

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**EOG TEMELLİ İNSAN BİLGİSAYAR ARABİRİMİ İÇİN  
UYGUN SINIFLANDIRMA YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

**Muna Layth Abdulateef AL-ZUBAİDİ**

Danışman

**Dr. Öğr. Üyesi Selim ARAS**

**SAMSUN  
2022**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Muna Layth Abdulateef AL-ZUBAİDİ tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Selim ARAS danışmanlığında hazırlanan “EOG TEMELLİ İNSAN BİLGİSAYAR ARABİRİMİ İÇİN UYGUN SINIFLANDIRMA YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından .....2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi ..... Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi ..... Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi ..... Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Prof. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi ..... Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Prof. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi ..... Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet  (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

... / ... / 20...

Öğrenci

Muna Layth Abdulateef  
AL-ZUBAİDİ

## TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

**Tez Başlığı :** Eog Temelli İnsan Bilgisayar Arabirimi İçin Uygun Sınıflandırma Yönteminin Araştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 23/6/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 5

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

... / ... / 20...

Danışman Dr. Öğr. Üyesi Selim ARAS

## ÖZET

### EOG TEMELLİ İNSAN BİLGİSAYAR ARABİRİMİ İÇİN UYGUN SINIFLANDIRMA YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Muna Layth Abdulateef AL-ZUBAİDİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans, Haziran/2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selim ARAS

Bilgisayarların günlük yaşantımıza dahil olmasından bu yana teknolojinin gelişimine de paralel olarak İnsan Bilgisayar Arabirimi (İBA) üzerine yapılan çalışmalara sürekli olarak ihtiyaç duyulmuştur. İBA insan hayatını ve iletişimi kolaylaştırmayı, yapılan işleri ergonomik bir şekilde çözümlenmeyi amaçlar. İBA ayrıca engelden ya da hastalığından dolayı iletişim kurmakta zorlanan bireyler için de önemli çözümler sunmaktadır.

Tezin ana amacı, istemli göz hareketlerini yapabilen fakat iletişim kuramayan bireyler için bir İBA geliştirmektir. Bu doğrultuda bu tez çalışmasında göz hareketleri ile komut vermeyi amaçlayan Elektrookülografi (EOG) temelli bir İBA için uygun öznitelik ve sınıflandırma yönteminin araştırılması yapılmıştır. EOG verilerinin alınması ve kaydedilmesi için özgün bir arayüz yöntemi geliştirilmiş ve kayıtların alınması ile birlikte yedi farklı göz hareketinden elde edilen veri seti oluşturulmuştur. Çeşitli sayısal işaret işleme yöntemleri ile EOG sinyalleri iyileştirilmiştir.

Tezin ana amacına uygun olarak EOG sinyallerinin ayrıştırılması için uygun öznitelik ve sınıflandırma yöntemleri araştırılmıştır. Ardışıl ileri yönlü öznitelik seçme yöntemi kullanılarak çok sayıdaki özniteliklerden en iyi sonucu veren kombinasyon belirlenerek sistemin başarısı artırılmıştır. Geliştirilen yöntem yedi sınıflı veri kümesinde %93,9 başarıya ulaşmıştır.

Elde edilen sonuçlar, istemli göz hareketleri ile insan bilgisayar arabirimi kontrolünün yüksek doğrulukta yapılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, gerçek zamanlı çalışan bir modelin geliştirilmesi çalışmaları için ilham vericidir.

**Anahtar Sözcükler:** EOG; Göz izleme; Göz hareketlerini; İnsan Bilgisayar Arabirimi; Kontrol etmek

## ABSTRACT

### RESEARCHING A SUITABLE CLASSIFICATION METHOD FOR EOG BASED HUMAN COMPUTER INTERFACE

Muna Layth Abdulateef AL-ZUBAIDI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and electronic Engineering

Master, June/2022

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Selim ARAS

Since computers have been included in our daily lives, there has been a constant need for studies on Human Computer Interface (HCI) in parallel with the development of technology. HCI aims to facilitate human life and communication, and to analyze the work done in an ergonomic way. HCI also offers important solutions for individuals who have difficulty in communicating due to their disability or illness.

The main aim of the thesis is to develop an HCI for individuals who can make voluntary eye movements but cannot communicate. In this direction, in this thesis study, the appropriate feature and classification method for an Electrooculography (EOG) based HCI aiming to give commands with eye movements was investigated. A unique interface method was developed for the acquisition and recording of EOG data, and a data set obtained from seven different eye movements was created with the recording. EOG signals have been improved with various digital signal processing methods.

In accordance with the main purpose of the thesis, suitable features and classification methods for the decomposition of EOG signals were investigated. The success of the system is increased by determining the combination that gives the best result from many features by using the sequential forward feature selection method. The developed method reached 93.9% success in the seven-class dataset.

The results show that human computer interface control can be done with high accuracy with voluntary eye movements. Also, the development of a real-time working model is inspiring for work.

**Keywords:** Chek; EOG; Eye tracking; Eye movements; Human Computer Interface

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle, çocukluk hayalim olan yüksek öğrenimi elde etmem için bana sağlık ve güç veren yüce Allah'a şükrediyorum. Ayrıca bu başarıyı rahmetli babam Dr. Layth Abdulateef'e, onun saf ruhuna adıyorum. Hayattayken benimle yaptığı tüm sıkı çalışma için teşekkür ediyorum. Sevincimi bildiğini ve benimle gurur duyduğunu biliyorum. Çocukluğumdan beri benimle birlikte emek veren ve bugün de emek vermeye devam eden sevgili anneme, beni yönlendirdiği ve yardımcı olduğu için minnet ve şükranlarımı sunarım. Bu tezi ayrıca onlara karşı örnek olmayı amaçladığım kardeşlerime adıyorum. Benimle yoğun bir şekilde çalışan ve beni asla yolda karanlıkta bırakmayan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Selim ARAS'a teşekkür ederim. Her zaman bana rehberlik edecek bir ışık oldu. Öğrenim hayatımda bana yardımcı olan ve destek olan arkadaşlarıma ve özellikle Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ve genel olarak Ondokuz Mayıs University Üniversitedeki tüm seçkin öğretim üyelerine minnettarım. Son olarak bu başarıda katkısı bulunan, ilk eğitimimi aldığım Irak Teknoloji Üniversitesi lazer mühendisliği ve optoelektronik bölümüne teşekkürlerimi sunuyorum. Allah'ın izniyle bu tez çalışmasından elde ettiğim bilgileri Irak'a ve ikinci vatanım Türkiye'ye hizmette kullanmayı umuyorum.

Muna Layth Abdulateef AL- ZUBAİDİ

# İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI .....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
TABLolar DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	8
2.1. Tezin Amacı Ve Kapsamı .....	8
2.2. EOG Temelli İnsan Bilgisayar Arabirimi .....	8
2.3. Göz Anatomisi Ve Fizyolojisi .....	9
2.4. Göz Kasları .....	11
2.5. Nöronlar .....	12
2.6. Aksiyon Potansiyeli .....	14
2.7. EOG Fizyolojisi .....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	21
3.1. Eog Sinyal Kayıt Alım Yöntemi .....	21
3.2. Önışleme .....	23
3.3. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri .....	25
3.4. Sınıflandırma Yöntemleri .....	27
3.5. Ardışıl İleri Yönlü Öznitelik Seçim Yöntemi .....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	34
KAYNAKLAR .....	36
ÖZGEÇMİŞ .....	40

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>f<sub>1</sub></b>	: Sıfır Geçiş Oranı
<b>f<sub>2</sub></b>	: Kısa Zaman Enerjisi
<b>f<sub>3</sub></b>	: Enerji Entropisi
<b>f<sub>4</sub></b>	: Spektral Merkezi
<b>f<sub>5</sub></b>	: Spektral Yayılma
<b>f<sub>6</sub></b>	: Spektral Entropisi
<b>f<sub>7</sub></b>	: Spektral Akış
<b>f<sub>8</sub></b>	: Spektral Düşüş
<b>f<sub>9</sub></b>	: Peaks
<b>AIYÖS</b>	: Ardışıl İleri Yönlü Öznitelik Seçim Yöntemi
<b>AMA</b>	: Ampirik Mod Ayırıştırması
<b>Cm</b>	: Santimetre
<b>DEHB</b>	: Dikkat Eksikliği Hiperaktivite Bozukluğu
<b>DVM</b>	: Destek Vektör Makinesi Sınıflandırıcı
<b>EEG</b>	: Elektroensefalografi
<b>EKG</b>	: Elektrokardiyografi
<b>EMG</b>	: Elektromiyograf
<b>EOG</b>	: Elektrokardiyografi
<b>ERG</b>	: Elektoretinografi
<b>ESA</b>	: Evrişimli Sinir Ağı Sınıflandırıcı
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>İBA</b>	: İnsan Bilgisayar Arabirim
<b>K</b>	: Katlama
<b>K-EYK</b>	: En Yakın Komşu Sınıflandırıcı
<b>K-NN</b>	: Bilinmeyen Noktaya En Yakın Komşu Sayısı
<b>L</b>	: Sinyal Alt Bantlarına Bölünür
<b>LDA</b>	: Lineer Diskriminant Sınıflandırıcı
<b>mv</b>	: Mili Volt
<b>N</b>	: Sinyalin Uzunluğu
<b>VOG</b>	: videookülografi
<b>YSA</b>	: Yapay Sinir Ağları Sınıflandırıcı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İnsan bilgisayar arabirimin temel bileşenleri .....	2
Şekil 2. Gözün yapısını açıklar .....	11
Şekil 3. Göz kasları .....	12
Şekil 4. Nöron yapısı .....	14
Şekil 5. Aksiyon potansiyeli .....	15
Şekil 6. Uygulamalarda kullanılan elektrot tipleri .....	16
Şekil 7. Yatay yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli .	16
Şekil 8. Dikey yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli .	17
Şekil 9. Yatay- Dikey yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli .....	17
Şekil 10. Maske tasarım .....	18
Şekil 11. Göze yardımcı yapılar .....	19
Şekil 12. Elde edilen EOG sinyalleri,dikey ve yatay EOG sinyali .....	20
Şekil 13. EOG elektrotlarının yerleşimi .....	21
Şekil 14. Kayıt için oluşturulan uygulama örnekleri .....	22
Şekil 15. İki kanallı EOG kaydedilen sinyalin şekli .....	23
Şekil 16. Veriseti kayıt örneği.....	24
Şekil 17. Destek vektör ve optimal ayırıcı düzlem .....	28
Şekil 18. Ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yöntemi .....	30

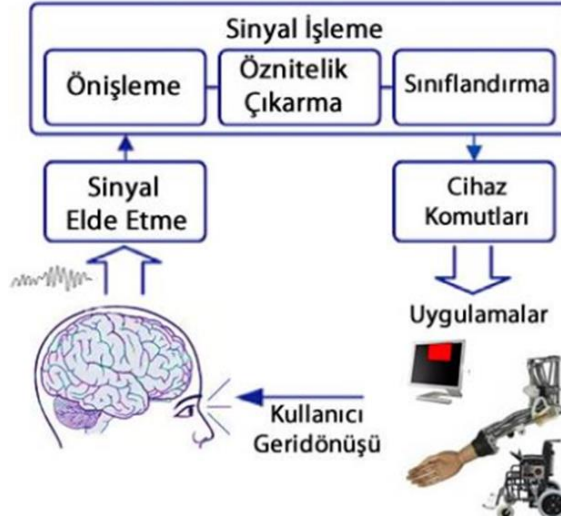
## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Kullanılan öznitelikler ve formülleri .....	25
Tablo 2. Eğitim kümesi sınıflandırma sonuçları .....	32
Tablo 3. Test kümesi karışıklık matrisi .....	34

# 1. GİRİŞ

"İnsan Bilgisayar Arabirim" terimi, insanların bir makine, cihaz, bilgisayar programı veya karmaşık bir araçla etkileşime girmesini sağlayan bir grup yöntemi ifade eder. " İnsan Bilgisayar Arabirim " terimi, Stuart K. Card tarafından 1983 tarihli The Psychology of Human Computer Interaction adlı kitabında kullanılmıştır (Card vd., 2018). İBA, insan ve makinelerin etkileşimi ile ilgilenen endüstriyel tasarım alanıdır. Bu geniş İBA konsepti, bilgisayar işletim sistemlerinin, el aletlerinin ve ağır makine operatör kontrollerinin etkileşimli yönleriyle gösterilmektedir. Genel olarak, kullanıcı arayüzü tasarımının amacı, bir makineyi çalıştırmayı basit, verimli ve eğlenceli hale getiren bir kullanıcı arayüzü oluşturmaktır. Bu genellikle operatörün istenen çıktıyı elde ederken mümkün olduğunca az girdi sağlaması gerektiği anlamına gelir. İBA, dokunsal (dokunma), görsel (görme), işitsel (ses), koku alma (koku) ve tat alma (tat) dahil olmak üzere bir veya daha fazla insan duyusu ile iletişim kurabilir (Shneiderman, 1980).

Modern ve akıllı teknolojiler günlük hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu süre zarfında fizyolojik sinyallere yönelik araştırmalar hızlanmıştır. Bu sistemlerin geliştirilmesi, hastalık ve engelli kişilerin yaşamlarını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Akıllı sistemler ve İBA teknolojileri alanlarındaki son gelişmeler, biyosinyal tabanlı kontrol sistemlerinin geliştirilmesinin önünü açmıştır. Tıp ve tıp teknolojisi ilerledikçe sınırlı işlevsel yeteneklere sahip kişilerin sayısı şüphesiz artacaktır. Dünyanın her yerinden bilim adamları, rehabilitasyon cihazlarının çalışmasını kontrol edebilecek akıllı sistemler geliştirmek için çalışmaktadır. İBA, insanların bilgisayarlar ve diğer teknoloji türleri ile nasıl etkileşime girdiğini ve insanların bu etkileşimi nasıl yönettiğini araştırır (Selim Aras, 2021).



Şekil 1. İnsan bilgisayar arabirimin temel bileşenleri (Mason ve Birch, 2003)

Şekil 1’de İnsan Bilgisayar Arabirimin temel bileşenleri gösterilmektedir. Sinyalin elde edilmesi arabirimin ilk aşaması olarak öne çıkmaktadır. İBA kontrolünde elektroensefalografi (EEG), elektromiyografi (EMG) ve elektrookülogram (EOG) gibi birçok sinyal kullanılmaktadır (Kumar ve Poole, 2002). Literatürde özellikle EMG veya EEG tabanlı İBA’lar üzerine yapılan çalışmalara daha sık rastlanmaktadır. İBA, felç gibi sinir bozukluklarından muzdarip insanlar için son derece faydalı olabilir. Bu gibi durumlarda sıklıkla hareket edemezler ve dış dünya ile iletişim kurmanın tek yolu, EOG ve EEG ile ameliyatsız olarak elde edilebilen göz hareketleri veya beyin sinyalleridir (McFarland ve Wolpaw, 2011). Sinyalin elde edilmesi kısmı İBA’nın en belirleyici özelliklerinden biridir. İstemli hareketlere göre alınabilen sinyaller İBA’nın gerçek zamanlı olarak daha doğru çalışmasını sağlar.

