

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**

**TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**BİTİRME PROJESİ**

Projenin Adı

**PROJE YAZARI**

Yazar Adı Soyadı

**DANIŞMAN**

Proje Danışmanı Unvanı Adı Soyadı

**İL, TEZ YILI**

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**

**TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Öğrencisi Ayşe Zeynep Esen nın “Beyin Dalgaları Frekans Modelleme ile Düşünce Yazdırma” başlıklı bitirme projesi çalışması, …./…./….. tarihinde sunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Adı SOYADI (Danışman)

Marmara Üniversitesi ......................................................................... (İMZA) ..................

Doç. Dr. Adı SOYADI (Üye)

Marmara Üniversitesi ......................................................................... (İMZA) ..................

Dr. Öğr. Üyesi Adı SOYADI (Üye)

Marmara Üniversitesi ......................................................................... (İMZA) ..................

**İÇİNDEKİLER**

Sayfa

SEMBOLLER LİSTESİ……………………………………………………………………..i

KISALTMALAR LİSTESİ…………………………………………………………………ii

ŞEKİL LİSTESİ……………………………………………………………………………iii

TABLO LİSTESİ…………………………………………………………………………..iv

ÖZET………………………………………………………………………………………..v

BÖLÜM 1. GİRİŞ….………………………………………………………………………..1

1.1. Bitirme Projesinin Amacı……………………………………………………….1

1.2. Literatür Özeti………………………………...………………………………...2

BÖLÜM 2. MATERYAL VE YÖNTEM ………………………………………………...14

2.1. Güneş Pili Çeşitleri…………………………………………………………….14

2.1.1. Silisyum güneş pili…………………...………………………….......14

2.1.2. Selenyum güneş pili…………………………………………………14

2.2. Güneş Pilleri İçin Malzemeler…………………………………………………15

2.2.1. Tek kristalli silikon güneş piller……………………………………..15

2.2.2. Çok kristalli silikon güneş pilleri…………………………………….16

.

.

5.7.3.Güneş pili ile çalışan fenerin devresi…………………………………………44

BÖLÜM 3. BULGULAR VE TARTIŞMA………………………………………………..46

.

.

.

.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR……………………………………………………………….....59

KAYNAKLAR…………………………………………………………………………….60

EKLER…………………………………………………………………………………….61

ÖZGEÇMİŞ

**ŞEKİL LİSTESİ**

Sayfa

Şekil 3.1. Tipi bir silisyum güneş pilinin ön yüzü…………………………………………..13

Şekil 4.1. Selenyum güneş pilinin yapısı…………………………………………………...14

**TABLO LİSTESİ**

Sayfa

Tablo 2.1. Türkiye’nin yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli……………………………......5

**ÖZET**

Özet, tezin kısaltılmış şeklidir; konu hakkında **kısa bilginin verildiği, problemin tanımının yapıldığı, amaç, yöntem, bulgu ve sonuçların** kısaca ifade edildiği paragraflardan oluşur. Özetlerde, **kelime sayısı 200-250 arasındadır**. Özetlerde kaynak verilmez. Özet denklem, tablo ve şekil içermez. Özette yaygın olarak kullanılan kısaltmalar (pH, DNA vb.) dışında **kısaltma kullanılmaz**.

**ABSTRACT**

İngilizce Özet, Türkçe özetten hemen sonra yer almalıdır.

1. **GİRİŞ**

Beyin, insanın en karmaşık ve merak uyandıran organıdır. Bilim insanları, yüzyıllardır beyin fonksiyonları, düşünce süreçleri ve zihinsel faaliyetler üzerine çalışmalar yürütmekte ve bu konuda anlayışlarını derinleştirmektedirler. Beyin dalgaları da bu araştırmaların odak noktalarından biridir. Son yıllarda, beyin dalgalarının kaydedilmesi ve analiz edilmesi için geliştirilen EEG (Elektroensefalografi) teknolojisi, beyin aktivitelerini inceleyerek zihinsel süreçleri anlamaya yönelik yeni bir pencere açmıştır. Bu gelişmeler, düşüncelerin beyin dalgalarından okunabileceği ve anlaşılabileceği umudunu doğurmuştur.

Bu tez çalışması, EEG verilerinin kullanılarak bir düşünce okuma sistemi geliştirilmesi ve uygulanması üzerine odaklanmaktadır. Temel amaç, beyin dalgalarının analizi yoluyla bir kişinin acıkma, susama, uyku gibi temel fizyolojik durumlarını tahmin edebilmek ve bunları bilgisayar arayüzünde sınıflandırabilmektir. Bu sınıflandırmanın birikimine dayanarak da ilerleyen aşamalarda bunu bir düşünce ile konuşma sistemine dönüştürmeyi hedeflemektedir. Bu çalışma, beyin-bilgisayar arayüzleri (BCI) alanındaki gelişmeleri takip ederek, beyin dalgalarının modellenmesi ve analizi konularında bilgi birikimini artırmayı hedeflemektedir.

* 1. **Araştırmanın Amacı ve Yöntemi**

**1.1.1.Konuşma Yetersizliği ve Hastalıklar**

Günümüzde yaratılış ya da sonrasında olmak üzere insanlar genel insan tanımındaki yetilerini kaybedebilirler. Dil ve konuşma yetisinin kaybı da bunlardan biridir. Konuşma, insanların iletişim kurmasının temel bir unsuru ve yaşamlarının vazgeçilmez bir parçasıdır. Ancak, bazı insanlar doğuştan veya sonradan gelişen faktörler nedeniyle konuşma yetilerini kaybedebilirler. Konuşma yetisini kaybetmenin çeşitli sebepleri olabilir ve bu sebepler, bireyin dil ve iletişim becerilerini olumsuz yönde etkileyebilir.

Konuşma bozukluklarına neden olan hastalıklar arasında ALS, Parkinson ve inme gibi sinir sistemi hastalıkları yer almaktadır [1]. ALS, özellikle üst ve alt motor nöron disfonksiyonuna bağlı olarak ilerleyen bir dejeneratif hastalıktır. Konuşma ve yutma güçlükleri, ALS'in önemli bir özelliğidir [2]. ALS'li hastalarda, artikülasyon, ses şiddeti ve tonlama gibi konuşma problemleri görülebilir [3]. ALS hastalarının ses problemleri, spastisite ve flasidite ile karakterize edilir, bu da inarticulate konuşma, azalan ses tonlama ve yüksek ses, hiper nazalite ve sesin gergin-sıkılaşması özellikleri gösterir [1]. ALS'li hastalarda görülen disfoni, kortikospinal tutulum baskın olduğunda ilk klinik belirti olabilir. Sesin akustik analizleri, ALS hastalarında, ses kalitesi, istikrarsızlık, deviant temel frekans, genlik ve frekans perturbasyonlarını ortaya çıkarmıştır [1]. ALS ile ilgili belirtiler ve semptomlar, hastalığın ilerleyen evrelerinde daha da kötüleşebilir. Bugüne kadar, beyin dalgalarının bilişsel fonksiyon ve koordinasyon üzerindeki rolünü tam olarak anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekiyor [3].Bu yetiyi kaybetmek birçok zorluğa sebep olabilmektedir. Başlıca hastalıklardan birisi de hareketinden sorumlu sinir hücrelerinin kullanımını yitirmiş ALS hastaları ya da sonradan felç olan bireylerdir. Günümüzde ALS hastalığının farklı tipleri görülmektedir. Bu hastalığın ilerleme durumuna göre de dönemsel değişiklik göstermektedir. Bazıları ölene kadar konuşabilmekte, bazıları ellerini kullanabilmekte, bazıları ise tamamını yitirmektedir.

Bugün EEG kullanarak beyin – bilgisayar ara yüzü çalışmalarında Türkçe literatür de dahil olmak üzere çeşitli araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Örneklere bakıldığında beyin sinyalleri ile elektronik aletlerin kullanımı, çene hareketlerinin beyin dalgaları ile ilişkisi vb. konuların varlığı görülmektedir .Tüm bunların yanında halihazırda ALS Topluluklarının ve vakıflarının tamamı bu ve buna benzer sistemlere çok yüksek ücretler karşılığında ulaşmaktadır. Özellikle ALS vakıf ve topluluklarının en önemli gelirleri arasında bağışlar yer almaktadır.

