

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

EEG SİNYALLERİNDE KABLOSUZ BAĞLANTI KULLANILARAK
ELEKTRONİK DEVRE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS

Ahmet AKTAY

EYLÜL-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EEG SİNYALLERİNDE KABLOSUZ BAĞLANTI KULLANILARAK
ELEKTRONİK DEVRE KONTROLÜ**

**ELECTRONIC CIRCUIT CONTROL USING WIRELESS CONNECTION ON
EEG SIGNALS**

YÜKSEK LİSANS

Ahmet AKTAY

**EYLÜL-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EEG SİNYALLERİNDE KABLOSUZ BAĞLANTI KULLANILARAK
ELEKTRONİK DEVRE KONTROLÜ**

**ELECTRONIC CIRCUIT CONTROL USING WIRELESS CONNECTION ON
EEG SIGNALS**

YÜKSEK LİSANS

Ahmet AKTAY

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL

**EYLÜL-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**EEG Sinyallerinde Kablosuz Bağlantı Kullanılarak Elektronik Devre Kontrolü**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ediyorum. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

12/09/2024

Ahmet AKTAY

TEŞEKKÜR

“EEG Sinyallerinde Kablosuz Bağlantı Kullanılarak Elektronik Devre Kontrolü” adlı çalışmam süresince yapmış olduğum çalışmalarımı denetleyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL’e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen aileme, dost ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ahmet AKTAY
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Bu çalışmada, EEG (Elektroensefalografi) sinyallerinin kablosuz bağlantı teknolojisi kullanılarak elektronik devrelerin kontrolü üzerine bir sistem geliştirilmiştir. EEG, beyindeki elektriksel aktivitenin ölçülmesi için kullanılan bir yöntemdir ve bu sinyaller, bireylerin zihin durumlarını, duygu durumlarını ve hatta motor komutlarını yansıtabilir. Bu çalışma, EEG sinyallerinin toplanması, işlenmesi ve bu verilerin kablosuz bir şekilde elektronik devrelere iletilmesi sürecini kapsamaktadır.

Sistemin temel bileşenleri arasında EEG sinyallerini toplayan bir elektrot seti, sinyalleri analiz eden ve yorumlayan bir mikro kontrolcü ve bu verileri kablosuz olarak ileten bir haberleşme modülü bulunmaktadır. Toplanan EEG sinyalleri, belirli zihinsel durumlar veya komutlarla ilişkilendirilmiş, ardından bu komutlar kablosuz bağlantı üzerinden ilgili elektronik devreye iletilmiştir. Elektronik devre, gelen komutlara göre belirli işlemleri gerçekleştirmiştir.

Çalışmanın amacı, fiziksel engelleri olan bireyler için yeni bir iletişim ve kontrol yöntemi sağlamaktır. Sonuçlar, EEG sinyallerinin doğru bir şekilde yakalanıp işlenebildiğini ve bu verilerin kablosuz olarak güvenilir bir şekilde iletilerek elektronik devrelerin etkin bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermektedir. Bu teknoloji, tıbbi rehabilitasyon (iyileştirme), insan-makine arayüzleri ve akıllı ev sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında potansiyel kullanımlara sahiptir.

Anahtar Kelimeler: EEG sinyalleri, Kablosuz bağlantı, Nöroteknoloji, Sinir Hücre aktiviteleri, Zihinsel devre kontrolü

SUMMARY

In this study, a system has been developed to control electronic circuits using EEG (Electroencephalography) signals through wireless connection technology. EEG is a method used to measure the electrical activity in the brain, and these signals can reflect individuals' mental states, emotional conditions, and even motor commands. This study encompasses the process of collecting, processing, and wirelessly transmitting EEG signals to electronic circuits.

The primary components of the system include a set of electrodes that collect EEG signals, a microcontroller that analyzes and interprets these signals, and a communication module that wirelessly transmits this data. The collected EEG signals were associated with specific mental states or commands, which were then wirelessly transmitted to the relevant electronic circuit. The electronic circuit performed certain actions based on the received commands.

The aim of the study is to provide a new method of communication and control for individuals with physical disabilities. The results demonstrate that EEG signals can be accurately captured and processed, and that this data can be reliably transmitted wirelessly to effectively control electronic circuits. This technology has potential applications in medical rehabilitation, human-machine interfaces, and smart home systems.

Keywords: EEG signals, Wireless connection, Neuro technology, Neuronal activities, Mental circuit control

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
EKLER DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beynin Yapısı ve Çalışması.....	3
1.2.1. Beynin Temel Bileşenleri	3
1.2.2. Beynin İşleyişi	6
1.3. Beynimizdeki Loplar ve İşlevleri	8
1.4. Elektroensefalogram (EEG) ve Osilasyonları (Titreşimleri-Dalgaları).....	9
1.5. EEG Ölçme Yöntemleri.....	11
1.5.1. Kablolu Yöntemler	12
1.5.2. Kablosuz Yöntemler	13
1.6. EEG Ölçümünde Kullanılan Malzemeler	15
1.6.1. Kep ve Elektrotlar.....	15
1.6.2. Yükseltici (Amplifier)	16
1.6.3. Jel ve Maske	16
1.6.4. Mobil Beyin Sinyal Sensörü.....	17
1.6.5. Bilgisayarlar.....	19
1.7. EEG Ölçümünde Kullanılan Yazılımlar.....	19
1.8. EEG Kaydının Yapılışı	21
1.9. Uyarıcılar ve Deneysel Prosedür	22
1.10. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı	23
2. MATERYAL VE METOT	32
2.1. Mobile Beyin Dalga Algılayıcılar	32

2.2. Mikrodenetleyici Kart.....	33
2.3. Bluetooth Modülü.....	35
2.4. Sürücü Devresi.....	37
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
4. BULGULAR.....	49
5. SONUÇLAR.....	55
KAYNAKÇA.....	58
EKLER.....	66
ETİK KURUL KARARI	70
ÖZGEÇMİŞ	71



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzeme listesi..... 39

Tablo 2. Erkek ve Kadın bireylerden alınan veriler 52



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Beynin çevresel etkileri algılaması	1
Şekil 2. İki sinir hücresinin birleşimi	2
Şekil 3. a) Beyin sinyal alıcı problar, b) Beyin sinyal görüntüleyici	2
Şekil 4. Beyin kabuğunun arka görünümü	3
Şekil 5. Beyin sapı görünümü	4
Şekil 6. Küçük beyin (Serebellum) gösterimi	4
Şekil 7. Arabirim Beyin (diencephalon, thalamus ve hipotalamus) yapısı	5
Şekil 8. Beyin limbik sistem	5
Şekil 9. Nöron ve Sinaps yapıları	6
Şekil 10. Beyin üzerinde gerçekleşen temsili elektriklenme yapısı	7
Şekil 11. Sinir sisteminde veri iletim yönü gösterimi	7
Şekil 12. Beynin farklı noktalarından alınan farklı elektrik dalga boyları	8
Şekil 13. Beyin loplarnın gösterimi	9
Şekil 14. Beta dalga boyları	10
Şekil 15. (a) Alfa dalga boyları, (b) Gözün durumuna göre Alfa dalga boyları	10
Şekil 16. Theta dalga boyları	10
Şekil 17. Delta dalga boyları	11
Şekil 18. Gama dalga boyları	11
Şekil 19. EEG ölçümlerinde izlenmesi gereken sistemsel bağlantı yöntemi	12
Şekil 20. EEG ölçümlerinde sinyal elektrotlarının takılacağı başlık	12
Şekil 21. 14 kanal (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) elektrotlu kablosuz beyin sinyal algılama cihazı takılışı	14
Şekil 22. Beyin sinyali almak için kullanılan kepler	15
Şekil 23. Kulak elektrotları için klips	16
Şekil 24. Beyinden alınan sinyalleri yükselten cihaz örnekleri	16
Şekil 25. Kep üzerindeki elektroda iletim kolaylaştırıcı jel uygulaması	17
Şekil 26. Çoklu elektrotlu kablosuz beyin sinyal alıcı sensör	18
Şekil 27. EEG çekimlerinde arayüz programının aldığı sinyallerin gösterimi	20
Şekil 28. MatLab programı içerisinde alınan sinyallerin işletilmesi	21
Şekil 29. EEG sinyallerinin 30 kanal üzerindeki farklı görünüşleri	22
Şekil 30. Tek elektrotlu beyin dalga sinyal alıcı sensörü	32
Şekil 31. Mikrodenetleyici kartlar, a) Arduino, b) Deneyap Kart, c) Raspberry Pi	34

Şekil 32. Bluetooth modülü	36
Şekil 33. Motor sürücü devresi	37
Şekil 34. Bir elektrotlu NeuroSky MindWave Mobile2 beyin dalga sinyal algılayıcı ..	40
Şekil 35. Arduino UNO mikro denetleyici kart	40
Şekil 36. HC-05 bluetooth modülü	41
Şekil 37. Üç renk için LED görseli	42
Şekil 38. Kullanılan 220 ohm %5 toleranslı direnç	43
Şekil 39. Direnç değerlerinin hesaplanma tekniği	43
Şekil 40. Devrenin TinkerCad programıyla çizimi	44
Şekil 41. Devrenin bağlantı şema görünümü	45
Şekil 42. Bluetooth ayarı için Arduino bağlantı şekli	45
Şekil 43. Arduino kart içerisine yazılan kodlar.....	46
Şekil 44. Hazır veri seti kullanılarak oluşturulan grafik.	49
Şekil 45. Çalışmadan alınan verilerin grafiksel gösterimi	50
Şekil 46. Çalışmada beyin sinyaliyle LED yakımı	51
Şekil 47. Arduino Seri Port ekranının bilgisayarda gösterilmesi	51

EKLER DİZİNİ

Ek 1. EEG Sinyalleriyle Kontrol Edilen Devreni Arduino Kodu	65
Ek 2. Etik Kurul İzni	69



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım (Alternating Current)
API	: Application Programming Interface
AT	: ATmega Mikrodenetleyici (ATmega328, ATmega2560 vb.)
BBA	: Beyin-Bilgisayar Arayüzü
BCI	: Brain-Computer Interface
BLE	: Bluetooth Low Energy
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EEG	: Elektroensefalografi
EEGLAB	: Elektroensefalografi Laboratuvarı
EOG	: Elektrookülografi
IAC	: Interpret as Command
INQM	: Sorgulama Parametreleri (Inquiry Parameters)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
MATLAB	: Matris Laboratuvarı (Matrix Laboratory)
MEG	: Magnetoensefalografi
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
PSWD	: Password
R	: Resistance (ohm)
SDK	: Software Development Kit
SPSS	: Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences)
UART	: Evrensel Asenkron Alıcı-Verici" (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
V	: Volt
μ V	: Mikro Volt
Ω	: Ohm

1. GENEL BİLGİLER

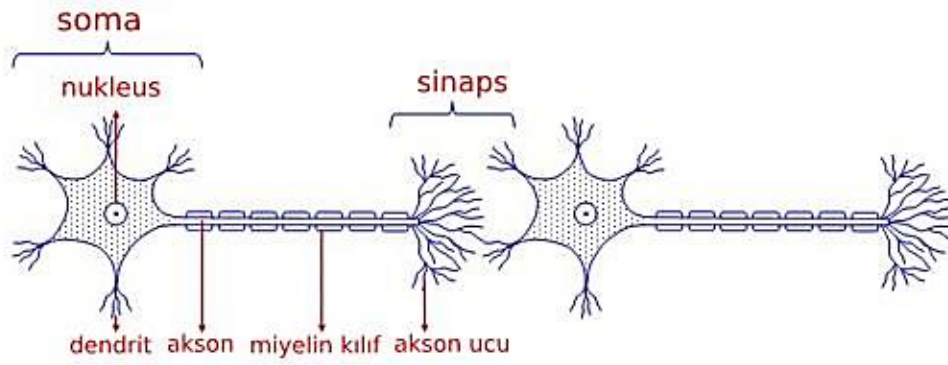
1.1. Giriş

Beyin sinyalleri konusu oldukça ilgi çekici ve karmaşık bir alandır. Beyin sinyalleri, insan beyninin faaliyetlerini ileten elektriksel ve kimyasal işaretlerdir (Hardalaç vd., 2020; Çevik, 2020; Bulut, 2018). Bu sinyaller, düşünme, duygusal tepkiler, hareket kontrolü gibi birçok zihinsel ve fiziksel aktiviteyi yönlendiren temel unsurlardır (Şekil 1). Beyin sinyallerini anlamak, nörobilim, tıp, bilgisayar bilimi ve teknoloji alanları için büyük önem taşımaktadır (Uyar vd., 2012; Yarman Vural vd., 2014).



Şekil 1. Beynin çevresel etkileri algılaması (URL-1, 2022).

Beyin sinyalleri, nöron adı verilen sinir hücrelerinin etkileşimi sonucu oluşur. Nöronlar, birbirleriyle bağlantı kurarak büyük ağlar oluştururlar ve elektriksel yüklerini kimyasal ve elektriksel olarak ileterek iletişim kurarlar (Uzun vd., 2019). Bu iletişim, sinir hücrelerinin birbirleriyle etkileşime geçtiği sinaps adı verilen bölgelerde gerçekleşir (Şekil 2).



Şekil 2. İki sinir hücresinin birleşimi (URL-2, 2024).

Elektroensefalografi (EEG), Magnetoensefalografi (MEG), Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI) gibi tekniklerle beyin sinyalleri ölçülebilir. EEG, scalp (kafa derisi) üzerinde elektrotlar kullanarak beyin yüzeyindeki elektriksel aktiviteyi kaydeder (Şekil 3a). MEG ise beyin tarafından üretilen zayıf manyetik alanları ölçerek aktiviteyi belirler (Karaçay, 2010). MRI, beyin dokusunun kesitsel görüntülerini elde ederek, farklı bölgelerin aktivitesi hakkında bilgi sağlar (Şekil 3b).



(a)

(b)

Şekil 3. a) Beyin sinyal alıcı probalar (URL-3, 2023), b) Beyin sinyal görüntüleyici (Sarraf ve Sun, 2016).

Beyin sinyallerinin anlaşılması ve yorumlanması, çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Tıpta, beyin sinyalleri hastalıkların teşhisi, tedavisi ve izlemesi için kullanılır (Düzgün, 2016; Tüfekçi ve Oyman, 2020; Öztekin, 2004; Yıldız, 2020; Handryastuti vd., 2018). Örneğin, epilepsi krizlerinin izlenmesi, zihinsel hastalıkların tanısı ve rehabilitasyon amaçları için beyin sinyalleri kullanılabilir. Aynı zamanda, beyin-bilgisayar arayüzleri (BCI) gibi teknolojilerde beyin sinyalleri, düşünceleri doğrudan

bilgisayar komutlarına çevirmek veya fiziksel hareketleri kontrol etmek için kullanılabilir (Tülay,2009).

Beyin sinyalleri, insan zihninin karmaşıklığını anlamamıza ve daha iyi tanımamıza yardımcı olan temel verileri sağlar. Bu alandaki ilerlemeler, gelecekte nörolojik hastalıkların tedavisini iyileştirebilecek, bilişsel yetenekleri artırabilecek ve insan-makine etkileşimini daha da geliştirebilecek potansiyele sahiptir.

1.2. Beynin Yapısı ve Çalışması

Beyin, merkezi sinir sisteminin en karmaşık ve önemli organıdır. Vücudun kontrol merkezi olarak görev yapar, duysal bilgileri işler, düşünceyi ve duygusal tepkileri üretir, motor hareketleri düzenler ve daha birçok karmaşık işlevi yerine getirir (Gözüyeşil ve Dikici, 2014; Ersoy ve Karal, 2012; Demir vd., 2018; Günay ve Ensari, 2017; Köse, 2010).

1.2.1. Beynin Temel Bileşenleri

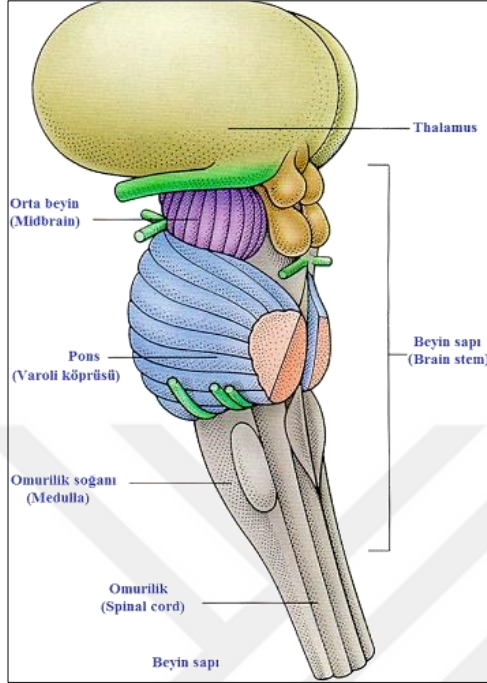
Beyin, farklı işlevlere sahip birçok farklı bölüme sahip karmaşık bir organdır. Her bölüm, belirli bir işlevi yerine getirmek ve belirli türde bilgi işlemek için özelleştirilmiştir. İşte beynin temel bölümleri (Severcan ve Ergün, 2013):

Beyin Kabuğu (Korteks): Beynin en dış kısmını kaplayan kısım olan beyin kabuğu, karmaşık bilişsel işlevleri, duysal algıları, düşünce süreçlerini ve karar verme süreçlerini içerir (Şekil 4). Beyin kabuğu, çeşitli bölgelerden oluşur ve her bir bölge belirli işlevlerle ilişkilendirilmiştir (Türk,1998; Temur vd., 2007; Öztürk Ova, 2011; Tarlacı, 2023).



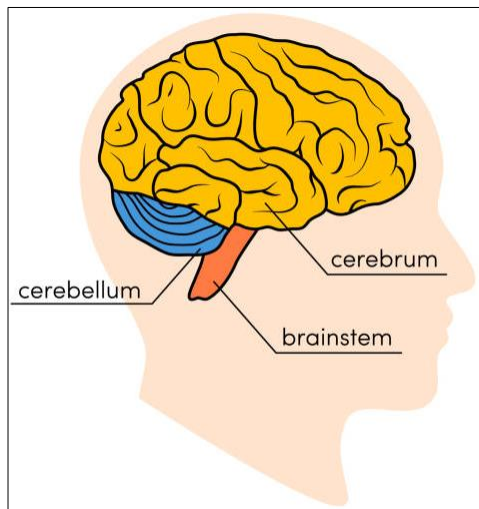
Şekil 4. Beyin kabuğunun arka görünümü (URL-4, 2023).

Beyin Sapı: Beyin sapı, beyin ve omurilik arasında bir iletişim köprüsü görevi görür (Şekil 5). Otomatik işlevleri düzenler, solunum, dolaşım ve sindirim gibi temel yaşamsal fonksiyonları kontrol eder (Velioğlu, 2017; Bekar vd., 2019; Bozkurt ve Elmacı, 2020).



Şekil 5. Beyin sapı görünümü (URL-5, 2022).

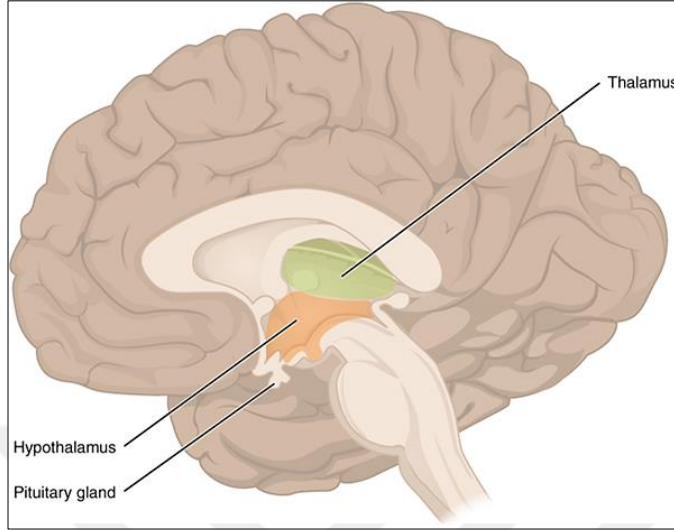
Serebellum (Küçük Beyin): Serebellum, denge, koordinasyon ve hareket kontrolünden sorumlu bir bölümdür (Şekil 6). Hareketlerin düzenlenmesinde ve kasların doğru bir şekilde çalışmasında önemli bir rol oynar (Gürses, 2021).



Şekil 6. Küçük beyin (Serebellum) gösterimi (URL-6, 2023).

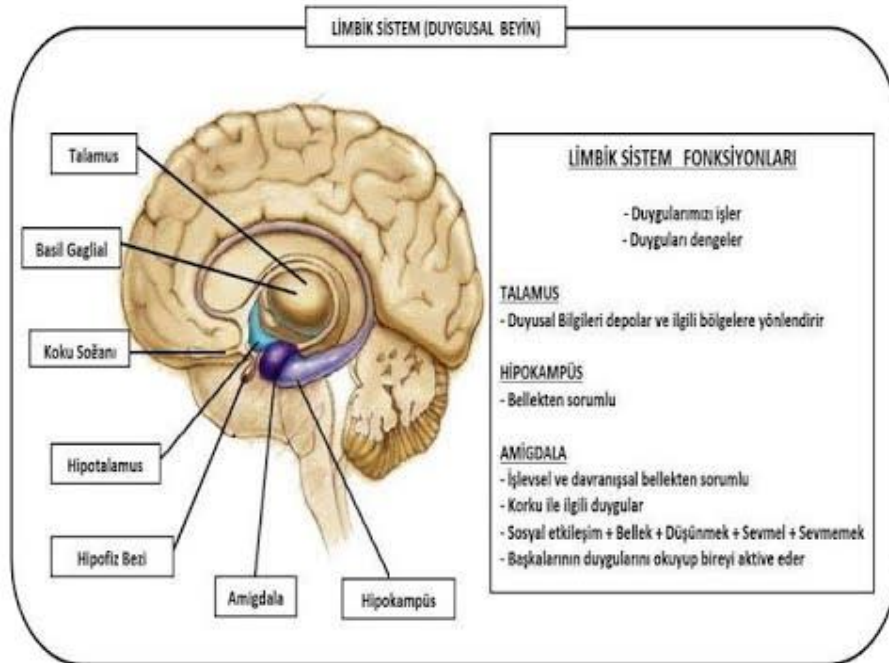
Diencephalon (Arabirim Beyin): Diencephalon, thalamus ve hipotalamus gibi yapıları içerir. Thalamus, duyuşal girdileri işler ve beyine iletilmesini düzenler (Şekil 7).

Hipotalamus, sıcaklık, açlık, susuzluk gibi temel iç denge ve hormonal düzenlemeleri kontrol eder (Bozkurt ve Çirak, 2020; Önder ve Göktepe, 2022;İrsalina ve Sugianto, 2021).



Şekil 7. Arabirim Beyin (diencephalon, thalamus ve hipotalamus) yapısı (URL-7, 2024)

Limbik Sistem: Limbik sistem, duygusal tepkileri, öğrenmeyi ve belleği düzenler (Şekil 8). Hipotalamus, amigdala ve hipokampus gibi yapıları içerir (Doruk ve Uzun, 1997; Çengelci, 2007).



Şekil 8. Beyin limbik sistem (URL-8, 2023)

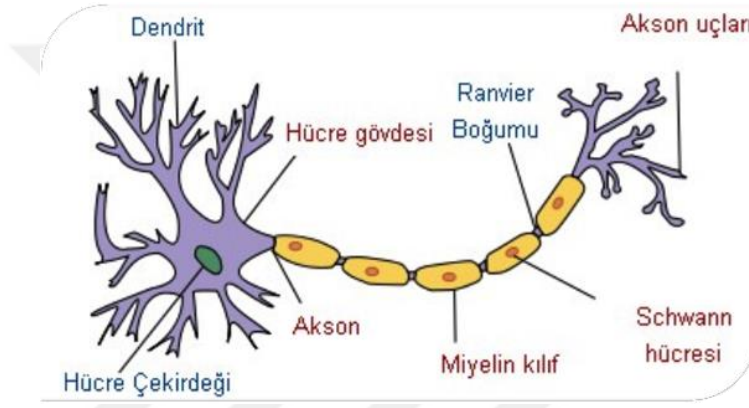
Beyin Yarımküreleri: Beyin, sağ ve sol olmak üzere iki yarımküreden oluşur. Her yarımküre farklı işlevleri yerine getirir. Sağ yarımküre genellikle uzamsal yetenekleri ve

sanatsal yaratıcılığı kontrol ederken, sol yarımküre dil işlevleri gibi analitik ve mantıksal işlevleri üstlenir (Fırat ve Günenç Beşer, 2021).