İBA’nın ikinci temel bileşeni ise önişleme kısmıdır. İlgilenilen sinyalin karakteristiğini önceden bilmek doğru ilerleyebilmek adına oldukça önemlidir. Sinyal elde edilmeden önce oluşturulan kayıt devresinin sinyalin genlik ve frekans gibi özelliklerini doğru yansıtabilmesi gereklidir. Bunun için örnekleme frekansının ve sinyal yükseltecinin doğru seçilmesi büyük önem taşır. Örneklemede yapılan hata bazı frekans değerlerindeki bilgilerin kaybına yol açabilir. İnsanlardan alınan sinyaller çok düşük genlikli olduğu için sinyalin işlenebilmesinin yolu sinyalin yükselteç kullanılarak güçlendirilmesidir. Burada da yükseltecin çalışma frekansı aralığına dikkat etmek gereklidir. Sinyallere gürültünün karışması çoğu zaman kaçınılmazdır. Ancak, doğru sinyali elde etmek için bazen bu gürültülerden kurtulmak gerekir. Bunun için çeşitli

filtreleme yöntemleri kullanılır. Sinyalin frekans tanım aralığında filtreleme yapmak ve şebeke frekansındaki gürültüyü çentik filtre ile bastırmak en yaygın uygulamalardır.

Temel işlemlerin üçüncü aşaması sinyallerden öznitelik çıkarılmasıdır. Örneğin EOG'den göz hareketlerini analiz etmek için anlamlı öznitelikler çıkarılmalıdır (Aung Sakun vd., 2012). Özellik çıkarma adımının amacı, her sınıf için ayırt edici özellikleri belirlemektir. Yüksek doğrulukta sinyal sınıflandırması için etkin özellik çıkarımı gereklidir. Verimli ve hızlı bir sınıflandırma gerçekleştirmek için özellik çıkarımı gereklidir. EOG sinyallerinden öznitelik çıkarımı için literatürde önerilen çok sayıda öznitelik çıkarma yöntemi vardır (Meng vd., 2019). Özellik seçimi, bir veri kümesinden en kullanışlı özellikleri seçme sürecini ifade eder. Makine öğrenimi modelinin performansı bu süreçten önemli ölçüde etkilenir. Özellik aramanın amacı, sinyalleri birbirinden ayırmanın yollarını bulmaktır (Wazwaz vd., 2020). Verileri incelemek ve analiz etmek için kullanılan matematiksel denklemlerdir. En yüksek sınıflandırma oranını elde etmemize yardımcı olacak özellikler seçilmelidir.

Sınıflandırma İBA temel bileşenlerinin dördüncü aşamasıdır. Sinyal sınıflandırma, makine öğrenimi sürecinde önemli bir adımdır. Verilen komutun ne olduğunun nihai kararının verildiği aşamadır. Sınıflandırmada veri setinin eğitim ve test setlerine bölünmesi, veri sınıflandırma süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Sinyalleri sınıflandırmak için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Sinyal öznitelikleri çıkarıldıktan sonra sınıflandırma aşamasında çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır (O'Bard ve George, 2018).

Yukarıda anlatılan İBA aşamalarına benzer şekilde literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Usaklı çalışmasında ( Usaklı, 2015), EOG temelli çalışmada beş gönüllüden EOG verilerini toplamıştır. EOG verileri daha sonra özellik çıkarma yöntemlerinde kullanılmadan önce ön işleme tabi tutulmuştur. Çalışmada çeşitli öznitelik çıkarma yöntemleri ve sınıflandırıcıların birleştirilmesinin etkinliği sunulmakta ve analiz edilmektedir. İstatistiksel parametreler, burg yöntemini kullanan otoregresif katsayılar ve Yule-Walker yöntemini kullanan güç spektral yoğunluğu olarak üç özellik çıkarma yaklaşımı sundular. Bu özellikler daha sonra Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Destek Vektör Makinesi (DVM) ile sınıflandırılmıştır. İstatistiksel parametreler kullanıldığında. DVM 69,75% ile en yüksek sınıflandırma doğruluğunu elde etmiştir.

Usaklı çalışmasında (Usaklı, 2015) tarafından beş tip EOG sinyali incelenmiştir. Bunları yatay (sağ ve sol), dikey (yukarı ve aşağı) ve iki göz kırpma. Üç elemanlı öznitelik 20 denekten yatay ve dikey bileşenlere sahip iki EOG kanalından alınan sinyaller kullanılarak hesaplanmıştır. İlk iki öznitelik elemanı kanalın tepe genlik değerleri, üçüncüsü ise aktif kanalın basıklık değeri, DVM ve YSA sınıflandırmaları kullanılmıştır. 100% başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Chandaka çalışmasında (Chandaka vd., 2009) çalışmasında kullandıkları EEG verilerini Bonn Üniversitesi'ndeki Epileptoloji bölümünün veri tabanından elde etmiştir. Bu veri tabanı, 50'si normal, diğer 50'si epileptik olmak üzere 100 EEG segmenti elde etmek için kullanılmıştır. Literatürde belirlenen standart alt bantlar delta (0.5-4Hz), theta (4-8Hz), alpha (8-12Hz) ve beta (12-32Hz). Shannon entropileri, bu bantlarda elde edilen EEG spektral bileşenlerinin normalize edilmiş enerjileri alınarak bant sayısına bölünerek hesaplanmıştır. Sağlıklı ve epileptik EEG sinyallerinden öznitelikler çıkarmak için, orijinal dalgacık-entropi verileri (4 alt bant entropi) ve korelasyon boyutu verileri kullanılarak her EEG segmenti için 5 öznitelik vektörü üretilmiştir. Ortaya çıkan tüm özellik vektörleri, DVM kullanılarak sınıflandırılmıştır. Dalgacık entropileri ve korelasyon boyutları hesaplanmıştır. Sınıflandırma, sağlıklı ve epileptik EEG segmentlerinin ayırt edilebildiğini ortaya koymuştur. Performans değerlendirme kriterlerine göre önerilen kompozit sistemin 98 % başarı oranı ile sınıflandırıldığı anlaşılmaktadır.

Cram, çalışmasında (Cram, 2003) EMG sinyallerini kullanarak sınıflandırmanın başarımını artırmaya çalışmıştır. Çalışmada başlangıç olarak, veri noktalarının sayısını artırmak ve kasılma noktalarına odaklanmak için önkol EMG sinyalleri pencerelenmiştir. Ham sinyaller, signal Fourier dönüşümü, kök ortalama kare Mod fonksiyonları elde edilmiştir. En verimli parametreleri bulmak için veri seti %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Sistemin performansı 5 çapraz doğrulama kullanılarak ve Evrişimli Sinir Ağı (ESA) ile 95,90% başarı oranı vermiştir. Çalışmada, özellik olarak işaretin ortalama kökü ile işaretin fourier dönüşümü ve ampirik mod ayrıştırması (AMA) hesaplanmıştır.

Y.Kim ve arkadaşları çalışmasında (Y. Kim vd., 2007) normal ve anormal semptomları ayırt etmek için bir EKG kullanılmıştır. DVM, YSA ve Yakın Komşu (k-EYK) gibi makine öğrenimi teknikleri birleştirilmiştir. EKG veri tabanında 80 normal ve 442 anormal sınıf varmıştır. Çalışmada, bir dizi özellik oluşturmak için

morfolojik ve istatistiksel veriler birleştirilmiştir. Sonuçlar 10 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. En iyi performans 85,1% doğruluk, 89 % duyarlılık ve 51,7 % özgüllük ile DVM kullanılarak elde edilmiştir.

Araştırmamızda özellikle EOG göz sinyalleriyle ilgilenilmektedir. Günümüzde EOG ölçümleri daha çok tıpta teşhis amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yeni araçların geliştirilmesinde göz hareketleri son derece faydalı olabilir. Tekerlekli sandalye kontrol sistemi olarak kullanılabilir veya belirli bir İBA gibi bu fiziksel engelleri olan kullanıcılar için görevlilerle iletişim kurulabilir (García-Bermúdez vd., 2010). EOG tarihine göre ilk kez 1951 yılında kullanılmıştır (Gao vd., 2021). EOG, gözün yönünü izlemek için kullanılan bir cihaz veya yöntemdir. Göz küresi herhangi bir yöne hareket ettiğinde elektrotun konumuna bağlı olarak voltaj pozitiften negatife değişir ve göz küresi düz bakıldığında orijine veya sıfır noktasına döner. Başka bir deyişle, kaydedilen polarite elektrot konumu tarafından belirlenir; örneğin, göz pozitif elektrota doğru hareket ettiğinde sinyal pozitif olur.

EOG, tekerlekli sandalye kullanımı ve yönlendirmesini basitleştirip netleştirmiştir (Yagi vd., 2006). EOG, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu DEHB dahil olmak üzere çeşitli göz rahatsızlıklarını teşhis etmek için kullanılmaktadır (Webster, 1999). Operatörün gönüllü hareketlerinden elde edilen sinyallerin sınıflandırıldığı doğruluk, etkileşimin başarısını belirler. EOG dayalı İBA uygulamaları, eller serbest bilgisayar iletişimini mümkün kıldıkları için çekiş kazanmaktadır. Travma veya hastalık nedeniyle felç geçirmiş veya vücut fonksiyonlarının çoğunu kaybetmiş çoğu insanın tek bir gönüllü davranışı vardır: Gözlerini hareket ettirmek. İnvaziv cerrahi olmadan da bunu yapmak mümkündür. Tespit edilmesi daha kolay olduğundan, EOG sinyalleri özellikle İBA sistemleri için kullanışlıdır (Wu vd., 2013). EOG sinyalleri ayrıca göz hastalığı tespiti, tekerlekli sandalye kontrolü, bilgisayar oyunları ve robot hareket kontrolü gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır.

Milanizadeh ve Safaie çalışmasında (Milanizadeh ve Safaie, 2020) EOG, yukarı, aşağı, sol ve sağ göz hareketinin yanı sıra yanıp sönmeye için farklı sinyal gösterir. Özellik çıkarma için Hareket sırasında maksimum EOG sinyali genliği hesaplanmıştır. Sistem performansının genel ortalama doğruluğu her sınıflandırıcı için 94,8% idi.

Usakli çalışmasında ( Usakli vd., 2010) Hareket ve konuşma bozukluğu olan kişiler için EOG tabanlı bir İBA çalışması yapmıştır. Bu çalışma sanal bir klavyenin tasarımı ve geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Sekiz faydalı yön hareketi sınıflandırılmıştır. Öncelikle eşik analizi, göz hareketlerinin başlangıcını tespit etmek için kullanılmıştır. Daha sonra, max min tepe ve genlik konumları ve iki EOG kanalının üst ve alt uzunlukları olan dört faydalı zaman özelliği önerilmiştir. Deneysel sonuçlardan YSA kullanılarak sınıflandırma doğrulukları 100%'e yaklaşmaktadır.

Yanco ve Gips çalışmasında (Yanco ve Gips, 1997) çalışmasında Göz hareketlerini kullanmıştır. Göz sinyalinin işledikten sonra ileri, geri, sola ve sağa gibi göz hareketleri ile tekerlekli sandalyeye komutlar verilmiştir. Özellik olarak maksimum, minimum ve Medyan deneme değerlerini kullanarak bir DVM sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Yukarı, aşağı, sol ve sağ göz hareketleri için ortalama doğruluk 90% olarak gerçekleştirilmiştir.

Brahmaiah ve arkadaşları çalışmasında (Brahmaiah vd., 2017) çalışmasında dört sınıf EOG için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Ortalama, ortalama karekök, maksimum, varyans, minimum, orta, çarpıklık dahil olmak üzere bir dizi zaman alanı tabanlı EOG özneliği araştırılmıştır. Çıkarılan öznelikler, eğitim doğruluğu 90.43% olan lineer diskriminant analizi (LDA) kullanılarak sınıflandırılmıştır. Test doğruluğu da 90,43% olarak gerçekleşmiştir.

Usakli ve Gurkan çalışmasında ( Usakli ve Gurkan, 2009) bir İBA devresi oluşturmak için EOG sinyali kullanmıştır. Felçli hastaların göz hareketlerine göre söylemek istedikleri kelimeyi yazdıran bir model geliştirilmiştir. Göz çevresine yerleştirilen 6 adet elektrot, dikey ve yatay göz hareketlerini algılar. En yüksek ve en düşük genlik değerleri tespit edilir. Bu özellikler, sınıflandırma işleminin performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Sınıflandırıcı olarak k-EYK ve DVM kullanılmıştır. En iyi sonuç DVM'nin sınıflandırma doğruluğunda 92.6% ile elde edilmiştir.

Rangayyan çalışmasında (Rangayyan, 2015) EOG tabanlı alarm veren bir İBA tasarlamıştır. Bu tasarıma göre Hastanede yatan felçli hastanın göz hareketlerine dayanarak, alarm sistemi çalışır ve bir sağlık görevlisini odaya çağırmaya çalışır. Yedi farklı göz hareketi için sinyaller toplanmış istatistiksel özellikler ve yerel ikili patern değerleri özellik olarak hesaplanmıştır. Çıkarılan özellikleri sınıflandırmak için YSA kullanılmıştır. Sonuç 92% olarak elde edilmiştir.

Robot tekerleklerini ihtiyaçları doğrultusunda hareket ettirmekte zorlanan hastalar EOG sinyalleri ile daha rahat kontrol sağlayabilir (M. R. Kim ve Yoon, 2013). Tıbbi sinyal işlemenin amacı, sinyalden teşhis bilgilerini çıkarmaktır. Bu sinyaller çeşitli Şekillerde çözülebilir veya yorumlanabilir. Çeşitli Şekillerde sınıflandırılabilirler (Y. Kim vd., 2007).

Yanco ve Gips alışmasında (Yanco ve Gips, 1997) sağ, sol, yukarı, aşağı, ortada veya iki kez kırpmadan oluşan EOG işaretlerini yapay sinir ağı kullanılarak sınıflandırmıştır. Sinyale uygun filtreleme yapıldıktan sonra harmonik, ortalama, varyans, ortalama enerji, karekök ortalama, standart hata, standart sapma, maksimum, minimum, geometrik ortalama gibi zaman alanında öznitelikler çıkarılmıştır. Veriler eğitim, doğrulama ve test için sırasıyla 70%, 15% ve 15%'e bölünmüştür. Sonuç üzerinde çok az etkisi olan öznitelikler, öznitelik azaltma yöntemleri kullanılarak kaldırılmıştır. Çıkarılan znitelikler daha sonra verileri YSA ile sınıflandırmak için kullanılmış ve 97,5% başarım elde edilmiştir.