**1.1.2. Araştırmanın Temel Hedefi**

Projenin temel hedefi, EEG (elektroensefalogram) verilerini kullanarak insan düşüncelerini sınıflandırmak ve anlamak için bir model geliştirmektir. EEG tabanlı düşünce okuma sistemleri, beyin-bilgisayar arayüzleri ve nörobilim alanında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu projenin amacı, EEG verilerini analiz ederek insan düşüncelerini sınıflandırma ve bir düşünce okuma sisteminin gerçek zamanlı olarak yapılabileceği konusunda bilim dünyasına bir adım atmaktır.

Düşünce okuma teknolojisi, beyindeki elektriksel aktiviteyi kaydederek, insan düşüncelerinin veya bilişsel süreçlerin çeşitli yönlerini anlamaya çalışır. Bu alanda yapılan araştırmalar ve geliştirmeler, insan-makine etkileşimi, nörobilim araştırmaları ve tıbbi teşhis gibi birçok alanda potansiyel uygulamalar sunmaktadır.

İnsan-makine etkileşimi açısından düşünce okuma teknolojisi, bir kullanıcının düşüncelerini doğrudan bir bilgisayara veya başka bir cihaza iletmeyi hedefler. Bu, fiziksel bir arayüz kullanmadan, sadece düşünceleri algılayarak ve yorumlayarak etkileşim sağlamayı mümkün kılar. Örneğin, felçli hastaların beyin dalgalarıyla çalışan bir arayüz aracılığıyla bir bilgisayarı veya bir protezi kontrol etmeleri mümkün olabilir. Bu, yaşam kalitesini artırmak ve bağımsızlığı geri kazandırmak için büyük bir potansiyele sahiptir.

Nörobilim araştırmaları alanında düşünce okuma teknolojisi, beyin aktivitesinin bilişsel süreçlerle nasıl ilişkilendirildiğini ve nasıl kodlandığını anlama çabalarını destekler. Beyin dalgaları ve düşünceler arasındaki ilişkiyi çözmek, örneğin bellek, algı, dikkat ve dil gibi bilişsel işlevlerin temel mekanizmalarını anlamamıza yardımcı olabilir. Bu bilgi, nörolojik bozuklukların ve beyin hastalıklarının tanısını ve tedavisini iyileştirmek için kullanılabilir.

Tıbbi teşhis açısından düşünce okuma teknolojisi, nörolojik veya psikiyatrik bozuklukların tanısında ve takibinde yardımcı olabilir. Örneğin, EEG tabanlı düşünce okuma sistemleri, epilepsi veya uyku bozuklukları gibi nörolojik rahatsızlıkların tanısında kullanılabilir. Ayrıca, zihinsel sağlık durumlarının değerlendirilmesi ve psikoterapi süreçlerinin takibi gibi alanlarda da potansiyel olarak faydalı olabilir.

Düşünce okuma teknolojisinin geliştirilmesi, bu alanlarda ilerlemelerin sağlanmasını ve insan yaşamına olumlu etkilerin sunulmasını amaçlar. Ancak, bu teknolojinin etik, mahremiyet ve güvenlik konuları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, düşünce okuma teknolojisinin kullanımının sınırlarını belirlemek ve kullanıcıların rızasını sağlamak önemlidir.

Araştırmada kullanılacak araştırma ve geliştirme faaliyetleri için Open Source prensiplerin uygulanmasına katkıda bulunulacaktır. İlk kısımda da belirtildiği üzere geliştirilen teknolojiler hastanın ekonomik durumunun çok üstündedir. ALS ya da vücut uzuvlarını kullanma yetisini kaybetmiş insanlar için Open Source geliştiricileri de bu gelişime ve araştırmalara katkıda bulunacaklardır. Ayrıca tüm araştırma verilerinin de açık olarak halka sunulması bu projede temel olarak hedeflenen bir durumdur.

Ulusal ya da uluslararası boyutta bir oluşum ile beyin dalga frekanslarının insan uzuvları ile ilişkisinin ortaya konulmasının araştırılması ve geliştirilmesi projenin temel hedeflerinden biridir. Literatürde bu tarz bir topluluk oluşumuna rastlanmamıştır.

Sonuç olarak, düşünce okuma teknolojisi, beyin aktivitesini ölçen ve analiz eden EEG gibi yöntemlerle çalışarak birçok alanda potansiyel uygulamalar sunar. İnsan-makine etkileşimi, nörobilim araştırmaları ve tıbbi teşhis gibi alanlarda ilerlemeler sağlamak için bu teknolojinin geliştirilmesi büyük önem taşır. Ancak, bu alanda daha fazla araştırma, teknolojik gelişme ve etik yönergelerin oluşturulması gerekmektedir.

* 1. **Araştırma Soruları ve Hipotezler**
     1. **Araştırma Soruları**

Beyin dalgalarının ölçülmesi ve analiziyle hangi düşünceler veya bilişsel süreçler doğru bir şekilde tahmin edilebilir?

Düşünce okuma teknolojisi, nörolojik veya psikiyatrik bozuklukların tanı ve tedavisinde nasıl bir rol oynayabilir?

Beyin dalgalarıyla düşünce okuma sistemleri, insan-makine etkileşiminde hangi uygulamalara yöneliktir?

Düşünce okuma teknolojisi, bilinçaltı düşünceleri veya duygusal durumları tespit edebilme potansiyeline sahip midir?

Düşünce okuma sistemlerinde kullanılan EEG gibi beyin aktivitesi ölçüm yöntemlerinin doğruluğu ve güvenilirliği nasıl artırılabilir?

* + 1. **Hipotezler**

Beyin dalgalarıyla düşünce okuma teknolojisi, bir kişinin seçtiği kelimeleri doğru bir şekilde tahmin edebilir.

Düşünce okuma sistemleri, nörolojik bozukluklarda tanı ve tedavi süreçlerine yardımcı olabilir ve iyileşme oranını artırabilir.

EEG tabanlı düşünce okuma sistemleri, felçli hastaların hareket yeteneklerini geri kazanmalarına yardımcı olabilir.

Beyin dalgalarıyla düşünce okuma teknolojisi, kullanıcının duygusal durumunu doğru bir şekilde tespit edebilir.

Düşünce okuma sistemlerinde kullanılan beyin aktivitesi ölçüm yöntemlerinin hassasiyeti ve doğruluğu, sinyal işleme algoritmalarının geliştirilmesiyle artırılabilir.

* 1. **Yöntemoloji**

Bu bölümde, elde edilen sonuçlar, çalışma probleminin tanımı ve amacı çerçevesinde irdelenir. Literatür taramasında anılan yurt içi ve yurt dışı benzer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılır.

Bu projenin temel amacı göz önüne alındığında yapılacak adımlar aşağıdaki gibidir:

EEG Veriseti Oluşturmak: Bu aşamada hedeflenen düşünceler için bir veya daha fazla katılımcı ile EEG cihazından alınan sinyaller kaydedilecektir.

Veri Ön İşleme: Toplanan EEG verileri, gürültüyü azaltmak, artefaktları temizlemek ve analiz için uygun hale getirmek amacıyla ön işleme adımlarından geçer. Veriler filtrelenir, zaman etiketleri eklenir ve gerektiğinde bazı dönüşümler yapılır.

Verisetini Sınıflandırma ve Öznitelik Çıkarımı: EEG verilerinden çeşitli öznitelikler çıkarılır. Örneğin, frekans, güç spektrumu, dalgalar arası bağlantılar gibi öznitelikler hesaplanabilir. Bu öznitelikler, beyin aktivitesinin farklı yönlerini temsil eder. Bu özniteliklere dayanarak veriler sınıflandırılır. EEG sinyallerinin frekans aralığı yine bu öznitelikler de göz önünde bulundurularak birkaç aralıkta genişletilir.

Makine Öğrenmesi: Verilerin yüklenmesiyle EEG sinyali ve düşünce eşleştirmesi yapılır. Algoritmaya EEG frekanslarını genişletmesi için bir fonksiyon eklenir.

Sistemin Oluşturulması: EEG cihazı ve bilgisayar arasında kurulan bağlantının kişi üzerinde denenmesi ve verilerin tekrar değerlendirilmesi için bir örneklem oluşturulur.

* 1. **Tezin Yapılanması**

Bu bölümde ele alınmış olan problemin çözümüne dair tezin getirdiği yenilikler ifade edilir. Tezden elde edilen sonuçların kullanılması veya tezin değerlendirilmesi ile ilgili önerilerde bulunulabilir.

