



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**DERİN ÖĞRENME KULLANARAK EEG**  
**TABANLI DUYGU TANIMA**

**Tuğçe KILIÇ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Elektrik–Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Aralık-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Tuğçe KILIÇ tarafından hazırlanan “Derin Öğrenme Kullanarak EEG Tabanlı Duygu Tanıma” adlı tez çalışması 23/12/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Akif DURDU  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Danışman

Prof. Dr. Seral ÖZŞEN  
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Güzin ÖZMEN  
(Selçuk Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Tuğçe KILIÇ

Tarih: 23.12.2024

## ETİK KURUL KARARI

Bu tez çalışmasında Konya Teknik Üniversitesi Etik Kurulunun “26/04/2024 tarihli ve 2024/3 sayılı toplantısında incelenmiş söz konusu başvuruda yapılması planlanan "Derin Öğrenme Kullanarak EEG Tabanlı Duygu Tanıma" adlı çalışma ile ilgili olarak, talep edilen verilerin bahsedildiği çerçevede amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak kullanılmasında etik açıdan sakınca bulunmadığına oy birliği ile karar verilmiştir.” kararıyla uygulama yapılmıştır.



# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS

### DERİN ÖĞRENME KULLANARAK EEG TABANLI DUYGU TANIMA

Tuğçe KILIÇ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Seral ÖZŞEN

2024, 95 Sayfa

Jüri  
Prof. Dr. Seral ÖZŞEN  
Doç. Dr. Akif DURDU  
Dr. Öğr. Üyesi Güzin ÖZMEN

Günümüzün en temel ihtiyaçlarından biri olan iletişimi destekleyen jest ve mimiklerin yanı sıra duyguları da görünür hale getirebilmek birçok alanda önem kazanmıştır. Duyguları ifade edebilmek sağlıklı veya hasta bireyler için önemli bir iletişim kaynağıdır. Yaşadıkları bazı sağlık durumlarından ötürü duygularını ifade etmekte güçlük çeken insanlar için duygu tanıma, yaşam koşullarını iyileştirmede oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada beyinde oluşan dalgaların duygu tanıma için EEG sinyalleri incelenerek duygu durumları tespit edilebildiğinden derin öğrenme kullanarak duygu tanıma hedeflenmiştir. Makine öğrenmesi yöntemleriyle yapılan sınıflama, derin öğrenme algoritmaları ile yapılan sınıflama performansı bakımından geride kaldığından derin öğrenme yöntemi tercih edilmiştir.

Bu tez çalışmasında Konya Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği ve Mimarlık bölümlerinde öğrenim gören 8 (mühendis: 4, mimar: 4) katılımcı yer almıştır. Açık kaynaklı yazılım paketi PsychoPy aracılığıyla deney düzeneği oluşturularak ikonik ve sıradan mimari yapıların duygu durumları üzerindeki etkilerini incelemek için katılımcılara bu mimari yapıların görüntüleri belirli ve eşit sürelerde izletilmiştir. Bu deney düzeneği uygulanırken EEG sinyalleri, 14 kanallı Emotiv EPOC X kablosuz EEG başlığı ile eş zamanlı olarak EmotivPro programında kaydedilmiştir. Kaydedilen ham EEG sinyallerine Butterworth filtre uygulandıktan sonra sinyallere normalizasyon işlemi yapılmıştır. Ardından zaman-frekans analizleri KZFD ve SDD mimar ve mühendis katılımcı gruplarına ayrı ayrı uygulanmıştır. Mimari uyarıcı görüntülerle oluşturulan bu veri seti, basit ESA modeli ile sınıflandırılmıştır. Sonuçta, KZFD analiz yöntemiyle mimar katılımcı grubunda yüksek sınıflama (validasyon) doğruluğuna 91,67% ulaşılmıştır. Mühendis katılımcı grubunda ise KZFD analiz yöntemiyle 89,52% doğruluk ile sınıflandırılmıştır. SDD analizi ile yapılan sınıflama oranları, KZFD ile yapılan sınıflama oranlarından daha düşük oranda doğruluk üretmiştir. Yapılan bu çalışmayla mimari yapıların duygu durumları üzerinde etkisi olduğu incelenmiş olup EEG sinyalleri ile derin öğrenme kullanarak yüksek performans sonuçlarıyla gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, duygu tanıma, EEG, KZFD, mimari uyarıcı, SDD

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

# **EEG-BASED EMOTION RECOGNITION USING DEEP LEARNING**

**Tuğçe KILIÇ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical Electronics Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Seral ÖZŞEN**

**2024, 95 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Seral ÖZŞEN  
Assoc. Prof. Dr. Akif DURDU  
Asst. Prof. Dr. Güzin ÖZMEN**

It has gained importance in many areas to support communication, one of the most basic needs of today, and to make visible the extraordinary brightness of facial expressions. Simplifying emotions has important contact information for healthy or sick individuals. For people who have difficulty expressing emotions due to some health conditions they experience, emotion recognition is very important in their life capacities. Since emotional states can be detected by examining EEG treatment for emotion recognition of the waves occurring in the brain, emotion recognition is aimed using deep learning. The deep learning method was preferred because the classification made with machine learning methods was left behind in terms of classification performance with deep learning methods.

In this thesis study, 8 (engineer: 4, architect: 4) participants studying at Konya Technical University Electrical - Electronics Engineering and Architecture departments took part. An experimental setup was created through the open source software package PsychoPy, and participants were shown images of these architectural structures for certain and equal periods of time to examine the effects of iconic and ordinary architectural structures on emotional states. While applying this experimental setup, EEG signals were recorded simultaneously in the EmotivPro program with the 14-channel Emotiv EPOC X wireless EEG headset. After applying a Butterworth filter to the recorded raw EEG signals, the signals were normalized. Then, time-frequency analyzes were applied separately to STFT and CWT architect and engineer participant groups. This data set, created with architectural stimulus images, was classified with the simple CNN model. As a result, a high classification (validation) accuracy of 91.67% was achieved in the architect participant group with the STFT analysis method. In the engineer participant group, it was classified with 89.52% accuracy by the STFT analysis method. Classification rates made with SDD analysis produced lower accuracy than classification rates made with KZFD. In this study, it was examined that architectural structures have an effect on emotional states, and high performance results were observed using EEG signals and deep learning.

**Keywords:** Architectural stimulus, CWT, deep learning, EEG, emotion recognition, STFT

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca değerli bilgi ve tecrübeleriyle daima bana yol gösteren, her konuda ilgisini ve desteğini benden esirgemeyen, beni cesaretlendiren çok kıymetli saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Seral ÖZŞEN'e sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda veri elde etme aşamasında kıymetli yardım ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. Hatice Derya ARSLAN'a ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Bilgehan YILMAZ'a,

Akademik sürecimde kıymetli bilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Cemil ALTIN'a

Çalışmam boyunca her konuda anlayış ve yardımlarını esirgemeyerek yanımda olan ve beni motive eden iş arkadaşlarım, aynı zamanda kıymetlilerim Arş. Gör. Zülal Hilal YILDIZ BUDAK'a ve Arş. Gör. Ayşe Nur CİHAN'a,

Yüksek lisans tez çalışmamda verileri elde etmem konusunda gönüllü olarak katılarak çalışmama katkıda bulunan Konya Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, YazGit Kulübü ve Mimarlık Bölümü öğrencilerine,

Yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans arkadaşım Esra YÜCE'ye,  
Teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğiyle hep yanımda olan, bana duydukları sonsuz sevgiyle bugünlere getiren kıymetlilerim sevgili babam ve sevgili anneme müteşekkirim. Her zaman ve her koşulda yanımda olan biricik kardeşlerime minnettarım. Ayrıca benim için kardeş gibi olan kadim dostum Feyza ERŞEN'e de teşekkür ederim.

Tuğçe KILIÇ  
KONYA-2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                                       |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                            | iv   |
| ABSTRACT.....                                                         | v    |
| ÖNSÖZ .....                                                           | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                     | vii  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                                | ix   |
| ÇİZELGELER LİSTESİ .....                                              | xi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                         | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                        | 1    |
| 1.1. Kaynak Araştırması .....                                         | 2    |
| 2. MATERYAL VE METOD .....                                            | 10   |
| 2.1. Elektroensefalogram (EEG).....                                   | 10   |
| 2.2. Duygu Durumları .....                                            | 11   |
| 2.3. Veri Ön İşleme.....                                              | 11   |
| 2.4. Zaman – Frekans Analizleri.....                                  | 12   |
| 2.4.1. Dalgacık dönüşümü (DD).....                                    | 12   |
| 2.4.2. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD).....                             | 12   |
| 2.4.3. Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) .....                          | 13   |
| 2.4.4. Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (KZFD) .....                     | 13   |
| 2.5. Sınıflandırma .....                                              | 14   |
| 2.6. Derin Öğrenme .....                                              | 14   |
| 2.6.1. Evrişimli sinir ağları (ESA) .....                             | 15   |
| 2.6.1.1. Evrişimli katman.....                                        | 15   |
| 2.6.1.2. Aktivasyon fonksiyonları.....                                | 16   |
| 2.6.1.3. Havuzlama katmanı .....                                      | 17   |
| 2.6.1.4. Tam bağlı katman .....                                       | 18   |
| 2.6.1.5. Batch normalizasyon katmanı.....                             | 18   |
| 2.6.1.6. Seyreletme katmanı (Dropout) .....                           | 19   |
| 2.6.2. Performans ölçümleri.....                                      | 19   |
| 2.7. Duygu Tanıma .....                                               | 20   |
| 2.7.1. Deneysel düzenek ve EEG sinyallerinin kaydı.....               | 21   |
| 2.7.1.1. Görsel seçimi ve Öz Değerlendirme Mankeni Anketi (SAM) ..... | 21   |
| 2.7.1.2. Deney düzeneği.....                                          | 22   |
| 2.7.1.3. Deney katılımcıları .....                                    | 24   |
| 2.7.1.4. EEG sinyallerinin kaydı.....                                 | 24   |
| 2.7.1.5. Sinyal ön işleme.....                                        | 26   |
| 2.7.1.6. EEG sinyallerine KZFD uygulanması .....                      | 30   |
| 2.7.1.7. EEG sinyallerine 3. Seviye SDD uygulanması.....              | 31   |
| 2.7.1.8. KZFD ve 3. Seviye SDD uygulanmış analiz görüntüleri .....    | 32   |

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.1.9. Basit ESA modeline görüntülerin verilmesi .....                           | 35        |
| 2.8. Deneyde kullanılan veri setleri .....                                         | 37        |
| 2.8.1. Orijinal EEG sinyallerinin epoklarına ayrılarak elde edilen veri seti ..... | 37        |
| 2.8.2. Anket yanıtlarına göre elde edilen veri seti .....                          | 37        |
| <b>3. DENEY SONUÇLARI .....</b>                                                    | <b>39</b> |
| 3.1. Mühendis Öğrencilerden Elde Edilen Veri Setleri .....                         | 39        |
| 3.1.1. KZFD uygulanmış giriş görselleri veri seti .....                            | 39        |
| 3.1.2. SDD uygulanmış giriş görselleri veri seti .....                             | 44        |
| 3.2. Mimar Öğrencilerden Elde Edilen Veri Setleri .....                            | 47        |
| 3.2.1. KZFD uygulanmış giriş görselleri veri seti .....                            | 47        |
| 3.2.2. SDD uygulanmış giriş görselleri veri seti .....                             | 52        |
| 3.3. Anket Değerlendirmesi .....                                                   | 56        |
| 3.3.1. Mühendis katılımcı KZFD analiziyle Arousal sınıflaması .....                | 56        |
| 3.3.2. Mühendis katılımcı SDD analiziyle Arousal sınıflaması .....                 | 57        |
| 3.3.3. Mimar katılımcı KZFD analiziyle Arousal sınıflaması .....                   | 59        |
| 3.3.4. Mimar katılımcı SDD analiziyle Arousal sınıflaması .....                    | 60        |
| 3.3.5. Mühendis katılımcı KZFD analiziyle Valence sınıflaması .....                | 61        |
| 3.3.6. Mühendis katılımcı SDD analiziyle Valence sınıflaması .....                 | 63        |
| 3.3.7. Mimar katılımcı KZFD analiziyle Valence sınıflaması .....                   | 64        |
| 3.3.8. Mimar katılımcı SDD analiziyle Valence sınıflaması .....                    | 65        |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                               | <b>69</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                             | <b>71</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.2. Russell'in iki boyutlu uyarılma-değerlik ölçeği (Farhana ve diğ., 2023) .....                                                        | 11 |
| Şekil 2.3. Bir derin öğrenme model yapısı (Gong ve diğ., 2022).....                                                                             | 15 |
| Şekil 2.4. 1B konvolüsyon işlemi (Işık ve Artuner, 2016).....                                                                                   | 16 |
| Şekil 2.5. Doğrultulmuş Doğrusal Birimler (ReLU) aktivasyon fonksiyonu (İge ve Sibiya, 2024).....                                               | 17 |
| Şekil 2.6. Maksimum havuzlama işlemi (Akbar ve diğ., 2024) .....                                                                                | 18 |
| Şekil 2.7. Ortalama havuzlama işlemi (Akbar ve diğ., 2024) .....                                                                                | 18 |
| Şekil 2.8. EEG sinyalleri ile duygu tanıma akış diyagramı.....                                                                                  | 21 |
| Şekil 2.9. Deney düzeneğinde kullanılan uyaran görsel örnekleri .....                                                                           | 22 |
| Şekil 2.10. Deney düzeneğinde kullanılan Öz Değerlendirme Mankeni Anketi (SAM) (Gatti ve diğ., 2018).....                                       | 22 |
| Şekil 2.11. PsychoPy arayüzü.....                                                                                                               | 23 |
| Şekil 2.12. Deney düzeneği görsel şeması (Yeşilkaya ve diğ., 2020).....                                                                         | 24 |
| Şekil 2.13. Emotiv EPOC X kablosuz EEG başlığı .....                                                                                            | 25 |
| Şekil 2.14. Deney düzeneğinin katılımcıya uygulanarak EEG sinyal kaydı yapılması .                                                              | 26 |
| Şekil 2.15. FC6 kanalına ait ham EEG sinyali .....                                                                                              | 27 |
| Şekil 2.16. FC6 kanalına ait ham ve filtrelenmiş EEG sinyal bilgisi .....                                                                       | 28 |
| Şekil 2.17. FC6 kanalına ait normalizasyon uygulanmış EEG sinyal bilgisi .....                                                                  | 28 |
| Şekil 2.18. Birinci nötr (a) ve birinci negatif (b) görsel anlarında elde edilen sinyal bilgileri.....                                          | 29 |
| Şekil 2.19. Birinci pozitif (a) ve ikinci pozitif (b) görsel anlarında elde edilen sinyal bilgileri.....                                        | 29 |
| Şekil 2.20. Birinci nötr (a), birinci negatif (b), birinci pozitif (c) ve ikinci pozitif (d) görsel anlarında elde edilen KZFD görüntüleri..... | 31 |
| Şekil 2.21. Birinci nötr (a), birinci negatif (b), birinci pozitif (c) ve ikinci pozitif (d) görsel anlarında elde edilen SDD görüntüleri ..... | 32 |
| Şekil 2.22. Mimarlık öğrencisine ait pozitif etiketli KZFD görsellerinin kanal bazında görünümü .....                                           | 33 |
| Şekil 2.23. Mühendislik öğrencisine ait pozitif etiketli 3. Seviye SDD görsellerinin kanal bazında görünümü .....                               | 34 |
| Şekil 2.24. Basit ESA modeli .....                                                                                                              | 35 |
| Şekil 2.25. Mimarlık öğrencilerinin pozitif etiketli KZFD görsellerinin nihai görünümü .....                                                    | 36 |
| Şekil 3.1. Dört katmanlı basit ESA modeli için doğruluk ve kayıp grafiği.....                                                                   | 40 |
| Şekil 3.2. Dört katmanlı basit ESA modeli eğitim sonrası karışıklık matrisi.....                                                                | 40 |
| Şekil 3.3. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği .....                                                                 | 42 |
| Şekil 3.4. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği.....                                                  | 43 |
| Şekil 3.5. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği .....                                                                                    | 43 |
| Şekil 3.6. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği .....                                                                 | 46 |
| Şekil 3.7. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği.....                                                  | 46 |
| Şekil 3.8. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği .....                                                                                    | 47 |
| Şekil 3.9. MaxEpochs = 17 iken basit ESA modeli için elde edilen en yüksek sınıflama doğruluğu grafiği ve kayıp grafiği .....                   | 50 |
| Şekil 3.10. MaxEpochs = 17 iken eğitim sonrası karışıklık matrisi .....                                                                         | 50 |
| Şekil 3.11. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğrulukları .....                                                                     | 51 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.12.</b> Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği.....                  | 51 |
| <b>Şekil 3.13.</b> Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği .....                                                    | 52 |
| <b>Şekil 3.14.</b> Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği .....                                 | 54 |
| <b>Şekil 3.15.</b> Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği.....                  | 55 |
| <b>Şekil 3.16.</b> Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği .....                                                    | 55 |
| <b>Şekil 3.17.</b> Deney katılımcılarının cinsiyet (a) ve öğrenim gördükleri programlara (b) göre dağılım grafiği ..... | 67 |
| <b>Şekil 3.18.</b> Deney katılımcılarının yaş dağılımına göre kutu grafiği.....                                         | 68 |



## ÇİZELGELER LİSTESİ

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. Deneydeki katılımcılara ve deney veri setine ait bilgiler .....      | 24 |
| Çizelge 2.2. KZFD parametreleri .....                                             | 30 |
| Çizelge 2.3. SDD parametreleri.....                                               | 31 |
| Çizelge 2.4. Deney veri seti dağılımı .....                                       | 37 |
| Çizelge 2.5. Anket sonuçlarına göre deney veri seti dağılımı .....                | 38 |
| Çizelge 3.1. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....             | 39 |
| Çizelge 3.2. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları .....  | 41 |
| Çizelge 3.3. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....        | 41 |
| Çizelge 3.4. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....      | 42 |
| Çizelge 3.5. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....             | 44 |
| Çizelge 3.6. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları .....  | 44 |
| Çizelge 3.7. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....        | 45 |
| Çizelge 3.8. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....      | 45 |
| Çizelge 3.9. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....             | 48 |
| Çizelge 3.10. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 48 |
| Çizelge 3.11. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 48 |
| Çizelge 3.12. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 49 |
| Çizelge 3.13. Katman sayılarına göre elde edilen 1. deney sonuçları .....         | 52 |
| Çizelge 3.14. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 53 |
| Çizelge 3.15. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 53 |
| Çizelge 3.16. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 54 |
| Çizelge 3.17. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 56 |
| Çizelge 3.18. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 56 |
| Çizelge 3.19. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 56 |
| Çizelge 3.20. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 57 |
| Çizelge 3.21. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 57 |
| Çizelge 3.22. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 58 |
| Çizelge 3.23. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 58 |
| Çizelge 3.24. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 58 |
| Çizelge 3.25. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 59 |
| Çizelge 3.26. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 59 |
| Çizelge 3.27. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 59 |
| Çizelge 3.28. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 59 |
| Çizelge 3.29. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 60 |
| Çizelge 3.30. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 60 |
| Çizelge 3.31. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 61 |
| Çizelge 3.32. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 61 |
| Çizelge 3.33. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 61 |
| Çizelge 3.34. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 62 |
| Çizelge 3.35. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 62 |
| Çizelge 3.36. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 62 |
| Çizelge 3.37. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 63 |
| Çizelge 3.38. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 63 |
| Çizelge 3.39. Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....       | 63 |
| Çizelge 3.40. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....     | 63 |
| Çizelge 3.41. Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....            | 64 |
| Çizelge 3.42. MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları ..... | 64 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 3.43.</b> Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....                                                                | 65 |
| <b>Çizelge 3.44.</b> MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....                                                              | 65 |
| <b>Çizelge 3.45.</b> Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları.....                                                                     | 65 |
| <b>Çizelge 3.46.</b> MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları .....                                                          | 66 |
| <b>Çizelge 3.47.</b> Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları .....                                                                | 66 |
| <b>Çizelge 3.48.</b> MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları .....                                                              | 66 |
| <b>Çizelge 3.49.</b> Anket yanıtlarına göre oluşturulan veri seti ile her bir sınıf için elde edilen EEG tabanlı duygu tanıma sonuçları (%) ..... | 67 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| $\tau$ | : Öteleme parametresi |
| $An$   | : Yaklaşım katsayısı  |
| $b_j$  | : Sapma değeri        |
| $Dn$   | : Detay katsayısı     |
| $s$    | : Ölçek parametresi   |
| $\Psi$ | : Dalgacık fonksiyonu |

### Kısaltmalar

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| ADD  | : Ayrık Dalgacık Dönüşümü         |
| ESA  | : Evrişimli Sinir Ağları          |
| FN   | : Yanlış Negatif                  |
| FP   | : Yanlış Pozitif                  |
| LSTM | : Uzun-Kısa Vadeli Bellek         |
| ReLU | : Doğrultulmuş Doğrusal Birimler  |
| RNN  | : Tekrarlayan Sinir Ağları        |
| SAM  | : Öz Değerlendirme Mankeni Anketi |
| SDD  | : Sürekli Dalgacık Dönüşümü       |
| SVM  | : Destek Vektör Makinesi          |
| TN   | : Doğru Negatif                   |
| TP   | : Doğru Pozitif                   |

## 1. GİRİŞ

İnsanlığın doğası gereği kişiler arası iletişim oldukça önem arz etmektedir. Bu durum önemli olduğu gibi bilgisayar ve insan ilişkisi de iletişim için önemli bir konudur. İnsanların asıl duygularını anlayabilmek oldukça güç olduğundan insanlarda müdahale edemeyerek oluşan içsel duyguları EEG sinyal verileri kullanılarak duygu tanımada farklı birçok alada çalışmalar yapılarak tespit ve teşhis yapılmıştır.

Meydana gelen bir durum veya koşula karşı verilen tepki duygu olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle yaşamın devamlılığı için kişisel ve sosyal anlamda insanın varlığını belirleyen temel bir özellik oluşturmaktadır. İnsanın duygu durumundaki değişiklikler yüz ifadesi, kalp ritmindeki değişim ve sesindeki farklılıklar duyguyu görünür yapan etmenlerden bazılarıdır.

Duyguları gözlemlerken yüz ifadesi, ses tonu gibi davranışsal bileşenler gerçek duyguyu yansıtmayabilir. Bundan ötürü EEG, kalp atış hızı, solunum gibi fizyolojik bileşenler kontrol dışı belirteçler olduğundan duygu durumunu tahmin etmede oldukça etkilidir. Beyin faaliyetinin bir cihaz yardımıyla ve iletken elektrotlar aracılığıyla elde edilen EEG sinyalleri kayıt altına alınabilmektedir. EEG sinyalleri gerçek duygu durumunu tespit etmede kullanılmıştır. Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak duygu tahmin çıkarımları yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında bir derin öğrenme algoritması kullanılarak EEG tabanlı bir duygu tanıma sistemi oluşturmak amaçlanmıştır. Bu sistem ile bir derin öğrenme algoritmasının sınıflama performansına olan etkisi incelenerek insanlık adına birçok alanda kişiler arası veya insan-bilgisayar etkileşimiyle beyin bilgisayar arayüzü (BBA) gibi sistemlere fayda sağlayacaktır. 14 kanallı Emotiv EPOC X kablosuz EEG başlığı kullanılarak orijinal EEG sinyal verileri elde edilmiş ve bu verilere ön işlem uygulanmıştır. Ham EEG sinyallerine ön işlem uygulandıktan sonra doğru bir sınıflama yapabilmek ve yüksek sınıflama performansına ulaşabilmek için ön işlem uygulanan sinyallere Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ve 3. Seviye Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) uygulanarak zaman-frekans alanında analiz yapılmıştır ve görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler derin öğrenme ağına giriş olarak verilip sonuçta Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü katılımcı gruplarına ait bir sınıflama doğruluğu ve Mimarlık Bölümü katılımcı gruplarına ait farklı bir sınıflama doğruluğu daha elde edilmiştir.

### 1.1. Kaynak Araştırması

Literatür incelendiğinde derin öğrenme kullanılarak EEG tabanlı duygu tanıma ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürde yapılan bu çalışmalarından bazıları aşağıda verilmiştir.

Li ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada EEG sinyalleri iki boyutlu görsellere dönüştürülerek EEG Multidimensional Feature Image (EEG MFI) dizisi oluşturulmuştur. ESA, RNN ve LSTM (CLRNN) ile hibrit bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. EEG sinyalleri DEAP veri setinden elde edilmiştir. CLRNN ile ortalama duygu sınıflama doğruluğu 75.21% olarak elde edilmiştir. ESA kullanmadan LSTM ve RNN derin öğrenme modelleri kullanılarak Alhagry ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada EEG tabanlı duygu tanıma için DEAP veri seti kullanılmıştır. DEAP veri setinde uyarıcı olarak 40 adet video klipler yer almaktadır. Ham EEG sinyalleri, derin öğrenme metodu olan LSTM RNN’de kullanılarak önerilen çalışmada uyarılma, değerlik ve beğenme eksenlerinde sırayla 85.65%, 85.45% ve 87.99% yüksek doğruluk elde edilmiştir.

Moon ve diğ. (2018) ve Qiao ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada ise DEAP veri seti ile EEG sinyalleri elde edilmiştir. Sınıflandırıcı için iki çalışmada da ESA ağı kullanılmıştır. Çalışmaların birbirinden farkı sırayla farklı beyin bölgelerinde duygu tanıma ve çok denek ile performans eldesidir. Bu çalışmalar sırasıyla 99.72% ve 87.27% doğruluk oranına sahip olmuştur.

Salari ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada DEAP veri seti aracılığıyla EEG sinyalleri kullanılarak ve temel derin öğrenme algoritmaları ile sınıflandırma yapılmıştır. Sarıkaya ve İnce, (2017) tarafından yapılan çalışmada ise yalnızca komedi, korku ve hüzn duygularını içeren filmler uyarıcı olarak kullanılmıştır. Sırasıyla ESA ve YSA kullanılarak 68.59% ve 87% doğrulukta sınıflama elde edilmiştir. Derin öğrenme modellerinden oldukça sık tercih edilen ESA algoritmasıyla Rayatdoost ve Soleymani (2018), Wang ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada EEG sinyalleri kullanılarak derin öğrenme yöntemleri ile duygu tanıma yapılmıştır. Derin öğrenme algoritmalarından ESA ile sınıflandırma yapılarak sırasıyla 71.78% ve 83.88% doğruluk elde edilmiştir.

Kwon ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada da ESA kullanılarak duygu tanıma sistemi oluşturulmuştur. DEAP veri seti ile EEG sinyalleri ve galvanic skin response (GSR) sinyallerinin kombinasyonu yapılarak ESA ile sınıflama performansı ölçülmüştür. İki sınıf sınıflamada elde edilen performans diğer çalışmalara göre en

yüksek değerde elde edilmiştir. Önerilen ESA model ile uyarılma için 76.56% ve değerlik için 80.46% elde edilmiştir. Dört sınıf sınıflamada ise 73.43% doğruluk elde edilmiştir.

Yang ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada DEAP veri setinden elde edilen EEG sinyalleri kullanılarak yapılan duygu tanıma çalışmasında yeni bir multi column ESA model önerilmiştir. Önerilen model bir ESA modül ile kıyaslanmıştır ve mevcut modellere göre daha yüksek doğruluk elde etmiştir. LSTM, ESA, SVM gibi çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile kıyaslama yapılan çalışmada değerlik ve uyarılma için sırayla 90.01% ve 90.65% doğruluk elde edilmiştir.

Garg ve diğ. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada DEAP veri setinden alınan EEG sinyalleri birleşik LSTM adlı yeni önerilen derin öğrenme modelinde kullanılmıştır. Oluşturulan bu sınıflama ile duygu tanıma için doğruluk oranları elde edilmiştir. Değerlik, uyarılma, baskınlık ve beğenme sınıflamaları için sırayla 84.89%, 83.85%, 84.37% ve 80.72% doğruluk oranlarına ulaşılmıştır.

Zhang ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada EEG tabanlı duygu tanıma için DEAP veri seti kullanılmıştır. Derin öğrenme yöntemlerinden birkaçı olan ESA, LSTM, DNN ve hibrit derin öğrenme yöntemi olarak ESA-LSTM modellerinin ham EEG verileri ile duygu tanımda performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Farklı modellerden elde edilen performanslar DNN için 63.99%, ESA için 90.12%, LSTM için 67.47% ve hibrit model ESA-LSTM için 94.17% doğruluk değerlerindedir. En yüksek performans hibrit model ile elde edilirken en düşük performans DNN modelinde gözlemlenmiştir.

Phan ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada DEAP veri seti kullanılarak 32 kanaldan elde edilen sinyaller ve frekans bantları arasındaki korelasyon duygu tanıma performansı için incelenmiştir. Derin öğrenme modeli olan 2B ESA model ile uyarılma ve değerlik için sırayla 98.27% ve 98.36% performans elde edilmiştir. İki sınıf sınıflamada uyarılma için en yüksek doğruluk 94.28% ile Beta-Gama frekans bandında elde edilmiştir. İki sınıf sınıflamada değerlik için 94.00% ile yine Beta-Gama frekans bandında en yüksek doğruluk elde edilmiştir. Dört sınıf sınıflamada da 93.04% doğruluk ile en yüksek performansa Beta-Gama frekans bandında ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Topic ve Russo (2021) tarafından yapılan bir çalışmada EEG sinyalleri kullanılarak topografik ve holografik sırayla TOPO-FM ve HOLO-FM özellik haritalarına bağlı bir model önerilmiştir. DEAP, SEED, DREAMER ve AMIGOS olmak üzere dört farklı veri setleri kullanılarak hibrit (ESA + Destek Vektör Makinesi (SVM)) derin öğrenme yöntemiyle sınıflama yapılmıştır. Kullanılan veri setleri arasında en

yüksek performansa ulaşan 90.54% ile AMIGOS veri setidir. Topografik ve holografik özelliklere bakıldığında HOLO-FM özellik haritası kullanıldığında TOPO FM özellik haritasına göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında özellik haritalarının kullanılarak hibrit derin öğrenme yöntemiyle sınıflama yapılması daha yüksek sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Chao ve Dong (2021) tarafından yapılan çalışmada genel kullanıma açık DEAP veri seti kullanılmıştır. 32 denek, 40 adet müzik video klipleri izlerken EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Ardından her denek tarafından duygusal bir yanıt anketi olan self assesment manikin (SAM) tamamlanmıştır. Uyarılma ve değerlik ölçekleri ile iki duygu etiketi ve dört duygu etiketi olarak sınıflandırma yapılmıştır. Girdi olarak 3B özellik matrisi ve ESA kullanılarak yeni çok kanallı EEG tabanlı duygu tanıma metodu önerilmiştir. Önerilen ESA tek değişkenli ve çok değişkenli konvolüsyon katmanından oluşmaktadır ve diğer yöntemlere göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. 2B özellik matrisi ve 3B özellik matrisi ESA'ya girdi olarak verilmiş ve kıyaslama yapılmıştır. 2B özellik matrisi ve 3B özellik matrisi kullanıldığında uyarılma ekseninde duygu tanıma doğruluğu sırasıyla 83.75% ve 85.88% olarak elde edilmiştir. 2B özellik matrisindeki ve 3B özellik matrisindeki değerlik ekseninde ise duygu tanıma doğruluğu sırasıyla 83.13% ve 85.53% olarak elde edilmiştir. Dört duygu etiketi ile yapılan sınıflamada ise 2B özellik matrisinin ve 3B özellik matrisinin kullanımıyla duygu tanıma doğruluğu sırasıyla 73.67% ve 76.77% olarak elde edilmiştir. Böylece 3B özellik matrisinin performansı 2B özellik matrisinin performansından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Li ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada EEG elektrot kanallarının azaltılması ve bireysel farklılıkların performansa olumsuz etkilerini önlemek amacıyla experiment level batch normalizasyonu ile yeni bir duygu tanıma yaklaşımı hedeflenmiştir. Veri seti için SJTU Emotion EEG Dataset (SEED) kullanılmıştır. Lojistik regresyon (LR) ile sınıflandırma yapılmıştır. 6 farklı set kullanılarak elektrot kanal sayısı seçimi öncelikle tüm 58 elektrot kanalı sonra sırayla 55 elektrot kanalı, 48 elektrot kanalı, 37 elektrot kanalı, 26 elektrot kanalı ve 9 elektrot kanalı olmak üzere azaltılarak yapılmıştır. Tüm kaynak kanallarından gelen sinyallere göre kıyasla temporal lobdaki 9 kanaldan alınan sinyaller ile 89.63% doğruluk ile daha iyi sonuç alındığı gözlemlenmiştir.

Pandey ve Seeja (2022) tarafından yapılan çalışmada felçli veya yanmış bir yüz gibi durumlar nedeniyle denekten bağımsız olarak duygu tanıma tekniği önerilmiştir. Özellik çıkarma tekniği olarak Variational Mode Decomposition (VMD) kullanılmıştır.

Sınıflandırıcı olarak derin öğrenme ağı (DNN) önerilerek DEAP veri seti kullanılmıştır. Bağımsız denek ile ilgili yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında özellik çıkarmada VMD, sınıflandırıcıda DNN seçimiyle daha iyi performans elde edildiği uyarılma ve değerlik ekseninde sırayla 61.25% ve 62.50 doğruluk elde edilerek gözlemlenmiştir.

Topic ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada DEAP, DREAMER, AMIGOS ve SEED veri setleri kullanılarak 3B duygusal uzayda değerlik-uyarılma-baskınlık eksenlerinde duygu analizi yapılmıştır. Her veri seti için HOLO-FM özellik haritaları Computer-Generated Holography (CGH) algoritması ile çıkarılarak sinyal karakteristikleri elde edilmiştir. Sınıflama için derin öğrenme algoritmalarından ESA kullanılmıştır. 2B konvolüsyonel kernel filtre boyutu 2x2 pikseldir. Kanal seçimleri ve ESA ile yapılan çalışmada değerlik, uyarılma ve baskınlık için en yüksek doğruluklar DREAMER veri setinde elde edilerek sırayla 90.76%, 92.92% ve 92.97% performans gözlemlenmiştir.