Tüm bu literatür özetin incelendiğinde farklı sayıda EOG işaretlerinin ve kayıt alımında farklı devrelerin kullanıldığı görülmektedir. Belirgin bir standart olmasa da işaretler ağırlıklı olarak iki kanallı olarak elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında da iki kanallı EOG kayıt alım devresi kullanılmış olup, kayıt alımı için özel bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama, ileride kayıt alımı kısmında anlatılmaktadır. Sınıflandırmada farklı tekniklerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada oldukça ayrıntılı bir sınıflandırma yöntemi araştırması çalışması yapılmıştır.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1 Tezin Amacı Ve Kapsamı**

İBA' da önemli olan kişiye özel problemi çözmektir. Daha zoru ise problemi çoğunluğa yararlı olacak şekilde uygun şekilde çözmektir. Bu tez çalışmasında EOG temelli İBA'lar için uygun ve etkili olan en iyi sınıflandırma yönteminin etraflıca araştırması yapılmaktadır. Farklı komutların doğru bir şekilde tanınması sayesinde bu model birçok problemin çözümünde kullanılabilir. Yani buradaki amaç olabildiğince çok sayıda farklı göz hareketinin komut olarak tanınmasını sağlayacak yöntemin araştırılmasıdır. Böylece İBA'nın çıkış birimine istenen her hangi uygun bir görev tanımlanabilir.

### **2.2 EOG Temelli İnsan Bilgisayar Arabirimi**

EOG temelli İBA'nın özelliği sinyalin göz hareketlerinden elde ediliyor olmasıdır. Bunun dışındaki temel bileşenler diğer İBA'lar ile oldukça benzerdir. Yardıma ihtiyaç duyan veya yatalak hastalarda kullanımı basit olduğu için EOG sinyalleri kullanılmaktadır. Diğer sinyaller ile kıyaslandığında EOG non-invaziv ve kayıt alımı kolay bir sinyaldir. Gözden gelen sinyallerin kaydedilmesi ameliyat gerektirmeyen basit bir işlemdir. Ayrıca EOG sinyalleri her kanal için tek boyutlu olduğundan için hem veri hem de zaman bakımından sistemlerde avantaj sağlamaktadır (Brahmaiah vd., 2017).

Günümüzde kullanılan en yaygın göz izleme teknikleri video-okülografi (VOG) ve EOG'dir. VOG tabanlı sistemlerde bir veya iki göze odaklanacak şekilde bir kamera ayarlanır ve göz hareketini kaydeder. EOG sinyalleri, ucuz ve basit elektrotlar kullanılarak elde edilebilir. Sinyaller, bakışların yer değiştirmeleriyle orantılıdır ve diğer biyopotansiyellerden kolayca ayırt edilir. Ayrıca, EOG sinyalleri son derece hızlı olduğundan, göz hareketlerini komutlara çevirmenin gerçek zamanlı uygulaması mümkündür. Ayrıca, bu teknik çok çeşitli göz izleme yeteneğine sahiptir. Bu özelliklerden dolayı, giyilebilir bir cihaz tarafından yakalanan EOG sinyalleri, bir İBA geliştirilmesi için uygundur (Al-Rahayfeh ve Faezipour, 2013).

EOG temelli bir İBA'nın daha iyi anlaşılması için göz kaslarının yapısı ve sinyalin nasıl ortaya çıktığının bilinmesi önemlidir.

### 2.3 Göz Anatomisi Ve Fizyolojisi

Göz, görme üreten bir organdır. Nesnelerin yaydığı veya yansıttığı ışıkla etkileşime giren ve gözdeki (retina) adı verilen organ, bu ışığı bir sinir uyarısına dönüştüren ve sinirler yoluyla beynin görme alanına iletilen bir duyu alıcısıdır. Göz, çapı 2,5 cm'ye kadar olan küresel bir ağıdır. Göz, kafatasının ön tarafında bulunur. Kemikli yuva tarafından korunur ve gözü yuva içinde çevreleyen uzunlamasına ve enine kaslardan oluşan karmaşık bir cihaz sayesinde içinde serbestçe hareket edebilir. Gözün altı farklı kas sayesinde hareket edebildiği iyi bilinmektedir (Lazar ve Baritz, 2020).

Gözün nasıl gördüğünü anlamak da önemlidir. Işık vücuda çarptığında göze yansır; kornea bu gelen ışınları toplar ve bunlar korneadan çubuklar ve koniler şeklinde birçok hassas nöron içeren retinaya toplanır ve bu gelen ışınlar elektrik yüklerinin oluşumunu uyarır. Optik siniri beynin görüşünün belirli bir bölümüne yönlendirir. Bu sinir mesajları beyin tarafından yorumlanarak görüntü ve şekillere dönüştürülür. (Lazar ve Baritz, 2020).

Gözün yapısı incelendiğinde birçok yapısal bileşenden oluştuğu görülmektedir. Örneğin sklera gözün beyazını oluşturan yoğun bağ dokusu yani gözü koruyan ve küre şeklinde tutan tabakadır. Gözün arkasındaki optik sinire kadar uzanan korneayı çevreleyen alandır. Sklera, göz küresinin yüzeyinin kabaca %80'ini kaplar. Sklera'nın, göz küresinin şeklini korumak ve bir yaralanma durumunda gözü olası hasarlardan korumak dahil olmak üzere çeşitli işlevlere hizmet ettiği belirtilmelidir.

Kornea, göz bebeğini kaplayan şeffaf kubbe benzeri bir tabakadır ve iris, gözün mesafeden bağımsız olarak sabit kalan odaklama gücünden sorumludur. Kornea, gözdeki yaralanmalara ve yabancı cisimlere karşı ilk savunma hattıdır ve çok sayıda sinir ucu ile en hassas kısımlardan biridir. Vücudun kan damarı olmayan tek kısmıdır, bu nedenle şeffaflığını korur ve göz, beslenmeyi sağlayan ve bir yapı oluşturan iki sıvı içerir. Gözün kütesinin büyük bir kısmını oluşturan ve yoğun olan camsı sıvı gözün arkasında bulunurken, camsı sıvıdan daha az yoğun ve daha sıvı olan sulu sıvı ön tarafta bulunur.

İris, gözbebeği adı verilen küçük bir açıklığı çevreleyen gözün ön kısmında halka şeklinde bir zardır ve göze giren ışık miktarını düzenlemek için gözbebeğinin boyutunu kontrol eden kasları içerir. İris, pigment konsantrasyonuna bağlı olarak

gözün rengini belirleyen, kahverengi gözlü kişilerde daha yoğun, mavi veya açık gözlü kişilerde daha az yoğun olan kısımdır.

Lens, iris ve gözbebeğinin arkasında bulunan şeffaf, esnek bir zardır ve birincil işlevi, korneadan sonra ikinci olarak ışığı retinaya odaklamaktır. Lens tarafından toplanan ışık, gözün odaklama gücünün yüzde 25-35'ini oluşturur. Objektif, yakın veya uzaktaki nesnelere görmek için, lens yüzeyinin eğrilik derecesini değiştirmek için kasılan ve genişleyen siliyer kasları kullanır. Lensin oval şekli zamanla bozulabilir. Buna presbiyopi denir.

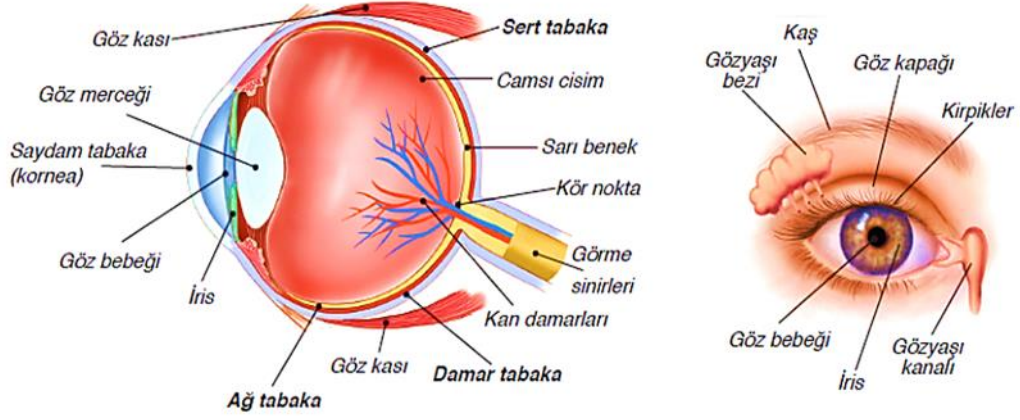
Retina, ışığı yakalayan ve işlenmek üzere beyne iletilen sinir uyarılarına dönüştüren 120 milyondan fazla fotoreseptör hücresiyle gözün en derin tabakasıdır. Bu hücreler, opsin adı verilen ışığa duyarlı moleküller içerir ve fotoreseptör hücreler, beyne elektrik yükleri gönderen iki tipe ayrılır:

Koniler retinanın merkezinde bulunur ve doğal ışıkta farklı renklerin tanınmasına yardımcı olur. Kısa mavi koniler, orta yeşil koniler ve uzun kırmızı koniler mevcuttur.

Çubuklar retinanın yan taraflarında bulunur ve ışığa karşı çok hassastırlar, düşük ışık koşullarında ışığı yakalamalarını sağlarlar, bu nedenle bu durumda renkleri ayırt edemeseler bile görmeye yardımcı olurlar.

Optik sinir, retinayı beyne bağlayan yaklaşık bir milyon sinir lifinden oluşan bir ağdır. Bu lifler ganglion hücreleri olarak bilinir ve birkaç gruba ayrılırlar. Her bir gangliyon hücresi, belirli bilgilerin iletilmesinden ve kaydedilmesinden sorumludur; bazıları şekil ve ayrıntıdan, bazıları ise hareket ve kontrasttan sorumludur. Bu gruplar, görüntüyü beyne ve sorumlu bölgeye iletmek için işbirliği yapar ve her iki gözden gelen sinyalleri karşılaştırarak üç boyutlu bir görüntü oluşturur.

Kirpikler havayı temizleyerek toz, kir gibi yabancı maddelerin göze girmesini engeller. Göz kapakları gözü, göze zarar verebilecek yabancı cisimlerden ve parlak ışıklardan korur. Şekil 2 gözün yapısını ve bölümlerini göstermektedir (Lazar ve Baritz, 2020).

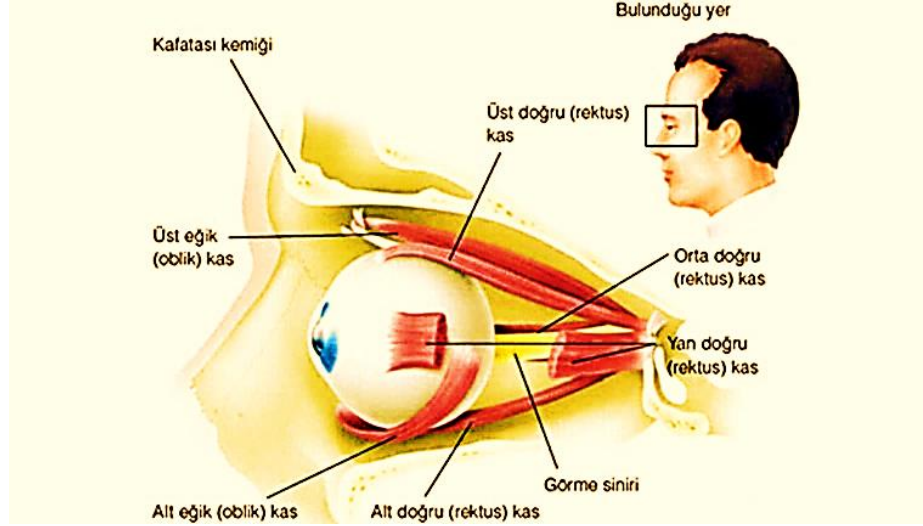


Şekil 2. Gözün yapısını açıklar (Lazar ve Baritz, 2020)

## 2.4 Göz Kasları

Göz kasları gözün hareketini kontrol eder ve aksiyon potansiyelleri üreterek bizim EOG sinyalini elde etmemizi sağlar. Üst rektus kası alt oblik kasın bir miktar yardımıyla gözü yukarı çevirme sürecini kontrol eder. Alt rektus kası üst eğik kastan bir miktar destek alarak gözü aşağı çevirme sürecini kontrol eder. Orta rektus kası gözün buruna doğru hareketini kontrol eder. Yanal rektus kası gözün kulağa doğru hareketini kontrol eder. Üst eğik kas, hem üst rektus hem de eğik kaslar gözün dikey dönüşünü kontrol eder. Alt eğik kas hem alt rektusu hem de gözün yatay rotasyonunun eğik kaslarını kontrol eder. Üst göz kapağının levator kası ise göz kapağını kaldırmak için çalışır (Sönmez, 2015).

Şekil 3, Göz kaslarını göstermektedir (Aydın, 2000).Göz kırpma, göz kapağının hızla kapanması şeklinde ortaya çıkan yarı istemsiz bir işlemdir ve göz çevresindeki dairesel kasın çalışmasını aktive ederken üst göz kapağı levator kasının çalışmasını engelleyerek yapılır. Gözyaşlarının göze yayılmasına yardımcı olduğu ve tahriş edici maddeleri kornea ve retina yüzeyinden uzaklaştırdığı için göz için önemli bir işlemdir (Ponder ve Kennedy, 1927).



Şekil 3. Göz kasları (Ponder ve Kennedy, 1927)

## 2.5 Nöronlar

Sinir sisteminin temel işlevsel birimi, nöron olarak da bilinen sinir hücresidir. Birincil amacı veri aktarmaktır. Sinir sistemindeki en önemli hücredir. nöronlar bilgiyi elektrokimyasal bir süreçle iletir. İnsan sinir sisteminin yaklaşık 100 milyar nöron içerdiği düşünülmektedir. Tipik bir sinir hücresi, 50.000 ila 250.000 arasında başka nöronla bağlantılıdır. Yaptıkları özel işe bağlı olarak çeşitli şekil ve boyutlarda olabilirler. Nöronlar, sinir sistemi işlevlerinden sorumlu küçük hücrelerdir. Beynimiz milyonlarca nöron içerir. Araştırmacılara göre insanlar yaklaşık 80 milyon nöronla doğuyor. Bu rakam yaşlandıkça yavaş yavaş azalır. 80 yaşına kadar nöronlarımızın yaklaşık 30% 'unu kaybettiğimiz biliniyor. Hayatımız boyunca sürekli nöronları kaybediyor ve yeniden kazanıyoruz. Her gün insanlar sinir krizi ve bilişsel bozulma ile sonuçlanan şeyler yaparlar. İçme, sigara içme, yemek yememe, iyi uyumama veya stres gibi bu davranışlar beyin hücrelerinin daha hızlı bozulmasına neden olur. Nöronlar, sinir sisteminin temel yapı taşlarıdır. Sinir sistemi iki kısma ayrılır: Merkezi sinir sistemi (beyin ve omurilik) ve çevresel sinir sistemi (otonom ve somatik sinir sistemleri). Özetle, sinir sistemlerimiz etrafımızda ve içimizde neler olduğunu kavrar. Ayrıca, neler olduğunu düşünmemize ve hatırlamamıza da yardımcı olur. Bunu, nöronlar olarak bilinen karmaşık bir ağ kullanarak gerçekleştirir (Dhillon, 2008).