Bu beyin bölgeleri, birlikte çalışarak karmaşık düşünce süreçlerini, duygusal tepkileri, motor kontrolü ve diğer birçok işlevi yerine getirir. Her bölümün belirli bir rolü vardır ve bu bölgeler arasındaki etkileşim kompleks bir beyin aktivitesi ağı oluşturur.

1.2.2. Beynin İşleyişi

Nöronlar ve Sinapslar: Beyin hücreleri olan nöronlar, bilgi iletiminde temel rol oynar. Nöronlar arasında iletişim, sinaps adı verilen bağlantı noktaları aracılığıyla gerçekleşir. Sinapslarda nörotransmitter adı verilen kimyasallar kullanılarak elektriksel sinyaller kimyasal sinyallere dönüştürülür (Şekil 9).



Şekil 9. Nöron ve Sinaps yapıları (URL-9, 2024)

Elektriksel İletişim: Nöronlar arasındaki iletişim elektriksel sinyallerle sağlanır. Bir nöronun uyarılmasıyla, hücre zarındaki iyonların hareketi sonucu elektriksel potansiyel değişiklikleri oluşur (Şekil 10). Bu, sinir hücresi boyunca hızla yayılan bir aksiyon potansiyeli olarak adlandırılır (Toyran vd., 2011).



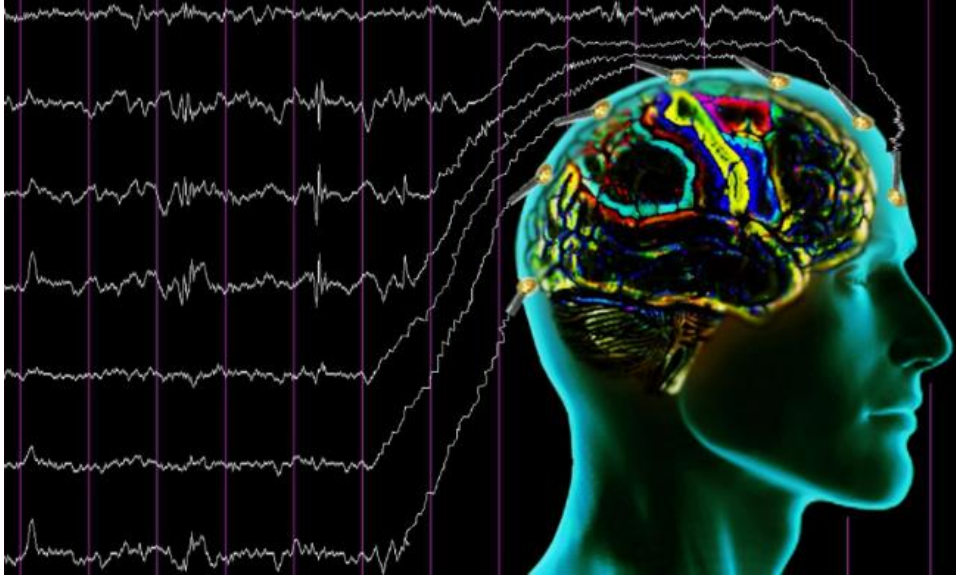
Şekil 10. Beyin üzerinde gerçekleşen temsili elektriklenme yapısı (URL-10, 2024)

Sinir İletimi: Nöronlar arasındaki iletişim nörotransmitterlerle gerçekleşir. Aksiyon potansiyeli bir nöronun sonundaki sinaptik boşlukta nörotransmitterlerin salınmasına neden olur (Şekil 11). Bu kimyasal mesajlar, sinirsel iletişimi diğer nöronlara veya hedef hücrelere taşır (Özcan, 2014).



Şekil 11. Sinir sisteminde veri iletin yönü gösterimi (URL-11, 2024)

Beyin Dalgaları: EEG gibi yöntemlerle kaydedilen beyin dalgaları, beyin aktivitesini ölçmek için kullanılır (Şekil 12). Beyin dalgaları, farklı frekansta titreşen elektriksel aktivitelerdir ve farklı dalgalar farklı bilişsel işlevlerle ilişkilendirilir (Demiralp, 2013).



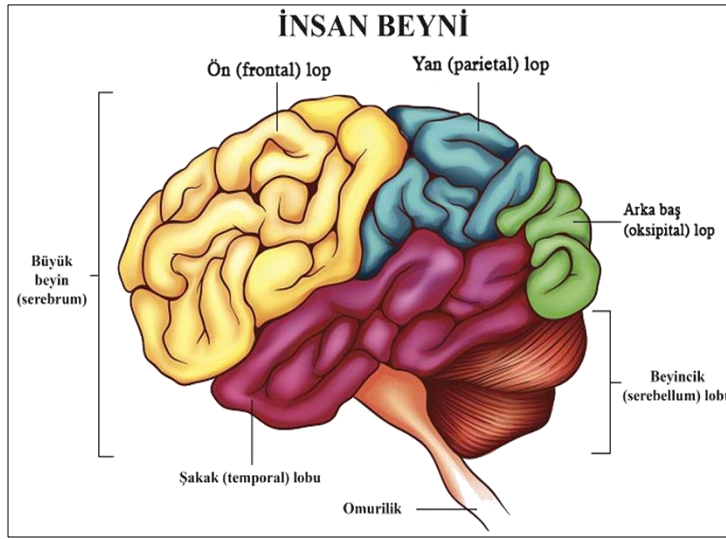
Şekil 12. Beynin farklı noktalarından alınan farklı elektrik dalga boyları (URL-12, 2023)

Beynin işleyişi son derece karmaşıktır ve hala birçok yönü tam olarak anlaşılmamıştır. Ancak, nöro bilim araştırmaları ve gelişen teknoloji sayesinde beyin fonksiyonlarının daha iyi anlaşılması için sürekli olarak çalışılmaktadır.

1.3. Beynimizdeki Loblar ve İşlevleri

Beyin kabuğu farklı loblar ve bölgelerden oluşur, her biri Şekil 13’te gösterildiği gibi belirli işlevlerle ilişkilendirilir (Bear vd., 2020).

- Ön (Frontal) Lob: Düşünce kontrolü, karar verme, motor hareketleri ve kişilik gibi karmaşık işlevleri düzenler.
- Yan (Parietal) Lob: Dokunsal ve uzamsal bilgilerin işlenmesi, bedenin konumunun anlaşılması gibi işlevleri üstlenir.
- Şakak (Temporal) Lob: İşitme, hafıza ve dil işlevleri ile ilişkilidir.
- Arka Baş (Occipital) Lob: Görsel işleme ve görme işlevlerini düzenler.



Şekil 13. Beyin loplarının gösterimi (URL-13, 2023)

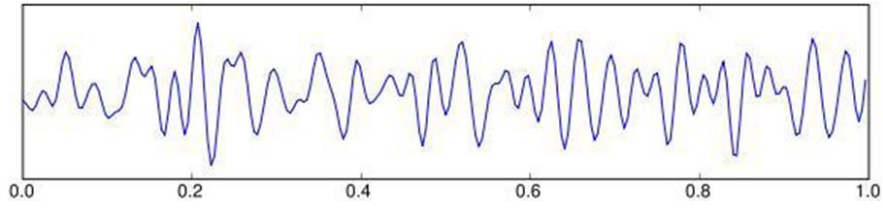
1.4. Elektroensefalogram (EEG) ve Osilasyonları (Titreşimleri-Dalgaları)

Elektroensefalogram (EEG), beyin aktivitesinin elektriksel faaliyetlerini kaydeden bir tıbbi test ve teşhis yöntemidir. Bu yöntemde, beyin yüzeyine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla beyin aktivitesindeki elektriksel değişikliklerin ölçümü yapılır. EEG, beyin fonksiyonlarını değerlendirmek, nörolojik bozuklukları teşhis etmek, epilepsi nöbetlerini izlemek ve uyku araştırmaları gibi birçok farklı klinik ve araştırma amaçlı kullanılır (Sanei ve Chambers, 2021).

EEG'nin temel amacı, beyin aktivitesinin dalgalar halindeki elektriksel aktivitesini yakalamak ve kaydetmektir. Bu dalgalar, nöronlar arasındaki iletişimin sonucunda oluşur. EEG cihazı, elektrotlar aracılığıyla beyin yüzeyindeki elektriksel aktiviteyi ölçer. Bu elektrotlar, deriye temas eden bir yapışkan yüzey veya elektrot şapkası ile yerleştirilir.

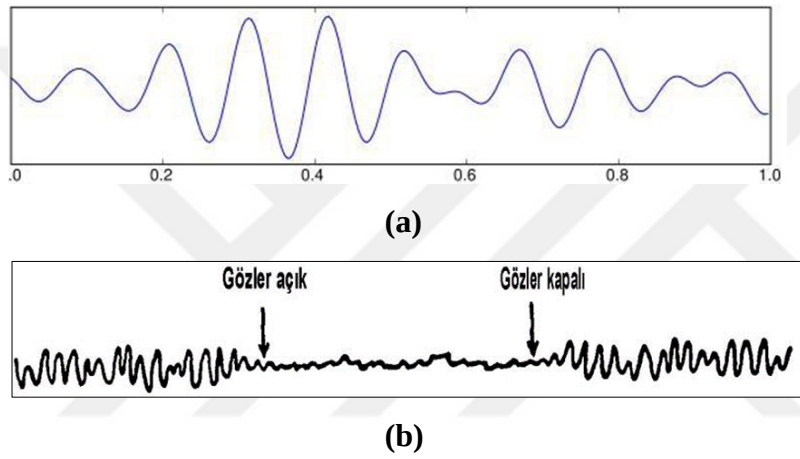
Elektroensefalogram (EEG) ölçümleri sırasında kaydedilen beyin aktivitesi, farklı frekansta titreşen elektriksel osilasyonlar veya dalgalar halinde görüntülenir. Bu osilasyonlar, beyin hücrelerinin elektriksel etkileşimlerinin sonucunda oluşur. Farklı türdeki EEG osilasyonları, belirli zihinsel durumlar, uyanıklık seviyeleri ve bilişsel işlevlerle ilişkilendirilmiştir (Aydemir ve Kayıkçıoğlu, 2009; Bear vd., 2020). Temel EEG osilasyonlarının türleri:

- Beta Dalgaları (13-30 Hz): Beta dalgaları, yüksek uyanıklık seviyelerinde ve dikkat gerektiren görevlerde görülür (Şekil 14). Zihinsel aktivite, düşünme, problem çözme ve hızlı bilgi işleme anlarında artar. Ayrıca motor hareketleri sırasında da artış gösterebilir (Bear vd., 2020).



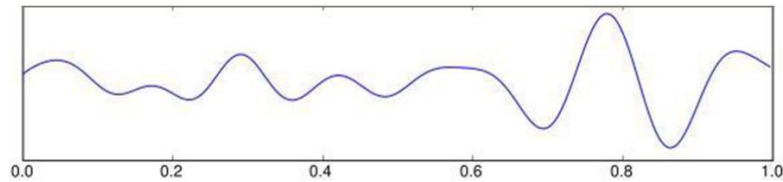
Şekil 14. Beta dalga boyları (Tülay, 2009)

- Alfa Dalgaları (8-13 Hz): Alfa dalgaları, gözler kapalı durumda ve dinlenme anlarında görülür (Şekil 15). Gevşeme, gözlerin kapalı olduğu sakin anlar ve meditasyon sırasında artar. Alfa dalgaları, zihinsel istirahat durumunu temsil edebilir (Bear vd., 2020).



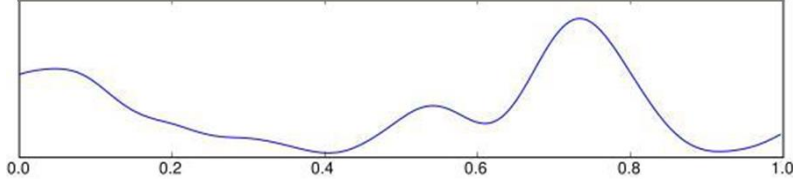
Şekil 15. (a) Alfa dalga boyları, (b) Gözün durumuna göre Alfa dalga boyları (Tülay, 2009)

- Theta Dalgaları (4-7 Hz): Theta dalgaları, hafif uyku aşamaları, uykuya dalma anları ve yavaş dalgalarla karakterize edilen bir rüya aşaması olan REM (Rapid Eye Movement) uykusu sırasında görülür (Şekil 16). Ayrıca yaratıcılık ve hayal gücü ile ilişkilendirilir (Bear vd., 2020).



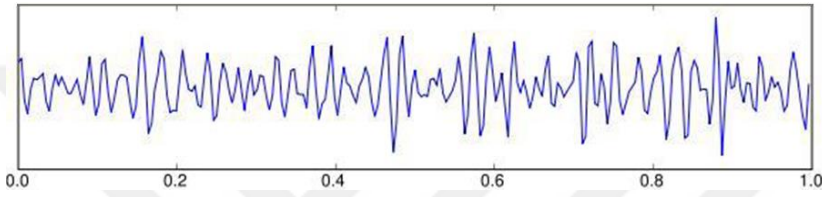
Şekil 16. Theta dalga boyları (Tülay, 2009)

- Delta Dalgaları (0.5-4 Hz): Delta dalgaları, derin uyku aşamalarında görülür. Hücresel onarım ve dinlenme süreçleriyle ilişkilendirilir (Şekil 17). Ayrıca birçok beyin hasarı veya bozukluğu durumunda da artış gösterebilir (Bear vd., 2020).



Şekil 17. Delta dalga boyları (Tülay, 2009)

- Gama Dalgaları (30-100 Hz): Gama dalgaları, yüksek zihinsel aktivite, dikkat ve hızlı bilgi işleme ile ilişkilendirilir (Şekil 18). Karmaşık düşünce süreçlerinde, farkındalıkta ve bilinçte rol oynayabilir (Bear vd., 2020).



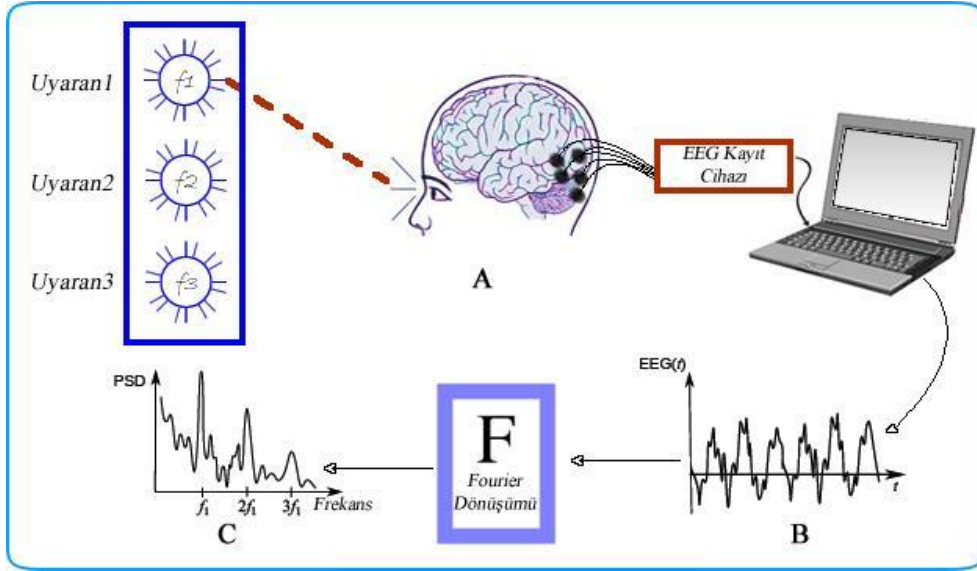
Şekil 18. Gama dalga boyları (Tülay, 2009)

Bu osilasyonlar, beyin aktivitesinin farklı yönlerini yansıtan frekansta titreşen elektriksel sinyallerdir. Farklı osilasyon türleri, beyin fonksiyonlarının farklı yönlerini yansıtarak, uyanıklık seviyelerini, duygusal durumları, düşünce süreçlerini ve daha birçok işlevi yansıtabilir. EEG osilasyonları, nörolojik araştırmalar, uyku çalışmaları, zihinsel sağlık değerlendirmeleri ve beyin-bilgisayar arayüzleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yener ve Güntekin, 2021).

EEG kaydı, beyin aktivitesindeki değişiklikleri incelemek, nörolojik bozuklukları tanılamak ve tedavi süreçlerini takip etmek için kullanılır. Özellikle epilepsi nöbetlerinin teşhisinde ve izlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. EEG, beyin-bilgisayar arayüzleri (BCI) gibi teknolojilerde de kullanılarak beyin aktivitesini çeşitli uygulamalar için kontrol etmekte ve yorumlamakta kullanılır (Satapathy vd., 2019).

1.5. EEG Ölçme Yöntemleri

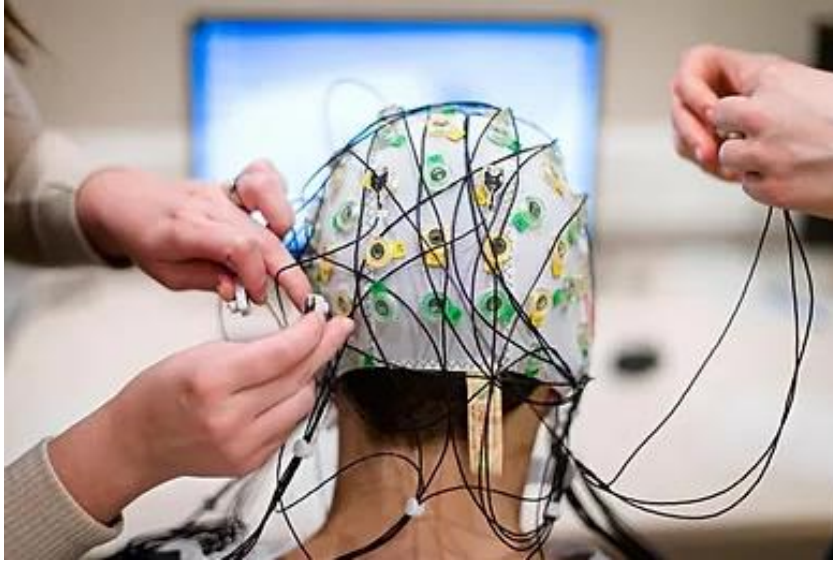
EEG (Elektroensefalografi), beyin aktivitesini ölçmek ve kaydetmek için kullanılan bir yöntemdir. Beyin aktivitesinin elektriksel aktiviteyi yakalamak amacıyla kullanılan bu yöntemin farklı alt tipleri ve ölçme yöntemleri bulunmaktadır (Şekil 19). Ölçüm yöntemlerinin kablolu ve kablosuz olmak üzere iki kısımda incelenebilir (Taywade ve Raut, 2014).



Şekil 19. EEG ölçümlerinde izlenmesi gereken sistemsel bağlantı yöntemi (URL-14, 2023)

1.5.1. Kablolu Yöntemler

Kablolu EEG ölçme yöntemleri, beyin aktivitesini ölçmek ve kaydetmek için elektrotların kablolu olarak bağlandığı yöntemlerdir (Şekil 20). Bu yöntemlerde elektrotlar, kablolar aracılığıyla ölçüm cihazına veya veri kaydediciye bağlanır (Kayıkçıoğlu vd., 2018).



Şekil 20. EEG ölçümlerinde sinyal elektrotlarının takılacağı başlık (URL-15, 2023)

- Yüzey EEG (sEEG): Yüzey EEG, en yaygın kullanılan kablolu EEG ölçme yöntemidir. Deri üzerine yerleştirilen elektrotlar ve bu elektrotları bağlayan kablolar aracılığıyla beyin aktivitesinin elektriksel aktivitesi kaydedilir. Elektrotlar, skalp (saçlı

deri) üzerine yerleştirilir ve farklı bölgeleri temsil eden bir düzen kullanılır. Bu elektrotlar, kablolarla EEG cihazına bağlanır.

- İnvaziv EEG (iEEG): İnvaziv EEG yönteminde elektrotlar doğrudan beyin yüzeyine veya beyin içine yerleştirilir. Bu elektrotlar daha sonra kablolarla kaydedici cihaza bağlanır. Bu yöntem genellikle cerrahi operasyonlar sırasında kullanılır ve daha yüksek çözünürlüklü veriler sağlar.

- Yüzey Elektrot Şapkası (EEG Cap): Bu yöntemde, elektrotlar önceden tasarlanmış bir elektrot şapkasına yerleştirilir. Elektrotlar farklı skalp bölgelerini kaplayacak şekilde düzenlenir. Bu şekilde bir düzen, beyin aktivitesinin geniş bir yüzeyini ölçmeyi sağlar. Elektrotlar kablolarla şapka üzerindeki bağlantı noktalarına bağlanır.

- Kullanıcıya Özgü EEG Bağlantısı: Bu yöntemde, ölçüm yapılacak kişiye özel olarak elektrotların yerleştirildiği bir düzen oluşturulur. Elektrotlar doğrudan kişinin kafasına yerleştirilir ve bu elektrotlar kablolarla kaydedici cihaza bağlanır.

Kablolu EEG ölçme yöntemleri, elektrotların kablolar aracılığıyla bağlandığı geleneksel yöntemlerdir. Kablolar, elektrotların beyin aktivitesini cihaza ilettiği ve kaydettiği arayüzü sağlar. Bu yöntemler, beyin aktivitesini ölçmek ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

1.5.2. Kablosuz Yöntemler

Kablosuz EEG ölçme yöntemleri, beyin aktivitesini ölçmek ve kaydetmek için geleneksel kablolu bağlantılara ihtiyaç duymadan kablosuz iletişim teknolojilerini kullanarak veri ileten yöntemlerdir(Şekil 21). Bu yöntemler, hareketlilik ve konfor açısından avantaj sağlar (İlgın ve Duru 2015). İşte kablosuz EEG ölçme yöntemlerinden bazıları:



Şekil 21. 14 kanal (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) elektrotlu kablosuz beyin sinyal algılama cihazı takılışı (URL-16, 2023)

- **Kablosuz Elektrot Şapkası (Wireless EEG Cap):** Geleneksel elektrot şapkası gibi çalışır, ancak elektrotlar ve sensörler kablosuz bağlantı teknolojileri ile veri ileterek kullanılır. Elektrotlar, sensörler ve şapka üzerindeki alıcı cihaz arasında kablosuz iletişim kurarak beyin aktivitesi verilerini kaydeder ve aktarır.
- **Kablosuz Taşınabilir EEG Cihazları:** Taşınabilir kablosuz EEG cihazları, kullanıcının kendi başına beyin aktivitesini ölçmesini sağlar. Bu cihazlar, elektrotlara sahip sensörlerin entegre edildiği taşınabilir cihazlardır. Veri, kablosuz teknolojilerle kaydediciye veya akıllı telefona iletilir.
- **Kablosuz İşaret İşleme Üniteleri:** Kablosuz işaret işleme üniteleri, geleneksel elektrotlara ek olarak işlem gücüne sahip üniteleri içerir. Bu üniteler, beyin aktivitesini işleyebilir ve sıkıştırabilir, böylece sadece işlenmiş veriler kablosuz olarak iletilir.
- **Bluetooth ve WiFi Tabanlı Kablosuz Bağlantılar:** Bluetooth veya WiFi gibi kablosuz iletişim protokolleri, beyin aktivitesi verilerini kaydedici cihaza kablosuz olarak ileten yöntemler olarak kullanılabilir.
- **EEG Şapka Üzerindeki Verici Sensörler:** EEG şapka üzerindeki özel verici sensörler, beyin aktivitesini kablosuz olarak iletebilir. Bu sensörler, elektriksel aktiviteyi ölçmek ve kablosuz iletişim sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Kablosuz EEG ölçme yöntemleri, hastaların ve katılımcıların rahatlığını artırarak daha doğal ortamlarda veri toplanmasını sağlar. Bu yöntemler, hasta monitörlemesi, beyin-bilgisayar arayüzleri ve daha birçok uygulama alanında kullanılır. Kablosuz EEG teknolojisi, alanında önemli bir gelişme alanı olmuştur ve daha fazla taşınabilirlik ve kullanılabilirlik sağlama potansiyeline sahiptir.