**2. Beyin Dalgaları ve EEG**

Günümüzde, beyin dalgalarının zihinsel durumlar ve işlevlerle ilişkili olduğu bilinmektedir. Beyin dalgaları, nöronal aktivitenin elektriksel olarak ölçülebilir dalga formlarıdır ve elektroensefalografi (EEG) gibi yöntemlerle kaydedilirler. Beyin dalgaları farklı frekans aralıklarına sahiptir ve genellikle frekanslarına göre sınıflandırılırlar.

Beyin dalgaları, genellikle frekanslarına göre sınıflandırılır. Beta dalgaları, düşük amplitüdlü ve yüksek frekanslı (genellikle 13-30 Hz arasında) beyin dalgalarıdır ve uyanık ve aktif zihinsel durumlarla ilişkilidir. Bu dalgalar, dikkat, odaklanma, düşünme ve zihinsel aktiviteyle ilişkilendirilir. Alfa dalgaları, orta düzeydeki bir frekans aralığına (genellikle 8-12 Hz) ve belirgin bir ritme sahip olan beyin dalgalarıdır. Bu dalgalar, gevşeme, meditasyon ve zihinsel dinginlik haliyle ilişkilendirilir.

Theta dalgaları, düşük frekanslı (4-7 Hz) ve yüksek amplitüdlüdürler ve genellikle hafif uyku, rüya aşaması ve derin meditasyon sırasında ortaya çıkarlar. Theta dalgaları, yaratıcılık, hayal gücü, bellek oluşumu ve bilinçaltı işlemlerle ilişkilendirilir. Theta dalgaları çalışma belleği görevleri sırasında bellek performansının artmasına yardımcı da oluyor[4].Alfa ve theta dalgalarının meditasyon sırasında artıyor, bu durumun da gerginliği azaltabileceğini ve daha iyi bir zihinsel durum sağlayabileceğini gösteriyor.[5]

Delta dalgaları, en düşük frekans aralığına (0,5-4 Hz) sahip olan beyin dalgalarıdır ve genellikle derin uyku aşamasında ortaya çıkarlar. Delta dalgaları, vücudun dinlenme, yenilenme ve iyileşme süreçlerinde önemli bir rol oynar.

A group of blue lines

Description automatically generated with low confidence

Şekil 2.1.

Beyin dalgalarının çalışma mekanizmaları karmaşıktır ve tam olarak anlaşılmamıştır. Ancak beyin dalgalarının sinir hücrelerinin senkronize çalışması sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir. Nöronlar arasındaki elektriksel etkileşimler, beyin dalgalarının oluşumunda rol oynar. Bu dalgalar, farklı beyin bölgeleri arasında iletişimi sağlayarak bilişsel işlevleri ve koordinasyonu destekler. Beyin dalgalarının belirli frekans ve ritimlerde çalışması, farklı zihinsel durumlar ve işlevlerle ilişkilendirilmiştir. Örneğin, beta dalgaları uyanıklık ve zihinsel aktivite ile ilişkilendirilirken, alfa dalgaları gevşeme ve meditasyonla ilişkilendirilir. Ancak, beyin dalgalarının tam olarak nasıl çalıştığı ve işlevlerinin tümü hala araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Bu tez çalışması, beyin dalgalarının farklı zihinsel durumlar ve işlevlerle ilişkisini daha ayrıntılı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, beyin dalgalarının belirli frekans ve ritimlerde çalışmasının nasıl farklı zihinsel durumlar ve işlevlerle ilişkili olduğunu açıklığa kavuşturmayı ve bu dalgaların kişilerdeki farklılık ve aynılık durumuna bakılarak ölçülmesini hedeflemektedir.

**2.1. Tarihçesi**

Hans Berger'in 1929'da beyin aktivitesi tarafından üretilen elektriksel potansiyelleri kaydedebilen daha sonra elektroensefalogram (EEG) olarak bilinen bir cihaz üzerinde yaptığı çalışmanın ardından, cihazların bu sinyaller kullanılarak kontrol edilebileceği yönünde spekülasyonlar yapıldı. Ancak uzun süre bu bir spekülasyon olarak kaldı. Wolpaw ve arkadaşları (2000b) tarafından gözden geçirildiği üzere, 40 yıl sonra, 1970'lerde, araştırmacılar kafadan kaydedilen elektriksel aktiviteye dayalı ilkel kontrol sistemleri geliştirebildiler. Pentagon'un Gelişmiş Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA), internetin ilk sürümlerini geliştirmekle görevli aynı kurum, askerlere yardımcı olacak biyonik cihazların geliştirilmesine odaklanan araştırmaları finanse etti. George Lawrence ve iş arkadaşları tarafından yürütülen ilk araştırmalar, askerlerin yüksek zihinsel yük içeren görevlerdeki performansını iyileştirmeye yönelik teknikler geliştirmeye odaklandı. Araştırması, otoregülasyon ve bilişsel biyolojik geri bildirim yöntemleri hakkında pek çok fikir üretti, ancak herhangi bir kullanılabilir cihaz üretmedi. DARPA, odağını daha genel bir biyosibemetik alanına doğru genişletti. Amaç, herhangi bir biyolojik sinyalin gerçek zamanlı bilgisayarlı işlenmesi yoluyla cihazları kontrol etme olasılığını keşfetmekti. UCLA'nın Beyin-Bilgisayar Arayüzü Laboratuvarından Jacques Vidal, tek denemelik görsel uyarılmış potansiyellerin, iki boyutlu bir labirentte bir imleci kontrol edecek kadar etkili bir iletişim kanalı olarak kullanılabileceğine dair kanıt sağladı (Vidal, 1977). Vidal ve diğer grupların çalışması, beyin aktivitesinden gelen sinyallerin bir kullanıcının niyetini etkili bir şekilde iletmek için kullanılabileceğini kanıtladı. Ayrıca, EEG aktivitesini kullanan sistemler ile kafa derisi veya yüz kas hareketlerinden üretilen EMG (elektromiyogram) aktivitesini kullanan sistemler arasında net bir ayrım yarattı. Gelecekteki çalışmalar, BCI sistemlerini yalnızca EEG tarafından değil, aynı zamanda diğer görüntüleme teknikleriyle kaydedilen nöral aktivite sinyallerini kullanacak şekilde genişletti. Mevcut BCI tabanlı araçlar, sınırlı bir başarı ile ve çoğunlukla araştırma ortamlarında kullanıcılara iletişim, günlük yaşam aktiviteleri, çevresel kontrol, hareket ve egzersiz konularında yardımcı olabilir. BCI sistemlerinin daha detaylı evrimi bu bölümün ilerleyen kısımlarında detaylandırılacaktır. BCI sistemlerinin birincil kullanıcıları, hafif ila şiddetli kas engelleri olan kişilerdir. BCI sistemleri, otizm gibi belirli zihinsel engelleri olan kullanıcılar için de geliştirilmiştir. Engelli ve engelli olmayan kullanıcılar için çeşitli klinik ve diğer uygulamalarda BCI'ları kullanmak için insanlar ve hayvanlar üzerinde temel ve uygulamalı araştırmalar yürütülmektedir.

A picture containing text, electronics, computer, electronic device

Description automatically generated

Şekil 2.2 : Makak maymunlarında motor kontrolü için kapalı döngü kontrollü beyin-makine arayüzünü test etmek için kullanılan deneysel tasarım

Kronik olarak implante edilmiş mikrodalga dizileri, çeşitli kortikal motor bölgelerindeki nöron popülasyonlarının hücre dışı aktivitesini örneklemek için kullanılır. Doğrusal ve doğrusal olmayan gerçek zamanlı modeller, ham beyin aktivitesinden çeşitli motor kontrol sinyallerini çıkarmak için kullanılır. Bu modellerin çıktıları, bir robot kolunun hareketlerini kontrol etmek için kullanılır. Örneğin, bir model robot kolunu hareket ettirmek için bir hız sinyali sağlayabilirken, paralel çalışan başka bir model, bir kol hareketi sırasında bir robot kavrayıcının bir nesneyi tutmasına izin vermek için kullanılabilecek bir kuvvet sinyali çıkarabilir. Yapay görsel ve dokunsal geri bildirim sinyalleri, beyinden türetilen sinyallerle kontrol edilen bir robot kolun performansı hakkında hayvanı bilgilendirmek için kullanılır. Hayvana robot kolunun uzaydaki konumu hakkında bilgi vermek için bir video ekranında hareketli bir imleç kullanılarak görsel geri bildirim sağlanır. Yapay dokunsal ve propriyoseptif geri bildirim, hayvanın koluna bağlı bir dizi küçük vibromekanik eleman tarafından iletilir. Bu dokunsal görüntü, hayvanı robot kol kıskacının performansı hakkında bilgilendirmek için kullanılır (tutucunun uzayda bir nesneyle karşılaşıp karşılaşmadığı veya kıskacın belirli bir nesneyi tutmak için yeterli kuvvet uygulayıp uygulamadığı).