Nöronlar İşlevlerine Göre Sınıflara Ayrılır. Örneğin duyu nöronları, vücuttaki ve çevresindeki değişiklikleri algılayarak beyne ve omuriliğe bilgi iletirler. Duyusal nöronlar, vücudun içinde ve dışında olup bitenler hakkında merkezi sinir sistemine

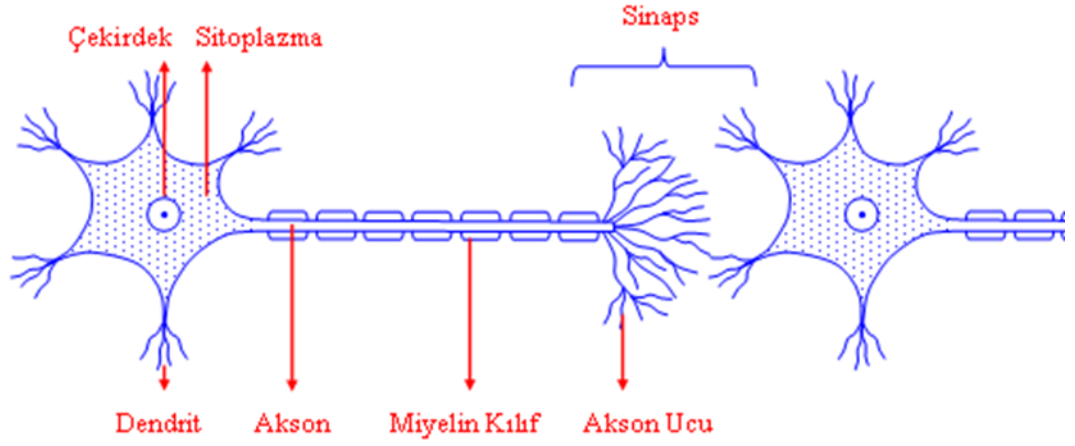
(beyin ve omurilik) bilgi ileten, işlendiği ve yanıt verdiği sinir hücreleridir ve duyu nöronları çok çeşitli uyaranlara duyarlıdır.

Internöronlar duyuusal ve motor yollar arasında merkezi sinir sisteminde bulunurlar nöronların 90%'ı internöronudur. Bilgi işleme ve doğrulama işlevlerini yerine getirirler. Nöronlar merkezi sinir sisteminde yer alır ve işlevleri sinir hücrelerini birbirine bağlamaktır. Örneğin, sıcak bir kömür aldığınızda, sinyal parmak uçlarındaki duyu nöronlarından omurilikteki iletken nöronlara iletilir. Bazı iletken hücreler, kömürü bırakmak için parmak kaslarını kontrol eden motor nöronlara sinyaller iletir ve diğer iletken hücreler, omurilik yoluyla beyindeki sinir hücrelerine ağrı şeklinde bir sinyal iletir.

Motor nöronlar, kas ve salgı hücreleri gibi efektörlere mesajlar gönderir. Sinir hücreleri, merkezi sinir sisteminden vücudun dış bölgelerine bilgi iletir. Nöronların yapısı incelendiğinde hücre gövdesi onun en büyük parçasıdır ve oval, yuvarlak, yıldız veya iğ gibi farklı şekillere sahip olduğu için bir hücreden diğerine değişir ve içinde bir veya daha fazla başka çekirdek içeren yuvarlak bir çekirdek bulunur. İçeride Golgi aygıtı, mitokondri, lizozomlar, endoplazmik retikulum ve diğer yapıları içeren sitoplazma (ayrıca neroplasm olarak da adlandırılır) ile çevrilidir. Hücre gövdesinin işlevlerinden biri, işlevini yerine getirmek için gereken protein, enzimler ve enerjiyi üretebilmesidir ve sinir hücresi merkezi cisimler içermediğinden bölünmez ve yenilenmez.

Ağaç uzantıları, şeklinde bir ağaca benzediği ve sayısının (100-1000) artı arasında değiştiği, bir ana eksenden oluşan ve nöron veya dendritlerin ekseni olarak kabul edilen bu adla anılmıştır. Hücrenin işlevi, komşu hücrelerdeki nöronlara ve nöronlardan nöroelektrokimyasal sinyalleri iletmektir ve bu Ekler veya sözde dendritler aracılığıyla ve hücreler arasındaki İletişim alanına sinaps veya sinaps denir. Nöronlar eklerin sayısına göre üç bölüme ayrılmıştır: Tekli, çift ekler ve çoklu ekler.

Merkez, akson, etrafı bir zarla çevrili uzun bir hücre uzantısıdır ve sinir uyarılarını aksiyon potansiyeli adı verilen elektriksel uyarılar şeklinde hücre gövdesinden uzağa iletir. Ayrıca içinde birden fazla akson bulunup çatallı ve diğer uçlara bağlı olabilir. Hücrelerdir ve ucu sinir uçları adı verilen dallarla biter. Şekil 4, nöronların yapısını göstermektedir (Zhang vd., 2017).



Şekil 4. Nöron yapısı (Zhang vd., 2017)

Nöronlar, hücre gövdesinden çıkan uzantıların sayısına göre üç yapısal tipe ayrılır. Tek kutuplu nöronlar vücudundan uzanan ve daha sonra iki uzantıya ayrılan ve zıt yönlerde uzanan ve periferik sinir sisteminin duysal sinir yolunda bulunabilen kısa bir uzantıya sahip bir nöron türüdür. Bipolar nöronlar zıt yönlerde iki uzantı ile vücudundan uzanan bir nöron türüdür ve bu hücrelerden retina ve koku alma sisteminde çok az sayıda bulunur. Çok kutuplu nöronlar ise insan vücudundaki en yaygın nöron türü çok kutuplu nöron türüdür. Adını, vücudundan uzanan üç veya daha fazla uzantıya sahip olmasından alır. Çok kutuplu nöronlar, merkezi sinir sisteminde olduğu gibi periferik sinir sistemindeki motor nöron yolunda da bulunabilir (Altunel vd., 2008).

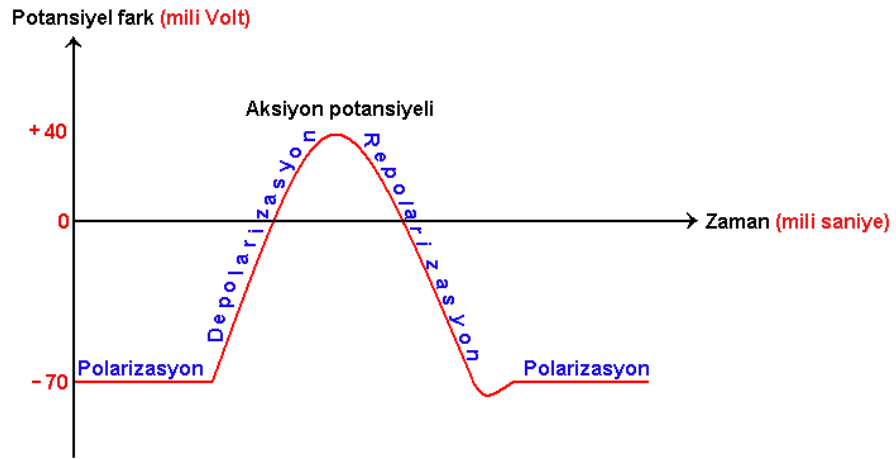
## 2.6 Aksiyon Potansiyeli

Aksiyon potansiyeli, bir hücrenin elektriksel zar potansiyelindeki değişimi ifade eder. Aksiyon potansiyelleri, nöronlar ve kas hücreleri gibi uyarılabilir hücreler tarafından üretilir. Sinir hücrelerinin iletişimde aksiyon potansiyeli başrol oynar. Çoğu hücre nispeten sabit bir zar potansiyeline sahiptir. Aksiyon potansiyeli tipik olarak saniyenin beşte biri uzunluğundadır. Diğer bazı hücre tiplerinde bir aksiyon potansiyeli üç saniye veya daha uzun sürebilir. Telefon kabloları gibi vücudumuzda da beynimizi diğer organlarımıza ve kaslarımıza bağlayan sinirler vardır. Elinizi hareket ettirmek istediğinizde beyniniz sinirleriniz aracılığıyla kaslara sinyaller gönderir. Bunun yerine, sinirleriniz elinizdeki çeşitli kaslara bir dizi elektriksel uyarı (aksiyon potansiyeli adı verilir) göndererek, elinizi kesin bir doğrulukla hareket ettirmenizi sağlar.

Nöronlar, yalnızca vücutta bilgi iletmek için var olan bir hücre türüdür. Nöronlar, diğer hücreler gibi bir hücre gövdesine, bir çekirdeğe ve organellere sahiptir.

Bununla birlikte, aksiyon potansiyellerini aktarmada mükemmel olmalarını sağlayan birkaç ekstra özelliğe sahiptirler.

Dinlenme potansiyeli, dinlenme halindeyken nöronlara ne olduğunu tanımlar. Bir nöron hücre gövdesinden bir aksondan aşağıya bilgi gönderdiğinde, bir aksiyon potansiyeli üretir. Aksiyon potansiyeli için diğer terimler, "dürtü" gibi sinirbilimciler tarafından kullanılır. Aksiyon potansiyeli, bir nöronun elektrik sinyallerini iletme yöntemidir. Spesifik iyonların bir nöronun içine ve dışına hareketinin neden olduğu zar boyunca voltajda kısa bir artış olarak tanımlanır. Şekil 5 aksiyon potansiyeli göstermektedir (Arar vd., 2014).



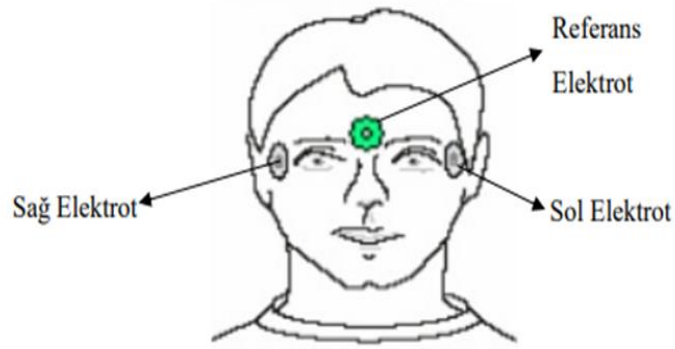
Şekil 5. Aksiyon potansiyeli (Arar vd., 2014)

Elektrotlar hem dikey hem de yatay göz hareketlerinin aynı anda kaydedilmesine izin verir. Gözün elektrokardiyogramı, gümüş ve gümüş klorür elektrotları kullanılarak izlenir. Gözün dipolü, elektrokardiyogramı kaydetmek için kullanılan iki elektrot arasındaki potansiyel fark olarak ölçülür. Şekil 6, uygulamalarda kullanılan farklı elektrot tiplerini göstermektedir (Thakkar ve Shad, 2014).



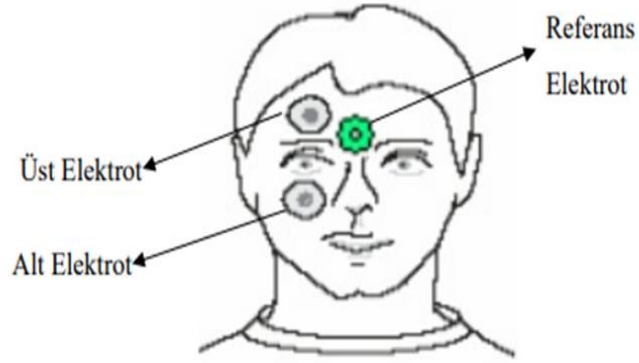
Şekil 6. Uygulamalarda kullanılan elektrot tipleri (Thakkar ve Shad, 2014)

Elektrotlar hem dikey hem de yatay hareketlerden gelen sinyalleri algılamak için genellikle iki kanallı olarak yerleştirilir. Şekil 7’de yatay elektrotların örnek bir yerleşimi gösterilmektedir (Usakli, 2015). Kaşların üzerinde referans elektrot uygulanmalıdır.



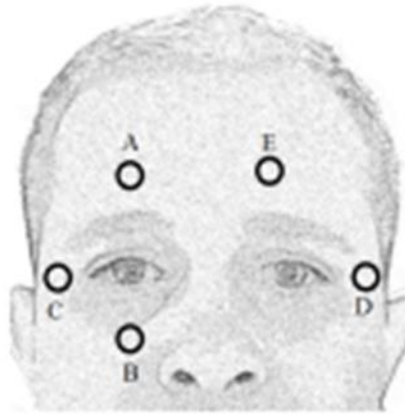
Şekil 7. Yatay yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli ( Usakli, 2015)

Dikey elektrotların yerleşimi ise Şekil 8’de gösterilmektedir ( Usakli, 2015). Referans elektrotu hem yatay hem de dikey yöndeki göz hareketleri için ortak seçilebilmektedir.



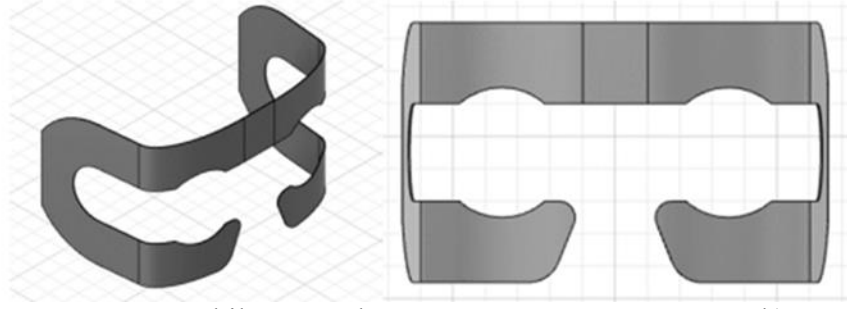
Şekil 8. Dikey yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli ( Usakli, 2015)

Uygulamada ise hem yatay hem de dikey elektrotlar aynı anda bağlanır ve paralel olarak veri alınır. Vücut gürültüsünü izole etmek için ortak bir referans elektrotu kullanılır. Şekil 9 bu elektrotların yerleşimini göstermektedir (Usakli ve Gurkan, 2009).



Şekil 9. Yatay- Dikey yönde göz hareketlerini ölçmek için elektrotların yapıştırılma şekli (Usakli ve Gurkan, 2009)

Elektrotların yerleşimi için maske tasarımı da yapılabilmektedir. Yapışkan elektrotlar çok fazla tüketildiği için sabit bir elektrot maskesi tasarlamak uzun vadeli bir çözüm olabilir (Ayvaz ve Ertaş, n.d.). Şekil 10'da örnek bir tasarım gösterilmektedir.



Şekil 10. Maske tasarımı (Ayvaz ve Ertaş, n.d.)

