

**T.C.**  
**İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**İŞİTME KAYIPLI HASTALAR İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE  
İŞİTME CİHAZI SEÇİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Ümit Can ÇETİNKAYA**

**Odyoloji Anabilim Dalı**  
**Odyoloji Programı**

**AĞUSTOS, 2023**



**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**İŞİTME KAYIPLI HASTALAR İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE  
İŞİTME CİHAZI SEÇİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Ümit Can ÇETİNKAYA**

**(1916.530004)**

**Odyoloji Anabilim Dalı**

**Odyoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. B. Özlem KONUKSEVEN**

**AĞUSTOS, 2023**

## ONAY FORMU

## ONUR SÖZÜ

Doktora tezi olarak sunduğum “İşitme Kayıplı Hastalar için Makine Öğrenmesi ile İşitme Cihazı Seçim Sisteminin Geliştirilmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Kaynakça ’da gösterilenlerden olduğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.  
(22/08/2023)

Ümit Can ÇETİNKAYA

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında ve akademik hayatım boyunca kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Özlem KONUKSEVEN'e,

Tez çalışmamda ve eğitim hayatım boyunca yaptığı değerli katkılardan dolayı sayın Dr. Öğretim Üyesi İnci ADALI'ya,

Tez çalışmamda yaptığı değerli katkılardan dolayı sayın Prof. Dr. Ali OKATAN'a,

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen, varlığıyla bana neşe ve huzur kaynağı olan değerli hayat arkadaşım Merve MERAL ÇETİNKAYA'ya,

Hayatım boyunca bana ışık tutan, beni her zaman destekleyen, maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili babam Hamdi ÇETİNKAYA'ya, annem Menfure ÇETİNKAYA'ya, ablam Sevcan ÇETİNKAYA'ya ve ablam Gülcan ÇETİNKAYA'ya,

Sonsuz teşekkürler ederim.

Ağustos, 2023

Ümit Can ÇETİNKAYA

# İŞİTME KAYIPLI HASTALAR İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE İŞİTME CİHAZI SEÇİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

## ÖZET

Makine öğrenimi teknolojisinin yaygınlaşması ve odyoloji alanında yapılan çalışmaların çeşitlilik kazanması, yeni neden sonuç ilişkilerinin ortaya çıkmasına yardımcı olmakta ve günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümüne hızlı, somut ve erişilebilir katkılar sağlamaktadır. Odyoloji alanında yaşanan zorluklardan birisi uygun işitme cihazı seçimidir. İşitme cihazlarında gelişen teknoloji nedeniyle artan cihaz özellikleri, parametrelerin çokluğu ve güncel gelişmeler işitme kayıplı bireyler ve işitme uzmanları açısından işitme cihazı seçimi için karar verme sürecinde zorluklara sebep olmaktadır ve cihazlardan maksimum fayda sağlanamamaktadır. Bu çalışmada işitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zeka algoritmaları ile doğru işitme cihazı seçimini doğruluk oranı yüksek bir şekilde gerçekleştirecek bir model oluşturmak amaçlanmıştır. İşitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zekâ tabanlı algoritmalar ile işitme cihazı seçimi yapmak amacıyla yaşları 18 ile 60 arasında değişen sensörinöral tipte işitme kaybı olan 3196 hastanın odyolojik verileri ve işitme cihazı tercihleri simüle edilerek veri seti araştırmacı tarafından oluşturulmuştur. İşitme cihazı seçimlerinde önemli rol oynayan toplamda 8 konu başlığı belirlenmiştir. Belirlenen konu başlıkları doğrultusunda bireylere uygun işitme cihazı belirlenebilmesi için 8 konu başlığından toplam 15 soru belirlenmiştir. Etiketleme işlemi işitme cihazı konusunda yetkin 3 odyolog tarafından veriler detaylıca incelenerek yapılmıştır. Doğruluk değeri en yüksek olan modelin 0,9475 ile XGBoost algoritması ile kurulan modele ait olduğu görülmüştür. Karar Ağacı algoritması ile kurulan modelde 0,9427, Rassal Orman algoritması ile kurulan modelde 0,914, Yapay Sinir Ağları ile kurulan modelde ise 0,8748 elde edilmiştir. Çalışmamız kapsamında yapay zeka algoritmalarıyla

oluşturulan modellerde yüksek doğruluk değerleri elde edilmiş olup bu modellerin işitme cihazı seçiminde karar destek sistemi olarak kullanılabileceği dşnlmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İşitme Cihazı, Yapay Zeka, XGBoost, Yapay Sinir Ağları, Rassal Orman, Karar Ağaçları



# **DEVELOPMENT OF HEARING AID SELECTION SYSTEM WITH MACHINE LEARNING FOR PATIENTS WITH HEARING LOSS**

## **ABSTRACT**

The spread of machine learning technology and the diversity of studies in the field of audiology help the emergence of new cause-effect relationships and provide fast, concrete, and accessible contributions to the solution of problems encountered in daily life. One of the difficulties experienced in the field of audiology is the selection of the appropriate hearing aid. Increasing device features, multiplicity of parameters and frequently renewed current developments due to the developing technology in hearing aids cause difficulties in the decision-making process for hearing loss individuals and hearing care professionals, and maximum benefit cannot be obtained from the devices. The aim of this study is to create a model that will perform the correct hearing aid selection with a high rate of accuracy with artificial intelligence algorithms according to the demographic characteristics, sociocultural characteristics, and degree of hearing loss of individuals with hearing loss. The data set was created by the researcher by simulating the audiological data and hearing aid preferences of 3196 patients with S/N type hearing loss, aged between 18 and 60, in order to select hearing aids with artificial intelligence-based algorithms. 8 topics that play an important role in the selection of hearing aids have been determined. A total of 15 questions were created from these 8 topics in order to determine the appropriate hearing aid for individuals. The labeling process was carried out by 3 audiologists, who are competent in hearing aids, by examining the data in detail. It has been seen that the model established with the XGBoost algorithm has the highest accuracy value (0.9475). Accuracy values have been found 0.9427 in the model established with the Decision Tree algorithm, 0.914 in the model established with the Random Forest algorithm, and 0.8748 in the model established with the Artificial Neural Networks. Within the scope of our study, high accuracy values were obtained in the models created with artificial

intelligence algorithms, and it is thought that these models can be used as a decision support system in the selection of hearing aids.

**Keywords:** Hearing aids, Artificial Intelligence, XGBoost, Neural Networks, Random Forest, Decision Trees

# İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ONUR SÖZÜ .....                               | i            |
| ÖNSÖZ.....                                    | ii           |
| ÖZET.....                                     | iii          |
| ABSTRACT .....                                | v            |
| İÇİNDEKİLER .....                             | vii          |
| KISALTMALAR LİSTESİ.....                      | x            |
| ÇİZELGELER LİSTESİ.....                       | xi           |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                         | xii          |
| <b>I. GİRİŞ .....</b>                         | <b>1</b>     |
| <b>II. GENEL BİLGİLER.....</b>                | <b>6</b>     |
| A. İşitme Kaybı.....                          | 6            |
| 1. İşitme Kaybının Başlangıç Zamanı.....      | 7            |
| 2. Etyolojisi .....                           | 7            |
| 3. İşitme Kaybı Tipi .....                    | 8            |
| a. Sensörinöral tip işitme kaybı (SNİK) ..... | 8            |
| b. İletim tipi işitme kaybı (İTİK).....       | 9            |
| c. Mikst tip işitme kaybı .....               | 10           |
| 4. İşitme Kaybı Derecesi.....                 | 10           |
| 5. İşitme Kaybının Etkileri.....              | 11           |
| B. İşitme Cihazı.....                         | 12           |
| 1. İşitme Cihazlarının Bileşenleri .....      | 13           |

|   |           |
|---|-----------|
| a. Mikrofon.....  | 14        |
| b. Amplifikatör .....   | 14        |
| c. Analog-dijital dönüştürücü (A/D dönüştürücü).....          | 15        |
| d. Dijital sinyal işlemci.....                                | 16        |
| e. Filtreler .....  | 17        |
| f. Alıcı .....  | 17        |
| g. Pil.....   | 18        |
| 2. İşitme Cihazı Tipleri .....                                | 18        |
| a. Kulak arkası işitme cihazları (BTE).....                   | 19        |
| b. Kulak içi işitme cihazları (ITE).....                      | 20        |
| c. Kanal içi işitme cihazları (ITC).....                      | 20        |
| d. Tamamen kanal içi işitme cihazları (CIC).....              | 20        |
| C. Yapay Zekâ.....  | 21        |
| 1. Makine Öğrenimi .....                                      | 23        |
| a. Rassal orman (Random forest) .....                         | 24        |
| b. eXtreme gradient boosting (XGBoost).....                   | 26        |
| c. Karar ağaçları .....                                       | 27        |
| 2. Derin Öğrenme.....   | 29        |
| 3. Yapay Sinir Ağları .....                                   | 29        |
| a. Etkinleştirme İşlevleri.....                               | 31        |
| b. Yapay Sinir Ağı Mimarisi .....                             | 31        |
| c. Eğitim Algoritmaları .....                                 | 33        |
| 4. Yapay Zekâ Algoritmalarında Hiper Parametre Ayarlama ..... | 33        |
| 5. Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı.....               | 34        |
| 6. Yapay Zekânın Odyoloji Alanında Kullanımı.....             | 34        |
| <b>III. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>                              | <b>40</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| A. Çalışmanın Yürütüldüğü Birim .....   | 40        |
| B. Çalışmanın Örnekleme .....   | 40        |
| C. Veri Toplama Araçları ve Çalışma Planı.....  | 41        |
| 1. Odyolojik Veri Setinin Tasarlanması ve Oluşturulması .....                             | 41        |
| 2. Odyolojik Veri Setinin Etiketlenmesi .....   | 44        |
| 3. Yapay Zekâ Algoritması Oluşturulması ve Eğitilmesi .....                               | 44        |
| 4. Performans Ölçüm Metrikleri .....  | 45        |
| a. Karışıklık/Düzensizlik matrisi (Confusion matrix) .....                                | 45        |
| b. Doğruluk (Accuracy).....   | 47        |
| c. Hassasiyet (Precision) .....   | 47        |
| d. Duyarlılık (Recall).....   | 48        |
| e. F1 skoru .....   | 48        |
| <b>IV. BULGULAR.....</b>  | <b>49</b> |
| A. Karar Ağaçları Algoritması ile Kurulan Model Performansı .....                         | 49        |
| B. Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Model Performansı.....                            | 52        |
| C. Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Algoritması ile Kurulan Model<br>Performansı ..... | 55        |
| D. Yapay Sinir Ağları Algoritması ile Kurulan Model Performansı.....                      | 58        |
| E. Oluşturulan Modellerin Karşılaştırılması .....   | 61        |
| F. Kullanılan Algoritmaların Hiper Parametreleri .....                                    | 62        |
| <b>V. TARTIŞMA .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>VI. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>71</b> |
| <b>VII.KAYNAKLAR .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>EKLER.....</b>   | <b>86</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>88</b> |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>A/D Dönüştürücü</b> | : Analog-Dijital Dönüştürücü            |
| <b>ABR</b>             | : İşitsel Uyarılmış Beyinsapı Yanıtları |
| <b>APD</b>             | : İşitsel İşleme Bozukluğu              |
| <b>BT</b>              | : Bilgisayarlı Tomografi                |
| <b>BTE</b>             | : Kulak Arkası İşitme Cihazı            |
| <b>CIC</b>             | : Tamamen Kanal İçi İşitme Cihazı       |
| <b>dB</b>              | : Desibel                               |
| <b>DSÖ</b>             | : Dünya Sağlık Örgütü                   |
| <b>ITC</b>             | : Kanal İçi İşitme Cihazı               |
| <b>ITE</b>             | : Kulak İçi İşitme Cihazı               |
| <b>İTİK</b>            | : İletim Tip İşitme Kaybı               |
| <b>KDS</b>             | : Karar Destek Sistemi                  |
| <b>ML</b>              | : Makine Öğrenimi                       |
| <b>MLP</b>             | : Multilayer Perceptron                 |
| <b>MRI</b>             | : Manyetik Rezonans Görüntüleme         |
| <b>NR</b>              | : Gürültü Azaltma                       |
| <b>RMSE</b>            | : Kök Ortalama Karekök Hatası           |
| <b>SNİK</b>            | : Sensörinöral İşitme Kaybı             |
| <b>SPL</b>             | : Sound Pressure Level                  |
| <b>XGBoost</b>         | : Extreme Gradient Boosting             |
| <b>YSA</b>             | : Yapay Sinir Ağları                    |

## ÇİZELGELER LİSTESİ

### Sayfa

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Çizelge 1  | İşitme Kaybı Derecesi Sınıflaması.....  | 11 |
| Çizelge 2  | Çalışma Kapsamında Simüle Edilen Bireylerin Demografik Özellikleri  | 41 |
| Çizelge 3  | Belirlenen Konu Başlıkları.....   | 41 |
| Çizelge 4  | Sorular, Açıklamaları ve Cevap Tipleri .....  | 42 |
| Çizelge 5  | Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri.....   | 49 |
| Çizelge 6  | Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine<br>Göre Performans Ölçütleri Sonuçları.....   | 50 |
| Çizelge 7  | Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri..   | 52 |
| Çizelge 8  | Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı<br>Modellerine Göre Performans Ölçütleri Sonuçları ..... | 53 |
| Çizelge 9  | XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri .....  | 55 |
| Çizelge 10 | XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine<br>göre Performans Ölçütleri Sonuçları.....       | 56 |
| Çizelge 11 | Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin Doğruluk Oranı .....   | 59 |
| Çizelge 12 | Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine göre<br>Performans Ölçütleri Sonuçları.....        | 59 |
| Çizelge 13 | Oluşturulan Modellerin Performans Ölçütlerinin Karşılaştırılması .....  | 61 |
| Çizelge 14 | Seçilen Hiper Parametreler.....   | 62 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Şekil 1  | Sensörinöral Tip İşitme Kaybının Lokalizasyonu .....                                  | 8  |
| Şekil 2  | İletim Tip İşitme Kaybı Lokalizasyonu.....  | 9  |
| Şekil 3  | Mikst Tip İşitme Kaybı Lokalizasyonu .....  | 10 |
| Şekil 4  | İşitme Cihazı Çalışma Prensibi .....  | 12 |
| Şekil 5  | Kulak Arkası ve Kulak İçi İşitme Cihazı Tiplerine göre İşitme Cihazı Bileşenleri..... | 13 |
| Şekil 6  | İşitme Cihazı Mikrofonu .....   | 14 |
| Şekil 7  | Amplifikatör Kartı .....  | 14 |
| Şekil 8  | İşitme Cihazı Temel Bileşenleri .....   | 15 |
| Şekil 9  | A/D Sinyal Dijitalleştirme Örneği.....  | 16 |
| Şekil 10 | Alıcının Çalışma Prensibini ve Yapım Esası.....                                       | 17 |
| Şekil 11 | İşitme Cihazı Pilleri .....   | 18 |
| Şekil 12 | İşitme Cihazı Tipleri.....  | 19 |
| Şekil 13 | Yapay Zekanın Akışı .....   | 22 |
| Şekil 14 | Yapay Zekânın Alt Dalları .....   | 23 |
| Şekil 15 | Makine Öğrenmesi Alt Dalları .....  | 24 |
| Şekil 16 | Rassal Orman Algoritması Şeması.....  | 25 |
| Şekil 17 | Karar Ağacının Yapısı.....  | 28 |
| Şekil 18 | Nöronun Ana Bölümleri .....   | 30 |
| Şekil 19 | Yapay Nöron .....   | 30 |
| Şekil 20 | Yapay Sinir Ağı Mimarisi .....  | 32 |



|          |   |    |
|----------|---|----|
| Şekil 21 | Çalışmaya Dahil Edilen İşitme Cihazlarının Markalarına göre Dağılımları                                   | 44 |
| Şekil 22 | Karışıklık Matrisi.....   | 46 |
| Şekil 23 | Gerçek Değer ve Tahmin Edilen Değer .....   | 47 |
| Şekil 24 | Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri.....  | 51 |
| Şekil 25 | Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi .....                                   | 51 |
| Şekil 26 | Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin Ağaç Yapısı.....  | 52 |
| Şekil 27 | Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri..... | 54 |
| Şekil 28 | Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi ....                                   | 55 |
| Şekil 29 | XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri.....      | 57 |
| Şekil 30 | XGBoost Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi .....                                       | 57 |
| Şekil 31 | Eğitim ve Validasyon Kaybı ile Eğitim ve Validasyon Doğruluk Oranı Grafikleri .....                       | 58 |
| Şekil 32 | Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin Yapısı.....  | 60 |
| Şekil 33 | Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi.....   | 61 |

## I. GİRİŞ

İşitme kayıplı bireylerin dünya nüfusunun %5'inden fazlasını (430 milyon insan) oluşturduğu ve bu bireylerin işitsel rehabilitasyona ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. 2050 yılına kadar 700 milyondan fazla insanda (her 10 kişiden 1'inin) işitme kaybı meydana geleceği tahmin edilmektedir. İşitme kaybı yaşayan kişilerin yaklaşık %80'inin düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşadığı bildirilmiştir. İşitme kaybının prevalansı yaşla birlikte artmakta, 60 yaşından büyük kişilerin %25'inden fazlası işitme kaybından etkilenmektedir (WHO, 2023). İşitme kaybının tanı oranı düşüktür. Bu nedenle işitme cihazları ve diğer işitme teknolojileri yeterince kullanılmamaktadır. İşitme kaybı genel olarak iletim, sensörinöral veya mikst tip olarak sınıflandırılır. Yaşa bağlı sensörinöral işitme kaybı (yani presbiakuzi) yetişkinlerde en sık görülen işitme kaybı tipidir (Michels et al., 2019:98).

İşitme kaybı olan bireylerin ciddi depresyon, konuşma-iletişim sorunları ve yoğun trafik gibi güvenli olmayan ortamlardan dolayı halka açık yerlerden kaçınma gibi işitme kaybı nedeniyle birçok sorun yaşadığı bilinmektedir. Literatürde, işitme kayıplı bireylerin depresyon ve sosyal izolasyona daha yatkın olduklarını bildiren çok sayıda çalışma yer almaktadır (Gopinath et al., 2009:1306; Huang et al., 2010:134; Strawbridge et al., 2000:324).

İşitme kaybı olan ve işitme cihazı kullanması gereken kişi sayısının çokluğuna rağmen işitme kaybını rehabilite etmeye yardımcı bir araç olarak işitme cihazlarını kullanan kişi sayısı düşüktür. İsviçre'de 2009 yılında yapılan bir çalışma işitme cihazı kullanan bireylerin, %58'inin işitme cihaz (lar)ını her gün düzenli olarak kullandığı, 11,4'ünün nadiren ve %3,1'inin işitme cihazlarından memnun olmamalarından dolayı hiç kullanmadıklarını ortaya koymuştur (Bertoli et al., 2009:186). 2014 yılında yapılan bir başka çalışma orta ile ileri derecede işitme kaybı olan 70 yaş ve üzerindeki kişilerin yaklaşık %59'unun işitme cihazı kullanmadığını göstermektedir (Bainbridge and Ramachandran, 2014:289). Almanya, Danimarka, Avustralya ve Amerika

Birleşik Devletleri gibi çeşitli ülkelerde yapılan çalışmalar, işitme cihazlarının %1 ile %40'ının hiç kullanılmadığını veya nadiren kullanıldığını bildirmiştir (Dillon et al., 1999:67; Lupsakko and Kautiainen, 2004:168; Stark and Hickson, 2004:393; Vuorialho et al., 2006:991).

İşitme cihazı kullanım oranının düşük olması, uzmanlara yetersiz erişimden kaynaklanabileceği gibi (Bainbridge and Ramachandran, 2014:289) düşük cihaz memnuniyetinin de bu konuda etkili bir sebep olduğu düşünülmektedir. Günümüzde işitme uzmanları, işitme kayıplı bireylerin ihtiyaçlarını karşılamak için çok sayıda farklı türde ve markada işitme cihazı arasından seçim yapmaktadırlar. İşitme cihazı markaları geniş bir fiyat aralığı ve rehabilitasyon amaçlarına yönelik çeşitli ürün aileleri sunmaktadır (Lansbergen and Dreschler, 2020:1619). Mevcut odyolojik hizmetlerin, eğitimli profesyonellerin eksikliği, ekipman maliyetleri ve uzmanlık gerekliliği dahil olmak üzere birçok olumsuzluk nedeniyle küresel çapta yetersiz kaldığı bildirilmiştir (Swanepoel and Clark, 2019:11). Küresel çapta yaşanan zorlukların üstesinden gelmek için mevcut uygulama yöntemlerinin yerine yeni yaklaşımlar gereklidir. İşitme kaybından şikâyet eden çok sayıda insanın yetersiz hizmet alması ve işitme cihazı teknolojisindeki karmaşıklık göz önüne alındığında teknolojideki gelişmelerle birlikte yaygınlaşan yapay zekâ teknolojileri (Wilson and Daugherty, 2018:114) çözüm için temel bir strateji olarak düşünülebilir. Yapay zeka; insan gibi düşünen, insan gibi davranan, akılcı düşünen ve akılcı davranan bilgisayar yazılımlarıdır (Balaban ve Kartal, 2015:16). Makine öğrenmesi ise yapay zekanın bir alt dalı olup, son evresi olarak kabul edilmektedir (Atalay ve Çelik, 2017:158).