**2.2. EEG ve Beyin Dalgalarının Ölçümü**

Fizyolojik anlamda, EEG gücü eşzamanlı olarak boşalan nöronların sayısını yansıtır.[6] EEG (Elektroensefalografi), insan beyninden kaynaklanan elektriksel aktivitenin kaydedilmesi için kullanılan bir elektrofizyolojik tekniktir [7]. EEG, beyindeki farklı beyin dalgalarının algılanması yoluyla beyin aktivitesini ölçer [8]. EEG sonuçları, tıbbi teşhislerin doğrulanmasına veya reddedilmesine yardımcı olmak için kullanılabilir [8]. EEG, epilepsi veya diğer nöbet bozukluğu olan insanlar için küçük bir nöbet riski taşısalar da, güvenli ve ağrısız bir testtir [8]. EEG, beyindeki elektriksel uyarımların izlenmesine yardımcı olarak epileptik nöbetlerin tespit edilmesinde kullanılır [9]. EEG ayrıca, beyin hasarı, felç, uyku bozuklukları gibi beyin hastalıklarının teşhisinde de kullanılır [9]. EEG testi, saçlara elektrotların yerleştirilmesi, bilinçsel görevlerin gerçekleştirilmesi ve yaklaşık 60 dakika boyunca EEG kaydının yapılmasını içerir [9]. EEG kaydı, beyindeki elektriksel aktivitenin dalga şeklindeki görüntüleri olarak kaydedilir [9].

Bir elektroensefalograf, beyindeki çok sayıda nöron tarafından üretilen elektriksel aktivitenin bir kaydıdır. Kafa derisine veya subdural olarak veya serebral kortekste tutturulmuş yüzey elektrotları kullanılarak kaydedilir. Bir insan yüzeyi EEG sinyalinin genliği 10 ila 100 μV aralığındadır. EEG'nin frekans aralığının bulanık bir alt ve üst sınırı vardır, ancak fizyolojik açıdan en önemli frekanslar 0,1 ila 30 Hz aralığındadır. Standart EEG klinik bantları delta (0,1 - 3,5 Hz), teta (4 - 7,5 Hz), alfa (8 - 13 Hz) ve beta (14 - 30 Hz) bantlarıdır [10, 11]. 30 Hz'den daha büyük frekanslara sahip EEG sinyalleri, gama dalgaları olarak adlandırılır ve hayvanların serebellar yapılarında bulunur [12, 13]. Bir EEG sinyali, stokastik bir süreç tarafından üretilen rastgele bir sinyal olarak kabul edilebilir ve sayısallaştırmadan sonra bir zaman örnekleri dizisi olarak temsil edilebilir [14].

**2.3. qEEG Tabanlı**

Son 15 yılda, birçok araştırma grubu, nöral sivri uçlar ve kortikal ve kafa derisi EEG'leri gibi beyin sinyallerini çevrimiçi bir şekilde yorumlayarak, beyin ve dış dünya arasında doğrudan bir iletişim kanalı kurma olasılığını araştırdı. [15]. Bu iletişim kanalı artık yaygın olarak beyin-bilgisayar arayüzü olarak biliniyor. araştırması başlangıçta, engelli insanların, özellikle de kilitli hastaların çevreleriyle etkileşime girmesine yardımcı olmak için yeni nesil nöral protezler olmayı amaçlıyordu. Kliniklerdeki potansiyel uygulamalarının yanı sıra , insan-bilgisayar etkileşiminin yeni bir yolu olarak da benimsenmiştir; bu, sağlıklı insanlara, herhangi bir nedenle elleri kullanmanın uygun olmadığı durumlarda bilgisayarı çalıştırmanın bir yolunu sağlayabilir. Temel olarak, beyin fonksiyonlarımız -duyumdan motor kontrolüne, hafızaya ve karar vermeye kadar- mikrovolt seviyesindeki elektrik darbelerinden, yüz milyarlarca nöronun ateşlenmesinden (eylem potansiyeli) kaynaklanır. Nöron ateşlemelerinin tamamı veya bir kısmı yakalanabilseydi, teorik olarak devam eden beyin aktivitesini yorumlayabilirdik. Mikroelektrot dizilerinin ve hesaplama gücündeki gelişmelerin yardımıyla, bu tür bir sistem uygulanmıştır. Primatlar üzerinde motor korteks fonksiyonunun on yıllardır araştırılmasıyla, birkaç nörofizyoloji grubu, bir maymuna nöron aktivitelerini kullanarak bir bilgisayar imlecini ve robotik kolları kontrol etmeyi öğretebilmiştir [15]. Daha yakın zamanlarda, insan hastalar bu tür ile birleştirildi ve harici cihazları yönlendirmek için doğrudan beyin kontrolünü kullanabildiler [16]. Bu seviyede, sistemi, tek bir nöronun çözünürlüğünde, yani mikrometre ölçeğinde nöral aktivite ile uğraşır. Bu yüksek çözünürlük, nöron tabanlı BCI'ya, bir bilgisayar imlecinin veya bir robotik kolun hareket yörüngesinin gerçek zamanlı kontrolünü sağlayan olağanüstü bir bilgi aktarım hızı sağlar.

Nöron aktivitesinin uzun vadeli istikrarlı bir kaydını sürdürmenin teknik zorluğu nedeniyle, intrakraniyal 'nın felçli hastalar tarafından yaygın olarak kabul edilmesinden önce kat etmesi gereken uzun bir yol vardır. Bu engel, büyük bir nöron popülasyonundan yerel alan potansiyellerini kaydeden dura altına ızgara ve/veya şerit elektrotlar yerleştiren kortikal EEG tabanlı [17] için geçerlidir. Nöron popülasyonlarından gelen elektriksel aktivite sadece dura ve kafatasının içine yayılmakla kalmaz, aynı zamanda kafa derisinin yüzeyine de yayılır, bu da nöral elektrik sinyallerinin invazif olmayan bir şekilde kaydedilmesini ve yorumlanmasını ve dolayısıyla muhtemelen invaziv olmayan bir 'yı mümkün kılar [18 ]. Bununla birlikte, hacim iletimi nedeniyle, kafa derisinde yakalanan EEG sinyali, dura içindeki yerel alan potansiyellerinin bulanık bir versiyonudur. Ek olarak, kas aktivitesi, göz hareketi ve diğer kayıt artefaktları sinyali daha fazla kirletir ve bu da bu tür sinyallerin doğrudan yorumlanmasını imkansız hale getirir. qEEG sinyallerinin SNR'sini iyileştirmek için çok sayıda çaba gösterilmiştir. Burada, bağlamında, gürültülü qEEG sinyallerini yorumlama zorluğu daha da zordur, çünkü bir sistemi gerçek zamanlı çevrimiçi işleme gerektirir [10].

**2.3. Emotiv Epoc Cihazı**

Emotiv EPOC 1, beyin dalgalarını algılayan ve kullanıcının zihinsel durumunu ve duygusal tepkilerini izlemek için kullanılan bir EEG (elektroensefalografi) cihazıdır. Bu cihaz, 14 adet kuru elektrot içeren bir elektrot dizilimiyle çalışır (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4). Elektrotlar kullanıcının kafa derisine yerleştirilir ve beyin aktivitesini ölçmek için EEG sinyallerini kaydeder. Kablosuz olarak bir bilgisayara veya mobil cihaza bağlanabilen EPOC 1, kullanıcının beyin dalgalarını gerçek zamanlı olarak izlemesini sağlar. Özel bir yazılım arayüzü aracılığıyla kullanıcılar beyin dalgalarını görselleştirebilir, kaydedebilir ve analiz edebilirler. Bu teknoloji, beyin-bilgisayar arayüzleri, nörobilim araştırmaları, zihin kontrolüne dayalı teknolojiler ve kişisel zindelik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Emotiv EPOC 1, kullanıcıların beyin aktivitelerini takip ederek zihinsel durumlarını anlamalarına ve geliştirmelerine olanak sağlar.