1.6. EEG Ölçümünde Kullanılan Malzemeler

1.6.1. Kep ve Elektrotlar

EEG (Elektroensefalografi) ölçümünde kullanılan kep (cap), beyin dalgalarını ölçmek için elektrotların kafa derisine tutturulmasını sağlayan bir araçtır(Şekil 22). Bu kepler, elektrotları doğru pozisyonlarda sabit tutarak güvenilir ve tekrarlanabilir EEG verilerinin elde edilmesini sağlar. Kepler genellikle esnek ve hafif malzemelerden yapılır. Elastik kumaşlar, silikon veya neopren gibi malzemeler yaygın olarak kullanılır. Bu malzemeler, kullanıcıya rahatlık sağlarken elektrotların yerinde kalmasını da temin eder.Çeşitli tipte kep ve elektrotlar mevcuttur ve kullanım amacına göre değişebilir (Yamada ve Meng, 2009).



Şekil 22. Beyin sinyali almak için kullanılan kepler (URL-17, 2024)

Kulak elektrotları, EEG (Elektroensefalografi) ölçümlerinde referans veya topraklama elektrotu olarak kullanılan, kulak memelerine yerleştirilen özel elektrotlardır. (Şekil 23). Genellikle gümüş/gümüş klorid (Ag/AgCl) kaplamalı olan bu elektrotlar, düşük empedans ve yüksek iletkenlik sağlamak amacıyla iletken jel ile birlikte kullanılır. Kulak elektrotları, kulak memelerinin doğal kıvrımlarına uyacak şekilde tasarlanmıştır ve kullanıcının rahatsızlık hissetmemesi için yumuşak pedlerle donatılmıştır. Bu elektrotlar, kafa derisi elektrotlarının ölçüm yaptığı beyin aktivitelerine karşılık, referans noktası oluşturur ve bu sayede EEG sinyallerinin daha doğru ve stabil bir şekilde kaydedilmesini sağlar. Kulak elektrotlarının doğru yerleştirilmesi ve güvenli bir şekilde sabitlenmesi, ölçümlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır.



Şekil 23. Kulak elektrotları için klips (URL-18, 2024).

1.6.2. Yükseltici (Amplifier)

EEG yükselticisi, beyin elektriksel aktivitelerinin (beyin dalgalarının) ölçülmesinde kullanılan çok düşük voltajlı biyopotansiyel sinyalleri algılayıp güçlendiren bir cihazdır (Şekil 24). Tipik olarak mikrovolt (μV) düzeyindeki bu sinyaller, çevresel gürültü ve vücut hareketlerinden kaynaklanan artefaktlardan etkilenebilir. EEG yükselticisi, bu zayıf sinyalleri anlamlı ve analiz edilebilir bir forma dönüştürmek için yüksek kazançlı amplifikasyon sağlar ve aynı zamanda gürültü filtresi ile sinyalin netliğini artırır. Modern EEG yükselticileri, çoğu zaman diferansiyel amplifikasyon kullanarak iki elektrot arasındaki potansiyel farkını ölçer, böylece ortak mod gürültüyü azaltır ve sinyal-gürültü oranını iyileştirir. Bu cihazlar, biyomedikal araştırmalarda, nörolojik tanılarda ve beyin-bilgisayar arayüzleri gibi uygulamalarda kritik öneme sahiptir (Chi, 2015).



Şekil 24. Beyinden alınan sinyalleri yükselten cihaz örnekleri (URL-19, 2024)

1.6.3. Jel ve Maske

EEG kep jeli, elektroensefalografi (EEG) ölçümlerinde elektrotların kafa derisine düzgün bir şekilde temas etmesini ve yüksek kaliteli sinyal iletimini sağlamak için kullanılan iletken bir maddedir (Şekil 25). Bu jel, elektrotlar ile deri arasında oluşabilecek

hava boşluklarını doldurarak elektriksel direnci azaltır ve böylece daha net ve güvenilir beyin dalgası kayıtları elde edilmesini sağlar. Genellikle su bazlı olan bu jel, cilt dostu ve hipoalerjenik özelliklere sahip olup, kullanıcıların cildine zarar vermeden uzun süreli EEG ölçümlerinde kullanılabilir. Ayrıca, jel uygulaması, elektrotların yerinde sabit kalmasına yardımcı olarak hareket kaynaklı artefaktları azaltır. Kullanım sonrasında kolayca temizlenebilen EEG kep jeli, elektrotların etkinliğini artırarak daha doğru ve tutarlı EEG verileri elde edilmesine katkıda bulunur.



Şekil 25. Kep üzerindeki elektroda iletim kolaylaştırıcı jel uygulaması (URL-20, 2024)

1.6.4. Mobil Beyin Sinyal Sensörü

Mobil beyin sinyal sensörleri, EEG (Elektroensefalografi) teknolojisinin taşınabilir ve kullanıcı dostu bir versiyonudur. Kişilerin günlük aktiviteleri sırasında beyin aktivitelerini ölçmelerine olanak tanır (Şekil 26). Bu sensörler, geleneksel EEG cihazlarına kıyasla daha kompakt ve hafif olup, genellikle kablosuz bağlantı özellikleri ile donatılmıştır, bu da verilerin gerçek zamanlı olarak mobil cihazlara veya bilgisayarlara aktarılmasını sağlar. Gelişmiş algoritmalar ve entegre mikroelektronik sistemler sayesinde, mobil beyin sinyal sensörleri, düşük güçlü sinyalleri algılayıp amplifiye ederek yüksek doğrulukta beyin dalgası verisi sağlar. Kullanım alanları arasında nörolojik araştırmalar, kişisel sağlık takibi, meditasyon ve rahatlama uygulamaları, beyin-bilgisayar arayüzleri ve oyun endüstrisi bulunur. Taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı sayesinde, mobil beyin sinyal sensörleri, EEG teknolojisinin daha geniş bir kullanıcı

kitlesine ulaşmasına ve günlük yaşamda daha pratik bir şekilde uygulanmasına olanak tanır (Tabakçioğlu ve Ülker, 2018).



Şekil 26. Çoklu elektrotlu kablosuz beyin sinyal alıcı sensör (URL-21, 2024)

Mobil beyin sinyal sensörleri hakkında temel bilgiler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

EEG (Elektroensefalografi): EEG, bir kişinin beyin aktivitesini ölçmek için kullanılan bir tekniktir. Mobil cihazlarda, özellikle taşınabilir EEG başlıkları veya elektrotlar aracılığıyla beyin dalgalarını kaydeden küçük cihazlar kullanılarak EEG verileri toplanabilir. Bu veriler daha sonra bir mobil uygulama veya bilgisayar programı üzerinden analiz edilebilir. EEG sensörleri, nörobilim araştırmaları, beyin-bilgisayar arayüzü geliştirmesi ve meditasyon gibi birçok farklı uygulamada kullanılır (Uyulan vd., 2019).

Beyin – Bilgisayar Arayüzü (Brain-ComputerInterface – BCI): BCI, beyin aktivitesini algılayan ve bu sinyalleri bilgisayar veya diğer cihazlarla etkileşimde bulunmak için kullanılan bir teknolojiyi ifade eder. Mobil BCI uygulamaları, örneğin bir kişinin düşüncelerini kullanarak bir tekerlekli sandalyeyi kontrol etmesine veya bir oyunu oynamasına izin vermek gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir (Rezeika vd., 2018).

Mobil Uygulamalar: Birçok mobil uygulama, EEG sensörleri veya BCI teknolojisi ile çalışan beyin aktivitesini ölçen ve kullanabilen uygulamalar geliştirmiştir. Bu uygulamalar, stres azaltma, konsantrasyon artırma, uyku düzenleme ve bilişsel antrenman gibi farklı kullanım amaçlarına hizmet edebilir.

Sinyal İşleme: Beyin sinyalleri genellikle karmaşık ve gürültülüdür, bu nedenle bu sinyallerin işlenmesi ve yorumlanması için sinyal işleme teknikleri kullanılır. Mobil beyin sinyal sensörleri, bu tür işleme ve analiz için geliştirilmiş yazılımlarla entegre olabilir.

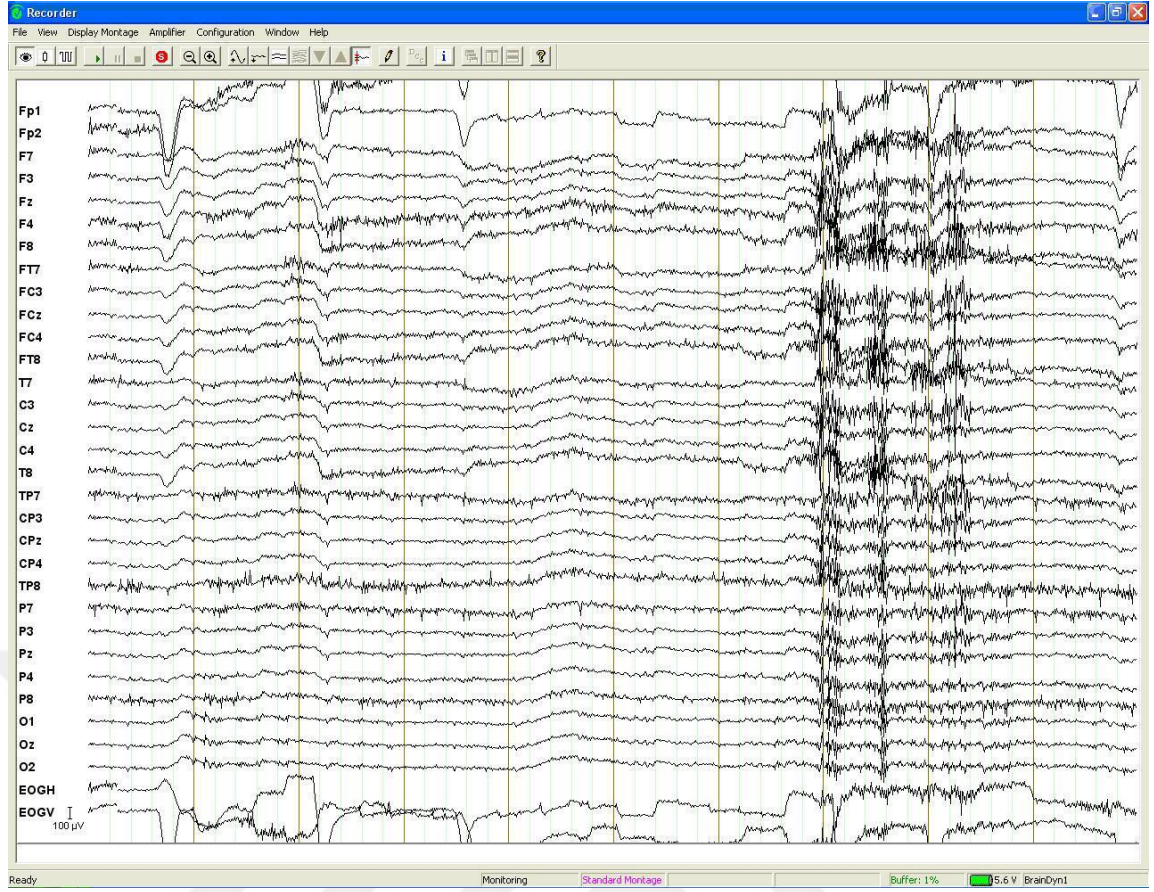
Mobil beyin sinyal sensörleri, beyin aktivitesini ölçme ve kullanma konusunda birçok farklı potansiyel uygulamaya sahiptir. Ancak bu teknolojilerin güvenliği, gizliliği ve etik sorunlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür cihazları kullanmadan önce, uygun eğitim almak ve güvenlik önlemlerini dikkate almak önemlidir.

1.6.5. Bilgisayarlar

EEG için kullanılan bilgisayarlar, beyin dalgalarının kaydedilmesi, işlenmesi ve analiz edilmesi amacıyla özel olarak tasarlanmış yüksek performanslı bilgisayarlardır. Bu bilgisayarlar, EEG amplifikatörlerinden gelen zayıf elektriksel sinyalleri dijital verilere dönüştürmek için yüksek hassasiyetli analog-dijital dönüştürücülerle donatılmıştır. Güçlü işlemciler ve büyük bellek kapasitelerine sahip olan bu sistemler, gerçek zamanlı veri işleme ve çok kanallı sinyal analizini etkin bir şekilde gerçekleştirebilir. Ayrıca, gelişmiş EEG yazılımları ile donatılmış bu bilgisayarlar, beyin dalgalarının görselleştirilmesi, artefaktların filtrelenmesi ve çeşitli nörolojik analizlerin yapılmasını sağlar. Taşınabilir modelleri de mevcut olan EEG bilgisayarları, klinik tanı, nörolojik araştırmalar, uyku çalışmaları ve beyin-bilgisayar arayüzü uygulamaları gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Kullanıcı dostu arayüzler ve çeşitli veri analiz araçları ile donatılmış olan bu bilgisayarlar, EEG verilerinin güvenilir bir şekilde kaydedilmesini ve yorumlanmasını mümkün kılar.

1.7. EEG Ölçümünde Kullanılan Yazılımlar

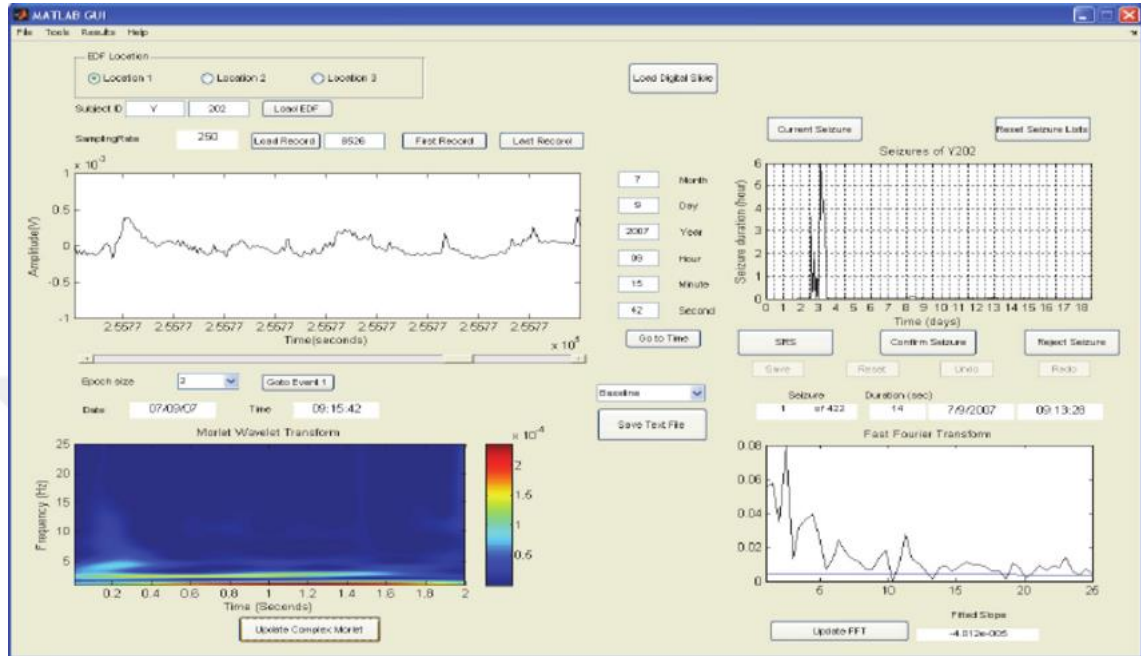
EEG ölçümünde kullanılan yazılımlar, beyin dalgalarının kaydedilmesi, işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için geliştirilmiş özel araçlardır ve bu yazılımlar, araştırmacıların ve klinisyenlerin EEG verilerini etkili bir şekilde yorumlamalarına ve nörolojik bozuklukların tanısına yardımcı olur. Vision Recorder ve Vision Analyzer adında iki adet yazılım kullanılmaktadır. Vision Recorder yazılımı EEG kaydını almak için, Vision Analyzer yazılımı ise alınan kayıtları analiz etmek için kullanılır. Şekil 27’de kayıt için kullanılan Vision Recorder programının arayüzü görülmektedir.



Şekil 27. EEG çekimlerinde arayüz programının aldığı sinyallerin gösterimi (Furtado vd., 2011)

EEGLAB, MATLAB tabanlı açık kaynaklı bir yazılım paketi olarak, ham EEG verilerini ön işleme, artefakt temizleme, bağımsız bileşen analizi (ICA), zaman-frekans analizi ve spektral analiz gibi işlemler için geniş bir araç seti sunar(Şekil 28). BrainVision Analyzer ise veri ön işleme, artefakt tanımlama ve düzeltme, spektral analiz ve kohorens analizi gibi özellikleri ile klinik ve araştırma ortamlarında yaygın olarak kullanılan profesyonel bir yazılımdır. Curry, yüksek çözünürlüklü EEG verilerinin analizi ve beyin haritalama için güçlü araçlar sunarak, özellikle kaynak lokalizasyonu ve kortikal aktivite haritalama gibi gelişmiş analizleri mümkün kılar. Bio Semi Acti View, BioSemi EEG sistemleri ile birlikte kullanılan ve gerçek zamanlı veri izleme, kayıt, artefakt tanımlama ve temel sinyal işleme yetenekleri sunan bir yazılımdır. Natus Neuro Works, klinik EEG ve uyku çalışmaları için veri kaydı, yönetimi, analizi ve raporlaması için gelişmiş özellikler sunan kapsamlı bir yazılım olup, özellikle epilepsi tanısı ve izlenmesi için kullanılır. SPSS, EEG verilerinin istatistiksel analizi için yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır ve hipotez testleri, korelasyon analizleri, regresyon modelleri ve varyans analizleri gibi istatistiksel yöntemlerle EEG verilerinin anlamlı sonuçlara dönüştürülmesine yardımcı olur. MATLAB ise geniş kapsamlı sinyal işleme ve analiz

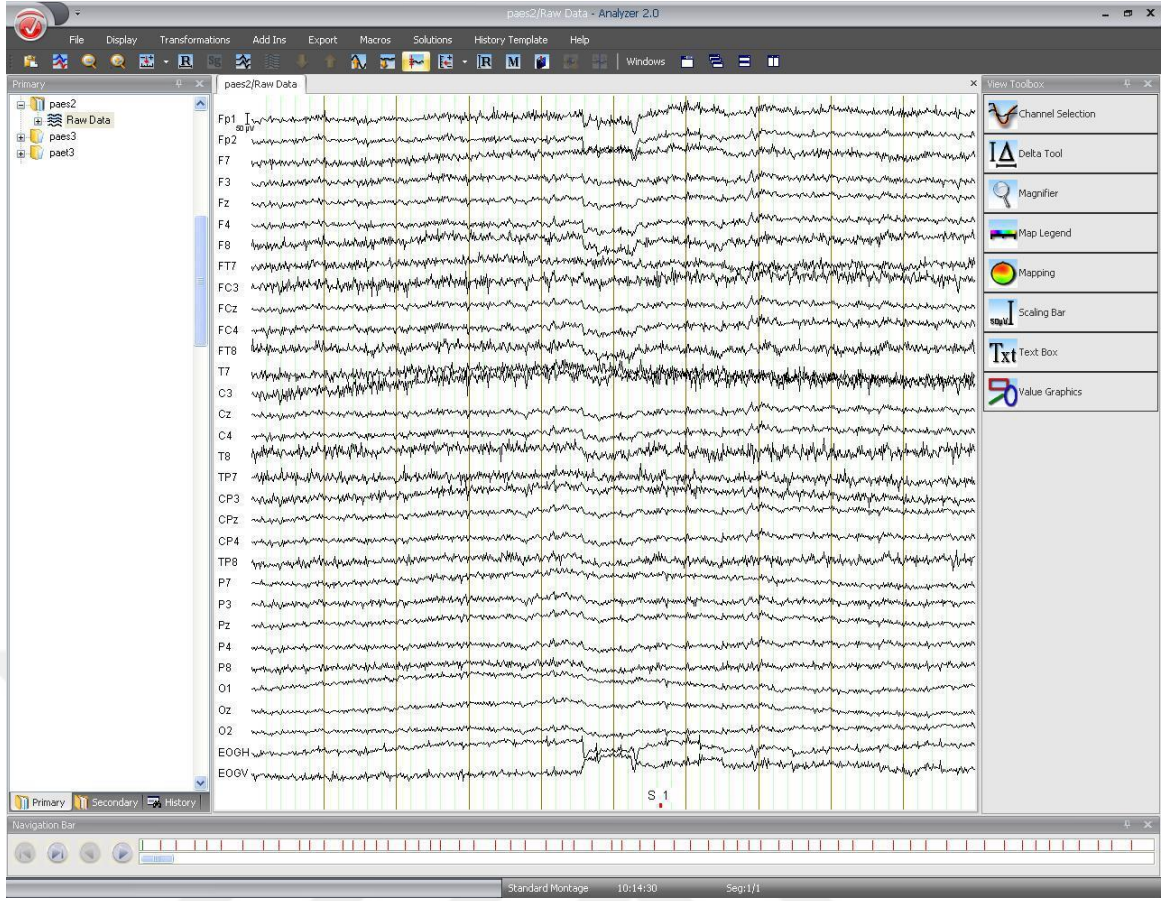
yetenekleri sayesinde EEG verilerinin detaylı işlenmesi için sıkça tercih edilir, ve çeşitli eklentileri ile EEG sinyallerinin kapsamlı analizine olanak tanır. Bu yazılımlar, EEG araştırmalarının ve klinik uygulamaların verimliliğini artırmakta ve doğru, güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 28. MatLab programı içerisinde alınan sinyallerin işlenmesi (Furtado vd., 2011)

1.8. EEG Kaydının Yapılışı

Hali hazırda yapılan EEG kayıtları FP1, FP2, F7, F3, Fz, F4, F8, FT7, FC3, FCz, FC4, FT8, T7, C3, Cz, C4, T8, TP7, CP3, CPz, CP4, TP8, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz, O2 şeklinde isimlendirilen 30 kanaldan alınmaktadır. Ayrıca 2 adet göz kanalı için elektrot kullanılmaktadır (EOG kanalları). Referans elektrotları için ise A1 ve A2 isimleri kullanılmaktadır. Elektrotların yerleştirilmesi genellikle uluslararası 10-20 sistemine göre belirlenir, bu sistemde elektrotlar kafa derisine standart konumlarda yerleştirilir. EEG kayıtları daha iyi sonuç vermesi için seston, ışıktan ve manyetik alandan tamamen izole edilmiş özel odalarda yamaktadır(Şekil 29).



Şekil 29. EEG sinyallerinin 30 kanal üzerindeki farklı görünüşleri (Furtado vd.,2011)

1.9. Uyarıcılar ve Deneysel Prosedür

EEG sinyal ölçümleri için "Uyarıcılar" ve "Deneysel Prosedür" terimleri, EEG deneylerinin tasarımı ve yürütülmesinde önemli rol oynayan kavramlardır. "Uyarıcılar", deney sırasında katılımcıların beyin aktivasyonunu değiştirmek veya belirli beyin dalgalarını provoke etmek için kullanılan uyaranlardır. Bu uyaranlar, görsel, işitsel, dokunsal veya duygusal olabilir ve deneyin amacına ve hipotezine göre değişir. Örneğin, bir görsel uyarıcı, katılımcıya belirli bir deseni veya görüntüyü göstermek için kullanılabilir; bir işitsel uyarıcı ise katılımcıya belirli bir sesi duyurabilir. Bu uyaranlar, beyin aktivitesinde belirli değişikliklerin tetiklenmesine neden olabilir ve EEG sinyallerinin incelenmesini sağlar.

"Deneysel Prosedür" ise EEG deneyinin nasıl gerçekleştirileceğini ve verilerin nasıl toplanacağını belirleyen adımların bütünüdür. Deneysel prosedür, deneyin başlangıcından sonuna kadar olan süreci kapsar ve katılımcıların nasıl hazırlanacağı, uyarıcıların nasıl sunulacağı, EEG kaydının nasıl yapılacağı ve verilerin nasıl analiz edileceği gibi ayrıntıları içerir. Örneğin, bir deneysel prosedür, katılımcıların odaklanmalarını sağlamak için bir ön deneyimlendirme süreci içerebilir veya uyaranların

sunulma sırasını belirleyebilir. Ayrıca, EEG elektrotlarının yerleştirilmesi ve cihazın kalibrasyonu gibi teknik detayları da içerebilir. Deneysel prosedür, deneyin güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamak için dikkatlice planlanmalı ve uygulanmalıdır.