Kim ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada 3B ESA ile darboğaz (bottleneck) modülü ESA-BN, EEG tabanlı duygu tanıma için oluşturulmuştur. DEAP veri seti kullanılarak oluşturulan model ile uyarılma için 99.1% ve değerlik için 99.5% ortalama doğruluk elde edilmiştir. ESA-BN algoritması daha az parametreye sahip olmasıyla diğer ESA tabanlı duygu tanıma sistemlerine göre daha iyi sonuç üretmiştir.

Chowdary, Anitha, ve Hemanth (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada EEG Brain Wave veri seti kullanılarak derin öğrenme algoritmaları olan RNN, LSTM ve GRU kullanılarak bu algoritmalar arasında kıyaslama yapıldığında sırayla 95%, 97% ve 96% doğruluk elde edildiği ve en yüksek performansa ulaşan algoritmanın LSTM model olduğu gözlemlenmiştir.

Yao ve diğ. (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada DEAP veri seti kullanılarak çok kanallı EEG sinyallerine dayalı yeni bir derin öğrenme yöntemi önerilerek mekânsal ve uzaysal bir özellik yapısı kullanılarak performans analizi yapılmıştır. Önerilen derin öğrenme yöntemi dilated bottleneck-based CNN (DBCN) ile bağımlı denek ve bağımsız denek kıyaslaması yapıldığında uyarılma-değerlik için sırayla 90.93% ve 83.98% doğruluk elde edilmiştir.

Wang ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada farklı boyutlarda iki konvolüsyonel kernel filtresi kullanılarak 2B ESA ağı önerilmiştir. DEAP veri seti kullanılarak uyarılma ve değerlik için ikili sınıflama yapılmıştır. Bağımsız denek seçimi ile yapılan bu çalışmada değerlik için 99.99% doğruluk, uyarılma için 99.98% doğruluk elde edilmiştir.

Hu ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada duygu sınıflaması için DEAP veri seti kullanılmıştır. EEG sinyalleri filtrelenerek sürekli dalgacık dönüşümünden (CWT) zaman frekans haritasına dönüştürülmüştür. Bu sinyal giriş verisi olarak kullanılarak CNN-BiLSTM-Multi Head Self Attention (MHSA) model ile özellik çıkarımı yapılmıştır. Temel model olan LSTM ile en düşük doğruluk 71.53% elde edilmiştir. ESA-LSTM hibrit model ile doğruluk 84.13%'e yükseltilmesine rağmen bu çalışma için önerilen modelden daha düşük performans elde edilmiştir. Yeni önerilen model ile 94.58% doğruluğa ulaşılmıştır.

Cui ve diğ. (2022) tarafından yapılan çalışmada DEAP ve SEED veri setlerinden EEG sinyalleri elde edilmiştir. Bu çalışmada DE-CNN-BiLSTM adlı yeni bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. 4B özellik tensörleri giriş verisi olarak kullanılarak ESA ağına sunulmuştur. Mevcut duygu tanıma modelleri ile karşılaştırıldığında DEAP ve SEED veri setleri için sırayla 94% ve 94.82% doğruluk elde edilmiştir.

Yuvaraj ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada beş farklı EEG sinyallerini içeren veri seti kullanılarak performans karşılaştırması yapılmıştır. Bağımsız denekten oluşan MANHOB-HCI, DEAP, SEED, AMIGOS ve DREAMER veri setleridir. Fractal Dimension Regression Cart (FD-CART) ile yapılan sınıflamada en yüksek performans SEED veri seti ile değerlik için 96.50% doğruluk elde edilmiştir. DREAMER veri seti ile uyarılma için 91.60% doğruluk elde edildiği gözlemlenmiştir.

Zhao ve diğ. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada negatif duygular yerine pozitif duyguların tespit ve sınıflaması hedeflenmiştir. Beş adet olumlu duygu içeren eğlence, mutluluk, romantizm, sevecenlik ve coşkunluk 5 adet film klibi 17 erkek, 20 kadın olmak üzere toplam 37 sağlıklı katılımcıyla izletilmiştir. Lineer regresyon ve lineer olmayan model LSTM ile duygu tahmini yapılmıştır. Pozitif duyguları çok hedefli tanıma ile değerlendirmedeki amaç, insanların bir pozitif duygulu film klip izlerken tek bir duygu hissetmeyip aynı anda birden fazla pozitif duygu durumu içerisinde olabilmesidir. 30 kanaldan elde edilen EEG sinyalleri 1-45 Hz bant geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Multimedya İçerik Analizi (MCA) ile özellik çıkarımı yapılarak Regresör Zincirleri Topluluğu (ERC) ve LSTM regresyon model ile RMSE değeri 8.325 olarak elde edilmiştir.

Tao ve diğ. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada DEAP ve DREAMER veri setleri kullanılarak EEG sinyallerinden ayırt edici özellikleri daha çoğunlukta çıkarmayı ve doğruluk oranını duygu tanıma için arttırmayı hedefleyerek dikkat temelli evrimsel tekrarlayan sinir ağı (ACRNN) önerilmiştir. Önerilen model ile kanal bazlı ve

genişletilmiş öz dikkat bazlı düzenekler aynı anda modele verilmektedir. Bu model, uzamsal ve temporal duygu bilgilerini aynı anda elde etmektedir ve duygu tanıma için oldukça yüksek ortalama doğruluk değerlerine ulaşılmıştır.

Awan ve diğ. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada AMIGOS ve DEAP veri setleri kullanılarak mevcut duygu tanıma tekniklerinden daha iyi sonuç veren topluluk sınıflandırıcı olan bir CNN-Vision Transformer (CVT) yöntemi önerilmiştir. Ön işleme adımında EEG, EKG ve GSR sinyallerine bant geçiren filtre uygulandıktan sonra bağımsız bileşen analizi ve dalgacık dönüşümü ile skalogram görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler modele giriş olarak kullanılıp ilk adımda SVM, Random Forest ve LSTM sınıflandırıcıların bir arada kullanımıyla 94.5% doğruluk elde edilmiştir. İkinci olarak benzer ön işlemin yanı sıra ayırık dalgacık dönüşümü ve 1B ESA ile Vision Transformer kullanılarak topluluk sınıflandırıcının da kullanımıyla 98.20% doğruluk, 98.40% duyarlılık ve 99.53% özgüllük değerlerine ulaşılmıştır.

Wang ve diğ. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada önerilen modelde Random Forest Weights (RFWs) ve 4-boyutlu Konvolüsyonel Yinelemeli Sinir Ağı (4DCRNN) birleşimi ile EEG sinyalleri kullanılarak duygu tanıma yapılmıştır. RFW ile EEG sinyallerinin yüksek boyuta sahip özellik uzaylarını ve özellik ve etiket arasındaki karmaşık durum incelenmiştir. 4DCRNN ile sinyal verilerinin uzamsal-temporal özellikleri elde edilmiştir. DEAP ve SEED veri seti kullanılarak bu model ile Subject-dependent durumunda sırasıyla 94.98% ve 94.21% ortalama doğruluklar elde edilmiştir.

Nalwaya ve Pachori (2024) tarafından yapılan bir çalışmada Fourier-Bessel domeni uyarlanabilir dalgacık dönüşümü (FBDWT) ile EEG sinyallere modlara ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan her moddan Lyapunov bileşen özellikleri elde edilmiştir. Yaş aralığı 18 ve 45 olan 19 kadın, 20 erkek olmak üzere toplam 39 sağlıklı denekten 10 farklı kanaldan elde edilen sinyaller, 9 farklı mod ile incelenmiştir. Uyaran olarak mutlu, üzgün, korku ve nötr duyguları tespit etmede 85s – 150s aralığındaki görsel-işitsel klipler kullanılmıştır. Duygu tespitinde ESK, QDA, KNN ve SVM sınıflamaları kullanılmıştır ve en yüksek ortalama doğruluğa 96.91% ile ESK ulaşmıştır.

Qu ve diğ. (2024) tarafından yapılan çalışmada optimum kanal seçimi yapılarak duygu tanıma doğruluk oranını arttırmak amacıyla yeni bir hibrit derin öğrenme modeli olan TFBOC-WOHDNN önerilmiştir. Bu model ile beyin aktivitelerinin topolojik özellikler çıkarılarak belirlenen kanal sayısına göre önemli bilgileri bulunduran kanal seçimi yapılmıştır. 12 kanal seçildiğinde EEG duygu tanıma için en yüksek doğruluk değeri olan 99.97% olarak elde edilmiştir.

Bagherzadeh ve diğ. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada transfer entropi (TE), partial directed coherence (PDC) ve direct directed transfer fonksiyonu (dDTF) kullanılarak duygu durumları için EEG sinyal bilgilerinin görüntüleri elde edilmiştir. Bu görüntüler altı farklı ESA ağında eğitilerek duygu sınıflama yapılmıştır. Kullanılan altı farklı ESA ağlarının LSTM ile birleşimi yapılarak duygu tanıma doğruluk performansı arttırılmıştır. DEAP ve MANHOB-HCI veri setleri kullanılarak LSTM ile birleştirilmiş üç farklı ESA modeller EfficientNetB0-LSTM, NasNet-Mobile-LSTM, ResNet-50-LSTM olmak üzere bu modellerin çıktıları gruplanarak yapılan sınıflama sonrası ortalama doğruluk sırasıyla 98.76% ve 98.66% olarak sonuçlanmıştır.

Zhang ve Cheng (2024) tarafından yapılan bir çalışmada duygu tanıma için elde edilen EEG sinyallerinin sayıca fazla elektrotlardan kaydedilmesi, dönüştürücülerin ve diferansiyel entropinin (DE) özellik çıkarımında yetersiz kalması performansı etkilemektedir. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için 14 kanal seçilerek özellik çıkarma yöntemlerinden DE ve signed spectrum sum (SS) kullanılarak multi-head self-attention mechanism (MSA) ve feed-forward network (FFN) transformer kodlayıcılarını içeren bir ESA ağı önerilmiştir. Önerilen CIT-NET model ile SEED-IV ve SEED-V veri setleri kullanılarak yapılan sınıflamada sırasıyla 98.50% ve 99.00% doğruluk elde edilmiştir.

Arslan ve Yıldırım, (2021) tarafından yapılan bir çalışmada Afyonkarahisar ilindeki geleneksel Türk evlerinin orijinal cepheleri ve düzenleme yapılmış cepheleri için tercih durumu değerlendirilmiştir. Cinsiyet, mimar ve mimar olmayan gruplar ile kıyaslama yapılmıştır. Bu araştırmada katılımcıların orijinal yapıdaki geleneksel Türk Evi cephesini daha çok beğendikleri sonucuna ulaşılmıştır (Arslan ve Yıldırım, 2021).

Khaleghimoghaddam ve diğ., (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise pozitif uyarıcı olarak hoş yerler ve negatif uyarıcı olarak hoş olmayan yerleri temsil eden görüntüler 32 adet katılımcıya gösterilmiştir. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ile analiz yapıldığında mimari niteliklerin belirli beyin bölgelerindeki kan akışını değiştirebildiği gözlemlenmiştir.

Arslan ve Yıldırım, (2023) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise seçilen stadyum yapılarının cephe, dış cephe formu, dış cephe rengi ve çatılarına göre sınıflandırma yapılarak beğenilebilirlik, karmaşıklık, etkileyicilik, aşinalık ve çevreye uygunluk sıfat çiftleri ile anlamsal farklılık ölçeği kullanılmıştır. Tek yönlü varyans analizi yöntemiyle cinsiyet ve meslek gibi değişkenlerin de etkisi incelenmiştir. Sonuçta dairesel formlu ve nötr renkli stadyum yapılarının daha olumlu, kadınların erkeklere göre daha

olumsuz ve mimarların ise mimar olmayanlara göre daha olumlu sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Literatür incelendiğinde duygu durumlarını etkileyen uyarıcılar olarak müzik/video klipleri, video içeriğiyle ilgili kokuların eş zamanlı olarak deney ortamında belirli bir süre bulundurulması (Wu ve diğ., 2024), oyun oynama (Almanza-Conejo ve diğ., 2024) ve pozitif ve negatif uyarıcı olarak yer fotoğraflarının katılımcılara gösterilmesi ele alınmıştır. Mimari yapı fotoğraflarının gösterilmesiyle beyin bölgesindeki kan akışının değiştiği de gözlemlenmiştir. Literatür çalışmalarında mimari yapı fotoğraflarının cephe, dış cephe rengi gibi çeşitli faktörlere göre katılımcılara anket uygulanarak duygu değerlendirmeleri de yapılmıştır. Bu bağlamda, mimari yapıların kişiler üzerinde duygusal ve fizyolojik etkiler oluşturduğu gözlemlendiğinden mimari yapıların duygusal etkilerinin EEG sinyalleri üzerindeki etkisini incelemek için bu tez çalışmasında katılımcılara nötr, pozitif ve negatif kategorilerindeki uyarıcı mimari yapıların eşit sürelerde gösterilerek orijinal EEG sinyallerinin kaydedilmesi sonucunda derin öğrenme kullanılarak sınıflama yapılması amaçlanmıştır. İnsanların duyguları, dış görünüşlerindeki faktörlere göre tam olarak tespit edilmeyebilmektedir. Çevredeki beşeri yapıların dahi insanlar üzerinde duygusal durumlarının yanında fizyolojik etkileri de oluşabildiği için gerçek duygu tespitinde EEG sinyalleri oldukça önemli bir göstergedir.

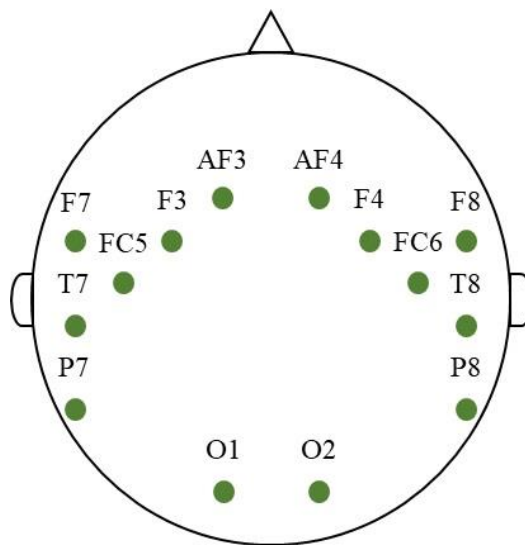
Literatürde genellikle hazır veri seti kullanılarak duygu tanıma sınıflamaları yapılmıştır. Bu tez çalışmasında orijinal EEG sinyalleri kaydedilerek bu sinyallere zaman-frekans analizi uygulandıktan sonra derin öğrenme kullanarak duygu tanıma yapılmıştır. Tez çalışmasını oluşturan EEG tabanlı duygu tanıma sistemi ile derin öğrenme algoritmasının sınıflama performansı incelenerek gerçek duygu tespitinin yapılabildiği ve böylece insanlar için oluşacak faydaları kişiler arası olabileceği gibi insan-bilgisayar etkileşimli beyin bilgisayar arayüzü (BBA) sistemlerine de olumlu yönde etkileri olacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde beyin aktivitelerinin meydana getirdiği EEG sinyal verileri kullanılarak duygu tespiti ve duygu tanıma konuları incelenmiştir.

### 2.1. Elektroensefalogram (EEG)

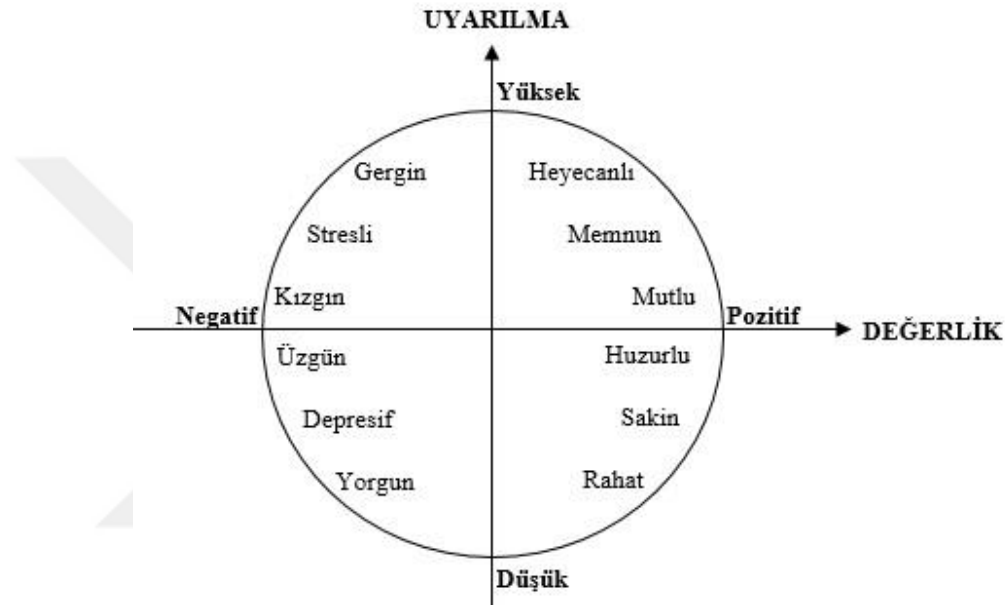
Beyinde meydana gelen elektriksel aktiviteleri kayıt altına almak amacıyla kafa derisine çeşitli sayıdaki elektrotların konumlandırıldığı bir cihazdır (Cohen, 2014; Cao, Guo, ve Su, 2016). 14 kanallı bir elektorencefalogram (EEG) cihazının baş kısmına elektrot yerleşimi Şekil 2.1’de görülmektedir. EEG sinyalleri, çeşitli frekanslarda beyin dalgalarına sahiptir. Farklı frekans bantları ile nörolojik tespitler ve duygu tanıma tespitleri yapılabilmektedir. Bu beyin dalgaları beş adet olup Delta dalgaları 0.5 - 4 Hz bant aralığında derin uyku ve rüya görme halidir. Teta dalgaları, 4 – 8 Hz bandında yer alan düşünme ve stres durumudur. Alfa dalgaları 8 – 12 Hz bant aralığındaki sakin, rahat ve dinlenme durumudur. Beta dalgaları 12 – 30 Hz frekans bantlarındaki dikkatli olma, meşgul ve zihnin aktif olduğu durumları ifade etmektedir. Gama dalgaları ise 30 Hz’den büyük frekanslara sahip olup motor becerilerinin kullanıldığı, problem çözme hali ve yoğunlaşma gibi durumlarda bulunma halidir (Engemann ve diğ., 2018; Amer ve Belhaouari, 2023).



Şekil 2.1. 14 kanal elektrot yerleşimi (Zhang ve Cheng, 2024)

## 2.2. Duygu Durumları

Russell ve Mehrabian (1977) tarafından önerilen iki boyutlu bir eksen üzerinde değerlik yatay eksende iken uyarılma dikey eksende ölçeklenmiştir. Değerlik eksenini pozitif duygulardan negatif duygulara doğru bir ölçeklendirmeye sahipken uyarılma yüksek ve düşük aralığında derecelendirilmiştir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi bu eksenler arasındaki kalan her bir bölge bir duygu durumunu ifade etmektedir.



Şekil 2.2. Russell'in iki boyutlu uyarılma-değerlik ölçeği (Farhana ve diğ., 2023)

## 2.3. Veri Ön İşleme

Ön işleme adımında birçok önemli adımlar bulunmaktadır. Ham EEG sinyal verileri, duygu durumlarıyla herhangi bir ilintisi olmayan sinyalleri barındırabilmektedir. Bu sinyal verileri gürültü, göz kırpma ve göz hareketi artefaktları gibi gereksiz bilgileri içerebilir. Ön işleme adımında EEG sinyal kaydındaki bu gereksiz bilgiler çıkarılmaktadır. Ayrıca referans çizgisi sinyallerin kaldırılması, zaman pencerelerinin bölümlenmesi ve sinyalin filtrelene işlemleri de ön işleme adımında gerçekleştirilmektedir. Ön işleme adımı, EEG duygu tanıma sınıflandırmasında başarı oranını artırma yönünde oldukça etkilidir (Cai ve diğ., 2021; Chu ve diğ., 2023).

## 2.4. Zaman – Frekans Analizleri

Durağan olmayan EEG sinyallerine bazı özellik çıkarım yöntemleri uygulanmaktadır. Bunlardan birkaçı zaman-frekans domeninde uygulanan Dalgacık Dönüşümü (DD) ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüdür (KZFD). Bir örnekleme periyodu boyunca işlenmiş sinyal, zaman pencereleri ile bölünecektir. Ardından belirlenen özellik çıkarım yöntemleri uygulanmaktadır. Bunlar, uzamsal-temporal, temporal, frekans, zaman–frekans alanında uygulanan özellik çıkarma yöntemlerinden oluşabilmektedir (Li ve diğ., 2023). Bu yöntemlerden bazıları kullanılarak temizlenmiş EEG sinyallerinden özellik çıkarımı yapılmıştır (Özşen ve diğ., 2016).

### 2.4.1. Dalgacık dönüşümü (DD)

Zaman-frekans domeninde sinyallerin temsilinde kullanılan yöntemlerden biri olan Dalgacık Dönüşümü (DD); özellik çıkarma, sinyal sıkıştırma ve sinyaldeki istenmeyen gürültülerden arındırma gibi durumlar için yaygın olarak tercih edilmektedir. Sinyallere farklı boyutlarda pencere uygulayarak DD, yüksek frekans bileşenleri için dar pencere, düşük frekans bileşenleri için ise geniş pencere kullanarak işlem yapmaktadır. DD, iki farklı başlıkta incelenmektedir. Bunlar, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)'dür (Qu ve diğ., 2020; Efe, 2022).

### 2.4.2. Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD)

ADD, durağan olmayan EEG sinyallerini zaman ve frekans alanındaki sinyal özelliklerini analiz etmek için tercih edilen bir yöntemdir. ADD, ana fonksiyon işlevi ile EEG sinyallerini çeşitli fonksiyonlara ayırmaktadır. ADD işlevi Denklem 2.1'deki gibidir.

$$F(x, y) = \frac{1}{\sqrt{x}} \int \psi \left( \frac{t-y}{x} \right) dt \quad (2.1)$$

Burada  $x$ , ölçeklendirme parametresi;  $y$  kaydırma parametresidir. Dalgacık fonksiyonu ise  $\psi$  ile temsil edilmektedir. ADD ile yüksek geçiren filtreler ve alçak geçiren

filtreler aracılığıyla EEG sinyaline ayrıştırma işlemi uygulanmaktadır. Filtrelenmiş EEG sinyali yaklaşım ( $An$ ) ve detay ( $Dn$ ) katsayılarına ayrılmaktadır (Alsharabi ve diğ., 2022).

#### 2.4.3. Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD)

Sinyalin yerel detaylarına odaklanan Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD), her ölçekte dalgacık dönüşümü yaparak sinyal işleme için süreksizlik ve cıvıltı (chirp) sinyali tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Nash, 2002; Du, Kibbe, ve Lin, 2006; Zhou ve diğ., 2022). SDD, zaman ve frekans bilgisini eş zamanlı göstermektedir (Daubechies, 1990). Bir sinyal  $x(t)$  ile ifade edilirse bu sinyalin SDD ifadesinin matematiksel gösterimi Denklem 2.2'deki gibidir.

$$SDD(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (2.2)$$

Burada,  $\tau$  öteleme parametresi,  $s$  ölçek parametresi,  $\Psi(t)$  dalgacık fonksiyonudur. Dalgacık fonksiyonu ana dalgacık olarak da adlandırılır. Kompleks eşlenik ise (\*) sembolü ile temsil edilmektedir. Öteleme parametresi, ana dalgacığın zaman serisi boyunca kaydırılarak farklı ölçeklerdeki dalgacıkların zaman serisinin başından sonuna kadar hareket etmesini sağlamaktadır. Zaman serisine uygulanan ölçek parametresi ile ölçeklendirmenin kapsamı belirlenmekte olup frekansla ters orantılıdır. Daha küçük ölçekler, yüksek frekanslı bileşenleri yakalayan sıkıştırılmış zaman serilerine karşılık gelirken, daha büyük ölçekler, düşük frekanslı bileşenleri vurgulayan uzatılmış zaman serilerine karşılık gelmektedir (Davarci ve Anarim, 2023).

#### 2.4.4. Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (KZFD)

KZFD, durağan olmayan EEG sinyallerinde zaman-frekans analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. KZFD ile sinyal değişimine ait ayrıntılı bilgiler elde edilmektedir. KZFD, sinyali durağan varsayarak sabit genişlikte pencere kullanımıyla sinyal bölümlere ayrılmaktadır ve bu bölümlerin frekansını ve zamanını belirleyen bilgiler içermektedir. Pencere zaman içinde değiştiğinden KZFD ile bir denge işlevi sağlanır. Böylelikle karşılık gelen zaman noktalarında sinyalin frekans bilgisini göstermektedir. Sinyalin kısa bölümleri  $u$  merkezli hareketli bir  $g(t)$  penceresi

kullanılarak alınır ve bu bölümler üzerinde KZFD gerçekleştirilir. KZFD, Denklem 2.3'teki gibi tanımlanmıştır (Hailong ve Guangju, 2008).

$$Y(w, u) = STFT \{f(t)\} = \int_R f(t)g(t - u)e^{-j\omega t} dt \quad (2.3)$$

KZFD spektrogramı ise aşağıdaki Denklem 2.4'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$E(w, u) = |Y(w, u)|^2 \quad (2.4)$$

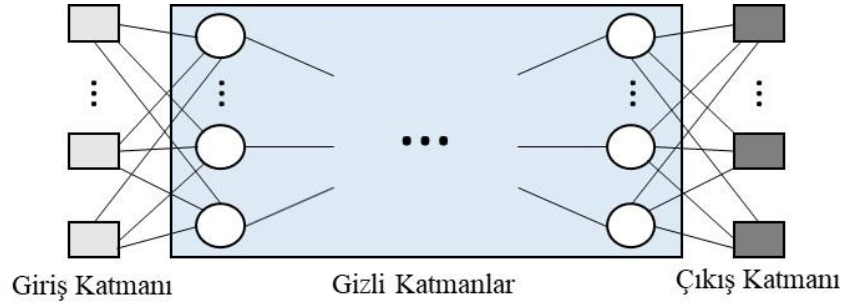
Her bir zaman bilgisine karşılık gelen KZFD'nin enerji yüzey dağılımı spektrumlar için elde edilerek bu spektrumların toplamı da spektrogram olarak adlandırılmaktadır (Rashed-Al-Mahfuz ve diğ., 2021).

## 2.5. Sınıflandırma

Ön işleme yapılan EEG sinyal verilerine zaman-frekans analizleri uygulandıktan sonra bu veriler bir ağa giriş olarak verilir ve duygu tanıma için sınıflandırma yapılır. Literatür incelendiğinde sınıflandırma adımında genellikle derin öğrenme yöntemleri kullanılarak başarı oranı hesaplanmıştır.

## 2.6. Derin Öğrenme

Makine öğrenmesinin bir alt kategorisi olan derin öğrenme, geliştirilen çeşitli uygulama alanları ile yaşamı ve insanlığın yaşam tarzını önemli ölçüde etkilemektedir. Derin öğrenme, insan beyninin görme merkezindeki yapının düzeninden ilham alınarak oluşturulan bir geleneksel sinir ağının geliştirilmiş versiyonu olarak kabul edilmektedir. Derin öğrenme terimindeki derin sıfatı, uzun-sıralı mimarilerden oluşan çoklu işlem katmanlarını ifade etmektedir. Derin öğrenme modelleri Şekil 2.3'teki gibi bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bir veya birden fazla sayıda da gizli katmanlar içermektedir (Gong ve diğ., 2022).



Şekil 2.3. Bir derin öğrenme model yapısı (Gong ve diğ., 2022)

### 2.6.1. Evrişimli sinir ağları (ESA)

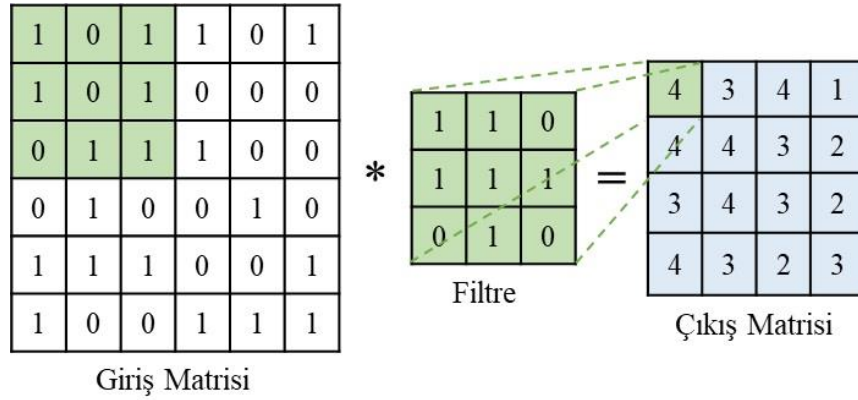
Derin öğrenme alanında sinir ağlarının en önemlilerinden biri olan Evrişimli Sinir Ağları (ESA), yüz tanıma, otonom araçlar ve akıllı tıbbi tedaviler gibi birçok kullanım alanına sahiptir. ESA, yapısında birçok konvolüsyon yapıları bulunduran ve bu yapılar sayesinde özellik çıkarımını otomatik yapabilen bir geri beslemeli sinir ağıdır. Biyolojik nöronlar, yapay bir nörona benzetildiğinde belirli bir eşik değerinin üzerinde elektriksel sinyaller meydana gelmektedir. Bu elektriksel sinyallerin bir sonraki nörona iletilme işlemini ise aktivasyon fonksiyonları temsil etmektedir. ESA için istenen öğrenme durumunu gerçekleştirmede öğretme yapan kayıp fonksiyonları ve optimizasyon işlemleridir (Li ve diğ., 2022).

ESA, giriş verilerine işlemler uygulayan katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlar temelde havuzlama katmanları ve tam bağlı katmanlardır. Evrişimli katmanlar ile özellik haritaları üretmek için filtreler kullanılarak giriş verileri analiz edilmektedir (Krizhevsky, Sutskever, ve Hinton, 2012; Jadeja ve diğ., 2023).

#### 2.6.1.1. Evrişimli katman

Evrişimli kernellerden oluşan evrişimli katman, giriş görsellerinden özellik çıkarmada önemli rol oynamaktadır. Filtre olarak da adlandırılan evrişimli kerneller görsel boyunca kayma adımı değerinde kayarak daha küçük matrislere bölünmektedir. Filtre ağırlıkları ile bölünen küçük matrislerdeki piksel değerleri arasında konvolüsyon işlemi gerçekleştirilir. Böylece bir özellik haritası meydana gelmektedir (Khanam ve diğ., 2024). Şekil 2.4'te bir boyutlu (1B) 6x6 boyutlu evrişimli sinir ağına uygulanan 3x3 boyutundaki filtre uygulanmasıyla elde edilen 4x4 boyutlu özellik haritasını temsil eden çıkış matrisi görülmektedir. Burada filtre, giriş matrisi üzerinde bir adım kaydırılarak

özellik haritası oluşturulmuştur. Giriş matrisindeki her bir piksel değeri ile filtrenin her bir ağırlık her bir satır ve sütundaki karşılık gelen değeri ile çarpılıp ardından toplanmıştır.



$$\begin{aligned}
 &1 \times 1 + 0 \times 1 + 1 \times 0 + \\
 &1 \times 1 + 0 \times 1 + 1 \times 1 + \\
 &0 \times 0 + 1 \times 1 + 1 \times 0 = 1 + 0 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 = 4
 \end{aligned}$$

Şekil 2.4. 1B konvolüsyon işlemi (Işık ve Artuner, 2016)

#### 2.6.1.2. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonu, insan beynindeki nöronlar gibi bir sonraki nörona gönderilecek bilgileri seçmektedir. Sinir ağındaki her nöron, önceki katmandaki nöronların çıktı değerlerini girdi olarak alır ve bu değerleri işlemektedir. Ardından bu işlenen değerler bir sonraki katmana geçmektedir (Li ve diğ., 2022). Bir sinir ağında aktivasyon fonksiyonu kullanılarak modelin öğrenilmesi tamamlanarak karmaşık doğrusal olmayan fonksiyonların anlaşılması sağlanmaktadır (Cheng ve Kuo, 2022). Aktivasyon fonksiyonuna ait Denklem 2.5'te,

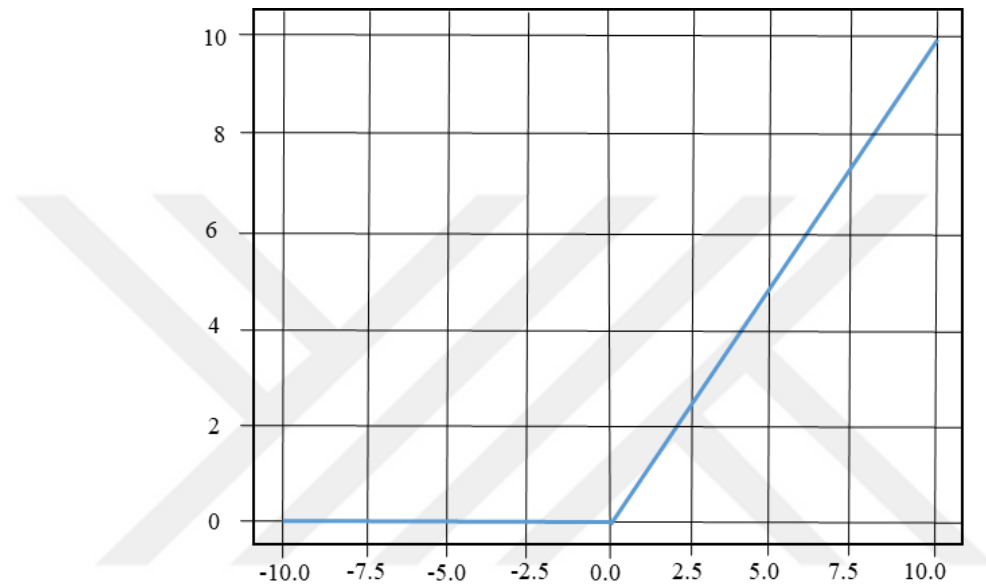
$$y_j = f\left[\sum_{i=1}^n (x_i \times w_{ij}) + b_j\right] \quad (2.5)$$

girdi değeri  $x_i$ ,  $n$  adet girdiler,  $w_{ij}$  ise  $x_i$  ve  $j$  arasındaki bağlantıların ağırlıklarıdır. Bu da,  $b_j$  sapma değeridir ve  $y_j$ ,  $j$  nöronunun çıkışıdır. Bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak Doğrultulmuş Doğrusal Birimler (ReLU) kullanılmıştır. Şekil 2.5'te ReLU aktivasyon fonksiyonu grafiği verilmiştir. ReLU kullanılarak negatif giriş değerleri 0'a dönüştürülür ve pozitif değerler korunmaktadır. Bu aktivasyon fonksiyonu genellikle hesaplama bakımından daha verimlidir. Gradyan yok olması dezavantajını azaltan bir fonksiyon türü olduğu gibi modelin geri yayılım esnasında gradyan öğrenmesi ve

yayılması işlemlerini kolaylaştırmaktadır (Ige ve Sibiya, 2024). Bu tez çalışmasında ReLU aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir ve Denklem 2.6'da ReLU fonksiyonunun matematiksel ifadesi verilmiştir.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2.6)$$

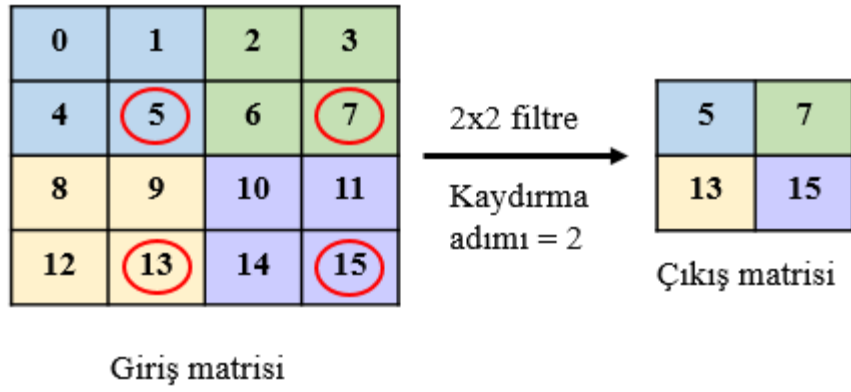
Burada,  $x$  nörondaki girişi ifade etmektedir (Khanam ve diğ., 2024).