A diagram of a ladybug

Description automatically generated

Şekil 2.3 : Emotiv Elektrot Kanalları

**2.4. Beyin Dalgalarının Modellenmesi**

**2.4.1. Beyin dalgalarının matematiksel modelleri**

Beyin dalgası modellemesi, beyin aktivitesinin ritmik elektriksel salınım modellerini matematiksel veya hesaplamalı modeller aracılığıyla açıklamayı ve anlamayı içeren bir araştırma alanıdır. Beyin dalgaları, elektroensefalogram (EEG) gibi elektrofizyolojik kayıtlarla ölçülen beyin aktivitesinin bir yansımasıdır ve çeşitli frekans aralıklarında gözlemlenebilir. Beyin dalgalarının yapısı, etkileşimleri ve dinamikleri, beyin dalgası modellemesiyle temsil edilmeye çalışılmaktadır. Beyin Dalgası Modellemesinin Uygulama Alanları: Beyin dalgası modellemesi, birçok farklı alanda geniş uygulama potansiyeline sahiptir. Nörobilim, bilişsel bilim, yapay zeka ve beyin-bilgisayar arayüzleri gibi alanlarda bu modellerin kullanımı yaygındır. Beyin dalgası modellemesi, beyin dalgaları ile bilişsel işlevler arasındaki ilişkinin anlaşılmasına katkıda bulunur. Örneğin, dikkat, bellek, öğrenme gibi bilişsel süreçlerin beyin dalgalarıyla ilişkisini inceleyebilir ve anlayabiliriz. Aynı zamanda, nöropsikiyatrik bozuklukların araştırılmasında da beyin dalgası modelleri kullanılır. Örneğin, epilepsi, Alzheimer hastalığı, depresyon gibi bozuklukların beyin dalgaları üzerindeki etkilerini anlamak için modelleme yöntemleri kullanılır. Beyin-bilgisayar arayüzleri aracılığıyla iletişim ve kontrol becerilerini geliştirmek amacıyla da beyin dalgası modelleri önemli bir rol oynar. BCI (beyin-bilgisayar arayüzü) teknolojileri, beyin dalgalarının algılanması ve yorumlanması üzerine kuruludur ve engelli bireylerin iletişimlerini geliştirmelerine yardımcı olur.

**2.4.2. Beyin Dalgası Modelleme Yöntemleri**

Beyin dalgası modellemesi için farklı matematiksel veya hesaplamalı yaklaşımlar kullanılır. Sinir ağları, dinamik sistemler ve istatistiksel yöntemler gibi modeller yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardır. Sinir ağları, beyin hücrelerinin etkileşimlerini taklit eden yapay sinir ağları kullanarak beyin dalgalarını modellemeye çalışır. Dinamik sistemler, beyin dalgalarını diferansiyel denklemlerle temsil ederek zaman içindeki değişimlerini anlamamıza yardımcı olur. İstatistiksel yöntemler ise beyin dalgalarının istatistiksel özelliklerini analiz ederek beyin aktivitesinin altında yatan desenleri ortaya çıkarmayı amaçlar. Bu modeller, beyin dalgalarının zaman ve frekans özelliklerini yakalamak, beyin bölgeleri arasındaki etkileşimleri temsil etmek ve beyin dalgalarının farklı koşullar ve görevler altında nasıl değiştiğini anlamak için geliştirilmiştir.

**2.4.3. Beyin Dalgası Modellemesinin Önemi ve Geleceği**

Beyin dalgası modellemesi, beyin aktivitesinin karmaşıklığını ve dinamiklerini daha iyi anlamamıza yardımcı olur. Bu modeller, deneysel verileri uyumlaştırmak, hipotezleri test etmek ve beyin dalgalarının işlevselliği hakkında tahminlerde bulunmak için kullanılır. Ayrıca, beyin dalgası modelleri, nöropsikiyatrik bozuklukların tanı ve tedavisinde kullanılabilir ve beyin-bilgisayar arayüzleri aracılığıyla iletişimi geliştirmek için temel bir araç olarak hizmet edebilir. Beyin dalgası modellemesi alanındaki çalışmaların hızla ilerlemesi, yeni veri toplama yöntemleri, gelişmiş hesaplama teknikleri ve daha kapsamlı teorik çerçevelerle birlikte gerçekleşmektedir. Bu da beyin dalgalarının işlevselliğini daha iyi anlamamızı ve nöroteknoloji alanında yeni keşifler yapmamızı sağlar. Sonuç: Beyin dalgası modellemesi, beyin aktivitesinin ritmik elektriksel salınım modellerini matematiksel veya hesaplamalı modeller aracılığıyla açıklama ve anlama çabasıdır. Bu alandaki araştırmalar, beyin dalgası işlevselliği, nöropsikiyatrik bozukluklar ve beyin-bilgisayar arayüzleri hakkındaki anlayışımızı derinleştirebilir ve gelecekteki nöroteknolojik gelişmelerin önünü açabilir. Beyin dalgası modellemesi, beyin aktivitesinin karmaşıklığını ve dinamiklerini daha iyi anlamamızı sağlayarak sağlık alanında önemli ilerlemeler kaydetmemize olanak tanır.

**2.4.4. Düşünce Okuma Teknolojisi**

Düşünce Okuma (Mind Reading) Teknolojisi Zihni ileri teknoloji yoluyla etkileme olasılığı, uzun süredir bilim kurgu yazarlarına ve senaristlerine ilham kaynağı olmuştur. 1932 tarihli "The Affair of the Brains" adlı roman, bireysel kapasiteleri aşan bir süper zeka yaratmak için bağlanan birden çok beyni tanımlamıştır. "The Matrix" (1999) veya daha yeni "Black Mirror" serisi (2014) gibi filmler, sanal gerçeklik ve yapay zeka ile karıştırılmış benzer nöroteknoloji fikirlerini içermektedir. Nörobilim, 1932'de genç bir alan olmasına rağmen, çeşitli beyin bozukluklarını tedavi etmeyi amaçlayan son gelişmeler, bir zamanlar kurgusal olan teknolojilerin çoğunu bilimsel alana getirmiştir. Örneğin, Parkinson hastalığının veya psikiyatrik bozuklukların semptomları, derin beyin çekirdeklerinin elektrikle uyarılmasıyla büyük ölçüde azaltılabilirken, gelişmiş beyin-bilgisayar arayüzleri (BCI'ler) felçli hastaların bir bilgisayarı doğrudan beyin aktiviteleriyle kontrol etmesine olanak tanır. Beyin anlayışımız ve nöroteknolojilerin kullanılabilirliği arttıkça, yakın ve uzak gelecekte nelerin mümkün olabileceği merak konusudur. Bu perspektifte, nöroteknolojinin mevcut durumuna genel bir bakış sunulacak ve gelecekteki gelişmeler hakkında spekülasyon yapılacaktır. İlk olarak, beyinden bilgi almak ve beyine bilgi iletmek için kullanılan çeşitli teknikler açıklanacaktır. Ardından, yakın tarihli ve gelecekteki olası uygulamalar gözden geçirilecek ve bu gelişmelerin insanın bilişsel gelişimine nasıl katkıda bulunabileceği tartışılacaktır. İnsan zihniyle doğrudan arayüz oluşturmanın pratik, etik ve yasal sonuçları da vurgulanacaktır. BCI kullanıcılarının, empoze edilen beyin aktivitesi kalıplarını nasıl algıladıkları ve aktüatörleri kasıtlı olarak nasıl kontrol ettikleri incelenirken "akıl" terimi kullanılacaktır. BCI'ler, nöronal aktivite ile psikolojik süreçler arasındaki ilişki hakkında bilgi sağlamakla birlikte, bilinçsiz beyin süreçleriyle de arayüz oluşturmak için kullanılabilir.

Nasıl çalışır?