Bu kavramlar, EEG deneylerinin doğru bir şekilde tasarlanması ve yürütülmesi için temel unsurları temsil eder. Uyarıcılar, beyin aktivasyonunu provoke etmek için kullanılan uyaranları ifade ederken, deneysel prosedür ise deneyin nasıl yapılacağını ve verilerin nasıl toplanacağını belirleyen adımların bütünüdür. Birbirlerini tamamlayan bu kavramlar, EEG deneylerinin etkili bir şekilde planlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlar, böylece güvenilir sonuçlar elde edilir. EEG sinyal ölçümleri farklı süre uzunluklarına sahip olan 6 aşamadan oluşabilir.

Spontane EEG kaydı: EEG kaydı alınacaklar belli bir süre boyunca monitördeki siyah görüntüye gözleri açık bir şekilde bakmaktadır, daha sonra isteğimiz üzerine gözlerini kapatmaktadır.

İşitsel Uyarılmış Potansiyel Kaydı: Kişi tek tipte bir ses duymakta ve siyah ekrana bakarak sadece dinlemektedir.

İşitsel Olaya İlişkin Potansiyel Kaydı: Bu bölümde kişiye Klasik işitsel oddball paradigması (uyaranlar dizgesi) verilmektedir ve hedef olan ince sesleri hedef olmayan kalın seslerden ayırması beklenir.

Görsel Uyarılmış Potansiyel Kaydı: Kişi tek tipte bir ışık görmekte ve sadece ışığı izlemektedir.

Görsel Olaya İlişkin Potansiyel Kaydı: Kişiye Klasik görsel oddball paradigması (uyaranlar dizgesi) verilmektedir ve hedef olan açık renkli ışığı hedef olmayan koyu renkli ışıktan ayırması beklenir.

Spontane EEG Kaydı: Son olarak ilk aşama tekrar edilir.

1.10. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Beyin Sinyal Kontrolü ile yapılan çalışmalar, genellikle beyin aktivitesini ölçme, anlama ve bu sinyalleri çeşitli uygulamalarda kullanma üzerine odaklanır. Bu alandaki araştırmalar ve çalışmalar geniş bir yelpazede gerçekleştirilmiştir (Aydemir, 2022). Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Beyin-Bilgisayar Arayüzleri (BCI): Beyin sinyal kontrolü, bireylerin düşünce aktivitelerini kullanarak bilgisayarları veya diğer cihazları kontrol etmelerini sağlayan BCI sistemlerinin geliştirilmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Örneğin, felçli kişilerin veya omurilik felci geçirmiş bireylerin daha bağımsız olmalarını sağlamak amacıyla

geliştirilen sistemler, beyin sinyallerini algılayarak bunları bilgisayar komutlarına çevirebilmektedir (Büyükgöze, 2021).

Nörogeriatri ve Nörodejeneratif Hastalıklar: Beyin sinyal kontrolü, yaşlılıkla ilgili bilişsel bozuklukları anlamak, takip etmek ve hatta önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, Alzheimer, Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıkların erken teşhisi için beyin aktivitesini inceleyen çalışmalar yürütülmektedir (Ay vd., 2017).

Rehabilitasyon ve Motor Beceri Geliştirme: Beyin sinyal kontrolü, felçli hastaların rehabilitasyon süreçlerini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, beyin sinyallerini kullanarak bireylerin kaybettikleri motor becerileri geri kazanmalarına yönelik terapileri geliştirmeyi hedeflemektedir (Yağmur vd., 2022).

Sinirsel Geribildirim (Neurofeedback): Beyin sinyal kontrolü, bireylere kendi beyin aktivitelerini gösteren bir geribildirim mekanizması aracılığıyla beyin dalgalarını düzenlemelerine yardımcı olabilir. Bu, odaklanma, stres yönetimi ve diğer bilişsel süreçlerin iyileştirilmesi için kullanılır (Kaynak ve Erdeniz, 2019).

Duygusal Durum İzleme ve Zihinsel Sağlık: Beyin sinyalleri, bireylerin duygusal durumlarını izlemek ve anlamak için kullanılabilir. Bu, zihinsel sağlık durumlarının değerlendirilmesi ve tedavi süreçlerinin kişiselleştirilmesi açısından önemli olabilir.

Bu çalışmaların önemli bir kısmı, nörolojik hastalıkların anlaşılması, rehabilitasyon, zihinsel sağlık ve bilişsel performansın artırılması gibi uygulamalara yöneliktir. Ancak, beyin sinyal kontrolü ile ilgili teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması konusunda hala birçok zorluk ve etik sorunlar bulunmaktadır. Bu alandaki araştırmaların ilerlemesi, gelecekte daha etkili tedavi ve rehabilitasyon yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Elektroensefalogram (EEG), beyin aktivitesinin kaydedilmesi ve analiz edilmesinde kullanılan temel bir nörofizyolojik yöntemdir. Beyin hücrelerinin elektriksel etkileşimlerinin sonucunda oluşan elektriksel aktiviteyi ölçerek beyin fonksiyonları hakkında bilgi sağlar. EEG, tıbbi teşhislerden nörobilim araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede uygulama alanına sahiptir (Büyükgöze, 2021).

EEG kaydı, elektrot adı verilen metal plakaların veya elektrot dizilerinin hastanın veya deneklerin kafa derisine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu elektrotlar, skalp yüzeyindeki elektriksel değişiklikleri algılar ve bu değişiklikler elektriksel potansiyel farkları şeklinde ölçülür. Elde edilen veri, EEG sinyali olarak adlandırılır ve dalga formunda zaman-serisi verileri temsil eder.

EEG sinyali, farklı frekansta titreşen elektriksel osilasyonlardan oluşur. Bu osilasyonlar, farklı bilişsel durumlar ve uyanıklık seviyeleri ile ilişkilendirilir. Beta

dalgaları (13-30 Hz), yüksek zihinsel aktivite, dikkat ve zihinsel uyanıklıkla ilişkilendirilir. Alfa dalgaları (8-13 Hz), gözler kapalı durumda dinlenme ve gevşeme anlarında artar. Theta dalgaları (4-7 Hz), hafif uykuda ve rüya aşamalarında görülürken, delta dalgaları (0.5-4 Hz), derin uyku sırasında görülür (Tülay, 2009).

EEG'nin klinik uygulamaları oldukça yaygındır. Nörolojik bozuklukların tanısı, epilepsi nöbetlerinin izlenmesi, uyku bozukluklarının değerlendirilmesi ve beyin aktivitesinin çeşitli durumlar için kontrol edilmesi ve yorumlanması amacıyla kullanılır. Ayrıca nörobilim araştırmalarında da sıkça kullanılarak beyin fonksiyonları hakkında değerli bilgiler sağlar.

Son yıllarda, taşınabilir ve kablosuz EEG cihazlarının geliştirilmesi ile EEG'nin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler, EEG'nin kişiselleştirilmiş tıp, nörobilgisayar arayüzleri ve zihinsel sağlık değerlendirmeleri gibi alanlarda daha erişilebilir hale gelmesine yardımcı olmuştur (Kayıkçıoğlu vd., 2018).

Ulusoy (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, dikkat dağınıklığı üzerine bir beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Çalışma, NeuroSky MindWave Mobile cihazı ile kullanıcıların dikkat seviyelerini ölçmeyi amaçlamış ve bu veriler bir oyun tabanlı öğrenme sistemiyle ilişkilendirilmiştir. Projede, "KonsantreOL" adlı oyunda dikkat seviyesine bağlı olarak bir topun hareketi kontrol edilmiştir. Kullanıcının dikkat seviyesi belirli bir eşik değerin üzerine çıktığında topun hareket yönü değiştirilmiştir. Bu süreçte elde edilen verilerle, dikkat seviyesi ve ders başarısı arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma, dikkat dağınıklığı yaşayan bireyler için beyin-bilgisayar arayüzlerinin eğitimsel katkılarını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, BBA'ların eğitim süreçlerindeki kullanımının dikkat sürelerini artırmaya yönelik potansiyel çözümleri sunduğu sonucuna varılmıştır.

Halid Saad Khalid Alsammarraie (2022) tarafından yazılan "Motion Control of a Vehicle Using Brain Waves and an Arduino Based Automated System" başlıklı tez, beyin dalgalarıyla bir aracın hareket kontrolünü sağlamaya yönelik bir sistemin tasarım ve uygulamasını ele almaktadır. Çalışmada, NeuroSky MindWave EEG cihazı kullanılarak beyin dalgaları ölçülmüş ve bu veriler Arduino tabanlı bir otomasyon sistemiyle entegrasyon sağlanarak aracın hareket kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Özen (2019) NeuroSky MindWave EEG cihazı ile yaptığı bir çalışmada, ev otomasyon sistemlerinin EEG sensörleri aracılığıyla beyin dalgaları ile kontrol edilmesini amaçlamaktadır. Beyin-bilgisayar arayüzü kullanılarak, beyin sinyalleri invazif olmayan yöntemlerle ölçülmüş ve odak (motivasyon) ve rahatlık düzeyleri belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak, akıllı ev sistemlerinde temassız ve fiziksel etki olmadan aydınlatma

ve ısıtma-soğutma sistemlerinin kontrolü sağlanmıştır. Çalışmanın temel hedefi, engelli bireylerin yaşamını kolaylaştırmaktır.

Öztürk (2017) yaptığı araştırmada, ses eğitimi derslerinde öğrenci sayısının öğrencinin derste rahat hissetme, gerginlik durumu ve derste dikkat düzeyini nasıl etkilediğini anlamayı amaçlamaktadır. Araştırmada, beyin dalgalarını analiz eden ve sayısallaştıran Neurosky Mindwave Mobile cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, beyin dalgalarındaki Gama, Delta, Teta, Alfa ve Beta ritimlerini ölçebilir ve bu verileri dikkat (attention) ve rahatlık-sükunet (meditation) durumlarını değerlendirmek için grafik ve sesli uyarılar şeklinde sunar. Cihazın sağladığı veriler, Brainwave Visualizer yazılımı kullanılarak 0-100 eSense birim aralığında görselleştirilmiştir. Araştırma, çok denekli tek faktörlü deneysel bir desen modeline göre tasarlanmıştır. Deneyler, 18-21 yaş aralığındaki katılımcılarla, farklı öğrenci sayılarıyla (1, 2, 3 kişi) yürütülmüştür. Her bir uygulamada bedensel ve ruhsal rahatlık durumları yapılandırılmış görüşme formuyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, Kruskal-Wallis H Testi kullanılarak farklı öğrenci sayılarının dikkat (attention) ve meditasyon (meditation) değerleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Demiray (2023) araştırmasında, piyano eşliğinin ve eşiksiz ses eğitiminin öğrencilerin dikkat düzeyleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. 44 öğrenci ile yapılan çalışmada, önce piyano eşiksiz ve sonra piyano eşlikli aynı eserler söylenmiş, dikkat düzeyleri Neurosky Mindwave Mobile 2 EEG kulaklıkla ölçülmüştür. Sonuçlar, piyano eşlikli eser söylerken öğrencilerin dikkat düzeylerinin anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, piyano eşliğinin ses eğitimi derslerinde öğrencilerin dikkatini artırdığını ve müzikal performanslarını geliştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, uzman korrepitörlere olan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Çevik (2020), 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 dâhilinde 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 dâhil edilmesi, böylece daha hassas sınıflandırma

yeteneği üzerinden, risk analizi ve kontrol uygulamalarının geliştirilmesi üzerinde tartışılmıştır.

Tabakcioğlu (2018), beyin bilgisayar arayüz sistemleri her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu çalışmada öğrenciler ders çalışırken EEG sinyallerini ölçen ve bluetooth ile bilgisayara gönderen Neurosky Biosensör kullanılmıştır. Öğrencilerin cihaz takılı iken Fizik 1 dersi konuları çalışmaları ve bu sürede beyin dalgalarının ölçülüp bilgisayara aktarılması sağlanmıştır. Cihaz gelen beyin dalgalarını kullanarak ders çalışma süresince dikkat ve meditasyon ortalamalarını vermektedir. Bu ortalamalara bakılarak öğrencinin derse olan ilgisi saptanabilmekte ve verimi artırmak için gerekli planlamalar yapılabilmektedir.

Demir (2019), bu tez çalışması, beyin aktivitelerini kullanarak yapay sinir ağları (YSA) ile insansız hava aracını (İHA) kontrol etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, beyin elektriksel sinyalleri (EEG) 10 sağlıklı kişiden alınmış ve bu veriler yapay sinir ağları ile sınıflandırılarak referans değerler oluşturulmuştur. Neurosky mindwave EEG algılayıcı kulaklığı kullanılarak beyin sinyalleri anlık olarak alınmış ve bu veriler, beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) yazılımı ile işlenmiştir. Matlab, Visual Studio C# ve C++ ile BBA yazılımı geliştirilmiş, alfa ve beta sinyalleri özellik çıkarımı ve seçimi yapılarak YSA'ya uygun hale getirilmiştir. Geliştirilen modelle İHA'nın uçuşu sağlanmış ve çeşitli ortam ve zamanlarda test edilmiştir.

Akyel (2023) yaptığı çalışmada, bilgisayar ortamında yapılan çoktan seçmeli kimya testi ile iki aşamalı kimya tanı testinde öğrencilerin dikkat düzeyleri ve yanıtlama sürelerini incelemektir. Çalışmada, çoktan seçmeli testler ve iki aşamalı testler uygulanmış, katılımcıların dikkat seviyeleri ve yanıtlama süreleri NeuroSky beyin sensörü ile ölçülmüştür. Veriler, korelasyonel ve nedensel araştırma yöntemine dayalı olarak toplanmıştır. Katılımcılar, 2021-2022 eğitim öğretim yılında bir devlet üniversitesinde öğrenim gören Fen Bilgisi Öğretmen adaylarıdır. Sonuçlar, çoktan seçmeli kimya testi ve iki aşamalı kimya tanı testi alan öğrencilerin yanıtlama süreleri arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. Ancak, iki aşamalı testte birinci ve ikinci aşamalar karşılaştırıldığında, öğrencilerin ikinci aşamayı daha kısa sürede tamamladıkları bulunmuştur. Ayrıca, iki aşamalı testin ikinci aşamasında, yanıtlama süreleri ile dikkat frekansları arasında orta düzeyde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Şahin (2022) makalesinde, günümüzde İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (HCI) alanında bilgi sistemlerini değerlendirmek için Kullanıcı Deneyimi (UX) değerlendirmesine olan ilgi artmaktadır. Bu arada, kullanıcı deneyimi çalışmalarında nörobilimsel ölçüm araçlarının uygulanması sürekli artmaktadır. Bu çalışma kapsamında,

2010-2020 yılları arasında yayınlanan UX değerlendirme çalışmalarında nörobilimsel ölçüm araçlarından biri olan Elektroensefalografinin (EEG) kullanımına ilişkin sistematik bir haritalama yapılmıştır. Çalışmanın kapsamına göre Web of Science (WoS) veri tabanı, Science Direct (Elsevier), IEEE Xplore Library, ACM Digital Library'den 89 çalışma toplanmıştır. Bu çalışmanın amacı, UX değerlendirme araştırmalarında EEG'nin diğer UX değerlendirme yöntemleriyle birlikte kullanımını ve eğilimlerini ortaya koymaktır. Çalışmanın sonuçlarına göre, EEG tarafından UX değerlendirmesi için toplanan veri türleri duygu ve dikkat olup, veriler genellikle tek epizodik deneyim olarak toplanmaktadır.

Filik (2023) bu makale, yüksek riskli işlerle uğraşan kişilerin odaklarını kaybetmeleri durumunda EEG (Elektroensefalografi) sinyallerinin gerçek zamanlı izlenmesini ve analizini incelemektedir. Çalışma, bu modülün çalışanların zihinsel durumunu izlemek ve potansiyel tehlikeleri proaktif olarak belirlemek için nasıl kullanılabileceğini araştırıyor. Günümüzün profesyonel ortamında çalışanlar sıklıkla yorgunluk yaşamakta, bu da odak kaybına ve çok sayıda iş kazasına yol açmaktadır. Bu yazıda ana hatlarıyla belirtilen amaç, EEG sinyallerini kullanarak yüksek riskli mesleklerde kazaları önlemektir. TGAM EEG modülü, kişinin alnına ve kulaklarına yerleştirilen elektrotlara bağlanır. Bluetooth (HC-05) aracılığıyla verileri çıkaran ve analiz eden işlemciye (ESP-32) kablosuz olarak bağlanır. Toplanan veriler Wi-Fi üzerinden anında buluta aktarılıyor ve çalışanın odaklanması azaldığında ilgili yöneticiler eposta yoluyla bilgilendiriliyor. Bir çalışanın odak ve meditasyon değerlerinin bulutta gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve analizi, yüksek riskli işlerde yorgun çalışanlar için kazaları önleme fırsatı sunar.

Derdiyok (2023) bu çalışmada, derin ve transfer öğrenme yaklaşımları kullanılarak zihinsel yorgunluğun fizyolojik sinyaller aracılığıyla tanımlanması ve uygulanabilirliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında EEG, BVP, EDA, HR, TEMP ve ACC sinyalleri, yaş ortalaması 29 olan 23 katılımcıdan sabah ve akşam alınarak kaydedilmiştir. Veriler 1, 32 ve 64 Hz frekanslarında örneklenmiş ve derin öğrenme ile transfer öğrenme modelleriyle işlenmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek performans %98 doğruluk oranı ile tek boyutlu evrişimsel sinir ağı modelinden elde edilmiştir. Transfer öğrenme aşamasında ise LSTM %97, GRU %95 doğruluk oranı ile öne çıkmıştır. Stres kaynaklı veriseti özelliklerinin zihinsel yorgunluğu tespit etmede daha baskın olduğu görülmüştür. Ayrıca, EDA sinyalinin zihinsel yorgunluğu belirlemede en etkili sinyal olduğu, örneklem sıklığı arttıkça sınıflandırma performansının iyileştiği ve çalışma süresi ile uyku düzeninin zihinsel yorgunluğa etkili olduğu saptanmıştır.

Uzun (2019), Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) teknolojisi kullanılarak engelli bireylerin düşünce gücüyle günlük yaşam aktivitelerini kolaylaştırmak amacıyla bir sistem geliştirilmiştir. Beynin frontal lobundan alınan Elektroensefalografi (EEG) sinyalleri bir sinyal yorumlayıcı cihaz aracılığıyla işlenmiş ve düşünsel davranışlar temel alınarak çeşitli nesnelerin kontrolü sağlanmıştır. Engelli bireyler, kablosuz EEG başlığı kullanarak bir odanın ışıklarını açıp kapatabilir ve siren sesi ile çevrelerini uyarabilirler. Ayrıca, felçli veya hareket kabiliyeti olmayan bireylerin, kontrol etmek istedikleri nesneleri devreye bağlayarak kontrol edebilmeleri için bir priz eklenmiştir. Bu sistem, engelli bireylere düşünce gücü ile çevrelerindeki nesneleri kontrol etme özgürlüğü tanımış ve sosyal yaşantılarını iyileştirmeye yönelik bir adım atmıştır.

Fidan (2017) çalışmasında, travma geçirmiş hastalara uygulanan Göz Hareketleri ile Duyarsızlaştırma ve Yeniden İşleme (EMDR) tekniğini destekleyecek bir aktif EMDR cihazı geliştirilmiştir. Cihaz, uzman gözetiminde görsel, işitsel ve duysal uyarılar vererek travmatik durumların azaltılmasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, deneklerin dikkat ve meditasyon seviyeleri farklı uyarı gruplarıyla ölçülmüş ve deneyler 10 defa tekrarlanmıştır. Sonuçlar, görsel uyarının odaklanmayı %23.50 oranında artırdığı, ancak tüm uyarıların meditasyon seviyesini azalttığı görülmüştür. Özellikle, görsel ve işitsel uyarıların birlikte verilmesi meditasyon seviyesini %-5.14 düşürmüştür. Bu sonuçlar, cihazın post travmatik stres bozukluğu olan hastaların tedavisinde uzmanlara yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Beşler (2020) araştırmasında, 8 haftalık zihinsel antrenman programının futbol antrenörlerinin zihinsel dayanıklılık ve problem çözme becerilerine etkisini incelemiştir. Karma desen kullanılarak yapılan çalışmada, 30 antrenöre zihinsel antrenman uygulanmış ve ön-son testler ile psikometrik veriler toplanmıştır. Araştırma sonucunda, zihinsel antrenmanın antrenörlerin zihinsel dayanıklılık ve problem çözme becerilerini artırdığı, odaklanma, rahatlama ve kalp-zihin uyumunda iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Nitel veriler de bu bulguları desteklemekte, antrenörler zihinsel antrenmanın mesleki ve sosyal hayatlarına olumlu etkiler yaptığını belirtmiştir.

Fidan (2018) yaptığı çalışmada, göz hareketlerini sistematik olarak yönlendirmekte zorluk çeken kişiler için aktif EMDR yazılımı geliştirmeyi ve tedavi sürecinde kullanılan görsel ve işitsel uyarıların dikkat ve meditasyon üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. MATLAB kullanılarak İnsan-bilgisayar etkileşimi (HCI) için bir grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) hazırlanmıştır. 10 gönüllü üzerinde yapılan deneylerde, görsel uyarılar odaklanmayı %14,72 ve meditasyonu %6,5 oranında artırmış, işitsel uyarılar ise farklı etkiler göstermiştir. 250Hz frekansta işitsel uyarılar odaklanmayı azaltırken

meditasyonu artırmış, göz hareketleri sırasında verilen işitsel uyaranlar ise odaklanma ve meditasyonu değişken şekilde etkilemiştir. Bulgular, farklı uyaran gruplarının aktif EMDR yönteminde dikkat ve meditasyon üzerinde kontrol sağlamak için kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, beyin sinyallerini algılayan EEG cihazlarının kullanımıyla biyolojik sinyallerin elektronik devreler üzerinde nasıl kontrol edilebileceğini araştırmayı amaçlamaktadır. Özellikle, NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazının beyin dalgalarından aldığı sinyalleri Arduino mikrodenetleyici kartı aracılığıyla analiz ederek, bu sinyallerin LED lambaların yanma ve sönme durumlarını kontrol etmek için nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Bu tür bir uygulama, biyolojik sinyallerin dijital devrelerle entegrasyonunu sağlamakta ve beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) teknolojilerinin nasıl işlev gösterdiğine dair pratik bir örnek sunmaktadır.

Çalışmanın temel amacı, katılımcıların beyin dalgalarına dayalı dikkat ve konsantrasyon seviyelerini ölçmek ve bu seviyelerin elektronik devreler üzerindeki etkilerini gözlemlemektir. EEG cihazının tek bir elektrot kullanarak beyin sinyallerini nasıl topladığını ve bu sinyallerin belirli frekans bantlarında nasıl analiz edilebileceğini ortaya koymak bu çalışmanın en önemli hedeflerinden biridir. Aynı zamanda, Arduino mikrodenetleyici kartına entegre edilen HC-05 Bluetooth modülü ile cihazlar arasında kablosuz veri aktarımının sağlanması da bu çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

Çalışmanın bir diğer önemli amacı ise biyolojik sinyallerin geribildirim sistemleri üzerinde nasıl kullanılabileceğini göstermek ve katılımcıların dikkat seviyelerine bağlı olarak bir geri dönüş mekanizması oluşturulmasını sağlamaktır. LED lambaların beyin dalgalarına göre yanma yoğunluğunun değişmesi, biyolojik sinyallerin elektronik sistemlerdeki uygulama alanlarına dair önemli bir örnek sunmaktadır.

Çalışma iki ana bileşenden oluşmaktadır: donanım ve yazılım. Donanım tarafında kullanılan temel bileşenler arasında NeuroSky MindWave Mobile 2 EEG cihazı, Arduino mikrodenetleyici kartı, HC-05 Bluetooth modülü, LED lambalar, ve dirençler yer almaktadır. Yazılım tarafında ise, EEG cihazından gelen verilerin Arduino platformunda işlenmesi için gerekli kodlar geliştirilmiş ve beyin sinyallerine dayalı kararlar alınarak LED lambaların yanıp sönmesi sağlanmıştır.