Odyoloji alanında son yıllarda yapay zekâ uygulamalarına odaklanan çalışmalarda artış olmuştur (Anwar and Oakes, 2011:11; Laplante-Lévesque et al., 2014 :187; Lee et al., 2010 :628; Panchev et al., 2013:375; Singh and Launer, 2016:3; Timmer et al., 2017:731, Mellor et al., 2018:3). Büyük veri setlerinin kullanımı yoluyla işitme cihazı uyumunu ve doğrulamasını iyileştirme olasılığını araştırmak için yapay zekâ algoritmaları kullanmıştır. Veri madenciliği tekniklerinin gücü, veritabanları içindeki önemli gizli ilişkileri ortaya çıkarma potansiyelleridir (Kaur and Wasan 2006:199). İşitme cihazı kullanan hastaları memnun etmek için doğru işitme cihazını uygulama amacıyla Odyoloji alanında

bir Karar Destek Sistemine (KDS) ihtiyaç olduğu düşünölmüş ve heterojen odyoloji verilerini istatistiksel modeller oluşturarak iki işitme cihazı tipi (ITE ve BTE cihazı) arasında seçim yapmak üzere bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Modelin başarı oranı %63 ile %66 arasında elde edilmiştir (Anwar and Oakes, 2013:37). Araştırmacılar, bulguları doğrultusunda işitme cihazı tipinin belirlenmesinde iki ana belirleyici parametrenin hava yolu işitme eşikleri ve hava-kemik aralığı olduğunu belirtmiştir (Anwar and Oakes, 2013:40). Geliştirilen sistemin, karmaşık vakalar için odyologlar tarafından ikinci bir görüş olarak kullanılabilceği düşünölmüştür (Anwar and Oakes, 2013:41). Wimalarathna ve arkadaşları, işitsel uyarılmış beyin sapı yanıtlarının (ABR) analizini otomatikleştirmek için uygun bir makine öğrenimi tekniğini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. İşitsel işleme bozukluğu açısından değerlendirilen 136 çocuktan alınan rutin klinik değerlendirme sırasında kaydedilen ABR yanıtları, yaygın makine öğrenimi algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. ABR sonuçlarındaki nörolojik anormallikleri doğru bir şekilde tanımlayabilen en iyi modeli belirlemek için Destek Vektör Makineleri, Rassal Ormanlar, Extreme Gradient Boosting (XGBoost) ve Yapay Sinir Ağları algoritmalarını kullanarak modeller oluşturulmuştur. Çalışmanın bulguları ABR dalgalarını analiz etme sürecini otomatikleştirmek için doğru makine öğrenmesi modelleri geliştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir (Wimalarathna et al., 2021:1). Rodrigo ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptıkları çalışmada tinnitus için internet tabanlı bilişsel davranışçı terapinin tedavi başarısıyla ilişkili değişkenleri belirlemek için karar ağacı yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmaya internet tabanlı bilişsel davranışçı terapi uygulanan 228 birey dahil edilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapay zekâ algoritmaları, özellikle CART ve Gradient Boosting modelleri, internet tabanlı bilişsel davranışçı terapi sonuçlarını tahmin etmede umut verici görölmüştür (Rodrigo et al., 2021:1). Exarchos ve arkadaşları vestiböler bozukluklar için karar ağacı algoritması kullanılarak bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Önerilen metodoloji, doğru bir teşhis sağlamak için demografik özelliklerden klinik muayeneye, işitsel ve vestiböler testlere kadar çeşitli verileri kullanmaktadır. Elde edilen en yüksek doğruluk oranları %92,1 Meniere hastalığı için, en düşük doğruluk oranı ise %59,3 tek taraflı periferik fonksiyon bozukluğu/yetmezliği için bildirilmiştir (Exarchos et al., 2016:240). Juhola, otonörolojik verilerin sınıflandırılması için farklı makine öğrenimi

yöntemlerinin karşılaştırılması amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları makine öğrenimi algoritmaları; k-NN, Diskriminant analizi, Naif Bayes, k-ortalama kümeleme, Karar ağaçları, multilayer perceptron (MLP) ve Kohonen ağları'dır. Doğrusal diskriminant analizi %95,5 doğrulukla en yüksek doğruluk oranı veren model olmuştur. MLP %95,0, k-NN %93,5, k-means kümeleme %92,9, Kohonen ağları %92,7 ve karar ağaçları %89,4 doğruluk oranları elde edilmiştir (Juhola, 2008:211). Zhao ve arkadaşları, endüstriyel gürültüye maruz kalan insanlarda işitme kaybının tahmini için makine öğrenimi modelleri geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın örneklemini, Çin'in Zhejiang eyaletinde bulunan 17 fabrikadan çalışan 1.113 işçi oluşturmuştur. Çalışma kapsamında Destek Vektör Makinesi, Sinir Ağı, Rassal Orman ve Adaptive Boosting algoritmaları kullanılmıştır. Dört farklı algoritma için %78,6 ile %80,1 arasında bir tahmin doğruluğu elde edilmiştir. Bu çalışma, makine öğrenimi algoritmalarının, çeşitli karmaşık endüstriyel gürültülere maruz kalan işçilerde gürültü kaynaklı işitme bozukluğunun değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi için potansiyel araçlar olduğunu göstermiştir (Zhao et al., 2018:1). Myburgh ve arkadaşları orta kulak iltihabı teşhisi koymaya yardımcı olabilecek karar ağacı algoritması ile çalışan görüntü analiz sistemi geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Ticari video-otoskoplarla çekilen görüntülerde %80,6 doğruluk oranı elde edilirken, düşük maliyetli özel yapım video-otoskop ile yerinde çekilen görüntülerde %78,7 doğruluk elde edilmiştir. Geliştirilen orta kulak iltihabı sınıflandırma sisteminin yüksek doğruluğu, geleneksel otoskopları kullanan pratisyen hekimlerin ve çocuk doktorlarının sınıflandırma doğruluğuyla (~%64 ila %80) iyi bir şekilde karşılaştırılır olduğu düşünülmektedir (Myburgh et al., 2016:1).

Yapay zekâ ile geliştirilen sistemler, var olan problemlerin çözümüne hızlı, somut ve erişilebilir katkılar sağlamaktadır. Odyoloji alanında yaşanan zorluklardan birisi uygun işitme cihazı seçimidir. Bu çalışmanın amacı, işitme kayıplı bireyler için bireyin demografik, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zeka algoritmaları ile doğru işitme cihazı seçimini doğruluk oranı yüksek bir şekilde gerçekleştirecek bir model oluşturmaktır.

H<sub>0</sub>: İşitme kayıplı bireyler için geliştirilen makine öğrenmesi modelleri ile işitme cihazı seçiminde doğruluk oranı düşük elde edilmiştir.

H<sub>1</sub>: İşitme kayıplı bireyler için geliştirilen makine öğrenmesi modelleri ile işitme cihazı seçiminde doğruluk oranı yüksek elde edilmiştir.

## II. GENEL BİLGİLER

### A. İşitme Kaybı

Ses dalgaları dış kulaktan geçerek timpanik membranın titreşmesine neden olur. Ses enerjisi, orta kulak kemikçikleri (malleus, incus ve stapes) aracılığıyla amplifiye edilir ve iç kulağa iletilir. Stapes tabanı etkisiyle iç kulak sıvılarında oluşan hareket, baziler membranın titreşimiyle sonuçlanır. Bu titreşim iç ve dış tüylü hücrelerin sterosilyalarında eğilmeye neden olur. Sterosilyaların kinosilyuma doğru eğilmesiyle depolarizasyon meydana gelir ve ses dalgalarının neden olduğu mekanik titreşim, VIII. kranial sinirin işitsel kısmı aracılığıyla beyne iletilen elektrik sinyallerine dönüştürülür. Elektrik sinyalleri işitme sinirinden başlayarak beyin sapı, işitsel korteks ve daha yüksek beyin bölgelerinde işlenir. Bu yapılardan herhangi birinin etkilenmesi ve dış kulaktan beyne ses iletiminin aksaması durumunda işitme kaybı ortaya çıkar (Hayes et al., 2013: 9).

İşitme kaybı en yaygın görülen duyuşsal eksiklik olup, sesi kısmen ya da tamamen duyamama durumudur (Alshuaib et al., 2015:30). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 1,5 milyardan fazla insanın (küresel nüfusun yaklaşık %20'si) işitme kaybı olduğunu ve 2050 yılına kadar 700 milyondan fazla kişinin işitme kaybı yaşayacağını öngörmektedir. Küresel olarak 34 milyon çocukta işitme kaybı bulunmaktadır ve bunların %60'ı önlenabilir sebeplerden kaynaklanmaktadır. 60 yaş üstü bireylerin ise yaklaşık %30'unda işitme kaybı olduğu bilinmektedir (WHO, 2023).

İşitme kaybını tanımlamanın ve sınıflandırmanın birçok yolu vardır. Genel olarak işitme kaybı derecesine, tipine, etyolojisine, başlangıç zamanına göre sınıflandırılabilir.

## 1. İşitme Kaybının Başlangıç Zamanı

İşitme kaybının başlangıç zamanı konjenital veya edinsel (veya geç başlangıçlı) olarak belirlenmektedir. Konjenital işitme kaybı, etiyojisi ne olursa olsun doğumdan beri mevcut olan işitme kaybını ifade eder. Konjenital işitme kaybı vakalarının %80'i genetik bir nedenden kaynaklanmaktadır. Konjenital sensörinöral işitme kaybının en yaygın genetik nedeni, GJB2 genini ve DFNB1 lokusunu etkileyen Connexin 26 mutasyonudur. Bu mutasyon, otozomal resesif bir şekilde kalıtılır ve genellikle prelingual ileri/çok ileri derece işitme kaybı olarak ortaya çıkar. Buna karşılık, yetişkinlerde edinilmiş işitme kaybı çoğunlukla çevresel faktörlere atfedilir, ancak daha çok çevresel ve genetik faktörler arasındaki etkileşimi yansıtır; bunların en sık görüleni yaşa bağlı (%45 genetik olduğu tahmin edilmektedir) ve gürültüye bağlı işitme kaybıdır (Lee and Bance, 2018:3).

## 2. Etiyojisi

İşitme kaybı genel olarak genetik (kalıtsal) veya genetik olmayan (çevresel) sebeplerden kaynaklanmaktadır. Genetik işitme kaybı sendromik ve non-sendromik olarak ikiye ayrılmaktadır. Sendromik olmayan işitme kaybı, genellikle izole bir fiziksel bulgu olarak ortaya çıkar. Sendromik işitme kaybında ise, işitme kaybıyla ilişkili diğer organ sistemlerini (yani, böbrek, kalp veya görme anormallikleri gibi diğer bozukluklarla ilişkili) içeren malformasyonlar bulunmaktadır. Genetik işitme kaybı vakalarının yaklaşık %70 nonsendromik, yaklaşık %30'u ise sendromiktir (Smith et al., 2005:881). Sendromik olmayan işitme kaybının %75'inden fazlası, prelingual çok ileri derece işitme kaybı ile sonuçlanma olasılığı daha yüksek olan otozomal resesif kalıtım sebeplidir. Bunun aksine, sendromik olmayan otozomal dominant işitme kaybının postlingual ve progresif işitme kaybına neden olma olasılığı daha yüksektir. X'e bağlı ve mitokondriyal genetik mutasyonlar, sendromik olmayan kalıtsal işitme kaybı vakalarının yaklaşık %2'sine neden olmaktadır (Lee and Bance, 2018:3). En yaygın sendromik işitme kayıpları: Usher sendromu, Waardenburg sendromu, Pendred sendromu, Jervell ve Lange-Nielsen sendromu, Alport sendromu, branşyo-oto-renal sendromu, Stickler sendromu, Treacher Collins sendromu ve CHARGE sendromudur (Korver et al., 2017:5).



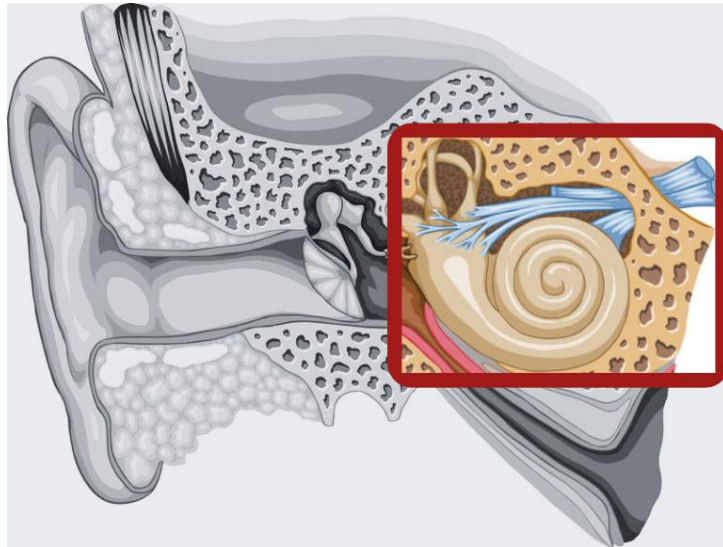
Çocuklarda genetik olmayan işitme kaybı genellikle "TORCH" organizmalarından (toksoplazmoz, kızamıkçık, sitomegalovirüs ve herpes) kaynaklanan doğum öncesi enfeksiyonlar nedeniyle oluşmaktadır (Shearer et al., 1993: 4).

Yetişkinlerde yaş, gürültüye maruz kalma, hastalık, kimyasallar ve fiziksel travma gibi birçok faktör işitme kaybına neden olabilir. Presbiakuzi bireyin işitme kapasitesinin kademeli olarak azalmasını ve başta tüylü hücreler olmak üzere çeşitli bölgelerde kokleanın yaşa bağlı dejenerasyonu ile ilişkili olan gürültülü ortamlarda en başta fark edilen zayıf konuşmayı ayırt etme puanları ile karakterizedir (Kim and Chung, 2013: 50) Gürültüye bağlı işitme kaybı, sensörinöral işitme kaybının en yaygın önlenebilir nedenidir. İşitme kaybının daha az yaygın bir nedeni, tipik olarak diüretikler, salisilatlar, aminoglikozitler ve birçok kemoterapötik ajandan kaynaklanan ototoksin maruziyetidir (Isaacson and Vora, 2003: 1130-1131).

### 3. İşitme Kaybı Tipi

İşitme kaybı tipi etkilenen anatomik bölgeye göre sınıflandırılmaktadır. Genel olarak iletim tip işitme kaybı, sensörinöral tip işitme kaybı ve mikst tip işitme kaybı olmak üzere üç ana işitme kaybı bulunmaktadır.

#### a. Sensörinöral tip işitme kaybı (SNİK)

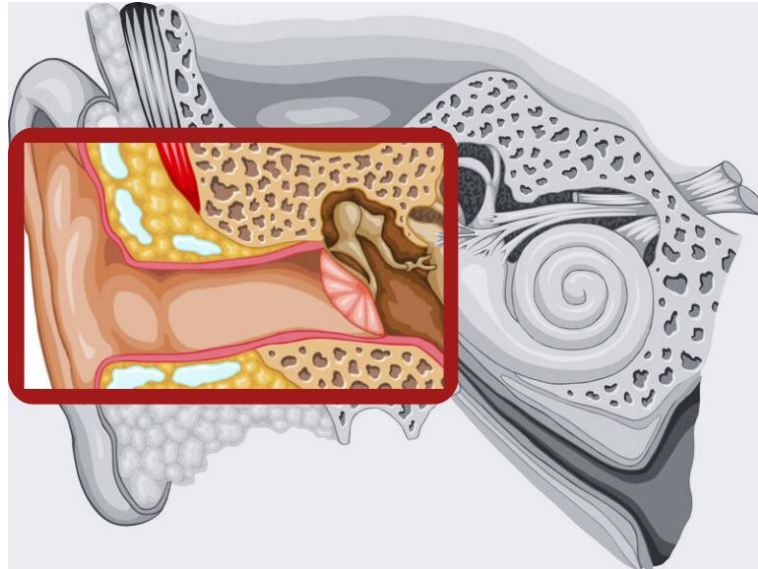


Şekil 1 Sensörinöral Tip İşitme Kaybının Lokalizasyonu

SNİK özellikle kokleadaki dış tüylü hücrelerdeki ve/veya işitme sinirinin spiral ganglion nöronlarındaki işlev bozukluğundan, santral işitsel algı veya

işlemenin daha yüksek yönlerinden kaynaklanmaktadır. SNİK, dış kulak ve orta kulak normal olmasına rağmen ileri / çok ileri derece işitme kaybına neden olabilir. SNİK'te hava yolu ve kemik yolu iletiminde bozulmalar bulunmaktadır. Bu nedenle odyogramda hava yolu ve kemik yolu eşiklerin düşüş olup, benzer hava yolu ve kemik yolu eşikleri saptanmaktadır. SNİK, koklear ve retrokoklear patoloji olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Koklear patoloji genellikle korti organındaki hasardan veya tüylü hücrelerin işitme sinirini uyaramamasından kaynaklanmaktadır. Retrokoklear patoloji ise nöral bileşen olup, hasarın genellikle işitme sinirinde olduğu durumu ifade etmektedir. SNİK; kızamıkçık, herpes, toksoplazmoz, sifiliz ve sitomegalovirüs gibi perinatal enfeksiyonların sonucu olabilir. SNİK ile ilişkili doğum komplikasyonları asfiksi ve düşük doğum ağırlığını içerir. Geç başlayan SNİK nedenleri arasında menenjit, labirentit, kabakulak ve kızamık gibi enfeksiyonlar yer alır. Bunların dışında presbiakuzi, gürültüye bağlı işitme kaybı ve ototoksosite yaygın görülen edinsel SNİK nedenleri olarak sayılmaktadır. SNİK genellikle kalıcı işitme kaybına sebep olmaktadır. Bu nedenle SNİK olan bireylerde işitme cihazları ve/veya koklear implantlar ile sese erişim sağlanmaktadır (Alshuaib et al., 2015 :30; Lee and Bance, 2018: 3).

#### **b. İletim tipi işitme kaybı (İTİK)**

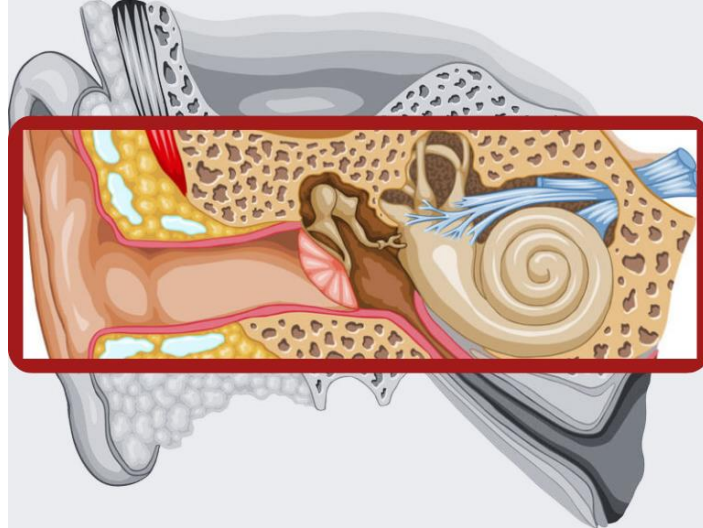


Şekil 2 İletim Tipi İşitme Kaybı Lokalizasyonu

İTİK; dış kulak, timpanik membran veya orta kulakta ses dalgalarının iletimini etkileyen bir sorundan kaynaklanmaktadır. Kemik yolu iletiminde bir

aksaklık görülmemektedir. Bu nedenle odyogram tipik olarak normal kemik yolu eşikleri (0-25 dB) ve anormal hava yolu eşikleri (25 dB'den yüksek) ile karakterizedir. İTİK, tüm frekans aralıklarını etkileyebilir. Ancak, alçak frekanslar (250–500 Hz) veya orta frekanslar (250 Hz–2 kHz) daha fazla etkilenmektedir (Alshuaib et al., 2015 :33). Yaygın görülen İTİK sebepleri arasında buşon (kulak kiri), yabancı cisim, otitis eksterna, timpanik membran perforasyonu, orta kulak iltihabı (akut ve kronik), ossiküler fiksasyon ve otoskleroz sayılmaktadır. İTİK genellikle hafif ile orta derecede işitme kaybına sebep olmaktadır. İletim tipi işitme kaybının yönetimi, altta yatan hastalığın tedavisine odaklanır ve genellikle tıbbi veya cerrahi müdahale ile düzelebilir (Lee and Bance, 2018: 3).

### c. Mikst tip işitme kaybı



Şekil 3 Mikst Tip İşitme Kaybı Lokalizasyonu

Mikst tip işitme kaybı, aynı kulakta iletim ve sensörinöral patolojinin bir arada olduğu bir işitme kaybı türüdür. Bu nedenle hava ve kemik iletiminin etkilenmesi beklenmektedir. Odyogramda 10 dB'den fazla bir hava-kemik aralığının görülmesi mikst tip işitme kaybını düşündürmektedir (Alshuaib et al., 2015:33).

### 4. İşitme Kaybı Derecesi

İşitme kaybı sebebine göre hafif dereceden çok ileri dereceye kadar farklı şiddetlerde görülmektedir. İşitme kaybı derecesi; 0.5, 1, 2 ve 4 kHz'de hava yolu eşiklerinin saf ses ortalamasına göre belirlenmektedir (Yamasoba et al., 2013: 3).

İşitme kaybı derecesinin farklı sınıflamaları bulunmaktadır. En sık kullanılan iki sınıflama Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1 İşitme Kaybı Derecesi Sınıflaması

| Goodman (1965) |            | Clark (1981) |            |
|----------------|------------|--------------|------------|
| dB HL          | Derece     | dB HL        | Derece     |
| -10-26         | Normal     | -10-15       | Normal     |
| 27-40          | Hafif      | 16-25        | Çok hafif  |
| 41-55          | Orta       | 26-40        | Hafif      |
| 56-70          | Orta-İleri | 41-55        | Orta       |
| 71-90          | İleri      | 56-70        | Orta-İleri |
| 90+            | Çok ileri  | 71-90        | İleri      |
|                |            | 90+          | Çok ileri  |

İşitme kaybı fluktuant olabilir, yani zamanla değişebilir; bazen iyileşirken bazen de kötüye gidebilir. Diğer durumlarda, işitme kaybı sabittir ve zamanla hiç değişmez. Her iki kulakta meydana gelen bilateral kayıp veya tek kulakta meydana gelen unilateral kayıp görülebilir.

## 5. İşitme Kaybının Etkileri

İşitme kaybı, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Özellikle yaşlı insanlar arasında sosyal izolasyona ve yalnızlığa yol açmaktadır. Çocuklar için en büyük etkisi dil gelişiminin gecikmesine, yetişkinlerde ise sosyal ve mesleki sorunlara yol açabilmektedir. Böylece çocukların akademik performansı, yetişkinlerin ise istihdam seçeneklerini etkilemektedir (Smith et al., 2005: 881; Alshuaib et al., 2015:30; WHO, 2023).