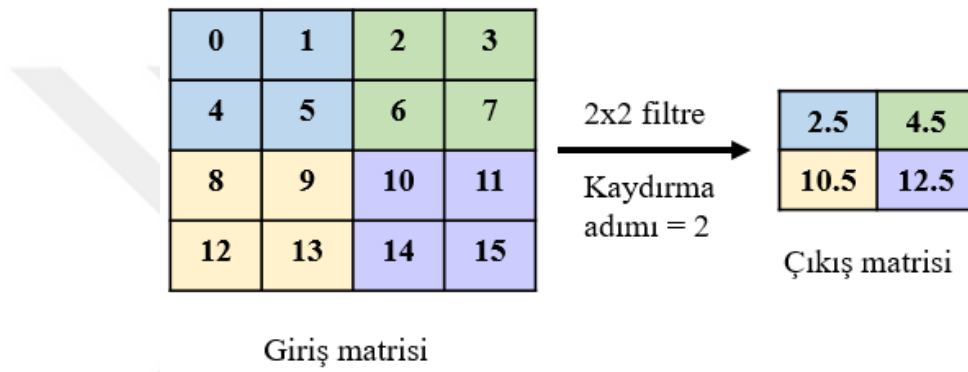
Şekil 2.5. Doğrultulmuş Doğrusal Birimler (ReLU) aktivasyon fonksiyonu (Ige ve Sibiya, 2024)

### 2.6.1.3. Havuzlama katmanı

Her özellik haritasına bağımsız olarak uygulanan havuzlama katmanı, boyut azaltarak ortalama veya maksimum havuzlama katmanı yöntemleri bulunmaktadır. Boyut azaltmada bilgi kaybı meydana gelmektedir fakat bu kayıp sayesinde hesaplama karmaşıklığında azalma oluşmaktadır (Khanam ve diğ., 2024). Şekil 2.6'da maksimum havuzlama işlemi, kaydırma adımı 2 alınarak filtrenin giriş matrisine uygulanarak filtrenin bulunduğu alandaki maksimum değerin alınmasıyla çıkış matrisi elde edilmiştir. Şekil 2.7'de ise filtrenin bulunduğu alandaki değerlerin aritmetik ortalaması alınarak çıkış matrisi oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasında maksimum havuzlama katmanı basit ESA ağında kullanılarak boyut azaltma işlemi yapılmıştır.



Şekil 2.6. Maksimum havuzlama işlemi (Akbar ve diğ., 2024)



Şekil 2.7. Ortalama havuzlama işlemi (Akbar ve diğ., 2024)

#### 2.6.1.4. Tam bağlı katman

Bir ESA'da bulunan tam bağlı katman, evrişimli katmanların düzleştirdiği özellikleri alarak sınıflandırma yapmaktadır. Tam bağlı katmanda bulunan her nöron, önceki katmandaki her çıktıya bağlanarak tahminler yapmaktadır. Özellik çıkarımı ve örüntü tanıma bu katmanda gerçekleşmektedir (Saini, Satija, ve Upadhayay, 2022; (Begum ve diğ., 2024).

#### 2.6.1.5. Batch normalizasyon katmanı

Bir ağı hızlandırmak ve ağı başlatma hassasiyetini azaltmak amacıyla batch normalizasyon kullanılmaktadır. Bu katman, bir sinir ağı boyunca yayılan aktivasyonları ve gradyanları normalize ederek ağ eğitimi daha kolay bir optimizasyon problemi haline getirmektedir (Ioffe ve Szegedy, 2015; J. Wu ve Yang, 2021).

### 2.6.1.6. Seyreltme katmanı (Dropout)

Dropout ile eğitim esnasında nöronların bir kısmı rastgele olarak pasif hale getirilerek model iyileştirilmektedir. Ayrıca aşırı öğrenme problemini önlemek amacıyla son sınıflandırma aşamasından önce dropout katmanı kullanılmaktadır (Srivastava ve diğ., 2014; Wardat ve Al-Alaj, 2024).

### 2.6.2. Performans ölçümleri

Sınıflandırma problemlerinde doğruluk, hassasiyet ve özgüllük gibi çeşitli performans ölçümleri bulunmaktadır. Bu ölçümler, doğru ve yanlış tahminlerin değerlendirilmesiyle elde edilmektedir (Davarci ve Anarım, 2023). Bu tez çalışmasındaki pozitif sınıflama gerçek data olarak kabul edildiğinde tahmin edilen data da pozitif sınıflamaya ait olduğunda doğru pozitif (TP), tahmin data negatif ve nötr sınıflamaya ait olduğunda yanlış negatif (FN), bu işlemde pozitif data halen gerçek data olarak kabul edildiğinden negatif ve nötr sınıflama gerçek data olarak alındığında ve pozitif sınıflama tahmin data olarak ele alınırsa burada yanlış pozitif (FP), gerçek data negatif ve nötr, tahmin data da negatif ve nötr sınıflamalarında ise doğru negatif (TN) hesaplamaları elde edilmiş olacaktır (Kömürcü, 2021). Bu hesaplamalar, tez çalışmasında 3 sınıf sınıflama yapıldığından her bir sınıf için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Özetle, Doğru Pozitifler (TP), pozitif olarak doğru şekilde sınıflandırılan pozitif sınıf örneklerinin sayısını ifade etmektedir. Doğru Negatifler (TN), negatif olarak doğru şekilde sınıflandırılan negatif sınıf örneklerinin sayısını, Yanlış Negatifler (FN), hatalı bir şekilde negatif olarak sınıflandırılan pozitif sınıf örneklerinin sayısını ve Yanlış Pozitifler (FP), hatalı bir şekilde pozitif olarak sınıflandırılan negatif sınıf örneklerinin sayısını ifade etmektedir. Doğruluk, Denklem 2.7'deki gibi toplam örnek sayısına göre doğru tahmin edilen örneklerin oranını temsil etmektedir. Hassasiyet, pozitif sınıf örneklerini Denklem 2.8'deki gibi hesaplamaktadır. Özgüllük ise negatif sınıf örneklerini Denklem 2.9'daki gibi tespit etmektedir (Cai ve diğ., 2024).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (2.7)$$

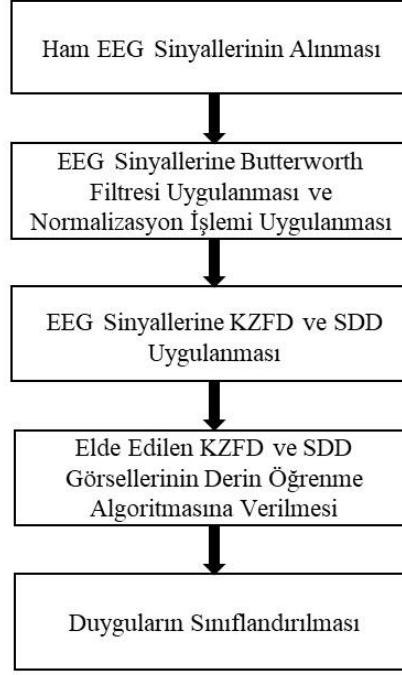
$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2.8)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2.9)$$

## 2.7. Duygu Tanıma

Duygu tanıma için literatürde ikili ya da dörtlü sınıflama yapılarak duygu etiketleri oluşturulmuştur. İkili sınıflamada High-Valence (HV) ve Low-Valence (LV) sınıfları bulunmaktadır. Dörtlü sınıflamada ise High-Valence-High-Arousal (HVHA), Low-Valence-High-Arousal (LVHA), Low-Valence-Low-Arousal (LVLA) ve High-Valence-Low-Arousal (HVLA) sınıflamaları bulunmaktadır. Burada HVHA sınıfı mutlu duygu durumunu, LVHA sınıfı kızgın duygu durumunu, LVLA sınıfı depresif duygu durumunu ve HVLA sınıfı ise sakin duygu durumunu ifade etmektedir. Şekil 2.2'deki gibi uyarılma-değerlik ölçeğine göre sınıflar oluşturulmaktadır. Bu ölçek 1-9 arasındaki puanlandırmaya göre değerlendirildiğinde puan 5'ten büyük ise High, 5'ten küçük ise Low adını almaktadır. Dolayısıyla ikili sınıflamanın ilki Low sınıf (LA ve LV), diğeri ise High (HA ve HV) sınıf olmaktadır (Fang ve diğ., 2019). Çalışma amacına bağlı olarak duygu ölçeğindeki duygular gruplandırılarak sınıflama yapılmaktadır. Yapılan bir çalışmada nötr bir ifadeden duygusal ifadelerle doğru değişen görseller katılımcıya izletilmiştir. Katılımcılar gördükleri yüz ifadelerini sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada negatif, pozitif ve nötr olmak üzere duygu tanıma gruplarına göre sınıflama performansı hesaplanmıştır (Rutter, Norton, ve Brown, 2020). Başka bir çalışmada ise katılımcılara film izletilerek EEG sinyalleri kaydedilmiştir ve üzgün, pozitif ve nötr sınıflamasına göre performans hesaplanmıştır (Doma ve Pirouz, 2020).

EEG sinyalleri ile duygu tanıma sisteminde ilk olarak deneklerden kanallar aracılığıyla EEG sinyalleri alınmaktadır. Elde edilen bu sinyaller ham EEG verileridir. Ön işleme adımı olarak ham EEG verilerine Butterworth filtre uygulandıktan sonra sinyallere normalizasyon işlemi yapılmıştır. Tüm bu ön işleme uygulamalarından sonra EEG sinyallerine KZFD ve SDD uygulanarak zaman-frekans domeninde görseller elde edilerek basit ESA algoritmasına giriş olarak verilmiştir. Pozitif, negatif ve nötr etiket bilgilerine göre elde edilen görseller, derin öğrenme algoritması kullanılarak duyguların sınıflandırma aşaması tamamlanmıştır (Li ve diğ., 2023). Şekil 2.8'de duygu tanıma adımları verilmiştir.



Şekil 2.8. EEG sinyalleri ile duygu tanıma akış diyagramı

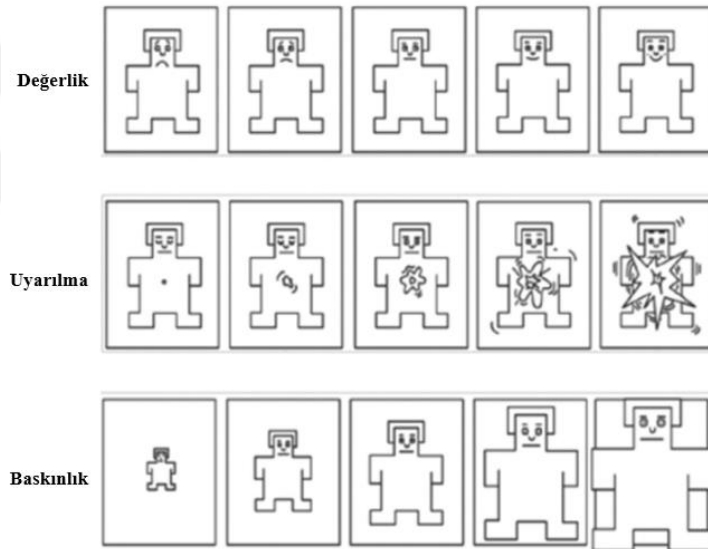
### 2.7.1. Deneysel düzenek ve EEG sinyallerinin kaydı

#### 2.7.1.1. Görsel seçimi ve Öz Değerlendirme Mankeni Anketi (SAM)

Bu tez çalışmasında, açık kaynak olarak sunulan ikonik ve sıradan mimari yapı fotoğraflarına erişilerek toplam 83 fotoğraf alınmıştır. Bu fotoğrafların 68 adedi pozitif-etkileyici kategorisinde iken geriye kalan 15 adet fotoğraf ise negatif-sıradan kategorisindedir. Negatif-sıradan kategorisine 30 adet fotoğraf kişisel çekim yapılar eklenmiştir. Fotoğrafların çözünürlükleri ve çekim açıları dikkate alınarak 25 adet fotoğraf pozitif-etkileyici kategorisinden ve 25 adet fotoğraf negatif-sıradan kategorisinden seçilmiştir. Deneyde kullanılacak toplam fotoğraf adedi 50 olarak belirlenmiştir. Şekil 2.9'da seçilen fotoğrafların birkaçı verilmiştir. Kullanıcılara gösterilen her pozitif veya negatif uyaran fotoğraf için duygu durumlarını değerlendirmek amacıyla deney esnasında Öz Değerlendirme Mankeni Anketi (SAM) uygulanmıştır. Şekil 2.10'da deneklere deney esnasında uygulanan SAM anketi verilmiştir. Bu anket formunda 1 ile 5 arasında bir değerlendirme yapıp değerlik, uyarılma ve baskınlık olmak üzere üç farklı ölçek bulunmaktadır. Deneye katılan kullanıcılar duygularını bu üç ölçekte değerlendirmişlerdir.



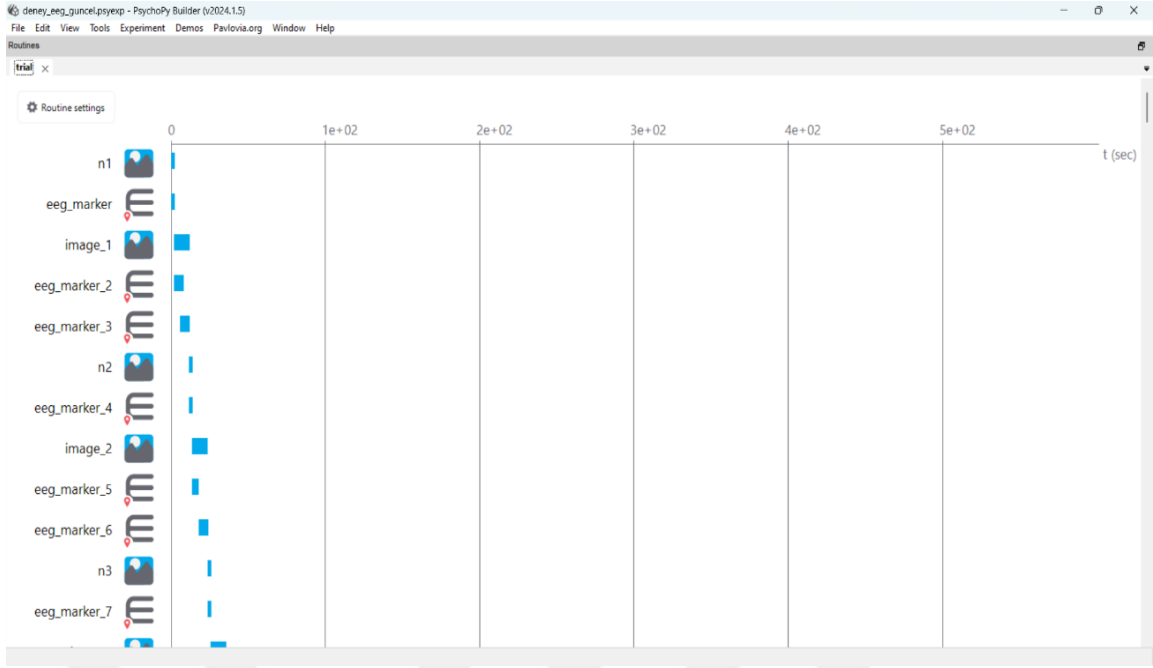
Şekil 2.9. Deney düzeneğinde kullanılan uyaran görsel örnekleri



Şekil 2.10. Deney düzeneğinde kullanılan Öz Değerlendirme Mankeni Anketi (SAM) (Gatti ve diğ., 2018)

### 2.7.1.2. Deney düzeneği

Deneye katılan kullanıcılara seçilen fotoğrafları göstermek için açık kaynaklı Psychopy programı kullanılmıştır. Şekil 2.11’de Psychopy programına ait bir arayüz verilmiştir. EEG sinyal bilgilerini elde etmek için 14 kanallı EpocX EEG cihazı kullanılarak deney düzeneğinin uygulanacağı ortam sessiz ve karanlık bir odada gözetmen eşliğinde uygulanmıştır.



Şekil 2.11. PsychoPy arayüzü

Deneye katılan kullanıcılara 2 saniye nötr etiketli siyah bir fotoğraf gösterildikten sonra 4 saniye uyaran fotoğraf gösterimi yapılmıştır. Ardından 6s'lık anket tamamlama süresinde her uyaran fotoğraf için deney sırasında SAM anketi tamamlanmıştır. Deney sonunda ise 1 saniyelik deneyin bittiğine dair bilgi sunulmuştur. Deney süresi toplam 10 dakika 1 saniyedir. Deney düzenğinde kullanılan görseller nötr, negatif ve pozitif etiketlere sahip yapılardır. Negatif uyaranlar için apartman, okul binaları ve ofis binaları gibi sıradan yapılar kullanılmıştır. Negatif uyaran görselleri olarak Borriello (2021), Rodrigues de Souza (2017), Mitrofan (2019), Mohabier (2017), Gülyanar (2016), Alp (2023) ve Cobija (2015) ve ToprakM (2021) tarafından oluşturulan görüntülerden faydalanılmıştır.

Pozitif uyaranlar için ise Sidney Opera Binası (Wilde, 2018), Haydarpaşa Garı (Myararat83, 2006), Eyfel Kulesi (Kassis, 2019) ve Kulezyum (Meghega, 2023) gibi ikonik ve modern yapılar kullanılmıştır. Diğer pozitif uyaran görseller ise Alvarado (2021), Ashoor (2017), Meghega (2023), RickieTomSchünemann (2022), Larionov (2022), Akarsu (2023), Smith (2015), Winkler (2020), Gambarov (2023), Mondal (2018), Geijil (2023), Sharma (2020), Panchenko (2020), Cont (2022), Baumeister (2019), Ayan (2019), Brito (2022), Elif D (2020), Pixabay (2016) ve Picchiottino (2021) tarafından oluşturulan görüntülerden oluşmaktadır.

Şekil 2.12’de kullanıcılara uygulanan deney düzeneğinin görsel şeması verilmiştir.



Şekil 2.12. Deney düzeneği görsel şeması (Yeşilkaya ve diğ., 2020)

### 2.7.1.3. Deney katılımcıları

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi’nde Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında en az 2. sınıfta öğrenim gören 4 katılımcı ve Mimarlık Fakültesi’nde Mimarlık anabilim dalında 4. sınıfta öğrenim gören 4 katılımcı araştırmaya gönüllü olarak katılmışlardır. Katılımcıların yaşları 19-25 aralığındadır. Deney çalışmasında bulunanların 3’ü kadın katılımcı, 5’i ise erkek katılımcıdan oluşmaktadır. Deneyde bulunan katılımcılara ve deney için oluşturulan veri setine ait detaylı bilgiler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

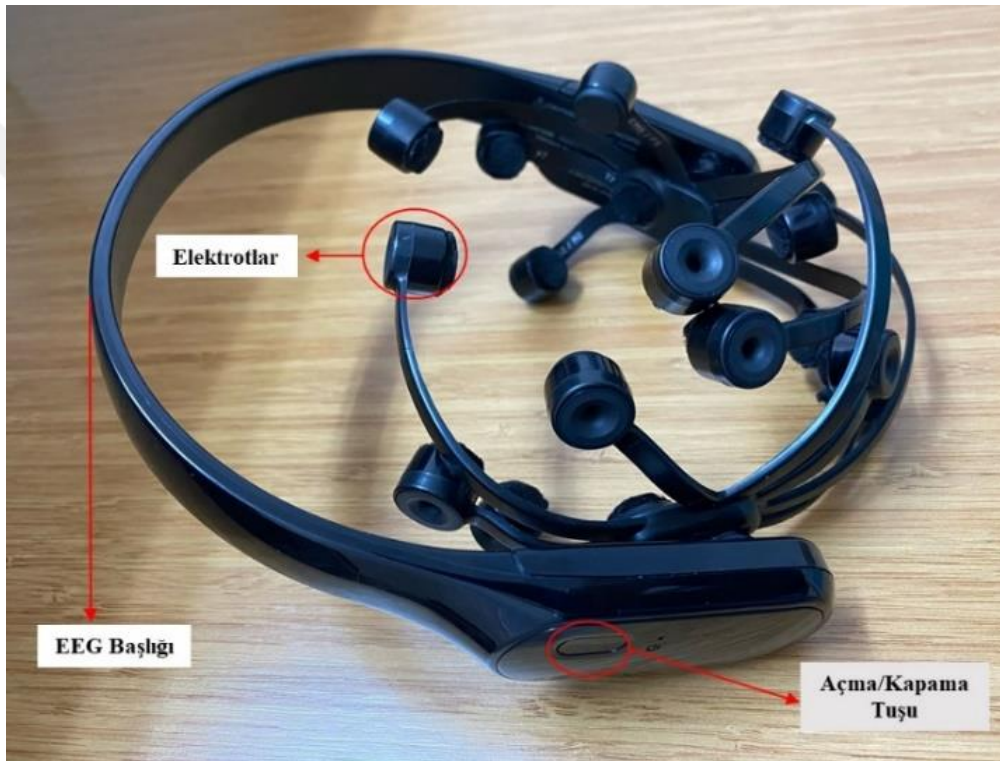
Çizelge 2.1. Deneydeki katılımcılara ve deney veri setine ait bilgiler

| Denek     |                                                                                                      |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yaş       | 20-24 yaş                                                                                            |
| Sayı      | 8 (kadın: 3, erkek: 5)                                                                               |
| Uyaran    |                                                                                                      |
| Fotoğraf  | Uzunluk: 12 s (poz: 4 s, nötr: 2 s, neg: 4 s) / bir tekrar<br>Sayı: 100 (poz: 25, nötr: 50, neg: 25) |
| Veri Seti |                                                                                                      |
| Boyut     | 10 dk. 1 s                                                                                           |
| Cihaz     | 14 kanallı EEG                                                                                       |
| Ölçek     | Örnekleme oranı 256 Hz                                                                               |

### 2.7.1.4. EEG sinyallerinin kaydı

EEG sinyal verileri alınmadan önce deney amacına uygun ve aynı zamanda gönüllü denekler belirlenmektedir. Uygun öğrenim düzeyi, yaş aralığı, sağlıklı olma durumları ve cinsiyet dağılımları belirlenerek katılımcıların seçilmesi uygun durum

oluşturabilmektedir. Katılımcı seçiminin ardından EEG sinyallerinin alınması için uygun ortam oluşturulmalıdır. Gürültülü olmayan ve karanlık bir ortam EEG sinyallerinin daha verimli bir şekilde kayıt altına alınmasını etkilemektedir. Deney için kullanılacak EEG başlıkları katılımcının baş kısmına uygun konumlarda yerleştirilerek kayıt alma işlemine hazır hale getirilmektedir. Çalışma amacına bağlı olarak oluşturulan deneysel tasarım katılımcıya sunularak EEG sinyalleri eş zamanlı olarak kayıt altına alınmaktadır. Şekil 2.13'te 10/20 sistemde (Gwizdka ve diğ., 2017) konumlandırılan 14 kanallı elektrotlara sahip bir Emotiv kablosuz EEG başlığı görülmektedir.



**Şekil 2.13.** Emotiv EPOC X kablosuz EEG başlığı

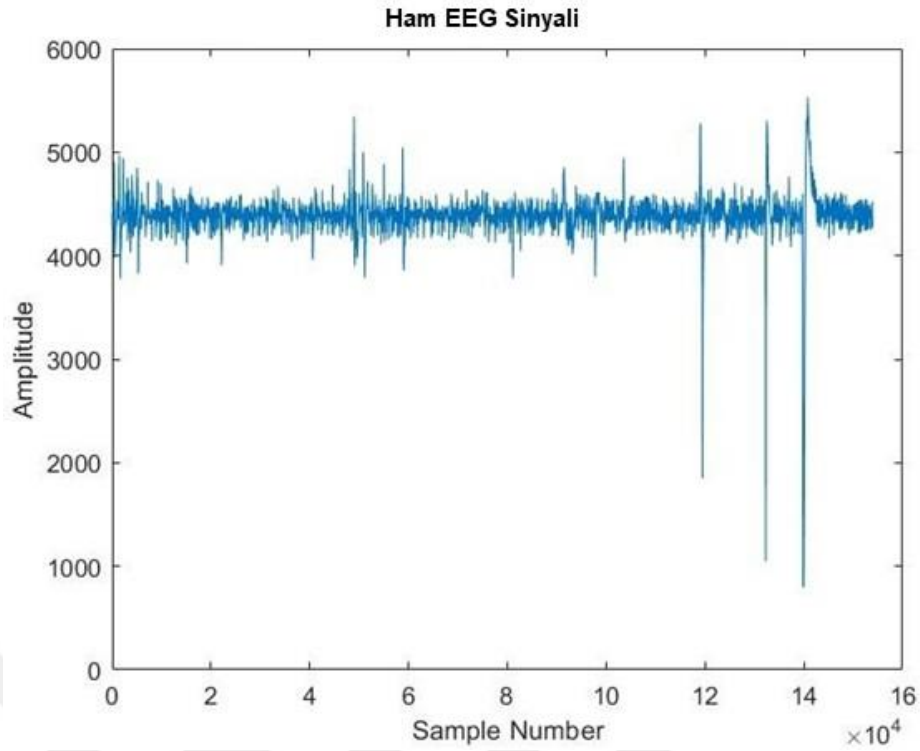
PsychoPy programında deney düzeneği kullanıcılara gösterilirken eş zamanlı ve gerçek zamanlı EEG sinyalleri EmotivPro uygulamasıyla kaydedilmiştir. Şekil 2.14'te pozitif etiketli ikonik mimari yapıların PsychoPy programı kullanılarak gösterilmesi ve ardından öğrencilerin deney esnasında anketi uygulamaları görülmektedir.



Şekil 2.14. Deney düzeneğinin katılımcıya uygulanarak EEG sinyal kaydı yapılması

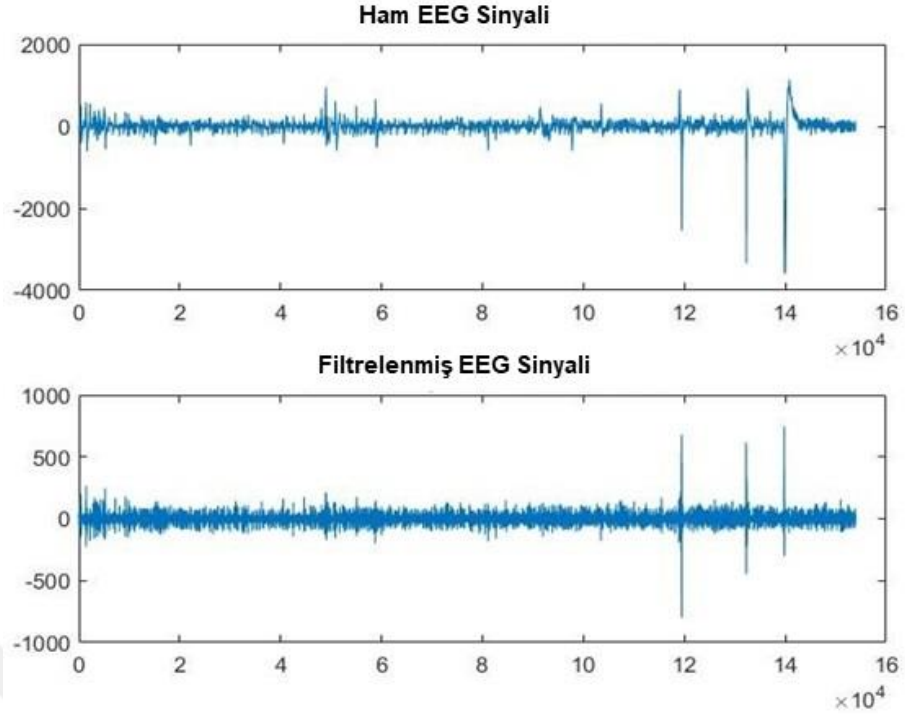
#### 2.7.1.5. Sinyal ön işleme

Ham EEG sinyalleri 2 s, 4 s ve 6 s'lik üç farklı epoklara ayrılmıştır. Epoklara ayrılan bu sinyallere ön işlemler uygulanmıştır. Filtreleme için Butterworth filtre kullanılmıştır. Kesim frekans noktaları 0-32 Hz olacak şekilde filtre uygulanmıştır. Mimar bir öğrenciden alınan ham EEG sinyalinin görüntüsü Şekil 2.15'teki gibidir.



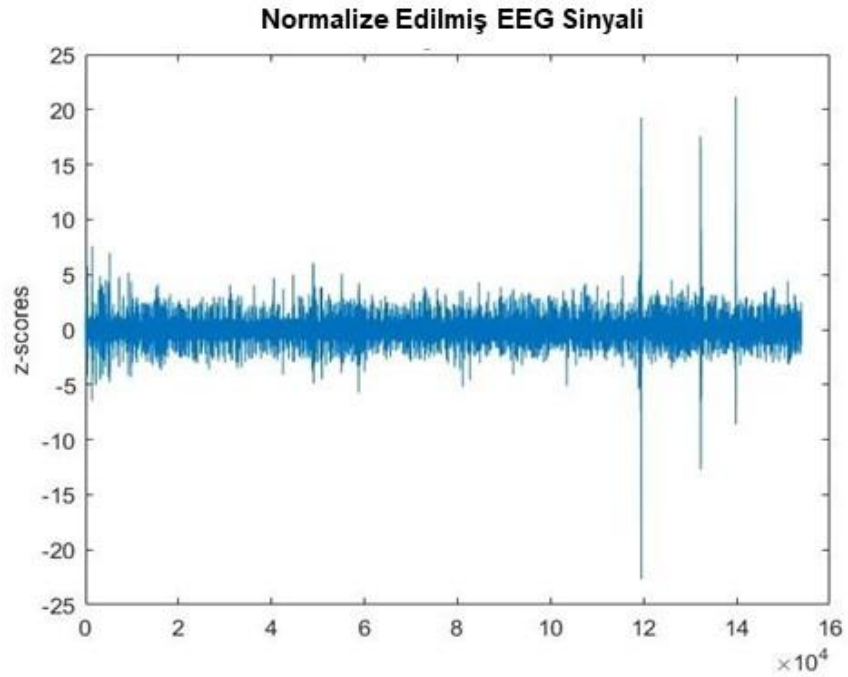
Şekil 2.15. FC6 kanalına ait ham EEG sinyali

Yukarıdaki ham EEG sinyalinin boyutu 153943x68 double boyutundadır. Örnekleme frekansı 256 Hz'dir. Örnek sayısı 153943 olan ham sinyalin 2 saniyelik epok sayısı =  $2 \times 256 = 512$  örnek, 4 saniyelik epok sayısı =  $4 \times 256 = 1024$  örnek, 6 saniyelik epok sayısı =  $6 \times 256 = 1536$  örnek sayısı elde edilmiştir. Sinyalin toplam uzunluğu 153943'tür ve sinyalin sonundaki  $6 \times 256$  (anket bilgisi) ve  $1 \times 256$  (deney sonu bilgisi) adet örnek sinyal bilgisine ihtiyaç yoktur. Bu nedenle toplam 1792 örnek sinyalden çıkarılmıştır. Geriye kalan toplam gerekli sinyal bilgisi 152151 örnek olmuştur. Bu katılımcıya ait FC6 kanalına ait sıfır referans noktasına yerleştirilen ham EEG sinyali ve filtrelenmiş sinyal bilgisi Şekil 2.16'da görülmektedir.