## 2.7 Eog Fizyolojisi

Biyolojik işaretler, sinir sistemi, beyin, kalp ve kas dahil olmak üzere insan vücudundaki çeşitli organlar tarafından üretilir. hücrelerdeki elektrokimyasal olayların sonucu olan aksiyon potansiyeli biyolojik sinyallerin temelini oluşturur. EOG, kornea ve retina arasındaki elektrik potansiyelini kaydetmek için yapılan elektrofizyolojik bir testtir. Retinanın pigment epitel tabakasındaki elektrik potansiyeli EOG ile ölçülür. Bir elektrokardiyogram cihazı, kişinin yüzündeki iki elektrot arasındaki voltajı ölçen bir cihaz olarak göz hareketini algılar. Göz hareketini ölçmek için elektrotlar tipik olarak gözün üstüne ve altına veya gözün soluna ve sağına yerleştirilir. Göz elektrotlardan birine merkezden hareket ettiğinde, retinanın pozitif tarafı o elektrot tarafından görülür, negatif tarafı ise karşı elektrot tarafından görülür (Creel, 2019). Elektrofizyoloji testleri, retina, optik sinir ve görme yollarımızın beyninizde nasıl çalıştığı hakkında size çok şey söyleyebilir. Bu veriler, hastalıkları tanımlamak ve tedaviyi belirlemek için yararlıdır. Retina ve görme yollarının değerlendirilmesinde göz doktoruna objektif sonuçlar sağlar. Test, sıklıkla karanlık veya aydınlık bir ortamda gerçekleştirilir. Ölçümün amacına göre göz çevresine ve yüzün diğer bölgelerine elektrotlar yerleştirilir. Bazı durumlarda korneanın üzerine korneayı kapatan bir kontakt lens yerleştirilir. Bu test çeşitli şekillerde gelir ve çeşitli amaçlar için kullanılır. Bu yöntemde özel ekranlardaki elektriksel tepki ölçülür. Bu testlerin uygulanması 1-2 saat gibi uzun süreler gerektirebilir. Değerlendirilmesi zor olan bu test, bilgi, deneyim ve sabır gerektirir. En az 30 dakika boyunca hasta, iyi aydınlatılmış bir odada ışığa uyum sağlamalı ve gözlerini genişletmelidir. Ölçüm sırasında göz çevresine yerleştirilen elektrotun konumu, yüzey bağlantısı, ortamın ışık yoğunluğu, göz hareket hızı ve cinsiyet EOG sinyalleri üzerinde etkili olabilir. Doğru ölçüm ve analizlerin yapılabilmesi için bu unsurlar dikkate alınmalıdır. Dikkat edilmelidir insan derisinin direnci kişiye göre değişir. Kaliteyi belirlemek için özel elektrot jelleri kullanılır. Elektrotların takılmasının ardından, prosedür hastaya açıklanır ve daha

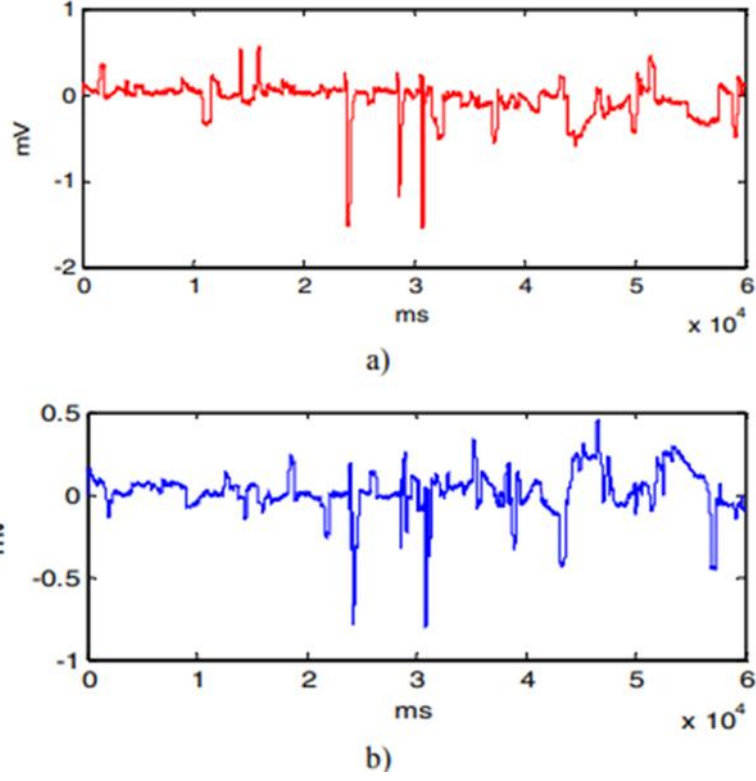
sonra temel verileri kaydederken birkaç kez uygulama yapması istenir (Matsumoto vd., 2002).

Hastadan gözlerinin pozisyonunu düzenli olarak 7 nokta arasında değiştirmesi istenir (Dönüşümlü olarak merkezden sola, merkezden sağa, merkezden yukarıya, merkezden aşağıya çift göz kırpma veya sol gözden göz kırpma ve sağ gözden göz kırpma). Günlük aktivitelerimiz sırasında, görüş hattımızı ilgi çekici bir noktaya odaklamak için gözlerimizi sürekli hareket ettiririz. Herhangi bir eksen boyunca bir göz hareketi oluşturmak için birlikte çalışan göz küresine bağlı üç antagonistik kas çifti vardır. Bu kas grupları, gözü yatay (sola karşı sağa), dikey ve çapraz olarak (yukarıya karşı aşağı) hareket ettirmekten sorumludur. Hasta başını sabit tutarken gözlerini hareket ettirir. Gözler hareket ettiğinde, çizilen gözün her iki tarafındaki elektrotlar arasında yaklaşık 2-5 mv'luk bir voltaj dalgalanması meydana gelir (M. R. Kim ve Yoon, 2013). Şekil 11, göz sağlığını korumaya yardımcı olan gözün yardımcı yapıları göstermektedir (Aydın, 2000).



Şekil 11. Göze yardımcı yapılar (Aydın, 2000)

Şekil 12, iki yatay ve dikey kanaldan kaydedilen EOG sinyal Şeklini göstermektedir (M. R. Kim ve Yoon, 2013).



Şekil 12. Elde edilen EOG sinyalleri a) Dikey EOG sinyali;b) Yatay EOG sinyali (M. R. Kim ve Yoon, 2013)

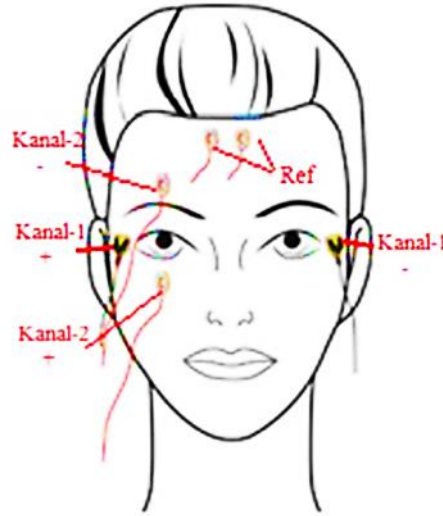
Elektroretinografi (ERG), EOG ve görsel stimülasyona yanıt, klinik uygulamada en sık kullanılan elektrofizyolojik testlerdir. EOG, göz hareketi değişikliklerini saptamak için İBA geliştirilmesinde en kararlı fizyolojik sinyal olarak kabul edilir. Son yıllarda, felçli bireylerde fiziksel rahatsızlığı hafifletmek için EOG sinyal sınıflandırması ilgi kazanmıştır. Elwin Marg, 1951'de EOG'yi tanımladı ve adını verdi. Geoffrey Arden, klinik uygulamaları ilk kez 1962'de tanımladı. (Matsumoto vd., 2002).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Eog Sinyal Kayıt Alım Yöntemi

Kayıtların alınması için iki Olimex EOG/EMG/EKG shield kartı ile birlikte bir mikrodenetleyici ve tek kullanımlık yapışkan yüzey EOG elektrotları kullanılmıştır. Şekil 13 bu tez çalışmasında kullanılan elektrot yerleşimini göstermektedir. Yatay kanal kanal-1 olarak, dikey kanal ise kanal-2 olarak adlandırılmıştır. Vücut gürültüsünü EOG sinyallerinden ayırmak için bir referans elektrodu kullanılmıştır. Örneklem frekansı 1000 Hz olarak seçilmiş olup daha sonra EOG sinyaline uygun frekans aralığında ileride ön işleme kısmında anlatılacağı üzere band geçiren filtre uygulanmıştır.

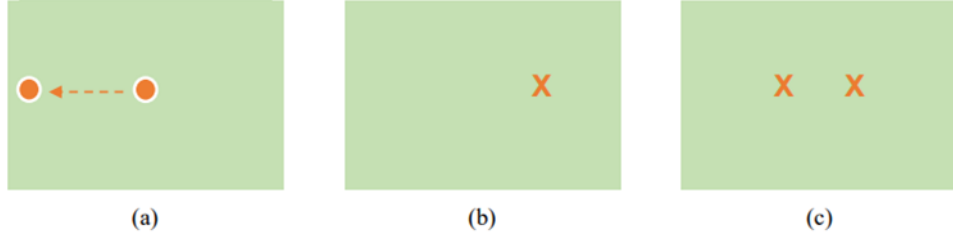
Mikrodenetleyicinin yazılımı iki kanallı EOG kaydını alacak şekilde oluşturulmuştur. Kayıtların alınması için ekranda göz ile takip edilen bir yazılım geliştirilmiştir. Kayıtlar ekrandaki göz talimat hareketleri ile EOG sinyalleri paralel olacak şekilde programlanmıştır.



Şekil 13. EOG elektrotlarının yerleşimi (Alim, 2018)

EOG tabanlı İBA için komutlar bu çalışmada yedi farklı göz hareketi olarak tanımlanmıştır. Bu komutlar, dört yönlü göz hareketini (sağa, sola, yukarı ve aşağı bakma) ve üç farklı göz kırpmayı (sağ, sol, iki göz kırpma) içermektedir. Kayıtların alınmasında ekranda takip edilen bir nokta oluşturulmuş ve katılımcılardan bu noktaları takip etmeleri istenmiştir. Böylece herkes için standart ve özgün bir EOG kaydının alınması sağlanmıştır. Geliştirilen bir uygulama sayesinde kişiler ekrandan 50 cm

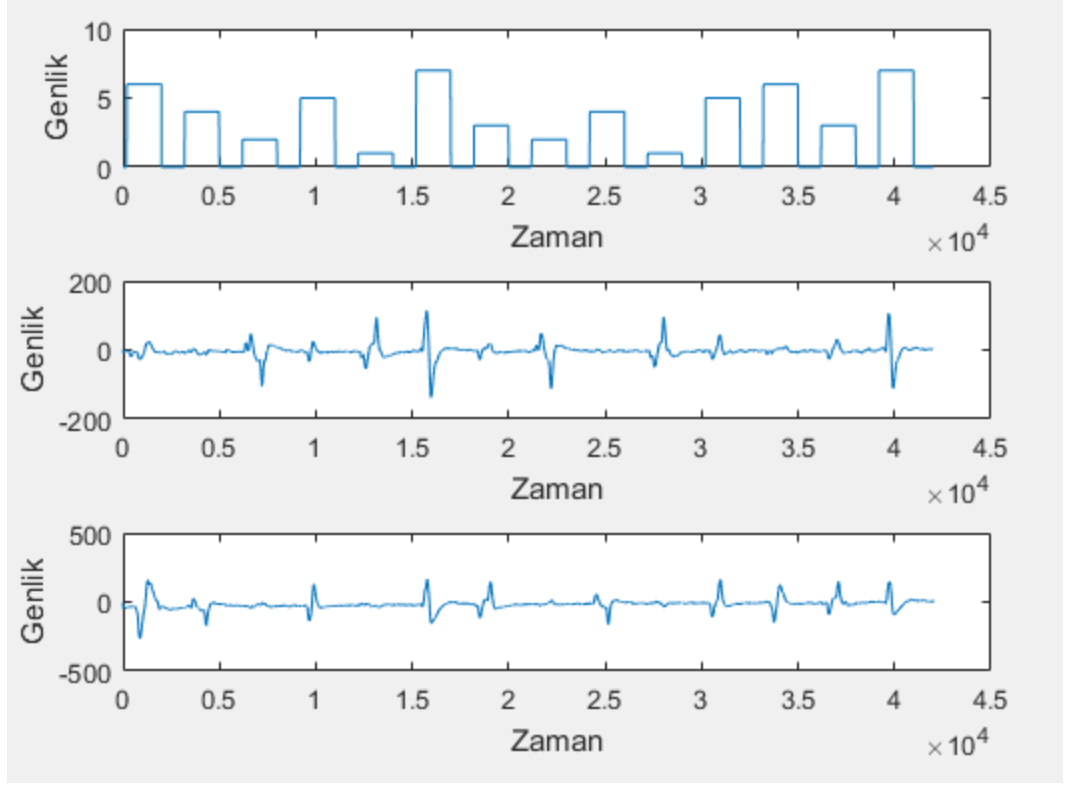
uzakta oturtulmuş ve kayıtlar alınmıştır. Göz kırpma hareketleri için ekranda çarpı işaretleri belirlemektedir. Kayıtlarda bir kadın, üç erkek ve toplam dört kişi yer almaktadır. Toplam 980 örnek toplanarak geniş bir veri seti oluşturulmuştur. Şekil 14, üç farklı kayıt için ekranın anlık bir örnek görüntüsünü sunmaktadır.



Şekil 14. Kayıt için oluşturulan uygulama örnekleri a) Sola bakma b) Sağ göz kırpma c) İki göz kırpma (Kola, 2021)

Sinyal kayıtlarında girişim olmaması için komutlar arasında kısa bir duraklama vardır. Kayıtlar paralel ve senkronize olarak alınmaktadır. Her kayıta sırası rastgele belirlenen komutların etiketleri için ayrı bir kayıt oluşturulmuştur.

Veri kümesindeki her satır, tek göz hareketi için kaydedilen EOG sinyallerinden yatay ve dikey kanal verilerinin yan yana eklenmesinden oluşan bir vektördür. Şekil 20, veri tabanından alınan bir adet kaydın içeriğini göstermektedir. En üstteki işaret, alınan verilerin etiketlerini göstermektedir. Her bir köşeli dalga işaretin kayıt sırasında ekranda kaldığı süreyi göstermektedir. Altındaki diğer iki grafik ise zamanda paralel olarak kaydedilen kanal-1 ve kanal-2'den alınan kayıtlardır. Kullanıcılardan bu köşeli dalga süresi içerisinde göz hareketini yapmaları beklenmektedir. Her kayıta 7 farklı işarettten ikişer adet kayıt alınmıştır. Bu nedenle bir kayıta 14 adet işaret etiketi mevcuttur. Veri setini oluşturmak için ise daha sonra bu kayıtların otomatik olarak ayrıştırılması gerekmektedir. Bu kısım ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır.