BCI araştırması, beyinle doğrudan bağlantı kurarak engelli insanlara yardımcı olabilecek pratik yardımcı cihazlar oluşturmayı amaçlamaktadır. Son yıllarda, beyin cerrahisi gerektiren invaziv BCI'lerde önemli ilerleme kaydedilmiştir. İnvaziv BCI için önemli bir alan, örneğin korteks üzerinde uzanan subdural elektrotları implante ederek felçli kişilere yardım etmektir [9,10]. Bu elektrotlar, yerel EEG'nin güvenilir, ancak nispeten düşük bant genişliği okumasını sağlar. Nöronal yükselme aktivitesini kaydetmek için kortekse yerleştirilen elektrot dizileriyle daha yüksek bant genişlikleri elde edilir. Bu yaklaşım, bir kolu veya eli belirli bir yönde hareket ettirme niyetini, motor ve parietal kortekslerdeki ani hareketlerden deşifre etmeyi mümkün kılar [11-13]. Maymunlar, robotik bir kolu kontrol etmek ve kendi kollarını hareket ettirmeden kendilerini beslemek için böyle bir BCI kullanmayı öğrenebilirler [12]. Ayrıca maymunlar, farmakolojik olarak felç olmuş kol kaslarını elektriksel olarak uyarmak için kodu çözülmüş hareket niyetleri kullanıldığında kendi kolları üzerindeki kontrolü yeniden kazanabilirler [14]. Şiddetli felçli hastaların parietal veya motor korteksine de benzer elektrot dizileri yerleştirildi. Bu elektrotlardan gelen sinyaller, hareket niyetlerinin kodunun çözülmesini sağlar [15,16] ve bir bardağı ağızlarına götürmek gibi yetenekli hareketler için robotik bir kolu kontrol etmek için kullanılabilirler [17]. Bir hastada, kaydedilen sinyaller kas stimülatörlerini kontrol etmek, kendi bileğinin ve elinin kontrolünü yeniden sağlamak ve günlük görevlerini yerine getirmesine izin vermek için kullanıldı [18]. Bu yöntemleri, düşük seviyeli ve daha yüksek seviyeli motor komutları temsil eden beyin bölgelerini hedefleyerek motor kontrolü yeniden sağlamayı amaçlar. Prensip olarak, bu yöntemler, bir öznenin algıladığı [19], katıldığı [20-23] veya karar vereceği [22] ile ilgili nöral kodları okumak için kullanılabilecekleri duyusal ve çağrışım kortekslerine eşit derecede uygulanabilir.

**2.4.5. Düşünce Yazdırma**

Nöral aktiviteyi etkilemek için mevcut teknolojiler hızla genişliyor. Beyin aktivitesini etkilemek için transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS) [40], transkraniyal doğru akım stimülasyonu (tDCS) [41] ve odaklanmış ultrason stimülasyonu (FUS) [42] gibi birçok invaziv olmayan yöntem mevcuttur. Bununla birlikte, bu yöntemlerin uzamsal çözünürlüğü sınırlıdır ve beyin aktivitesini etkiledikleri kesin tavırlar açıklığa kavuşturulmayı beklemektedir. Burada, nöronal aktiviteyi tam olarak etkilemek için invaziv yöntemlere odaklanıyoruz. Periferik sinir sisteminde, iç kulağı elektriksel olarak uyaran koklear implantlar, sağırlık için yaygın bir tedavi haline gelmiştir [43]. Retina çipleri ile hayatta kalan hücrelerin elektrikle uyarılması [44] veya retinanın ışık duyarlılığını geri kazanmayı amaçlayan kimyasal veya optogenetik stimülasyon yöntemleri [45, 46]. Ayrıca, üst ekstremite protezlerinin, elektrik stimülasyonu ile kalan periferik sinirlere doğrudan iletilebilen yapay bir dokunma hissi ile donatılmasında da ilerleme kaydedilmiştir [47]. Bazen, yapay duyusal bilgi periferik sinir sistemi yoluyla beyne beslenemez. Bu, örneğin, retinaları veya optik sinirleri çok ciddi şekilde hasar görmüş kör kişiler için geçerlidir. Araştırmacılar, bu hastalar için, elektriksel stimülasyonla görsel kortekse doğrudan aktivite kalıpları empoze etme konusunda uzun süredir devam eden bir rüya görmüşlerdir [48-52]. 1960'lar ve 1970'lerdeki öncü çalışmalar, görsel korteksin yüzeyi üzerine stimülasyon elektrotları implante ederken [48,49], daha sonraki çalışmalarda elektrotun çevresinde birkaç on mikrometrelik seyrek bir nöron alt kümesini aktive etmek için intrakortikal elektrotlar [50] kullanıldı [53]. . Görsel alanın 2 boyutlu bir haritasını içeren birincil görsel kortekste, stimülasyon, bu haritada karşılık gelen pozisyonda küçük ışık noktalarının (fosfenler olarak adlandırılır) algılanmasına neden olur ve boyutları bir iğne ucundan bir kol uzunluğundaki bir nikele kadar değişir [50 ,54]. Görsel bir kortikal protez, çoklu elektrotlar kullanır ve ilkel görsel algılar, piksel piksel veya fosfen fosfen (Şekil 2A) oluşturmak için nöron modellerini uyarır. Daha yüksek görsel kortikal alanlarda, mikro stimülasyon, MT/V5 [55,56] alanındaki stimülasyondan hareket veya derinlik ve stimülasyondan yüzlerin şekli [57,58] veya sahnelerin uzamsal düzeni gibi daha spesifik algıları ortaya çıkarır veya saptırır. temporal korteks [59,60]. Benzer şekilde, işlevsel bir işitsel siniri olmayan hastalar için, merkezi sinir sisteminde yeni bir yaklaşım, beyin sapındaki koklear çekirdeği hedef alır [61,62]. İnsan olmayan primatların somatosensoriyel korteksinin uyarılmasıyla da ayırt edilebilir dokunma duyuları uyandırılmıştır [63]. Gelecekteki protezler, daha zengin, daha ayrıntılı hisler uyandırmak için birden fazla beyin alanını birlikte aktive etmeyi amaçlayabilir. Örneğin, alt alanlarda ortaya çıkan alt düzey algılar, üst alanlarda ortaya çıkan semantik özelliklerle tamamlanabilir. Örneğin, parietal ve temporal korteksin daha yüksek dereceli kortekslerine doğrudan bilgi yazmak, hem karmaşık düşüncelerin beyin aktivitesinde nasıl kodlandığına dair detaylı bir anlayış hem de bu tür rafine aktivite modellerini uyandırmak için teknik yetenekler gerektirecektir (Kutu 1). Yüksek beyin alanlarını uyarmanın olası bir dezavantajı, bu bölgelerin aktivasyonunun bir öznenin duygusal durumu [64] ve davranışı üzerinde doğrudan kontrol sağlayabilmesidir. Davranış üzerindeki kontrol, stimülasyonun hem basit hem de daha karmaşık hareketleri ortaya çıkardığı motor kortekste belirgindir [65,66], ancak diğer beyin yapılarında karmaşık davranışları tetiklemek de mümkündür [67]. Örneğin, farelerde amigdalanın optogenetik stimülasyonunu kullanan yakın tarihli bir çalışma, avın peşinden koşma ve saldırma gibi davranışsal programları etkinleştirme olasılığını göstermiştir [68]. Benzer şekilde, kemirgenlerin ve diğer hayvanların beslenme, içme ve cinsel davranışları, hipotalamus ve çevre bölgelerin uyarılmasıyla yönlendirilebilir [69-73], daha yeni çalışmalar optogenetik kullanarak altta yatan devreleri incelemeye başlar [74,75]. Dikkat ve hafıza gibi daha yüksek bilişsel işlevler de etkilenebilir. Örneğin, üstün kolikulus, parietal korteks veya ön göz alanlarının [76-78] uyarılması, uzamsal dikkati modüle eder. Bu beyin bölgeleri, görsel alan haritaları içerir ve stimülasyon, aktif hücreler tarafından temsil edilen uzamsal bölgeye dikkat çeker. Ayrıca, Penfield'ın klasik çalışması, şakak loblarının elektrikle uyarılmasının, bir hastanın geçmişine dair canlı hatıralara yol açtığını gösterdi [66,79]. Bir duyusal protezin amacı, kullanıcının özerkliğini ihlal etmeden algıları ortaya çıkarmaksa, duyusal beyin bölgeleri en uygun uyarım hedefi gibi görünmektedir. Ancak, bazı BCI uygulamaları bunun yerine davranışı etkilemeyi amaçlar. Bir örnek, anoreksiya nervozalı hastalarda yemeyi artırma amacıdır [80]. Bu gibi durumlarda, aktiviteyi etkilemek, ancak bazı BCI uygulamaları bunun yerine davranışı etkilemeyi amaçlamaktadır. Bir örnek, anoreksiya nervozalı hastalarda yemeyi artırma amacıdır [80]. Bu gibi durumlarda, ilgili üst düzey beyin bölgelerinin aktivitesinin etkilenmesi düşünülebilir. Davranışı dolaylı olarak etkilemenin çok yönlü bir yöntemi, ödülleri ve cezaları işleyen nöronların aktivasyonudur [81-83]. Araştırmacılar, ventral tegmental alandaki veya nükleus akkumbenlerindeki [84-87] (Şekil 2B) dopamin nöronlarını aktive ederek farelerin ve maymunların arzu edilen davranışlarını güçlendirebilir ve örneğin lateral habenulada [88] kaçınmaya aracılık eden devreleri aktive ederek istenmeyen davranışları engelleyebilirler. ,89]. Bununla birlikte, bu yöntemleri insanlara uygulamak, kendi seçimlerini yapma özgürlüğüne müdahale edebileceğinden, maliyetlerin ve faydaların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir (Kutu 1). Beyin yazısının terapötik potansiyeli, Parkinson hastalığının semptomlarını tedavi etmede derin beyin stimülasyonunun (DBS) başarısıyla örneklenir [90] (Şekil 2C). Klinik araştırmalar ayrıca depresyon [91,92] ve obsesif-kompulsif bozukluk (OKB) [93] gibi psikiyatrik bozuklukların tedavisi için DBS'yi araştırmıştır. DBS için mevcut stimülasyon modelleri, elektrotların temas noktalarının geniş yüzey alanları nedeniyle nispeten kabadır, ancak gelecekteki teknik gelişmeler bu kesinliği artırabilir ve yan etki riskini azaltırken terapötik faydaları artırabilir [94,95]. Beyin yazma yöntemleri ayrıca optogenetikten yararlanabilir ve belirli hücre popülasyonlarını ışığa duyarlı hale getirebilir [96]. Yenilikçi ışık uygulaması yöntemleriyle birleştiğinde, bu tür yöntemler bireysel nöronların belirli alt kümelerinin aktivasyonuna izin verir [97] (Şekil 2D). Bu yöntemler şu anda klinik kullanım için pratik olmayan hacimli iki fotonlu mikroskoplara dayanmaktadır. Bununla birlikte, giyilebilir tek foton mikroskopları halihazırda geliştirilmiştir [98] ve optik yöntemlerin kesinlik, kalite ve bant genişliğindeki artışların yakın gelecekte terapötik potansiyellerini artıracağı düşünülebilir.