Çalışmanın kapsamı şu adımları içermektedir:

- EEG Sinyal Algılama: Katılımcıların beyin dalgaları NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazı ile ölçülerek, alfa ve beta dalgalarının dikkat ve gevşeme durumları üzerindeki etkileri incelenmiştir.
- Veri Transferi ve İşleme: EEG cihazından alınan sinyaller Bluetooth aracılığıyla Arduino kartına aktarılmış ve bu sinyaller belirli algoritmalar yardımıyla işlenerek LED lambaların yanma/sönme durumları kontrol edilmiştir.
- Katılımcı Deneyleri: Katılımcılar, beyin dalgalarına dayalı olarak LED'leri kontrol etme görevini yerine getirmiş, bu süreçte konsantrasyon düzeyleri gözlemlenmiş ve istatistiksel analizler yapılmıştır.



2. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışmada, analog olarak alınan beyin sinyallerinin anlamlı digital veriye çevirerek elektromekanik çıktıya dönüştürülmesi için mobile beyin dalga algılayıcı, mikrodenetleyici kart, bluetooth modülü ve sürücü devresi kullanıldı.

2.1. Mobile Beyin Dalga Algılayıcılar

Mobil beyin dalga okuyucular (veya taşınabilir beyin dalga okuyucular), kişilerin beyin aktivitelerini ölçmek ve izlemek için kullanılan taşınabilir cihazlardır. Bu cihazlar, elektroensefalografi (EEG) teknolojisi veya benzeri yöntemlerle beyin dalgalarını kaydederek, kullanıcıların zihinsel aktivitelerini anlamalarına ve bu aktiviteleri çeşitli uygulamalarda kullanmalarına olanak tanır(Özen vd., 2019). İşte mobil beyin dalga okuyucuların çalışma prensipleri:

*Sensörler:*Mobil beyin dalga okuyucular, genellikle kullanıcının kafasına giyilen veya takılan elektrotlar veya sensörler içerir. Bu sensörler, kullanıcının beyin aktivitesini kaydetmek için cildine temas eder (Şekil 32).



Şekil 30. Tek elektrotlu beyin dalga sinyal alıcı sensörü (URL-23, 2024)

*Beyin Dalgaları Kaydı:*Sensörler, kullanıcının beyin aktivitesini elektrotlar yoluyla algılar. Beyin dalgaları, bu elektrotlar aracılığıyla algılanır ve cihaz tarafından kaydedilir. Beyin dalgaları, alfa, beta, teta ve delta dalgaları gibi farklı türlerde gelir ve her biri farklı beyin aktivitelerine karşılık gelir(Özen vd., 2019).

*Sinyal İşleme:*Cihaz, kaydedilen beyin dalgası verilerini sinyal işleme algoritmaları kullanarak işler. Bu işlem, sinyali filtreleme, düzeltilme ve analiz etme adımlarını içerebilir. Ayrıca, gürültüyü azaltmak ve istenmeyen bileşenleri temizlemek için kullanılır.

*Veri Analizi:*Sinyal işleme sonrası, cihaz beyin aktivitesini analiz eder. Bu analiz, kullanıcının zihinsel durumunu, dikkat düzeyini, stres seviyesini veya diğer duygusal veya bilişsel faktörleri değerlendirmeye yardımcı olabilir.

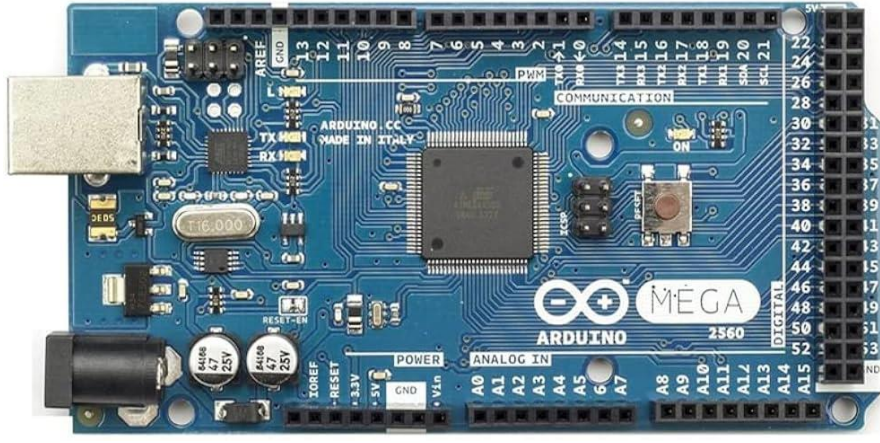
*Görsel veya İşitsel Geribildirim:*Mobil beyin dalga okuyucular, genellikle kullanıcıya geri bildirim sağlar. Bu geri bildirim genellikle görsel veya işitsel bir biçimde sunulur. Örneğin, bir uygulama kullanıcının konsantrasyonunu ölçüyorsa, kullanıcıya konsantrasyon seviyesini gösteren bir grafik veya sesli uyarı sunulabilir.

*Uygulamalar:*Mobil beyin dalga okuyucular, meditasyon, stres yönetimi, oyunlar, dikkat eğitimi, kognitif gelişim ve daha birçok uygulamada kullanılabilir. Kullanıcılar, beyin aktivitelerini izleyerek veya kontrol ederek belirli görevleri yerine getirebilirler.

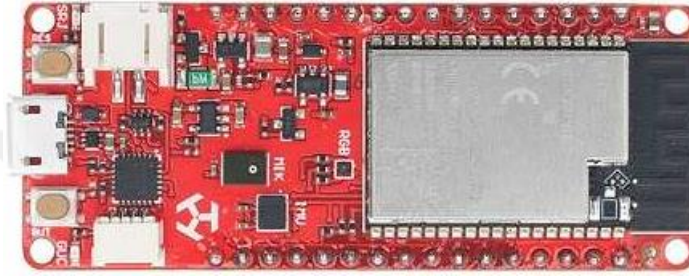
Mobil beyin dalga okuyucular, kişisel gelişim ve zihinsel sağlık alanlarında kullanılırken, aynı zamanda nörobilim ve psikoloji araştırmalarında da önemli bir rol oynarlar. Bu cihazlar, bireylerin kendi beyin aktivitelerini anlamalarına ve geliştirmelerine yardımcı olabilir, ancak doğru kullanımı ve verilerin güvenliği ve gizliliği konularında dikkatli olunmalıdır (Çiğ, 2017).

2.2. Mikrodenetleyici Kart

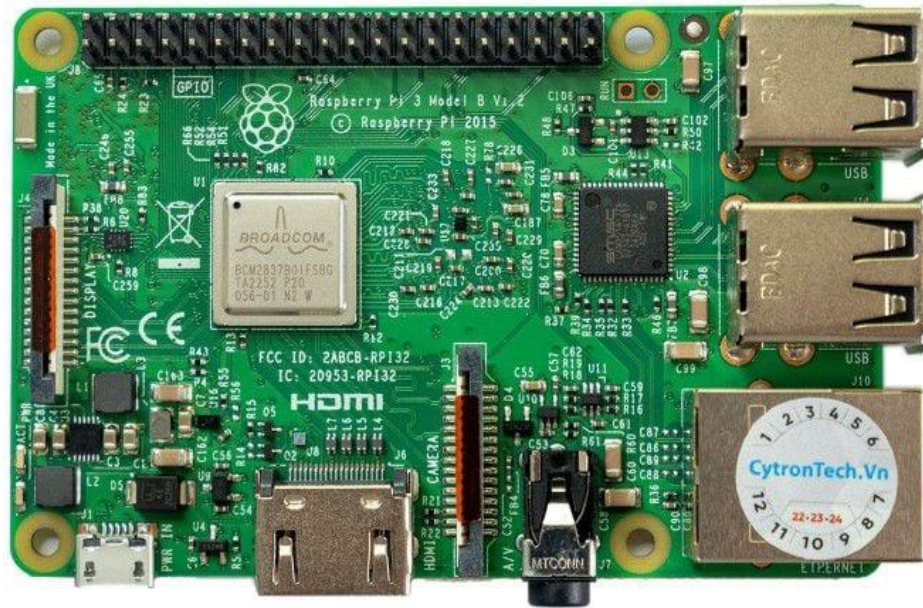
Mikrodenetleyici kartları, elektronik cihazların kontrolünü ve otomasyonunu gerçekleştirmek için yaygın olarak kullanılan küçük, özel amaçlı bilgisayarlar veya kontrol üniteleridir (Şekil 33). Bu kartlar, genellikle entegre çevresel sensörler, dijital ve analog giriş/çıkış pinleri, ve işlemciyi içeren kompakt bir donanıma sahiptir (Ardıç vd., 2019). Mikrodenetleyici kartlarının kullanım alanları oldukça geniştir ve şunları içerebilir:



(a)



(b)



(c)

Şekil 31. Mikrodenetleyici kartlar, a) Arduino, b) Deneyap Kart, c) Raspberry Pi (URL-24, 2024).

Gömülü Sistemler: Mikrodenetleyici kartları, birçok gömülü sistemde (örneğin, ev aletleri, otomobiller, tıbbi cihazlar) temel kontrol birimi olarak kullanılır. Özel işlevleri gerçekleştirmek ve donanımları kontrol etmek için kullanılırlar.

Robotik: Robotlar ve otonom araçlar, mikrodnetleyici kartları kullanarak hareketi, algılamayı ve karar vermeyi gerçekleştirirler. Bu kartlar, robotlar için beynin görevini üstlenir.

Otomasyon: Endüstriyel otomasyon sistemleri, mikrodnetleyici kartlarını üretim süreçlerini kontrol etmek ve izlemek için kullanır. Fabrikalarda, depolarda ve lojistik sistemlerde yaygın olarak kullanılır.

Ev Otomasyonu: Akıllı ev cihazları, mikrodnetleyici kartlarını kullanarak aydınlatma, ısıtma/soğutma, güvenlik ve enerji yönetimi gibi ev işlevlerini otomatikleştirmek için çalışır.

*İnternet of Things (IoT):*IoT cihazları, mikrodnetleyici kartları ile çevrelerindeki verileri toplar, işler ve ileterek bağlantı kurar. Akıllı termostatlar, akıllı sayaçlar ve çevre izleme cihazları bu alana örnektir.

*Mobil Cihazlar:*Mobil telefonlar ve tabletler, mikrodnetleyici kartları içerir. Bu kartlar, cihazın işlemcisi ve kontrol birimi olarak işlev görür.

Eğitim ve Öğrenme: Mikrodnetleyici kartları, eğitim kurumlarında ve maker topluluklarında öğrencilerin temel elektronik ve programlama becerilerini öğrenmeleri için kullanılır. Arduino ve Raspberry Pi gibi platformlar, bu alanda popülerdir

*Telekomünikasyon:*Modemler, yönlendiriciler ve ağ cihazları, mikrodnetleyici kartları kullanarak veri iletimini kontrol ederler.

Tıbbi Cihazlar: Tıbbi cihazlar, hastaların sağlık verilerini toplamak, izlemek ve tedavi etmek için mikrodnetleyici kartları kullanır. Örneğin, kan basıncı ölçüm cihazları ve kalp atış hızı monitörleri.

Uzaktan Kumandalı Cihazlar: Uzaktan kumanda edilen oyuncaklar, televizyon uzaktan kumandaları ve dronlar gibi cihazlar, mikrodnetleyici kartları kullanarak uzaktan kontrol edilir.

Bu kullanım alanları, mikrodnetleyici kartlarının çeşitliliğini ve esnekliğini yansıtmaktadır. Mikrodnetleyici kartları, çok sayıda uygulama ve projenin temel bileşeni haline gelmiştir ve sürekli olarak geliştirilmektedir. İhtiyaçlara ve projeye bağlı olarak farklı kartlar ve platformlar kullanılabilir.

2.3. Bluetooth Modülü

Bluetooth modülleri, kablosuz iletişim sağlamak ve cihazlar arasında veri aktarımını kolaylaştırmak için kullanılan kompakt elektronik bileşenlerdir (Şekil 34). Bluetooth modülleri, düşük güç tüketimi, kablosuz bağlantı, düşük maliyet ve kolay

kullanım sağlama avantajlarına sahiptir (Yapıcı vd., 2018). Kullanım alanları oldukça geniştir ve aşağıda bazı örnekler verilmiştir:



Şekil 32. Bluetooth modülü (URL-25, 2024)

*Kablosuz Hoparlör ve Kulaklıklar:*Bluetooth, kablosuz ses aktarımı için yaygın olarak kullanılır. Bluetooth hoparlörler, kulaklıklar ve kulaklık setleri, akıllı telefonlar ve diğer cihazlarla kablosuz bağlantı kurarak müzik ve ses akışı sağlar.

*Kablosuz Klavyeler ve Fareler:*Bluetooth modülleri, bilgisayarlarla kablosuz klavyeler ve fareler arasında bağlantı kurmak için kullanılır. Bu, masaüstü ve dizüstü bilgisayar kullanıcıları için daha fazla hareket özgürlüğü sağlar

*Mobil Cihazlar ve Tabletler:*Akıllı telefonlar ve tabletler, Bluetooth ile kulaklıklar, kablosuz klavyeler, fareler ve diğer aksesuarlarla bağlantı kurar. Ayrıca, dosya paylaşımı için de kullanılır.

*Otomobiller ve Araç İçi Eğlence Sistemleri:*Bluetooth, araç içi eğlence sistemleri ve akıllı telefonlar arasında bağlantı kurarak eller serbest iletişim, müzik çalma ve sesli komutlar gibi özellikleri sağlar.

Akıllı Ev Cihazları: Akıllı termostatlar, aydınlatma sistemleri, güvenlik kameraları ve diğer akıllı ev cihazları, Bluetooth modülleri kullanarak kablosuz ağlarla bağlantı kurar.

Sağlık ve Tıp Cihazları: Bluetooth, tıbbi cihazlar ve sağlık izleme ekipmanları arasında veri aktarımı ve uzaktan izleme sağlamak için kullanılır. Örneğin, kalp atış hızı monitörleri ve kan şekeri izleme cihazları.

Endüstriyel Uygulamalar: Bluetooth, endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemlerinde kablosuz bağlantı sağlamak için kullanılır. Bu, cihazların uzaktan izlenmesini ve kontrol edilmesini kolaylaştırır.

Spor ve Fitness Cihazları: Bluetooth, spor saatleri, nabız izleme cihazları ve diğer fitness cihazları ile akıllı telefonlar arasında veri senkronizasyonu ve kontrol için kullanılır.

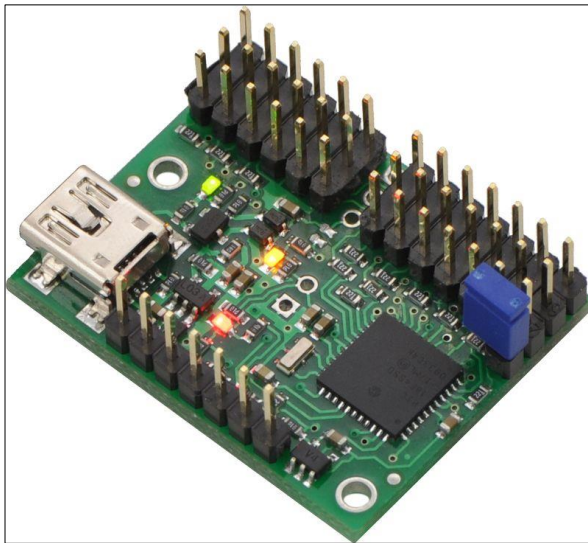
Perakende ve Konum Tabanlı Hizmetler: Perakende mağazaları ve konum tabanlı hizmet sağlayıcıları, müşterilere mağaza içi teklifler ve navigasyon hizmetleri sunmak için Bluetooth ile çalışan Beacon cihazları kullanır.

Oyun Konsolları: Bluetooth, oyun konsollarının kablosuz oyun kumandaları ile iletişim kurmak için yaygın olarak kullanılır.

Bluetooth, kablosuz bağlantı gerektiren birçok uygulama için güvenilir bir çözüm sunar. Bu modüller, veri aktarımı, ses iletişimi, kablosuz kontrol ve daha birçok uygulama için kullanışlıdır ve mobil cihazlar, bilgisayarlar, tıbbi ekipmanlar ve diğer cihazlar arasında kablosuz iletişim sağlar.

2.4. Sürücü Devresi

Sürücü devresi, bir elektronik cihazın veya bileşenin başka bir cihazı veya bileşeni kontrol etmesini sağlayan bir elektronik devredir. Bu devreler, çıkış gücünü artırmak, belirli bir yükü sürmek veya giriş sinyalini uygun bir şekilde işlemek gibi çeşitli amaçlarla kullanılır (Şekil 35). Sürücü devreleri, elektriksel, mekanik veya elektromekanik cihazlarla etkileşimde bulunur ve kontrol işlevi sağlar (Çevik, 2020).



Şekil 33. Motor sürücü devresi (URL-26, 2024)

Sürücü devresi kullanım alanlarından bazıları şöyle sıralanabilir:

Motor Sürücü Devresi: Step motorları, servo motorları, pompa motorları, fanlar, endüstriyel makinelerdeki motorlar gibi çeşitli elektrik motorlarını kontrol etmek için kullanılır. Motor sürücü devreleri, motor hızını, yönünü ve gücünü kontrol etme yeteneğine sahiptir.

LED Sürücü Devresi: LED'leri (ışık yayan diyotlar) kontrol etmek ve LED'lerin parlaklık seviyelerini ayarlamak için kullanılır. Bu, aydınlatma uygulamalarında ve ekran teknolojilerinde sıkça kullanılır.

Röle Sürücü Devresi: Elektromekanik röleleri kontrol etmek için kullanılır. Bu, endüstriyel otomasyon sistemlerinde, ev otomasyonunda ve güç kontrolü uygulamalarında kullanılır.

Transistör Sürücü Devresi: Transistörleri, özellikle yüksek güç uygulamalarında, güç amplifikatörleri olarak veya anahtar olarak kullanmak için kullanılır. Örneğin, anahtarlama güç kaynakları, radyo vericileri ve güç yükselteçleri gibi uygulamaları içerebilir.

Sensör Sürücü Devresi: Bir dizi sensörü (örneğin, sıcaklık, nem, ışık sensörleri) kontrol etmek ve bu sensörlerden gelen verileri işlemek için kullanılır. İklim kontrol sistemleri, endüstriyel otomasyon ve çevresel izleme gibi uygulamalarda sıkça kullanılır.

Hoparlör Sürücü Devresi: Hoparlörleri, ses sistemlerinde veya taşınabilir elektronik cihazlarda ses üretmek için kontrol etmek için kullanılır.

Elektromıknatıs Sürücü Devresi: Elektromıknatısları kontrol etmek ve bir nesneyi mıknatıs olarak kullanmak için kullanılır. Bu, manyetik kilitleme cihazları ve endüstriyel kaldırma sistemleri gibi uygulamalarda kullanılır.

Güç Transistör Sürücü Devresi: Güç MOSFET'leri veya IGBT'leri kontrol etmek ve yüksek güç uygulamalarda güç anahtarlama yapmak için kullanılır. Bu tür sürücü devreleri, yüksek verimlilik ve güç elektroniği uygulamaları için önemlidir.

Sürücü devreleri, birçok farklı endüstri ve uygulama alanında kullanılır ve elektronik cihazların, makinelerin ve sistemlerin işlevselliğini ve verimliliğini artırmak için önemlidir. Bu devreler, giriş sinyallerini veya komutları alarak, çeşitli yükleri kontrol etmek ve uygun bir çıkışa dönüştürmek için kullanılırlar (Çevik, 2020).

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada, Beyin Sinyal Algılayıcıdan veri alarak, kullandığımız mikro denetleyici kart üzerinde kontrol edip ve 10'lu LED Lambaları sinyal derecesine göre yakma işlemi gerçekleşti. Kullanılan devre elemanları ve cihaz listesi aşağıdaki tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzeme listesi

Sıra No	Kullanılan Malzeme İsimleri	Adedi
1	Beyin Dalga Sinyal Algılayıcı Cihaz (NeuroSky MindWave Mobile 2)	1
2	Arduino Mikrodenetleyici Kart	1
3	HC-05 Bluetooth Modülü	1
4	Kırmızı LED Lamba	3
5	Sarı LED Lamba	4
6	Yeşil LED Lamba	3
7	Direnç (220 ohm-Ω)	10
8	Breadboard (Deneyisel Devre Tahtası)	1
9	Jumper Kablo	25

NeuroSky MindWave Mobile 2, kullanıcının beyin aktivitesini ölçmek için tek bir dry-electrode (kuru elektrot) EEG sensörü kullanır (Şekil 36). Bu sensör, elektromanyetik aktiviteyi ölçerek beyin dalgalarını algılar. Beyin dalgalarını delta, theta, alpha, beta ve gamma frekans bantlarında analiz edebilir. Bu bantlar, farklı zihinsel durumları ve aktiviteleri temsil eder. Bluetooth üzerinden kablosuz olarak bilgisayarlar, tabletler veya diğer uyumlu cihazlarla iletişim kurabilir (Tabakçioğlu ve Ülker, 2018). Bu, cihazın taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı sağlamasına yardımcı olur. Cihaz, genellikle birkaç saat boyunca kullanılabilecek bir pil ömrüne sahiptir. Pil ömrü, kullanıma ve kullanıcı aktivitesine bağlı olarak değişebilir. Özel NeuroSky uygulamaları veya üçüncü taraf geliştiriciler tarafından oluşturulan uygulamalar aracılığıyla kullanılabilir. Bu uygulamalar, beyin aktivitesini gerçek zamanlı olarak görselleştirmek, kaydetmek ve analiz etmek için tasarlanmıştır. Cihaz, belirli bir işletim sistemini ve donanımı gerektirebilir. Örneğin, bilgisayar tabanlı uygulamalar için belirli bir işletim sistemi ve Bluetooth yeteneğine sahip bir bilgisayar gerekebilir. Taşınabilirlik için tasarlanmış bir yapıya sahiptir.



Şekil 34. Bir elektrotlu NeuroSky MindWave Mobile2 beyin dalga sinyal algılayıcı (URL-23, 2024).

Arduino Uno, popüler bir mikrodenetleyici kartıdır ve birçok elektronik projede kullanılır. ATmega328P mikrodenetleyici, Arduino Uno'nun ana işlemcisidir. 5V ile çalışır ve genellikle 7-12V arası bir giriş gerilimi uygulanabilir. Bu, harici bir güç kaynağından veya USB bağlantısı aracılığıyla sağlanabilir (Şekil 37).



Şekil 35. Arduino UNO mikro denetleyici kart (URL-24, 2024)

Arduino Uno, 14 adet dijital giriş/çıkış pini bulundurur. Bu pinler, dijital sinyalleri okumak veya üretmek için kullanılabilir. Aynı zamanda 6 adet analog giriş pini içerir. Bu pinler, analog sensörlerden elde edilen verileri okumak için kullanılabilir. Arduino Uno, UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit), ve SPI (Serial Peripheral Interface) gibi iletişim protokollerini destekler. Bu mikrodenetleyicisinin flash belleği 32KB(Kilo Byte)'tir. Bu bellek, Arduino yazılımını

ve kullanıcı tarafından yazılan programları depolamak için kullanılır. Arduino Uno, 2KB(Kilo Byte) SRAM içerir. Bu, çalışma sırasında geçici veri depolamak için kullanılır. 1 KB EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) belleğe sahiptir. EEPROM, kalıcı veri depolama için kullanılır. Hızlı prototipleme için tasarlanmıştır ve geniş bir topluluk tarafından desteklenir. Bu nedenle, kullanıcılar geniş bir kütüphane ve kaynak havuzuna erişebilirler. Arduino Uno, USB üzerinden bilgisayara bağlanabilir ve program yüklemek veya seri iletişim kurmak için kullanılabilir(Ardıç vd., 2019).