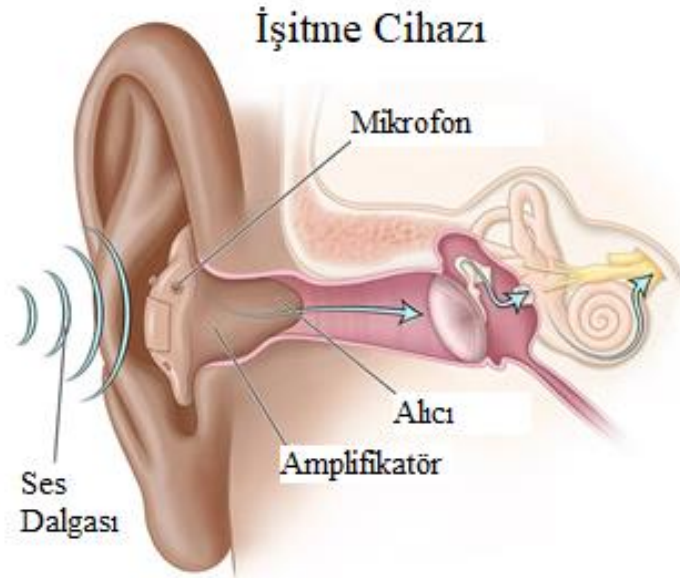
İşitme kaybının etkilerinin çoğu, erken teşhis ve müdahalelerle hafifletilebilir. İşitme cihazları, koklear implantlar ve diğer cihazlar dâhil olmak üzere yardımcı teknolojiler, her yaşta işitme kaybı olan kişilere yardımcı olabilir. İşitme kaybı yaşayan bireyler ayrıca konuşma terapisi, işitsel rehabilitasyon ve diğer ilgili hizmetlerden de yararlanabilir (WHO, 2023).

DSÖ, halk sağlığı önlemleriyle işitme kaybının %50'sinin önlenebileceğini tahmin etmektedir. Bazı önleme stratejileri, yüksek seslere ve müziğe maruz kalma veya kulak tıkaçları gibi koruyucu donanım takma gibi bireysel yaşam tarzı seçimlerini hedefler. Bu, kişisel ses sistemleri ve cihazları için ses standartlarının uygulanmasıyla desteklenebilir (WHO, 2023)

## B. İşitme Cihazı

İşitme kaybı, tüm popülasyonu etkileyen ve çok geniş bir etiyojolojiye sahip olan önemli bir sağlık problemidir. Çoğu işitsel patoloji, işitme hassasiyetinde azalmaya neden olur. İşitme cihazı, sensörinöral işitme kaybının psikolojik, sosyal ve duygusal etkilerini azaltarak yetişkinlerde sağlıkla ilgili yaşam kalitesini iyileştiren, işitme kaybı için kolay erişilebilir bir seçenektir. Chisolm ve arkadaşları (2007:169) işitme cihazı kullanımını, işitme kayıplı kişiler için invaziv olmayan ve birçok potansiyel faydası olan bir seçenek olarak tanımlar.

İşitme kaybının etkilerini azaltmak için, özellikle tıbbi olarak tedavi edilemeyen işitme kayıpları olan ve cerrahi tedaviye aday olmayan kişiler için işitme cihazları yaygın bir öneridir. İşitme cihazlarının birincil amacı, gelen ses sinyallerini güçlendirerek işitme kaybı olan bir hasta için işitilebilirliği iyileştirmektir. Modern işitme cihazları ayrıca arka plan gürültüsünü azaltmak (örneğin, yönlü mikrofonlar, dijital gürültü azaltma) ve çeşitli cihazlara erişim (örneğin, bir televizyondan veya telefondan kablosuz akış) sağlamak için çeşitli teknolojik özellikler içerir (Picou, 2020:21).



Şekil 4 İşitme Cihazı Çalışma Prensibi

Kaynak: (<https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/24756-hearing-aids>)

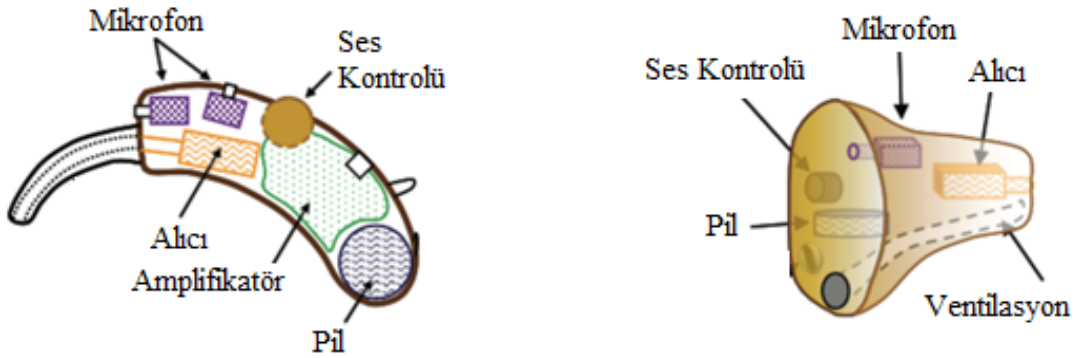
İşitme cihazları hem sıcak, soğuk, nem, rüzgâr ve manyetik alanlar gibi fiziksel şartlarda hem de çok çeşitli akustik parametreler gibi zorlu koşullarda

düzgün çalışması gereken son derece karmaşık elektroakustik cihazlardır. Sınırlı bir güç kaynağıyla çalışma, çok küçük üretilme ve mikrofonun alıcıya olan yakınlığı gibi yapısal kısıtlamaları da bulunmaktadır. İşitme cihazlarını tasarlamak, üretmek, test etmek, uygulamak ve değerlendirmek için çeşitli ve birbirinden bağımsız disiplinlerden oluşan geniş bir profesyonel ekip (doktor, odyolog, mühendis, psikolog, psikoakustiker vd.) gerekir. İşitme cihazlarının farklı disiplinlerarası doğası, işitme cihazı araştırmalarının en zorlu yönlerinden biridir.

## 1. İşitme Cihazlarının Bileşenleri

Modern bir işitme cihazı başlıca;

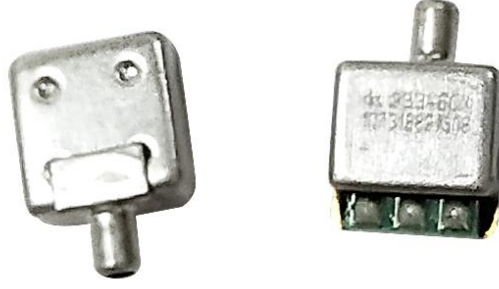
- Mikrofon,
- Amlifikatör,
- Anolog-Digital Çevirici,
- Dijital Sinyal İşlemcisi,
- Filtre,
- Alıcı ve
- Pilden oluşmaktadır.



Şekil 5 Kulak Arkası ve Kulak İçi İşitme Cihazı Tiplerine göre İşitme Cihazı Bileşenleri

Kaynak: (Dillion, 2001:13)

## a. Mikrofon



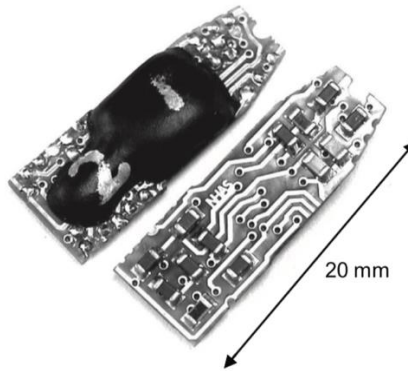
Şekil 6 İşitme Cihazı Mikrofonu

Kaynak: (<https://www.directindustry.com/prod/knowles-electronics-llc/product-127265-1687311.html>)

Mikrofonun işlevi sesi elektriğe dönüştürmektir. Enerjiyi bir biçimden diğerine değiştirdiği için dönüştürücü olarak bilinir. Harici bir sesi almak için bir veya daha fazla mikrofon bulunabilir. Çıkış voltajının boyutunun giriş ses basıncının boyutuna oranı, mikrofonun hassasiyeti olarak bilinir. Tipik işitme cihazı mikrofonları, Pascal başına yaklaşık 16 mV hassasiyete sahiptir; 70 dB SPL'lik seslerin yaklaşık 1 mV'luk bir voltaj ürettiği anlamına gelir.

## b. Amplifikatör

Bir amplifikatörün temel görevi; küçük bir elektrik sinyalini daha büyük bir elektrik sinyaline dönüştürmektir.



Şekil 7 Amplifikatör Kartı

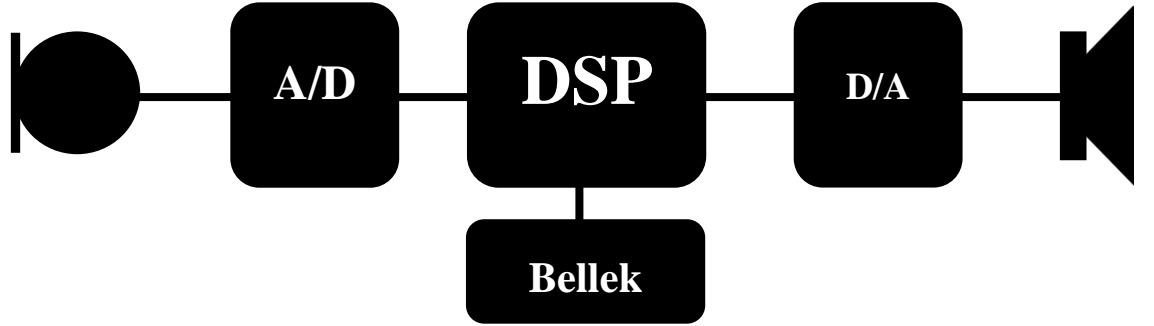
Kaynak: (Dillion, 2001:28)

Mikrofon sesi zaten elektrik voltajlarına ve akımlarına dönüştürdüğü için, amplifikatörler üç şey yapabilir.

- Birincisi, gerilimi artırabilirler, ancak akımı etkilemezler.
- İkincisi, akımı daha büyük yapabilirler, ancak voltajı etkilemezler.
- Üçüncüsü ve en yaygın olanı hem voltajı hem de akımı daha büyük yapabilirler.

Üç seçenekte, sinyalin amplifikatörden çıktığında daha fazla güce sahip olmasını sağlar. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için bir güce ihtiyaç duymaktadır. Amplifikatör pilden güç alır ve bunu giriş sinyali tarafından kontrol edilen bir şekilde amplifikatör çıkışına aktarmaktadır. Bu nedenle, çıkış dalga formu giriş dalga formunun daha büyük bir versiyonudur.

### c. Analog-dijital dönüştürücü (A/D dönüştürücü)



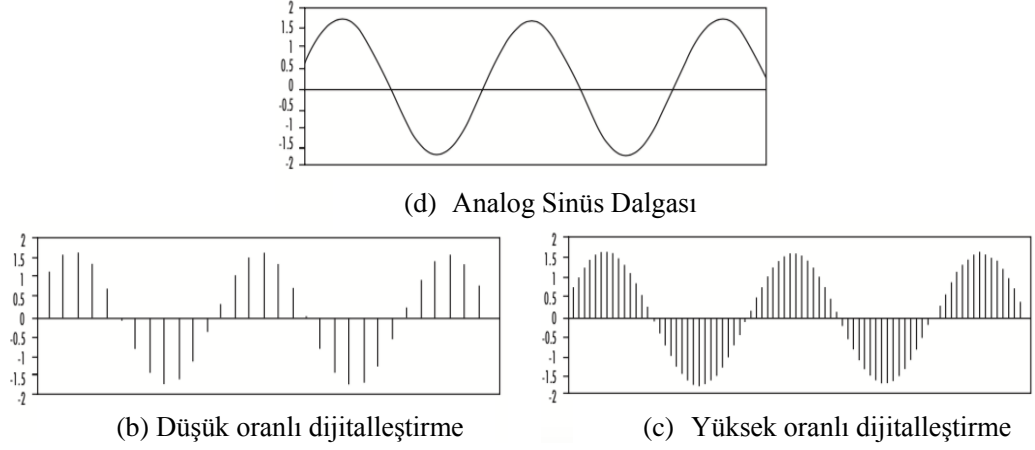
Şekil 8 İşitme Cihazı Temel Bileşenleri

A/D Dönüştürücü, dijital işitme cihazının ön ucunun bir parçasıdır. İşitme cihazı ön ucunda mikrofon ve A/D dönüştürücü olmak üzere bir giriş kaynağından oluşur (Csermak and Armstrong, 1999:8)

Dijital teknolojide ses, sürekli değişen bir sayı dizisi olarak temsil edilir. Mikrofondan gelen analog elektrik voltajını bu sayılara dönüştürmek analogdan dijitala dönüştürücünün işidir. Numune alma bu süreçteki ilk adımdır.

Sürekli bir analog giriş sinyalini, önceden belirlenmiş zaman aralıklarında alınan bir dizi genlik örneğine dönüştüren bir devre bloğudur. A/D dönüştürücü nicelemenin ve örneklemenin (belirli zaman aralıklarında) bir birleşimidir (Agnew, 2000:37).





Şekil 9 A/D Sinyal Dijitalleştirme Örneği

Kaynak: (Agnew, 2000:37)

Örneklenen sinyalin orijinal sinyalin iyi bir temsili olmasını istiyorsak, bu örneklerin çok sık elde edilmesi gerekir. Saniyedeki örnek sayısına örnekleme hızı denir.

Örnekleme frekansının (örnekleme oranı) karmaşık bir sinyalde bulunan en yüksek frekans bileşeninin iki katından büyük olması koşuluyla, orijinal sinyal hakkında hiçbir bilgi matematiksel olarak kaybolmaz. Bu nedenle, eğer bir işitme cihazı sinyalleri güvenilir bir şekilde 10 kHz'e kadar yükseltecekse, örnekleme frekansının en az 20 kHz olması gerekir. Bu, dalga formunun saniyede 1/20.000'de bir veya 50 ms'de bir örneklendiği anlamına gelir. Analogdan dijitale dönüştürücüye giden sinyallerin frekansının örnekleme frekansının yarısından daha düşük olduğundan emin olmak için bir işitme cihazının alçak geçiren bir filtre içermesi gerekir. Alçak geçiren filtre istenmeyen bozulmaların oluşmasını engeller (Dillion, 2001:31).

#### d. Dijital sinyal işlemci

Gürültüye karşı korumanın yanı sıra, dijital forma dönüştürmenin ikinci bir avantajı daha vardır. Ses bir dizi sayı olarak temsil edildiğinde, yalnızca sayılarla aritmetik yaparak sesi değiştirebiliriz. Örneğin, bir sesi 6 dB yükseltmek istiyorsak, sesin genliğini iki katına çıkarmalıyız. Sesin her bir örneğini temsil eden sayıyı basitçe iki ile çarpmak bunu yapacaktır. Daha fazla amplifikasyon için, her örneği daha büyük bir sayı ile çarparız.

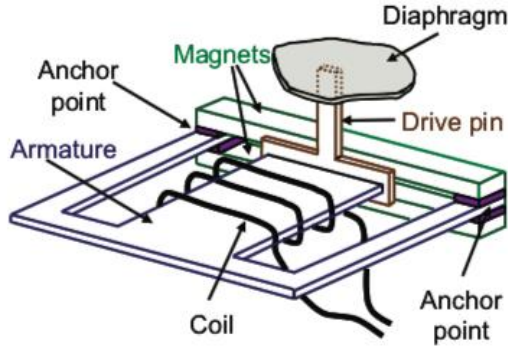
### e. Filtreler

Kazancın frekansla değişmesini sağlayan temel elektronik yapı filtredir. Filtreler, sinyaller üzerindeki etkileriyle bilinir:

- Yüksek geçişli filtreler, yüksek frekanslı seslerde düşük frekanslı seslerden daha fazla kazanç sağlayarak sese tiz veya tiz bir kalite verir.
- Alçak geçiren filtreler, düşük frekanslı seslere yüksek frekanslı seslerden daha fazla kazanç sağlar ve bu da sese boğuk bir kalite verir.
- Bant geçiren filtreler, belirli bir banttaki frekanslara, daha yüksek veya daha düşük frekanslardan daha fazla kazanç sağlar.
- Bant durdurma filtreleri, sınırlı bir frekans aralığında diğer tüm frekanslardan daha az kazanç sağlar.

### f. Alıcı

Alıcı, guclendirilmiş ve değiştirilmiş elektrik sinyalini akustik bir çıkış sinyaline donsturur. (Egolf et al., 1989:86)



Şekil 10 Alıcının alışma Prensiğini ve Yapım Esası

Kaynak: (Dillion, 2001:41)

Alıcı, manyetik kuvvetle çalışır. Alıcı basit gornyor olsa da geniş bir frekans tepkisine sahip olacak, az gu tuketecek, işitme cihazı kasanın dışına çok az manyetik alan sızdıracak ve neredeyse hiç hacim işgal etmeyecek şekilde üretilmesi büyük bir teknolojik başarıdır.

## g. Pil

Pil, işitme cihazının cihaz kullanıcısına iletlediği artırılmış sinyal gücünün kaynağıdır. Pilin önemli özellikleri voltajı, kapasitesi, sağlayabileceği maksimum akım, elektriksel empedansı ve fiziksel boyutudur.



Şekil 11 İşitme Cihazı Pilleri

Kaynak: (Dillion, 2001:48)

## i. Şarj Edilebilir Piller

Bazı işitme cihazı üreticileri, şarj edilebilir pillere sahip işitme cihazları sunmaktadır. Başlıca avantajı, pilleri değiştirmek zorunda kalmamaları nedeniyle artan rahattır. Şarj edilebilir piller birkaç yüz kez boşaltılıp yeniden doldurulabilir, bu nedenle pilin bir ile üç yılda bir değiştirilmesi gerekir. Pek çok yaşlı işitme cihazı kullanıcısı, gerekli ince manipülasyon becerileri nedeniyle pilleri değiştirmenin işitme cihazı takmanın en zor kısmı olduğunu düşünmektedir. Şarj edilebilir piller bu rahatsızlığı ortadan kaldırır ve aynı zamanda pil yuvalarının ters polaritede yerleştirilmeye çalışılmasından kaynaklanan hasarları da önler. Şarj edilebilir pillerin en büyük dezavantajı, kapasitelerinin aynı boyuttaki yeniden doldurulamayan bir pilin kapasitesinin yalnızca %10'u kadar olmasıdır. Bu nedenle, şarj etme işleminin düzenli olarak yapılması gerekir. Diğer bir konu da kablosuz teknolojinin artan güç tüketimidir. Çoğu durumda şarj edilebilir piller, kablosuz özelliği etkinleştirildiğinde yeterli akımı sağlayamayacak ve/veya deşarj/yeniden şarj döngüsü çok kısa olacaktır.

## 2. İşitme Cihazı Tipleri

İşitme cihazları, Şekil 12'de gösterildiği gibi birkaç farklı tarzda üretilmektedir. İşitme cihazları birçok şekilde sınıflandırılabilir. İşitme cihazlarını sınıflandırmanın en basit yolu, takıldıkları yere göre sınıflandırmaktır; bu aynı

zamanda işitme cihazının maksimum boyutunun ne olması gerektiği anlamına da gelir. Bir kişi için en uygun işitme cihazı, ihtiyaç duyulan amplifikasyonun derecesine ve tipine, kulak kanalının boyutuna ve şekline, gereken özelliklere, hastanın cihazı yönetme becerisine ve hasta tercihine bağlıdır.

Dört temel işitme cihazı stili mevcuttur;

- Kulak arkası (BTE),
- Kulak içi (ITE),
- Kanal içi (ITC) ve

Tamamen kanal içi (CIC) modeller. (Hampson, 2012: 199).



Şekil 12 İşitme Cihazı Tipleri

(<https://www.trianglesinuscenter.com/blog/which-type-of-hearing-aid-will-suit-my-hearing-loss-gewzm>)

#### a. Kulak arkası işitme cihazları (BTE)

Kulak arkası işitme cihazları (BTE) en sık kullanılan işitme cihazı tipidir. Cihazın gövdesi BTE'ye oturur ve sesi özel olarak takılmış bir kulak kalıbına bağlı içi boş plastik bir tüp aracılığıyla yönlendirir. BTE, hafif dereceden ileri dereceye kadar çeşitli işitme kaybı dereceleri için uygundur. Fazla sayıda özellik seçeneğine sahiptir ve kullanımı en kolay işitme cihazı tipidir. Kozmetik görünümü bazı hastalar için endişeye neden olabilir. Ancak, günümüzde bu sorunu çözebilecek daha ince tüp ve daha küçük gövdeye sahip BTE modelleri bulunmaktadır. BTE cihazın daha yeni bir varyasyonu, hoparlör kulak içinde kalıp ile uygulanan (Receiver in the ear-RIC) cihazlardır. Teknolojideki gelişmeler, işitme cihazı üreticilerinin receiverlerin işitme cihazı kabini içerisinden çıkarıp kulak içine yerleştirilerek daha estetik görünüme sahip, daha yüksek kazanç üretebilen cihazlara üretmelerini sağlamıştır. Genel olarak BTE

işitme cihazı ile aynı yapıya sahiptir, ancak cihazın gövdesi ince bir tüp aracılığıyla küçük, açık bir kulaklığa bağlanmıştır. Hoparlör cihaz kabini yerine, kulak kanalına yerleştirilir ve akustik bir hortum yerine elektrik kablosu kulak kanalının içerisine kadar uzanır. Kulak kalıbı gerektirmez, bu nedenle bazı işitme cihazı satış ve uygulama merkezlerinde anında verilebilir. Ayrıca kozmetik olarak daha çekici olabilirler. Kulak kanalını açık bırakarak, geleneksel kulak kalıplarında meydana gelen oklüzyon etkisinin azalmasını sağlarlar. Bununla birlikte, akustik geri besleme olasılığının artması nedeniyle, yalnızca hafif ile orta dereceli işitme kayıpları için uygun olma eğilimindedirler. Ayrıca hasara karşı daha hassastırlar, dolayısıyla daha yüksek yenileme oranı nedeniyle genellikle daha maliyetlidirler (Hampson, 2012: 199).

#### **b. Kulak içi işitme cihazları (ITE)**

ITE konkanın tamamını doldurur ve tamamen dış kulağı kapsar (Dillion, 2008: 12). ITE cihazların konkayı farklı doldurma biçimleri vardır ve buna göre adlandırılırlar. ITE genellikle hafif dereceden ileri dereceye kadar işitme kaybı derecelerinde kullanılmaktadır (Kates, 2008: 3). Kullanımı diğer modellere oranla daha kolay ve estetik açıdan daha az görülen bir işitme cihazı türüdür. Kullanıcının kulak izine özel olarak hazırlanan "shell" adı verilen dış kısım işitme cihazının kabinini oluşturur. Mikrofon, hoparlör, amplifikatör ve elektronik devreler shellin içine monte edilir.