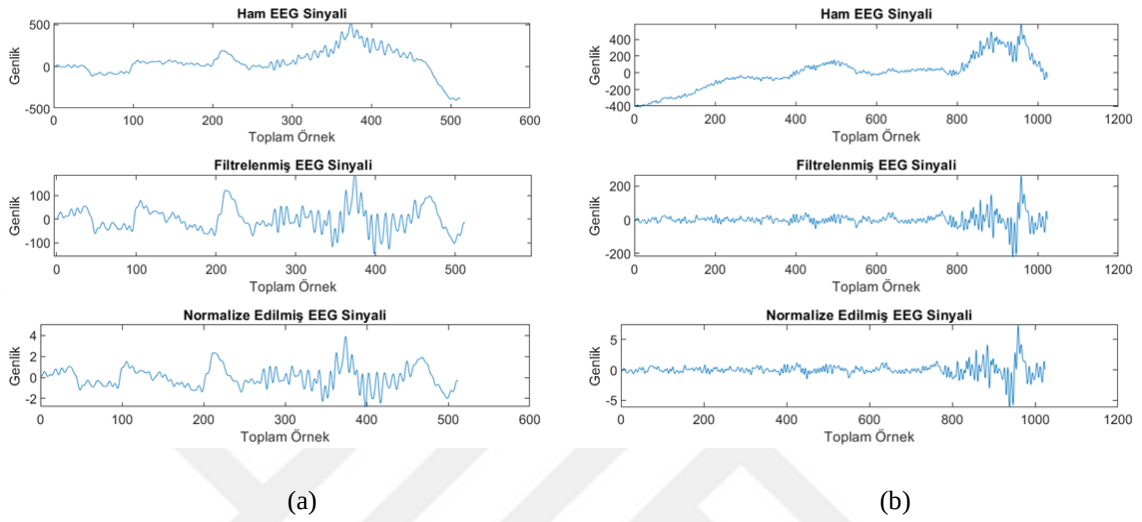
**Şekil 2.16.** FC6 kanalına ait ham ve filtrelenmiş EEG sinyal bilgisi

FC6 kanalına ait sinyalin filtrelenmesinin ardından z-score kullanılarak normalize edilmiş sinyal bilgisi Şekil 2.17’de görülmektedir.

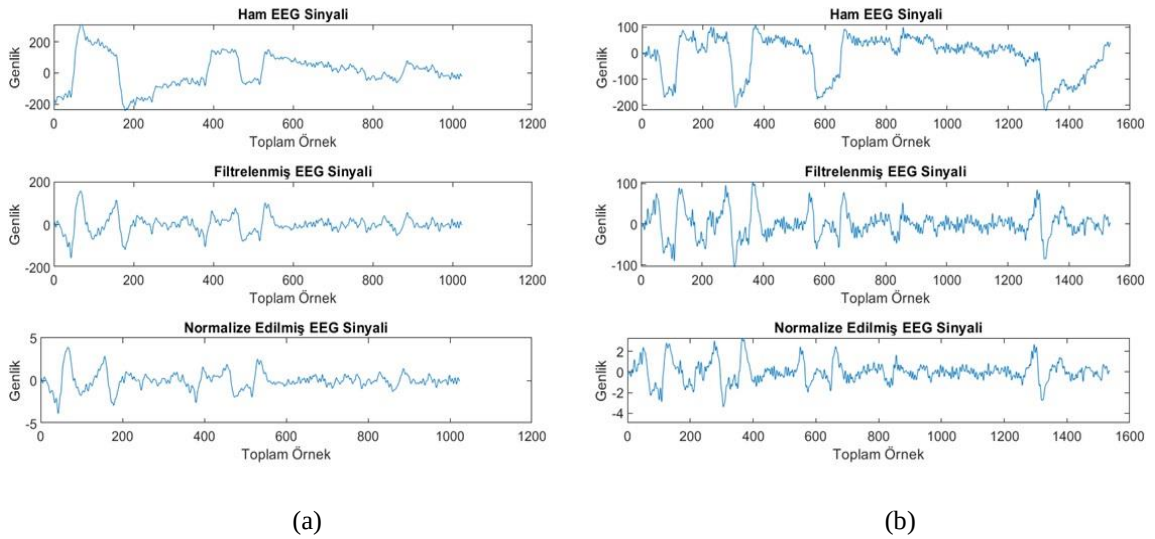


**Şekil 2.17.** FC6 kanalına ait normalizasyon uygulanmış EEG sinyal bilgisi

FC6 kanalına ait EEG sinyali normalize edildikten sonra göz kırpmı artefaktlarını ortadan kaldırmak için sinyal yakınlştırılarak incelenmiştir ve FC6 kanalı için eşik değeri 1,8 olarak belirlenmiştir. Ardından bu eşik değeri göre epoklara ait sinyallerdeki artefaktlar 1,8 eşik değeri düzleştirilmiştir. Her bir denek için ve her bir kanal için sinyaller görüntülenip eşik değeri sinyal durumuna göre farklı olarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.18.** Birinci nötr (a) ve birinci negatif (b) görsel anlarında elde edilen sinyal bilgileri



**Şekil 2.19.** Birinci pozitif (a) ve ikinci pozitif (b) görsel anlarında elde edilen sinyal bilgileri

Bu tez çalışmasında duygu tahmini yapmak amacıyla PsychoPy programında deney seti oluşturularak EmotivPro uygulamasıyla EEG sinyalleri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Oluşturulan deney setinin amacı, kullanıcının duygu durumlarının EEG sinyallerini etkilemesiyle yapılan sınıflamada duygu tanıma doğruluk performansı

incelemektir. Pozitif etiketli ikonik, modern mimari yapılar (25 adet), negatif etiketli sıradan mimari yapılar (25 adet) ve nötr etiketli siyah ekran (50 adet) olmak üzere katılımcılara izletilmiştir. Bu esnada kaydedilen EEG sinyallerine ön işlem uygulandıktan sonra KZFD ve SDD zaman-frekans analizleri uygulanmıştır.

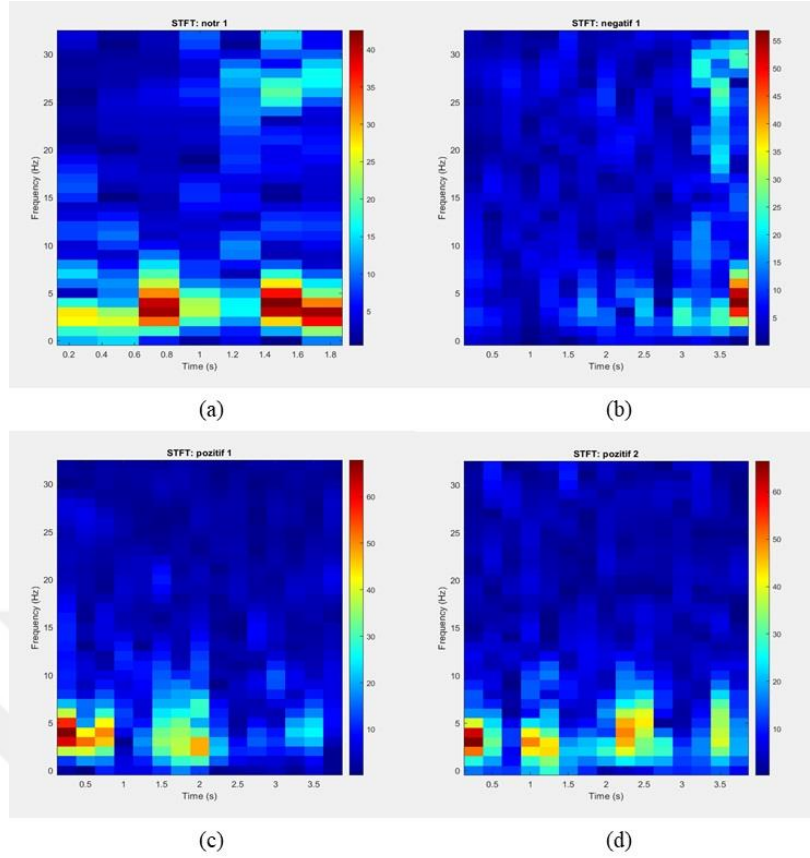
#### 2.7.1.6. EEG sinyallerine KZFD uygulanması

Ön işlem uygulanmış EEG sinyallerine Çizelge 2.2'deki parametre değerleri kullanılarak KZFD işlemi yapılmıştır. Noverlap parametresi pencerenin uzunluğundan daha küçük, nfft parametresi ise pencere uzunluğundan daha büyük veya eşit olmalıdır (MathWorks, n.d.).

**Çizelge 2.2.** KZFD parametreleri

|                  | Parametre Değerleri |
|------------------|---------------------|
| Pencere Uzunluğu | 128                 |
| Pencere Türü     | Hann                |
| Örnekleme Oranı  | 256                 |
| Noverlap         | 64                  |
| Nfft             | 256                 |
| Frekans Aralığı  | 0 - 32 Hz           |

Ön işleme adımlarının ardından 2 saniyelik ve 4 saniyelik epok uzunluğuna sahip sinyallere KZFD uygulanarak epoklara ait zaman-frekans domeninde yapılan analiz görselleri Şekil 2.20'deki gibidir.



**Şekil 2.20.** Birinci nötr (a), birinci negatif (b), birinci pozitif (c) ve ikinci pozitif (d) görsel anlarında elde edilen KZFD görüntüleri

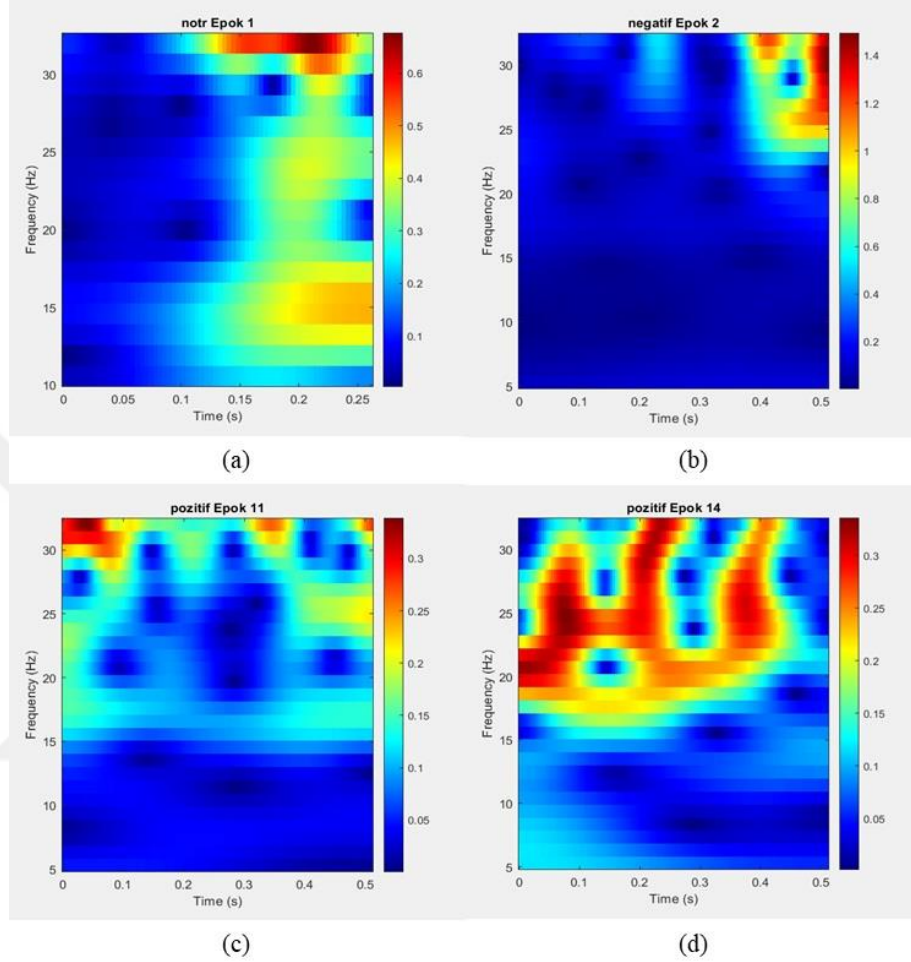
### 2.7.1.7. EEG sinyallerine 3. Seviye SDD uygulanması

Etkili bir zaman-frekans analiz aracı olan SDD, EEG sinyalleri gibi durağan olmayan sinyallerin zaman-frekans bilgilerini çıkarmada yaygın olarak kullanılmaktadır (Subasi, 2007), (Hazarika ve diğ., 1997), (Upadhyay, Padhy, ve Kankar, 2014). Çizelge 2.3'te SDD parametreleri yer almaktadır. SDD için Morlet dalgacığı kullanılarak Daubechies dalgacığı ile 3 seviyeli ayrıştırma yapılarak skalogram görüntüler elde edilmiştir.

**Çizelge 2.3.** SDD parametreleri

|                               | Parametre Değerleri   |
|-------------------------------|-----------------------|
| Ana Dalgacık                  | Morlet                |
| Ayrıştırma Seviyesi           | 3                     |
| Dalgacık Aile Adı ve Derecesi | Daubechies ve 3 (dB3) |
| Örnekleme Oranı               | 256                   |
| Frekans aralığı               | 0 - 32 Hz             |

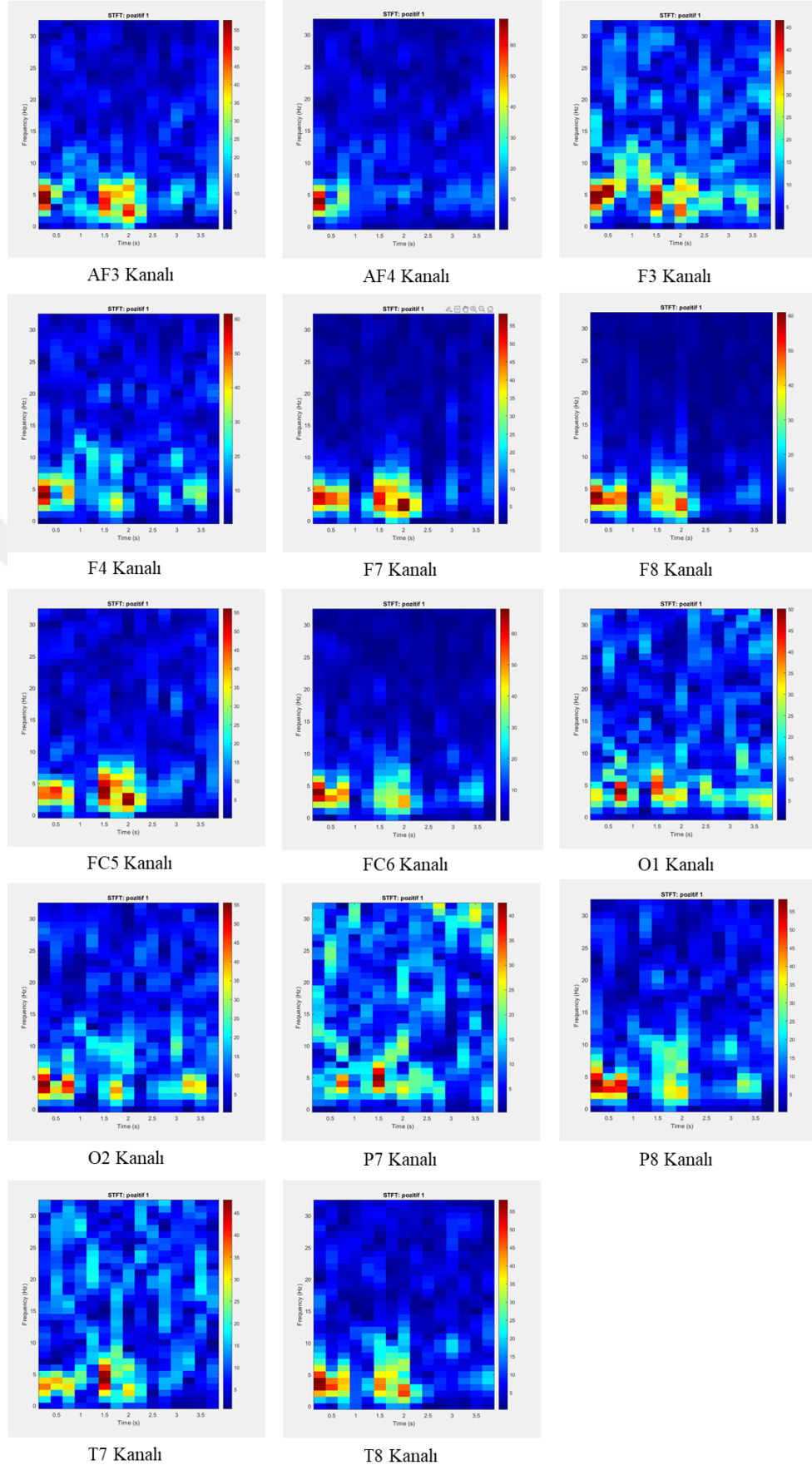
Ön işlem uygulanmış EEG sinyallerine ait 2 saniyelik ve 4 saniyelik epok uzunluğundaki sinyaller için 3. Seviye SDD uygulanarak epoklara ait zaman-frekans alanında yapılan analiz görselleri Şekil 2.21'deki gibidir.



**Şekil 2.21.** Birinci nötr (a), birinci negatif (b), birinci pozitif (c) ve ikinci pozitif (d) görsel anlarında elde edilen SDD görüntüleri

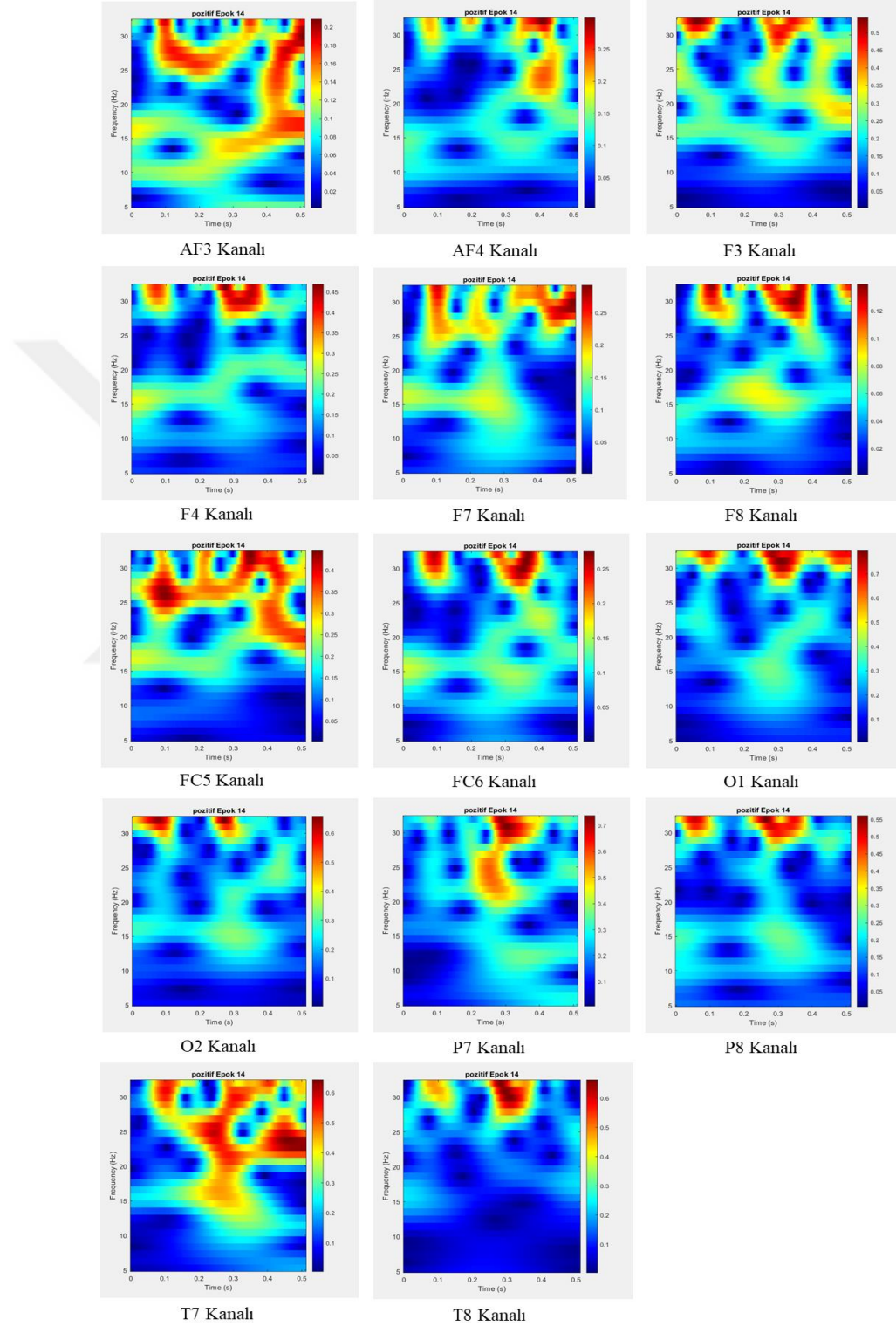
#### 2.7.1.8. KZFD ve 3. Seviye SDD uygulanmış analiz görüntüleri

EEG sinyallerinin uygun etiket bilgilerine göre epoklarına ayrılıp uygulanan zaman-frekans analizleri sonucunda elde edilen bazı spektrogram görüntüleri aşağıda yer almaktadır. Şekil 2.22'de bir mimarlık öğrencisinin pozitif uyaran bir görüntüye ait EEG sinyallerinin kaydı aracılığıyla KZFD analizinin uygulanmış olduğu tüm kanallara ait sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2.22. Mimarlık öğrencisine ait pozitif etiketli KZFD görsellerinin kanal bazında görünümü

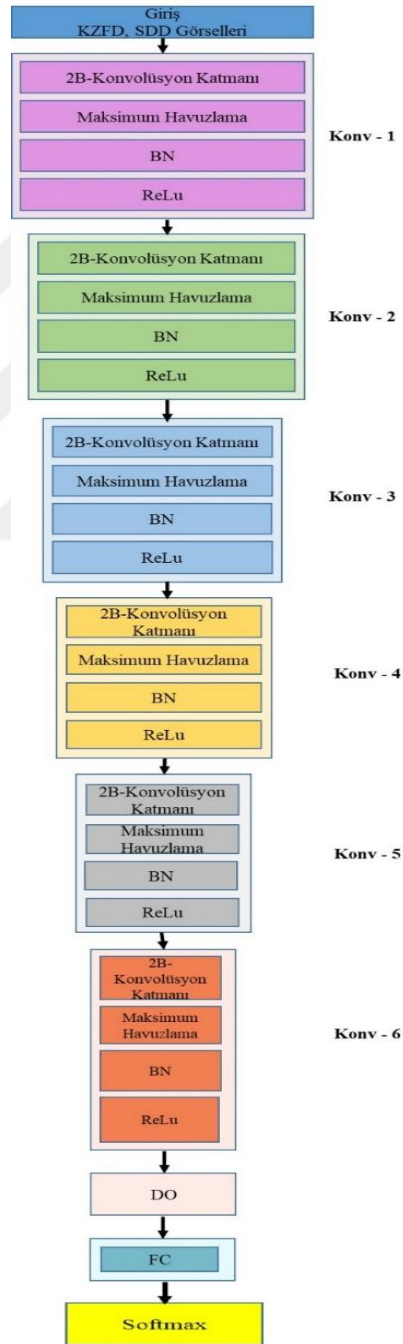
Şekil 2.23'te ise bir mühendislik öğrencisinin pozitif uyaran bir görüntüye ait EEG sinyallerinin kaydı aracılığıyla 3. Seviye SDD analizinin uygulanmış olduğu tüm kanallara ait sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2.23. Mühendislik öğrencisine ait pozitif etiketli 3. Seviye SDD görsellerinin kanal bazında görünümü

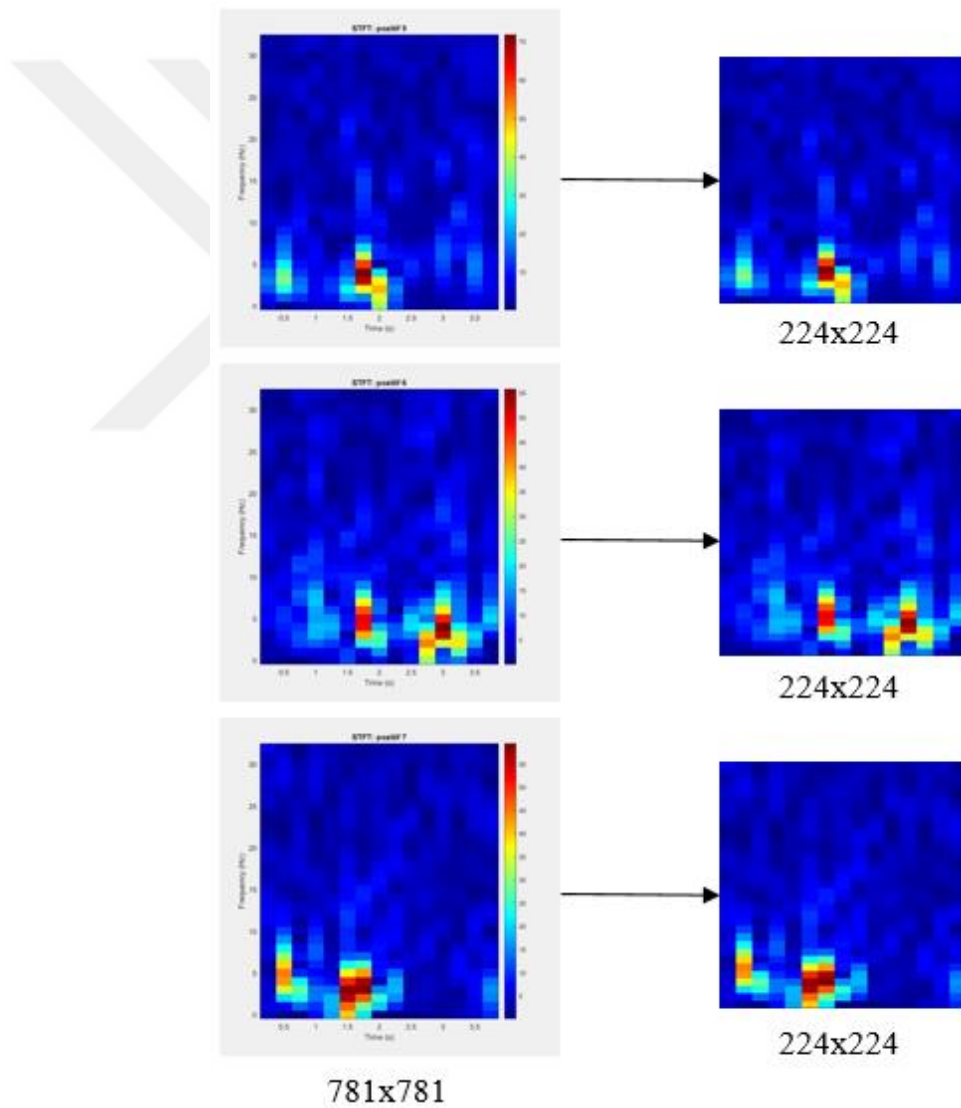
### 2.7.1.9. Basit ESA modeline görüntülerin verilmesi

KZFD ve 3. Seviye SDD ile yapılan zaman-frekans alanındaki analiz görüntüleri basit bir ESA ağına nötr, pozitif ve negatif etiketleri altında gruplandırılarak 224x224x3 (Demir ve diğ., 2021) boyutunda giriş görselleri olarak verilmiştir. Giriş görsellerine uygulanan basit ESA modeli Şekil 2.24'teki gibidir. Burada BN, Batch normalizasyon katmanı; DO, dropout katmanı ve FC, tam bağlı katmanı ifade etmektedir.



Şekil 2.24. Basit ESA modeli

Bu bölümde KZFD ve SDD uygulanmış giriş görselleri veri setleri basit ESA ağına giriş olarak verildikten sonra çeşitli deneyler yapılarak en yüksek sınıflandırma performansına ulaşmak istenmiştir. Mühendislik öğrencileri ve mimarlık öğrencilerine uygulanan deney düzeneği ile elde edilen EEG sinyallerine ön işleme adımları uygulandıktan sonra zaman-frekans alanında KZFD ve 3. Seviye SDD uygulanarak elde edilen görseller Şekil 2.24'teki ESA modeline giriş olarak verilmek üzere veri seti oluşturulmuştur. KZFD ve 3. Seviye SDD görsellerinin tamamının etrafındaki zaman-frekans bilgileri kırılıp 224x224 olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Basit ESA modeline giriş olarak verilen görüntülerin birkaçının son görünümü Şekil 2.25'teki gibidir.



Şekil 2.25. Mimarlık öğrencilerinin pozitif etiketli KZFD görsellerinin nihai görünümü

## 2.8. Deneyde kullanılan veri setleri

### 2.8.1. Orijinal EEG sinyallerinin epoklarına ayrılarak elde edilen veri seti

Mühendislik öğrencileri için (KZFD ve SDD) ve Mimarlık öğrencileri için (KZFD ve SDD) oluşturulan veri seti dağılımı Çizelge 2.4'teki gibidir.

**Çizelge 2.4.** Deney veri seti dağılımı

|            | Veri Dağılımı |      |          |      |
|------------|---------------|------|----------|------|
|            | Mühendislik   |      | Mimarlık |      |
|            | KZFD          | SDD  | KZFD     | SDD  |
| Eğitim     | 3360          | 3360 | 3360     | 3360 |
| Test       | 420           | 420  | 420      | 420  |
| Validasyon | 420           | 420  | 420      | 420  |
| Toplam     | 4200          | 4200 | 4200     | 4200 |

Mühendislik öğrencilerinin KZFD uygulanmış veri setindeki toplam görüntü sayısı 4200'dür. Bu veri setindeki görüntülerin 80%'i eğitim, 10%'u test ve 10%'u validasyon için kullanılmıştır. Eğitim veri setindeki görsel sayısı 3360, test veri setindeki görsel sayısı 420 ve validasyon veri setindeki görsel sayısı 420'dir.

Mühendislik öğrencilerinin SDD uygulanmış veri setindeki görüntüler de 80%'i eğitim, 10%'u test ve 10%'u validasyon için kullanılmıştır. Bu iki duruma göre kullanılan veri seti Mimarlık öğrencilerinde de veri seti dağılımlarında aynı yöntemle Çizelge 2.3'te görüldüğü gibi ayrılarak her bir koşul için sınıflama doğrulukları elde edilmiştir.

### 2.8.2. Anket yanıtlarına göre elde edilen veri seti

Katılımcılar pozitif uyaran ve negatif uyaran görüntülerin her biri için SAM anketinde uyarılma, değerlik ve baskınlık ölçeklemesinde 1-5 puan aralığında oylama yaparak duygu durumları değerlendirilmiştir (Katsigiannis ve Ramzan, 2018). Bu duygu durumları ve uyarılma-değerlik düzleminde (AV düzlemi) dört duygusal durum koşulu tanımlanmıştır.

Yüksek Uyarılma Yüksek Değerlik (HAHV), Yüksek Uyarılma Düşük Değerlik (HALV), Düşük Uyarılma Düşük Değerlik (LALV) ve Düşük Uyarılma Yüksek Değerlik (LAHV) olarak puan 3'ten büyükse, belirtilen duygusal değer Yüksek olarak, aksi takdirde Düşük olarak tanımlanmaktadır (Wang ve diğ., 2019).



### 3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde tez çalışmasının deney sonuçları yer almaktadır. Mühendislik öğrencileri ve mimarlık öğrencilerinin her birinden elde edilen görüntülerin ön işleme, zaman-frekans analizleri ardından basit ESA modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Ardından sınıflama (validasyon) performansları ve test doğrulukları kaydedilmiştir.

#### 3.1. Mühendis Öğrencilerden Elde Edilen Veri Setleri

KZFD ve 3. Seviye SDD görselleri için ayrı ayrı olmak üzere dört farklı deney sonucunda sınıflama performansı sonucunda KZFD uygulanmış veri seti için deney sonunda en yüksek sınıflama (validasyon) performansı 89.52%, 3. Seviye SDD uygulanmış veri seti için ise sınıflama (validasyon) performansı 85.71% olarak elde edilmiştir.