Şekil 15. İki kanallı EOG kaydedilen sinyalin şeklini göstermektedir

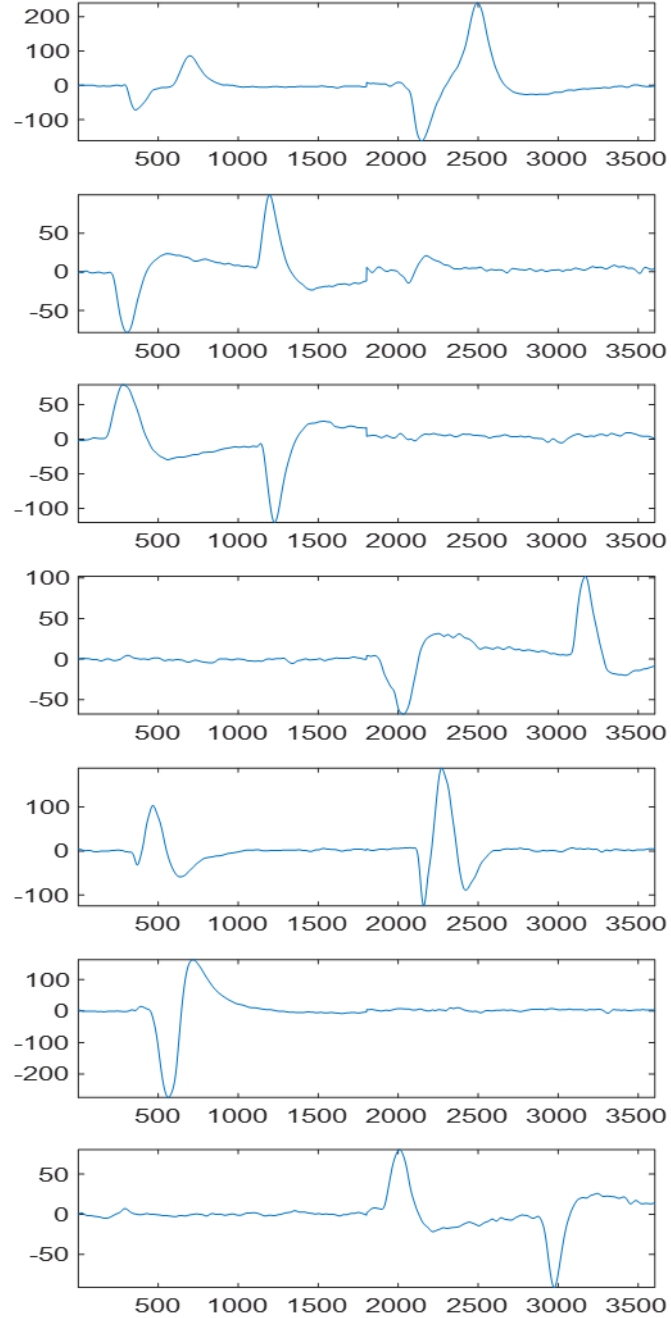
Şekil 15'teki kayıtların ilk yarısı ve ikinci yarısı yedişer kaydın sinyallerini ifade etmektedir. İlk yedi etiket ve sonraki yedi etiket rasgele ve birbirinden farklı olacak şekilde ekranda gösterilmek üzere programlanmıştır. Böylece ekranda beliren her işaret rasgele ve farklı bir işaret olarak ortaya çıkmıştır. Bir kişiden farklı sayıda kayıt alındığında ekrandaki komutlar rasgele oluşturulmazsa kişi ister istemez işaretlerin sıralamasını ezberlemekte ve daha işaret gösterilmeden gözlerini hareket ettirebilmektedir. Bu nedenle kayıtlar çok uzun tutulmamış ve verilen komutlar her kayıt için rasgele oluşturulmuştur.

### 3.2 Önişleme

Önişleme, filtreleme ile kayıtlardan sinyallerin ayrıştırılması ve veri setinin oluşturulması aşamalarından oluşmaktadır. EOG işaretleri 0.1 Hz ile 20 Hz aralığında tanımlanmıştır (Ball vd., 2004). Bu nedenle hem EOG sinyalini ön plana çıkartmak hem de istenmeyen gürültüleri azaltmak için ikinci dereceden bir band geçiren Chebyshev filtresi kullanılmıştır.

Sinyallerin ayrıştırılması için Şekil 20 de en üstte gösterilen ve her bir işaretin ekranda ne kadar kaldığını gösteren karelerin başlangıç ve bitiş noktaları otomatik olarak belirlenmiş ve daha sonra ikinci ve üçüncü satırlardaki eş zamanlı indislerinden

faýdalanýlarak bir göz hareketine denk gelen işaretiñ kanal-1 ve kanal-2 bileşenleri ayrıştırılmıştır. Bu iki kanal bileşeni tek bir satır vektörü olarak birleştirilerek ayrıştırma tamamlanmıştır. Oluşturulan veri setinde her satır farklı bir göz hareketine denk gelen EOG sinyaliñi göstermektedir. Veriseti için ayrıştırılan yedi farklı EOG işaretiñin birer örnekleri Şekil 16 da gösterilmektedir.



Şekil 16. Veriseti kayıt örneği (Yukarıdan aşağıya sırasıyla; iki göz kırpma, sola bakma, sağa bakma, yukarı bakma, sağ göz kırpma, sol göz kırpma, aşağı bakma)

### 3.3 Öznitelik Çıkarma Yöntemleri

Sınıflandırmanın en önemli aşamalarından bir tanesi öznitelik çıkarmaktır. Bilgisayara matematiksel olarak sinyallerin nasıl ayrıştırılabileceğinin anlatılmasıdır. Farklılıkların en net şekilde ortaya çıkarılabilmesi sınıflandırma başarımını direk olarak etkilemektedir. Bu çalışmada, zaman ve frekans parametreleri kullanılarak öznitelikler elde edilmiştir. Ardından, sıralı ileri öznitelik seçim yöntemi kullanılarak özniteliklerin farklı gruplarının başarımları araştırılmış ve böylece sınıflandırma performansı iyileştirilmiştir. Tablol-1, çalışmamızda kullanılan öznitelikleri ve formüllerini göstermektedir.

Tablol 1. Kullanılan öznitelikler ve formülleri

Öznitelik	Özniteliğin Elde Edildiği Denklem
$f_1$ Sıfır geçiş oranı	$\frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N  sgn[x_i(n)] - sgn[x_i(n-1)]  \quad (1)$
$f_2$ Enerji	$E(i) = \sum_{n=1}^N [x_i(n)]^2 \quad (2)$
$f_3$ Enerjinin entropisi	$H_i = - \sum_{j=1}^M e_j \cdot \log_2(e_j) \quad (3)$
$f_4$ Spektral merkez	$C_i = \frac{\sum_{k=1}^{N/2} k X_i(k)}{\sum_{k=1}^{N/2} X_i(k)} \quad (4)$
$f_5$ Spektral yayılma	$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N/2} (k - C_i)^2 X_i(k)}{\sum_{k=1}^{N/2} X_i(k)}} \quad (5)$
$f_6$ Spektral entropi	$H = - \sum_{f=0}^{L-1} n_f \cdot \log_2(n_f) \quad (6)$
$f_7$ Spektral akış	$SF_{(i,i-1)} = \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} (X_i(k) - X_{i-1}(k))^2 \quad (7)$
$f_8$ Spektral düşme	$\sum_{k=1}^m X_i(k) = 0.85 \sum_{k=1}^{N/2} X_i(k) \quad (8)$

Tablo-1 deki öznitelikleri incelediğimizde sıfır geçiş oranı ( $f_1$ ), sinyal genliğinin işaret değiştirmesiyle ilgilidir. Sıfır geçiş oranı, sinyalin pozitiften negatife veya negatiften pozitifte değiştiği hız olarak tanımlanır (Huang vd., 1998). Kısa zaman enerjisi ( $f_2$ ) ise sıklıkla kullanılan sinyal işlemedeki temel parametrelerden biridir.

Entropi, bir sistemdeki rastgelelik veya kaosun bir ölçüsüdür; entropi ne kadar düşükse sistem o kadar kararlıdır; enerji-zamanı gösteren bir parametredir (Bo ve Haidong, 2008). Dolayısıyla bir diğer kullandığımız öznitelik ise enerji entropisidir ( $f_3$ ). Spektral merkezi ( $f_4$ ), spektral merkezin konumunu belirtmek için dijital sinyal işlemede kullanılan bir ölçektir. Bir sinyalin frekans spektrumunun ilk yarısı ile çalışmak yeterlidir. Burada N sinyalin uzunluğunu belirtir (Berthold ve Jameson, 1999).

Spektral yayılma ( $f_5$ ) parametresi, spektrumun merkez etrafında nasıl dağıldığı hakkında bilgi verir (Okoshi, 1982). Spektral entropisinin ( $f_6$ ) hesaplanmasında sinyal L alt bantlarına bölünür ve her bir alt bandın enerjisi, sinyalin toplam enerjisinin L'ye bölünmesiyle hesaplanır (Ramoser vd., 2000).

Spektral akış ( $f_7$ ), iki çerçeve arasındaki spektral değerlerdeki farkı gösterir (Canuto vd., 2012). Spektral düşüş ( $f_8$ ) ise frekans spektrumundaki frekansların toplamının önceden belirlenmiş bir yüzdesine karşılık gelen bir frekans değeridir (Lakhe vd., 2016). Son olarak sinyalin pozitif ve negatif en büyük tepe değerleri ile bunların indislerini gösteren ve bu tez çalışmasında öznitelik olarak geliştirilen ve yukarıdaki tabloda yer almayan başka bir öznitelik ded ( $f_9$ ) kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen özniteliklerin seçimi ayrıntılı bir literatür taramasından sonra belirlenmiştir. Ancak özniteliklerin tek başına başarıyı istenen düzeyde olmayabilmektedir. Bunun için farklı öznitelikler bir araya getirilerek sistem sınıflandırma başarıyı artırılmaya çalışılmaktadır. Öznitelikleri bir araya getirmek için literatürde tanımlanmış bir çok öznitelik seçim yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan birinin kullanılarak uygun öznitelik kombinasyonlarının belirlenmesi ile sistem başarıları yükseltilebilmektedir. Bu çalışmada ileride anlatılacak olan AİYÖS öznitelik seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede sistemin başarılarının artırılması ve en iyi öznitelik gruplarının belirlenmesi sağlanmıştır.

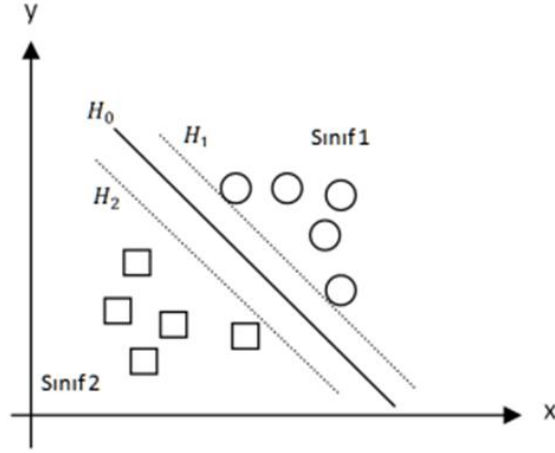
### 3.4 Sınıflandırma Yöntemleri

Öznitelikler sınıfların birbirlerinden farklılıklarını başarıyla ortaya koymuş olsa da uygun bir sınıflandırma yöntemini kullanmadan verinin sınıfını doğru tahmin etmek oldukça zordur. Aslında sınıflandırma algoritmasını seçmek için verinin sayısını, çeşidini ve özniteliklerin nasıl dağıldığını da dikkate almak gereklidir. Bu çalışmada en uygun sınıflandırma yöntemi araştırıldığından geniş çaplı öznitelik hesaplanmasının yanı sıra yine geniş çaplı bir sınıflandırma algoritma araştırması yapılmıştır. Bunun için MATLAB'ın Classification Learner uygulaması kullanılmıştır. Toplamda 980 veriden oluşan veri kümesi öncelikle eğitim ve test kümesi olarak bölünmüştür. Daha sonra eğitim kümesi üzerinde araştırılan özniteliklerin sonuçlarını daha doğru ortaya koyabilmek için k-katlama (k=10) çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak eğitim sağlanmıştır. Elde ettiğimiz sınıflandırma sonuçlarından yola çıkarak daha sık kullandığımız sınıflandırma algoritmalarının özellikleri sırasıyla aşağıda verilmektedir.

Sınıflandırma, regresyon ve diğer görevler için kullanılabilen bir denetimli öğrenme yöntemleri sınıfıdır. Vladimir Vapnik, bunu geliştirmek için meslektaşlarıyla işbirliği yaptı. Destek Vektör Makineleri (DVM), istatistiksel öğrenme çerçevelerine dayandığı için en sağlam tahmin yöntemlerinden biridir. Bir DVM eğitim algoritması, her biri iki kategoriden birine ait olarak işaretlenmiş bir dizi eğitim örneği verilen iki kategoriden birine yeni örnekler atayan bir model oluşturur. Yeni örnekler daha sonra aynı alana eşlenir ve boşluğun hangi tarafına düştüklerine bağlı olarak kategorilerden birine ait olduğu tahmin edilir. DVM algoritmasının amacı, gelecekte yeni veri noktalarını doğru kategoriye kolayca yerleştirebilmemiz için n-boyutlu uzayı sınıflandırmak için en iyi çizgiyi veya karar sınırını bulmaktır. Bir hiperdüzlem en iyi karar sınırını gösterir (Ahamed vd., 2015). DVM İki Tip Olabilir:

Doğrusal DVM, tek bir düz çizgi kullanılarak iki sınıfa ayrılabilen veriler olarak tanımlanan, doğrusal olarak ayrılabilir veriler için kullanılır.

Doğrusal olmayan DVM, doğrusal olmayan şekilde ayrılmış veriler için kullanılır, bir veri kümesi düz bir çizgi kullanılarak sınıflandırılmıyorsa, doğrusal olmayan veri olarak kabul edilir ve kullanılan sınıflandırıcı doğrusal değildir. Şekil 17, destek vektörünü ve en iyi ayırıcı düzlemi göstermektedir (Ahamed vd., 2015).



Şekil 17. Destek vektör ve optimal ayırıcı düzlem (Ahamed vd., 2015)

K- En Yakın Komşu (K-EYK) Algoritması, denetimli Öğrenmede sınıflandırma ve regresyon için kullanılan bir algoritmadır. En temel makine öğrenmesi algoritması olduğu düşünülmektedir. K-EYK , yeni noktaya en yakın olan K adet noktaları arar. K-EYK 'nin en temel tanımı, en yakın komşularının hangi sınıfta yoğunlaştığı bilgisine dayanarak sınıfını tahmin etmektir. Bilinmeyen sınıfın verilerinin eğitim setindeki diğer verilerle karşılaştırılarak hesaplanan mesafeye dayalı olarak en ideal (optimal) sınıfa atanarak sınıflandırılmamış verilerin sınıflandırılması ve bir mesafe ölçümü yapılması olarak tanımlanmaktadır (KAYA, 2018). Öncelikle kaç adet (K) komşunun sınıf etiketinin kontrol edileceği seçilir. Daha sonra en yakın K adet eğitim verisinin sınıf etiketi belirlenir. Toplamda en çok etikete sahip olan sınıfın etiketi test verisinin etiketi olarak belirlenir. K'nın çift sayı olması durumunda verilerin uzaklığına bakılarak en yakın sınıfın etiketi test verisinin etiketi olarak belirlenebilir.