#### **c. Kanal içi işitme cihazları (ITC)**

ITE işitme cihazına benzer olup, kavum konkanın daha küçük bir bölümünü kaplamaktadır ve dış yüzü kulak kanalı açıklığına paralel bulunmaktadır (Dillion, 2008: 12).

#### **d. Tamamen kanal içi işitme cihazları (CIC)**

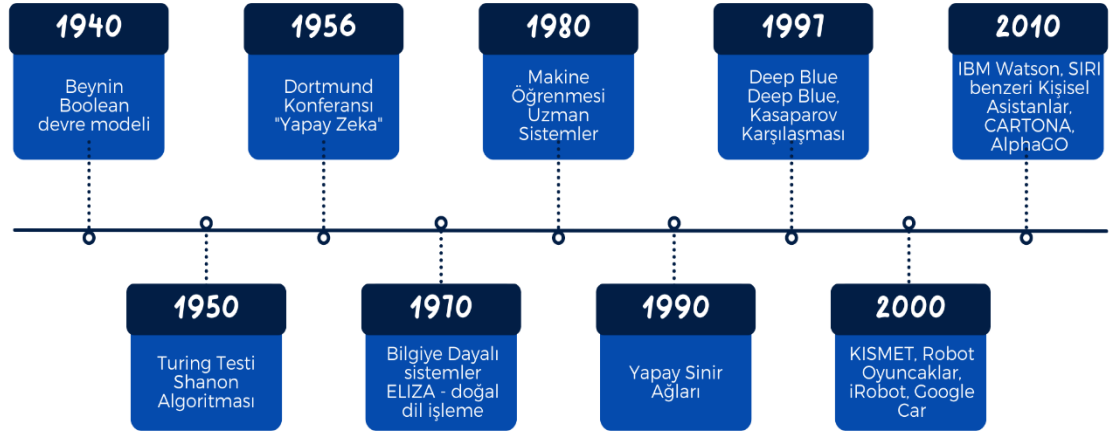
CIC, tamamen kulak kanalının içinde bulunan işitme cihazı tipidir. Bu işitme cihazı tipinde, konka içine çıkıntı yapılmayacak kadar küçük bileşenler kullanır. (Dillion, 2008: 12). CIC cihazların kulağa takıp çıkarılmasını kolaylaştırmak amacıyla kabine bağlı bir misina bulunur. Bu sebepten dolayı kanal içi işitme cihazı uygulaması yaparken hastanın motor becerileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

ITE, ITC ve CIC cihazları giderek küçülür ve bu nedenle genellikle kozmetik olarak daha talep edilmektedir. Bununla birlikte, işitme cihazı küçüldükçe daha küçük piller kullanılır. Dolayısıyla daha kısa pil ömürleri vardır ve daha az kullanılabilir özelliğe sahiptirler. Mikrofon ile alıcının (hoparlör) yakınlığından kaynaklanan geri besleme sorunları nedeniyle sınırlı bir amplifikasyon aralığına sahiptirler. Ayrıca küçük olması nedeniyle yaşlı hastalar için kullanımı daha zordur. Nem ve kulak kiri nedeniyle daha büyük sorunlara yol açabilirler (Hampson, 2012: 199-200).

### **C. Yapay Zekâ**

Yapay Zekâ kavramı ilk kez 1955 yılında Amerikalı bir bilim insanı olan John McCarthy tarafından kullanılmıştır. McCarthy (2004:7) zekâyı, “Dünyada hedeflere ulaşma yeteneğinin hesaplayıcı bir parçasıdır. Değişen türde ve derecede zekâ insanlarda, birçok hayvanda ve bazı makinelerde görülür” tanımlamıştır. Yapay zekâyı ise, “insan benzeri zeki makineler özellikle de zeki bilgisayar programları yapma bilimi ve mühendisliği” olarak tanımlamıştır. Avron Barr ve Edward Feigenbaum yapay zekâyı terimini, “Bilgisayar biliminin akıllı bilgisayar sistemleri tasarlamaya ilgili bölümüdür. İnsan davranışında zekâ ile ilişkilendirdiğimiz özelliklerle sergilenen dili anlama, öğrenme, akıl yürütme, problem çözme vb. işlevleri gerçekleştirmektedir.” şeklinde açıklamıştır (Barr and Feigenbaum, 1981:3–4).

Yapay Zekâ kavramı kısaca düşünme ve insan gibi davranma yeteneğine sahip, insanlar tarafından üretilen akıllı bir yapı olarak tanımlanabilir. Yapay zekâ algoritmalarının tıbbi yayınlarda kullanım sıklığı gün geçtikçe artmaktadır. Demirhan vd. (2010:33) yaptığı çalışmada yapay zekâ yöntemlerini kullanan yazılan makalelerin üstel olarak artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Günümüzde yapay zekâ özellikle büyük veri’de gelişmelerle birlikte çok farklı alanlarda kendine yer bulmuştur. Sağlık hizmetleri, e-ticaret, sesli asistan ve navigasyon gibi günlük hayatımızda sıklıkla kullandığımız alanlarda, hayatımızı kolaylaştırmak için sürekli gelişen bir yapıda yapay zekâ uygulamaları etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sürecin daha iyi algılanabilmesi için için yapay zeka uygulamalarında yaşanan kritik evreler Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13 Yapay Zekanın Akışı

Kaynak: (Arslan, 2020:78)

Tıbbi alanlarda yapay zekâ algoritmalarının kullanılmasının temel amacı klinik teşhis süreçlerini gerçekleştirebilecek ve tedavi önerilerinde bulunabilecek yapay zeka algoritmalarının oluşturulmasıdır (Demirhan vd., 2010:32).

Yapay zekâ algoritmalarının görevi klinik süreçlerde verimliliği, doğruluğu ve sonucu iyileştirmektir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte akıllı telefonlar ve saatler gibi elektronik cihazlardaki artış ve yapay zekâ teknolojisindeki gelişmeler sağlık alanında devrim niteliğinde değişiklikler getirmektedir (Öcal vd., 2020:7). Başarılı hasta bakımı için en önemli faktörler bilgi ve deneyimdir. Bir sağlık profesyoneli ne kadar çok bilgiye sahipse ve hastayı tedavi ederse, o kadar iyi hasta bakımı sağlayabilir. Bu da zamanla olur. Sağlık çalışanları kariyerleri boyunca bilgi ve deneyim kazanırken, hastalarla ilgilenirken kendi alanlarına ait bilgilerini artırır. Bilgi ve deneyime ne kadar fazla sahip olursak doğru kararlar verme oranımız o kadar yüksek olur. Bilgileri kitaplardan, makaleler gibi bilimsel yazılardan edinebilirken, hastalardan, hasta sonuçlarından ve tedavi süreçlerinden de deneyim kazanılır. Bu bilgi ve deneyimin kazanılması ise çok uzun süreçler alır. Algoritmalar ise insanların bilgi ve deneyim kazanma sürelerinden çok daha kısa bir süreçte bu bilgi ve deneyimi kazanabilir. Mintz ve Brodie (2019:73) yaptığı çalışma buna bir örnek olarak verilebilir. Bir sağlık profesyoneline kıyasla yapay zekâ tabanlı bir algoritma tarafından okunan bilgisayarlı tomografi (BT) sonuçlarının daha hızlı ve yüksek doğruluk oranı ile teşhis edilebileceği göstermiştir. Bir radyolog 40 yıllık bir kariyer boyunca ortalama olarak 225.000 Manyetik Rezonans Görüntüleme/BT sonucu görebilmekte fakat yapay zekâ

tabanlı bir algoritma çok kısa bir süre içinde milyonlarca bilgiye ulaşabilir ve doğruluk oranı yüksek sonuçlar verebilir.

Yapay Zekâ, çalıştığı problemin türüne ve kullanılan yöntemlere göre çeşitli alt alanlara ayrılmaktadır. Şekil 14'te Yapay zekanın bazı alt dalları verilmiştir.

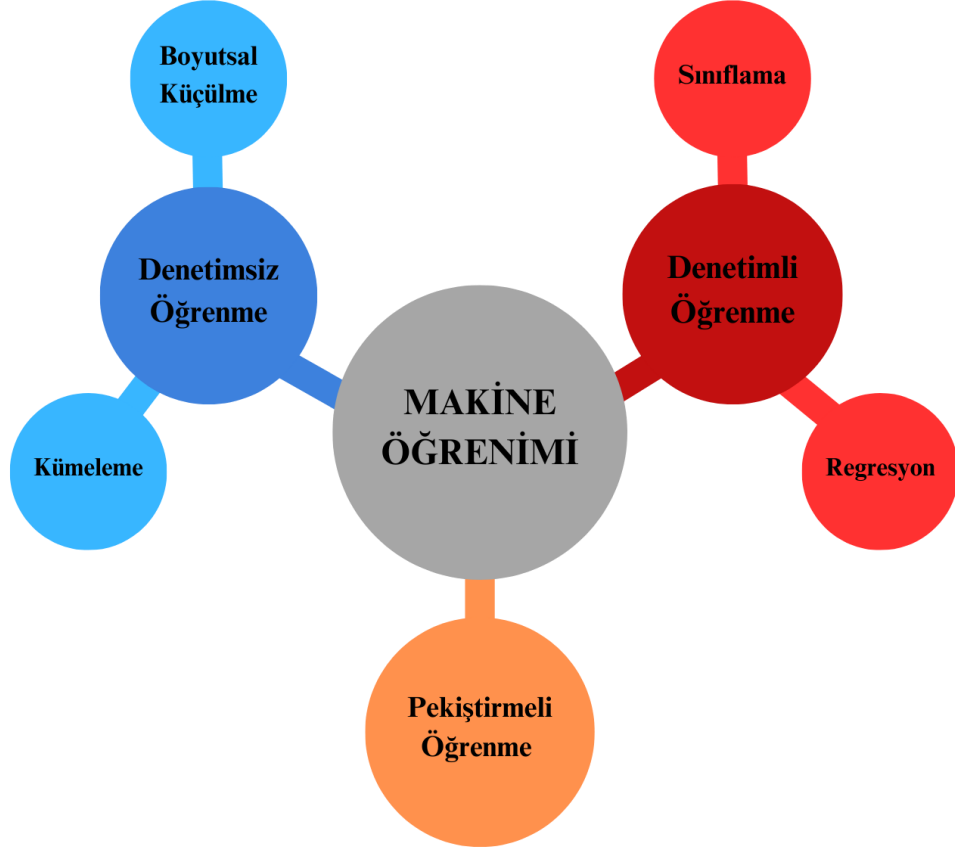


Şekil 14 Yapay Zekânın Alt Dalları

## 1. Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi kavramı ilk olarak 1959'da dönemin önde gelen bilgisayar bilimcisi Arthur Samuel tarafından kullanılmıştır (Handelman et al., 2018:605). Bir makineye geçmiş deneyime dayalı olarak nasıl çıkarımlar yapılacağını ve karar verileceğini öğreten çalışma alanıdır (Samuel, 1959:223). Makine öğreniminin mantığı; girdi verilerine göre çıktı değerlerini kabul edilebilir bir doğruluk aralığında tahmin etmek için bilgisayar analizi uygulamaktır. Veriler içindeki kalıpları ve eğilimleri belirleyen ve önceki deneyimlerden öğrenen algoritmalar sunmaktır. Bu algoritmalar insanlar ve işletmeler zamandan tasarruf etmesini sağlamakla birlikte daha doğru kararlar vermelerine de yardımcı olmaktadır. Şekil 15'te makine öğrenmesinin alt dalları verilmiştir.





Şekil 15 Makine Öğrenmesi Alt Dalları

#### a. Rassal orman (Random forest)

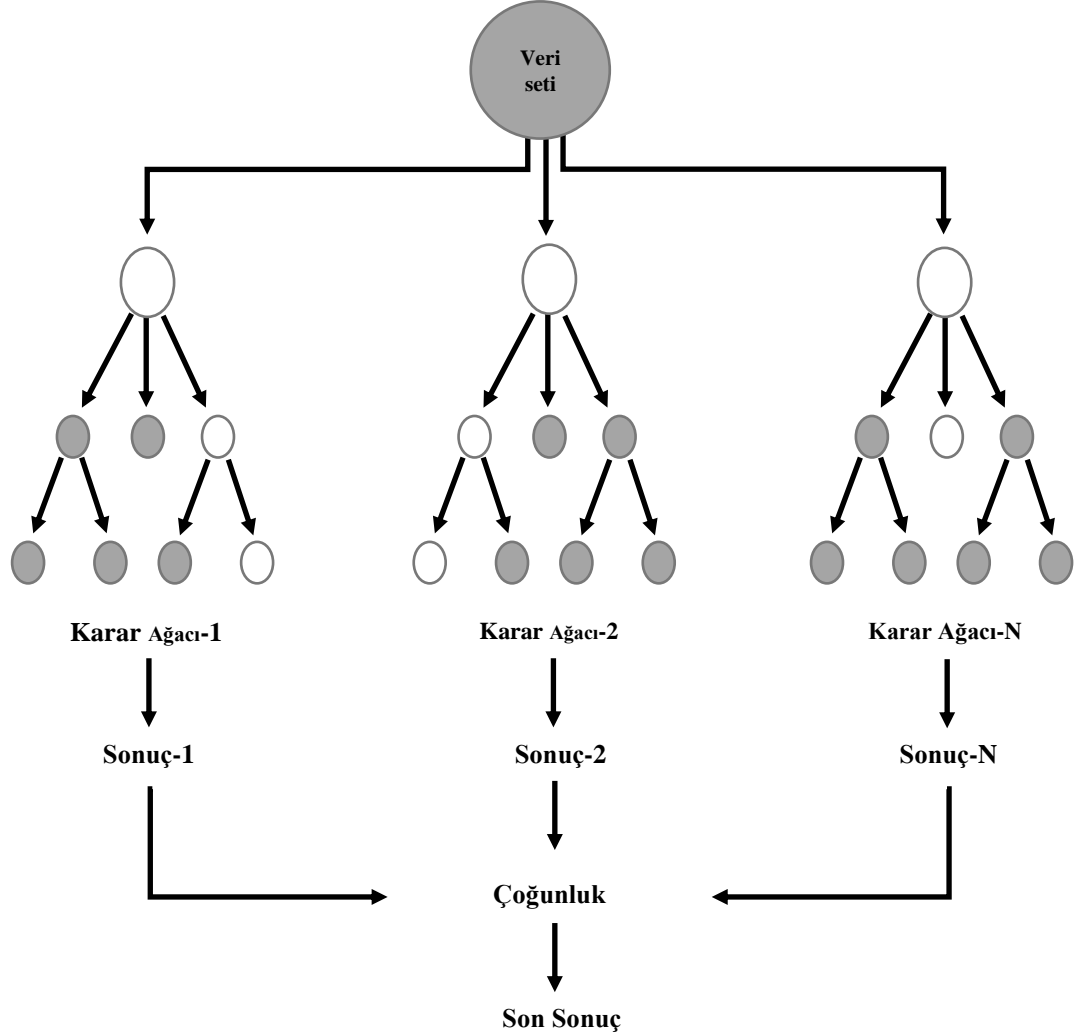
Rassal Orman algoritması, sınıflandırma sırasında birden fazla karar ağacı üreterek sınıflandırma değerini yükseltir. Bireysel olarak oluşturulan karar ağaçları bir araya gelerek karar ormanı oluşturur. Rassal orman algoritmasındaki karar ağaçları, veri setinden rastgele seçilmiş birer alt kümedir.

Büyük ölçekli ve karmaşık verilerin analizi için makine öğrenimi yöntemlerinin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Karar ağaçlarını, özellik seçimini ve etkileşimleri öğrenme süreçlerini içeren Rassal Orman tekniği popüler bir seçimdir. Parametrik değildir, yorumlanabilir, verimli ve birçok veri türü için yüksek tahmin doğruluk oranına sahiptir. Küçük örneklem boyut ve karmaşık veri yapılarıyla sonuç alma konusundaki avantajları nedeniyle Rassal Orman kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Qi, 2012;307) Şekil 16'da rassal orman algoritmasının şeması verilmiştir.

Rassal Ormanın üç ana özelliği;

- Birçok uygulama türünde doğru tahminler sağlar;

- Model eğitimi ile her özelliğin önemini ölçebilir;
- Veriler arasındaki ikili yakınlık, eğitilmiş model tarafından ölçülebilir (Qi, 2012;308).



Şekil 16 Rassel Orman Algoritması Şeması

Rassel Orman Algoritmasının özellikleri;

- Birden fazla ağaç yetiştirilebilir,
- Sınıflandırma işleminde oluşturulan ormandaki tüm ağaçlar arasından en çok oyu alan ağaç seçilir,
- Regresyon durumunda, farklı ağaçların çıktılarının ortalamasını alınabilir.

Bu özellikler Rassel Orman algoritmasının kararlılığını artırır.

Rassel orman algoritmasında verileri torbalama (bagging) metodu ile eğitilir. Rassel orman, örnekler üzerinde torbalama, değişkenlerin rastgele alt

kümeleri ve çoğunluk oylama şeması kullanılarak daha iyi sonuçlar elde ederken karar ağaçlarının birçok faydasını korur. Her bir karar ağacı veri setinden rastgele örneklemeler seçer. Sonrasında her bir karar düğümünde tüm değişkenler için belirlenen sayıda rastgele değişkenler seçer ve sonuç olarak rassal ormanı oluşturur. Her bir düğüm rastgele oluşturulurken rastgele seçilen alt küme arasından en iyi özelliği arar ve bu arama özelliği iyi bir modelleme oranını yakalayana kadar devam eder. Bunun sonucunda model en çok oyu alan sınıfı belirlemiş olur. Eksik değerleri ve çeşitli değişkenleri (sürekli, ikili, kategorik) işleyebilir. Yüksek boyutlu veri modelleme için çok uygundur. Klasik karar ağaçlarından farklı olarak, topluluk ve önyükleme şemaları rassal orman yaklaşımında uyum sorunlarının yaşanmasına engel olduğu için, rassal orman'da ağaçları budamaya gerek yoktur. Makine öğrenimi modellerinin yorumlanabilirliği, çoğu yapay zekâ kullanıcıları için tahmin doğruluğu kadar önemlidir. Rassal orman, sınıflandırma kuralları oluşturulurken doğrudan özellik seçimini gerçekleştirir.

#### **b. eXtreme gradient boosting (XGBoost)**

XGBoost, Friedman tarafından "Gradient Boosting" teriminin Greedy Function Approximation: Gradient Boosting Machine günlüğünde önerilen "Extreme Gradient Boosting" in kısa adıdır. XGBoost, bu orijinal modeli temel alır (Gumus and Kiran 2017:1100).

eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), karar ağacı makine öğrenimi modellerinden biridir. Verilerini eğitmek için bir gradyan artırma çerçevesi kullanır. "Extreme" kısmı, diğer gradyan artırıcı makine öğrenimi (ML) yöntemlerinden farklı olarak uygulanan bazı algoritmik iyileştirmeler ve optimizasyonlardan gelir.

XGBoost'un eğitim algoritması, bir makine öğrenimi modeli olarak bir sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) oluşturur. CART'lar, yaprak düğümleri dışında karar ağaçlarına benzer. CART'ta her yaprak düğümü, uygulamaya dayalı olarak yorumlanabilen ve hiperparametrelere bağlı olan bir puanla ilişkilendirilir (Meng and Feigenbaum, 2020:2).

Yaprak olmayan düğümler, basitçe karşılaştırma işlemleri olan karar kurallarını içerir. Sorgunun bir özellik değerinin belirli bir değerden küçük olup

olmadığı kontrol edilir. Karar kurallarında karşılaştırma için kullanılan değerlere “ayırım noktaları” denir (Mağara, 2023:13-14).

### **i. XGBoost Parametreleri**

XGBoost algoritması, açık kaynaklı bir yazılımdır ve farklı programlama dilleri kullanımını sağlar. XGBoost algoritmasını kullanmak ve bir model oluşturmak için birçok parametre ayarlanmalıdır.

- Gamma = Veri kaybını sınırlandırır.
- Min Child Weight = Bir yaprağın minimum ağırlık toplamını tanımlar.
- Subsample = Her bir ağaçta değerlendirilecek özelliklerdir. Bu bölümde aşırı öğrenme engellenir ve modelin eğitim süresi kısalmır.
- Colsample Bytree = Ağacın her seviyesinde oluşturulacak bölme noktalarındaki değişkenlerin sayısını ayarlar.
- Max Depth = Maksimum dallanmayı ifade eder.
- Eta = Oluşturulan modelin öğrenme oranıdır (Demirtürk, 2023:43)

Bu parametreler ne kadar yüksek olursa, algoritma o kadar güçlü olur (Bardina et al., 2020:166). XGBoost algoritmasının başarılı olmasındaki 2 önemli faktör;

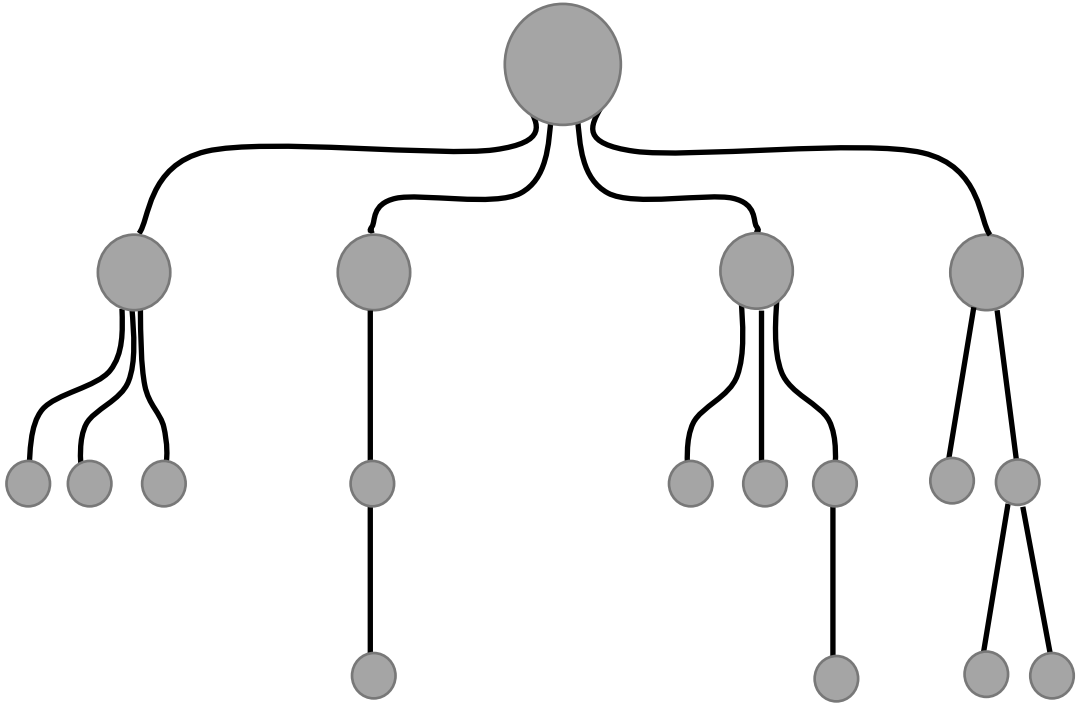
- Diğer algoritma çözümlerinden 10 kat daha hızlı olması ve
- Çok fazla veriyi belleğinde ölçeklendirebilmesidir (Chen and Guestrin, 2016:792).