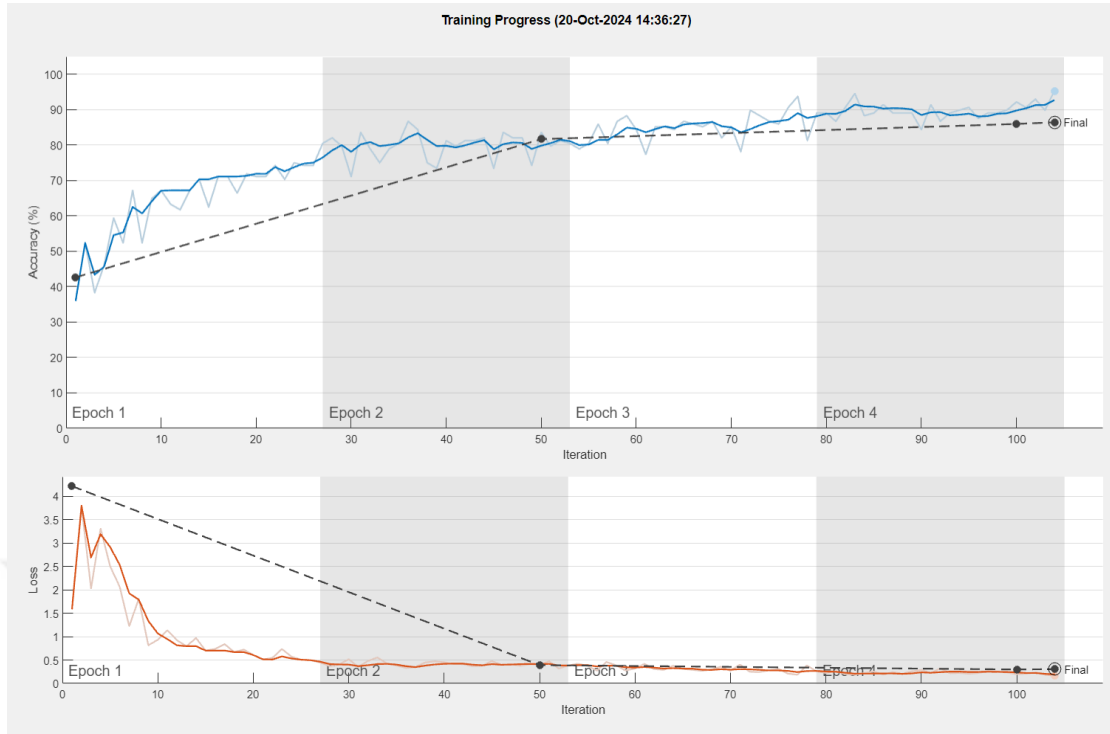
##### 3.1.1. KZFD uygulanmış giriş görselleri veri seti

KZFD uygulanmış görsellerin basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında ilk deneyde MiniBatchSize değeri 128, dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi ilk deneyde katman sayıları sırayla arttırılarak sonuçlar kaydedilmiştir. En yüksek doğruluk performansına ise 4 katmanlı basit ESA modeli ile 86.43% olarak ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 1             | 80.71                                | 85.238             | 80.71                   | 90.36                 | 4 dk. 55 s  |
| 2             | 82.62                                | 84.762             | 82.62                   | 91.31                 | 6 dk. 37 s  |
| 3             | 81.90                                | 84.762             | 81.90                   | 90.95                 | 8 dk. 42 s  |
| <b>4</b>      | <b>86.43</b>                         | 88.333             | 86.43                   | 93.21                 | 9 dk. 52 s  |
| 5             | 80.95                                | 82.619             | 80.95                   | 90.48                 | 10 dk. 17 s |
| 6             | 76.43                                | 80.714             | 76.43                   | 88.21                 | 11 dk. 11 s |

Yapılan ilk deneye ait dört katmanlı basit ESA modeli için doğruluk ve kayıp grafiği Şekil 3.1’deki gibidir. Bu sonucu oluşturan hiperparametre değerleri MiniBatchSize 128, Dropout 0.5, MaxEpochs 4 ve learning rate 0.001 şeklindedir. Bu bağlamda elde edilen sınıflama doğruluğu 86.43% elde edilmiştir.



**Şekil 3.1.** Dört katmanlı basit ESA modeli için doğruluk ve kayıp grafiği

Derin öğrenme modelin eğitim sonrası elde edilen karışıklık matrisi Şekil 3.2’de yer almaktadır. Sonuçta negatif uyaran görsellerin 109 adedi doğru, 31 adedi ise yanlış tahmin edilmiştir. Nötr uyaran görsellerin tamamı doğru tahmin edilmiştir. Pozitif uyaran görsellerde ise doğru tahmin sayısı 114 iken yanlış tahmin sayısı 26 olarak sonuçlanmıştır.

| True Class | Predicted Class |      |         |
|------------|-----------------|------|---------|
|            | negatif         | notr | pozitif |
| negatif    | 109             |      | 31      |
| notr       |                 | 140  |         |
| pozitif    | 26              |      | 114     |

**Şekil 3.2.** Dört katmanlı basit ESA modeli eğitim sonrası karışıklık matrisi

Birinci deney sonunda 4 adet konvolüsyon katmanı ile yüksek doğruluğa ulaşıldığından ikinci deneye 4 katmanlı basit ESA modeli ile devam edilmiştir. İkinci deneyde MiniBatchSize parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.2'deki gibi elde edilmiştir. Burada Dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, ikinci deneyde MiniBatchSize değeri 128 iken 84.52% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.2.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 8             | 79.52                                         | 84.048                   | 79.52                         | 89.76                       | 12 dk. 28 s |
| 16            | 80.24                                         | 80.00                    | 80.24                         | 90.12                       | 9 dk. 33 s  |
| 32            | 81.43                                         | 84.762                   | 81.43                         | 90.71                       | 8 dk. 40 s  |
| 64            | 83.33                                         | 84.286                   | 83.30                         | 91.67                       | 8 dk. 31 s  |
| <b>128</b>    | <b>84.52</b>                                  | 85.238                   | 84.52                         | 92.26                       | 9 dk. 16 s  |

İkinci deney sonunda MiniBatchSize değeri 128 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından üçüncü deneye 4 katmanlı, MiniBatchSize değeri 128 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Üçüncü deneyde dropout parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.3'teki gibi elde edilmiştir. Burada MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, üçüncü deneyde dropout değeri 0.3 iken 85.48% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.3.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

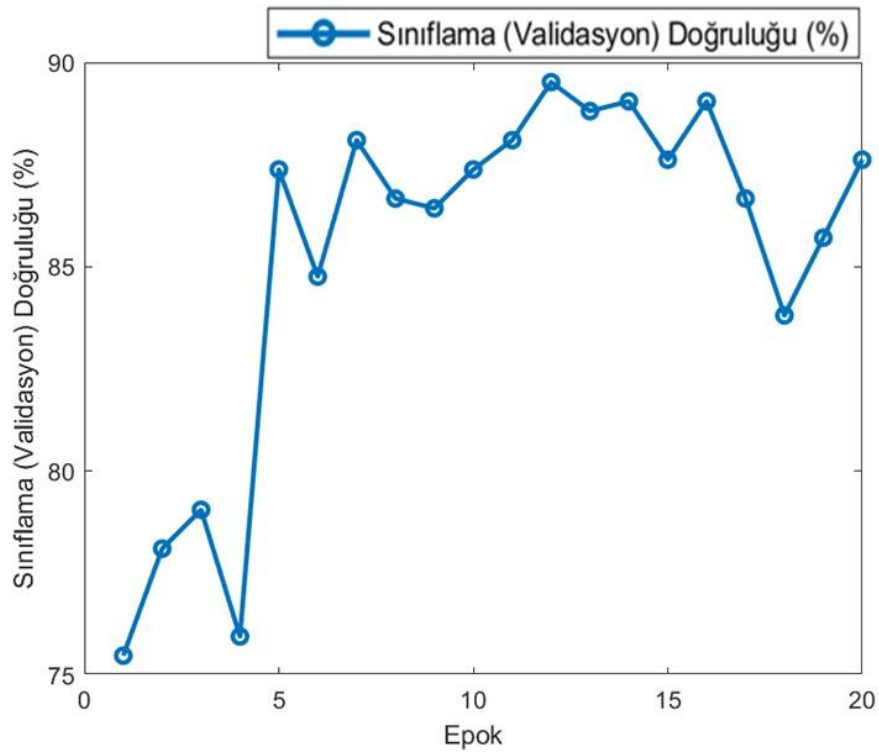
| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| <b>0.3</b> | <b>85.48</b>                                  | 79.048                   | 85.48                         | 92.74                       | 9 dk. 2 s   |
| 0.4        | 81.67                                         | 83.095                   | 81.67                         | 90.83                       | 9 dk. 15 s  |
| 0.5        | 82.14                                         | 74.762                   | 82.14                         | 91.07                       | 9 dk. 32 s  |
| 0.6        | 83.10                                         | 86.19                    | 83.10                         | 91.55                       | 9 dk. 56 s  |
| 0.7        | 80.48                                         | 84.762                   | 80.48                         | 90.24                       | 11 dk. 11 s |
| 0.8        | 80.00                                         | 75.714                   | 80.00                         | 90.00                       | 9 dk. 32 s  |

Üçüncü deney sonunda dropout değeri 0.3 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından dördüncü deneye 4 katmanlı, MiniBatchSize değeri 128, dropout değeri 0.3 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Dördüncü deneyde MaxEpochs parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.4'teki gibi elde edilmiştir.

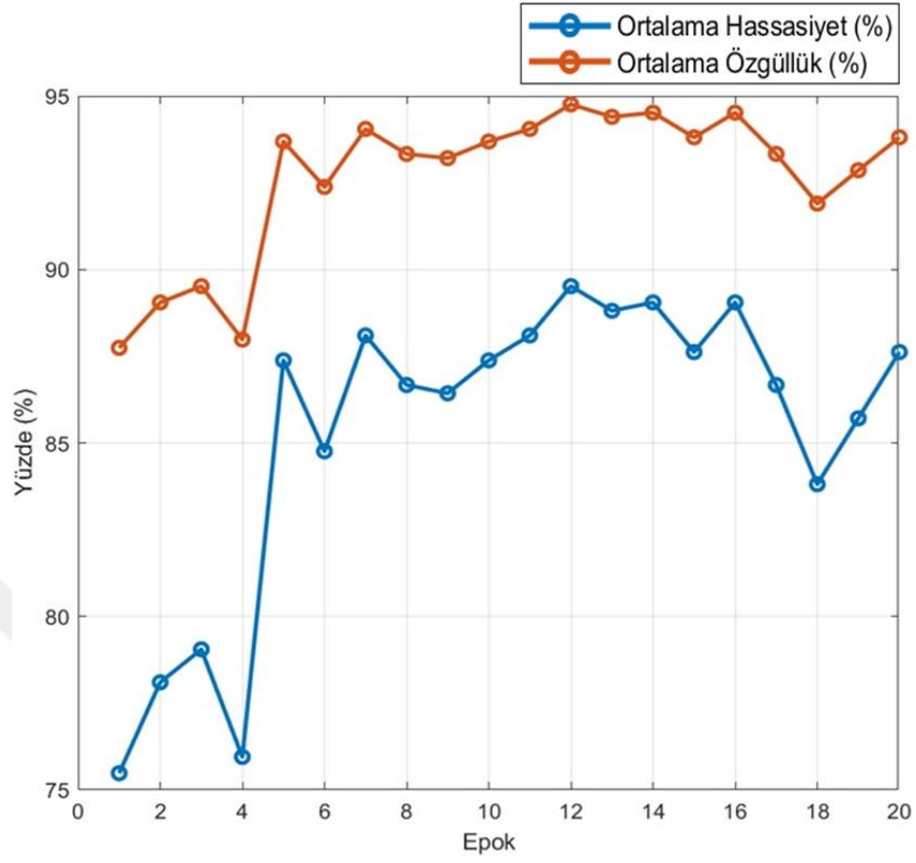
Sonuçta, dördüncü deneyde MaxEpochs değeri 12 iken 89.52% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.4.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

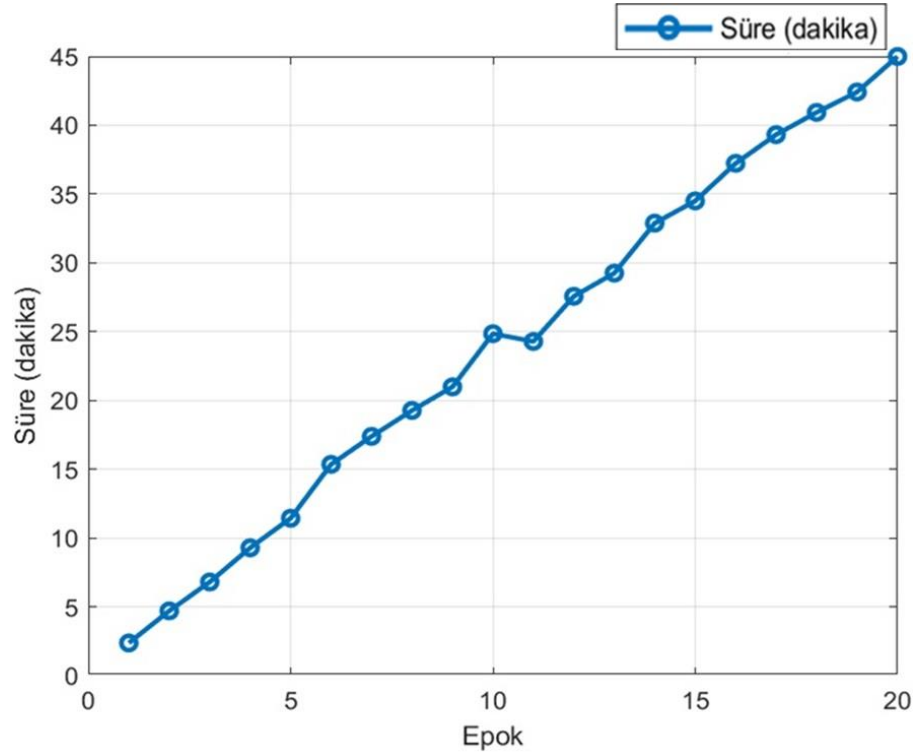
| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman             |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1         | 75.48                                         | 73.095                   | 75.48                         | 87.74                       | 2 dk. 22 s        |
| 2         | 78.10                                         | 79.762                   | 78.10                         | 89.05                       | 4 dk. 42 s        |
| 3         | 79.05                                         | 84.286                   | 79.05                         | 89.52                       | 6 dk.48 s         |
| 4         | 75.95                                         | 86.429                   | 75.95                         | 87.98                       | 9 dk.17 s         |
| 5         | 87.38                                         | 84.048                   | 87.38                         | 93.69                       | 11 dk.26 s        |
| 6         | 84.76                                         | 85.238                   | 84.76                         | 92.38                       | 15 dk.21 s        |
| 7         | 88.10                                         | 88.333                   | 88.10                         | 94.05                       | 17 dk.23 s        |
| 8         | 86.67                                         | 85.952                   | 86.67                         | 93.33                       | 19 dk.16 s        |
| 9         | 86.43                                         | 89.524                   | 86.43                         | 93.21                       | 20 dk.59 s        |
| 10        | 87.38                                         | 87.857                   | 87.38                         | 93.69                       | 24 dk.51 s        |
| 11        | 88.10                                         | 89.048                   | 88.10                         | 94.05                       | 24 dk.17 s        |
| <b>12</b> | <b>89.52</b>                                  | <b>88.571</b>            | <b>89.52</b>                  | <b>94.76</b>                | <b>27 dk.34 s</b> |
| 13        | 88.81                                         | 86.19                    | 88.81                         | 94.40                       | 29 dk.15 s        |
| 14        | 89.05                                         | 84.524                   | 89.05                         | 94.52                       | 32 dk.53 s        |
| 15        | 87.62                                         | 89.048                   | 87.62                         | 93.81                       | 34 dk.30 s        |
| 16        | 89.05                                         | 85.714                   | 89.05                         | 94.52                       | 37 dk.14 s        |
| 17        | 86.67                                         | 88.095                   | 86.67                         | 93.33                       | 39 dk.19 s        |
| 18        | 83.81                                         | 87.143                   | 83.81                         | 91.90                       | 40 dk.56 s        |
| 19        | 85.71                                         | 83.81                    | 85.71                         | 92.86                       | 42 dk.25 s        |
| 20        | 87.62                                         | 87.857                   | 87.62                         | 93.81                       | 45 dk.0 s         |



**Şekil 3.3.** Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği



Şekil 3.4. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği



Şekil 3.5. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği

### 3.1.2. SDD uygulanmış giriş görselleri veri seti

SDD uygulanmış görsellerin basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında ilk deneyde MiniBatchSize değeri 128, dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi ilk deneyde katman sayıları sırayla arttırılarak sonuçlar kaydedilmiştir. En yüksek doğruluk performansına ise 5 katmanlı basit ESA modeli ile 77.86% olarak ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.5.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 1             | 75.00                                | 73.81              | 75.00                   | 87.50                 | 4 dk. 36 s  |
| 2             | 74.52                                | 79.524             | 74.52                   | 87.26                 | 7 dk. 7 s   |
| 3             | 75.48                                | 80.238             | 75.48                   | 87.74                 | 8 dk. 32 s  |
| 4             | 76.90                                | 77.857             | 76.90                   | 88.45                 | 9 dk. 25 s  |
| 5             | <b>77.86</b>                         | 78.333             | 77.86                   | 88.93                 | 9 dk. 51 s  |
| 6             | 73.33                                | 75.714             | 73.33                   | 86.67                 | 10 dk. 38 s |

Birinci deney sonunda 5 adet konvolüsyon katmanı ile yüksek doğruluğa ulaşıldığından ikinci deneye 5 katmanlı basit ESA modeli ile devam edilmiştir. İkinci deneyde MiniBatchSize parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.6'daki gibi elde edilmiştir. Burada dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, ikinci deneyde MiniBatchSize değeri 16 iken 77.38% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.6.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 8             | 76.19                                | 77.619             | 76.19                   | 88.10                 | 14 dk. 19 s |
| <b>16</b>     | <b>77.38</b>                         | 74.524             | 77.38                   | 88.69                 | 11 dk. 8 s  |
| 32            | 76.67                                | 75.238             | 76.67                   | 88.33                 | 10 dk. 11 s |
| 64            | 75.95                                | 81.667             | 75.95                   | 87.98                 | 10 dk. 4 s  |
| 128           | 74.76                                | 74.762             | 74.76                   | 87.38                 | 10 dk. 17 s |

İkinci deney sonunda MiniBatchSize değeri 16 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından üçüncü deneye 5 katmanlı, MiniBatchSize değeri 16 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Üçüncü deneyde dropout parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.7'deki gibi elde edilmiştir. Burada

MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, üçüncü deneyde dropout değeri 0.4 iken 79.29% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

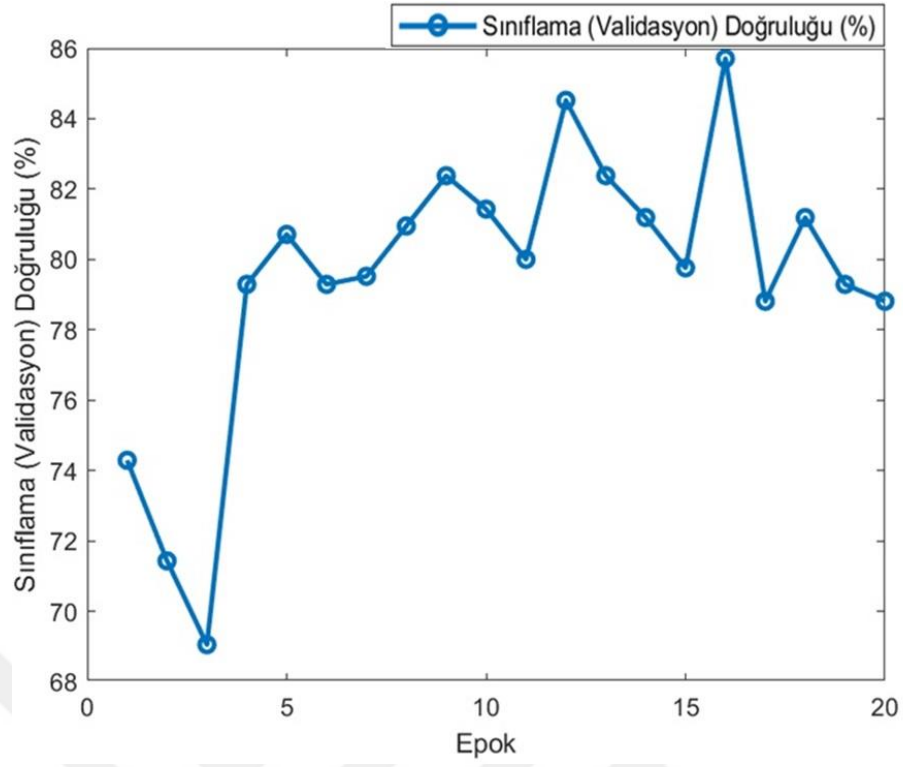
**Çizelge 3.7.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 0.3        | 76.43                                         | 78.81                    | 76.43                         | 88.21                       | 11 dk. 39 s |
| <b>0.4</b> | <b>79.29</b>                                  | 79.762                   | 79.29                         | 80.36                       | 11 dk. 1 s  |
| 0.5        | 76.90                                         | 78.333                   | 76.90                         | 88.45                       | 11 dk. 56 s |
| 0.6        | 78.81                                         | 77.857                   | 78.81                         | 89.40                       | 11 dk. 40 s |
| 0.7        | 77.14                                         | 74.524                   | 77.14                         | 88.57                       | 11 dk. 9 s  |
| 0.8        | 71.90                                         | 75.00                    | 71.90                         | 85.95                       | 11 dk. 19 s |

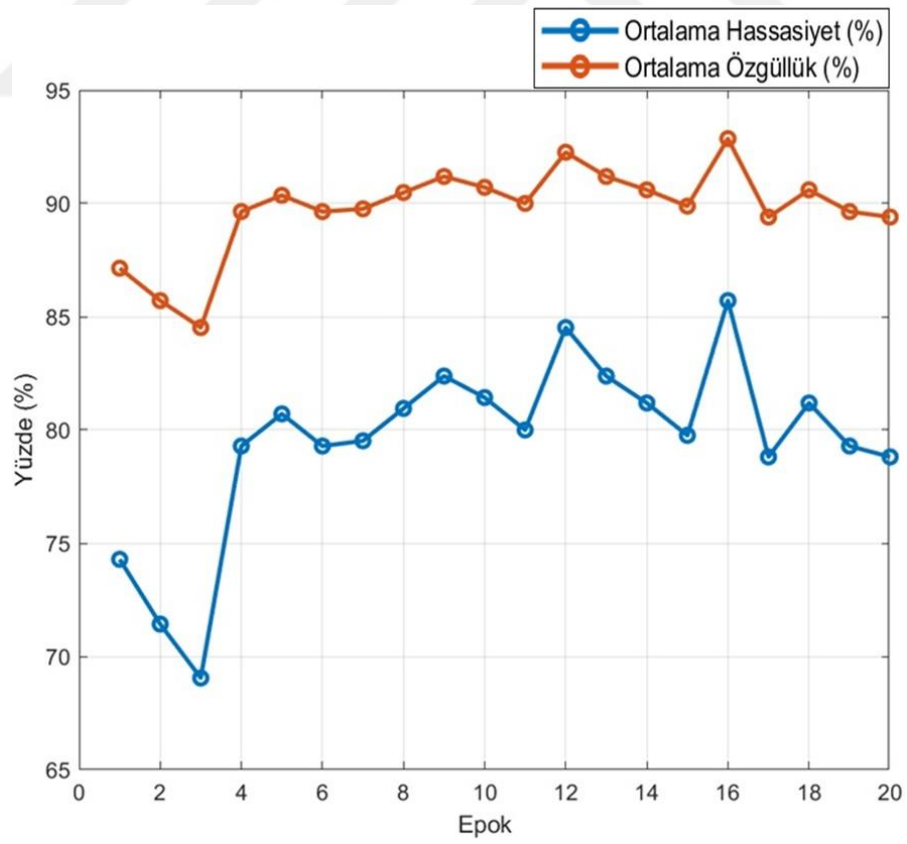
Üçüncü deney sonunda dropout değeri 0.4 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından dördüncü deneye 5 katmanlı, MiniBatchSize değeri 16, dropout değeri 0.4 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Dördüncü deneyde MaxEpochs parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.8’deki gibi elde edilmiştir. Sonuçta, dördüncü deneyde MaxEpochs değeri 16 iken 85.71% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.8.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

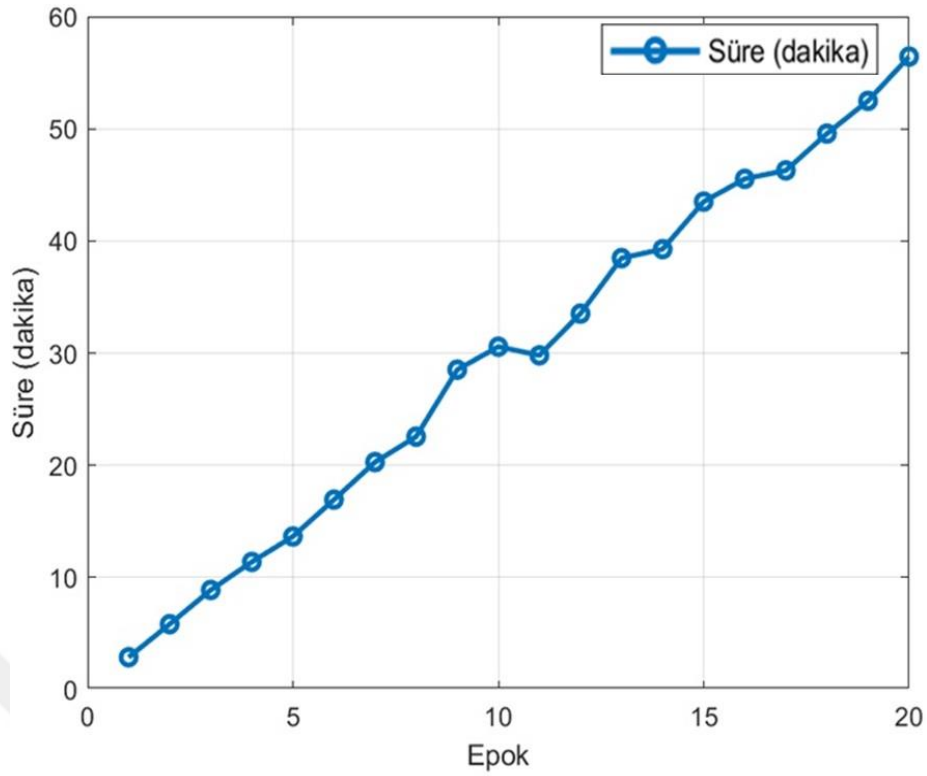
| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 74.29                                         | 65.952                   | 74.29                         | 87.14                       | 2 dk. 53 s  |
| 2         | 71.43                                         | 72.619                   | 71.43                         | 85.71                       | 5 dk. 50 s  |
| 3         | 69.05                                         | 73.095                   | 69.05                         | 84.52                       | 8 dk. 53 s  |
| 4         | 79.29                                         | 78.81                    | 79.29                         | 89.64                       | 11 dk. 23 s |
| 5         | 80.71                                         | 80.00                    | 80.71                         | 90.36                       | 13 dk. 39 s |
| 6         | 79.29                                         | 79.524                   | 79.29                         | 89.64                       | 16 dk. 56 s |
| 7         | 79.52                                         | 84.762                   | 79.52                         | 89.76                       | 20 dk. 17 s |
| 8         | 80.95                                         | 80.00                    | 80.95                         | 90.48                       | 22 dk. 33 s |
| 9         | 82.38                                         | 78.81                    | 82.38                         | 91.19                       | 28 dk. 31 s |
| 10        | 81.43                                         | 79.762                   | 81.43                         | 90.71                       | 30 dk. 34 s |
| 11        | 80.00                                         | 80.714                   | 80.00                         | 90.00                       | 29 dk. 48 s |
| 12        | 84.52                                         | 81.905                   | 84.52                         | 92.26                       | 33 dk. 31 s |
| 13        | 82.38                                         | 80.238                   | 82.38                         | 91.19                       | 38 dk. 28 s |
| 14        | 81.19                                         | 81.667                   | 81.19                         | 90.60                       | 39 dk. 16 s |
| 15        | 79.76                                         | 82.381                   | 79.76                         | 89.88                       | 43 dk. 30 s |
| <b>16</b> | <b>85.71</b>                                  | 84.524                   | 85.71                         | 92.86                       | 45 dk. 32 s |
| 17        | 78.81                                         | 81.429                   | 78.81                         | 89.40                       | 46 dk. 17 s |
| 18        | 81.19                                         | 83.333                   | 81.19                         | 90.60                       | 49 dk. 34 s |
| 19        | 79.29                                         | 84.048                   | 79.29                         | 89.64                       | 52 dk. 29 s |
| 20        | 78.81                                         | 80.952                   | 78.81                         | 89.40                       | 56 dk. 26 s |



Şekil 3.6. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği



Şekil 3.7. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği



Şekil 3.8. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği

### 3.2. Mimar Öğrencilerden Elde Edilen Veri Setleri

Bu bölümde ise mimar öğrencilere uygulanan deney düzeneği ile elde edilen EEG sinyallerine ön işleme adımları uygulandıktan sonra zaman-frekans alanında KZFD ve 3. Seviye SDD uygulanarak elde edilen görseller Şekil 2.32'deki ESA modeline giriş olarak verilmiştir. KZFD ve SDD görselleri için ayrı ayrı olmak üzere dört farklı deney sonucunda sınıflama performansı sonuçları sırasıyla KZFD uygulanmış veri seti için 91.67%, 3. Seviye SDD uygulanmış veri seti için ise 78.57% olarak ulaşılmıştır.

#### 3.2.1. KZFD uygulanmış giriş görselleri veri seti

KZFD uygulanmış görsellerin basit ESA modeline giriş olarak verildiğinde birinci deneyde MiniBatchSize değeri 128, dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Çizelge 3.9'da görüldüğü gibi ilk deneyde katman sayıları sırayla arttırılarak sonuçlar kaydedilmiştir. En yüksek doğruluk performansına ise 4 katmanlı basit ESA modeli ile 85.00% doğrulukla ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.9.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 1             | 82.62                                | 78.333             | 82.62                   | 91.31                 | 5 dk. 0 s   |
| 2             | 78.81                                | 83.81              | 78.81                   | 89.40                 | 6 dk. 24 s  |
| 3             | 84.05                                | 81.19              | 84.05                   | 92.02                 | 8 dk.19 s   |
| <b>4</b>      | <b>85.00</b>                         | 82.857             | 85.00                   | 92.50                 | 9 dk. 32 s  |
| 5             | 80.95                                | 79.286             | 80.95                   | 90.48                 | 10 dk. 2 s  |
| 6             | 75.95                                | 74.286             | 75.95                   | 87.98                 | 10 dk. 59 s |

Birinci deney sonunda 4 adet konvolüsyon katmanı ile yüksek doğruluğa ulaşıldığından ikinci deneye 4 katmanlı basit ESA modeli ile devam edilmiştir. İkinci deneyde MiniBatchSize parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.10'daki gibi elde edilmiştir. Burada dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, ikinci deneyde MiniBatchSize değeri 8 iken 83.81% değerinde en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.10.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| <b>8</b>      | <b>83.81</b>                         | 80.238             | 83.81                   | 91.90                 | 12 dk. 5 s |
| 16            | 76.43                                | 79.286             | 76.43                   | 88.21                 | 10 dk. 7 s |
| 32            | 79.76                                | 86.429             | 79.76                   | 89.88                 | 9 dk. 17 s |
| 64            | 83.10                                | 80.238             | 83.10                   | 91.55                 | 8 dk. 34 s |
| 128           | 82.62                                | 81.429             | 82.62                   | 91.31                 | 9 dk. 32 s |

İkinci deney sonunda MiniBatchSize değeri 8 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından üçüncü deneye 4 katmanlı, MiniBatchSize değeri 8 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Üçüncü deneyde dropout parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.11'deki gibi elde edilmiştir. Burada MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, üçüncü deneyde dropout değeri 0.4 iken 82.38% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.11.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 0.3        | 80.48                                | 83.81              | 80.48                   | 90.24                 | 12 dk. 55 s |
| <b>0.4</b> | <b>82.38</b>                         | 82.381             | 82.38                   | 91.19                 | 12 dk. 57 s |

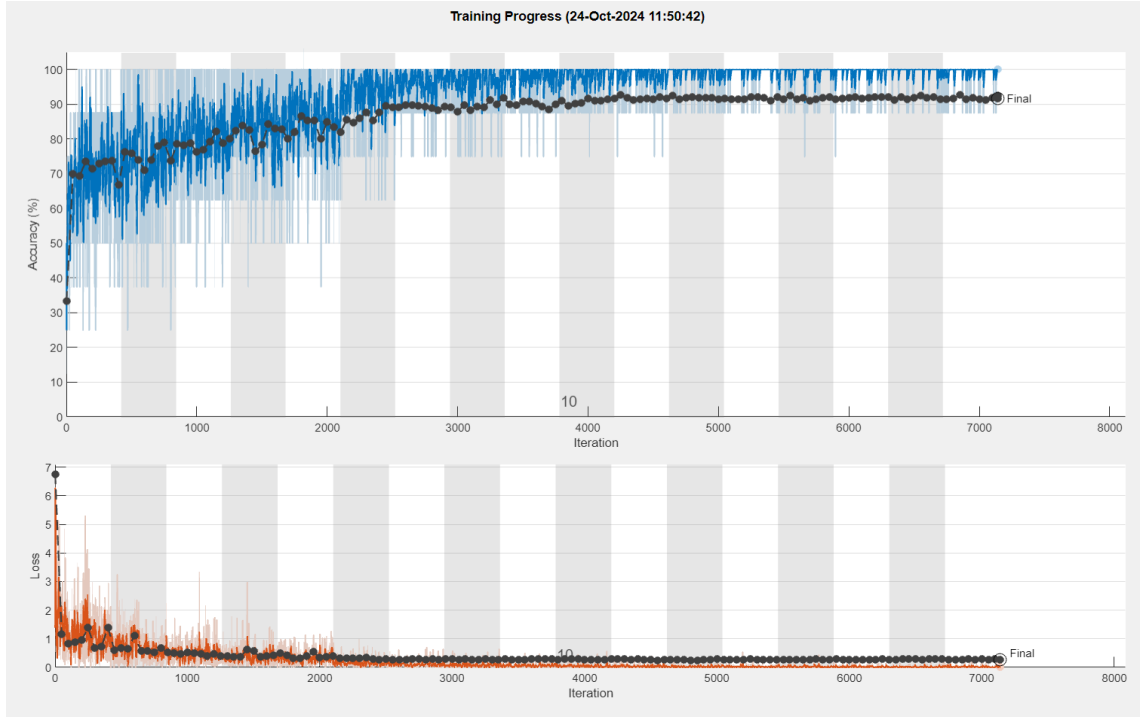
|     |       |        |       |       |             |
|-----|-------|--------|-------|-------|-------------|
| 0.5 | 82.14 | 80.952 | 82.14 | 91.07 | 12 dk. 21 s |
| 0.6 | 79.52 | 80.238 | 79.52 | 89.76 | 12 dk. 3 s  |
| 0.7 | 78.10 | 78.571 | 78.10 | 89.05 | 12 dk. 17 s |
| 0.8 | 73.81 | 77.619 | 73.81 | 86.90 | 12 dk. 0 s  |

Üçüncü deney sonunda dropout değeri 0.4 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından dördüncü deneye 4 katmanlı, MiniBatchSize değeri 8, dropout değeri 0.4 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Dördüncü deneyde MaxEpochs parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.12'deki gibi elde edilmiştir. Sonuçta, dördüncü deneyde MaxEpochs değeri 17 iken 91.67% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.12.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 77.38                                         | 71.19                    | 77.38                         | 88.69                       | 3 dk. 3 s   |
| 2         | 77.86                                         | 74.524                   | 77.86                         | 88.93                       | 6 dk. 1 s   |
| 3         | 81.90                                         | 78.095                   | 81.90                         | 90.95                       | 9 dk. 4 s   |
| 4         | 84.52                                         | 85.238                   | 84.52                         | 92.26                       | 12 dk. 38 s |
| 5         | 82.38                                         | 80.714                   | 82.38                         | 91.19                       | 15 dk. 44 s |
| 6         | 88.10                                         | 85.952                   | 88.10                         | 94.05                       | 19 dk. 24 s |
| 7         | 85.95                                         | 87.857                   | 85.95                         | 92.98                       | 22 dk. 59 s |
| 8         | 85.71                                         | 87.381                   | 85.71                         | 92.86                       | 25 dk. 1 s  |
| 9         | 88.10                                         | 85.952                   | 88.10                         | 94.05                       | 27 dk. 44 s |
| 10        | 90.71                                         | 89.286                   | 90.71                         | 95.36                       | 33 dk. 7 s  |
| 11        | 87.86                                         | 89.048                   | 87.86                         | 93.93                       | 36 dk. 6 s  |
| 12        | 85.95                                         | 88.333                   | 85.95                         | 92.98                       | 38 dk. 39 s |
| 13        | 87.38                                         | 86.905                   | 87.38                         | 93.69                       | 41 dk. 59 s |
| 14        | 85.48                                         | 88.095                   | 85.48                         | 92.74                       | 45 dk. 4 s  |
| 15        | 89.29                                         | 90.476                   | 89.29                         | 94.64                       | 49 dk. 52 s |
| 16        | 88.57                                         | 86.905                   | 88.57                         | 94.29                       | 52 dk. 48 s |
| <b>17</b> | <b>91.67</b>                                  | 86.667                   | 91.67                         | 95.83                       | 54 dk. 21 s |
| 18        | 88.81                                         | 88.333                   | 88.81                         | 94.40                       | 57 dk. 58 s |
| 19        | 88.81                                         | 87.619                   | 88.81                         | 94.40                       | 61 dk. 49 s |
| 20        | 88.10                                         | 87.857                   | 88.10                         | 94.05                       | 62 dk. 58 s |

Yapılan tüm deneyler sonrası basit dört katmanlı basit ESA modeliyle tüm deneyler arasında 91.67% en yüksek sınıflama doğruluğuna ulaşılmıştır. Elde edilen en yüksek sınıflama doğruluğu grafiği ve kayıp grafiği Şekil 3.9'daki gibidir. Bu sonucu oluşturan hiperparametre değerleri MiniBatchSize 8, Dropout 0.4, MaxEpochs 17 ve learning rate 0.001 şeklindedir.