Bluetooth modülleri, kablosuz iletişim sağlayan cihazlardır ve birçok farklı özelliğe sahip olabilirler (Şekil 38). Genellikle belirli bir Bluetooth sürümünü destekler. Örneğin, Bluetooth 2.0, 3.0, 4.0 (Bluetooth Low Energy - BLE), 5.0 gibi sürümler mevcuttur. Bu modüllerin çalışma frekansı, genellikle 2.4 GHz bandında yer alır. Bu frekans bandı, kablosuz iletişim için birçok cihaz tarafından paylaşılır. Bluetooth modüllerinin iletişim hızları, veri transferi için kullanılan hızı belirtir. Örneğin, daha yüksek hızlar genellikle Bluetooth 3.0 ve sonraki sürümlerde bulunabilir. İletim gücü, cihazın sinyali ne kadar uzak mesafelere iletebileceğini belirler. İletim gücü, dBm (desibel-milliWatt) cinsinden ölçülür. Bu modüller, entegre antenli veya harici anten bağlantılı olabilir. Ayrıca, bazı modüller tek yönlü (sadece verici veya alıcı) iken diğerleri çift yönlü (hem verici hem alıcı) olabilir. Özellikle pil destekli cihazlarda önemli olan bir özelliktir. Bluetooth modüllerinin düşük güç tüketimine sahip olmaları, pil ömrünü uzatmaya yardımcı olabilir. Çoğu bluetooth modülleri, kolay entegrasyon için standart seri iletişim (UART) protokollerini destekler ve genellikle AT komut setleriyle yapılandırılabilir. Farklı Bluetooth profillerini (örneğin, SPP - Serial Port Profile, A2DP - Advanced Audio Distribution Profile) ve hizmetleri destekleyebilir. Veri güvenliği ve bağlantı güvenliği için şifreleme ve kimlik doğrulama gibi çeşitli güvenlik özelliklerine sahip olabilir (Yapıcı vd., 2018).



Şekil 36. HC-05 bluetooth modülü (URL-25, 2024)

LED (Light Emitting Diode - Işıklı Yarıiletken) diyotlar (Şekil 39), elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarıiletken cihazlardır. LED'ler belirli bir çalışma gerilimine ihtiyaç duyarlar ve bu değer, LED'nin renk türüne bağlı olarak değişir. Örneğin, kırmızı LED'ler genellikle 1.8V - 2.2V arasında çalışırken, mavi ve beyaz LED'ler genellikle 3V - 3.6V arasında çalışabilir. LED'ler belirli bir akım değerine ihtiyaç duyarlar. Bu değer, LED'nin parlaklığını etkiler. LED'ler genellikle 5mA ile 25mA arasında değişen akım değerlerinde çalışabilir. LED'lerin ışık üretme kapasitesi lümen cinsinden ifade edilir. Lümen değeri, LED'in parlaklık seviyesini belirler. LED'ler farklı renklerde mevcuttur. Bazı temel renkler arasında kırmızı, yeşil, mavi ve beyaz bulunur. RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) LED'ler, bu temel renklerin kombinasyonlarıyla daha fazla renk seçeneği sunar. LED'ler belirli bir dalga boyunda ışık yayarlar. Bu, LED'in renk özelliğini etkiler. Örneğin, kırmızı LED'ler genellikle 620 nm civarında bir dalga boyuna sahiptir. LED'lerin ışık yayma karakteristiği, ışığın ne kadar geniş bir alana yayıldığını belirler. Bu, aydınlatma uygulamalarında önemlidir. LED'ler genellikle uzun bir ömre sahiptir. Ömürleri, LED'in markasına, kullanım koşullarına ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişebilir. LED'ler belirli bir sıcaklık aralığında çalışmalıdır. Aşırı sıcaklık, LED'in performansını etkileyebilir. LED'ler genellikle belirli bir doğrulama standardına uygun olmalıdır. Bu, kaliteli bir performans ve güvenilirlik sağlamalarına yardımcı olur. Bir LED devresinde genellikle bir dirence ihtiyaç vardır. Bu direnç, LED'in belirli bir akım ve gerilimle çalışmasını sağlar.



Şekil 37. Üç renk için LED görseli

Dirençler, elektrik devrelerinde direnç sağlayan ve elektrik akımını sınırlayan temel elektrik bileşenleridir (Şekil 40). Direnç, devre şemalarında genellikle "R" harfi ile simgelenir. Direnç değeri, bir direncin elektrik akımına karşı sunduğu zorluk ölçüsüdür. Ohm (Ω) cinsinden ifade edilir. Elektronik devrelerde kullanılan dirençlerin üzerindeki renk bantları, direnç değerini ve toleransını belirlemek için kullanılan bir koddur. Bu renk

kodları, dirençlerin üzerine baskı yapılmasının zor olduğu durumlarda direnç değerlerini belirtmenin standart bir yoludur (Şekil 41). Renk kodları genellikle 4, 5 veya 6 banttandır ve her bir renk belirli bir sayısal değeri temsil eder.



Şekil 38. Kullanılan 220 ohm %5 toleranslı direnç

	- Dört Renk -	- Beş Renk -
220Ω 5% TOLERANS	2 2 0 5%	2 2 0 5%
4.7KΩ 1% TOLERANS	4 7 00 1%	4 7 0 0 1%
10KΩ 10% TOLERANS	1 0 000 10%	1 0 0 00 10%
1.2MΩ 2% TOLERANS	1 2 00000 2%	1 2 0 0000 2%

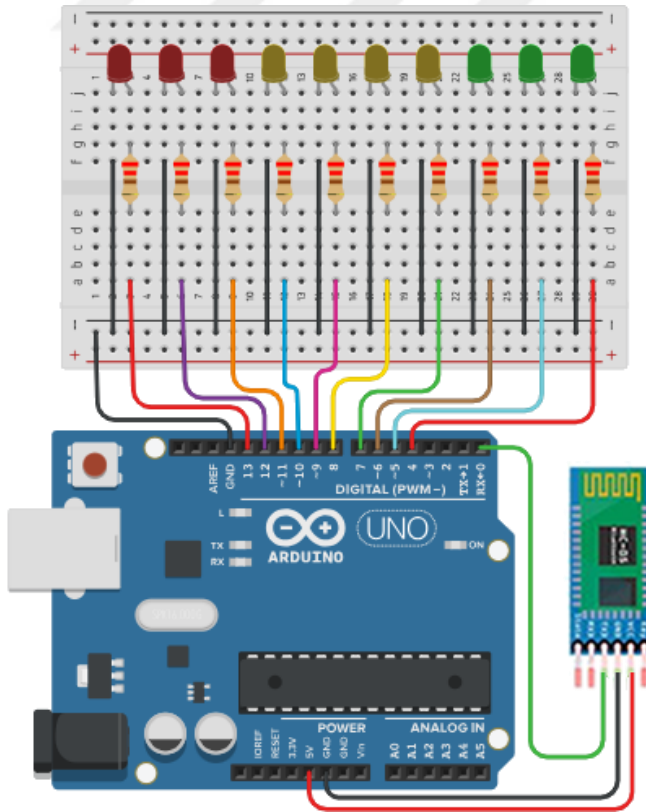
Şekil 39. Direnç değerlerinin hesaplanma tekniği (URL-27, 2024)

Dirençler, elektronik devrelerde, endüstriyel uygulamalarda ve birçok diğer elektriksel sistemlerde yaygın olarak kullanılır. Breadboard, elektronik devreleri prototiplemek ve geçici olarak bağlantılar yapmak için kullanılan bir cihazdır. Breadboard, genellikle bir dizi delik içerir. Bu delikler, devre elemanlarını yerleştirmek için kullanılır. Her delik, diğer deliklerle yatay ve dikey olarak bağlantı kurulan bir dizi kontak noktasına sahiptir. Breadboard üzerindeki kontak noktaları, belirli bir düzen içinde bağlantılıdır. Örneğin, dikey sütunlar genellikle birbiriyle bağlantılıdır, ancak yatay satırlar genellikle bağımsızdır. Bu, devre elemanlarını doğru şekilde bağlamayı kolaylaştırır. Breadboard'lar farklı boyutlarda ve form faktörlerinde bulunabilir. Küçük breadboard'lar genellikle hobi projeleri için kullanılırken, büyük breadboard'lar daha karmaşık prototipler ve deneyler için tercih edilir. Breadboard'lar genellikle renkli şeritlere sahiptir. Bu renkli şeritler, bağlantı noktalarının hangi satırlar veya sütunlar arasında bağlantılı olduğunu gösterir. Renk kodlaması, kullanıcının daha kolay ve hızlı bir şekilde bağlantılar yapmasına yardımcı olur. Breadboard'lar genellikle bir veya daha fazla besleme noktasına sahiptir. Bu besleme noktaları, devreye güç sağlamak için kullanılır. Pozitif (+) ve negatif (-) besleme noktaları genellikle belirli renklerle

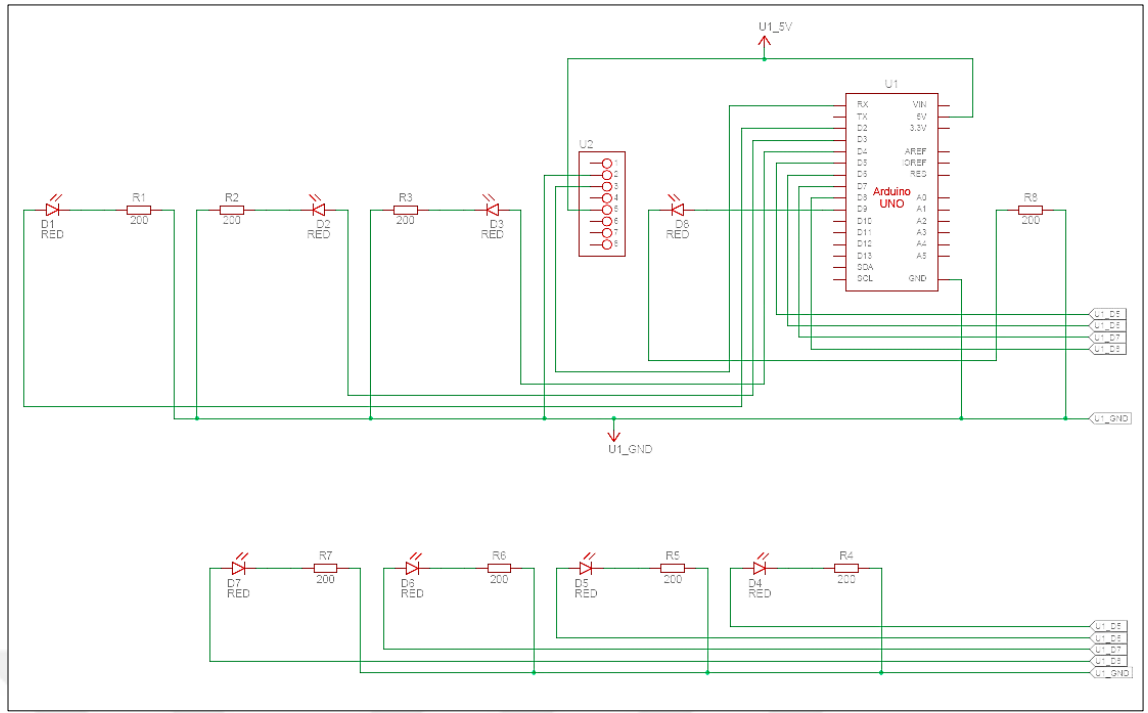
kodlanmıştır. Breadboard'lar genellikle standart delik aralıklarına sahiptir, bu da genellikle devre elemanlarının standart bacak aralıklarına uygun olmasını sağlar. Breadboard, devre elemanlarını hızlı ve geçici olarak bağlamayı sağlayan kullanıcı dostu bir tasarıma sahiptir. Elemanları takmak ve çıkarmak kolaydır, bu da prototipleme sürecini hızlandırır. Kaliteli breadboard'lar genellikle dayanıklı malzemelerden yapılır ve uzun ömürlüdür. İyi bir kaliteye sahip olanlar, tekrar tekrar kullanılabilir şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 42'de tasarımı yapılan devre, Şekil 43'de ise devrenin bağlantı şeması görülmektedir. Bu devrede kullanılan bluetooth modülü, NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazımızdan aldığı beyin dalga sinyallerini arduino mikrodenetleyici karta kablosuz olarak iletmektedir. Alınan bu sinyaller mikrodenetleyici entegrede içerisindeki kodlar sayesinde değerlendirilerek LED lambaların kırmızıdan yeşile doğru sinyal yoğunluğuna bağlı olarak ışık vermeleri sağlanır.

Kullanılan NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazımız bir problu olduğundan dolayı tek analog sinyal vermektedir. Bu sinyalin büyüklüğünü Arduino kart sayesinde ölçebilmekteyiz. Buda bize ışık veren LED lambaların sayı yoğunluğunu seçme yada ayarlama olanağı sağlamaktadır.



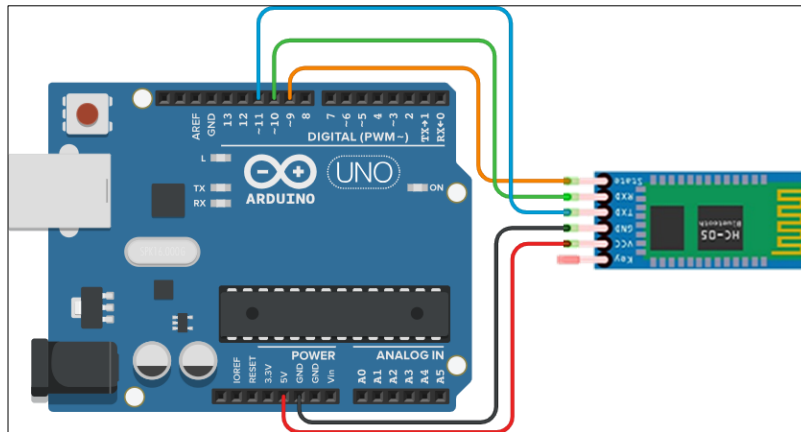
Şekil 40. Devrenin TinkerCad programıyla çizimi



Şekil 41. Devrenin bağlantı şema görünümü

Arduino mikrodenetleyici karta takılan bluetooth modülünü ayarlamak için aşağıda verilen işlem adımları takip edilerek arduino kart üzerinden modül bilgileri ayarlaması yapılır.

Aşağıda Şekil 44’de gösterilen devre bağlantısı yapılarak Arduino kart üzerinden Bluetooth modülünün bazı ayarları kodlamayla yapılmalıdır. Devrenin altındaki kodlar arduino kartta yüklenir ve Bluetooth modülü için girilmesi gereken AT (ATTENTION) kodları sırasıyla girilmelidir.



Şekil 42. Bluetooth ayarı için Arduino bağlantı şekli

Bluetooth modülünün ilk açılışta beyin sinyal cihazının gönderdiği sinyalleri alıp arduino mikro denetleyici karta gönderebilmesi için arduino üzerinde bazı ayarlamalar yapılmalıdır. Bu ayarların yapılması için arduino kart içerisine Şekil 43'te verilen kod yüklenmeli ve devamındaki AT komutlarının adım adım girilmesi sağlanmalıdır. AT komutlarının yazılıp çalıştırıldığı her seferde "OK" yazısıyla girilen komutların doğruluğu onaylanmalıdır. Bu ayar veri iletişimi için büyük önem arz etmektedir. Çünkü iki cihazında birbirini otomatik tanımaları ve veri iletmeleri gerekmektedir.

```
1  #include <SoftwareSerial.h>
2
3  SoftwareSerial BTSerial(10,11); // Tx=10, Rx=11
4
5  void setup()
6  {
7      pinMode(9,OUTPUT);
8      digitalWrite(9,HIGH);
9      Serial.begin(9600);
10     Serial.print("At Komutları Giriniz: ");
11     BTSerial.begin(38400);
12 }
13
14 void loop()
15 {
16     if(BTSerial.available())
17     {
18         Serial.write(BTSerial.read());
19     }
20     if(Serial.available())
21     {
22         BTSerial.write(Serial.read());
23     }
24 }
```

Şekil 43. Arduino kart içerisine yazılan kodlar

Arduino Kart ile bilgisayar bağlantısı yapıldıktan sonra HC05 bluetooth kart modülüne AT komutlarının uygulanabilmesi için modülün üzerindeki düğmeye 2-3 saniye basılmalıdır. Modülün hazırlanması LED ışığının sürekli yanıp sönmesinden daha seyrek yanıp sönmesine başlamasını görünce anlaşılır.

AT komutları aşağıdaki sıraya göre Arduino serial port üzerinden girilerek uygulanmalıdır.

AT Komutları;

1. AT+NAME=BEYINSINYALALMA
2. AT+UART=57600,0,0
3. AT+ROLE=1

4. AT+PSWD=1234
5. AT+CMODE=0
6. AT+BIND=XXXX,YY,ZZZZZZ
7. AT+IAC=9E8B33
8. AT+CLASS=0
9. AT+INQM=1,9,48

Mikrodenetleyici kartta seriport ekranına AT komutlarını girdikçe "OK" yazısı çıkacaktır. Sadece bir adımda ERROR görülmektedir. Buradaki adım paralo girince gelmektedir. Parola girilme adımında ERROR geldiğinde dikkate alınmaz fakat diğer adımlarda "OK" yazdığını görmemiz gerekmektedir. Bu komutların girilip işlenmesinden sonra HC05 bluetooth modülü NeuroSky Mindwave Mobile 2 beyin sinyal cihazı ile bağlantı yapmaya hazır hale gelecektir.

NeuroSky Mindwave Mobile 2 cihazını Bluetooth üzerinden bağlamak için öncelikle cihazın şarj durumunu kontrol edilir ve açılır. Cihaz açıldığında mavi LED ışık yanıp sönmeye başlar. Bağlanmak istediğimiz cihazda (arduino bağlantıları yapılmış bluetooth cihazı) Bluetooth'un açık olduğundan emin olup, Bluetooth cihazının sinyal almaya hazır anlamına gelen kırmızı ışığının yanıp söndüğünden emin olunur. Daha önceden yaptığımız ayarlara göre; gerekirse eşleştirme kodu olarak "0000" veya "1234" kullanılır. Bağlantı sağlandığında Mindwave Mobile 2'nin mavi LED ışığı sabit hale gelecektir. NeuroSky Mindwave Mobile 2 ile kullanılacak devredeki LED ışıkları izlenebilir ve bilgisayar üzerinden Arduino programında seri port ekranına gelen Analog veriler alınarak analiz edebilir. Bağlantı sorunları yaşarsa, cihazın Bluetooth'unu kapatıp açarak yeniden eşleştirme denenebilir, yazılım güncellemelerini kontrol edilir ve gerekirse her iki cihazı da kapatıp açarak yeniden başlatılır (Ruşanu vd., 2019).

Beyin sinyal cihazımız kullanım kurallarına göre kafaya takıldıktan sonra bağlantı butonu açılarak, devre ile bağlantısının sağlanması beklenir. Bağlı olan cihazımızdan en verimli şekilde sinyal alabilmek için sessiz ve dikkat yoğunluğunu sağlayabileceğimiz bir ortamda işlem yapılmalıdır. Herhangi bir düşünce çerçevesinde düşünceye yoğunlaştığımızda devre üzerindeki LED diyot lambalarının yeşilden kırmızıya doğru arttığı görülecektir.

Çalışmada kullandığımız Arduino Kodları ekler kısmında belirtilen şekildedir. Arduino kodları Beyin Dalga Sensöründen gelen analog verileri alarak tasarladığımız devrede bulunan LED'lerin yanmalarını sağlayamaktadır. 0-1023 aralığında olan bu

veriler, 0'a doğru LED'in daha az, 1023 doğru LED'in daha fazla yanması sağlanarak beyin sinyal yoğunluğunu göstermektedir.

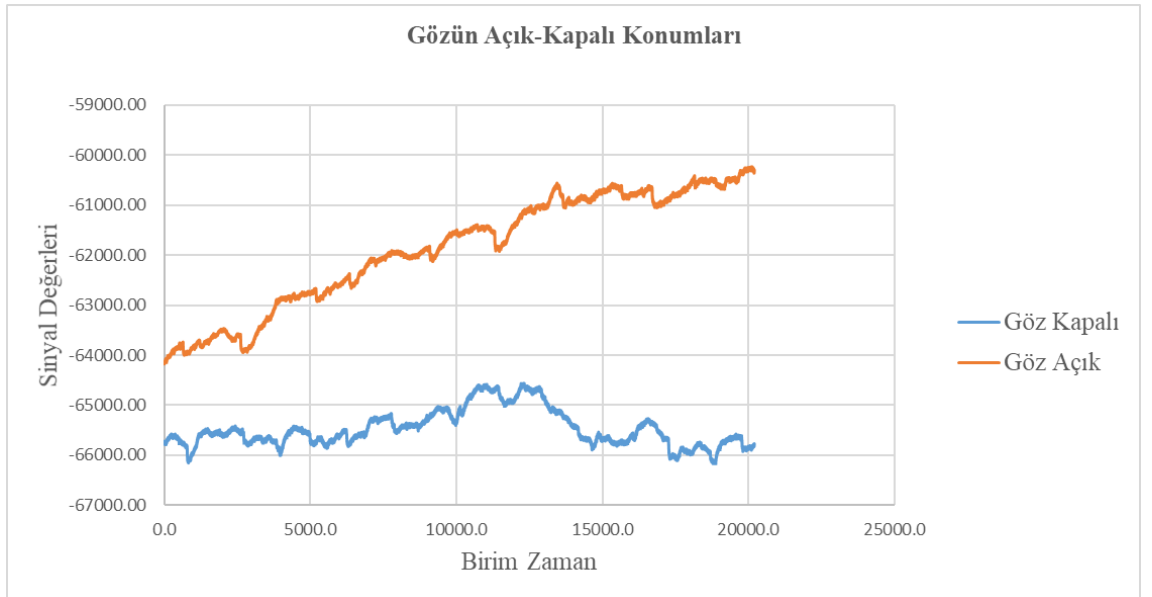
Bu tez çalışmasında öncelikle EEG sinyallerini alacak devrelerin tasarlanması planlanmış olmasına rağmen, savunma sınavı jürisi tarafından bir eksiklik olarak belirtilen kullanıcılar üzerinde geliştirilen sistemin test edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi çalışmanın son aşaması olarak ele alınmıştır. Kısıtlı zamandan dolayı sadece 10 kişi üzerinde basit senaryolara göre deneyler yapılmış ve bunlar tez kapsamında değerlendirilmiştir. Deneyleri yapılması için gerekli olan Etik Kurul izinleri de bu kısa süre içerisinde alınmış ve tezin ekinde paylaşılmıştır.

Katılımcılar üzerinde NeuroSky Windwave Mobil2 cihazından analog veriler alındıktan sonra ayrıca istatistiksel bir çalışma için bir deney dizisi yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu deneyde, 5 erkek ve 5 kadın katılımcıdan konsantrasyonlarına bağlı olarak LED yakma ve söndürme işlemi incelenmiştir. Her katılımcıdan 60 saniye boyunca veri toplandı. Deney süresince belirli zamanlarda katılımcılara komutlar verildi. Bu komut dizisi şu şekildedir: 20. saniyede LED yakılacak, 30. saniyede söndürülecek, 40. saniyede tekrar yakılacak ve 50. saniyede yeniden söndürülecektir. Bu süreçte, katılımcıların konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak LED'in yanıp sönmesi gözlemlenerek, deney sonuçlarına dayalı bir istatistiksel analiz yapılmıştır.

4. BULGULAR

EEG ile yapılan çalışmalarda, gözün açık ve kapalı durumlarının beyin dalgaları üzerindeki etkileri önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Gözler kapalı olduğunda, özellikle dinlenme halindeyken, beynin oksipital lobunda alfa dalgaları (8-13 Hz) belirgin bir şekilde artar. Bu alfa ritmi, rahatlama ve uyanıklık arasındaki geçişi temsil eder ve gözler kapalıyken daha baskın hale gelir. Buna karşılık, gözler açıldığında, alfa dalgaları azalır ve yerini beta dalgaları (13-30 Hz) alır. Bu beta dalgaları, dikkat, odaklanma ve aktif bilişsel işlemle ilişkilidir. Gözlerin açık olduğu durumda, dış dünyadan gelen görsel uyarıcıların işlenmesi nedeniyle beynin aktivite seviyesi artar ve EEG sinyalinde bu değişiklikler açıkça gözlemlenebilir. Dolayısıyla, gözlerin açık veya kapalı olması, EEG çalışmaları sırasında beyin aktivitesinin yorumlanmasında önemli bir faktördür ve bu durum deneylerin tasarımında dikkate alınmalıdır.

