourier Dönüşümünü (DFT) hesaplamak için etkili bir algoritma olup, bir Fourier Dönüşümünü hesaplamak için de fiili standarttır. Hemen hemen tüm programlama dillerindeki bilimsel hesaplama kütüphaneleri ve paketlerinde bulunur. Bu çalışmada elde edilen sinyaller üzerinde Python programlama dilinde analizler ile çeşitli sağlamalar yapılmıştır. Uzunluğu  $L$  olan, ayrık zamanlı bir  $x(n)$  sinyalinin Fourier Dönüşümü  $\omega$  açısız frekans olmak üzere,  $X(\omega)$  ile ifade edilir [9].

$$\omega = 2\pi f \quad (1)$$

$$X(\omega) = \sum_{n=0}^{L-1} x(n)e^{-j\omega n} \quad (2)$$

Güç Spektral Yoğunluğu kavramı Fourier Dönüşümü ile yakından ilgilidir ve FFT'ye benzer şekilde, bir sinyalin frekans spektrumunu açıklar. Ancak FFT'ye ek olarak, her frekanstaki (bölme) güç dağılımını da hesaba katar. Genel olarak frekans spektrumundaki tepe noktalarının konumları FFT durumundaki ile aynı olacaktır, ancak tepe noktalarının yüksekliği ve genişliği farklı olacaktır. Tepe noktalarının altındaki yüzey, bu frekanstaki güç dağılımına karşılık gelir.

$$GS(f) = |X(f)|^2 \quad (3)$$



Şekil 8: Sinyal üzerinde FFT ve Güç Spektral Yoğunluğu (PSD) uygulaması

Mevcut sinyallerin özelliklerinin belirlenmesinde bahsedilen yöntemlere ekstra olarak, bir sinyalin kendisinin zaman gecikmeli versiyonu ile korelasyonu da hesaplanabilir. Eğer sinyal  $\tau$  saniyelik bir süreden sonra kendini tekrar eden bir özellik içeriyorsa, sinyal ile sinyalin  $\tau$  saniyelik gecikmeli versiyonu arasında yüksek bir korelasyon olacaktır.

#### 4 Bulgular ve Tartışma

Beyin sinyalleri aracılığı ile dikkat, meditasyon düzeylerinin derecelendirilmesi yeterli doğruluk ve hassasiyette, donanımsal olarak amplifikasyon, filtreleme ve sinyallerin belirli parametrelerde işlenmesi konularında yeterli olduğu görülen Neurosky Mindwave Mobile 2 cihazından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Standart protokollerden dahilinde elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile operatörün aracı kontrol edebilmesi için onay mekanizmasına sahip, aynı zamanda arayüz üzerinden bu işlemlerin izlenebileceği pratik ve ekonomik bir deney düzeneği geliştirilmiştir.

Geliştirilen düzenek ile pratiklerde hedeflenen başarıya ulaşılmıştır. Sinyal eldesi ve bu sinyallerin sınıflandırılması metodları hedeflenen çıktının alınmasında uygun veriyi sağlamıştır. Verilerin elde edilmesi, görselleştirilmesi ve araç kontrolünün sağlanmasında haberleşme yöntemlerinin yeterli olduğu, aynı zamanda geliştirilen sistemin çeşitli mekanizmalara pratik şekilde entegrasyonunun ekonomik şekilde mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Çeşitli bilgisayar beyin arayüzü uygulamalarında EEG Sinyallerinin, makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılarak performans tespitlerinde daha başarılı sınıflandırmalar sağlanmıştır [10]. Oluşturduğumuz düzeneğimize ait ham EEG sinyalini yukarıdaki değinilen uygulamalar ile frekans alanına dönüştürdükten sonra, bu dönüştürülmüş sinyallerin her birinden frekans özellikleri ve bunlara karşılık gelen genliklerin değerleri, yani frekans spektrumundaki zirvelerin x, y konumları çıkarılabilir. Veri kümesi eğitim ve test bölünmeleri sağlanarak bu özellikleri Random Forest, Logistic Regression, Gradient Boosting veya Support Vector Machines gibi standart sınıflandırıcılarda girdi

olarak kullanılabilir ve bu şekilde risk sınıflandırma yeteneğimiz ile doğru orantılı olarak düzeneğin hassasiyetinin artırılması sağlanabilir.

Sinyallerin sınıflandırılmasında Tablo 1'de belirtilen zihinsel durum ve şartların yorgunluk, akut uyku hali ve dikkatsizlik gibi durumlarla ilişkileri göz önünde bulundurularak yararlanılabilir.