### **c. Karar ağaçları**

Karar ağaçları, 20. yüzyılın sonlarında dijital devrelerin elektronik hesaplamalar yapabilmesiyle, elektronik olarak uygulanacak ilk istatistiksel algoritmalar arasında yer almaktadır. Genel amacı tahmin ve sınıflandırma olan mekanizmalardır (De Ville, 2013:448). Karar ağaçları, bir dizi basit testi mantıksal olarak birleştiren sıralı modellerdir (Kotsiantis, 2013:261) Karar Ağaçları, verileri sınıflandırmaya veya girdilerden beklenen çıktıları tahmin etmeye çalışan yapılardır. Karar ağacı induksiyonu, makine öğreniminin en basit ve en başarılı biçimlerinden biridir (Russell and Norvig, 2010). Karar ağaçları veri setindeki eğitim verilerini kullanarak bir özellik kapsamında verileri arka

arkaya sınıflara ayırmak için kullanan denetimli bir öğrenme yöntemidir. Karar ağaçları, sayısal veriler kadar sayısal olmayan verilerin kullanımına da uygundur (Nilsson, 2018: 507).

Karar ağaçları, bir veri setini dal benzeri sınıflara ayırmanın çeşitli yollarını belirleyen algoritmalar tarafından üretilir. Bu sınıflar, ağacın tepesinde bir kök düğümü ile başlayan ters bir karar ağacı oluşturur (De Ville, 2006:2). Şekil 17’de Karar ağaçlarının yapısı verilmiştir.



Şekil 17 Karar Ağacının Yapısı

Her karar ağacı kök düğüm ile başlar ve yapraklarla kadar uzanır. Sonrasında aile düğümleri, kardeş düğümleri ve çocuk düğümleri gelir.

Karar ağacı tekniğini kullanarak yapılan sınıflama işlemi iki adımda gerçekleşir; öğrenme ve sınıflama. Öğrenme adımında veri setinde olan ve bilinen eğitim verisi ile modelin kurulması gerçekleştirilir. Öğrenilen model karar ağacı olarak adlandırılır. Sınıflama adımında ise test verisi, sınıflamanın kurallarını veya karar ağacının doğruluğunu göstermek amacıyla kullanılır. Eğer doğruluk oranı kabul edilebilir oranda ise kurallar, yeni verilerin sınıflandırılması amacıyla kullanılır (Çalış vd., 2014:5-6). Karar ağacı, çok sayıda veri içeren veri setini,

karar kuralları uygulayarak küçük kümelere ayırmak için kullanılan bir algoritmadır.

Karar Ağaçlarının Avantajları;

- Anlaşılabilirliği ve yorumlanabilmesi kolaydır.
- Veri hazırlığı ihtiyacı düşük orandadır.
- Düşük maliyetlidir (Çalış vd., 2014:5).
- Hem sayısal hem de kategorik verileri işleyebilir.
- İstatistiksel testler ile oluşturulan modelin doğrulanmasını yapmak mümkündür.

Karar Ağaçlarının Dezavantajları:

- Veriyi yansıtmayan karmaşık ağaçlar üretilebilir.
- Ezbere öğrenme oluşabilir (over-fitting).

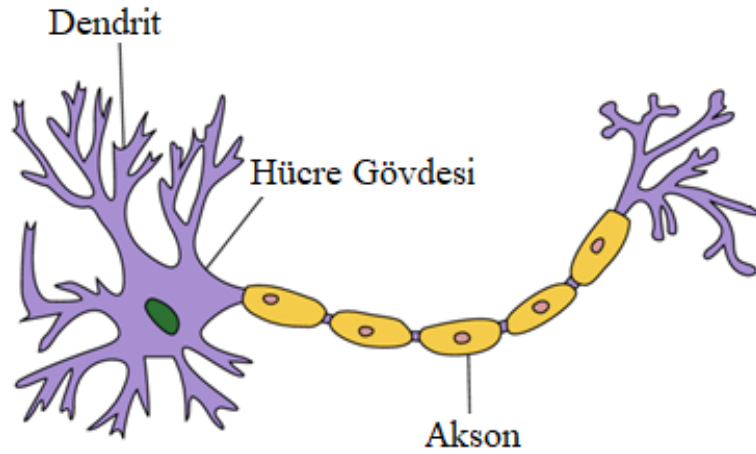
## 2. Derin Öğrenme

Derin Öğrenme bir makine öğrenimi tekniğidir. Derin öğrenme, temelde üç veya daha fazla katmana sahip bir sinir ağı olan makine öğreniminin bir alt kümesidir. İnsan Zekâsını taklit etmeyi temel alır. Verileri sürekli olarak öğrenmek için birbirini izleyen katmanlarda sinir ağlarını bir araya getirir. Derin öğrenme, otomasyonu iyileştiren, analitik ve fiziksel görevleri insan müdahalesi olmadan gerçekleştiren birçok yapay zekâ uygulamasını ve hizmetini yönlendirir (İBM).

## 3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı kavramı, biyolojik sinir sistemindeki nöronlardan esinlenmiştir. YSA modelleri, sinir sisteminin elektriksel aktivitesini simüle eder. Şekil 18, tipik bir nöron hücresinin bölümleri gösterilmiştir. Bir nöron üç ana bölüme ayrılır:

- hücre gövdesi,
- dendritler ve
- akson.

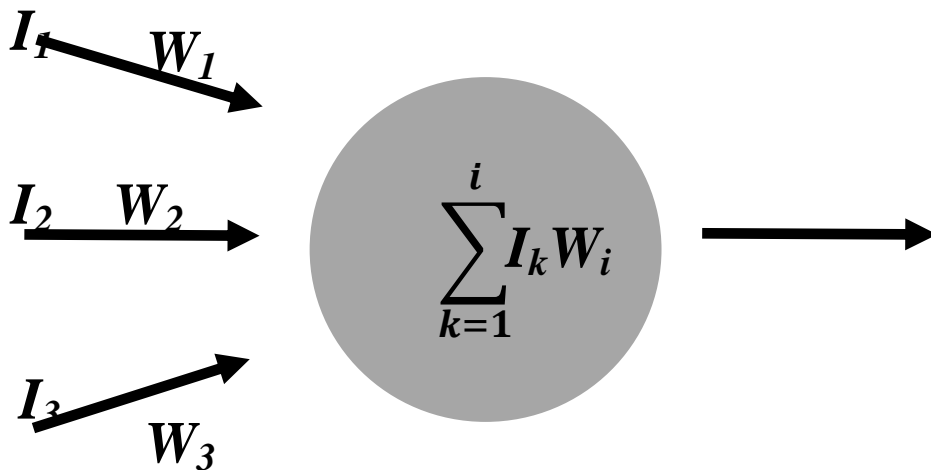


Şekil 18 Nöronun Ana Bölümleri

Kaynak: (Bekolay, 2011:4)

Elektrokimyasal sinyaller şeklindeki bilgi, dendritlerden hücre gövdesine iletilir. Giriş tipine bağlı olarak, nöron uyarıcı veya inhibe edici bir şekilde aktive olur. Aksondan geçerek diğer nöronlara bağlanır. Bir nöron aksonunun diğer nöronun hücre gövdesi veya dendritleri ile yaklaştığı noktaya sinaps denir (Mohaghegh, 2000:66).

Sinir ağları, bu biyolojik sürecin basitleştirilmiş bir simülasyonu olarak düşünülebilir. Yapay sinir ağının işlem elemanı olan yapay bir nöronun diyagramı Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19 Yapay Nöron

Kaynak: (Mohaghegh, 2000:64)

Bir nöronun davranışını yapay bir nöron tarafından taklit etmek için, giriş verileri  $x$ , ilişkili ağırlıklar  $w$  ile çarpılır ve toplanır. Toplama işleminden sonra,  $y$  çıktısı hesaplanabilir. Her nöron, çıkış sinyalini belirlemek için bir aktivasyon fonksiyonu uygular. Bir nörondan çıkan çıktı, bağlantının ağırlığı ile çarpılır ve başka bir nörona girdi olarak girer. YSA modelleri, giriş ve çıkış parametreleri arasındaki herhangi bir doğrusal olmayan karmaşık fonksiyon olarak düşünülebilir (Bilim, 2023:15).

Yapay sinir ağı (YSA) modelleri, büyük bir veri setinden doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yetenekleri nedeniyle tahmine dayalı modelleme alanında önem kazanmaktadır. Yapay sinir ağı modelleri, lojistik regresyon modelleri gibi diğer modellerde mümkün olmayan, değişkenler arasındaki karmaşık bir ilişkiyi tahmin edebilme yeteneğine sahiptir. Amaç, girdi ve sonuç verileri aracılığıyla ağırlıkları tahmin etmektir, böylece sonuç ile bunların tahminleri arasındaki ortalama hata en aza indirilir (Jiang et al., 2017:236).

Yapay Sinir Ağı, bir girdi verisini anlayan ve istenen çıktıya dönüştüren güçlü bir hesaplamalı algoritma sistemidir. Regresyon, sınıflandırma ve kümeleme problemlerinde sıklıkla kullanılır. Yapay sinir ağı modelleri, görüntü işleme, klinik teşhis, finans sektöründe dolandırıcılık tespiti ve hava durumu tahmini gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Renganathan, 2019:536). YSA'lar, karmaşık sorunları çözme konusundaki performansından dolayı havacılık, otomotiv, bankacılık, savunma sanayisi, elektronik, finans, sigorta, tıp, telekomünikasyon ve ulaşım gibi çok çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır (Lek and Park, 2008:237).

#### **a. Etkinleştirme İşlevleri**

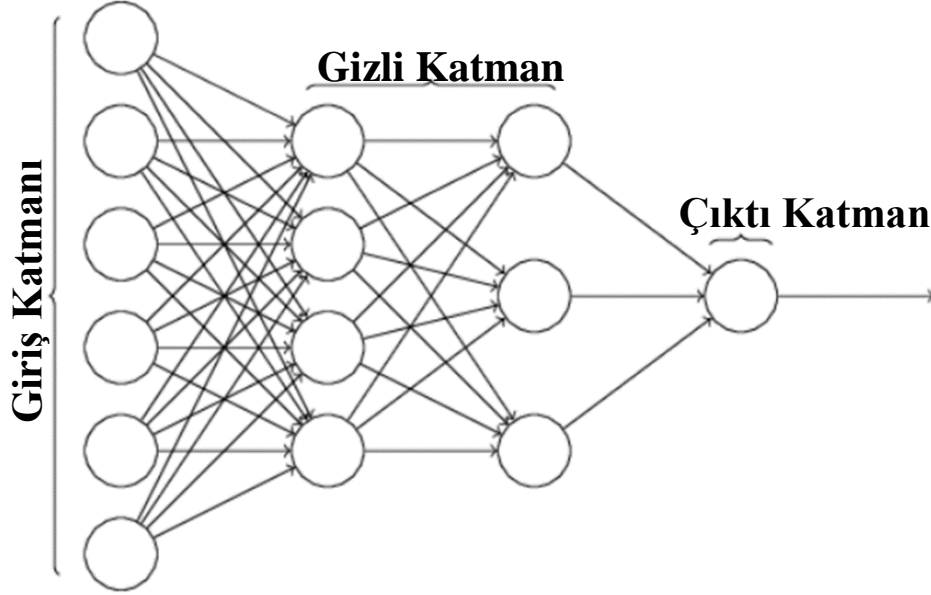
Transfer fonksiyonları veya eşik fonksiyonları olarak da bilinen aktivasyon fonksiyonları, bir nöronun aktivasyon seviyesini girdiler kullanarak bir çıktıya dönüştürmek ve işlemek için kullanılır. Çeşitli aktivasyon fonksiyonları mevcuttur.

#### **b. Yapay Sinir Ağı Mimarisi**

Yapay Sinir Ağı mimarisi tasarımı, giriş, çıkış ve gizli katmanlardan oluşmaktadır. Gizli katman sayısı, problemin karmaşıklığına ve seçilen öğrenme



algoritmasına bağlıdır. Şekil 20, iki gizli katmanlı bir yapay sinir ağının mimari yapısını göstermektedir.



Şekil 20 Yapay Sinir Ağı Mimarisi

Bir YSA mimarisi aşağıdaki katmanlardan oluşur (Karsoliya, 2012:714)

**i. Giriş Katmanı:**

Dış ortamla iletişim kuran katman, sinir ağına giriş katmanı adı verilen bir model sunar. Her girdi nöronu, sinir ağının çıktısını etkileyen bazı bağımsız değişkenleri temsil etmelidir. Girdi katmanına bir desen gönderildiğinde, çıktı katmanı başka bir desen üretecektir.

**ii. Çıktı Katmanı:**

Sinir ağının çıktı katmanı, aslında dış ortama bir model sunan adımdır. Çıkış nöronlarının sayısı, sinir ağının gerçekleştirdiği işin türü ile doğrudan ilişkilidir.

**iii. Gizli Katman:**

Gizli katman, üzerine aktivasyon fonksiyonu uygulanan ve giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında bir ara katman sağlayan nöron grubudur.

### **c. Eğitim Algoritmaları**

Öğrenme kuralı veya optimizasyon algoritması olarak da adlandırılan eğitim algoritması, bir ağın ağırlıklarını ve önyargılarını ayarlama işlemidir.

İki ana kategoriye ayrılan birçok farklı türde sinir ağı öğrenme kuralı vardır: denetimli öğrenme ve denetimsiz öğrenme (Walczak and Cerpa, 2003:636).

#### **i. Denetimli Öğrenme**

Denetimli öğrenmede, öğrenme kuralı, uygun ağ davranışının bir girdisi ve karşılık gelen doğru çıktısından (hedef veya etiket) oluşan bir dizi örnekle sağlanır. Verileri sınıflandırmak veya sonuçları doğru bir şekilde tahmin etmek için algoritma eğitilirken etiketli veri setlerinin kullanılması olarak tanımlanır. Bu eğitim veri seti, modelin zaman içinde öğrenmesini sağlayan girdileri ve doğru çıktıları içerir.

#### **ii. Denetimsiz Öğrenme**

Denetimsiz öğrenmede, ağırlıklar ve sapmalar yalnızca ağ girdilerine yanıt olarak değiştirilir. Hedef çıktılar mevcut değil. Etiketlenmemiş veri setlerini analiz etmek ve kümelemek için denetimsiz makine öğrenimi algoritmaları kullanır. Bu algoritmalar, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan gizli kalıpları veya veri gruplarını keşfeder. Denetimsiz öğrenme modelleri, kümeleme, ilişkilendirme ve boyutluluk azaltma olmak üzere üç ana görev için kullanılır.

### **4. Yapay Zekâ Algoritmalarında Hiper Parametre Ayarlama**

Hiper Parametre Ayarlama süreci oluşturulan modelin aşırı eğitimden veya yüksek bir varyansa neden olmadan performansını yükseltme işlemidir. Modele uygun hiper parametreler seçilerek gerçekleştirilir. Model doğruluk değeri için uygun hiper parametreler seçmek çok önemlidir (Bardinet et al., 2013:199). Hiper parametre ayarlama, oluşturulan modellerin en doğru sonuçları üretebilmesi için özelleştirmeye ve verilere ilişkin son derece önemli detaylar sunmaya yardımcı olur. Bu parametreler modelin dışındadır ve kullanıcılar tarafından kontrol edilir. Farklı algoritmalar farklı hiper parametrelerden oluşur (DeCastro-García et al., 2019:2). Her algoritma için başlangıçta varsayılan hiper parametre seti mevcuttur. Ancak bu varsayılan parametreler her veri seti için uygun olmayabilir. Her makine öğrenimi algoritması için farklı hiper parametreler

olduğu ve hiper parametre ayarları her problem ve her veri seti için farklı olduğundan dolayı genelleştirilemez. Bu nedenle, hiper parametrelerin optimal kombinasyonunu bulmak için manuel olarak denenmesi gerekir. En uygun hiper parametre kombinasyonlarını seçerken hangi özelliklerin aranacağı tamamen probleme ve araştırmacıya bağlıdır. En uygun hiper parametreyi seçmek için çeşitli yöntemler bulunur. GridSearchCV, Rastgele Arama Yöntemi (Random Search CV) ve Bayes optimizasyonu (Bayesian Optimization) sıklıkla kullanılan yöntemlerden bazılarıdır (Yang and Shami, 2020:296).

## **5. Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı**

Yapay zekâ sağlık alanında ilk olarak 1976'da akut karın ağrısının nedenlerini belirlemek için kullanıldı (Fogel and Kvedar, 2018:1). Bu tarihten itibaren yapay zekâ sağlık hizmetlerinde birçok alanda kendine yer bulmuştur. Sağlık alanında yapay zekâ; doğru görüntü yorumlama, hızlı veri işleme, iş akışını iyileştirme ve sağlık sistemindeki tıbbi hataları azaltma dahil olmak üzere birçok sağlık alanında kullanılmaktadır (Ramesh et al., 2004:335). Yapay zekâ, doktorların daha iyi klinik kararlar almasına ve sağlık hizmetlerinin belirli alanlarında (örneğin radyoloji) insan yargısının yerini almasına yardımcı olabilir (Jiang et al., 2017:230). Yapay zekâ sistemleri, insan uygulamasında kaçınılmaz olan teşhis ve tedavi hatalarını azaltmaya yardımcı olmaktadır (Dilsizian and Siegel, 2013:2; Patel et al., 2009:9; Lee et al., 2013:615).

## **6. Yapay Zekânın Odyoloji Alanında Kullanımı**

Birçok alanda olduğu gibi işitme cihazı alanında da yapay zeka uygulamaları popülerlik kazanmıştır.

İşitme cihazı kullanan hastaları memnun etmek için doğru işitme cihazını uygulama amacıyla Odyoloji'de bir Karar Destek Sistemine ihtiyaç olduğu düşünölmüş ve heterojen odyoloji verileri ile istatistiksel modeller oluşturularak iki işitme cihazı tipi (ITE ve BTE cihazı) arasında seçim yapmak üzere bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada üç farklı veri türü kullanılmıştır: Odyogram sonuçları, yapılandırılmış tablo verileri (cinsiyet, tanı, işitme cihazı türü gibi) ve yapılandırılmamış metin (serbest metin olarak adlandırılan her hasta hakkında yapılan özel gözlemler) (Anwar and Oakes, 2013:38). Çalışmada bir klinikten 180.000 kayıt (23.000'den fazla farklı hasta) kullanılmıştır. Naive

Bayesian analizi tekniği kullanılmıştır (Anwar and Oakes, 2013:37). Kullanılan odyoloji veri setindeki her kayıta, örneğin işitme cihazı tipi (ITE veya BTE) seçiminde odyologların bireysel kararları doğru olarak kabul edilmiştir. Veri setinin %80'i modeli oluşturmak için kullanılmış ve %20'sini bu modeli test etmek için kullanılmıştır (Anwar and Oakes, 2013:38). Modelin başarı oranı %63 ile %66 arasında elde edilmiştir (Anwar and Oakes, 2013:37). Araştırmacılar bulguları doğrultusunda, işitme cihazı tipinin belirlenmesinde iki ana belirleyici parametrenin hava yolu işitme eşikleri ve hava-kemik aralığı olduğunu belirtmiştir (Anwar and Oakes, 2013:40). Geliştirilen sistemin, karmaşık vakalar için odyologlar tarafından ikinci bir görüş olarak kullanılabileceği düşünölmüştür (Anwar and Oakes, 2013:41). 2018 yılında yapılan başka bir çalışmada hastaların çeşitli odyolojik verilerini veri madenciliği yöntemlerini kullanarak yaygın olan işitme cihazı türleri (Kulak arkası ve kulak içi) arasındaki seçimi etkileyen faktörleri araştırmıştır. İşitme cihazı tür seçimi odyogram sonuçları, hasta bilgileri ve tercihlerine göre yapılmaktadır. İşitme cihazı türü seçimi çoğu zaman hastanın işitme kaybına bağlı olarak yapılmaktadır. Fakat bazı durumlarda klinisyenler otomatik bir sistem aracılığıyla ikinci bir görüşe ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada Middlesbrough'daki James Cook Üniversitesi Hastanesi'ndeki işitme cihazı kliniğine ait 23.000 hastanın 180.000 verisi analiz edilmiştir. Veri setlerinin seçimi araştırma için son derece önemlidir. Çünkü seçilen verilerin güvenilir ve uygulanabilir olması gerekir. Çalışmada CN2, AdaBoost, Rassal orman ve Lojistik regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma ile elde edilen bulgulara göre hastaların hangi tür işitme cihazı kullanmaları gerektiği konusunda doğru tahminler elde edildiği belirtilmiştir (Kurnaz and Aljabery, 2018:1).