Daha önce yapılan çalışmaların deney setleri üzerindeki verilere baktığımızda aynı bulgular ortaya çıkmaktadır (URL-28, 2023). Veri seti içindeki veriler, 1->FP1, 2->FP2, 3->F3, 4->F4, 5->C3, 6->C4, 7->O1, 8->O2 problarından alınmıştır. Örnekleme hızı saniyede 250 kayıttır. Örneklem büyüklüğü, her denek için veri toplama süresine (250 kayıt/saniye) bağlıdır ve durum süresi aynı değildir. Şekil 45'te bu veri seti kullanılarak F4 prob verileri kullanılarak çizilen grafik verilmektedir.



Şekil 44. Hazır veri seti kullanılarak oluşturulan grafik.

Bu EEG tabanlı deney seti, gözlerin açık ve kapalı olduğu durumların beyin dalgaları üzerindeki etkilerini araştırmak için tasarlanmıştır. Deney, katılımcıların sessiz bir ortamda, rahat bir pozisyonda gözlerinin açık ve kapalı olduğu iki farklı durumu deneyimlediği basit bir protokole dayanmaktadır. EEG cihazı ve elektrotlar kullanılarak beyin aktivitesi kaydedilir ve alfa ve beta dalgalarının analizi yapılır. Gözler kapalı olduğunda, alfa dalgalarının arttığı ve gözler açık olduğunda beta dalgalarının arttığı gözlemlenir. Bu deney, beyin dalgalarının farklı görsel girdilere nasıl yanıt verdiğini anlamak ve bilişsel işleme süreçlerini incelemek için değerli bir araç sağlar.

Göz açıp kapama ile alınan beyin sinyallerinin analizi, beyin aktivitesini anlamak ve nörolojik durumları değerlendirmek için kullanışlı bir araçtır. EEG teknolojisinin gelişmesi, bu sinyallerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesini ve çeşitli uygulamalarda kullanılmasını sağlamıştır. Göz açıp kapatma durumlarında kendi çalışmamız için kullanılan NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazından alınan veriler Şekil 46'de gösterilmiştir. Verilerin Arduino programında seri port ekranına gelme hızı saniyede 100 (100 kayıt/saniye) kayıttır.

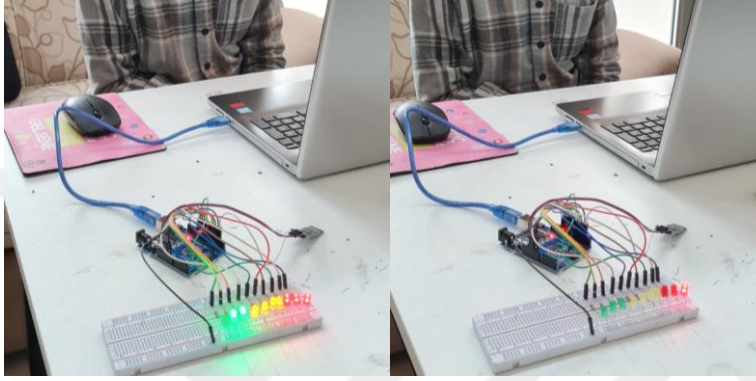


Şekil 45. Çalışmadan alınan verilerin grafiksel gösterimi

Grafikte, gözün açık ve kapalı durumları arasındaki farklılıklar görülmektedir. Burada kullanılan NeuroSky MindWave Mobile 2 cihazının verdiği 0-1023 aralığındaki analog sinyal değerinin, gözün açıklık ve kapalılık durumuna göre nasıl değiştiği izlenmektedir. NeuroSky MindWave Mobile 2, beyin dalgalarını algılayan bir taşınabilir EEG cihazıdır. Göz açık ve kapalı durumları, beyin dalgalarında farklılıklar oluşturur.

Genellikle, gözler kapalıyken alfa dalgalarının arttığı ve gözler açıkken alfa dalgalarının azalıp, beta dalgalarının arttığı gözlemlenir. Alfa dalgaları genellikle gevşeme ve dinlenme durumlarında artar, beta dalgaları ise uyanıklık ve dikkat gerektiren durumlarda artar. Bu cihaz, beyin dalgalarındaki bu tür değişiklikleri algılayabilir ve kullanıcılara beyin aktivitesi hakkında bilgi sağlayabilir.

Şekil 47’de alınan beyin sinyallerinin tasarlanıp üretilen devrede LED’lerin yanmalarını nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 46. Çalışmada beyin sinyaliyle LED yakımı

Algılayıcı gergin-sakin veya göz açık-kapalı durumlarda farklı analog sinyaller vermektedir. Bu sinyallerin özelliklede göz açama ve kapamada daha keskin olduğu gözlemlendi. Yukarıdaki Şekil 46’da gerginlik ve sakinlik anında alınan beyin sinyallerinin, cihaz sayesinde analog verilere çevrilerek 0-1023 aralığında üretilen sinyaller sayesinde LED’lerin yanma yoğunluğu gösterilmektedir. Bu sinyaller Arduino programında Serial Port ekranında da gözlemlenebilmektedir (Şekil 48). Aşağıdaki resimde Arduino programının Serial Port ekranı ve analog olarak alınan veriler gözükmemektedir.



Şekil 47. Arduino Seri Port ekranının bilgisayarda gösterilmesi

Çalışmada hazırlanan düzenek ile gönüllü katılımcılardan veriler alınması eksikliği hissedilen ve çalışmaya sonradan dahil edilen bir çalışma olmuştur. Buna göre katılımcılar (5 erkek ve 5 kadın) üzerinde yapılan deneylerde LED'leri %60 oranında yakma ve söndürme görevlerinde gösterdikleri performansa göre oluşturulan veriler Tablo 2'de verilmiştir. Veriler, her katılımcının 60 saniyelik deney süresi boyunca alınan konsantrasyon değerlerine göre LED'in beklenen ve gerçek durumu ile ilişkilendirilmiştir.

Tablo 2. Erkek ve Kadın bireylerden alınan veriler

Katılımcı (Erkek)	Zaman (sn)	LED Durumu (Beklenen)	LED Durumu (Gerçek)	Katılımcı (Kadın)	Zaman (sn)	LED Durumu (Beklenen)	LED Durumu (Gerçek)
E1	0-20	Kapalı	Kapalı	K1	0-20	Kapalı	Açık
E1	20-30	Açık	Açık	K1	20-30	Açık	Açık
E1	30-40	Kapalı	Kapalı	K1	30-40	Kapalı	Kapalı
E1	40-50	Açık	Açık	K1	40-50	Açık	Açık
E1	50-60	Kapalı	Kapalı	K1	50-60	Kapalı	Kapalı
E2	0-20	Kapalı	Kapalı	K2	0-20	Kapalı	Kapalı
E2	20-30	Açık	Kapalı	K2	20-30	Açık	Kapalı
E2	30-40	Kapalı	Açık	K2	30-40	Kapalı	Kapalı
E2	40-50	Açık	Kapalı	K2	40-50	Açık	Açık
E2	50-60	Kapalı	Kapalı	K2	50-60	Kapalı	Açık
E3	0-20	Kapalı	Kapalı	K3	0-20	Kapalı	Kapalı
E3	20-30	Açık	Açık	K3	20-30	Açık	Açık
E3	30-40	Kapalı	Kapalı	K3	30-40	Kapalı	Kapalı
E3	40-50	Açık	Açık	K3	40-50	Açık	Kapalı
E3	50-60	Kapalı	Kapalı	K3	50-60	Kapalı	Kapalı
E4	0-20	Kapalı	Açık	K4	0-20	Kapalı	Açık
E4	20-30	Açık	Kapalı	K4	20-30	Açık	Kapalı
E4	30-40	Kapalı	Kapalı	K4	30-40	Kapalı	Kapalı
E4	40-50	Açık	Kapalı	K4	40-50	Açık	Açık
E4	50-60	Kapalı	Kapalı	K4	50-60	Kapalı	Açık
E5	0-20	Kapalı	Açık	K5	0-20	Kapalı	Açık
E5	20-30	Açık	Açık	K5	20-30	Açık	Açık
E5	30-40	Kapalı	Kapalı	K5	30-40	Kapalı	Açık
E5	40-50	Açık	Açık	K5	40-50	Açık	Açık
E5	50-60	Kapalı	Kapalı	K5	50-60	Kapalı	Kapalı

Tablo 2'de erkek ve kadın katılımcılara ait verileri ayrı ayrı göstermektedir. Veriler katılımcıların deney süresince LED'in beklenen ve gerçek durumlarını içermektedir. Neurosky cihazı ile gerçekleştirilen bu deneyde, 5 erkek ve 5 kadın katılımcıdan konsantrasyonlarına bağlı olarak LED yakma ve söndürme işlemi incelendi. Her katılımcıdan 60 saniye boyunca veri toplandı. Deney süresince belirli zamanlarda LED'in durumunu değiştirmek için kullanıcıya komut verildi. Buna göre: 20. saniyede LED

yakılacak, 30. saniyede söndürülecek, 40. saniyede tekrar yakılacak ve 50. saniyede yeniden söndürülecektir. Bu süreçte, katılımcıların konsantrasyon seviyelerine bağlı olarak LED'in yanıp sönmesi gözlemlenerek aşağıdaki tablo oluşturuldu. Tabloda erkek katılımcılar “E”, kadın katılımcılar ise “K” harfi ile gösterildi.

Her katılımcının beklenen LED durumu ile gerçek LED durumu arasındaki uyum oranı hesaplandı. Bu, katılımcıların doğru şekilde LED’i yakıp söndürdüklerini gösteren bir doğruluk ölçüsüdür. Bu hesaplama $Doğruluk = (Doğru Sonuç Sayısı / Toplam Sonuç Sayısı) \times 100$ formülüyle hesaplanmıştır. Buna göre elde sonuçlarda;

- Erkekler için Doğruluk $= (18/25) \times 100 = \% 72$
- Kadınlar için Doğruluk $= (16/25) \times 100 = \% 64$

değerleri bulunmuştur.

DeneySEL çalışmaya katılan kadınların yaş aralığı 25-40 arası olup, ortalama yaşları 33’tür; erkeklerin yaş aralığı ise 28-45 arasında olup yaş ortalaması 35’tir. Tüm katılımcılar en az bir üniversite eğitimi almış bireylerdir. Deney sonuçlarına göre erkek katılımcılar %72 oranında başarı elde ederken, kadın katılımcılar %64 oranında başarı göstermiştir. Bu yaş grupları, beyin dalgalarının dikkat ve konsantrasyon üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için ideal bir demografik grup sunmaktadır. Bu veriler, konsantrasyon ve dikkat performansının cinsiyete bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu deneyde katılımcıların eğitim durumları ve yaş ortalamaları dikkate alındığında, sonuçların güvenilirliği çeşitli açılardan değerlendirilebilir. Tüm katılımcıların en az bir üniversite eğitimi almış olması, zihinsel becerilerinin, özellikle dikkat ve yoğunlaşma kapasitelerinin belirli bir seviyede olduğunu göstermektedir. Eğitimli bireyler, genellikle odaklanma ve zihinsel süreçlerde daha yetkindir, bu da sonuçların genel popülasyon yerine eğitimli kişiler için daha geçerli olabileceğini gösterir. Fakat farklı eğitim seviyelerine sahip bireyler üzerinde aynı deneyin yapılması, sonuçların değişebileceğini ortaya koyabilir. Yaş ortalamaları incelendiğinde, kadın katılımcıların yaş ortalamasının 33, erkeklerin ise 35 olduğu görülmektedir. Bu yaş grubu, genç erişkinler ve orta yaşlı bireyler için uygun bir temsiliyet sunmaktadır.

Deneyde 10 katılımcı (5 erkek, 5 kadın) bulunduğu ve her katılımcıdan 5 veri toplandığı için toplamda 50 veri noktası elde edilmiştir. Bu, örneklem büyüklüğünü artıran bir faktördür ve deneyin istatistiksel gücünü artırabilir. Her katılımcıdan birden fazla veri toplanması, bireysel varyasyonları dengeleyerek, daha sağlam ve tutarlı

sonuçlar elde edilmesine olanak tanır. Bu, deneydeki bireysel performans dalgalanmalarının etkisini azaltabilir ve genel sonuçları daha güvenilir hale getirebilir.

Hesaplanan istatistik veriler, kadınların konsantrasyonlarının erkeklere göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Kadınların konsantrasyonunun erkeklere göre düşük çıkmasının biyolojik, kognitif ve çevresel nedenleri olabilir. Hormon seviyeleri (strojen ve testosteron), dikkat süreçlerini etkileyebileceği gibi, kadınlar döngüsel olarak farklı performans gösterebilir. Ayrıca, erkekler genellikle tek bir göreve daha iyi odaklanabilirken, kadınlar çoklu görevlere daha yatkındır, bu da uzun süreli odaklanmayı zorlaştırabilir. Toplumsal roller ve çevresel stres de kadınların dikkatlerini dağıtabilir. Biyolojik ve çevresel faktörler bu farkı açıklamaya yardımcı olabilir (Eşel, 2005).

Her katılımcıdan 5 veri alınması, örneklem büyüklüğü açısından deneyin istatistiksel gücünü önemli ölçüde artırmıştır. Toplamda 50 veri noktasının elde edilmesi, bireysel performans dalgalanmalarının etkisini azaltarak daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımıştır. Bu sayede her bir katılımcının performansının deneyin genel bulgularına katkısı artmış, istatistiksel analizler için daha sağlam bir veri seti oluşturulmuştur. Katılımcı sayısının sınırlı olmasına rağmen, her katılımcıdan birden fazla veri alınması, deney sonuçlarının genellenebilirliğini belirli bir ölçüde güçlendirmiştir. Elde edilen veriler, eğitimli ve orta yaş grubundaki bireyler için dikkat ve konsantrasyon performansını başarıyla ortaya koymakta ve anlamlı bulgular sunmaktadır. Gelecekte daha geniş katılımcı gruplarıyla yapılacak çalışmalar, bu sonuçların farklı demografik gruplarda da geçerli olup olmadığını test edebilir, ancak mevcut sonuçlar, deneyin bilimsel geçerliliğini olumlu yönde desteklemektedir.

5. SONUÇLAR

Arduino ve NeuroSky MindWave Mobile 2 gibi bir EEG cihazını kullanarak bir proje geliştirdiğimizde beyin sinyal algılama cihazımız, beyin dalgalarını algılar ve bunları işlemek için bir arayüz sunar. Arduino'ya bağlayarak bu veriler alınabilir. NeuroSky'nin sunduğu SDK (Software Development Kit) veya API (Application Programming Interface)'leri kullanarak Arduino ile iletişim kurulabilir (Özen vd., 2019).

Bu çalışmada 10 LED'li bir devre tasarımında NeuroSky MindWave Mobile 2'den alınan beyin dalgası verilerini kullanarak LED'leri kontrol etmenin mümkün olduğu görülmüştür. EEG verileri genellikle direk olarak kullanılamaz. Bunun için verilerin işlenmesi ve bilgi anlamında tanımlanması gerekmektedir. Beyin dalgalarının belirli frekans aralıklarındaki yoğunluklarına göre verileri filtrelemek ve yorumlamak gerekir. Örneğin, alfa dalgalarının yoğunluğu ölçülebilir ve belli bir eşik değerinden sonra LED'ler etkinleştirilebilir. Bu nedenle çalışmada Arduino üzerinde LED'leri kontrol etmek için bir devre tasarlanmıştır. Belirli bir eşik değerinin üzerinde veya altında belirli LED'leri yanıp sönmeleri sağlanmıştır. Örneğin, daha yüksek bir alfa dalgası yoğunluğu LED'leri yakıp söndürebilirken, daha düşük bir yoğunlukta LED'lerin sönmüş olması sağlanabilir. LED'lerin yanıp söndüğünü gören kullanıcı, beyin dalgalarını farklı durumlarda nasıl kontrol edebileceğini öğrenebilir. Bu, kullanıcının dikkatini, gevşemesini veya odaklanmasını artırmak için bir geribildirim mekanizması olarak kullanılabilir.

Burada, temel bir EEG tabanlı bio-geribildirim sistemini oluşturmak için bir beyin sinyal kontrol örneği verilmiştir. EEG verilerini işlemek ve LED'leri kontrol etmek için temel bilgilere ve Arduino ile C programlama becerisine ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca NeuroSky MindWave Mobile 2'nin Datasheet (Veri İçerik Sayfası) içerisinde gerekli birtakım bilgilerin de bilinmesi ve daha önce anlatılan ayarlamalarında yapılması gerekmektedir.

Birçok beyin sinyal alıcı cihazıyla devre veya benzeri çalışmaları kontrol etmek mümkündür. Günümüzde kullanım alanları geniş olan bu tür çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin bu çalışmayı da temel alan beyin sinyal kontrolünün kullanım alanlarını şöyle sıralanabilir.

Nörobilim Araştırmaları: Beyin sinyal kontrolü, nörobilim alanında çok önemlidir. Beyin aktivitesini anlamak ve belirli düşünce veya duyguların beyin dalgaları ile ilişkilendirilmesini incelemek için kullanılır. Bu tür araştırmalar, zihinsel hastalıkların nörolojik temellerini anlamak, beyin yaralanmalarını incelemek ve beyin-makine arayüzleri geliştirmek için kullanılabilir.

Tıbbi Uygulamalar: Beyin sinyal kontrolü, tıbbi alanda da kullanılır. Örneğin, felçli hastalarda kullanıcıların beyin dalgalarını kullanarak protez(takma) veya tekerlekli sandalye gibi cihazları kontrol etmelerine olanak tanıyan beyin-bilgisayar arayüzleri geliştirilmiştir. Ayrıca, epilepsi gibi nörolojik bozuklukların teşhisinde ve tedavisinde de kullanılabilir.

Bilişsel Performans Artırma: Beyin dalgalarını kontrol etme, bilişsel performansı artırmak amacıyla kullanılabilir. Örneğin, odaklanmayı artırmak, stresi azaltmak veya rahatlama sağlamak için bio-geribildirim terapisi kullanılabilir. Bu tür uygulamalar, öğrencilerden profesyonellere kadar geniş bir yelpazedeki kişiler için potansiyel olarak faydalı olabilir.

Eğlence ve Oyunlar: Beyin dalgalarını kontrol etme, eğlence ve oyun endüstrisinde de kullanılmaktadır. Örneğin, beyin kontrollü oyuncaklar, oyunlar veya eğlenceli uygulamalar geliştirilebilir. Bu tür uygulamalar, kullanıcıların beyin aktivitelerini kontrol ederek etkileşimde bulunmalarına olanak tanır.

Askeri ve Savunma Uygulamaları: Askeri alanda, beyin sinyal kontrolü bazı uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin, askeri pilotların konsantrasyon seviyelerini izlemek veya askeri personelin stres seviyelerini değerlendirmek için kullanılabilir.

Ayrıca akıllı ev sistemlerinin geliştiği günümüzde bu sistemler ile BBA (Beyin-Bilgisayar Arabirimi) sistemlerinin Arduino tarzı kartlar ile bağlantılarının sağlanabilir. Engelli bireylerin BBA üzerinden bulundukları bir ortamdaki aydınlatma elemanı, ısıtma-soğutma sistemi, elektrikle kontrol edilen kapı, elektrikli hasta yatağı vb. gibi evde bulunan birçok sistemin kontrolünü yapabileceği deneylerle ortaya çıkmıştır (Şansal vd., 2019).

Kişiler üstünde yapılan deneyin sonuçlarına göre, erkek ve kadın katılımcıların dikkat ve konsantrasyon süreçleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmiştir. 5 erkek ve 5 kadın katılımcının beyin dalgalarıyla LED yakma ve söndürme görevindeki performansları, erkeklerin %72 doğruluk oranı ile kadınlardan daha yüksek bir başarı elde ettiğini göstermektedir. Kadın katılımcılarda bu oran %64 olarak hesaplanmıştır. Bu fark, bireylerin dikkat süreçlerinin cinsiyete göre değişkenlik gösterebileceğini işaret

etmektedir. Literatürde yer alan bazı araştırmalar, bu tür farkların biyolojik ve nörolojik etkenler, dikkat süreçlerinin yönetimi ve bilişsel işlevlerdeki cinsiyete dayalı farklılıklarla açıklanabileceğini öne sürmektedir (Eşel, 2005). Erkeklerin, özellikle odaklanma ve dikkat gerektiren görevlerde genellikle daha yüksek performans sergilediği, ancak bu farkların bireyler arasında değişkenlik gösterebileceği belirtilmiştir. Bu veriler, beyin-dalga tabanlı sistemlerde dikkat ve konsantrasyon gerektiren görevlerde cinsiyet farkının göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, deneyin kapsamı ve katılımcı sayısının sınırlı olması, bu bulguların genelleme bilirliliğini kısıtlamaktadır, bu nedenle daha geniş çaplı çalışmalara ihtiyaç vardır. Buradan, beyin-bilgisayar arayüzlerine dayalı uygulamaların geliştirilmesi sürecinde, bireylerin bilişsel özelliklerine göre optimize edilmesinin öneminin sonucuna varılmaktadır.

Bu sonuçların hepsi sadece beyin sinyal kontrolünün kullanıldığı bazı ana alanlardır ve bu teknoloji sürekli olarak yeni uygulama alanları keşfedilmektedir. Şu an için kablosuz beyin sinyal iletimi yapılıyor olsa da cihazın kafaya takılabilen bir aparat kullanımlığında olması gerekmektedir. Belki de sonraki yıllarda buna ihtiyaç duymadan direk beyin sinyalleri uzaktan alınıp kullanılabilir. Gelecekte ne olacağını bilemeyiz, ama geçmiş yaşantılarımız ne olabileceğinin ipuçlarını bizlere vermektedir.

KAYNAKÇA

- Akyel, R., Türkoguz, S. U. A. T., ve Kayalar, A. (2023). Bilgisayar Destekli Çoktan Seçmeli ve İki Aşamalı Kimya Testine Katılan Öğrencilerin Yanıtlama Süreleri ve Dikkat Düzeylerinin İncelenmesi, *International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education*, 12(2).
- Alsammarraie, K. S. K. (2022), *Motion control of a vehicle using brain waves and an arduino based automated system*, *Yüksek Lisans Tezi, Altınbaş Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgi Teknolojileri Ana Bilim Dalı, İstanbul*.
- Ardıç, C., Şen, M. A. E. ve Karakoç, M. (2019). Restful Web Servisleri ve Android Kullanılarak Genel Bir Kullanıcı Doğrulama Sisteminin Arduino Mikrodenetleyici Kart ve RFID Teknolojisi ile Tasarımı ve Gerçekleştirimi, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(1), 19-29.
- Ay, U., Şen, M., Akbayır, E., Tüzün, E. ve Küçükali, C. İ. (2017). Nörodejeneratif Hastalıklar ve Sumo (Small ubiquitin-like modifiers), *Deneyisel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 7(13), 59-70.
- Aydemir, Ö. ve Kayıkçıoğlu, T. (2009). EEG tabanlı beyin bilgisayar arayüzleri, Akademik Bilişim Konferansı, 11-13 Şubat 2009, Şanlıurfa, Türkiye.
- Aydemir, Ö. (2022). Beyin Bilgisayar Arayüzü ve Geleceği. *Journal of Investigations on Engineering and Technology*, 5(2), 135-141.
- Bear, M., Connors, B. ve Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscience: Exploring the Brain*, Jones ve Bartlett Learning.
- Bekar, A., Taşkapılıoğlu, M. Ö. ve Türkkan, A. (2019). Beyin sapı ve spinal kord düzeyinde destrüktif ağrı cerrahisi, *Türk Nöroşirürji Dergisi*. 29(2). p180-186
- Beşler, H. K., *Zihinsel Antrenmanın Futbol Antrenörlerinin Zihinsel Dayanıklılık ve Problem Çözme Becerilerine Etkisi*, *Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Spor Yöneticiliği ABD, Eskişehir*.
- Bozkurt, B. ve Yağmurlu, K. (2020). Beyin sapı lezyonlarına cerrahi yaklaşımlar. *Türk Nöroşirürji Dergisi (TND)*, 30(1), 63-74.
- Bozkurt, B., & Çirak, M. (2020). Serebellum Flokkulonodüler Sistemin Mikrocerrahi Anatomisi: Kadavra Çalışması. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 40(1), 79-82.