Sınıflandırmada öznitelik verisinin dağılımına uygun bir algoritma seçilir ve en yüksek doğruluk oranı yakalanmaya çalışılır. Ensemble yöntemler (sınıflandırıcı topluluklar/topluluk öğrenme) ise aynı sınıflandırma probleminde birden fazla sınıflandırıcı kullanarak daha iyi bir sonuç elde etmeyi amaçlar. Buradaki amaç, bir sınıflandırıcıdan ziyade birkaç sınıflandırıcı ile daha iyi sonuç elde etmektir.

Ensemble torbalı karar ağaçları (Ensemble bagged tress) yöntemi torbalama algoritması ve karar ağaçlarının birleşiminden oluşan hibrit bir modeldir. Ağaçlar, popüler bir topluluk temel modeli türüdür. Ayrıca, ağaçlar karmaşıklığı azaltan basit ve hızlı algoritmalarıdır. Ağaç tabanlı topluluk yöntemleri, çok sayıda ağaç üretir ve ardından her ağaç ortalama olarak sonuçlar üretir. Topluluk tabanlı algoritmalar, son yıllarda tahmin ve sınıflandırma problemlerini çözmede ünlü statüsünü elde

etmektedir.Çeşitli alanlarda büyük başarı ile kullanılmıştır. Tahmin doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir (Yanru Zhang ve Haghani, 2015).

Torbalama yöntemi, girdi eğitim verilerinden örnekleme yoluyla karar ağaçlarını öğrenir (Austin vd., 2013). Bu işlem, aşağıdakiler gibi birkaç adımda gerçekleştirilebilir,orijinal eğitim veri kümesinden bir önyükleme örneği almaktadır, sonra optimize edilmiş veri kümesiyle en uygun modelleri bulur, ardından sonuçları tahmin etmek için optimize edilmiş veri kümesiyle donatılmış modellerin her birini kullanır ve nihayet ortalamasını almaktadır.Tüm modellerin tahmin sonuçlarını vermektedir (Winkler vd., 2018).

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  ögesinin bir girdi değişkenleri vektörü olduğunu varsayalım ( $n$ , girdi değişkenlerinin sayısıdır), Ensemble torbalı karar ağaçlarında tahminlerin ortalaması şu şekilde tanımlanır:

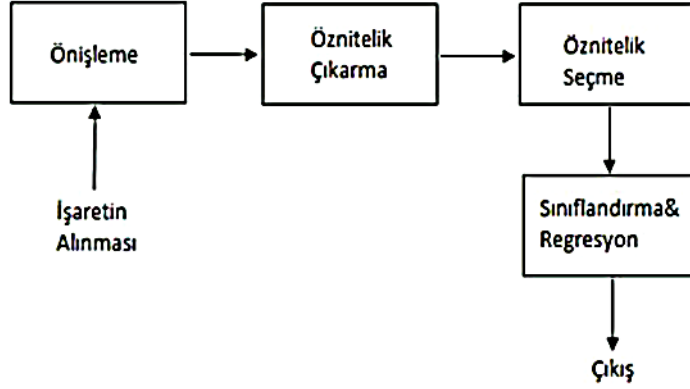
$$f_{bag}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i^*(x) \quad (3.1)$$

$N$ , çeşitli eğitim veri kümelerinin sayısıdır, $f_i(x)$  tahmin ediciler olarak tanımlanmış (Winkler vd., 2018).

### 3.5 Ardışıl İleri Yönlü Öznitelik Seçim Yöntemi

Çok sayıda özellik zaman kaybına neden olur ve bazı durumlarda uygulamanın doğruluk performansını düşürür. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak ve öznitelik sayısını düşürmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Whitney (1971), sıralı İleri Seçim adı verilen bir seçim yöntemi önerdi. Her adımda, sınıflandırma performansını belirlemek için tüm öznitelikler tek tek değerlendirilir ve en yüksek değere sahip öznitelik alt kümeye eklenir performansını iyileştiremeye kadar süresiz olarak devam eder. Bir veri kümesindeki en kullanışlı özellikleri seçme ve bulma işlemi, özellik seçimi olarak bilinir. Bu sürecin makine öğrenimi modelinin performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çok sayıda özelliği değerlendirmek için sıralı özellik seçim algoritmalarını kullanmak, performansı iyileştirmenin kritik bir yoludur. Sıralı ileriye doğru öznitelik seçimi yöntemi de bu yöntemlerden biridir ve her bir özelliğin sınıflandırma performansını ayrı ayrı elde eder. İlk olarak, en iyi performans gösteren öznitelik, ikili bir grup oluşturmak için diğer öznitelikler ile birleştirilir, ardından sınıflandırma performansı değerlendirilir. Çiftlerdeki en iyi performansın ilk etapdaki en iyi performansından daha yüksek olması durumunda, bir sonraki etapta üçlü grupların performansları incelenir. Performans bozulmadığı sürece gruplandırma

devam edecektir. Performans belirli bir eşiğin altına düştüğünde veya gruplanacak başka öznelik kalmadığında, süreç sonlandırılır. Performans durdurulursa, performans düştükçe, sınıflandırma önceki en yüksek performansı Sonuç olarak kabul eder. Gruplamaya eklenecek yeni nitelikler olmadığında, nihai sonuç en iyi sınıflandırma performansını sağlar (Ö. Aydemir, 2013).



Şekil 18. Ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yöntemi (O. Aydemir ve Kayıkcıoğlu, 2011)

Şekil 18, öznelikleri sinyale uyguladıktan sonra en iyi sınıflandırma sonucunu elde etmek için ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yöntemi kullanımını gösterir (O. Aydemir ve Kayıkcıoğlu, 2011). Ardışıl ileri yönlü öznelik seçim yöntemi basitlikleri ve hızları için yaygın olarak kullanılır (O. Aydemir ve Kayıkcıoğlu, 2011). Özellik seçme işleminin avantajları, algoritma hızını artırırken özellik seti boyutunu küçültür, veri kalitesini iyileştirir ve veri kümesini oluşturmayı kolaylaştırır, görselleştirilebilir ve anlaşılabilir, modelin başarısını artırır (Forman, 2003).

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İstemli göz hareketlerini yapabilen fakat iletişim kuramayan bireylere yönelik bir İBA geliştirmek için tez kapsamında yapılan araştırmaların temel sonuçları bu bölümde sunulmaktadır.

Verilerin kaydedilmesi kısmında bireylerin kişisel farklılıklarından dolayı ortaya çıkabilecek olumsuzlukları engellemek için tüm katılımcılardan aynı göz hareketlerinin EOG sinyallerini kaydedecek şekilde özgün bir kayıt yöntemi geliştirilmiştir. Örneğin katılımcılara ekranda yanıp sönen bir menüyü yukarı hareket ettirmek için göz hareketi yapması istenildiğinde farklı işaretler ortaya çıkabilmektedir. Bunun önüne geçmek için ekranda takip edilecek bir nokta oluşturulmuş ve kayıtlar bu noktanın hareketinin takibine göre alınmıştır. Sola bakma, sağa bakma, yukarı bakma, aşağı bakma, iki göz kırpma, sol göz kırpma ve sağ göz kırpmadan oluşan yedi farklı göz işaretinin EOG sinyal kayıtları elde edilmiştir.

Kayıtların alınmasında komutlar arasında belirli bir süre beklenmiş ve göz hareketleri her kayıta rasgele oluşturulmuştur. Böylece tekrar eden kayıtlarda katılımcıların ezberine dayalı olarak önceden hareket sağlamaları engellenmiştir.

EOG sinyallerini kapsayacak şekilde band geçiren filtre uygulandıktan sonra verileri birbirinden otomatik olarak ayıracak şekilde yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem sayesinde veri kümesi rahatlıkla oluşturulabilmiştir. Sınıflandırma aşamasında birçok öznelik araştırılması yapılmıştır. Sıfır geçiş oranı ( $f_1$ ), enerji ( $f_2$ ), enerjinin entropisi ( $f_3$ ), spektral merkez ( $f_4$ ), spektral yayılma ( $f_5$ ), spektral entropi ( $f_6$ ), spektral akış ( $f_7$ ), spektral düşme ( $f_8$ ) ile bu çalışmada geliştirdiğimiz ve her iki EOG kanallarının indise bağlı tepe değerleri ( $f_9$ ) öznelik olarak kullanılmıştır. Veri seti eğitim ve test kümesi olarak ayrıştırıldıktan sonra k-kat ( $k=10$ ) çağraz doğrulama tekniği kullanılarak sonuçların rasgele değil, daha gerçekçi değerleri ortaya konulmuştur. Tüm bu ön işleme ve öznelik çalışmalarından sonra eğitim kümesinde elde edilen sonuçlar Tablo-2'de sunulmaktadır.

Tablo-2, AİYÖS ileri öznelik seçim yönteminin sonuçlarını beş adımda göstermektedir. İlk adım, her özneliğin ayrı ayrı sonuçlarını vermektedir. spektral düşme ( $f_8$ ) ile en düşük sonuç elde edilirken en iyi başarımlar ise bu çalışmada geliştirdiğimiz her iki EOG kanallarının indise bağlı tepe değerleri ( $f_9$ ) ile 91,2% olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Eğitim kümesi sınıflandırma sonuçları

Öznitelik	Tablo Sütun Başlığı				
	1.adım	2.adım	3.adım	4.adım	5.adım
$f_1$	34.9% (k-EYK)	92.0% (Ensemble bagged tress)	94.5% (Ensemble bagged tress)	-	-
$f_2$	58.4% (DVM)	94.3% (Ensemble bagged tress)	-	-	-
$f_3$	32.7% (Quadratic discriminant)	92.3% (Ensemble bagged tress)	93.7% (Ensemble bagged tress)	94.3% (Ensemble bagged tress)	93.9% (Ensemble bagged tress)
$f_4$	35.1% (DVM)	91.0% (Ensemble bagged tress)	93.7% (Ensemble bagged tress)	<b>94.9%</b> <b>(Ensemble bagged tress)</b>	-
$f_5$	37.1% (DVM)	91.8% (Ensemble bagged tress)	93.5% (Ensemble subspace k-EYK)	92.7% (Ensemble bagged tress)	93.1% (Ensemble bagged tress)
$f_6$	28.0% (Quadratic Discriminant)	91.8% (Ensemble bagged tress)	94.5% (Ensemble bagged tress)	94.1% (Ensemble bagged tress)	93.9% (Ensemble bagged tress)
$f_7$	26.1% (Quadratic Discriminant)	91.0% (Ensemble bagged tress)	93.3% (Ensemble bagged tress)	94.3% (Ensemble bagged tress)	93.3% (Ensemble bagged tress)
$f_8$	19.8% (DVM)	91.0% (Ensemble bagged tress)	93.7% (Ensemble bagged tress)	93.3% (Ensemble bagged tress)	93.9% (Ensemble bagged tress)
$f_9$	91.2% (Ensemble bagged tress)	-	-	-	-

AİYÖS, ilk aşamada en yüksek skoru veren özneliğin sabit tutulması ve bir sonraki adımda ise bu özneliğe diğer özneliklerin eklenmesi ile oluşturulan ikili kombinasyonların sonuçlarının araştırılmasına işaret eder. Dolayısıyla  $f_9$  özneliği sabit tutularak elde edilen ikili kombinasyon sonuçları tablonun 2.adımında görülmektedir. Sonuçların tamamının 90%'ın üzerine çıktığı anlaşılmaktadır. İçlerinde 94,3% ile en yüksek sonucu veren  $f_9$  ile işaretin enerjisi ( $f_2$ ) özneliklerinin ikili kombinasyonudur. Bu sonuç, ilk adımdaki 91,2%'den daha büyük olduğu için AİYÖS'ün üçüncü adımına geçilmiştir. Üçüncü adımda ise  $f_9$  ile  $f_2$  öznelikleri sabit tutularak kalan öznelikler ile üçlü öznelik kombinasyonlarının başarımları araştırılmıştır. Tablo-2 incelendiğinde elde edilen başarımların bir önceki ikili kombinasyonlarda elde edilen başarımlara göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Başarımlar 94,3%'ten 94,5%'e yükselmiştir. Bu sonuç da bizlere dördüncü aşamaya doğru ilerlememizi işaret etmektedir.

Üçüncü aşamada  $f_1$  özniteliği ile en iyi üçlü kombinasyonun elde edildiği görülmektedir. Dolayısıyla dördüncü adımda  $f_9$  ile  $f_2$  özniteliklerine ek olarak  $f_1$  özniteliği eklenmiş ve kalan öznitelikler ile dörtlü kombinasyonların başarımları araştırılmıştır. Dördüncü adımda  $f_4$  özniteliği ile oluşturulan dörtlü kombinasyonun 94,9% ile en iyi sonucu verdiği ve başarımın bir önceki üçlü kombinasyona göre daha da ilerlediği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bir önceki üçlü gruba  $f_4$  özniteliğinin de eklenmesi ile beşli kombinasyonların başarımlarını araştırmak üzere beşinci adıma geçilmiştir. Beşinci adımda ise 94,9% olan bir önceki başarıma göre düşüş olmuş ve en iyi başarımlar 93,9% olarak elde edilmiştir. Bu aşamada başarımlar düşüşe geçtiğinden AIYÖS ile öznitelik kombinasyonu araştırma süreci tamamlanmıştır.

Tablo-2 genel olarak değerlendirildiğinde özet olarak eğitim kümesindeki en iyi sonuç  $f_9$ ,  $f_2$ ,  $f_1$  ve  $f_4$  özniteliklerinin birlikte kullanıldığı ve Ensemble bagged trees sınıflandırıcısı ile 94,9% olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sınıflandırma modeli ortaya çıkmıştır. Bu model test kümesinde uygulandığında ise 93,9% sonuç vermiştir. Yedi EOG sinyal sınıfı için elde edilen bu sonuç, başarılı bir İBA'nın başarılı bir oldukça umut vericidir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Başarılı bir İBA geliştirmek için birçok aşamayı adım adım doğrularak ilerlemek gereklidir. Bu tez çalışmasında EOG temelli başarılı bir İBA için uygun öznitelik ve sınıflandırma yöntemleri araştırılmıştır. Çalışmanın özgünlüğüne ilk adım öncelikle kayıt aşamasında atılmıştır. Tüm katılımcılara hitap eden, ortak ve birbirine benzer sinyaller elde edebilmek için kayıt sırasında ekranda nokta takibi gerektiren bir yazılım geliştirilmiştir. Bu sayede örneğin aşırı genlik veya zamanda uzama gibi farklılıkların önüne geçilmiştir. Geliştirilen kayıt sistemi üzerine veri kümeleri elde edilmiştir. Dolayısıyla ileride bu yöntem gerçek zamanlı olarak ortaya konulduğunda bunu kullanan kişinin yine kayıt aşamasındaki gibi komutlar vermesi beklenecektir. Böylece doğruluk artırılabilir. Yani çalışma sonucunda ortaya çıkan arabirim için kullanmaya başlamadan önce kısa bir alışırma süreci gerekecektir. Çünkü bu EOG temelli arabirimi kullanacak olan kişi geliştirilen bu sistemin operatörü olacaktır.