Lansbergen ve Dreshler, işitme cihazlarını marka, tip veya ürün ailesinden bağımsız olarak objektif olarak karşılaştırmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İşitme cihazı sektöründe bulunan işitme cihazlarından oluşan geniş bir veri seti kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak işitme cihazlarını objektif bir şekilde karşılaştırabilmek için, bir dizi temel işitme cihazı özelliğine göre işitme cihazları ayırt edilmiştir. Çalışmada 3083 işitme cihazının (Mart 2018'de Hollanda pazarında mevcut) teknik verileri kullanılmıştır. Veri seti, bir işitme cihazının en önemli özelliklerinden yaklaşık 50 tanesini içermektedir. Analiz için girdi olarak bir dizi iyi tanımlanmış temel işitme cihazı özelliği

kullanılmıştır. Veriler, daha iyi bir analiz için BTE ve ITE olarak ayrılmıştır. Veritabanlarında bilgi keşfi prosedürü ve Gizli Sınıf Ağacı Analizi kullanılarak sınıflama işlemi yapılmıştır. Odyolojik rehabilitasyonla ilgili olarak toplam 10 işitme cihazı özelliği tanımlanmıştır: sıkıştırma, ses işleme, gürültü azaltma (NR), genişletme, rüzgar NR, impuls (gürültü) azaltma, aktif geri bildirim yönetimi, yönlülük, NR ortamları ve kulaktan kulağa -kulak iletişim. Bu özellikler, Gizli Sınıf Ağacı küme analizi tarafından elde edilen sonuçlar üzerinde en büyük etkiye sahipti. Hiyerarşik küme modelindeki ilk seviyede, işitme cihazlarının iki alt popülasyonu, temel olarak işitme cihazı özelliklerinin genel mevcudiyeti veya teknoloji seviyesi ile ayırt edilebilen 3 ana kola ayrılmıştır. Kümeleme analizinin daha üst düzey sonuçları, modaliteler olarak adlandırılan, birbirini dışlayan bir dizi işitme cihazı popülasyonu ortaya çıkartmıştır. Toplamda dokuz kulak arkası ve yedi kulak içi modalite bulunmuştur. Büyük bir işitme cihazı veri setini olasılıksal hiyerarşik bir kümeleme yöntemiyle birleştirmek, işitme cihazı özelliklerinin ürün ailelerinden ve üreticilerinden bağımsız olarak analizini mümkün kılar. Araştırmacılar elde edilen işitme cihazı modalitelerinin, üreticiye bağlı tescilli "kavramlara" genel bir alternatif olarak düşünülebileceğini ve potansiyel olarak rehabilitasyon için uygun bir işitme cihazının seçimine yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir (Lansbergen and Dreschler, 2020:1619)

İşitsel Uyarılmış Beyinsapı Yanıtları (ABR) testinin yorumlanması büyük ölçüde deneyim ve eğitim gerektirir. Sonuçları yanlış yorumlama, sistemin bütünlüğü hakkında yanlış yargılara yol açabilir. Makine öğrenimi yöntemleri, ABR yorumlamasını otomatikleştirmek ve insan hatasını azaltmak için uygun bir yaklaşım olabilir. Bu doğrultuda Wimalarathna ve arkadaşları, ABR testinin analizini otomatikleştirmek için uygun bir makine öğrenimi tekniğini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. İşitsel işleme zorlukları açısından değerlendirilen 136 çocuktan alınan rutin klinik değerlendirme sırasında kaydedilen ABR yanıtları, birkaç yaygın makine öğrenimi algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. ABR sonuçlarındaki nörolojik anormallikleri doğru bir şekilde tanımlayabilen en iyi modeli belirlemek için Destek Vektör Makineleri, Rassal Ormanlar, XGBoost ve Yapay Sinir Ağları algoritmalarını kullanarak modeller oluşturuldu (Wimalarathna et al., 2021:1). Sağ kulakta Destek Vektör Makineleri 0,910, Rastgele Ormanlar 0,897, Gradient Boosting 0,858 ve Xgboost algoritması

ile oluşturulan model ile 0,923 doğruluk oranı elde edilmiştir (Wimalarathna et al., 2021:7). Xgboost algoritması kullanılarak eğitilen model, diğer modellere göre 0,923 doğrulukla en yüksek doğruluk oranı veren model olarak elde edilmiştir. Çalışmanın bulguları, ABR dalgalarının analiz etme sürecini otomatikleştirmek için doğru makine öğrenmesi modelleri geliştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

Tinnitus deneyimlerinde ve tedavideki başarılarında önemli farklılıklar olması nedeniyle tinnitus tedavi yönetimleri zordur. Tinnitus tedavi başarısının öngörücü modelleri eksiktir. Rodrigo ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptıkları çalışma ile kulak çınlaması için internet tabanlı bilişsel davranışçı terapinin tedavi başarısıyla ilişkili değişkenleri belirlemek için karar ağacı yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmaya internet tabanlı bilişsel davranışçı terapi uygulanan 228 birey dahil edilmiştir. En çok etkileyen değişkenleri belirlemek için çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak analizler yapılmıştır. CART, C5.0, Gradient Boosting, XGBoost, AdaBoost ve Rassal Orman algoritmaları olmak üzere toplam 6 algoritma ile modeller kurulmuştur. Altı algoritma arasında, CART (doğruluk: %70,7, duyarlılık: %74, özgüllük: %64) ve Gradient Boosting (doğruluk: %71,8, duyarlılık: %78,3, özgüllük: %58,7) modelleri en iyi tahmin modelleri olarak bulunmuştur. Araştırmacılar tarafından yapay zeka algoritmaları, özellikle CART ve Gradient Boosting modelleri, internet tabanlı bilişsel davranışçı terapinin sonuçlarını tahmin etmede umut verici görülmüştür (Rodrigo et al., 2021:1).

Exarchos ve arkadaşları vestibüler bozukluklar için karar ağacı algoritması kullanılarak bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Vestibüler bozukluğu olan hastalardan alınan tıbbi veriler, tanısal karar destek sisteminin geliştirilmesi için veri madenciliği teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Önerilen metodoloji, doğru bir teşhis sağlamak için demografik özelliklerden klinik muayeneye, işitsel ve vestibüler testlere kadar çeşitli verileri kullanmaktadır. 12 vestibüler sistem hastalığının teşhisi için ayrıntılı sonuçlar verilmektedir. Elde edilen en yüksek doğruluk oranları %92,1 Meniere hastalığı için, en düşük doğruluk oranı ise %59,3 tek taraflı periferik fonksiyon bozukluğu/yetmezliği için bildirilmiştir (Exarchos et al., 2016:240).

Juhola, otoneurolojik verilerin sınıflandırılması için farklı makine öğrenimi yöntemlerinin karşılaştırılması amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada kullandıkları makine öğrenimi algoritmaları; k-NN, Diskriminant analizi, Naif Bayes, k-ortalama kümeleme, Karar ağaçları, Multilayer perceptron ve Kohonen ağları'dır. Doğrusal diskriminant analizi %95,5 doğrulukla en sonuç veren model olmuştur. MLP %95,0, k-NN %93,5, k-means kümeleme %92,9, Kohonen ağları %92,7 ve karar ağaçları %89,4 doğruluk oranları elde edilmiştir (Juhola, 2008:211).

Zhao ve arkadaşları, endüstriyel gürültüye maruz kalan insanlarda işitme kaybının tahmini için makine öğrenimi modelleri geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın örneklemini, Çin'in Zhejiang eyaletinde bulunan 17 fabrikadan çalışan 1.113 işçi oluşturmuştur. Katılımcıların odyometrik ve gürültüye maruz kalma verileri toplanmıştır. Çalışma kapsamında Destek Vektör Makinesi, Sinir Ağı, Rassal Orman ve Adaptive Boosting algoritmaları kullanılmıştır. 4 farklı algoritma için %78,6 ile %80,1 arasında bir tahmin doğruluğu elde edilmiştir. En iyi sonuçların elde edildiği model destek vektör makine algoritması ile kurulan model olarak görülmüştür. Bu çalışma, makine öğrenimi algoritmalarının, çeşitli karmaşık endüstriyel gürültülere maruz kalan işçilerde gürültü kaynaklı işitme bozukluğunun değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi için potansiyel araçlar olduğunu göstermiştir (Zhao et al., 2018:1).

Orta kulak iltihabı dünya çapında en yaygın çocukluk hastalıklarından biridir, ancak gelişmekte olan ülkelerde doktor ve sağlık personeli eksikliği nedeniyle sıklıkla yanlış teşhis konur veya hiç teşhis edilmemektedir. Bu nedenle Myburgh ve arkadaşları herhangi bir yerde doğru orta kulak iltihabı teşhisi koymaya yardımcı olabilecek karar ağacı algoritması ile çalışan görüntü analiz sistemi geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Sistem, dijital video-otoskoplar ile çekilen, kulak zarının önceden değerlendirilmiş yüksek kaliteli görüntüleri kullanılarak eğitilmiş ve teşhis edilmemiş görüntüleri, önceden tanımlanmış belirtilere dayalı olarak beş orta kulak iltihabı kategorisine ayırmaktadır. Ticari video-otoskoplarla çekilen görüntülerde %80,6 doğruluk oranı elde edilirken, düşük maliyetli özel yapım video-otoskop ile yerinde çekilen görüntülerde %78,7 doğruluk elde edilmiştir. Geliştirilen orta kulak iltihabı

sınıflandırma sisteminin yüksek doğruluğu, geleneksel otoskopları kullanan pratisyen hekimlerin ve çocuk doktorlarının sınıflandırma doğruluğuyla (~%64 ila %80) iyi bir şekilde karşılaştırılır olduğu düşünülmektedir (Myburgh et al., 2016:1).

Crowson ve arkadaşları, geriye dönük verilere dayalı olarak postoperatif 1 yıllık koklear implant performansını tahmin etmek amacıyla sinir ağları ve karar ağacı tabanlı topluluk algoritmalarından oluşan denetimli bir makine öğrenimi yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın örneklemini; 1989'dan 2019'a kadar koklear implant olan 1604 yetişkin oluşturmaktadır. Metin, demografik, odyometrik ve hastalara uygulanan anketin sonuçları değişken olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Postoperatif koklear implant performansının sonuçları, discrete Gürültüde İşitme Testi (%) performansı ve binned Gürültüde İşitme Testi performans sınıflandırması ("Yüksek", "Orta" ve "Düşük" performans gösterenler) oluşturmuştur. Algoritma performansı, uzatma doğrulama veri setleri kullanılarak değerlendirilmiş ve hedef değişken ve sınıflandırma doğruluğu ortalama karekök hatası (RMSE) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yapay Sinir Ağı algoritması ile kurulan modelin; 1 yıllık Gürültüde İşitme Testi tahmini RMSE ve sınıflandırma doğruluğu %0,57 ve %95,4 olarak elde edilmiştir. Hem metin hem de sayısal değişkenleri kullanan sinir ağları, ameliyat sonrası HINT'i %25,0'lik bir RMSE ve %73,3'lük sınıflandırma doğruluğu ile tahmin etmiştir. Algoritmalar sadece sayısal değişkenlere uygulandığında, XGBoost algoritması ile 1 yıllık HINT puanı için %25,3'lük tahmin performansı (RMSE) elde edilmiştir. Ameliyat öncesi cümle testi performansı, ameliyat yaşı, spesifik kulak çınlaması handikap envanteri, Kısa Form 36 ve sağlık hizmetleri endeksi yanıtları dahil olmak üzere 20'den fazla etkili değişkeni en yüksek etkileyiciler olarak belirtilmiştir. Araştırmacılar çalışma bulguları doğrultusunda denetimli makine öğreniminin ameliyat sonrası koklear implant performansını tahmin edebileceğini ve bu performansı önemli ölçüde etkileyen ameliyat öncesi faktörleri tanımlayabildiğini göstermişlerdir (Crowson et al., 2020:1013).



### **III. GEREÇ VE YÖNTEM**

#### **A. Çalışmanın Yürütüldüğü Birim**

Bu çalışma İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Odyoloji Anabilim Dalı, Odyoloji Programı Doktora tezi olarak yapılmış olup, İstanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 30/06/2023 tarihinde B.30.2.AYD.0.00.00-50.06.04/101 sayı numarası ile onay verilmiştir (Ek- 1).

#### **B. Çalışmanın Örneklemi**

İşitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zekâ tabanlı algoritmalar ile işitme cihazı seçimi yapmak amacıyla yaşları 18 ile 60 arasında değişen S/N tipte işitme kaybı olan 3196 hastanın odyolojik verileri ve işitme cihazı tercihleri simüle edilerek veri seti araştırmacı tarafından oluşturulmuştur. Çalışmanın veri setinde Goodman'ın (1965) işitme kaybı derecelendirmesi kapsamında;

- 300 tane ileri derecede,
- 639 tane hafif derecede
- 2200 tane orta-orta ileri derecede işitme kaybı olan

bireye ait bilgiler yer almıştır.

Çizelge 2'de çalışma kapsamında simüle olarak oluşturulan hasta verilerinin demografik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 2 Çalışma Kapsamında Simüle Edilen Bireylerin Demografik Özellikleri

| Gruplar         | Yaş<br>(Ort±ss) | Kadın |       | Erkek |       | Toplam<br>N |
|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                 |                 | n     | %     | n     | %     |             |
| Hafif Derecede  | 43,63±11,73     | 334   | 52,27 | 305   | 47,73 | 639         |
| Orta-Orta İleri | 48,94±12,84     | 1110  | 50,46 | 1090  | 49,54 | 2200        |
| İleri Derecede  | 49,05±11,06     | 140   | 46,67 | 160   | 53,33 | 300         |
| Toplam          | 47,87±12,64     | 1584  | 50,62 | 1555  | 49,38 | 3149        |

(Ort: Ortalama, ss: standart sapma, n: örneklem büyüklüğü)

### C. Veri Toplama Araçları ve Çalışma Planı

Çalışma dört adımda tamamlanmıştır.

- Odyolojik Veri Setinin Tasarlanması ve Oluşturulması
- Odyolojik Veri Setinin Etiketlenmesi
- Yapay Zekâ Algoritması Oluşturulması ve Eğitilmesi
- Performans Ölçüm Metriklerinin Uygulanması

#### 1. Odyolojik Veri Setinin Tasarlanması ve Oluşturulması

Bir veri setinin taşınması gereken dört temel özelliği; gerçek dünyaya uygun, nispeten büyük, elektronik yollarla elde edilmiş ve alana özgü parametreleri içeriyor olmasıdır (Bowker and Pearson, 2002:15-29). İlk olarak işitme cihazı seçimini yapacak yapay zekâ algoritmalarında kullanılacak olan simüle hasta verilerini içeren Odyoloji Veri Seti oluşturulmuştur. Odyolojik Veri Seti oluşturulma aşamasında araştırmacı ve işitme cihazı alanında yetkin beş odyolog ile veri setini oluşturmak için gerekli konu başlıkları ve parametreler belirlenmiştir.

Çizelge 3 Belirlenen Konu Başlıkları

| Soru Sayısı |   | Konu Başlıkları       |
|-------------|---|-----------------------|
| 1           | 1 | İşitme Durumu         |
| 2           | 2 | Genel İşitme          |
| 3           | 4 | Müzik ve Ses Aktarımı |
| 4           | 2 | Telefon Çağrıları     |
| 5           | 3 | Cihaz Tercihleri      |
| 6           | 1 | Dayanıklılık          |
| 7           | 1 | Uzaktan Erişim        |
| 8           | 1 | Aksesuar              |

İşitme cihazı seçimlerinde önemli rol oynayan toplam sekiz konu başlığı belirlenmiştir. Konu başlıkları ve her konuya ait soru sayısı Çizelge 3’te verilmiştir. Belirlenen konu başlıkları doğrultusunda bireylere uygun işitme cihazı belirlenebilmesi için sekiz konu başlığından toplam on beş soru oluşturulmuştur. Sorular, soru açıklamaları ve cevap tipleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4 Sorular, Açıklamaları ve Cevap Tipleri

| SORU BAŞLIĞI          | SORU NO | SORU  | SORUNUN AÇIKLAMASI   | CEVAP TİPİ  |
|-----------------------|---------|---|--|-------------|
| İşitme Durumu         |         | İşitme Kaybı derecenizi seçiniz.  | -  | Kategorik   |
| Genel İşitme          | S1      | Sessiz bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?                    | Sessiz ortamlarda arkadaşlarınızı ve ailenizi duymakta zorlanıyorsanız ve onları daha iyi duymak istiyorsanız bu soru sizin önemlidir.   | 5’li Likert |
|                       | S2      | Gürültülü bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?                 | Gürültülü ortamlarda arkadaşlarınızı ve ailenizi duymakta zorlanıyorsanız ve onları daha iyi duymak istiyorsanız bu soru sizin önemlidir.  | 5’li Likert |
| Müzik ve Ses Aktarımı | S3      | İşitme loop sisteminden işitme cihazınıza ses akışı olmasını ister misiniz?                                     | İşitme loop sistemlerinden sese erişmek için telecoil özelliğinin bulunması gerekir. Günümüzde sinemalar, tiyatrolar ve müzeler gibi pek çok alanda işitme loop sistemi bulunur. | Kategorik   |
|                       | S4      | Televizyonunuzdan işitme cihazınıza ses aktarımı olmasını ister misiniz?  | TV'deki sesleri duymakta zorlanıyorsanız ve daha kaliteli bir TV izleme deneyimi istiyorsanız bu özellik sizin için önemlidir.   | Kategorik   |
|                       | S5      | Bilgisayar, telefon, tablet gibi elektronik cihazınızdan işitme cihazınıza ses aktarımı olmasını ister misiniz? | -  | Kategorik   |
|                       | S6      | Müziği daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?  | Müzik dinlemeyi seviyor ve müziği duymakta zorlanıyorsanız bu sizin önemlidir.   | 5’li Likert |

Çizelge 4. (devamı) Sorular, Açıklamaları ve Cevap Tipleri

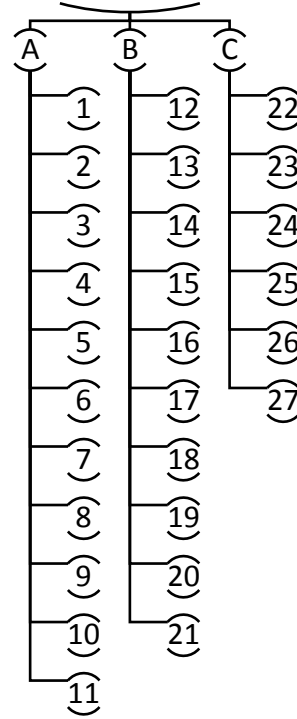
| SORU BAŞLIĞI      | SORU NO | SORU  | SORUNUN AÇIKLAMASI   | CEVAP TİPİ  |
|-------------------|---------|---|--|-------------|
| Telefon Çağrıları | S7      | Cep telefonu görüşmelerinizde işitme cihazınıza ses aktarımı olmasını ister misiniz?  | Görüşme sırasında sesini doğrudan işitme cihazlarınıza aktarabilen akıllı telefon uygulamaları vardır.   | Kategorik   |
|                   | S8      | İşitme cihazınızla tamamen eller serbest cep telefonu görüşmeleri yapabilmeyi ister misiniz?  | İşitme cihazlarıyla eller serbest görüşme yapılabilir. Bazı işitme cihazları için ek bir aksesuar gerekebilir.   | Kategorik   |
| Cihaz Tercihleri  | S9      | İşitme cihazının kulağınızda görünürlüğü ve çevrenizdeki insanların görmesi sizin önemli mi?  | -  | Kategorik   |
|                   | S10     | İşitme cihazınızın şarj edilebilir pille çalışmasını ister misiniz?   | El beceriniz veya görüşünüz zayıfsa, pilleri değiştirmeniz gerekmediğinden şarj edilebilir işitme cihazlarını kullanmak daha kolay olabilir.   | Kategorik   |
|                   | S11     | İstedığınız işitme cihazının teknolojik seviyesinin nasıl olmasını istersiniz?  | -  | 5'li Likert |
| Dayanıklılık      | S12     | İşitme cihazınızın toz geçirmemesi ve suya dirençli olmasını ister misiniz?   | Islak veya nemli ortamlarda çok fazla bulunuyorsanız veya çok terliyorsanız suya dayanıklılık sizin için önemlidir.<br>Tozlu ortamlarda çok fazla bulunuyorsanız toza dayanıklılık sizin için önemlidir. | Kategorik   |
| Uzaktan Erişim    | S13     | İşitme cihazınızın uzaktan bağlantı yapılarak ayarlanabilmesini ister misiniz?  | İşitme cihazı sağlayıcınızın siz evdeyken işitme cihazınızı uzaktan ayarlayabilir.   | Kategorik   |
| Aksesuar          | S14     | Uzaktaki sesleri duymak için bir mikrofon kullanarak sesleri doğrudan işitme cihazınıza aktarma özelliğinin olmasını ister misiniz? | Mikrofonu rahat duymak istediğiniz kişilerin yanına yerleştirebilirsiniz. Bu sayede gürültülü ortamlarda konuşmacının sesini daha rahat işitebilirsiniz.   | Kategorik   |

Belirlenen sorulara ait 3149 bireyin verisi simüle edilerek veri seti oluşturulmuştur.

## 2. Odyolojik Veri Setinin Etiketlenmesi

Etiketleme işlemi için 3149 bireyin verisi simüle edilerek oluşturulan veri seti araştırmacı dahil işitme cihazı konusunda yetkin üç odyolog tarafından veriler detaylıca incelenerek simüle bireylere en uygun işitme cihazı etiketlenmiştir. İşitme cihazı etiketleme işlemi için işitme cihazı sektöründe bilinen ve tercih edilen üç işitme cihazı markasının toplam yirmi yedi modeli çalışmaya dahil edilmiştir (Şekil 21). İşitme cihazı markaları A, B ve C harfleri ile işitme cihazı modeller ise 1'den 27'ye kadar sayılar verilerek kodlanmıştır.

### Çalışmaya Dahil Edilen İşitme Cihazları



Şekil 21 Çalışmaya Dahil Edilen İşitme Cihazlarının Markalarına göre Dağılımları

## 3. Yapay Zekâ Algoritması Oluşturulması ve Eğitilmesi

İşitme cihazı seçimi yapay zekâ algoritması, araştırmacı ve yapay zeka alanında deneyimli bir yazılımcı ile birlikte oluşturulmuştur. Yapay Zekâ mimarisi, Anaconda Navigator'da bulunan Jupyter Notebook bütünleşik geliştirme ortamında Python programlama dili kullanılarak kodlanmıştır.

4 farklı yapay zeka algoritması ile 4 ayrı model oluşturulmuştur.