- Bulut, C. (2018). *Beyin bilgisayar arayüzü uygulamaları için EEG sinyal analizi, Yüksek Lisans Tezi, Altınbaş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul.*
- Büyüköze, S. (2019). *Beyin Bilgisayar Arayüzleri ve Uygulama Alanları*. Günday, A. ve Minaz, M. R. (ed), Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, Ankara, Gece Akademi.
- Chi, Y. M. (2015). Advancements in dryelectrode technology for medical devices. Cognionics Inc Firması Raporu. 10 Ocak 2024 tarihinde <https://isn.ucsd.edu/courses/beng186b/lectures/mike-guest-lecture-beng186.pdf> adresinden erişildi.
- Çengelci, T. (2007). Sosyal bilgiler dersinde beyin temelli öğrenmenin akademik başarıya ve öğrenmenin kalıcılığına etkisi. *İlköğretim Online*, 6(1), 62-75.
- Çiğ, H. (2017). *EEG sinyalleri ile cihaz kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD, Malatya.*
- Çevik, Ç. (2020). Beyin Sinyalleri Kullanılarak Elde Edilen Dikkat Değeri ile Araç Yönetimi. *Journal of Smart Systems Research*, 1(1), 30-38.
- Demir, G. T., Hazar, Z. ve Cicioğlu, H. İ. (2018). Egzersiz bağımlılığı ölçeği (EBÖ): Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 26(3), 865-874.
- Demir, M. (2019). *Yapay sinir ağlarını kullanarak eeg sinyalleri ile insansız hava aracı kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği ABD, Sakarya.*
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2001). *Beynin Etkinlik Durumları-Uyku: Beyin Dalgaları; Epilepsi; Psikozlar, Tıbbi Fizyoloji*. Çavuşoğlu H (Çev.), Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, 689-696.
- Demiray, P. Ç. (2023) Piyano Eşlikli Eser Söylemenin Dikkate Olan Etkisi. *Balkan Müzik ve Sanat Dergisi*, 5(2), 41-57.
- Derdiyok, Ş. (2023). *Zihinsel Yorgunluk Bulgularının Fizyolojik Sinyallere Dayalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul.*
- Doruk, A. ve Uzun, Ö. (1997). Limbik sistem. *Klinik Psikofarmakoloji Bülteni*, 6, 1-4.
- Düzgün, A. (2016). *Nöromarketing alanında marka algısının elektrofizyolojik olarak beyin osilasyonlarıyla ölçülmesi: EEG (Elektroensefalografi) yöntemi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İletişim Sanatları Ana Bilim Dalı, İstanbul.*

- Ersoy, E. ve Karal, Ö. (2012). Yapay sinir ağları ve insan beyni. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 188-205.
- Eşel, E. (2005). Kadın ve Erkek Beyninin Farklılıkları. *Klinik Psikofarmakoloji Bulteni*, 15(3), 138-152.
- Fırat, A. ve Beşer, C. G. (2021). *Telencephalon (Beyin yarım küreleri)*, Sistemik Nöroanatomi-Klinik olgularla destekli, Büyükmumcu, M., Uysal, İ., İ., Doğan ve N., Ü. (ed), Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, ss.171-209, 202.
- Fidan, U., Ergün, U. ve Özkan, N. (2017). Post Travmatik Stres Bozukluğu için Aktif EMDR Tedavi Cihazı Tasarımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3), 938-945.
- Fidan, U. ve Özkan, N. (2018). Odaklanma-meditasyon sürecinin aktif EMDR yazılımı ile kontrol edilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 247-254.
- Filik, M. S., ve Karaman, İ. EEG Sinyalleri İle Riskli İşlerde Çalışanların Gerçek Zamanlı, 10th International Erciyes Scientific Research Congress, 23-24 Kasım 2023, Kayseri.
- Furtado, M., Rossetti, F. ve Yourick, D. (2011). *Use of telemetric EEG in braininjury*. Modern Telemetry. Vienna: Intech Open Access Publisher, 199-222.
- Günay, M. ve Ensari, T. (2018). EEG Signal Analysis Of Patients with Epilepsy Disorder Using Machine Learning Techniques. Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT, 2018), İstanbul.
- Gürses, A. A. (2021). Serebellum ve Kognisyon. *Türkiye Klinikleri Psychiatry-Special Topics*, 14(5), 40-47.
- Gözüyeşil, E. ve Dikici, A. (2014). Beyin temelli öğrenmenin akademik başarıya etkisi: Bir meta analiz çalışması. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 14(2), 629-648.
- Handryastuti, S., Budi, L. S., Mangunatmadja, I., Tambunan, T., Firmansyah, A., Widodo, D. P. ve Putranti, A. H. (2018). Perbandingan Melatonin dan Prosedur Deprivasi Tidur untuk Persiapan Pemeriksaan Elektroensefalograf pada Anak, *Sari Pediatri*, 19(6), 329-333.
- Hardalaç, N., Yaşar, H. ve Özışık, P. A. (2020). Klasik Türk Müziği Makamlarının Minör/Majör Depresyon Hastalarının Üzerindeki Duygu Değişimlerine ve Tedavi Süreçlerine Etkilerinin Beyin EEG Sinyalleri Kullanılarak Analiz Edilmesi

- Potansiyelinin Meta-Sentez Yöntemi ile İncelenmesi. *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum*, 9(27), 947-978.
- İlgin, S., & Duru, D. G. (2015). Design and implementation of brain computer interface based on wireless EEG measurements: A pilot study. 2015 Medical Technologies National Conference (TIPTEKNO), Muğla.
- Irsalina, P. ve Sugianto, P. (2021). Manajemen Non-Operatif Abses Serebellum. *Neurona*, 38(3), 63-69.
- Karaçay, B. (2010). Beyin, hafıza ve hafızanın genleri. *Bilim Teknik Dergisi*, TUBİTAK, 2010(8).
- Kayıkçioğlu, T., Maleki, M. ve Ketenci, S. (2018). Beyin-Bilgisayar Arayüzü. *Biyomedikal Mühendisliği ve Uygulamaları Dergisi*, 18(1), s241-268.
- Kaynak, H. ve Erdeniz, B. (2019). Sağlıklı Yetişkinlerde Sinirsel Geribildirim Eğitiminin Dikkat Değişkenleri Üzerindeki Etkisi. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 11, 79-90.
- Özcan, A. (2014). Sinir İleti Verilerinin Yorumlanması: Motor Sinir İletimi, Duyusal Sinir İletimi. *Türkiye Klinikleri Neurology-Special Topics*, 7(1), 31-35.
- Özen, İ. A., Akıncı, T. Ç., Türkpençe, D., Çağlar, R. ve Şeker, S. (2019). Beyin Dalgası Sensörü Kontrolü ile Akıllı Ev Otomasyonu, EEMKON 2019, Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi, 14-16 Kasım 2019, İstanbul.
- Öztekin, M. F. (2004). Elektroensefalografi (EEG). *Türkiye Klinikleri Journal of Neurology*, 2(2), 107-109.
- Öztürk Ova, N. (2011). *Güzel sanatlar lisesi öğrencileri ile fen lisesi öğrencilerinin eleştirel düşünme ve üst biliş eğilimlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yeditepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eğitim Yönetimi ve Denetimi ABD, İstanbul.
- Öztürk, S. ve Abdüsselam, M. S. (2017). Ses Eğitimi Derslerinde Kişi Sayısının Dikkat ve Rahatlık-Sakinlik Durumuna Etkisinin Beyin-Bilgisayar Arayüzü Destekli İncelenmesi. *Ahenk Müzikoloji Dergisi*, (4), 15-32.
- Rezeika, A., Benda, M., Stawicki, P., Gembler, F., Saboor, A. ve Volosyak, I. (2018). Brain-computer interfaces spellers: A review. *Brain sciences*, 8(4), 57.
- Ruşanu, O. A., Cristea, L., Luculescu, M. C. ve Zamfira, S. C. (2019). Experimental model of a robotic hand control LED by using NeuroSky Mindwave Mobile headset. E-Health and Bioengineering Conference (EHB-2019), 21-23 Kasım 2019, Iasi, Romania.

- Sanei, S. ve Chambers, J. A. (2021). *EEG signal processing and machine learning*. John Wiley ve Sons, NJ USA.
- Sarraf, Saman ve Sun, Jian. (2016). Advances In Functional Brain Imaging: A Comprehensive Survey For Engineers and Physical Scientists. *International Journal of Advanced Research*, 4. 640-660.
- Satapathy, S. K., Dehuri, S., Jagadev, A. K. ve Mishra, S. (2019). *EEG brain signal classification for epileptic seizure disorder detection*. Academic Press, Elsevier, Londra, İngiltere.
- Severcan, F. ve Ergün, S. (2013). Essitalopram’ın Spingomyelin Model Membranları İle Etkileşmesinin Yapısal Ve İşlevsel Açından Biyofiziksel Yöntemlerle Araştırılması, Orttadoğu Teknik Üniversitesi Bap Projesi Raporu, BAP-08-11-2013-012, Ankara.
- Şahin, E. B., Çeliktaş, C., & Durdu, P. O. (2022). Kullanıcı Deneyimi Değerlendirme Araştırmalarında Elektroensefalografi Kullanımının İncelenmesi. *International Journal of InformaticsTechnologies*, 15(1).
- Şansal, U.,Eraldemir, S. G. ve Çakır, M. Beyin-Bilgisayar Arabirimi ve Arduino Mikrodenetleyici Tabanlı Kontrol, 2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, 7 - 10 Kasım 2019, Antalya, Türkiye.
- Tabakcioğlu, M. ve Ülker, B. (2018). Neurosky biyosensör kullanarak beyin dalgaları, dikkat ve meditasyon değerlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(1), 25-33.
- Tarlacı, S. (2023). *Ben: Bilincin Altı, Üstü, Sağı, Solu, Bilinç: Beyin, Zihin Ve Benliğin Keşfi*, Destek Yayınları, İstanbul.
- Tavman, E. B. ve Soyak, S. (2021). Geçmişten günümüze pazarlama sistemi düşünce okulu. *Journal of Management and Economics Research*, 19(4), 157-170.
- Taywade, S. A. ve Raut, R. D. (2014). A review: EEG signal analysis with different methodologies. The National Conference on Innovative Paradigms in Engineeringand Technology (NCIPET’12), 28 Ocak – 03 Şubat 2012, Nagpur, Hindistan.
- Temur, A.,Askerov, F. ve Temur, H. B. (2007). Açlığın Beyin Korteksinin Farklı Bölgelerindeki Nötral Peptid Hidrolazların Aktifliği Üzerine Etkisi Ve Histo kimyasal Değişiklikler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 68-74.

- Toyran, M., Pedersen, T. B., Hasekioğlu, A. A., Can, M. A. ve Berber, S. (2011). Bilgi güvenliğinde kuantum teknikler. IV. Ağ Ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu, 25-26 Kasım 2011, Atılım Üniversitesi, İstanbul.
- Tüfekçi, Ö. K. ve Oyman, T. (2020). Reklamlarda Kullanılan Duygusal Çekiciliklerin Elektroensefalografi (EEG) ile Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (40), 561-584.
- Tülay, E. E. (2009). *Beyin elektriksel aktivitesinin ölçümü ve sinyal analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD, İstanbul.
- Türk, H. (1998). Beyin Evrimi Işığında Dilin Kökeni. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 38(1-2), 427-549.
- Ulusoy, B. (2015). *Dikkat dağınıklığı üzerine bir beyin bilgisayar arayüzü tasarımı ve uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği ABD, Sakarya.
- Uyar, E., Şenli, K. ve Mutlu, L. (2012). Beyin Dalgası Kontrollü Protez Kol Tasarımı. *Sakarya University Journal of Science*, 16(3), 164-169.
- Uyulan, Ç., Ergüzel, T. T. ve Tarhan, N. (2019). Elektroensefalografi Tabanlı Sinyallerin Analizinde Derin Öğrenme Algoritmalarının Kullanılması. *The Journal of Neurobehavioral Sciences*, 108, 108-124.
- Uzun, Y. ve Abul, M., E. (2019). Beyin Sinyal Kontrolü ile Engelsiz Bir Yaşam. *Engelsiz Bilişim*, (19), 59-67.
- Velioğlu, S. K. (2017). Ağrı Anatomisi: Ağrı yolları, beyin sapı ve beyin. *Türkiye Klinikleri Neurology-Special Topics*, 10(4), 329-334.
- Yağmur, O. C., Arıkan, K. B. ve Turgut, A. E. (2022). İnme Sonrası Robotik El Rehabilitasyonunda Motor Yeniden Öğrenmenin Benzetimi, *Fırat Üniversitesi Uzun ve Savunma Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 459-464.
- Yamada, T. ve Meng, E. (2009). *Practical Guide for Clinical Neurophysiologic Testing: EEG*. Lippincott Williams ve Wilkins, Philadelphia, USA.
- Yapıcı, İ. Ş., Uzun, R. ve Işık, B. (2018). Kablosuz elektrokardiyogram. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 101-107.
- Yarman Vural, F. T., Ekmekci, Ö., Fırat, O. ve Aksan, E. (2014). Yerel Voksel Ağları ile Beyin Sinyalleri Kullanarak Bilişsel Süreçlerin Modellenmesi ve Otomatik Olarak Sınıflandırılması, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, BAP Projesi Raporu, BAP-08-11-2013-047, Ankara.

- Yener, G. G. ve Güntekin, B. (2021). Demans türlerinde EEG-beyin osilasyonları: Alzheimer ve Parkinson hastalıkları özelinde. *Türkiye Klinikleri Psychology-Special Topics*, 6(2), 30-38.
- Yıldız, Z. (2020). Elektroensefalografi Beyin-Makine Arayüzlerin Modellemesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 13(2), 1-16.
- URL-1, <https://www.rescript-cbhypnotherapy.com/post/what-is-hypnosis>. Erişim: 15 Ağustos 2022.
- URL-2, <https://www.leventmodelleme.com/?Syf=26&Syz=530210&Sinaptik-İletim>. Erişim: 19 Nisan 2024.
- URL-3, <https://www.tinnituscare.co.uk/post/acoustic-residual-inhibition-of-tinnitus-is-back-on-the-research-agenda>. Erişim: 20 Kasım 2023.
- URL-4, <https://www.acikbeyin.com/beyin-kabugu-neokorteks-nedir>. Erişim: 11 Kasım 2023.
- URL-5, <https://www.biyolojidersim.com/merkezi-sinir-sistemi-1-beyin>. Erişim: 26 Eylül 2022
- URL-6, https://medium.com/@dirk_83798/science-behind-stress-4fa245361f2c. Erişim: 19 Nisan 2023.
- URL-7, <https://louis.pressbooks.pub/humananatomyandphysiology1/chapter/15-nervous-system>. Erişim: 3 Şubat 2024.
- URL-8, <https://docplayer.biz.tr/125978701-Bilmek-baska-bulmak-baska-olmak-baska-hz-mevlana.html>. Erişim: 6 Nisan 2024.
- URL-9, <https://msarastirmalaridernegi.com/s1.php?id=10>. Erişim: 6 Nisan 2024.
- URL-10, <https://www.erdempsikiyatri.com/ayrintili-noropsikiyatrik-test-nedir>. Erişim: 6 Nisan 2024.
- URL-11, <https://torchwell.wordpress.com/2017/05/31/beyin-anatomisi>. Erişim: 7 Ocak 2022.
- URL-12, <https://onedio.com/haber/beyindeki-elektriksel-hareketleri-olcen-test-elektroensefalogram-eeg-nedir-1120272>. Erişim: 3 Mart 2023.
- URL-13, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/insan-beyninin-yapisi-nasildir>. Erişim: 15 Nisan 2023.
- URL-14, <https://www.spormuhendisi.com/beyin-bilgisayar-arayuzunde-kullanilan-yontemler/>. Erişim: 2 Şubat 2024.
- URL-15, <https://www.medipol.edu.tr/arastirma/arastirma-gruplari/beyin-bilis-arastirmalari-grubu/eeg-lab-mega>. Erişim: 2 Mart 2023.

- URL-16, https://www.tegakari.net/en/2020/03/emotiv_epoc_x. Erişim: 2 Haziran 2023.
- URL-17, <https://besdatatech.com/eeg-cap-10-20>. Erişim: 8 Mart 2024.
- URL-18, <https://brainlatam.com/manufacturers/easycap/eeg-ear-electrodes-156>. Erişim: 8 Mart 2024
- URL-19, <https://www.gazit.co.il/product/brainamp/>. Erişim: 8 Mart 2024.
- URL-20, <https://www.brainproducts.uk/solutions/products/>. Erişim: 8 Mart 2024.
- URL-21, <https://www.brainproducts.uk/solutions/products/>. Erişim: 19 Nisan 2024.
- URL-22, <https://saxiqoh.logischpsychologisch.ch/>. Erişim: 19 Nisan 2024.
- URL-23, <https://tr.aliexpress.com/i/1005005576664876.html?gatewayAdapt=glo2tur>. Erişim: 25 Nisan 2024.
- URL-24, <https://www.robodukkan.com/kategori>. Erişim: 25 Nisan 2024.
- URL-25, <https://www.hatfon.com/urun/arduino-hc-05-kablosuz-bluetooth-modulu-6pin-butonsuz-ah-b039>. Erişim: 25 Nisan 2024.
- URL-26, <https://www.f1depo.com/18-Kanal-USB-Servo-Motor-Kontrol-Devresi-Mini-Maestro-18-Channel-USB-Servo-Controller-AssembLED,PR-221.html>. Erişim: 25 Nisan 2024.
- URL-27, <https://www.harbiforum.net/konu/direnc-renk-kodlari.92633>. Erişim: 19 Nisan 2024.
- URL-28, <https://www.kaggle.com/datasets/adizafar/eeg-raw-data-collected-from-human-brain?resource=download>. Erişim: 20 Mart 2023.

EKLER

Ek 1. EEG Sinyalleriyle Kontrol Edilen Devreni Arduino Kodu

```
#define kLED01 13
#define kLED02 12
#define kLED03 11
#define sLED01 10
#define sLED02 9
#define sLED03 8
#define sLED04 7
#define yLED01 6
#define yLED02 5
#define yLED03 4
#define dbgOutpt 0

byte kntrl = 0;int uzunluk = 0;
byte veri[64] = {0};byte signal = 0;
byte odaklanma = 0;byte rahatlama = 0;
long sonVeri = 0;boolean paket = false;

void setup()
{
pinMode(kLED01, OUTPUT); pinMode(kLED02, OUTPUT);
pinMode(kLED03, OUTPUT); pinMode(sLED01, OUTPUT);
pinMode(sLED02, OUTPUT); pinMode(sLED03, OUTPUT);
pinMode(sLED04, OUTPUT);pinMode(yLED01, OUTPUT);
pinMode(yLED02, OUTPUT);pinMode(yLED03, OUTPUT);
Serial.begin(57600);
}
byte bilgiAl()
{ int krktrOku;
while(!Serial.available()); KrktrOku = Serial.read();
#if dbgOutpt
Serial.print((char)KrktrOku);
#endif
return KrktrOku;
}
void loop()
{
if(bilgiAl() == 170)
{
if(bilgiAl() == 170)
{
uzunluk = bilgiAl();
```

```

if(uzunluk > 169) return; kntrl = 0;
for(int i = 0; i < uzunluk; i++)
{
    veri[i] = bilgiAl(); kntrl += veri[i];
}
kntrl = 255 - kntrl;
if(bilgiAl() == kntrl)
{
    signal = 200; odaklanma = 0; rahatlama = 0;
    for(int i = 0; i < uzunluk; i++)
    {
        switch (veri[i])
        {
            case 2:
                i++; signal = veri[i]; paket = true;
                break;
            case 4:
                i++; odaklanma = veri[i];
                break;
            case 5:
                i++; rahatlama = veri[i];
                break;
            case 0x80:
                i = i + 3;
                break;
            case 0x83:
                i = i + 25;
                break;
            default:
                break;
        }
    }
}
#ifdef dbgOutpt
if(paket)
{
    Serial.print("signal: ");
    Serial.print(signal, DEC);
    Serial.print(" odaklanma: ");
    Serial.print(odaklanma, DEC);
    Serial.print(" Time since last packet: ");
    Serial.print(millis() - sonVeri, DEC);
    sonVeri = millis();
    Serial.print("\n");
}

switch(odaklanma / 10)
{
    case 0:
        digitalWrite(kLED01, 0);    digitalWrite(kLED02, 0);
        digitalWrite(kLED03, 0);    digitalWrite(sLED01, 0);
        digitalWrite(sLED02, 0);    digitalWrite(sLED03, 0);

```

```
break;
case 3:
    digitalWrite(kLED01, 1);    digitalWrite(kLED02, 1);
    digitalWrite(kLED03, 1);    digitalWrite(sLED01, 0);
    digitalWrite(sLED02, 0);    digitalWrite(sLED03, 0);
    digitalWrite(sLED04, 0);    digitalWrite(yLED01, 0);
    digitalWrite(yLED02, 0);    digitalWrite(yLED03, 0);
    break;
case 4:
    digitalWrite(kLED01, 1);    digitalWrite(kLED02, 1);
    digitalWrite(kLED03, 1);    digitalWrite(sLED01, 1);
```

```

        digitalWrite(yLED02, 0);        digitalWrite(yLED03, 0);
        break;
    case 8:
        digitalWrite(kLED01, 1);        digitalWrite(kLED02, 1);
        digitalWrite(kLED03, 1);        digitalWrite(sLED01, 1);
        digitalWrite(sLED02, 1);        digitalWrite(sLED03, 1);
        digitalWrite(sLED04, 1);        digitalWrite(yLED01, 1);
        digitalWrite(yLED02, 0);        digitalWrite(yLED03, 0);
        break;
    case 9:
        digitalWrite(kLED01, 1);        digitalWrite(kLED02, 1);
        digitalWrite(kLED03, 1);        digitalWrite(sLED01, 1);
        digitalWrite(sLED02, 1);        digitalWrite(sLED03, 1);
        digitalWrite(sLED04, 1);        digitalWrite(yLED01, 1);
        digitalWrite(yLED02, 1);        digitalWrite(yLED03, 0);
        break;
    case 10:
        digitalWrite(kLED01, 1);        digitalWrite(kLED02, 1);
        digitalWrite(kLED03, 1);        digitalWrite(sLED01, 1);
        digitalWrite(sLED02, 1);        digitalWrite(sLED03, 1);
        digitalWrite(sLED04, 1);        digitalWrite(yLED01, 1);
        digitalWrite(yLED02, 1);        digitalWrite(yLED03, 1);
        break;
    }
}
#endif
    paket = false;
}
else
{
    // kntrl hatası
} } } }

```

ETİK KURUL KARARI



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU



Sayı : E-95674917-108.99-282475

Konu : Etik Kurul Onay

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL

"EEG SİNYALLERİNDE KABLOSUZ BAĞLANTI KULLANILARAK ELEKTRONİK DEVRE KONTROLÜ" konulu etik kurul başvurusu Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'nun 20/09/2024 tarih ve 2024/7 sayılı toplantısında görüşülmüş olup; projenin yürürlükteki mevzuata uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.
Bilgilerinize rica ederim.

Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ
Kurul Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : 0103-H51Y-0Y70

Belge Doğrulama Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/gumushane-universitesi-ebys>

Adres:
Telefon No : Fax No :
e-Posta : İnternet Adresi : <http://www.gumushane.edu.tr/>
Kep Adresi : gumushaneuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi İçin :Özge GÖKAY
Memur
Dahili No:



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet AKTAY, lise eğitimini Erzincan Fatih Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde tamamladı. 2005 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik/Bilgisayar Bölümü, Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği Anabilim Dalından mezun olup Milli Eğitim Bakanlığı bünyesinde Eylül 2005 yılında Bilişim Teknolojileri Alan öğretmeni olarak göreve başlamış ve birçok farklı ilde görev yapmıştır. 2018 yılından buyana çeşitli ulusal ve uluslararası yarışmalara Lise ve Üniversite düzeyinde Teknofest, TÜBİTAK ve MEB (Milli Eğitim Bakanlığı) Robot yarışlarına danışman ve öğrenci olarak katılım sağlamıştır. 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen görev yaptığı Gümüşhane Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Müdürlüğünde görevini devam ettirmektedir.