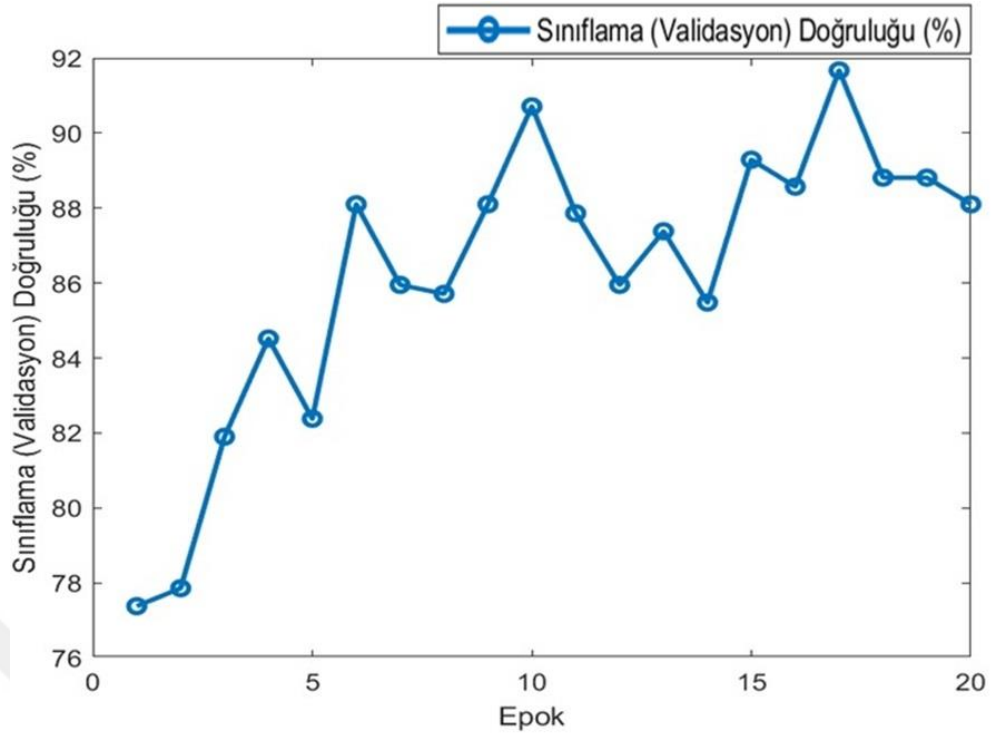


**Şekil 3.9.** MaxEpochs = 17 iken basit ESA modeli için elde edilen en yüksek sınıflama doğruluğu grafiği ve kayıp grafiği

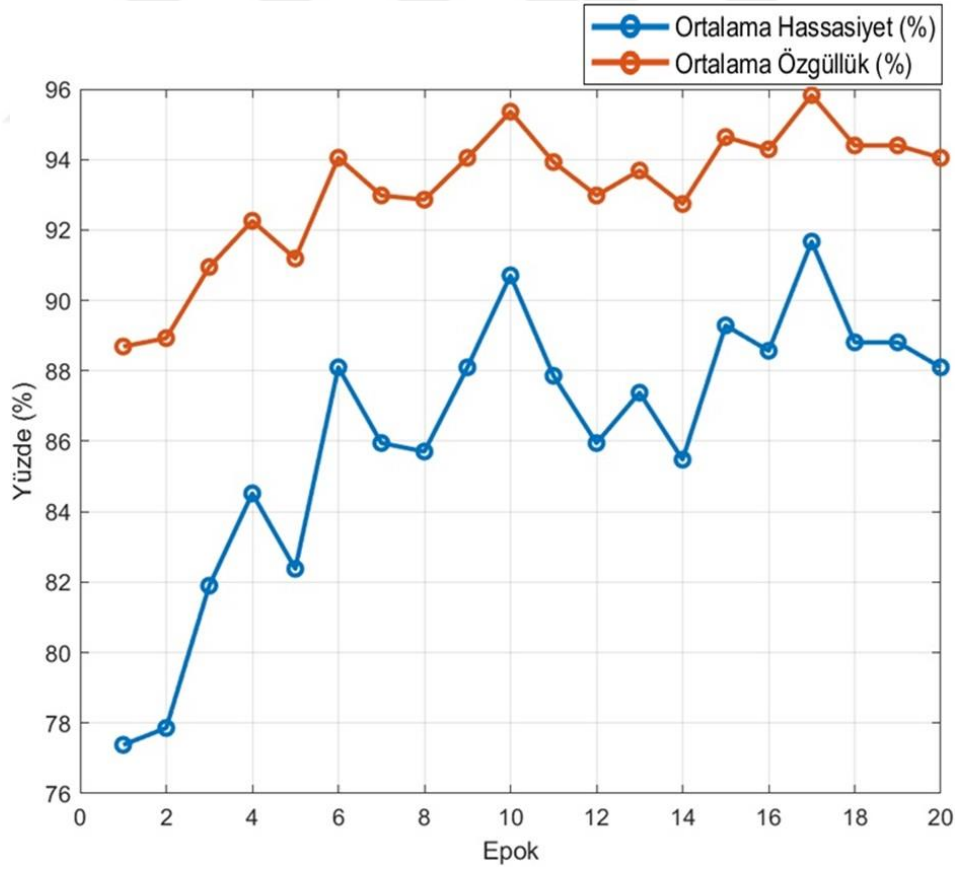
Basit ESA model ile tüm deneyler arasında en yüksek sınıflama performansına ulaşan eğitimin sonucunda elde edilen karışıklık matrisi Şekil 3.10'da verilmiştir. Sonuçta negatif uyaran görsellerin 118 adedi doğru, 22 adedi ise yanlış tahmin edilmiştir. Nötr uyaran görsellerin tamamı doğru tahmin edilmiştir. Pozitif uyaran görsellerde ise doğru tahmin sayısı 127 iken yanlış tahmin sayısı 13 olarak sonuçlanmıştır.

|            |         |                 |      |         |
|------------|---------|-----------------|------|---------|
| True Class | negatif | 118             |      | 22      |
|            | notr    |                 | 140  |         |
|            | pozitif | 13              |      | 127     |
|            |         | negatif         | notr | pozitif |
|            |         | Predicted Class |      |         |

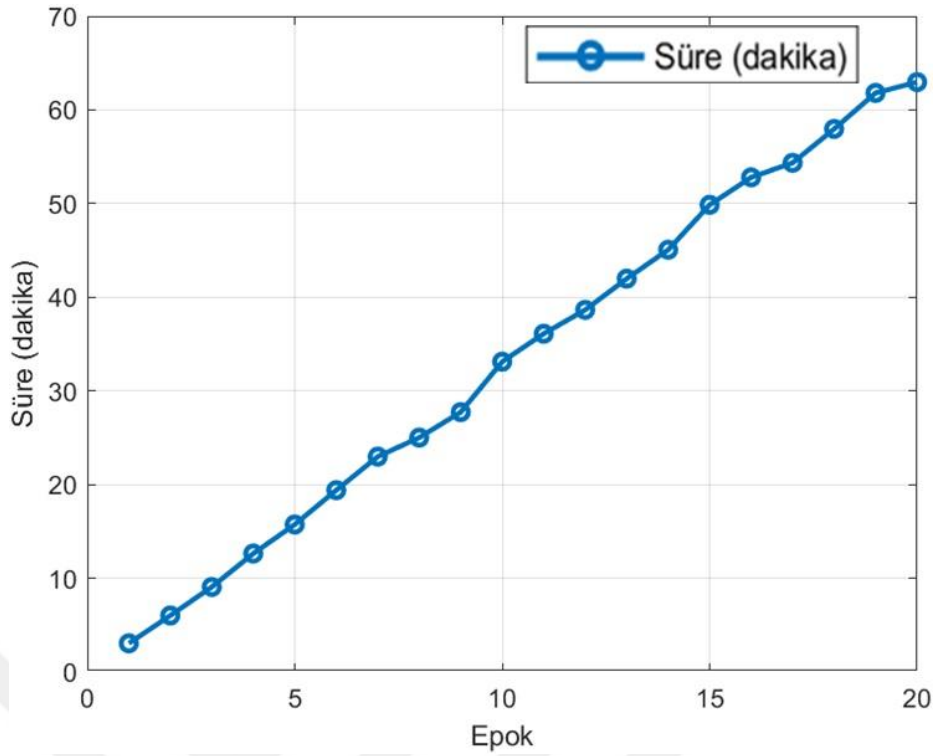
**Şekil 3.10.** MaxEpochs = 17 iken eğitim sonrası karışıklık matrisi



Şekil 3.11. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğrulukları



Şekil 3.12. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği



Şekil 3.13. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği

### 3.2.2. SDD uygulanmış giriş görselleri veri seti

3. seviye SDD uygulanmış görsellerin basit ESA modeline giriş olarak verildiğinde birinci deneyde MiniBatchSize değeri 128, dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Çizelge 3.13'te görüldüğü gibi ilk deneyde katman sayıları sırayla artırılarak sonuçlar kaydedilmiştir. En yüksek doğruluk performansına ise 5 katmanlı basit ESA modeli ile 74.05% doğrulukla ulaşılmıştır.

Çizelge 3.13. Katman sayılarına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman       |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| 1             | 70.48                                | 70.952             | 70.48                   | 85.24                 | 4 dk. 44 s  |
| 2             | 73.33                                | 73.81              | 73.33                   | 86.67                 | 7 dk. 26 s  |
| 3             | 67.38                                | 72.381             | 67.38                   | 83.69                 | 8 dk. 17 s  |
| 4             | 73.33                                | 76.19              | 73.33                   | 86.67                 | 9 dk. 12 s  |
| 5             | <b>74.05</b>                         | 74.286             | 74.05                   | 87.02                 | 10 dk. 23 s |
| 6             | 71.67                                | 71.19              | 71.67                   | 85.83                 | 10 dk. 42 s |

Birinci deney sonunda 5 adet konvolüsyon katmanı ile yüksek doğruluğa ulaşıldığından ikinci deneyde 5 katmanlı basit ESA modeli ile devam edilmiştir. İkinci

deneyde MiniBatchSize parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.14'teki gibi elde edilmiştir. Burada dropout değeri 0.5 ve MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, ikinci deneyde MiniBatchSize değeri 32 iken 75.48% değerinde en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.14.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 8             | 70.00                                         | 67.381                   | 70.00                         | 85.00                       | 14 dk. 33 s |
| 16            | 71.19                                         | 72.381                   | 71.19                         | 85.60                       | 10 dk. 54 s |
| <b>32</b>     | <b>75.48</b>                                  | 70.714                   | 75.48                         | 87.74                       | 9 dk. 48 s  |
| 64            | 71.19                                         | 69.286                   | 71.19                         | 85.60                       | 9 dk. 33 s  |
| 128           | 74.05                                         | 70.952                   | 74.05                         | 87.02                       | 9 dk. 56 s  |

İkinci deney sonunda MiniBatchSize değeri 32 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından üçüncü deneye 5 katmanlı, MiniBatchSize değeri 32 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Üçüncü deneyde dropout parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.15.'teki gibi elde edilmiştir. Burada MaxEpochs değeri 4 olarak alınmıştır. Sonuçta, üçüncü deneyde dropout değeri 0.6 iken 75.48% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

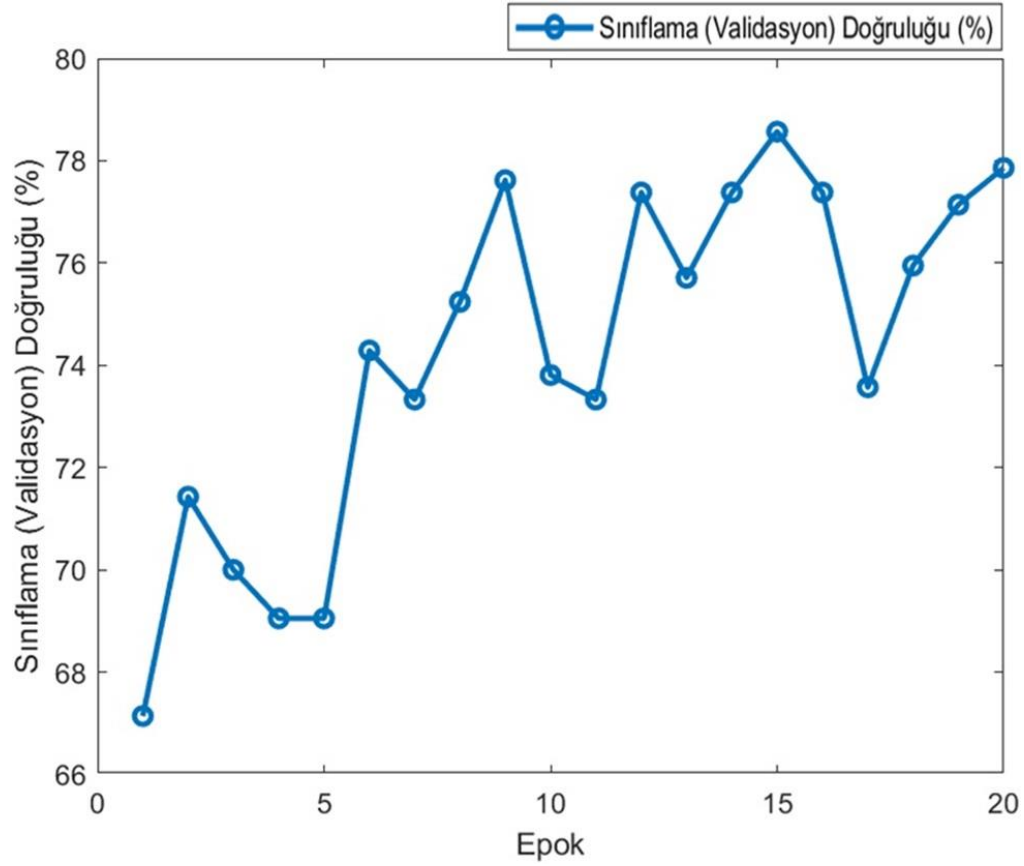
**Çizelge 3.15.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 72.62                                         | 71.19                    | 72.62                         | 86.31                       | 9 dk. 39 s |
| 0.4        | 74.76                                         | 72.619                   | 74.76                         | 87.38                       | 9 dk. 48 s |
| 0.5        | 72.62                                         | 70.952                   | 72.62                         | 86.31                       | 9 dk. 43 s |
| <b>0.6</b> | <b>75.48</b>                                  | 72.381                   | 75.48                         | 87.74                       | 9 dk. 42 s |
| 0.7        | 69.05                                         | 68.095                   | 69.05                         | 84.52                       | 9 dk. 50 s |
| 0.8        | 71.67                                         | 70.714                   | 71.67                         | 85.83                       | 9 dk. 46 s |

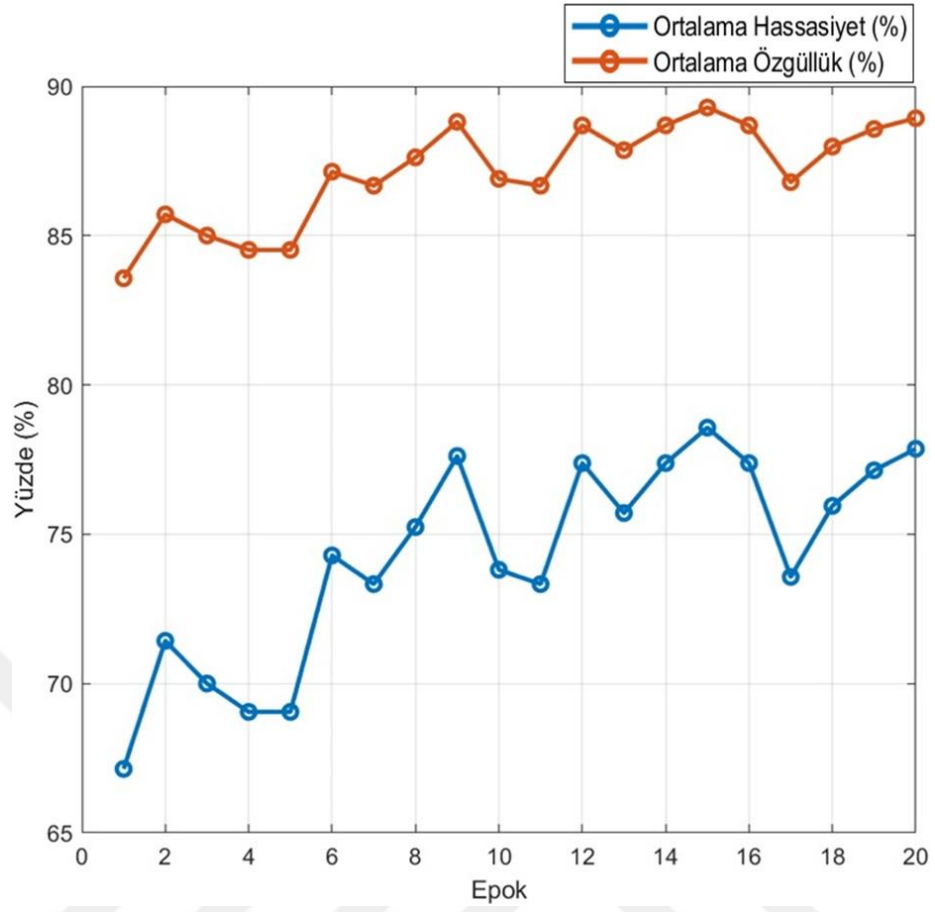
Üçüncü deney sonunda dropout değeri 0.6 iken yüksek doğruluğa ulaşıldığından dördüncü deneye 5 katmanlı, MiniBatchSize değeri 32, dropout değeri 0.6 olmak üzere basit ESA modeli ile devam edilmiştir. Dördüncü deneyde MaxEpochs parametresine ait farklı değerler uygulanarak performans sonuçları Çizelge 3.16'daki gibi elde edilmiştir. Sonuçta, dördüncü deneyde MaxEpochs değeri 15 iken 78.57% ile en yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

Çizelge 3.16. MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

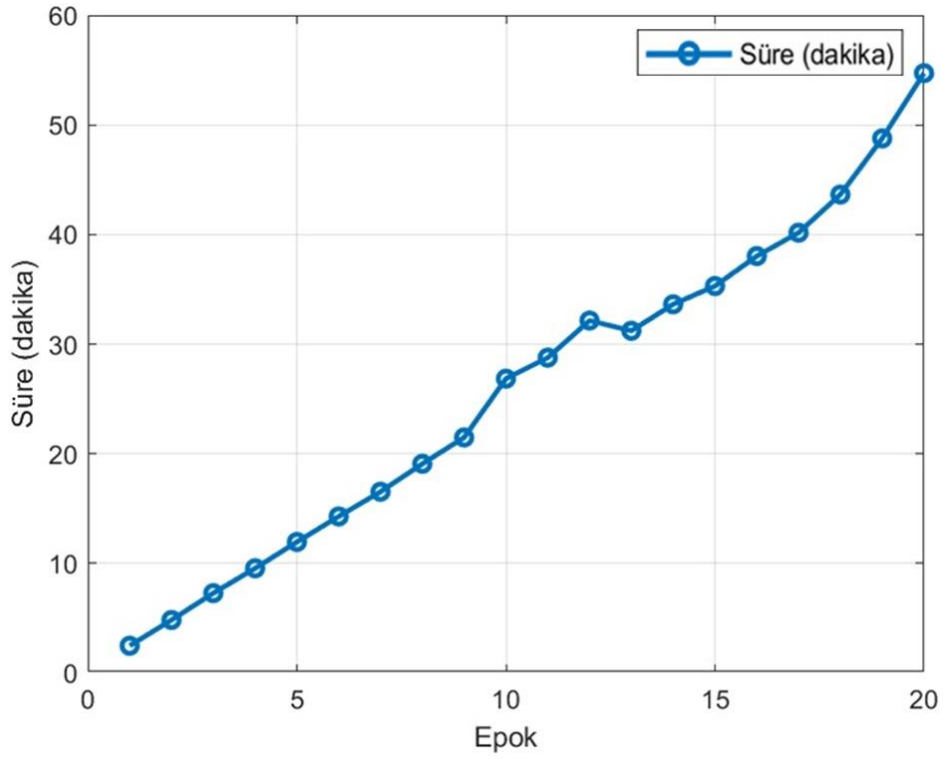
| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 67.14                                         | 68.333                   | 67.14                         | 83.57                       | 2 dk. 29 s  |
| 2         | 71.43                                         | 69.048                   | 71.43                         | 85.71                       | 4 dk. 50 s  |
| 3         | 70.00                                         | 70.00                    | 70.00                         | 85.00                       | 7 dk. 17 s  |
| 4         | 69.05                                         | 69.524                   | 69.05                         | 84.52                       | 9 dk. 33 s  |
| 5         | 69.05                                         | 74.048                   | 69.05                         | 84.52                       | 11 dk. 57 s |
| 6         | 74.29                                         | 73.81                    | 74.29                         | 87.14                       | 14 dk. 17 s |
| 7         | 73.33                                         | 76.905                   | 73.33                         | 86.67                       | 16 dk. 32 s |
| 8         | 75.24                                         | 73.333                   | 75.24                         | 87.62                       | 19 dk. 5 s  |
| 9         | 77.62                                         | 75.714                   | 77.62                         | 88.81                       | 21 dk. 29 s |
| 10        | 73.81                                         | 74.048                   | 73.81                         | 86.90                       | 26 dk. 51 s |
| 11        | 73.33                                         | 76.19                    | 73.33                         | 86.67                       | 28 dk. 46 s |
| 12        | 77.38                                         | 73.81                    | 77.38                         | 88.69                       | 32 dk. 9 s  |
| 13        | 75.71                                         | 76.429                   | 75.71                         | 87.86                       | 31 dk. 13 s |
| 14        | 77.38                                         | 76.905                   | 77.38                         | 88.69                       | 33 dk. 38 s |
| 15        | <b>78.57</b>                                  | 76.905                   | 78.57                         | 89.29                       | 35 dk. 18 s |
| 16        | 77.38                                         | 74.762                   | 77.38                         | 88.69                       | 38 dk. 2 s  |
| 17        | 73.57                                         | 75.476                   | 73.57                         | 86.79                       | 40 dk. 10 s |
| 18        | 75.95                                         | 75.714                   | 75.95                         | 87.98                       | 43 dk. 39 s |
| 19        | 77.14                                         | 79.286                   | 77.14                         | 88.57                       | 48 dk. 46 s |
| 20        | 77.86                                         | 75.14                    | 77.86                         | 88.93                       | 54 dk. 43 s |



Şekil 3.14. Epok değerlerine göre sınıflama (validasyon) doğruluğu grafiği



Şekil 3.15. Epok değerlerine göre ortalama hassasiyet (%) ve ortalama özgüllük (%) grafiği



Şekil 3.16. Epok değerlerine göre eğitim süresi grafiği

### 3.3. Anket Değerlendirmesi

#### 3.3.1. Mühendis katılımcı KZFD analiziyle Arousal sınıflaması

Anket yanıtlarına göre oluşturulan veri seti ile ikili sınıflama (HA ve LA) yapmak için mühendis katılımcıların KZFD zaman-frekans analizi görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Hiperparametre değişiklikleriyle yapılan dört farklı deney uygulanmıştır. İlk olarak katman sayısı sırayla arttırılmıştır. En yüksek sınıflama doğruluğunu veren katman sayısı ile deneye devam edilmiştir. Deneyin devamında sırayla MiniBatchSize, Dropout ve MaxEpochs değerleri değiştirilerek sonuçta en yüksek 83.57% arousal performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.17.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1             | 71.79                                | 73.571             | 90.20                   | 53.54                 | 2 dk. 54 s |
| 2             | <b>76.07</b>                         | 76.786             | 78.43                   | 74.80                 | 4 dk. 31 s |
| 3             | 70.71                                | 71.071             | 57.52                   | 87.40                 | 5 dk. 28 s |
| 4             | 70.00                                | 69.643             | 64.71                   | 75.59                 | 6 dk. 18 s |
| 5             | 64.29                                | 61.786             | 98.69                   | 17.32                 | 6 dk. 40 s |
| 6             | 65.36                                | 66.429             | 81.70                   | 48.03                 | 7 dk. 14 s |

**Çizelge 3.18.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 8             | 74.29                                | 71.786             | 86.93                   | 53.54                 | 5 dk. 44 s |
| 16            | 75.36                                | 75.00              | 65.36                   | 86.61                 | 4 dk. 28 s |
| 32            | <b>77.86</b>                         | 74.643             | 74.51                   | 74.80                 | 4 dk. 24 s |
| 64            | 66.79                                | 66.429             | 43.14                   | 94.49                 | 4 dk. 38 s |
| 128           | 74.64                                | 75.714             | 83.01                   | 66.93                 | 4 dk. 28 s |

**Çizelge 3.19.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 0.3        | 73.93                                | 76.786             | 73.86                   | 80.31                 | 4 dk. 7 s  |
| 0.4        | 70.00                                | 72.143             | 95.42                   | 44.09                 | 4 dk. 17 s |
| 0.5        | 66.79                                | 64.643             | 41.18                   | 92.91                 | 4 dk. 11 s |
| 0.6        | 71.07                                | 70.714             | 61.44                   | 81.89                 | 4 dk. 11 s |
| <b>0.7</b> | <b>80.00</b>                         | 75.00              | 86.27                   | 61.42                 | 4 dk. 25 s |
| 0.8        | 78.21                                | 76.071             | 84.97                   | 65.35                 | 4 dk. 32 s |

**Çizelge 3.20.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 66.43                                         | 63.214                   | 92.16                         | 28.35                       | 1 dk. 6 s   |
| 2         | 75.36                                         | 72.857                   | 66.67                         | 80.31                       | 2 dk. 2 s   |
| 3         | 73.21                                         | 74.643                   | 83.66                         | 63.78                       | 3 dk. 6 s   |
| 4         | 62.50                                         | 67.857                   | 100                           | 29.13                       | 3 dk. 57 s  |
| 5         | 71.79                                         | 78.571                   | 67.11                         | 71.79                       | 5 dk. 2 s   |
| 6         | 76.07                                         | 77.50                    | 83.55                         | 67.19                       | 6 dk. 16 s  |
| 7         | 77.86                                         | 78.214                   | 79.61                         | 75.78                       | 7 dk. 20 s  |
| 8         | 80.71                                         | 79.643                   | 92.11                         | 67.19                       | 8 dk. 23 s  |
| <b>9</b>  | <b>83.57</b>                                  | 79.643                   | 83.55                         | 83.59                       | 9 dk. 26 s  |
| 10        | 81.43                                         | 79.286                   | 78.29                         | 85.16                       | 10 dk. 27 s |
| 11        | 82.14                                         | 80.00                    | 88.82                         | 74.22                       | 11 dk. 36 s |
| 12        | 81.43                                         | 80.00                    | 84.87                         | 77.34                       | 12 dk. 14 s |
| 13        | 79.29                                         | 78.571                   | 80.26                         | 78.12                       | 13 dk. 50 s |
| 14        | 79.64                                         | 82.143                   | 81.58                         | 77.34                       | 15 dk. 23 s |
| 15        | 81.07                                         | 81.429                   | 84.21                         | 77.34                       | 16 dk. 26 s |
| 16        | 79.29                                         | 80.714                   | 86.84                         | 70.31                       | 17 dk. 57 s |
| 17        | 77.86                                         | 76.071                   | 78.95                         | 76.56                       | 18 dk. 57 s |
| 18        | 79.29                                         | 82.50                    | 81.58                         | 76.56                       | 18 dk. 47 s |
| 19        | 82.14                                         | 81.786                   | 81.58                         | 82.81                       | 20 dk. 11 s |
| 20        | 80.71                                         | 81.071                   | 81.58                         | 79.69                       | 21 dk. 25 s |

### 3.3.2. Mühendis katılımcı SDD analiziyle Arousal sınıflaması

Mühendis katılımcıların 3. Seviye SDD zaman-frekans analiz görüntüleri ile yapılan ikili sınıflama (HA ve LA) sonucunda mühendis katılımcıların 3. Seviye SDD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Hiperparametre değerleri değiştirilerek yapılan dört farklı deneyler sonucunda en yüksek 73.57% arousal performans doğruluğuna katman sayısı 4, MiniBatchSize 128, Dropout değeri 0.4, MaxEpochs değeri 16 iken ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.21.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman<br>Sayısı | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 1                | 58.21                                         | 58.571                   | 36.77                         | 84.80                       | 2 dk. 58 s |
| 2                | 63.57                                         | 61.429                   | 86.45                         | 35.20                       | 4 dk. 49 s |
| 3                | 62.14                                         | 55.357                   | 47.74                         | 80.00                       | 5 dk. 21 s |
| <b>4</b>         | <b>66.79</b>                                  | 59.286                   | 76.77                         | 54.40                       | 6 dk. 5 s  |
| 5                | 54.64                                         | 62.857                   | 54.19                         | 55.20                       | 6 dk. 57 s |
| 6                | 64.29                                         | 67.143                   | 64.52                         | 64.00                       | 7 dk. 33 s |

**Çizelge 3.22.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 8             | 61.43                                         | 58.929                   | 59.35                         | 64.00                       | 8 dk. 21 s |
| 16            | 58.57                                         | 61.429                   | 47.10                         | 72.80                       | 6 dk. 21 s |
| 32            | 61.43                                         | 65.714                   | 71.61                         | 48.80                       | 6 dk. 0 s  |
| 64            | 60.71                                         | 62.143                   | 90.32                         | 24.00                       | 6 dk. 8 s  |
| <b>128</b>    | <b>63.21</b>                                  | 56.786                   | 78.06                         | 44.80                       | 6 dk. 18 s |

**Çizelge 3.23.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 63.93                                         | 65.00                    | 80.00                         | 44.00                       | 6 dk. 25 s |
| <b>0.4</b> | <b>68.21</b>                                  | 67.50                    | 75.48                         | 59.20                       | 6 dk. 21 s |
| 0.5        | 62.50                                         | 64.643                   | 78.71                         | 42.40                       | 6 dk. 59 s |
| 0.6        | 60.00                                         | 58.929                   | 78.06                         | 37.60                       | 6 dk. 4 s  |
| 0.7        | 62.14                                         | 61.071                   | 98.06                         | 17.60                       | 6 dk. 16 s |
| 0.8        | 57.50                                         | 63.571                   | 79.35                         | 30.40                       | 5 dk. 56 s |