- Karar Ağaçları

- Rassal Orman
- XGBoost
- Yapay Sinir Ağları

Algoritmalar iki aşamalı olarak çalışmaktadır. Birinci aşama “eğitim verisi” (training data) olarak ayrılması ve veri setinin analiz edilmesi ile sınıflandırma modeli oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise elde edilen modeli, daha önce işlemediği bir veri setine uygulanarak belirlenen sınıfların veri içerisindeki varlığı araştırılmaktadır. Etiketlerinin tahmin edilmeye çalışıldığı ve modelin tahmin sonuçlarının performansının değerlendirildiği yeni veri seti “test verisi” (test data) olarak adlandırılmaktadır. Yapay zeka çalışmaları incelendiğinde veri seti eğitim ve test verisi olarak farklı oranlarda ayrıştırılabildiği görülmektedir. Örneğin veri setinin %60’lık kısmının eğitim, %40’lık kısmının test verisi olarak ayrıldığı, eğitim ve test kümelerinin rastgele atandığı ya da katlanarak değiştirildiği yöntemler mevcuttur. Çalışmamız kapsamın 4 farklı algortmada da veri setinin %80’eğitim (training) aşaması, %20’si ise test aşamasında kullanılması için rastgele olacak şekilde ayrılmıştır.

#### **4. Performans Ölçüm Metrikleri**

Bir modelin başarısını göstermek için çeşitli ölçütler kullanılmaktadır (Erickson et al., 2017:505). Bu ölçütler, model oluşturulduktan sonra kullanılan ölçütlerdir. Kullandığımız modellerin, belirlenen metriklere göre güvenilir ve kullanılabilir olup olmadığı test edilmiştir. Model performansını belirlemek için karışıklık matrisi ve aşağıda belirtilen performans metrikleri kullanıldı;

- Karışıklık Matrisi,
- Doğruluk,
- Hassasiyet,
- Duyarlılık,
- F1 skoru’dur.

##### **a. Karışıklık/Düzensizlik matrisi (Confusion matrix)**

Karışıklık matrisi, verideki var olan durum ile sınıflama modelimizin doğru ve yanlış tahminler hakkında bilgi verir. Şekil 22’de 2×2’lik karışıklık matrisi

örneği verilmiştir. Matrisin boyutu tahmindeki hedef sayısına göre değişebilir (Santra and Christy, 2012:324).

|                    |                       |                       |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
|                    | <b>Tahminlenen</b>    |                       |
| <b>Gerçekleşen</b> | <b>Gerçek Pozitif</b> | <b>Yanlış Negatif</b> |
|                    | <b>Yanlış Pozitif</b> | <b>Gerçek Negatif</b> |

şekil 22 Karışıklık Matrisi

Veri setindeki sonuçlar eğitim setinde uzmanlar tarafından etiketlendiği için kesinlikle doğru olarak kabul edilir. Etiketleme işleminde uzman ya pozitif ya da negatif bir durum seçmiştir. Kullandığımız yapay zeka algoritmaları ile elde edilen modellerin temel amacı hem pozitif durumları hem de negatif durumları doğru tahmin edebilmektir.

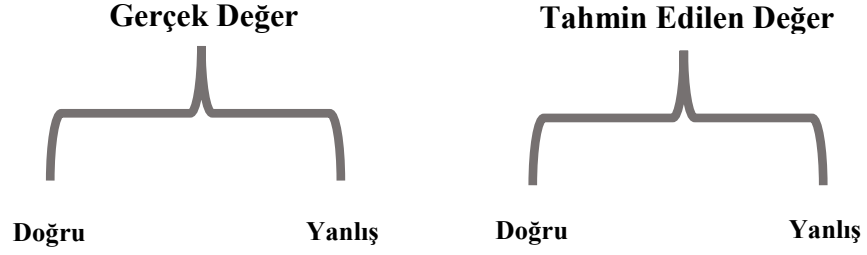
**Gerçek Pozitif (GP):** Tahmin etme işleminde uzman tarafından pozitif olarak etiketlenen durum model ile de pozitif olarak tahmin ediliyorsa bu ‘‘Gerçek Pozitif’’ dir (Santra and Christy, 2012:324).

**Gerçek Negatif (GN):** Tahmin etme işleminde uzman tarafından negatif olarak etiketlenen durum model ile de negatif olarak tahmin ediliyorsa bu ‘‘Gerçek Negatif’’ dir (Santra and Christy, 2012:324).

**Yanlış Pozitif (YP):** Tahmin etme işleminde uzman tarafından negatif olarak etiketlenen durum model ile de pozitif olarak tahmin ediliyorsa bu ‘‘Yanlış Pozitif’’ dir (Santra and Christy, 2012:324).

**Yanlış Negatif (YN):** Tahmin etme işleminde uzman tarafından pozitif olarak etiketlenen durum model ile de negatif olarak tahmin ediliyorsa bu ‘‘Yanlış Negatif’’ dir (Santra and Christy, 2012:325).

şekil 23’te gerçek değerler ve tahmin edilen değerler şematize edilmiştir.



Şekil 23 Gerçek Değer ve Tahmin Edilen Değer

Gerçek pozitif, Gerçek negatif, Yanlış pozitif ve Yanlış negatif değerleri kullanılarak modelin performans metrikleri hesaplanır. Değerler [0, 1] aralığında değişmektedir ve modelin performansını sayısallaştırmak için kullanılmaktadır.

### b. Doğruluk (Accuracy)

En sık kullanılan ve en basit performans ölçütlerinden birisidir. Sınıflama işleminde “Gerçek Pozitif” ve “Gerçek Negatif” tahminlerinin toplamının tüm tahminlerin sayısına oranının 100 ile çarpılması sonucunda elde edilir (Santra and Christy, 2012:324). Tüm sınıfları tahmin etmede yapılan hatalar eşit derecede önemli olduğu için son derece yararlı bir performans metriğidir (Burkov, 2021:54).

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Gerçek Pozitif} + \text{Gerçek Negatif}}{\text{Toplam Örneklem}} \quad \text{Denklem 1}$$

### c. Hassasiyet (Precision)

Gerçek Pozitif tahminlerin gerçek pozitif ve yanlış pozitif toplamına oranıdır (Burkov, 2021:55). Yanlış pozitif sonuçlarına yoğunlaşır (Santra and Christy, 2012:325). Precision 1’e yakın elde edilmesi kurulan modelin gerçek pozitiflerin kaçırmadığını gösterir. Yapılan sınıflamada doğru ve doğru olmayan tahminleri iyi yaptığının göstergesidir.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{\text{Gerçek Pozitif}}{\text{Gerçek Pozitif} + \text{Yanlış Pozitif}} \quad \text{Denklem 2}$$



#### d. Duyarlılık (Recall)

Gerçek pozitif tahminlerin gerçek pozitif ve yanlış negatif toplamına oranıdır (Uluç, 2007:26, Burkov, 2021:53). İstatistiksel hesaplamalarda sensitiviteye denk gelmektedir. Recall, Yanlış Negatif sonuçlar üzerine yoğunlaşır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{\text{Gerçek Pozitif}}{\text{Gerçek Pozitif} + \text{Yanlış Negatif}} \quad \text{Denklem 3}$$

#### e. F1 skoru

Precision ve Recall skorlarının harmonik ortalamasıdır. Ortalama yerine harmonik ortalamanın kullanılmasının sebebi uç durumların gözden kaçırılmamasını sağlamaktır. Yüksek F1 skoru, Precision ve Recall skorları yüksek elde edildiğinde F1 skourda yüksek elde edilir. Kısa tanımlamak gerekirse F1 skoru precisin ile recall arasındaki dengeyi gösterir.

$$\text{F1 Skor} = \frac{2}{\frac{1}{\text{Hassasiyet}} + \frac{1}{\text{Duyarlılık}}} \quad \text{Denklem 4}$$

## IV. BULGULAR

Çalışma kapsamında işitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zekâ tabanlı algoritmalar ile işitme cihazı seçimi yapmak amacıyla 3196 simüle hastanın odyolojik verilerini içeren Odyolojik Veri Seti'nde uygulanan 4 farklı yapay zekâ algoritması ile 4 farklı model oluşturulmuş ve performansları karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan yapay zekâ algoritmaları;

- Karar Ağaçları
- Rassal Orman
- Extreme Gradient Boosting (XGBoost)
- Yapay Sinir Ağları

### A. Karar Ağaçları Algoritması ile Kurulan Model Performansı

Karar Ağacı algoritması ile kurulan modelin performans ölçütleri Çizelge 5'te verilmiştir. Doğruluk 0,9427, Hassasiyet 0,9433, Duyarlılık 0,9427 ve F1 Skoru 0,9412 elde edilmiştir.

Çizelge 5 Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri

| Performans Ölçütleri | Değer  |
|----------------------|--------|
| Doğruluk             | 0,9427 |
| Hassasiyet           | 0,9433 |
| Duyarlılık           | 0,9427 |
| F1 Skoru             | 0,9412 |

Karar Ağacı algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı modellerine göre performans ölçütleri sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine Göre Performans Ölçütleri Sonuçları

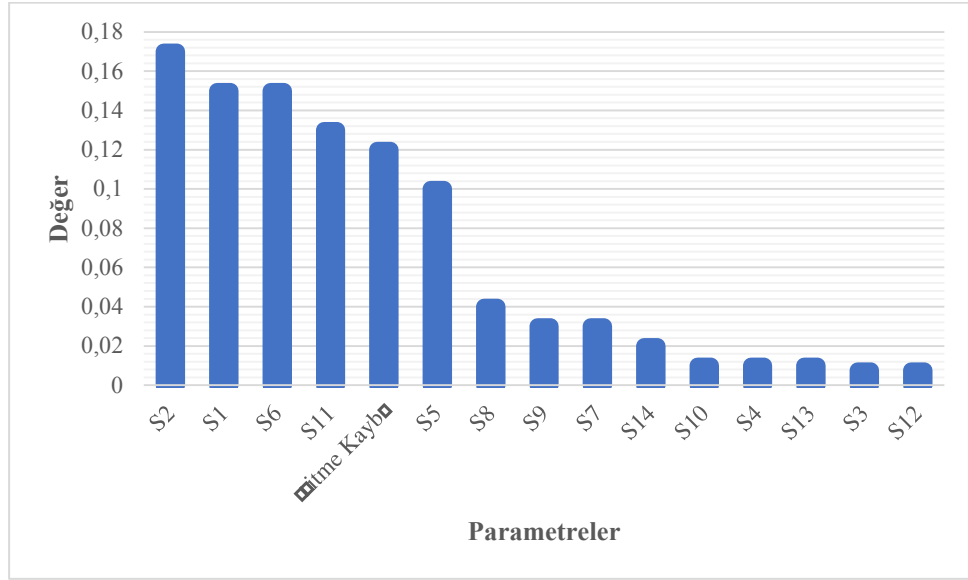
| İşitme Cihazı Numarası | Hassasiyet | Duyarlılık | F1 Skoru | Sayı (n) |
|------------------------|------------|------------|----------|----------|
| 1                      | 0.71       | 0.91       | 0.80     | 11       |
| 2                      | 0.80       | 0.67       | 0.73     | 6        |
| 3                      | 0.82       | 1.00       | 0.90     | 14       |
| 4                      | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 9        |
| 5                      | 1.00       | 0.83       | 0.91     | 6        |
| 6                      | 0.00       | 0.00       | 0.00     | 1        |
| 7                      | 0.94       | 0.71       | 0.81     | 24       |
| 8                      | 0.98       | 0.98       | 0.98     | 52       |
| 9                      | 0.85       | 0.92       | 0.89     | 38       |
| 10                     | 0.92       | 0.79       | 0.85     | 29       |
| 11                     | 0.96       | 1.00       | 0.98     | 22       |
| 12                     | 0.96       | 0.96       | 0.96     | 25       |
| 13                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 39       |
| 14                     | 0.92       | 1.00       | 0.96     | 11       |
| 15                     | 0.94       | 1.00       | 0.97     | 17       |
| 16                     | 1.00       | 0.98       | 0.99     | 49       |
| 17                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 5        |
| 18                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 40       |
| 19                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 18       |
| 20                     | 0.93       | 1.00       | 0.96     | 13       |
| 21                     | 0.92       | 0.93       | 0.92     | 72       |
| 22                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 54       |
| 23                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 12       |
| 24                     | 0.88       | 0.88       | 0.88     | 25       |
| 25                     | 0.91       | 0.77       | 0.83     | 13       |
| 26                     | 0.88       | 0.94       | 0.91     | 16       |
| 27                     | 0.88       | 1.00       | 0.93     | 7        |
|                        |            |            |          | 628      |

Karar Ağacı algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı tahminini gerçekleştirirken kullandığı parametrelerin önem değerleri Şekil 24’de verilmiştir. Model için en önemli parametrelerin sırasıyla;

- Gürültülü bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- Sessiz bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- Müziği daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?

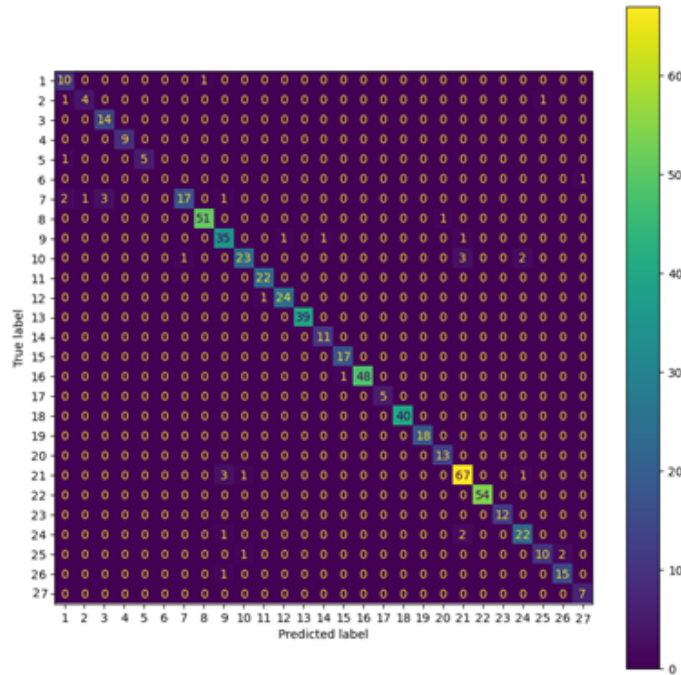
- İstedığınız işitme cihazının teknolojik seviyesinin nasıl olmasını istersiniz?
- İşitme Kaybı Derecesi

olduğu görüşmüştür.



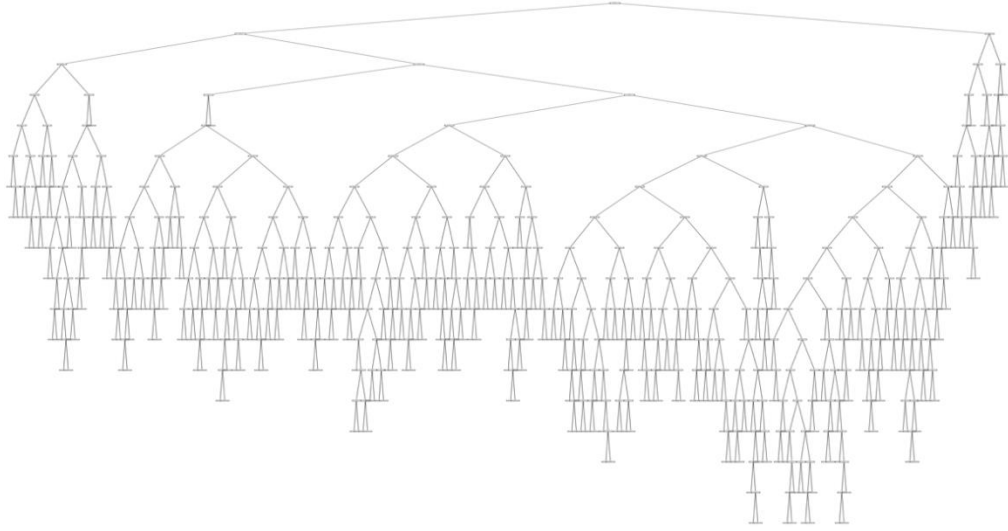
Şekil 24 Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri

Karar Ağacı algoritması ile kurulan modele ait karışıklık matrisi Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25 Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi

Karar ağacı algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı tahmini için oluşan ağaç yapısı Şekil 26’da verilmiştir.



Şekil 26 Karar Ağacı Algoritması ile Kurulan Modelin Ağaç Yapısı

## B. Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Model Performansı

Rassal Orman algoritması ile kurulan modelin performans ölçütleri Çizelge 7’de verilmiştir. Doğruluk 0,914, Hassasiyet 0,9146, Duyarlılık 0,914 ve F1 Skoru 0,9092 elde edilmiştir.

Çizelge 7 Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri

| Performans Ölçütleri | Değer  |
|----------------------|--------|
| Doğruluk             | 0,9140 |
| Hassasiyet           | 0,9146 |
| Duyarlılık           | 0,9140 |
| F1 Skoru             | 0,9092 |

Rassal Orman algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı modellerine göre performans ölçütleri sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

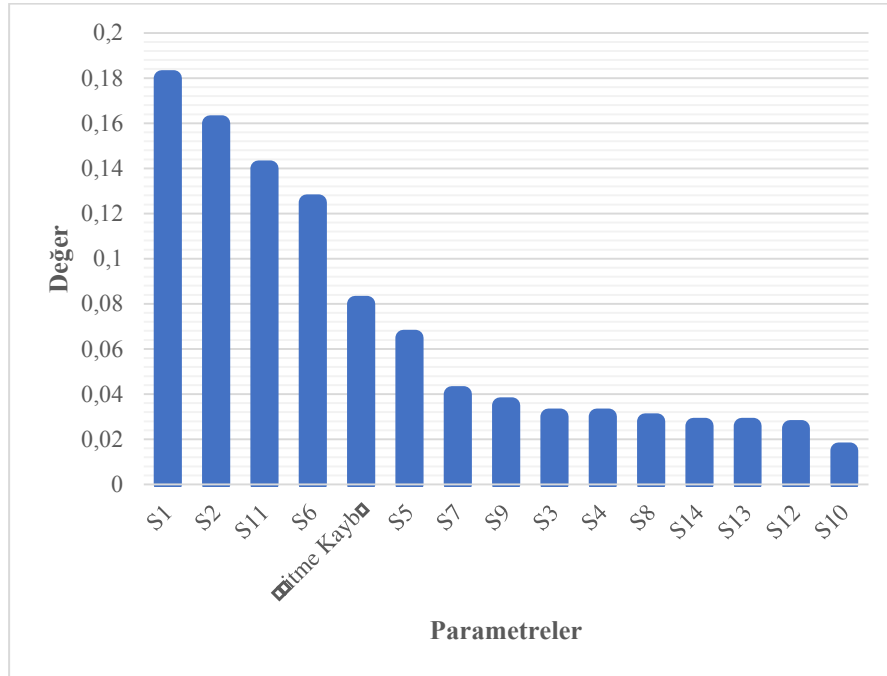
Çizelge 8 Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine Göre Performans Ölçütleri Sonuçları

| İşitme Cihazı Numarası | Hassasiyet | Duyarlılık | F1 Skoru | Sayı (n) |
|------------------------|------------|------------|----------|----------|
| 1                      | 0.89       | 0.73       | 0.80     | 11       |
| 2                      | 0.83       | 0.83       | 0.83     | 6        |
| 3                      | 0.78       | 1.00       | 0.88     | 14       |
| 4                      | 0.64       | 0.78       | 0.70     | 9        |
| 5                      | 1.00       | 0.50       | 0.67     | 6        |
| 6                      | 0.00       | 0.00       | 0.00     | 1        |
| 7                      | 0.83       | 0.42       | 0.56     | 24       |
| 8                      | 0.94       | 0.98       | 0.96     | 52       |
| 9                      | 0.85       | 0.89       | 0.87     | 38       |
| 10                     | 0.81       | 0.76       | 0.79     | 29       |
| 11                     | 0.95       | 0.95       | 0.95     | 22       |
| 12                     | 1.00       | 0.96       | 0.98     | 25       |
| 13                     | 0.97       | 1.00       | 0.99     | 39       |
| 14                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 11       |
| 15                     | 0.94       | 1.00       | 0.97     | 17       |
| 16                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 49       |
| 17                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 5        |
| 18                     | 1.00       | 0.97       | 0.99     | 40       |
| 19                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 18       |
| 20                     | 0.87       | 1.00       | 0.93     | 13       |
| 21                     | 0.88       | 0.92       | 0.90     | 72       |
| 22                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 54       |
| 23                     | 0.69       | 0.92       | 0.79     | 12       |
| 24                     | 0.82       | 0.92       | 0.87     | 25       |
| 25                     | 0.87       | 1.00       | 0.93     | 13       |
| 26                     | 1.00       | 0.88       | 0.93     | 16       |
| 27                     | 0.60       | 0.43       | 0.50     | 7        |
|                        |            |            |          | 628      |

Rassal Orman algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı tahminini gerçekleştirirken kullandığı parametrelerin önem değerleri Şekil 27’de verilmiştir. Model için en önemli parametrelerin sırasıyla;

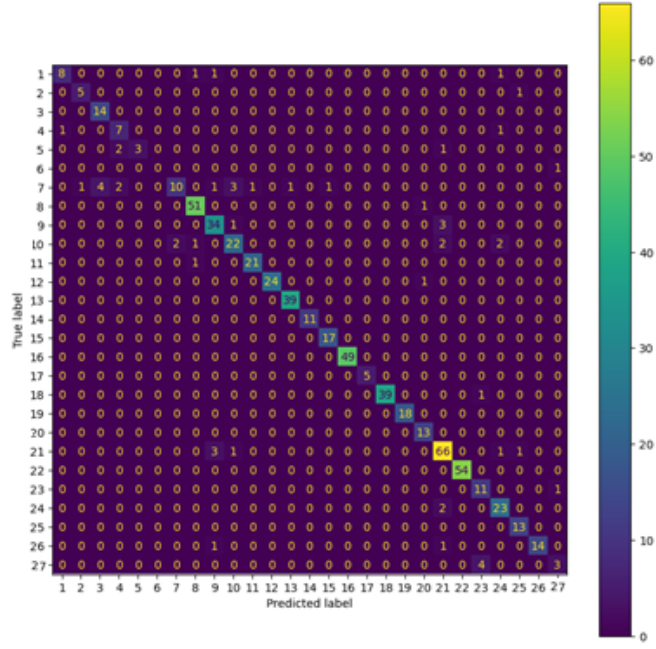
- Gürültülü bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- Sessiz bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- İsteddiğiniz işitme cihazının teknolojik seviyesinin nasıl olmasını istersiniz?
- Müziği daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- İşitme Kaybı Derecesi

olduğu görülmüştür.