A diagram of a bird

Description automatically generated with low confidence

Şekil 2.4

1. **Materyal ve Yöntem**
   1. **EEG ile Veri Toplama**

Temel olarak ‘acıkma’ , ‘açlık’ durumları baz alınarak veri toplanmıştır. Yöntem sürekli değiştirilerek ilerlenmiştir. İlk olarak acıkma durumunu ele alalım.

‘Acıkma’

Acıkmak, vücudun enerji ve besin ihtiyacının artmasıyla ortaya çıkan bir fizyolojik durumdur. Bilimsel olarak açlık, kan şekeri seviyelerinin düşmesi, midenin boşalması, hormon seviyelerinde değişiklikler ve beyin tarafından algılanan sinyaller gibi faktörlerle ilişkilidir. Açlık durumu, vücudun enerji kaynağı olarak kullanabileceği glukozun azalmasıyla başlar. Bu durum, kan şekerinin normal seviyelerin altına düşmesine ve beyin tarafından açlık sinyallerinin gönderilmesine neden olur. Aynı zamanda, midenin boşalmasıyla birlikte mide kaslarından gelen sinyaller de açlık hissini tetikleyebilir. Açlık sinyallerinin bir kısmı hormonal olarak iletilir. Ghrelin adı verilen bir hormon, mide boşaldıkça salgılanır ve beyne açlık hissini ileten bir işaret gönderir[18]. Leptin ise yağ dokusunda üretilen bir hormondur ve tokluk hissini tetikleyerek açlık hissini azaltır. Beyin, açlık durumunu algılar ve çeşitli bölgeleri aracılığıyla iştahı kontrol eder. Açlık sinyallerini değerlendirerek ve diğer hormonal ve nörotransmitter sinyallerini dikkate alarak, beyin iştah artışı veya azalışı için gereken sinyalleri gönderir.

Acıkmak da beyine bir sinyal gönderdiği için, bu sinyalin herkesde aynı/benzer frekansta olup olmadığı sorusunu akla getiriyor. Bu yüzden ilk veriler aç olma durumunda ölçülerek elde edildi. Deneğe bir yemek çizelgesi oluşturularak bu saatlerin öncesinde ölçümleri yapıldı (Şekil 3).

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

Şekil 3: Yemek Saatlerine Bağlı Ölçüm Zaman Çizelgesi

İkinci aşama olarak, acıkma durumunun sadece bir fizyolojik durumdan ibaret olmadığına aynı zamanda başka çağrışımlar da yaptığını düşünerek bu sefer yemek resimleri göstererek deneğin bundan sonraki sinyalleri incelendi.

A picture containing drawing, sketch, cartoon, illustration

Description automatically generated

Şekil 3.1: Emotiv Epoc cihazı elektrot konumları

![A picture containing text, handwriting, line, parallel

Description automatically generated]()

Şekil 3.2: Emotiv Epoc Sinyal Çıktısı

**3.1.2. Veri Toplamadaki Bazı Sorunlar**

Toplanan sinyallerin gürültülü olması ve sabit uzunluklu elektrot kolları BBA uygulamasını zorlaştırmaktadır. Cihazdaki 14 elektrottan yalnız ikisi oksipital bölge civarına düşmektedir. Ayrıca sabit uzunluklu elektrot kolları farklı boyutlardaki esnek EEG şapkalarının aksine ölçüm noktalarını kısıtlamaktadır. Farklı kafa boyutuna sahip deneklerde elektrotlar istenilen ölçüm noktalarına ulaşmamaktadır. Fakat bu deneyde bir denek kullanıldığı için bu sorun teşkil etmemiştir. Bu durumlar yine de çalışmaları olumsuz etkilemektedir [14]. Bu olumsuzluğu kısmen azaltmak için cihaz 180 derece döndürülerek kullanılmıştır. Bu sayede AF3 F3 F4 AF4 konumları için tasarlanan 4 elektrot, oksipital bölge civarına gelmektedir.

EEG gürültü temizlenmesi ise çalışma verileri için yapılması zorunlu olan bir işlemdir. Bu alanda yapılan önceki çalışmalar, çeşitli gürültü azaltma tekniklerinin EEG sinyallerinin kalitesini artırmada etkili olduğunu göstermiştir [15]. Bileşen tabanlı gürültü azaltma yöntemleri, EEG sinyallerindeki istenmeyen bileşenlerin tespit edilmesi ve giderilmesi amacıyla kullanılan yaygın bir yaklaşımdır [16]. Gürültü temizleme yöntemlerinin yanı sıra, evrişimli sinir ağları gibi makine öğrenmesi tabanlı teknikler de EEG sinyallerinin gürültüsünü azaltmak için kullanılmaktadır [17]. Bu yöntemler, gürültüden arındırılmış EEG sinyallerinin elde edilmesinde başarılı sonuçlar göstermiştir [16].

Filtreleme yöntemi ile önceden elde edilen datalar üzerinde bazı çalışmalar yapılmış olup, kendi verilerimiz üzerinde ise bu çalışmaya yer verilememiştir(Veri kapsamının çok büyük olmaması sebebi ile).