**Çizelge 3.24.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 54.29                                         | 48.929                   | 25.81                         | 89.60                       | 1 dk. 36 s  |
| 2         | 57.86                                         | 58.929                   | 96.77                         | 9.60                        | 2 dk. 59 s  |
| 3         | 64.29                                         | 62.857                   | 92.26                         | 29.60                       | 4 dk. 26 s  |
| 4         | 61.07                                         | 58.929                   | 43.87                         | 82.40                       | 5 dk. 37 s  |
| 5         | 60.36                                         | 60.00                    | 90.97                         | 22.40                       | 7 dk. 22 s  |
| 6         | 71.07                                         | 65.714                   | 63.87                         | 80.00                       | 9 dk. 1 s   |
| 7         | 64.64                                         | 62.857                   | 76.13                         | 50.40                       | 10 dk. 31 s |
| 8         | 66.07                                         | 68.214                   | 66.45                         | 65.60                       | 12 dk. 0 s  |
| 9         | 67.14                                         | 67.143                   | 78.71                         | 52.80                       | 13 dk. 30 s |
| 10        | 70.36                                         | 65.714                   | 86.45                         | 50.40                       | 14 dk. 55 s |
| 11        | 70.00                                         | 68.929                   | 76.77                         | 61.60                       | 16 dk. 3 s  |
| 12        | 70.36                                         | 62.143                   | 72.90                         | 67.20                       | 17 dk. 51 s |
| 13        | 65.00                                         | 73.571                   | 77.42                         | 49.60                       | 19 dk. 3 s  |
| 14        | 67.50                                         | 65.714                   | 77.42                         | 55.20                       | 20 dk. 14 s |
| 15        | 68.21                                         | 67.857                   | 70.97                         | 64.80                       | 21 dk. 6 s  |
| <b>16</b> | <b>73.57</b>                                  | 68.571                   | 77.42                         | 68.80                       | 25 dk. 21 s |
| 17        | 68.21                                         | 72.50                    | 69.03                         | 67.20                       | 25 dk. 40 s |
| 18        | 65.36                                         | 70.00                    | 72.90                         | 56.00                       | 28 dk. 38 s |
| 19        | 70.00                                         | 64.643                   | 75.48                         | 63.20                       | 29 dk. 29 s |
| 20        | 68.21                                         | 71.429                   | 72.90                         | 62.40                       | 30 dk. 52 s |

### 3.3.3. Mimar katılımcı KZFD analiziyle Arousal sınıflaması

İki sınıf sınıflama sonucunda mimar katılımcıların KZFD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 86.43% arousal performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.25.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1             | 77.86                                | 80.00              | 87.56                   | 53.16                 | 3 dk. 3 s  |
| 2             | <b>82.50</b>                         | 81.786             | 91.04                   | 60.76                 | 4 dk. 20 s |
| 3             | 72.86                                | 74.643             | 77.61                   | 60.76                 | 5 dk. 19 s |
| 4             | 68.257                               | 67.857             | 77.61                   | 45.57                 | 5 dk. 59 s |
| 5             | 75.00                                | 72.143             | 97.01                   | 18.99                 | 6 dk. 18 s |
| 6             | 71.07                                | 72.50              | 94.53                   | 11.39                 | 6 dk. 56 s |

**Çizelge 3.26.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 8             | <b>83.93</b>                         | 80.00              | 93.53                   | 59.49                 | 6 dk. 20 s |
| 16            | 74.29                                | 77.50              | 74.63                   | 73.42                 | 4 dk. 55 s |
| 32            | 82.50                                | 82.50              | 86.07                   | 73.42                 | 4 dk. 28 s |
| 64            | 66.07                                | 67.143             | 55.72                   | 92.41                 | 4 dk. 33 s |
| 128           | 81.79                                | 80.00              | 91.04                   | 58.23                 | 5 dk. 1 s  |

**Çizelge 3.27.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 0.3        | 81.07                                | 75.00              | 86.57                   | 67.09                 | 6 dk. 23 s |
| 0.4        | 81.07                                | 81.429             | 95.52                   | 44.30                 | 6 dk. 32 s |
| 0.5        | 76.07                                | 75.00              | 78.11                   | 70.89                 | 6 dk. 24 s |
| <b>0.6</b> | <b>83.57</b>                         | 81.429             | 9652                    | 5063                  | 6 dk. 26 s |
| 0.7        | 69.64                                | 71.786             | 6915                    | 7089                  | 5 dk. 50 s |
| 0.8        | 81.07                                | 78.571             | 9602                    | 4304                  | 5 dk. 39 s |

**Çizelge 3.28.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|-----------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1         | 72.50                                | 72.857             | 97.01                   | 10.13                 | 1 dk 29 s  |
| 2         | 77.86                                | 78.571             | 98.01                   | 26.58                 | 2 dk. 56 s |
| 3         | 74.29                                | 74.643             | 76.12                   | 69.62                 | 4 dk. 25 s |

|           |              |        |       |       |             |
|-----------|--------------|--------|-------|-------|-------------|
| 4         | 78.93        | 75.357 | 85.57 | 62.03 | 5 dk. 46 s  |
| 5         | 78.57        | 81.429 | 96.02 | 34.18 | 7 dk. 4 s   |
| 6         | 78.93        | 78.214 | 84.08 | 65.82 | 8 dk. 49 s  |
| 7         | 81.07        | 85.714 | 91.54 | 54.43 | 10 dk. 39 s |
| 8         | 81.07        | 81.429 | 90.05 | 58.23 | 12 dk. 1 s  |
| 9         | 80.00        | 82.143 | 83.58 | 70.89 | 13 dk. 15 s |
| 10        | 77.14        | 80.00  | 84.08 | 59.49 | 15 dk. 1 s  |
| 11        | 82.14        | 78.929 | 92.04 | 56.96 | 16 dk. 12 s |
| 12        | 84.64        | 86.786 | 92.04 | 65.82 | 17 dk. 28 s |
| 13        | 85.36        | 82.143 | 93.03 | 65.82 | 19 dk. 46 s |
| 14        | 80.36        | 83.571 | 89.05 | 58.23 | 21 dk. 40 s |
| 15        | 81.79        | 84.643 | 90.55 | 59.49 | 22 dk. 51 s |
| 16        | 84.29        | 82.857 | 93.03 | 62.03 | 24 dk. 54 s |
| 17        | 76.07        | 80.714 | 86.57 | 49.37 | 25 dk. 52 s |
| <b>18</b> | <b>86.43</b> | 81.429 | 95.52 | 63.29 | 27 dk. 41 s |
| 19        | 83.93        | 80.714 | 87.56 | 74.68 | 28 dk. 55 s |
| 20        | 84.29        | 80.714 | 92.04 | 64.56 | 31 dk. 2 s  |

### 3.3.4. Mimar katılımcı SDD analiziyle Arousal sınıflaması

İki sınıf sınıflama sonucunda mimar katılımcıların SDD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 76.07% arousal performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.29.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1             | 69.64                                | 68.929             | 82.67                   | 35.90                 | 3 dk. 8 s  |
| 2             | 70.71                                | 69.286             | 93.56                   | 11.54                 | 4 dk. 36 s |
| <b>3</b>      | <b>73.93</b>                         | 71.786             | 91.58                   | 28.21                 | 6 dk. 5 s  |
| 4             | 72.50                                | 71.786             | 94.55                   | 15.38                 | 6 dk. 48 s |
| 5             | 71.07                                | 71.786             | 97.52                   | 02.56                 | 7 dk. 10 s |
| 6             | 72.86                                | 72.857             | 98.51                   | 06.41                 | 7 dk. 53 s |

**Çizelge 3.30.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| <b>8</b>      | <b>73.57</b>                         | 73.571             | 95.05                   | 17.95                 | 6 dk. 56 s |
| 16            | 71.79                                | 73.571             | 99.01                   | 01.28                 | 5 dk. 20 s |
| 32            | 73.21                                | 72.857             | 87.13                   | 37.18                 | 4 dk. 57 s |
| 64            | 67.50                                | 71.071             | 81.19                   | 32.05                 | 5 dk. 10 s |
| 128           | 68.21                                | 71.071             | 80.69                   | 35.90                 | 5 dk. 13 s |

**Çizelge 3.31.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 70.71                                         | 71.429                   | 84.16                         | 35.90                       | 6 dk. 50 s |
| 0.4        | 71.79                                         | 73.214                   | 91.58                         | 20.51                       | 6 dk. 47 s |
| <b>0.5</b> | <b>73.57</b>                                  | 71.786                   | 96.53                         | 14.10                       | 6 dk. 41 s |
| 0.6        | 71.79                                         | 68.929                   | 91.09                         | 21.79                       | 6 dk. 57 s |
| 0.7        | 73.21                                         | 67.50                    | 90.59                         | 28.21                       | 7 dk. 0 s  |
| 0.8        | 72.50                                         | 68.929                   | 99.50                         | 02.56                       | 6 dk. 57 s |

**Çizelge 3.32.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 71.43                                         | 66.429                   | 91.58                         | 19.23                       | 1 dk. 47 s  |
| 2         | 70.00                                         | 68.571                   | 92.08                         | 12.82                       | 3 dk. 31 s  |
| 3         | 71.79                                         | 68.929                   | 83.17                         | 42.31                       | 5 dk. 18 s  |
| 4         | 75.71                                         | 72.50                    | 96.53                         | 21.79                       | 7 dk. 7 s   |
| 5         | 70.36                                         | 68.571                   | 82.67                         | 38.46                       | 8 dk. 52 s  |
| 6         | 71.43                                         | 70.357                   | 84.16                         | 38.46                       | 10 dk. 50 s |
| 7         | 70.36                                         | 72.50                    | 88.61                         | 23.08                       | 12 dk. 44 s |
| 8         | 73.57                                         | 73.929                   | 90.59                         | 29.49                       | 14 dk. 26 s |
| 9         | 73.57                                         | 71.786                   | 95.05                         | 17.95                       | 16 dk. 56 s |
| 10        | 72.50                                         | 69.286                   | 88.12                         | 32.05                       | 18 dk. 30 s |
| <b>11</b> | <b>76.07</b>                                  | 70.357                   | 90.10                         | 39.74                       | 20 dk. 5 s  |
| 12        | 71.79                                         | 70.00                    | 84.65                         | 38.46                       | 22 dk. 7 s  |
| 13        | 66.79                                         | 71.071                   | 79.70                         | 33.33                       | 23 dk. 2 s  |
| 14        | 71.43                                         | 72.143                   | 84.16                         | 38.46                       | 24 dk. 50 s |
| 15        | 76.07                                         | 72.857                   | 88.61                         | 43.59                       | 26 dk. 47 s |
| 16        | 70.00                                         | 67.50                    | 82.67                         | 37.18                       | 28 dk. 55 s |
| 17        | 69.29                                         | 69.643                   | 81.68                         | 37.18                       | 30 dk. 55 s |
| 18        | 72.50                                         | 71.786                   | 87.62                         | 33.33                       | 32 dk. 32 s |
| 19        | 72.50                                         | 69.286                   | 83.17                         | 44.87                       | 36 dk. 19 S |
| 20        | 70.00                                         | 72.143                   | 82.67                         | 37.18                       | 36 dk. 44 s |

### 3.3.5. Mühendis katılımcı KZFD analiziyle Valence sınıflaması

İki sınıf sınıflama sonucunda mühendis katılımcıların KZFD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 85.71% valence performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.33.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| <b>1</b>      | <b>84.29</b>                                  | 81.429                   | 92.39                         | 68.75                       | 3 dk. 15 s |
| 2             | 80.71                                         | 77.857                   | 95.65                         | 52.08                       | 4 dk. 42 s |

|   |       |        |       |       |            |
|---|-------|--------|-------|-------|------------|
| 3 | 76.07 | 74.286 | 92.39 | 44.79 | 5 dk. 50 s |
| 4 | 77.86 | 73.214 | 88.59 | 57.29 | 6 dk. 26 s |
| 5 | 74.29 | 69.286 | 82.61 | 58.33 | 7 dk. 15 s |
| 6 | 65.71 | 67.50  | 73.37 | 51.04 | 7 dk. 47 s |

**Çizelge 3.34.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 8             | 81.07                                         | 81.429                   | 84.78                         | 73.96                       | 4 dk. 21 s |
| 16            | 76.07                                         | 72.857                   | 72.28                         | 83.33                       | 3 dk. 16 s |
| 32            | 78.21                                         | 76.071                   | 76.09                         | 82.29                       | 2 dk. 59 s |
| 64            | 59.64                                         | 63.929                   | 44.02                         | 89.58                       | 2 dk. 58 s |
| <b>128</b>    | <b>81.79</b>                                  | 80.357                   | 87.50                         | 70.83                       | 3 dk. 23 s |

**Çizelge 3.35.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 78.21                                         | 78.929                   | 94.02                         | 47.92                       | 3 dk. 21 s |
| 0.4        | 76.79                                         | 79.643                   | 96.74                         | 38.54                       | 3 dk. 13 s |
| 0.5        | 76.43                                         | 80.00                    | 88.04                         | 54.17                       | 3 dk. 18 s |
| 0.6        | 77.14                                         | 75.00                    | 77.72                         | 76.04                       | 3 dk. 19 s |
| 0.7        | 79.64                                         | 78.214                   | 97.28                         | 45.83                       | 3 dk. 15 s |
| <b>0.8</b> | <b>81.07</b>                                  | 76.786                   | 91.30                         | 61.46                       | 3 dk. 15 s |

**Çizelge 3.36.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 63.21                                         | 60.00                    | 58.15                         | 72.92                       | 53 s        |
| 2         | 69.29                                         | 72.857                   | 65.22                         | 77.08                       | 1 dk. 40 s  |
| 3         | 75.00                                         | 80.714                   | 85.87                         | 54.17                       | 2 dk. 24 s  |
| 4         | 78.93                                         | 78.214                   | 97.83                         | 42.71                       | 3 dk. 10 s  |
| 5         | 84.29                                         | 79.643                   | 83.70                         | 85.42                       | 4 dk. 2 s   |
| <b>6</b>  | <b>85.71</b>                                  | 80.357                   | 91.30                         | 75.00                       | 4 dk. 44 s  |
| 7         | 79.64                                         | 80.00                    | 86.41                         | 66.67                       | 5 dk. 50 s  |
| 8         | 81.07                                         | 80.00                    | 91.85                         | 60.42                       | 6 dk. 40 s  |
| 9         | 82.50                                         | 80.00                    | 93.48                         | 61.46                       | 7 dk. 13 s  |
| 10        | 82.50                                         | 80.357                   | 86.96                         | 73.96                       | 8 dk. 5 s   |
| 11        | 83.21                                         | 85.00                    | 91.85                         | 66.67                       | 8 dk. 33 s  |
| 12        | 80.36                                         | 80.357                   | 91.85                         | 58.33                       | 9 dk. 5 s   |
| 13        | 79.64                                         | 77.857                   | 92.39                         | 55.21                       | 10 dk. 6 s  |
| 14        | 84.64                                         | 80.714                   | 92.93                         | 68.75                       | 10 dk. 58 s |
| 15        | 82.86                                         | 83.571                   | 89.13                         | 70.83                       | 11 dk. 18 s |
| 16        | 83.57                                         | 80.00                    | 89.67                         | 71.88                       | 12 dk. 3 s  |
| 17        | 77.50                                         | 82.857                   | 84.24                         | 64.58                       | 12 dk. 59 s |
| 18        | 80.71                                         | 76.071                   | 86.41                         | 69.79                       | 13 dk. 54 s |
| 19        | 78.57                                         | 85.714                   | 84.78                         | 66.67                       | 14 dk. 46 s |
| 20        | 81.79                                         | 83.929                   | 89.67                         | 66.67                       | 15 dk. 6 s  |

### 3.3.6. Mühendis katılımcı SDD analiziyle Valence sınıflaması

İki sınıf sınıflama sonucunda mühendis katılımcıların SDD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 76.43% valence performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.37.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1             | 69.64                                | 67.143             | 98.91                   | 13.54                 | 3 dk. 6 s  |
| 2             | 63.93                                | 61.071             | 55.98                   | 79.17                 | 4 dk. 46 s |
| 3             | 68.21                                | 70.00              | 93.48                   | 19.79                 | 5 dk. 41 s |
| 4             | 64.64                                | 60.714             | 57.61                   | 78.12                 | 6 dk. 2 s  |
| 5             | <b>75.00</b>                         | 70.714             | 88.04                   | 50.00                 | 6 dk. 45 s |
| 6             | 73.57                                | 71.071             | 94.57                   | 33.33                 | 7 dk. 13 s |

**Çizelge 3.38.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 8             | 67.14                                | 65.00              | 82.07                   | 38.54                 | 9 dk. 33 s |
| 16            | 65.36                                | 73.214             | 73.91                   | 48.96                 | 7 dk. 28 s |
| 32            | <b>68.93</b>                         | 70.00              | 84.24                   | 39.58                 | 6 dk. 48 s |
| 64            | 66.07                                | 67.50              | 76.09                   | 46.88                 | 7 dk. 7 s  |
| 128           | 66.07                                | 69.643             | 93.48                   | 13.54                 | 6 dk. 48 s |

**Çizelge 3.39.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 0.3        | 66.43                                | 68.571             | 95.65                   | 10.42                 | 7 dk. 1 s  |
| 0.4        | 56.07                                | 59.643             | 52.72                   | 62.50                 | 6 dk. 20 s |
| 0.5        | 66.79                                | 70.357             | 68.48                   | 63.54                 | 6 dk. 24 s |
| 0.6        | 64.29                                | 58.214             | 64.13                   | 64.58                 | 6 dk. 22 s |
| <b>0.7</b> | <b>68.21</b>                         | 62.50              | 77.72                   | 50.00                 | 6 dk. 39 s |
| 0.8        | 58.93                                | 63.214             | 74.46                   | 29.17                 | 6 dk. 58 s |

**Çizelge 3.40.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|-----------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1         | 64.29                                | 65.00              | 89.67                   | 15.62                 | 1 dk. 49 s |
| 2         | 62.50                                | 66.071             | 78.26                   | 32.29                 | 3 dk. 30 s |
| 3         | 68.57                                | 66.786             | 97.28                   | 13.54                 | 5 dk. 19 s |

|           |              |        |       |       |             |
|-----------|--------------|--------|-------|-------|-------------|
| 4         | 68.57        | 66.429 | 95.11 | 17.71 | 6 dk. 32 s  |
| 5         | 66.07        | 68.214 | 71.74 | 55.21 | 8 dk. 46 s  |
| 6         | 71.07        | 72.143 | 84.78 | 44.79 | 10 dk. 16 s |
| 7         | 68.93        | 67.50  | 73.37 | 60.42 | 11 dk. 23 s |
| 8         | 71.43        | 75.357 | 83.15 | 48.96 | 12 dk. 43 s |
| 9         | 70.71        | 72.50  | 86.41 | 40.62 | 14 dk. 24 s |
| 10        | 74.29        | 74.643 | 86.41 | 51.04 | 16 dk. 20 s |
| 11        | 74.29        | 73.929 | 86.96 | 50.00 | 17 dk. 42 s |
| 12        | 68.57        | 68.571 | 81.52 | 43.75 | 19 dk. 7 s  |
| <b>13</b> | <b>76.43</b> | 69.643 | 88.59 | 53.12 | 21 dk. 26 s |
| 14        | 72.86        | 72.143 | 83.15 | 53.12 | 23 dk. 42 s |
| 15        | 73.93        | 72.857 | 89.13 | 44.79 | 27 dk. 11 s |
| 16        | 71.43        | 73.214 | 85.33 | 44.79 | 27 dk. 37 s |
| 17        | 76.07        | 73.571 | 89.13 | 51.04 | 29 dk. 30 s |
| 18        | 71.07        | 70.714 | 83.70 | 46.88 | 31 dk. 4 s  |
| 19        | 70.71        | 75.357 | 83.70 | 45.83 | 31 dk. 41 s |
| 20        | 73.93        | 73.571 | 88.04 | 46.88 | 35 dk. 0 s  |

### 3.3.7. Mimar katılımcı KZFD analiziyle Valence sınıflaması

Mimar katılımcıların KZFD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 89.64% valence performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.41.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1             | 67.14                                | 67.143             | 97.60                   | 22.12                 | 3 dk. 15 s |
| 2             | 75.71                                | 75.00              | 86.83                   | 59.29                 | 4 dk. 31 s |
| 3             | 76.07                                | 70.00              | 73.65                   | 79.65                 | 5 dk. 26 s |
| 4             | 68.21                                | 70.00              | 74.25                   | 59.29                 | 6 dk. 2 s  |
| <b>5</b>      | <b>76.07</b>                         | 73.214             | 89.82                   | 55.75                 | 6 dk. 52 s |
| 6             | 58.21                                | 58.929             | 53.89                   | 64.60                 | 7 dk. 38 s |

**Çizelge 3.42.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama (Validasyon) Doğruluğu (%) | Test Doğruluğu (%) | Ortalama Hassasiyet (%) | Ortalama Özgüllük (%) | Zaman      |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 8             | 65.36                                | 65.357             | 77.84                   | 46.90                 | 10 dk. 3 s |
| 16            | 65.00                                | 60.357             | 83.23                   | 38.05                 | 7 dk. 58 s |
| <b>32</b>     | <b>78.57</b>                         | 73571              | 8802                    | 6460                  | 7 dk. 7 s  |
| 64            | 68.21                                | 70714              | 8982                    | 3628                  | 7 dk. 13 s |
| 128           | 61.07                                | 56429              | 6287                    | 5841                  | 7 dk. 12 s |

**Çizelge 3.43.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 72.14                                         | 76.071                   | 72.46                         | 71.68                       | 7 dk. 2 s  |
| <b>0.4</b> | <b>74.29</b>                                  | 70.357                   | 91.62                         | 48.67                       | 6 dk. 50 s |
| 0.5        | 65.71                                         | 6750                     | 76.65                         | 49.56                       | 7 dk. 3 s  |
| 0.6        | 70.00                                         | 68.929                   | 76.65                         | 60.18                       | 6 dk. 52 s |
| 0.7        | 58.57                                         | 70.00                    | 46.11                         | 76.99                       | 6 dk. 53 s |
| 0.8        | 56.79                                         | 58.214                   | 38.32                         | 84.07                       | 6 dk. 51 s |

**Çizelge 3.44.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 58.93                                         | 58.571                   | 82.04                         | 24.78                       | 1 dk. 50 s  |
| 2         | 69.64                                         | 61.786                   | 75.45                         | 61.06                       | 3 dk. 36 s  |
| 3         | 71.07                                         | 71.071                   | 77.25                         | 61.95                       | 5 dk. 22 s  |
| 4         | 71.79                                         | 65.357                   | 94.01                         | 38.94                       | 7 dk. 12 s  |
| 5         | 77.86                                         | 77.143                   | 89.82                         | 60.18                       | 8 dk. 59 s  |
| 6         | 77.86                                         | 82.50                    | 82.63                         | 70.80                       | 10 dk. 27 s |
| 7         | 79.64                                         | 82.143                   | 82.63                         | 75.22                       | 11 dk. 40 s |
| 8         | 83.57                                         | 82.50                    | 90.42                         | 73.45                       | 13 dk. 16 s |
| 9         | 80.71                                         | 85.357                   | 91.62                         | 64.60                       | 15 dk. 34 s |
| 10        | 86.79                                         | 81.429                   | 92.22                         | 78.76                       | 18 dk. 13 s |
| 11        | 87.50                                         | 82.143                   | 91.62                         | 81.42                       | 19 dk. 5 s  |
| 12        | 87.50                                         | 85.714                   | 93.41                         | 78.76                       | 20 dk. 40 s |
| 13        | 83.57                                         | 86.071                   | 91.02                         | 72.57                       | 22 dk. 3 s  |
| 14        | 85.36                                         | 86.071                   | 92.81                         | 74.34                       | 23 dk. 59 s |
| <b>15</b> | <b>89.64</b>                                  | 82.857                   | 89.22                         | 90.27                       | 25 dk. 43 s |
| 16        | 83.86                                         | 87.50                    | 91.02                         | 70.80                       | 26 dk. 44 s |
| 17        | 88.57                                         | 83.929                   | 91.62                         | 84.07                       | 28 dk. 21 s |
| 18        | 85.36                                         | 88.929                   | 91.02                         | 76.99                       | 31 dk. 36 s |
| 19        | 85.36                                         | 85.00                    | 91.62                         | 76.11                       | 32 dk. 37 s |
| 20        | 84.29                                         | 85.00                    | 91.02                         | 74.34                       | 34 dk. 3 s  |

### 3.3.8. Mimar katılımcı SDD analiziyle Valence sınıflaması

Mimar katılımcıların SDD analiz görüntüleri basit ESA modelinde giriş olarak kullanıldığında deneyler sonucunda en yüksek 64.77% valence performans doğruluğuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.45.** Katman sayısına göre elde edilen 1. deney sonuçları

| Katman Sayısı | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 1             | 53.36                                         | 61.29                    | 64.24                         | 50.00                       | 3 dk. 16 s |
| <b>2</b>      | <b>60.85</b>                                  | 60.932                   | 93.33                         | 14.66                       | 4 dk. 48 s |

|   |       |        |       |       |            |
|---|-------|--------|-------|-------|------------|
| 3 | 55.87 | 55.556 | 50.30 | 63.79 | 5 dk. 40 s |
| 4 | 56.94 | 56.272 | 68.48 | 40.52 | 6 dk. 21 s |
| 5 | 58.72 | 56.989 | 87.88 | 17.24 | 7 dk. 0 s  |
| 6 | 53.74 | 58.065 | 77.58 | 19.83 | 7 dk. 32 s |

**Çizelge 3.46.** MiniBatchSize değerlerine göre elde edilen 2. deney sonuçları

| MiniBatchSize | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 8             | 59.79                                         | 60.573                   | 84.24                         | 25.00                       | 6 dk. 24 s |
| 16            | 59.07                                         | 56.631                   | 72.12                         | 40.52                       | 4 dk. 38 s |
| 32            | 60.50                                         | 52.33                    | 72.12                         | 43.97                       | 4 dk. 20 s |
| <b>64</b>     | <b>61.57</b>                                  | 54.839                   | 76.97                         | 39.66                       | 4 dk. 35 s |
| 128           | 60.85                                         | 59.498                   | 93.33                         | 14.66                       | 4 dk. 31 s |

**Çizelge 3.47.** Dropout değerlerine göre elde edilen 3. deney sonuçları

| Dropout    | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman      |
|------------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 0.3        | 59.79                                         | 59.857                   | 98.79                         | 04.31                       | 4 dk. 24 s |
| <b>0.4</b> | <b>61.57</b>                                  | 56.631                   | 79.39                         | 36.21                       | 4 dk. 23 s |
| 0.5        | 60.14                                         | 59.14                    | 84.85                         | 25.00                       | 4 dk. 27 s |
| 0.6        | 58.72                                         | 59.498                   | 98.18                         | 02.59                       | 4 dk. 34 s |
| 0.7        | 53.74                                         | 58.781                   | 51.52                         | 56.90                       | 4 dk. 35 s |
| 0.8        | 55.16                                         | 55.197                   | 49.09                         | 63.79                       | 4 dk. 25 s |

**Çizelge 3.48.** MaxEpochs değerlerine göre elde edilen 4. deney sonuçları

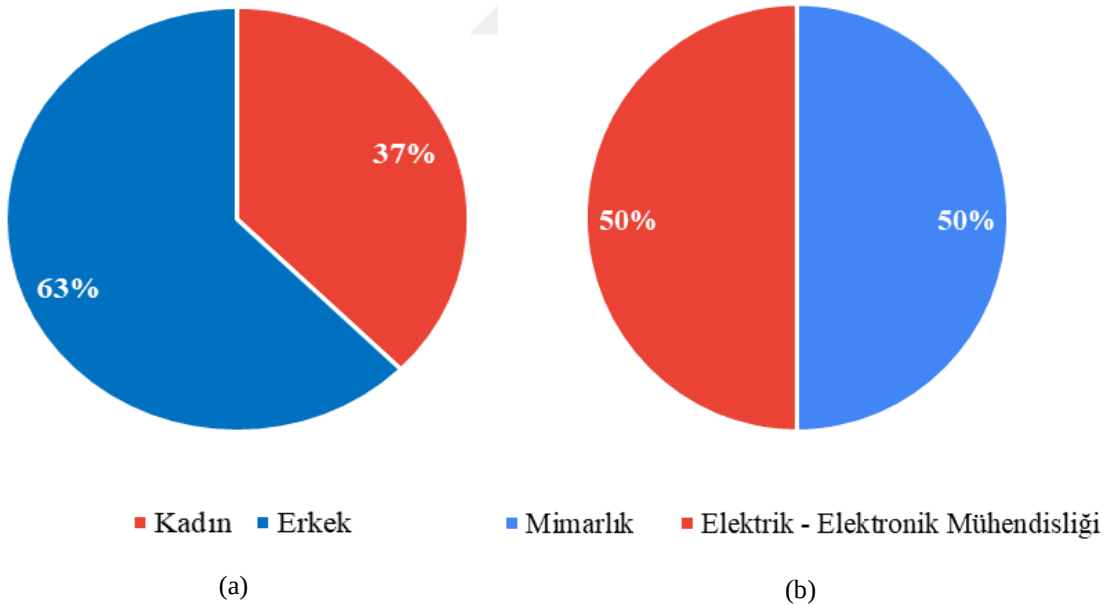
| MaxEpochs | Sınıflama<br>(Validasyon)<br>Doğruluğu<br>(%) | Test<br>Doğruluğu<br>(%) | Ortalama<br>Hassasiyet<br>(%) | Ortalama<br>Özgüllük<br>(%) | Zaman       |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1         | 58.72                                         | 58.065                   | 83.64                         | 23.28                       | 1 dk. 16 s  |
| 2         | 62.63                                         | 56.989                   | 86.06                         | 29.31                       | 2 dk. 17 s  |
| 3         | 59.43                                         | 59.14                    | 100                           | 01.72                       | 3 dk. 25 s  |
| 4         | 60.14                                         | 59.14                    | 98.79                         | 05.17                       | 4 dk. 31 s  |
| 5         | 61.21                                         | 60.932                   | 85.45                         | 26.72                       | 5 dk. 32 s  |
| 6         | 61.21                                         | 58.781                   | 66.67                         | 53.45                       | 6 dk. 49 s  |
| 7         | 59.43                                         | 55.556                   | 61.82                         | 56.03                       | 7 dk. 44 s  |
| 8         | 60.50                                         | 56.272                   | 71.52                         | 44.83                       | 9 dk. 3 s   |
| 9         | 57.65                                         | 55.914                   | 47.27                         | 72.41                       | 10 dk. 14 s |
| 10        | 64.41                                         | 59.498                   | 73.33                         | 51.72                       | 11 dk. 31 s |
| 11        | 60.50                                         | 60.932                   | 66.06                         | 52.59                       | 12 dk. 42 s |
| <b>12</b> | <b>64.77</b>                                  | 56.272                   | 70.91                         | 56.03                       | 13 dk. 52 s |
| 13        | 60.85                                         | 61.29                    | 66.67                         | 52.59                       | 14 dk. 22 s |
| 14        | 62.99                                         | 65.95                    | 72.12                         | 50.00                       | 16 dk. 5 s  |
| 15        | 58.72                                         | 60.215                   | 69.09                         | 43.97                       | 16 dk. 56 s |
| 16        | 60.14                                         | 63.082                   | 68.48                         | 48.28                       | 18 dk. 18 s |
| 17        | 59.79                                         | 62.366                   | 72.73                         | 41.38                       | 18 dk. 55 s |
| 18        | 59.43                                         | 57.348                   | 65.45                         | 50.86                       | 21 dk. 2 s  |
| 19        | 62.99                                         | 62.366                   | 67.88                         | 56.03                       | 21 dk. 49 s |
| 20        | 64.06                                         | 57.706                   | 70.30                         | 55.17                       | 22 dk. 26 s |

Çizelge 3.49’da tüm gruplamalar içerisinde en yüksek 86.43% arousal ve 89.64% valence sınıflama doğruluğuna ulaşılmıştır. Mimar katılımcılardan elde edilen doğruluk sonuçlarının mühendis katılımcılardan daha yüksek duygu tanıma sonuçlarına ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

**Çizelge 3.49.** Anket yanıtlarına göre oluşturulan veri seti ile her bir sınıf için elde edilen EEG tabanlı duygu tanıma sonuçları (%)

|      | Arousal                     |                             | Valence                     |                             |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|      | Mühendis                    | Mimar                       | Mühendis                    | Mimar                       |
|      | Validasyon / Test Doğruluğu | Validasyon / Test Doğruluğu | Validasyon / Test Doğruluğu | Validasyon / Test Doğruluğu |
| KZFD | 83.57 / 79.643              | 86.43 / 81.429              | 85.71 / 80.357              | 89.64 / 82.857              |
| SDD  | 73.57 / 68.571              | 76.07 / 70.357              | 76.43 / 69.643              | 64.77 / 56.272              |

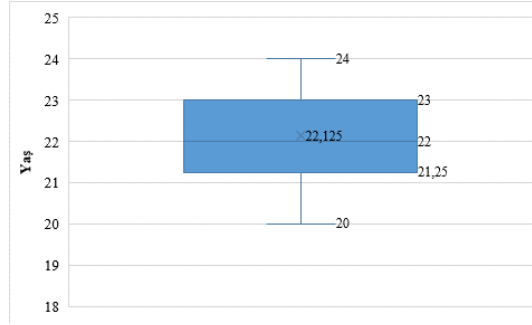
Deneydeki katılımcıların cinsiyet, yaş ve bölüm bazında dağılımları incelenmiştir. Şekil 3.17 (a)’da görüldüğü gibi katılımcıların 63%’ünü erkek, 37%’sini kadın oluşturmaktadır. Mimarlık ve Elektrik – Elektronik Mühendisliği programlarında öğrenim gören öğrencilerin Şekil 3.17 (b)’de ise öğrenim gördükleri programlara göre dağılımları görülmektedir.



**Şekil 3.17.** Deney katılımcılarının cinsiyet (a) ve öğrenim gördükleri programlara (b) göre dağılım grafiği

Deneydeki katılımcıların yaş dağılımlarına göre oluşturulan kutu grafiği ise Şekil 3.18’deki gibidir. Ankette yer alan yaş bilgilerine göre en düşük değer 20, maksimum değer ise 24’tür. İlk çeyrek ( $Q_1$ ) değeri 21.25, medyan değeri 22, üçüncü çeyrek ( $Q_3$ )

değeri 23'tür. Yaş grubunun ortalama değeri 22.125 ve çeyrekler açıklığı (IQR) ise 1.75 olarak elde edilmiştir.