En uygun yöntemin araştırılması için yaptığımız çalışmalar sonucunda test kümesinde 93,9% ile en iyi başarıyı elde edilmiştir.  $f_9$ ,  $f_2$ ,  $f_1$  ve  $f_4$  öznitelik kombinasyonu Ensemble bagged trees sınıflandırıcısı ile ayrıştırıldığında bu sonuç elde edilmiştir. Bu sonucun karışıklık matrisi ise Tablo-3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Test kümesi karışıklık matrisi

<i>Tahmin Edilen</i>	<b>Sola bakma</b>	72	0	0	0	0	2	0
	<b>Sağa bakma</b>	0	61	1	1	0	2	0
	<b>Yukarı bakma</b>	0	0	69	1	2	0	1
	<b>Aşağı bakma</b>	0	0	1	69	0	0	1
	<b>İki göz kırpma</b>	0	0	2	0	69	0	0
	<b>Sol göz kırpma</b>	1	1	3	0	2	66	2
	<b>Sağ göz kırpma</b>	0	1	0	2	4	0	54
		<b>Sola bakma</b>	<b>Sağa bakma</b>	<b>Yukarı bakma</b>	<b>Aşağı bakma</b>	<b>İki göz kırpma</b>	<b>Sol göz kırpma</b>	<b>Sağ göz kırpma</b>
	<i>Gerçek</i>							

Karışıklık matrisi sınıflandırma sonucunda yapılan tahminlerin sınıflara göre ne kadar doğrulukta dağıldığını gösteren önemli bir parametredir. Matrisin sol köşegeni dışında görülen her bir rakam hataya işaret etmektedir. 100% başarıma ulaşan bir sınıflandırma sonucunda elde edilen karışıklık matrisinde tüm rakamlar köşegen üzerinde bulunur. Kalan matris elemanları ise sıfır değerini gösterir. Bu matrise bakarak hangi sınıfların rahatlıkla ayrıştırılabildiğini, hangi sınıfların birbirine daha yakın olduğu için karıştırıldığını gösterir. Yani geliştirilen yöntemin sınıfları ayrıştırmadaki başarımlarını ayrı ayrı görmek mümkündür. Örneğin iki sınıf tahminlerinin birbirine karışması bu iki sınıfı ayıracak özniteliklerin iyi seçilmediğini ve üzerine daha fazla çalışılması gerektiğini bize söyler.

Tablo-3 sonuçları incelendiğinde başarımın yüksek olduğu, hataların genel olarak dağıldığı ve belirgin şekilde iki sınıfın birbirlerine karışmadığı görülmektedir. Sola ve aşağı bakma göz işaretlerine ikişer hata ile en iyi tahminlerin yapıldığı görülmektedir. Sol göz kırpmada ise dokuz tahminde yanlışlık yapıldığı anlaşılmaktadır. Çalışmamızda dikey eksendeki hareketleri algılayan elektrotların sağ göz üzerine yerleştirilmesi ve sol göz üzerinde elektrot bulunmamasının bu sonuca etki ettiği değerlendirilmektedir. Elbetteki üçüncü bir kanal olarak sol göz üzerine de bir elektrot yerleştirilmiş olsaydı bu durumda daha yüksek başarımlar elde edilebilirdi. Ancak, işlem yükü daha fazla artacaktı. Anlaşıldığı üzere kayıt yönteminin de çalışmanın başarımına direkt olarak etkisi mevcuttur.

Çalışma sonuçları her ne kadar başarılı olarak elde edilmiş olsa da daha ayrıştırıcı özniteliklerin elde edilmesi başarımı artıracak etmenlerden birisidir. İleride yapılacak çalışmalarda yukarıda bahsedildiği üzere farklı kayıt yöntem başarımlarının da araştırılması, daha ayrıntılı öznitelik araştırma sürecine girilmesi süreci iyileştirebilecek çalışmalar olacaktır. Klasik öğrenme metotlarının yanı sıra veri kümesinin büyütülmesi ile derin öğrenme metotlarının da başarımlarının araştırılması daha iyi sonuçlar sunabilir. Eğer amaç gerçek zamanlı bir EOG temelli İBA uygulamasının başarılı bir şekilde çalışması ise bu aşamaları çalışmak gereklidir.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen yöntemin EOG temelli bir İBA için yüksek başarımlar elde ettiği gösterilmiştir. Sonuçlar, gerçek zamanlı bir uygulama için çalışmaların yürütülebileceğini göstermektedir. Yukarıda bahsettiğimiz ileride yapacağımız çalışmalar sayesinde kabul edilebilir bir doğrulukta çalışan EOG temelli bir İBA'nın mümkün olduğu gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Ahamed, M. A., Ahad, M. A.-U., Sohag, M. H. A., and Ahmad, M. (2015). Development of low cost wireless biosignal acquisition system for ECG EMG and EOG. *2015 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies (EICT)*, 195–199.
- Al-Rahayfeh, A., and Faezipour, M. (2013). Eye tracking and head movement detection: A state-of-art survey. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, *1*, 2100212.
- Alim, K. (2018). *İnsan ilişkileri ve iletişim*.
- Altunel, Ö., Demirdöğen, G., Dural, U., ve Kuşçu, M. K. (2008). Şizofrenide duygu algılama ve tanıma süreçleri. *Klinik Psikiyatri*, *11*(Suppl 4), 3–11.
- Arar, M. E., Güçlü, B., ve Özkan, M. (2014). *Elektriksel uyaran tasarımı ve somatosensoryel uyarılmış potansiyeller (SUP)*.
- Aungsakun, S., Phinyomark, A., Phukpattaranont, P., and Limsakul, C. (2012). Development of robust electrooculography (EOG)-based human-computer interface controlled by eight-directional eye movements. *International Journal of Physical Sciences*, *7*(14), 2196–2208.
- Austin, P. C., Tu, J. V., Ho, J. E., Levy, D., and Lee, D. S. (2013). Using methods from the data-mining and machine-learning literature for disease classification and prediction: a case study examining classification of heart failure subtypes. *Journal of Clinical Epidemiology*, *66*(4), 398–407.
- Aydemir, Ö. (2013). *İmlecin iki boyutlu hareketinin hayali sırasında kaydedilmiş EEG işaretlerinin karar ağaç yapısı esaslı sınıflandırılması*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Aydemir, O., ve Kayıkcıoğlu, T. (2011). Wavelet transform based classification of invasive brain computer interface data. *Radioengineering*, *20*(1), 31–38.
- Aydın, S. (2000). *İnsan anatomisi ve fizyolojisi*. Anadolu Üniversitesi.
- Ayvaz, A., ve Ertaş, G. (n.d.). *Eyleyicileri Kontrol Etmek için EOG Temelli bir Elektronik Devre Tasarımı Design of an EOG Based Electronic Circuit to Control Actuators*.
- Ball, L. J., Beukelman, D. R., and Pattee, G. L. (2004). Communication effectiveness of individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Communication Disorders*, *37*(3), 197–215.
- Berthold, A., and Jameson, A. (1999). Interpreting symptoms of cognitive load in speech input. In *UM99 user modeling* (pp. 235–244). Springer.
- Bo, J., and Haidong, L. (2008). *Research on Financial Early Warning for Listed Companies Based on TOPSIS Method*.
- Brahmaiah, V. P., Sai, Y. P., and Prasad, M. N. G. (2017). Data Acquisition System of Electrooculogram. *2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, 716–721.
- Canuto, C., Hussaini, M. Y., Quarteroni, A., and Thomas Jr, A. (2012). *Spectral methods in fluid dynamics*. Springer Science & Business Media.
- Card, S. K., Moran, T. P., and Newell, A. (2018). *The psychology of human-computer interaction*. Crc Press.
- Chandaka, S., Chatterjee, A., and Munshi, S. (2009). Cross-correlation aided support vector machine classifier for classification of EEG signals. *Expert Systems with Applications*, *36*(2), 1329–1336.
- Cram, J. R. (2003). The history of surface electromyography. *Applied Psychophysiology and*

*Biofeedback*, 28(2), 81–91.

- Creel, D. J. (2019). The electrooculogram. *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 495–499.
- Dhillon, W. S. (2008). Kisspeptin: a novel regulator of reproductive function. *Journal of Neuroendocrinology*, 20(8), 963–970.
- Forman, G. (2003). An extensive empirical study of feature selection metrics for text classification. *J. Mach. Learn. Res.*, 3(Mar), 1289–1305.
- Gao, Y., Wang, Y., Xia, S., and Gao, G. (2021). An environment-stable hydrogel with skin-matchable performance for human-machine interface. *Science China Materials*, 64(9), 2313–2324.
- García-Bermúdez, R., Ruiz, F. R., Peñalver, J. G., Cansino, O. V., Pérez, L. V., Torres, C., and Becerra-García, R. (2010). Evaluation of electro-oculography data for ataxia SCA-2 classification: A blind source separation approach. *2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 237–241.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N.-C., Tung, C. C., and Liu, H. H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454(1971), 903–995.
- KAYA, D. (2018). *Biyomedikal işaretlerin sınıflandırılması için akıllı tekniklerin Labview ortamında gerçekleştirilmesi/Realization of intelligent techniques for classification of biomedical signals in the Labview.*
- Kim, M. R., and Yoon, G. (2013). Control signal from EOG analysis and its application. *Int. J. Electr. Comput. Electron. Commun. Eng.*, 7, 864–867.
- Kim, Y., Doh, N. L., Youm, Y., and Chung, W. K. (2007). Robust discrimination method of the electrooculogram signals for human-computer interaction controlling mobile robot. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 13(3), 319–336.
- Kola, L., Kohrt, B. A., Hanlon, C., Naslund, J. A., Sikander, S., Balaji, M., Benjet, C., Cheung, E. Y. L., Eaton, J., and Gonsalves, P. (2021). COVID-19 mental health impact and responses in low-income and middle-income countries: reimagining global mental health. *The Lancet Psychiatry*, 8(6), 535–550.
- Kumar, D., and Poole, E. (2002). Classification of EOG for human computer interface. *Proceedings of the Second Joint 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society][Engineering in Medicine and Biology*, 1, 64–67.
- Lakhe, A., Sodhi, I., Warriar, J., and Sinha, V. (2016). Development of digital stethoscope for telemedicine. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 40(1), 20–24.
- Lazar, A. M., and Baritz, M. I. (2020). Some Considerations on the Composite Structure of the Human Eye. *Macromolecular Symposia*, 389(1), 1900103.
- Mason, S. G., and Birch, G. E. (2003). A general framework for brain-computer interface design. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 11(1), 70–85.
- Matsumoto, T., Matsumoto, H., Yamada, K., and Hoshino, S. (2002). Impact of artificial "gummy" fingers on fingerprint systems. *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*, 4677, 275–289.
- McFarland, D. J., and Wolpaw, J. R. (2011). Brain-computer interfaces for communication and control. *Communications of the ACM*, 54(5), 60–66.
- Meng, Q., Zhang, J., and Yang, X. (2019). Virtual rehabilitation training system based on

- surface EMG feature extraction and analysis. *Journal of Medical Systems*, 43(3), 1–11.
- Milanizadeh, S., and Safaie, J. (2020). EOG-based HCI system for quadcopter navigation. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(11), 8992–8999.
- O’Bard, B., and George, K. (2018). Classification of eye gestures using machine learning for use in embedded switch controller. *2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 1–6.
- Okoshi, T. (1982). Heterodyne and coherent optical fiber communications: Recent progress. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 30(8), 1138–1149.
- Ponder, E., and Kennedy, W. P. (1927). On the act of blinking. *Quarterly Journal of Experimental Physiology: Translation and Integration*, 18(2), 89–110.
- Ramoser, H., Muller-Gerking, J., and Pfurtscheller, G. (2000). Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand movement. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 8(4), 441–446.
- Rangayyan, R. M. (2015). *Biomedical signal analysis*. John Wiley & Sons.
- Selim, A. (2021). İNSAN BİLGİSAYAR ARABİRİMİ. *Dijital Gelecek Dijital Dönüşüm-2*, 7.
- Shneiderman, B. (1980). Human factors in computer and information systems. *Cambridge, MA: Winthrop*.
- Sönmez, B. (2015). *Dielektrik lens antenlerin geometrik optik/fizik optik yaklaşımı ile analizi*.
- Thakkar, A., and Shad, D. (2014). Eye Monitored Wheelchair control for people suffering from Quadriplegic. *School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University*.
- Usakli, Ali Bulent. (2015). *Felçli Hastalar için EOG Tabanlı İletişim*.
- Usakli, Ali Bulent, and Gurkan, S. (2009). Design of a novel efficient human–computer interface: An electrooculogram based virtual keyboard. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59(8), 2099–2108.
- Usakli, Ali Bülent, Gurkan, S., Aloise, F., Vecchiato, G., and Babiloni, F. (2010). On the use of electrooculogram for efficient human computer interfaces. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2010.
- Wazwaz, A., ZİADA, M., AWAWDEH, L., and TAHBOUB, M. (2020). Control and Monitor of IoT Devices using EOG and Voice Commands. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 8(3), 92–96.
- Webster, J. G. (1999). *The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook*. Springer Science & Business Media.
- Winkler, D., Haltmeier, M., Kleidorfer, M., Rauch, W., and Tscheikner-Gratl, F. (2018). Pipe failure modelling for water distribution networks using boosted decision trees. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14(10), 1402–1411.
- Wu, S.-L., Liao, L.-D., Lu, S.-W., Jiang, W.-L., Chen, S.-A., and Lin, C.-T. (2013). Controlling a human–computer interface system with a novel classification method that uses electrooculography signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(8), 2133–2141.
- Yagi, T., Kuno, Y., Koga, K., and Mukai, T. (2006). Drifting and blinking compensation in electro-oculography (EOG) eye-gaze interface. *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 4, 3222–3226.
- Yanco, H. A., and Gips, J. (1997). Preliminary investigation of a semi-autonomous robotic wheelchair directed through electrodes. *Proc. Rehabilitation Engineering Society of North America 1997 Annual Conference*, 414–416.

- Zhang, Yanru, and Haghani, A. (2015). A gradient boosting method to improve travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 308–324.
- Zhang, Yu, Chan, W., and Jaitly, N. (2017). Very deep convolutional networks for end-to-end speech recognition. *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 4845–4849.

## ÖZ GEÇMİŞ

Muna Layth Abdulateef AL-ZUBAİDİ. İrak/Kızlar için AL-Mustakbal Lisesi'ni bitirdikten sonra Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2016 yılında mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Yüksek Lisans programını girdi. Orta derecede İngilizce ve Türkçe bilmektedir. Temel ilgi alanları, Mühendislik Uygulamaları ve Elektrik-Elektronik bilimidir (22.6.2022).

### İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-0885-2801

### Yayımlar:

1. IEEE 30th Signal Processing and Communications Applications Conference, Safranbolu, Türkiye, 15 - 18 Mayıs 2022