**3.1.3. Veri Ön İşleme Yöntemleri**

Kullanıcı, niyetini iletmek için gönüllü olarak algılanabilir sinyaller üretebilir. Bununla birlikte, sinyal elde etme yöntemleri, beynin içindeki veya dışındaki diğer ilgisiz faaliyetler tarafından üretilen gürültüyü yakalar. Sinyal-gürültü oranını en üst düzeye çıkararak uygun özniteliklerin çıkarılması gerekir. Tüm işleme ve çıkarma tekniklerinin amacı, bir öğeyi, aynı kategorideki öğeler için çok benzer ancak başka bir kategorideki öğeler için çok farklı olan ayırt edilebilir ölçülerle karakterize etmektir. Bu karakterizasyon, mevcut çok sayıda seçenek arasından ilgili özelliklerin seçilmesiyle yapılır. Bu seçim süreci gereklidir, çünkü ilgisiz özellikler çeviri algoritmalarının zayıf genellemeye sahip olmasına, hesaplamaların karmaşıklığının artmasına ve belirli bir doğruluk düzeyine ulaşmak için daha fazla eğitim örneği gerektirmesine neden olabilir.

**3.1.3.1. Artefakt/Gürültü Giderme**

Genellikle bir dizi zaman boyunca birkaç elektrotta yakalandığından, mevcut yöntemler ya uzamsal alan işlemeye ya da zamansal alan işlemeye ya da her ikisine birden odaklanır. Ek olarak araştırmalar, EEG'de yakalanan birçok gürültünün merkezi olmayan sinir sistemi (CNS) aktivitesi, özellikle yüz kaslarındaki kas hareketleri tarafından üretildiğini göstermiştir (Wolpaw ve diğerleri, 2002). Bu gürültüye karşı koymak için başka bir dizi teknik, CNS dışı artefaktların çıkarılmasına odaklanır. Sinyaldeki gürültüyü en aza indirmek için kaynaklarını anlamak önemlidir. Hedef sinyalle ilgili olmayan bileşenler yakalandığında, gürültü sinir kaynakları aracılığıyla yakalanabilir. Gürültü, özellikle yüz kasları olmak üzere kas hareketleri gibi nöral olmayan kaynaklar tarafından da üretilebilir. Bu tür gürültü özellikle önemlidir, çünkü kas hareketleri tarafından üretilen sinyaller aşırı güçlüdür ve hedef sinyalle karıştırılabilir. Gürültünün ve hedef sinyalin frekansı veya genliği benzer olduğunda problem daha da karmaşık hale gelir. Tipik olarak EEG sinyallerinden daha belirgin olan CNS dışı artefaktlar, göz hareketlerinden, kafa derisine kaydedilen EMG aktivitesinden ve diğer bu tür nöral olmayan kaynaklardan gelen istenmeyen potansiyellerin sonucudur. Kullanıcıya yüz kaslarını kullanmaması veya artefakt içeren denemeleri dikkate almaması için basit talimatlar kullanılabilir, ancak bu gürültüyü gidermek için her zaman yeterli değildir. Doğrusal dönüşümler ve bileşen analizi gibi matematiksel işlemler de artefakt giderme için kullanılır.

**3.1.3.2. Veri Önişleme Yöntemlerinin Geçmişi**

Blum ve Langley (1997), birkaç ilgili özelliği bulmak ve çıkarmak için büyük miktarda ilgisiz veriyi işleyen buluşsal arama teknikleri olarak özellik seçme veya çıkarma algoritmalarının bir analojisini oluşturur. Dört kritere dayalı olarak özellik çıkarımı için tasarlanmış algoritmaları daha da karakterize ettiler. İlk kriter, sonraki durumlara karar verecek operatörlerin yanı sıra aramanın yönünü de belirleyecek bir başlangıç noktasının/noktalarının tanımıdır. Algoritmalar, boş bir özellikler grubuyla başlayabilir ve bir puanlama işlevine dayalı olarak art arda özellikler ekleyebilir. Bu yönteme ileri seçim denir. Diğer bir seçenek de, mevcut tüm özelliklerle başlamak ve bir puanlama işlevine dayalı olarak belirli özellikleri kaldırmaktır. Bu yöntem geriye doğru eleme olarak bilinir. Hatta bazı algoritmalar, ileri seçim ve ardından geriye doğru elemenin bir kombinasyonunu uygular veya bunun tersi de geçerlidir. İkinci kriter, aramanın organizasyonudur. Tüm özellik uzayında kapsamlı bir arama yapmak verimli olmadığından, algoritmalar açgözlü seçim, adım adım toplama ve eleme ya da en iyi arama gibi teknikleri kullanarak mevcut kümeye göre puanı artıracak bir sonraki özelliği seçer. Üçüncü kriter, özelliklerin tüm olası alt kümelerini değerlendirmek için kullanılan stratejidir. Çoğu algoritma, bir özelliğin farklı sınıflar arasında ayrım yapma yeteneğini yansıtan bir puanlama işlevi kullanma eğilimindedir. Birçok algoritma, özellikleri bilgi teorisine veya sınıflandırma doğruluğuna katkısına göre puanlar. Dördüncü kriter, aramanın sonlandırma koşuludur. Bazı özellik çıkarma algoritmaları, ardışık yinelemeler belirli bir eşiğin üzerinde ayarlanan özellik puanını iyileştirmede başarısız olduğunda durur. Diğerleri, özellik setinin puanında veya doğruluğunda bir düşüş olmadığı sürece aramaya devam eder. Kullanılan diğer bir seçenek, özelliklerin her birini bazı puanlama işlevlerine göre sıralamak ve bu noktanın üzerindeki tüm özelliklerin otomatik olarak seçildiği bir kesme noktası seçmektir.

**3.1.4. Sınıflandırmada Kullanılan Algoritmalar**

Her bir EEG segmenti için bir düşünce durumunu sınıflandırmak için Lineer Diskriminant Analizi (LDA) [11] ve Destek Vektör Makineleri (SVM) [4] olmak üzere iki sınıflandırıcı karşılaştırılıyor.. Lineer diskriminant analizi ve ilgili Fisher's lineer diskriminant, iki veya daha fazla nesne veya olay sınıfını karakterize eden veya ayıran özelliklerin lineer bir kombinasyonunu bulmak için istatistik, örüntü tanıma ve makine öğreniminde kullanılan yöntemlerdir. Ortaya çıkan kombinasyon, doğrusal bir sınıflandırıcı olarak kullanılabilir. LDA, bir bağımlı değişkeni diğer özelliklerin doğrusal bir kombinasyonu olarak ifade etmeye çalışan regresyon analizi ile yakından ilişkilidir. Bununla birlikte, regresyon analizinde bağımlı değişken sayısal bir nicelik iken LDA için kategorik bir değişkendir (yani sınıf etiketi). Öte yandan, SVM, sınıflandırma problemlerini çözmek için en popüler denetimli öğrenme algoritmalarından biridir. DVM'deki temel fikir, girdi verilerini, orijinal özellik uzayındakinden daha kolay ayrıştırılabilen bir çekirdek transfer fonksiyonu aracılığıyla daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına yansıtmaktır. Girdi verilerine bağlı olarak, DVM'nin yinelemeli öğrenme süreci, sonunda her sınıf arasında maksimum marjlarla en uygun hiper düzlemlerde birleşir. Bu hiperdüzlemler, farklı veri kümelerini ayırt etmek için karar sınırları olacaktır. Burada, verileri daha yüksek boyutlu bir uzaya eşlemek için doğrusal ve radyal temel işlev (RBF) çekirdeği kullanıyoruz. Bildirilen sonuçlar OpenVibe yazılımındaki LDA ve SVM uygulamaları kullanılarak elde edilmiştir [15]. Her indüklenen sınıflandırıcıyı, eğitim setinin %10'unun sırayla test verisi olarak tutulduğu ve geri kalan %90'ın eğitim verisi olarak kullanıldığı standart 10 katlı çapraz doğrulamayı gerçekleştirerek değerlendirdik. 10 katlı çapraz doğrulamayı gerçekleştirirken, sınıf başına aynı sayıda örneği dışarıda bırakıyoruz. Veri setlerinde, ele alınan her sınıf için örnek sayısı aynıdır, bu nedenle sınıf başına aynı sayıda örneği dışarıda bırakarak dengeli bir eğitim seti sağlarız.

[4] Alamgir M, Grosse-Wentrup M and Altun Y 2010 Multitask learning for brain–computer interfaces Int. Conf. on Artificial Intelligence and Statistics pp 17–24

[11] Balli T and Palaniappan R 2010 Classification of biological signals using linear and nonlinear features Physiol. Meas. 31 903

[15] Barachant A and Congedo M 2014 A plug&play P300 BCI using information geometry (arXiv:1409.0107)

1. **Bulgular ve Tartışma**
2. **KAYNAKLAR**