**Tablo 1:** EEG bant genişliği ve zihinsel durum ilişkisi

Dalga Çeşidi		Frekans(Hz)	Zihinsel durum ve şartlar
Delta		0.5 -4	Derin, rüyasız uyku, REM harici, bilinçsiz
Teta		4-8	Sezgisel, yaratıcı, hatırlama, hayal kurma, rüya durumu
Alfa		8-12	Rahatlamış, ama uykulu değil, bilinçli, sakin
Beta	Düşük	12-15	Sensorimotor ritim (SMR), rahat ve odaklanmış, entegrasyon
	Orta	16-20	Düşünme durumu, kendisinin ve çevrenin farkında olma
	Yüksek	21-25	Uyanıklık, heyecan durumu
Gama		>25	Motor fonksiyolar

## 5 Sonuç

Çeşitli algılayıcılar ile vücut üzerinden toplanan verilerde gerçekleştirilen analizlerle, kişilerin faaliyetlerini etkileyebilecek fiziksel ve ruhsal durumların tespiti sağlanabilir. Bu çalışmada algılayıcı olarak kullandığımız tek kanallı kuru tip elektroda sahip Neurosky Mindwave Mobile EEG cihazı aracılığıyla elde ettiğimiz biyosinyallerin işlenmiş çıktısının yorgunluk, uyku hali ve dikkatsizlik arasındaki ilişkisi dikkate alınarak takibi yapılmış ve tüm bu verilere bağımlı, gerekli odaklanma şartı sağlanmadığı sürece araç kontrolünün onaylanmadığı, böylece operatörün fiziksel, ruhsal durumu kaynaklı kazaların önlenmeye çalışıldığı pratik bir deney düzeneği kurulmuştur.

Ticari amaçla üretilmiş EEG cihazına ait donanım teknolojisi incelenerek cihazın dahil edildiği akademik çalışmalar tartışılmış, uygulamamız açısından yeterli olduğu kararına varılmıştır. Deney düzeneğinin pratiklerinde sinyaller cihaz aracılığıyla toplanarak, standart protokoller dahilinde sınıflandırılmış ve arayüz üzerine yansıtılmıştır, yine arayüz aracılığıyla mekanizmanın araç ile bağlantısı ve dikkat seviyesi şartıyla kontrol onayı için gönderilen komutun görselleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Deney uygulamalarında düzeneğin uygulanabilirliği yönünde ki hedeflenen başarı elde edilmiştir.

Yine cihaz aracılığıyla elde ettiğimiz ancak bazı işlemlerden geçmemiş ham EEG sinyalinin Python dilinde, stokastik sinyallerin sınıflandırılmasında özelliklerin çıkarımı için kullanılabilir FFT, PSD, korelasyon uygulamaları gibi çeşitli sinyal işleme tekniklerinin pratikleri gerçekleştirilerek çeşitli sağlamalar yapılmış, konunun teorisinin kavranması sağlanmıştır.

Bu süreçte gerçekleştirilen EEG sinyaline ait özellik çıkarımı amacıyla kullanılabilir FFT, PSD, korelasyon analizleri bize, sinyalleri modellemek ve sınıflandırmak için kullanılabilir bir dizi güçlü araç sunmaktadır. Çalışmamızın teori kısmında değindiğimiz ham sinyaller üzerinden özellik çıkarımı sonrası örnek veri kümesi oluşturulması ile çeşitli sınıflandırma modellerinden yararlanılarak daha başarılı risk analiz ve kontrol uygulamaları sağlayarak deney düzeneğimize dahil edebileceğimiz sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın günlük hayatta kullanılmasıyla araç kullanımına yönelik operasyon sırasında dikkatsizlik kaynaklı kaza riskinin azaltılarak güvenliğin artırılmasının yanında operatörlerin dikkatlerini toplamadaki sıkıntıları nedeniyle düşüş yaşanan iş kalitesinde de önemli ölçüde artış sağlanacağı öngörülebilir.

## Kaynaklar

- [1] Kwon, Sooyoung, et al. "Fatigue and poor sleep are associated with driving risk among Korean occupational drivers." *Journal of Transport & Health* 14 (2019): 100572. At <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100572>
- [2] Constant, Isabelle, and Nada Sabourdin. "The EEG signal: a window on the cortical brain activity." *Pediatric Anesthesia* 22.6 (2012): 539-552. At <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2012.03883.x>



- [3] Crowley, Katie, et al. "Evaluating a brain-computer interface to categorise human emotional response." *2010 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE, 2010. At <https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.81>
- [4] Sethi, Chaitanya, et al. "EEG-Based Attention Feedback to Improve Focus in E-Learning." *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence*. 2018. At <https://doi.org/10.1145/3297156.3297157>
- [5] Rieiro, Héctor, et al. "Validation of electroencephalographic recordings obtained with a consumer-grade, single dry electrode, low-cost device: A comparative study." *Sensors* 19.12 (2019): 2808. At <https://doi.org/10.3390/s19122808>
- [6] Girase, Priyanka D., and M. P. Deshmukh. "MindWave device wheelchair control." *International Journal of Science and Research (IJSR)* 5.6 (2016): 2172-2176. At <https://www.ijsr.net/archive/v5i6/NOV164722.pdf>
- [7] Morales Matamoros, Oswaldo, et al. "Neurodynamics of Patients during a Dolphin-Assisted Therapy by Means of a Fractal Intranural Analysis." *Brain Sciences* 10.6 (2020): 403. At <https://www.mdpi.com/2076-3425/10/6/403>
- [8] NeuroSky Biometric Algorithms available At <http://neurosky.com/biosensors/eeg-sensor/algorithms/>
- [9] Kantar, Tuğçe. Uyku bozukluklarına ait eeg verilerindeki geçici eeg dalga formlarının analizi. *MS thesis. Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2017. At <http://acikerisim.baskent.edu.tr/handle/11727/2656>
- [10] Ilyas, M. Z., et al. "Classification of EEG signals for brain-computer interface applications: Performance comparison." *2016 International Conference on Robotics, Automation and Sciences (ICORAS)*. IEEE, 2016. At <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7872610>



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).