**Şekil 3.18.** Deney katılımcılarının yaş dağılımına göre kutu grafiği

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında derin öğrenme tekniği olarak basit ESA ağı kullanılarak EEG tabanlı duygu tanıma sınıflandırması yapılmıştır. Deney düzeneği, PsychoPy açık kaynaklı yazılım aracılığıyla hazırlanarak pozitif, negatif ve nötr uyaran görüntüler katılımcılara izletilmiştir. Deney düzeneğinde 25 adet pozitif etiketli uyaran ikonik mimarı yapı görüntüleri, 25 adet negatif etiketli uyaran sıradan mimarı yapı görüntüleri ve 50 adet nötr etiketli uyaran görüntüleri olarak bir siyah ekran kullanılmıştır. Nötr etiketli görüntüler 2 s süreyle her bir negatif etiketli ve pozitif etiketli görüntüler öncesinde izletildikten sonra tüm negatif ve pozitif etiketli görüntüler karışık olarak katılımcılara gösterilmiştir. Negatif ve pozitif görüntüler 4 s gösterilip 6 s anket süresi olmak üzere toplam 10 s boyunca ekranda kalmıştır. Anket yanıtlama süreci deney esnasında gerçekleştirilmiş olup SAM anketi kullanılarak değerlik, uyarılma ve baskınlık ölçekleri için 1-5 aralığında oylama yapmışlardır. Deney düzeneğinde toplam 100 adet görüntü katılımcılara izletilirken eş zamanlı EEG sinyallerinin kaydı EmotivPro programı aracılığıyla kaydedilmiştir. Deney esnasında katılımcıların nötr ve mimari yapı görüntülerini izlerken kaydedilen EEG sinyallerine ön işlem uygulandıktan sonra KZFD ve 3. Seviye SDD zaman-frekans analizleri uygulanarak 781x781 boyutundaki KZFD RGB görüntüleri ve 625x625 boyutlu 3. Seviye SDD RGB görüntüleri elde edilmiştir. Deneyde Elektrik – Elektronik Mühendisliği bölümünde öğrenim gören 4 katılımcı ve Mimarlık bölümünde öğrenim gören 4 katılımcı daha olmak üzere toplam 8 (erkek: 5, kadın: 3) kişi bulunmuştur. Katılımcıların yaş aralığı 20-24'tür. Elektrik – Elektronik Mühendisliği programında öğrenim gören katılımcılara ait bir veri seti KZFD (4200 görüntü) ve 3. Seviye SDD (4200 görüntü) için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Mimarlık programında öğrenim gören katılımcılara da ait bir veri seti KZFD (4200 görüntü) ve 3. Seviye SDD (4200 görüntü) analizleri için veri setleri oluşturularak toplam 16800 görüntü elde edilmiştir. Elektrik – Elektronik Mühendisliği programı katılımcılarına ait KZFD görüntüleri basit ESA modelinde eğitmek için 80%'i eğitim, 10%'u test ve 10%'u validasyon olarak ayrılmıştır. Dolayısıyla 3360 görüntü eğitime, 420 görüntü teste ve 420 görüntü de validasyona bölünmüştür. Aynı programdaki katılımcılara ait 3. Seviye SDD görüntüler için de basit ESA modelinde eğitmek için 80%'i eğitim, 10%'u test ve 10%'u validasyon olarak ayrılmıştır. Yapılan bu işlemler Mimarlık programı katılımcıları için elde edilen veri setine de uygulanmıştır. Veri setini oluşturan tüm görüntüler basit ESA modeline giriş olarak verilmeden önce 224x224 olarak yeniden boyutlandırılıp model

eğitimi için hazır hale getirilmiştir. Basit ESA modelinin eğitim sonucunda Elektrik – Elektronik Mühendisliği programı katılımcılarının KZFD analizine ait en yüksek sınıflama (validasyon) doğruluğu 89.52%, 3. Seviye SDD analizine ait en yüksek sınıflama (validasyon) performansı ise 85.71% elde edilmiştir. Mimarlık programı katılımcıları için yapılan KZFD analizinde ise en yüksek sınıflama (validasyon) doğruluğu 91.67%, 3. Seviye SDD analizine ait en yüksek sınıflama (validasyon) performansı ise 78.57% olarak elde edilmiştir. Deneyde yapılan anket yanıtlarına göre oluşturulan veri setinin derin öğrenme modelinde giriş olarak kullanılmasıyla en yüksek 86.43% arousal ve 89.64% valence sınıflama doğruluğuına ulaşılmıştır. Mimarlık bölümü katılımcılardan elde edilen doğruluk sonuçları, mühendislik bölümü katılımcılardan daha yüksek olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında ikonik ve sıradan mimari yapılara ait görüntülerin insanlar üzerindeki duygu durumu etkileri EEG sinyalleri aracılığıyla incelenerek derin öğrenme kullanılarak sınıflama performansı gözlemlenmiştir. Duygular, insanların düşüncelerine etki eden bir olgu olup iletişimde önemli bir yere sahiptir. İletişim esnasında duyguları ifade edebilmek sağlıklı veya hasta tüm canlılar için önemli bir faktördür. Duygularını yansıtabilen insanlar olduğu gibi yaşadıkları bazı sağlık durumları nedeniyle duygu durumlarını ifade etmekte zorluk yaşayan insanlar da bulunmaktadır. Duygularını ifade etmekte güçlük çeken ALS hastaları gibi bireyler için duygu tespiti, yaşam koşullarını iyileştirmede oldukça faydalı bir durum söz konusudur. Bu nedenle duyguları görünür hale getirmek bu tür çalışmalar aracılığıyla geliştirilmektedir. Literatürde duygu tanıma üzerine birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca mimari yapıların insanların duygu durumlarına da etkisi olduğu literatür çalışmalarında yer almıştır. Pozitif, negatif, nötr duyguları oluşturan video ve/veya ses veri setleri genellikle müzik ve/veya video kliplerinden oluşturulmuştur. Görüntü veri setleri ise genellikle hayvan görüntüleri, duygu durumuna ait andaki kişi görüntüleri veya cansız nesnelerden oluşmaktadır. Fakat bu çalışmanın diğer çalışmalara göre farkı ikonik ve sıradan mimari yapıların görüntüleri kullanılarak EEG sinyallerinin kaydedilmesiyle bir veri seti oluşturulmasıdır. Ayrıca verileri daha hızlı çözümlemekle birlikte yüksek performans sonuçları elde etmek için derin öğrenme kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda bir eğitim için veri seti arttırılabilir ya da farklı derin öğrenme yöntemleri kullanılarak performans sonuçları yükseltilebilir. Derin öğrenme yöntemlerinde hibrit modeller kullanılarak elde edilecek performans doğrulukları daha fazla arttırabilir.

## KAYNAKLAR

- Akbar, J. U. M., Kamarulzaman, S. F., Muzahid, A. J. M., Rahman, M. A., ve Uddin, M., 2024, A comprehensive review on deep learning assisted computer vision techniques for smart greenhouse agriculture, *IEEE Access*, 12, 4485–4522, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3349418.
- Akarsu, Ş., 2023, *Canakkale Martyrs Monument in Canakkale* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/canakkale-martyrs-monument-in-canakkale-18467266/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Alhagry, S., Fahmy, A. A., ve El-Khoribi, R. A., 2017, Emotion recognition based on EEG using LSTM recurrent neural network, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8 (10), 355–358, DOI: 10.14569/ijacsa.2017.081046.
- Almanza-Conejo, O., Avina-Cervantes, J. G., Garcia-Perez, A., ve Ibarra-Manzano, M. A., 2024, Emotion recognition in gaming dataset to reduce artifacts in the self-assessed labeling using semi-supervised clustering, *IEEE Access*, 12, 52659–52668, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3387357.
- Alp, H., 2023, *Building with apartments* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/building-with-apartments-18821289/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- AlSharabi, K., Salamah, Y. Bin, Abdurraqueeb, A. M., Aljalal, M., ve Alturki, F. A., 2022, EEG signal processing for alzheimer's disorders using discrete wavelet transform and machine learning approaches, *IEEE Access*, 10, 89781–89797, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3198988.
- Alvarado, O., 2021, *Tourists visiting cloud gate in Chicago* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/tourists-visiting-cloud-gate-in-chicago-11493704/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Amer, N. S., ve Belhaouari, S. B., 2023, EEG signal processing for medical diagnosis, healthcare, and monitoring: A comprehensive review, *IEEE Access*, 11, 143116–143142, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3341419.
- Arslan, H. D., ve Yıldırım, K., 2021, Perceptual evaluation of traditional Turkish House façade. *ICO International J. of Architecture and Planning*, 9 (2), 742–768, DOI: 10.15320/iconarp.2021.179.
- Arslan, H. D., ve Yıldırım, K., 2023, Perceptual evaluation of stadium façades, *Alexandria Engineering Journal*, 66, 391–404, DOI: 10.1016/j.aej.2022.11.015.
- Ashoor, H., 2017, *Majestic Pyramids of Giza under a clear sky* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/majestic-pyramids-of-giza-under-a-clear-sky-29610810/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].

- Ayan, B., 2023, *Facade of the Dancing House in the Center of Prague, Czech Republic* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/facade-of-the-dancing-house-in-the-center-of-prague-czech-republic-17860633/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Awan, A. W., Taj, I., Khalid, S., Usman, S. M., Imran, A. S., ve Akram, M. U., 2024, Advancing emotional health assessments: a hybrid deep learning approach using physiological signals for robust emotion recognition, *IEEE Access*, 12, 141890–141904, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3463746.
- Bagherzadeh, S., Shalbaf, A., Shoeibi, A., Jafari, M., Tan, R. S., ve Rajendra Acharya, U., 2024, Developing an EEG-based emotion recognition using ensemble deep learning methods and fusion of brain effective connectivity maps, *IEEE Access*, 12, 50949–50965, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3384303.
- Baumeister, M., 2019, *People gathering near Louvre Museum during daytime* [online], Unsplash, <https://unsplash.com/photos/people-gathering-near-louvre-museum-during-daytime-GCfE4fl7tIQ> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Begum, M., Shuvo, M. H., Nasir, M. K., Hossain, A., Hossain, M. J., Ashraf, I., Uddin, J., ve Samad, M. A., 2024, LCNN: Lightweight CNN architecture for software defect feature identification using explainable AI, *IEEE Access*, 12, 55744–55756, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3388489.
- Borriello, A., 2021, *Gebäude italien schule architektur* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-de/foto/gebaude-italien-schule-architektur-17082393/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Brito, J. R., 2022, *White concrete building under the blue sky* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/white-concrete-building-under-the-blue-sky-13145396/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Cai, H., Yan, Y., Liu, G., Cai, J., David Cheok, A., Liu, N., Hua, C., Lian, J., Fan, Z., ve Chen, A., 2024, WKLD-based feature extraction for diagnosis of epilepsy based on EEG, *IEEE Access*, 12, 69276–69287, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3401568.
- Cai, J., Xiao, R., Cui, W., Zhang, S., ve Liu, G., 2021, Application of electroencephalography-based machine learning in emotion recognition: A review, *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15, 1–7, DOI: 10.3389/fnsys.2021.729707.
- Cao, K., Guo, Y., ve Su, S. W., 2016, A review of motion related EEG artifact removal techniques, *2015 Ninth International Conference on Sensing Technology*, 600–604, DOI: 10.1109/ICSensT.2015.7438469.
- Chao, H., ve Dong, L., 2021, Emotion recognition using three-dimensional feature and convolutional neural network from multichannel EEG signals, *IEEE Sensors Journal*, 21 (2), 2024–2034, DOI: 10.1109/JSEN.2020.3020828.
- Cheng, Y.-H., ve Kuo, C.-N., 2022, Machine learning for music genre classification using visual mel spectrum, *Mathematics*, 10 (23), 4427, DOI: 10.3390/math10234427.

- Chowdary, M. K., Anitha, J., ve Hemanth, D. J., 2022, Emotion recognition from EEG signals using recurrent neural networks, *Electronics (Switzerland)*, 11 (15), 2387–2407, DOI: 10.3390/electronics11152387.
- Chu, W., Fu, B., Xia, Y., ve Liu, Y., 2023, EEG-based emotion recognition using spatial-temporal connectivity, *IEEE Access*, 11, 92496–92504, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3308811.
- Cobiya, 2015, *Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü içerisinde yer alan devlet erkek öğrenci yurdu* [online], Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KYK\\_Yeni%C5%9Fehir\\_Erkek\\_%C3%96%C4%9Frenci\\_Yurdu,\\_Mersin\\_geni%C5%9F\\_g%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KYK_Yeni%C5%9Fehir_Erkek_%C3%96%C4%9Frenci_Yurdu,_Mersin_geni%C5%9F_g%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm.jpg) [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Cohen, M. X., 2014, Analyzing neural time series data: Theory and practice, *The MIT Press.*, DOI: 10.7551/mitpress/9609.001.0001.
- Cont, J., 2022, *Mimari mavi gokyuzu İspanya cephe* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/tr-tr/fotograf/mimari-mavi-gokyuzu-ispanya-cephe-13081002/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Cui, F., Wang, R., Ding, W., Chen, Y., ve Huang, L., 2022, A novel DE-CNN-BiLSTM multi-fusion model for EEG emotion recognition, *Mathematics*, 10 (4), 582, DOI: 10.3390/math10040582.
- Daubechies, I., 1990, The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis, *IEEE Transactions on Information Theory*, 36 (5), 961–1005, DOI: 10.1109/18.57199.
- Davarci, E., ve Anarim, E., 2023, Gender detection based on gait data: A deep learning approach with synthetic data generation and continuous wavelet transform, *IEEE Access*, 11, 108833–108851, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3321427.
- Demir, F., Sobahi, N., Siuly, S., ve Sengur, A., 2021, Exploring deep learning features for automatic classification of human emotion using EEG rhythms. *IEEE Sensors Journal*, 21 (13), 14923–14930, DOI: 10.1109/JSEN.2021.3070373.
- Doma, V., ve Pirouz, M., 2020, A comparative analysis of machine learning methods for emotion recognition using EEG and peripheral physiological signals, *Journal of Big Data*, 7 (1), 1–21, DOI: 10.1186/s40537-020-00289-7.
- Du, P., Kibbe, W. A., ve Lin, S. M., 2006, Improved peak detection in mass spectrum by incorporating continuous wavelet transform-based pattern matching, *Bioinformatics*, 22 (17), 2059–2065, DOI: 10.1093/bioinformatics/btl355.
- Efe, E., 2022, Derin öğrenme ağ yapılarının uyku evreleme problemlerine uygulanması, Doktora, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 21-22.
- Elif D, 2019, *A very tall brick tower with a clock on it's side* [online], Pexels, <https://unsplash.com/photos/a-very-tall-brick-tower-with-a-clock-on-its-side-1CMUCKtuzT0> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2024].

- Engemann, D. A., Raimondo, F., King, J. R., Rohaut, B., Louppe, G., Faugeras, F., Annen, J., Cassol, H., Gosseries, O., Fernandez-Slezak, D., Laureys, S., Naccache, L., Dehaene, S., ve Sitt, J. D., 2018, Robust EEG-based cross-site and cross-protocol classification of states of consciousness, *Brain*, 141 (11), 3179–3192, DOI: 10.1093/brain/awy251.
- Fang, W.-C., Wang, K.-Y., Fahier, N., Ho, Y.-L., ve Huang, Y.-D., 2019, Development and validation of an EEG-Based Real-Time emotion recognition system using edge AI computing platform with convolutional neural network system-on-chip design, *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 9 (4), 645–657, DOI: 10.1109/JETCAS.2019.2951232.
- Farhana, I., Shin, J., Mahmood, S., Rabiul Islam, M., ve Molla, M. K. I., 2023, Emotion recognition using narrowband spatial features of electroencephalography, *IEEE Access*, 11, 44019–44033, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3270177.
- Gambarov, R., 2023, *Stadt städtisch urban platz* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-de/foto/stadt-stadtisch-urban-platz-18312971/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Garg, A., Kapoor, A., Bedi, A. K., ve Sunkaria, R. K., 2019, Merged LSTM model for emotion classification using EEG signals, *2019 International Conference on Data Science and Engineering (ICDSE)*, Patna, India, 139–143, DOI: 10.1109/ICDSE47409.2019.8971484.
- Gatti, E., Calzolari, E., Maggioni, E., ve Obrist, M., 2018, Emotional ratings and skin conductance response to visual, auditory and haptic stimuli, *Scientific Data*, 5 (1), 1–13, DOI: 10.1038/sdata.2018.120.
- Geijil, J. V., 2023, *Wahrzeichen menge menschenmenge menschenmasse* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-de/foto/wahrzeichen-menge-menschenmenge-menschenmasse-17985700/> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2024].
- Gong, S., Xing, K., Cichocki, A., ve Li, J., 2022, Deep learning in EEG: Advance of the last ten-year critical period, *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 14 (2), 348–365, DOI: 10.1109/TCDS.2021.3079712.
- Gülyanar, T., 2016, *Okulun bahçeden görünümü* [online], Wikimedia Commons, [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Photographs\\_by\\_T%C3%BCl%C3%BClyanar#/media/File:Nam%C4%B1k.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Photographs_by_T%C3%BCl%C3%BClyanar#/media/File:Nam%C4%B1k.jpg) [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2024].
- Gwizdka, J., Hosseini, R., Cole, M., ve Wang, S., 2017, Temporal dynamics of eye-tracking and EEG during reading and relevance decisions, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68 (10), 2299–2312, DOI: 10.1002/asi.23904.
- Hailong, B., ve Guangju, C., 2008, Anti-aliasing nonstationary signals detection algorithm based on interpolation in the frequency domain using the short time Fourier transform, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 19 (3), 419–426, DOI:

10.1016/S1004-4132(08)60101-2.

- Hazarika, N., Chen, J. Z., Tsoi, A. C., ve Sergejew, A., 1997, Classification of EEG signals using the wavelet transform, *Signal Processing*, 59 (1), 61–72, DOI: 10.1016/S0165-1684(97)00038-8.
- Hu, Z., Chen, L., Luo, Y., ve Zhou, J., 2022, EEG-based emotion recognition using convolutional recurrent neural network with multi-head self-attention, *Cognitive Neurodynamics*, 12, 11255, DOI: 10.1007/s11571-020-09634-1.
- Ige, A. O., ve Sibiya, M., 2024, State-of-the-art in 1D convolutional neural networks: A survey, *IEEE Access*, 12, 144082–144105, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3433513.
- Ioffe, S., ve Szegedy, C., 2015, Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift, *ArXiv*, DOI: 10.48550/arXiv.1502.03167.
- Işık, G., ve Artuner, H., 2016, Recognition of radio signals with deep learning neural networks, *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, Zonguldak, 837–840, DOI: 10.1109/SIU.2016.7495870.
- Jadeja, V., Rao, A. L. N., Srivastava, A., Singh, S., Chaturvedi, P., ve Bhardwaj, G., 2023, Convolutional neural networks: A comprehensive review of architectures and application, *2023 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, India, 460–467, DOI: 10.1109/IC3I59117.2023.10397695.
- Kassis, Jo., 2019, *Eiffel kulesi Fransa Paris turizm merkezi* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/tr-tr/fotograf/eiffel-kulesi-fransa-paris-turizm-merkezi-5005299/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Katsigiannis, S., ve Ramzan, N., 2018, DREAMER: A database for emotion recognition through EEG and ECG signals from wireless low-cost off-the-shelf devices, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22 (1), 98-107, DOI: 10.1109/JBHI.2017.2688239.
- Khaleghimoghaddam, N., Bala, H. A., Özmen, G., ve Öztürk, Ş., 2022, Neuroscience and architecture: What does the brain tell to an emotional experience of architecture via a functional MR study?, *Frontiers of Architectural Research*, 11 (5), 877–890, DOI: 10.1016/j.foar.2022.02.007.
- Khanam, R., Hussain, M., Hill, R., ve Allen, P., 2024, A comprehensive review of convolutional neural networks for defect detection in industrial applications, *IEEE Access*, 12, 94250–94295, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3425166.
- Kim, S., Kim, T. S., ve Lee, W. H., 2022, Accelerating 3D convolutional neural network with channel bottleneck module for EEG-based emotion recognition, *Sensors*, 22 (18), 6813–6829, DOI: 10.3390/s22186813.
- Kömürcü, İ., 2021, Confusion Matrix Nedir ve Neden Kullanılır? [online], Medium, <https://iremkomurcu.medium.com/confusion-matrix-nedir-ve-neden-kullanilir-cd686a7fc993> [Ziyaret Tarihi: 1 Aralık 2024].

- Krizhevsky, A., Sutskever, I., ve Hinton, G. E., 2012, ImageNet classification with deep convolutional neural networks, *In Advances in Neural Information Processing Systems*, 25 (2), 1097–1105, DOI: 10.1145/3065386.
- Kwon, Y. H., Shin, S. B., ve Kim, S. D., 2018, Electroencephalography based fusion two-dimensional (2D)-convolution neural networks (CNN) model for emotion recognition system, *Sensors (Switzerland)*, 18 (5), 1383–1396, DOI: 10.3390/s18051383.
- Larionov, A., 2022, *A large building with statues and a fountain in front of it with Trevi Fountain in the background* [online], Unsplash, [https://unsplash.com/photos/a-large-building-with-statues-and-a-fountain-in-front-of-it-with-trevi-fountain-in-the-background-mx\\_tJ3VVAI](https://unsplash.com/photos/a-large-building-with-statues-and-a-fountain-in-front-of-it-with-trevi-fountain-in-the-background-mx_tJ3VVAI) [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Li, G., Ouyang, D., Yuan, Y., Li, W., Guo, Z., Qu, X., ve Green, P., 2022, An EEG data processing approach for emotion recognition, *IEEE Sensors Journal*, 22 (11), 10751–10763, DOI: 10.1109/JSEN.2022.3168572.
- Li, T., Fu, B., Wu, Z., ve Liu, Y., 2023, EEG-based emotion recognition using spatial-temporal-connective features via multi-scale CNN, *IEEE Access*, 11, 41859–41867, DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3270317.
- Li, Y., Huang, J., Zhou, H., ve Zhong, N., 2017, Human emotion recognition with electroencephalographic multidimensional features by hybrid deep neural networks, *Applied Sciences*, 7, 1060, DOI: 10.3390/app7101060.
- Li, Z., Liu, F., Yang, W., Peng, S., ve Zhou, J., 2022, A survey of convolutional neural networks: Analysis, applications, and prospects, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 33 (12), 6999–7019, DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3084827.
- MathWorks, (n.d.), stft: Short-Time Fourier Transform [online], <https://ch.mathworks.com/help/signal/ref/stft.html> [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2024].
- Meghega, I., 2023, *The colosseum in the center of Rome in Italy* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/the-colosseum-in-the-center-of-rome-in-italy-15460829/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Mitrofan, R., 2019, *Beige building* [online], Unsplash, <https://unsplash.com/photos/beige-building-uY5nh2YzJkA> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Mohabier, H., 2017, *Gray concrete building* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/gray-concrete-building-440149/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Mondal, S., 2018, *Taj Mahal and the Four Minarets* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/taj-mahal-and-the-four-minarets-1603650/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].

- Moon, S. -E., Jang, S., ve Lee, J. -S., 2018, Convolutional neural network approach for EEG-based emotion recognition using brain connectivity and its spatial information, *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Canada, 2556–2560, DOI: 10.1109/ICASSP.2018.8461315.
- Myararat83., 2006, Haydarpaşa Terminal in 2006 [online], Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25675372> [Ziyaret Tarihi: 1 Aralık 2024].
- Nalwaya, A., ve Pachori, R. B., 2024, Fourier-Bessel domain adaptive wavelet transform-based method for emotion identification from EEG signals, *IEEE Sensors Letters*, 8 (2), 1–4, DOI:10.1109/LENS.2023.3347648.
- Nash, M. S., 2002, Practical time-frequency analysis, gabor and wavelet transforms with an implementation in S, *Technometrics*, 44 (2), 196, DOI: 10.1198/tech.2002.s720.
- Özşen, S., Yücelbaş, C., Yücelbaş, Ş., Tezel, G., Yosunkaya, Ş., ve Küçüktürk, S., 2016, Elimination of EMG artifacts from EEG signal in sleep staging, *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, Zonguldak, 1345–1348, DOI: 10.1109/SIU.2016.7495997.
- Panchenko, A., 2020, *Kent şehir arabalar otomobiller* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/tr-tr/fotograf/kent-sehir-arabalar-otomobiller-13342593/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Pandey, P., ve Seeja, K. R., 2022, Subject independent emotion recognition from EEG using VMD and deep learning, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34 (5), 1730–1738, DOI: 10.1016/j.jksuci.2019.11.003.
- Phan, T.-D. T., Kim, S. H., Yang, H. J., ve Lee, G. S., 2021, EEG-based emotion recognition by convolutional neural network with multi-scale kernels, *Sensors*, 21 (15), 5092–5105, DOI: 10.3390/s21155092.
- Picchiottino, D., 2021, *Brown concrete building under white sky during daytime* [online], Unsplash, <https://unsplash.com/photos/brown-concrete-building-under-white-sky-during-daytime-DbNegviz3PU> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Pixabay, 2016, *Blue and gray high rise building* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/blue-and-gray-high-rise-building-162031/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Qiao, R., Qing, C., Zhang, T., Xing, X., ve Xu, X., 2017, A novel deep-learning based framework for multi-subject emotion recognition, *2017 4th International Conference on Information, Cybernetics and Computational Social Systems (ICCSS)*, China, 181–185, DOI: 10.1109/ICCSS.2017.8091408.
- Qu, G., Wang, F., Bi, J., An, Z., Hu, F., Li, H., ve Han, S., 2024, A hybrid critical channel selection framework for EEG emotion recognition, *IEEE Sensors Journal*, 24 (9), 14881–14893, DOI: 10.1109/JSEN.2024.3380749.

- Qu, N., Li, Z., Zuo, J., ve Chen, J., 2020, Fault detection on insulated overhead conductors based on DWT-LSTM and partial discharge, *IEEE Access*, 8, 87060–87070, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2992790.
- Rashed-Al-Mahfuz, M., Moni, M. A., Uddin, S., Alyami, S. A., Summers, M. A., ve Eapen, V., 2021, A deep convolutional neural network method to detect seizures and characteristic frequencies using epileptic electroencephalogram (EEG) data, *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 9, 2000112, DOI: 10.1109/JTEHM.2021.3050925.
- Rayatdoost, S., ve Soleymani, M., 2018, Cross-corpus EEG-based emotion recognition, *2018 IEEE 28th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)*, Aalborg, Denmark, 1-6, DOI: 10.1109/MLSP.2018.8517037.
- RickieTomSchünemann, 2022, *Building Berlin Germany* [online], Pixabay, <https://pixabay.com/photos/building-berlin-germany-6961793/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Rodrigues de Souza, G. M., 2017, *Modern building on sunny street* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/modern-building-on-sunny-street-5712848/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Russell, J. A., ve Mehrabian, A., 1977, Evidence for a three-factor theory of emotion, *Journal of Research in Personality*, 11 (6), 273–294, DOI: 10.1016/0092-6566(77)90037-X.
- Rutter, L. A., Norton, D. J., ve Brown, T. A., 2020, The impact of self-reported depression severity and age on facial emotion recognition in outpatients with anxiety and mood disorders, *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 42 (1), 86–92, DOI: 10.1007/s10862-019-09755-w.
- Saini, M., Satija, U., ve Upadhayay, M. D., 2022, One-dimensional convolutional neural network architecture for classification of mental tasks from electroencephalogram, *Biomedical Signal Processing and Control*, 74, 103494, DOI: 10.1016/j.bspc.2022.103494.
- Salari, S., Ansarian, A., ve Atrianfar, H., 2018, Robust emotion classification using neural network models, *6th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, CFIS*, 190–194, DOI: 10.1109/CFIS.2018.8336626.
- Sarıkaya, M. A., ve İnce, G., 2017, Emotion recognition from EEG signals through one electrode device, *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Antalya, 1-4, DOI: 10.1109/SIU.2017.7960390.
- Sharma, M., 2020, *Stadt kunst architektur monument* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-de/foto/stadt-kunst-architektur-monument-4059538/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].

- Skillz, M., 2018, *High-Rise Concrete Buildings Under a Gray Sky* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/photo/high-rise-concrete-buildings-under-a-gray-sky-5263244/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Smith, J., 2015, *Tower Bridge* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-foto/tower-bridge-726484/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., ve Salakhutdinov, R., 2014, Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting, *Journal of Machine Learning Research*, 15 (56), 1929–1958.
- Subasi, A., 2007, Application of adaptive neuro-fuzzy inference system for epileptic seizure detection using wavelet feature extraction, *Computers in Biology and Medicine*, 37, 227–244, DOI: 10.1016/j.combiomed.2005.12.003.
- Tao, W., Li, C., Song, R., Cheng, J., Liu, Y., Wan, F., ve Chen, X., 2023, EEG-based emotion recognition via channel-wise attention and self attention, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 14 (1), 382–393, DOI: 10.1109/TAFFC.2020.3025777.
- Topic, A., ve Russo, M., 2021, Emotion recognition based on EEG feature maps through deep learning network, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24 (6), 1442–1454, DOI: 10.1016/j.jestch.2021.03.012.
- Topic, A., Russo, M., Stella, M., ve Saric, M., 2022, Emotion recognition using a reduced set of EEG channels based on holographic feature maps, *Sensors*, 22 (9), 3248–3273, DOI: 10.3390/s22093248.
- ToprakM, 2021, *İzmir Fen Lisesi* [online], Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=103051393> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Upadhyay, R., Padhy, P. K., ve Kankar, P. K., 2014, Alcoholism diagnosis from EEG signals using continuous wavelet transform, *2014 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, Pune, India, 1–5, DOI: 10.1109/INDICON.2014.7030476.
- Wang, K. Y., Ho, Y. L., Huang, Y. De, ve Fang, W. C., 2019, Design of intelligent EEG system for human emotion recognition with convolutional neural network, *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS)*, Hsinchu, Taiwan, 142–145, DOI: 10.1109/AICAS.2019.8771581.
- Wang, W., Yang, J., Li, S., Wang, B., Yang, K., Sang, S., Zhang, Q., ve Liu, B., 2024, A random forest weights and 4-Dimensional convolutional recurrent neural network for EEG based emotion recognition, *IEEE Access*, 12, 39549–39563, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3375393.
- Wang, Y., Zhang, L., Xia, P., Wang, P., Chen, X., Du, L., Fang, Z., ve Du, M., 2022, EEG-based emotion recognition using a 2D CNN with different kernels, *Bioengineering*, 9 (6), 231, DOI: 10.3390/bioengineering9060231.

- Wang, Z.-M., Hu, S.-Y., ve Song, H., 2019, Channel selection method for EEG emotion recognition using normalized mutual information, *IEEE Access*, 7, 143303–143311, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2944273.
- Wardat, M., ve Al-Alaj, A., 2024, DeepCNN: A dual approach to fault localization and repair in convolutional neural networks, *IEEE Access*, 12, 50321–50334, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3384981.
- Wilde, J., 2018, *Sydney Opera House* [online], Unsplash, <https://unsplash.com/photos/syndey-opera-house-J5IHHz-q9RU> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Winkler, M., 2020, *Reise reisen Spanien tourismus* [online], Pexels, <https://www.pexels.com/de-de/foto/reise-reisen-spanien-tourismus-3581819/> [Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2024].
- Wu, J., ve Yang, S. X., 2021, Modeling of the bulk tobacco flue-curing process using a deep learning-based method, *IEEE Access*, 9, 140424–140436, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3119544.
- Wu, M., Teng, W., Fan, C., Pei, S., Li, P., Pei, G., Li, T., Liang, W., ve Lv, Z., 2024, Multimodal emotion recognition based on EEG and EOG signals evoked by the video-odor stimuli, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 32, 3496–3505, DOI: 10.1109/tnsre.2024.3457580.
- Yang, H., Han, J., ve Min, K., 2019, A multi-column CNN model for emotion recognition from EEG signals, *Sensors*, 19 (21), 4736–4748, DOI: 10.3390/s19214736.
- Yao, Q., Gu, H., Wang, S., ve Li, X., 2022, A feature-fused convolutional neural network for emotion recognition from multichannel EEG signals, *IEEE Sensors Journal*, 22 (12), 11954–11964, DOI: 10.1109/JSEN.2022.3172133.
- Yeşilkaya, B., Güren, O., Bahar, M. T., Turhal, L. N., ve Akan, A., 2020, Estimation of emotion status using IAPS image data set, *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Gaziantep, Türkiye, 1-4, DOI: 10.1109/SIU49456.2020.9302223.
- Yuvaraj, R., Thagavel, P., Thomas, J., Fogarty, J., ve Ali, F., 2023, Comprehensive analysis of feature extraction methods for emotion recognition from multichannel EEG recordings, *Sensors*, 23, 915, DOI: 10.3390/s23020915.
- Zhang, X., ve Cheng, X., 2024, A transformer convolutional network with the method of image segmentation for EEG-based emotion recognition, *IEEE Signal Processing Letters*, 31, 401–405, DOI: 10.1109/LSP.2024.3353679.
- Zhang, Y., Chen, J., Tan, J. H., Chen, Y., Chen, Y., Li, D., Yang, L., Su, J., Huang, X., ve Che, W., 2020, An investigation of deep learning models for EEG-based emotion recognition, *Frontiers in Neuroscience*, 14, 1–12, DOI: 10.3389/fnins.2020.622759.
- Zhao, G., Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, D., ve Liu, Y. J., 2023, Multi-Target positive

- emotion recognition from EEG signals, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 14 (1), 370–381, DOI: 10.1109/TAFFC.2020.3043135.
- Zhou, Y., Ma, J., Li, F., Chen, B., Xian, T., ve Wei, X., 2022, An improved algorithm for peak detection based on weighted continuous wavelet transform, *IEEE Access*, 10, 118779–118788, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3220640.