Şekil 27 Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri

Rassal Orman algoritması ile kurulan modele ait karışıklık matrisi Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28 Rassal Orman Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi

### C. Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Algoritması ile Kurulan Model Performansı

XGBoost algoritması ile kurulan modelin performans ölçütleri Çizelge 9’da verilmiştir. Doğruluk 0,9475, Hassasiyet 0,9483, Duyarlılık 0,9475 ve F1 Skoru 0,9464 elde edilmiştir.

Çizelge 9 XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin Performans Ölçütleri

| Performans Ölçütleri | Değer  |
|----------------------|--------|
| Doğruluk             | 0,9475 |
| Hassasiyet           | 0,9483 |
| Duyarlılık           | 0,9475 |
| F1 Skoru             | 0,9464 |

XGBoost algoritması ile kurulan modelin işleme cihazı modellerine göre performans ölçütleri sonuçları Çizelge 10’da verilmiştir.



Çizelge 10 XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine göre Performans Ölçütleri Sonuçları

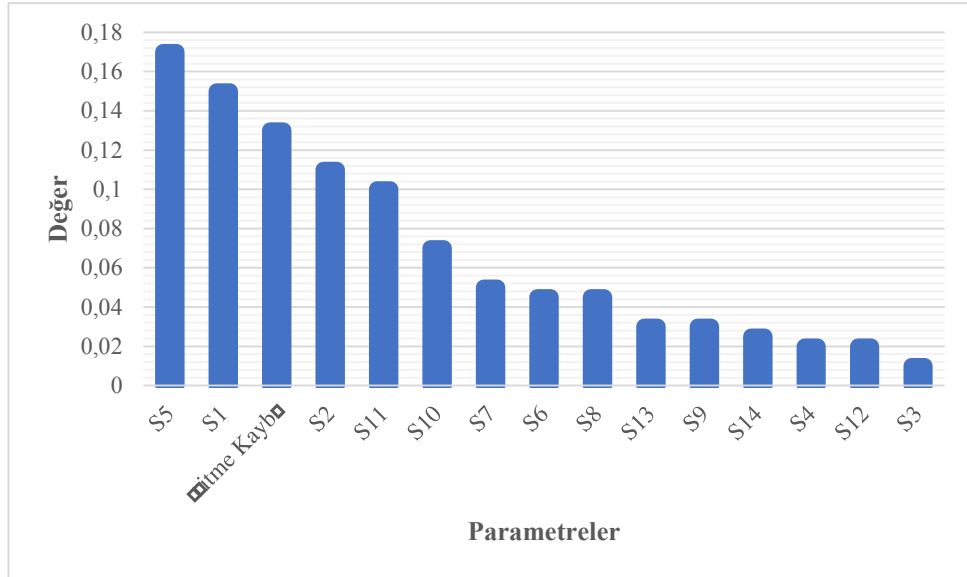
| İşitme Cihazı Numarası | Hassasiyet | Duyarlılık | F1 Skoru | Sayı (n) |
|------------------------|------------|------------|----------|----------|
| 1                      | 0.85       | 1.00       | 0.92     | 11       |
| 2                      | 1.00       | 0.83       | 0.91     | 6        |
| 3                      | 0.78       | 1.00       | 0.88     | 14       |
| 4                      | 0.90       | 1.00       | 0.95     | 9        |
| 5                      | 1.00       | 0.67       | 0.80     | 6        |
| 6                      | 0.00       | 0.00       | 0.00     | 1        |
| 7                      | 0.95       | 0.79       | 0.86     | 24       |
| 8                      | 0.98       | 0.98       | 0.98     | 52       |
| 9                      | 0.90       | 0.92       | 0.91     | 38       |
| 10                     | 0.85       | 0.79       | 0.82     | 29       |
| 11                     | 0.96       | 1.00       | 0.98     | 22       |
| 12                     | 1.00       | 0.96       | 0.98     | 25       |
| 13                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 39       |
| 14                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 11       |
| 15                     | 0.94       | 1.00       | 0.97     | 17       |
| 16                     | 1.00       | 0.98       | 0.99     | 49       |
| 17                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 5        |
| 18                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 40       |
| 19                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 18       |
| 20                     | 0.93       | 1.00       | 0.96     | 13       |
| 21                     | 0.88       | 0.93       | 0.91     | 72       |
| 22                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 54       |
| 23                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 12       |
| 24                     | 0.88       | 0.88       | 0.88     | 25       |
| 25                     | 1.00       | 0.92       | 0.96     | 13       |
| 26                     | 1.00       | 0.98       | 0.93     | 16       |
| 27                     | 0.86       | 0.86       | 0.86     | 7        |
|                        |            |            |          | 628      |

XGBoost algoritması ile kurulan modelin işitme cihazı tahminini gerçekleştirirken kullandığı parametrelerin önem değerleri Şekil 29’da verilmiştir. Model için en önemli parametrelerin sırasıyla;

- Bilgisayar, telefon, tablet gibi elektronik cihazınızdan işitme cihazınıza ses aktarımı olmasını ister misiniz?
- Sessiz bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?
- İşitme Kaybı Derecesi
- Gürültülü bir ortamda arkadaşlarınızı ve ailenizi daha iyi duymanız sizin için ne kadar önemli?

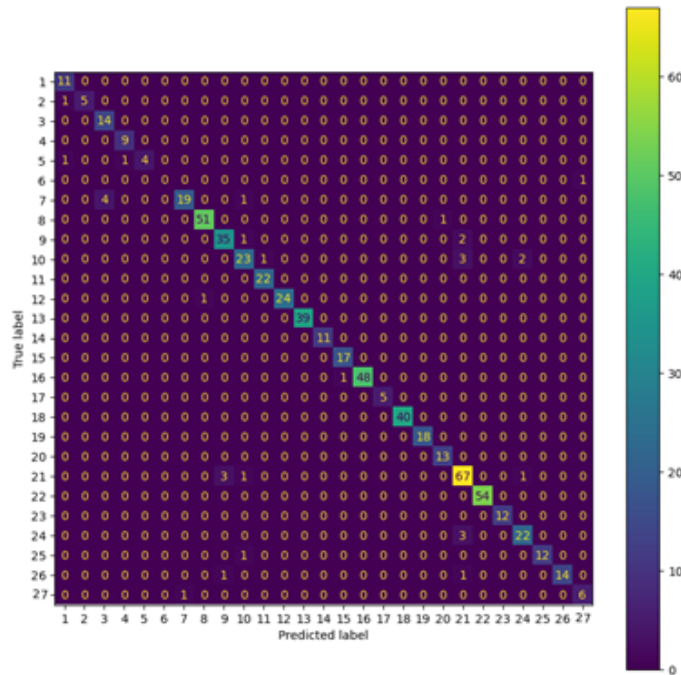
- İstedığınız işitme cihazının teknolojik seviyesinin nasıl olmasını istersiniz?

olduğu görülmüştür.



Şekil 29 XGBoost Algoritması ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Seçimindeki Parametrelerin Önem Değerleri

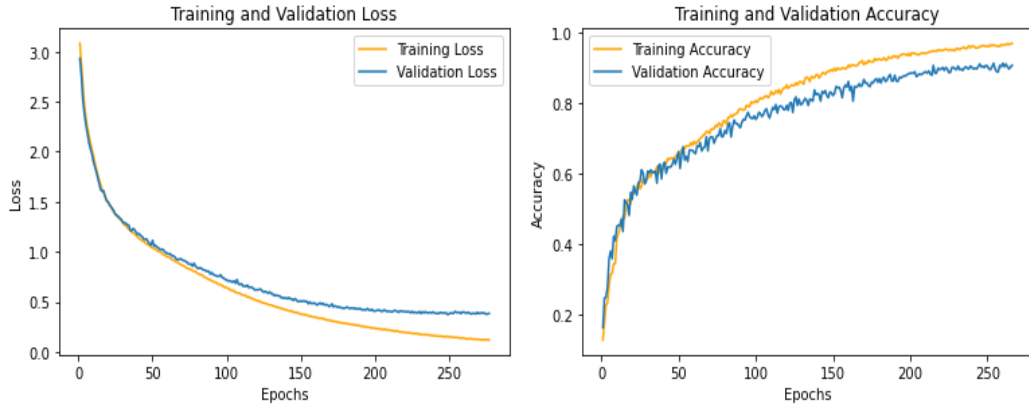
XGBoost algoritması ile kurulan modele ait karışıklık matrisi Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30 XGBoost Algoritması ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi

#### D. Yapay Sinir Ağları Algoritması ile Kurulan Model Performansı

Yapay Sinir Ağları ile model kurulurken Eğitim Sayısı (Epoch) 320 olarak tanımlanmış olmasına rağmen modelle elde edilen doğruluk oranı en yüksek değere ulaştığı için 277’de eğitim sonlandırılmıştır. Uygulamaya ait sonuçlar Şekil 32’de verilmiştir. Eğitim ve doğrulama, Şekil 31’de gösterildiği gibi eğitim sayısına göre karşılık gelen kayıp değerleri ve doğruluk oranı hesaplanarak analiz edilmiştir. Grafikler incelendiğinde eğitim sayısı 277’ye yaklaştıkça kayıp oranının hem eğitim kaybında hem de validasyon kaybında azaldığı görülmektedir. Bu da modelde aşırı öğrenme (overfitting) olmadığını göstermektedir. Aşırı öğrenme olması durumunda modelin eğitim veri setinde iyi performans gösterirken test veri setinde düşük performans göstermesi beklenir. Doğruluk oranının da hem eğitim doğruluk oranı hem de validasyon doğruluk oranında eğitim sayısı 277’ye yaklaştıkça arttığı görülmektedir. Bu durum modelin eğitim sayısı 277’ye yaklaştıkça daha iyi öğrendiğini ve aşırı öğrenme olmadığını göstermektedir.



Şekil 31 Eğitim ve Validasyon Kaybı ile Eğitim ve Validasyon Doğruluk Oranı Grafikleri

Yapay Sinir Ağları ile kurulan modelin doğruluk değeri Çizelge 11’de verilmiştir. Doğruluk 0,8917, Hassasiyet 0,8941, Duyarlılık 0,8917 ve F1 Skoru 0,8910 elde edilmiştir.

Çizelge 11 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin Doğruluk Oranı

| Performans Ölçütleri | Değer  |
|----------------------|--------|
| Doğruluk             | 0,8917 |
| Hassasiyet           | 0,8941 |
| Duyarlılık           | 0,8917 |
| F1 Skoru             | 0,8910 |

Yapay Sinir Ağları ile kurulan modelin işitme cihazı modellerine göre performans ölçütleri sonuçları Çizelge 12 'de verilmiştir.

Çizelge 12 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin İşitme Cihazı Modellerine göre Performans Ölçütleri Sonuçları

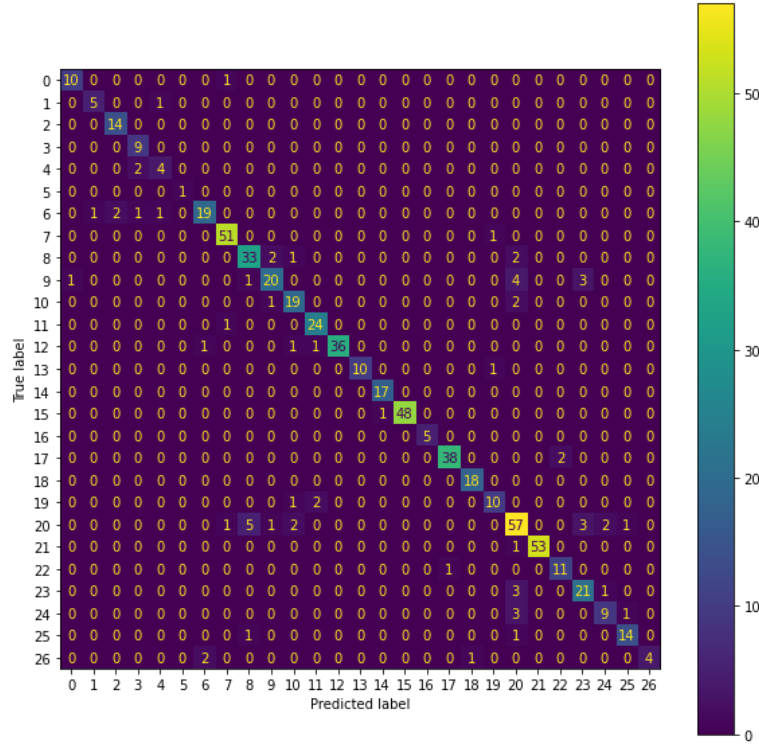
| İşitme Cihazı Numarası | Hassasiyet | Duyarlılık | F1 Skoru | Sayı (n) |
|------------------------|------------|------------|----------|----------|
| 1                      | 0.91       | 0.91       | 0.91     | 11       |
| 2                      | 0.83       | 0.83       | 0.83     | 6        |
| 3                      | 0.88       | 1.00       | 0.93     | 14       |
| 4                      | 0.75       | 1.00       | 0.86     | 9        |
| 5                      | 0.67       | 0.67       | 0.67     | 6        |
| 6                      | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 1        |
| 7                      | 0.86       | 0.79       | 0.83     | 24       |
| 8                      | 0.94       | 0.98       | 0.96     | 52       |
| 9                      | 0.82       | 0.87       | 0.85     | 38       |
| 10                     | 0.83       | 0.69       | 0.75     | 29       |
| 11                     | 0.79       | 0.86       | 0.83     | 22       |
| 12                     | 0.89       | 0.96       | 0.92     | 25       |
| 13                     | 1.00       | 0.92       | 0.96     | 39       |
| 14                     | 1.00       | 0.91       | 0.95     | 11       |
| 15                     | 0.94       | 1.00       | 0.97     | 17       |
| 16                     | 1.00       | 0.98       | 0.99     | 49       |
| 17                     | 1.00       | 1.00       | 1.00     | 5        |
| 18                     | 0.97       | 0.95       | 0.96     | 40       |
| 19                     | 0.95       | 1.00       | 0.97     | 18       |
| 20                     | 0.83       | 0.77       | 0.80     | 13       |
| 21                     | 0.78       | 0.79       | 0.79     | 72       |
| 22                     | 1.00       | 0.98       | 0.99     | 54       |
| 23                     | 0.85       | 0.92       | 0.88     | 12       |
| 24                     | 0.78       | 0.84       | 0.81     | 25       |
| 25                     | 0.75       | 0.69       | 0.72     | 13       |
| 26                     | 0.88       | 0.88       | 0.88     | 16       |
| 27                     | 1.00       | 0.57       | 0.73     | 7        |
|                        |            |            |          | 628      |

Yapay Sinir Ağları ile kurulan modelin yapısı Şekil 32’de, modele ait karşılıklı matrisi Şekil 33’de verilmiştir.

```
63/63 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.1
224 - accuracy: 0.9686 - val_loss: 0.3887 - val_accuracy: 0.8708
Epoch 273/320
63/63 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.1
215 - accuracy: 0.9701 - val_loss: 0.3913 - val_accuracy: 0.8827
Epoch 274/320
63/63 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.1
212 - accuracy: 0.9711 - val_loss: 0.3863 - val_accuracy: 0.8867
Epoch 275/320
63/63 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.1
242 - accuracy: 0.9691 - val_loss: 0.3787 - val_accuracy: 0.8907
Epoch 276/320
63/63 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.1
212 - accuracy: 0.9726 - val_loss: 0.3805 - val_accuracy: 0.8966
Epoch 277/320
63/63 [=====] - 0s 7ms/step - loss: 0.1
221 - accuracy: 0.9681 - val_loss: 0.3852 - val_accuracy: 0.8946
```

Şekil 32 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modelin Yapısı

Yapay Sinir Ağacı ile kurulan modele ait karşılık matrisi Şekil 3e’de verilmiştir.



Şekil 33 Yapay Sinir Ağları ile Kurulan Modele Ait Karışıklık Matrisi

### E. Oluşturulan Modellerin Karşılaştırılması

Doğruluk değerleri incelendiğinde doğruluk değeri en yüksek olan modelin 0,9475 ile XGBoost algoritması ile kurulan modele ait olduğu görülmektedir. Doğruluk değeri en yüksek ikinci model, Karar Ağacı algoritması ile kurulan model olup elde edilen doğruluk değeri 0,9427'dir. Rassal Orman algoritması ile kurulan modelde ise doğruluk değeri 0,914 elde edilmiştir. En düşük doğruluk değeri elde edilen model olan Yapay Sinir Ağları ile kurulan modelde elde edilen doğruluk değeri 0,8748'dir. Çizelge 13'te oluşturulan tüm modellerin performans ölçütlerinde aldıkları değerler gösterilmektedir. Ayrıca XGBoost algoritması ile kurulan modelle tüm performans metriklerinde diğer algoritmalarla kurulan modellere göre daha yüksek oranlar elde edilmiştir.

Çizelge 13 Oluşturulan Modellerin Performans Ölçütlerinin Karşılaştırılması

| Algoritmalar       | Doğruluk | Hassasiyet | Duyarlılık | F1 Skoru |
|--------------------|----------|------------|------------|----------|
| Karar Ağacı        | 0,9427   | 0,9433     | 0,9427     | 0,9412   |
| Rassal Orman       | 0,914    | 0,9146     | 0,914      | 0,9092   |
| XGBoost            | 0,9475   | 0,9483     | 0,9475     | 0,9464   |
| Yapay Sinir Ağları | 0,8917   | 0,8941     | 0,8917     | 0,8910   |

## F. Kullanılan Algoritmaların Hiper Parametreleri

Çalışma kapsamında kullanılan algoritmalar ile oluşturulan modellerin performans ölçüt sonuçlarının bulunabilmesi için ilk olarak algoritmalara ait varsayılan hiper-parametreler kullanılmıştır. Kullanılan algoritmalara ait varsayılan hiper parametreler Çizelge 14’te verilmiştir.

Çizelge 14 Seçilen Hiper Parametreler

| Algoritmalar       | Seçilen Hiper Parametreler   |
|--------------------|--|
| Karar Ağacı        | Criterion = gini, Splitter = best, Max_depth = none, Min_samples_split = 2 min_samples_leaf = 1, min_weight_fraction_leaf = 0, max_features = none, random_state = 42, max_leaf_nodes = none, min_impurity_decrease = 0, class_Weight = none, ccp_alpha = 0  |
| Rassal Orman       | n_estimators = 100, criterion = gini, max_depth = none, min_samples_split = 2, min_Weight_fraction_leaf = 0, max_fatures = sqrt, max_leaf_nodes = none, min_impurity_decrease = 0, bootstrap = true, oob_score = false, n_jobs = none, random_State = 42, verbose = 0, warm_Start = false, class_weight = none, ccp_alpha = 0, max_Samples_none  |
| XGBoost            | booster = gbtree, verbosity = 1, validate_parameters = false, disable_default_eval_metric = false, eta = 0.3, gamma = 0, max_Depth = 6, min_child_weight = 1, max_delta_step = 0, subsample = 1, sampling_method = uniform, colsample_bytree, colsample_bylevel, colsample_bynode = 1, lambda = 1, alpha = 1, tree_method = auto, scale_pos_Weight = 1, refresh_leaf = 1, grow__policy = depthwise, max_leaves = 0, predictor = Auto |
| Yapay Sınır Ağları | Hidden layer sayısı = 2, Katman başına nöron sayısı = 32, aktivasyon fonksiyonu = sigmoid, Learning rate = 0.01  |

İkinci adımda modellerle daha yüksek başarı oranları elde edilebilmesi amacıyla aşağıda paylaşılan hiper parametre optimizasyonu yapılmıştır.

Karar ağaçları algoritması ile kurulan modelin en yüksek doğruluk derecesinin bulunabilmesi için aşağıdaki hiper-parametreler denenmiştir:

- Ccp\_alpha (Complexity parameter used for Minimal Cost-Complexity Pruning) = 0,0
- Class weight = None
- Criterion = Gini
- Max depth = None

- Max features = None
- Max leaf nodes = None
- Minimum impurity decrease = 0
- Minimum samples split = 2
- Minimum weight fraction leaf = 0
- Random\_State = 42
- Splitter = best

Rassal Orman algoritması ile kurulan modelin en yüksek doğruluk derecesinin bulunması için aşağıdaki hiper- parametreler denenmiştir:

- Bootstrap = True
- Max\_Depth = none
- Max\_features = sqrt
- Min\_Samples\_leaf = 1
- Min\_samples\_split = 2
- N\_Estimators = 100

XGBoost algoritması ile kurulan modelin en yüksek doğruluk derecesinin bulunması için aşağıdaki hiper-parametreler denenmiştir:

- Max\_depth = none
- Min\_child\_weight = None
- Gamma = 1
- Subsample = None
- colsample\_bytree = None
- scale\_pos\_weight = None

Yapay Sinir Ağı ile kurulan modelin en yüksek doğruluk derecesinin bulunması için aşağıdaki hiper-parametreler denenmiştir:

- Hidden layer sayısı = 2-6



- Katman başına nöron sayısı = 32-512 arası, 32'şer artarak
- Gizli katmada bulunan nöronlarda aktivasyon fonksiyonu = sigmoid ve relu
- Learning rate = 0.01 ile 0.0001 arası

Ayarlama öncesi yapay sinir ağı ile kurulan modelin özeti, 2 gizli katmandan ve 1 çıkış katmanından oluşmaktaydı. 1. gizli katmanda 2400 parametre, 2. gizli katmanda 22650 parametre ve çıkış katmanında 4077 parametre olmak üzere toplam eğitilecek 29127 parametre bulunmaktaydı. Elde edilen en iyi özet ise 3 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşmaktadır. 1. gizli katmanda 128 nöron 2048 parametre, 2. gizli katmanda 480 nöron 61920 parametre, 3. gizli katman 288 nöron 138528 parametre ve çıkış katmanında 27 nöron 7803 parametre olmak üzere toplamda 210299 parametre bulunmaktadır.

Tüm modellerde yapılan hiper parametre ayarlamalarına rağmen performans ölçütlerinde önemli ölçüde bir yükselme elde edilmemiştir.

## V.TARTIŞMA

Makine öğrenimi teknolojisinin yaygınlaşması ve odyoloji alanında yapılan çalışmaların çeşitlilik kazanması, yeni neden sonuç ilişkilerinin ortaya çıkmasına yardımcı olmakta ve günlük hayatta karşılaşılan problemlerin çözümüne hızlı, somut ve erişilebilir katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada işitme kayıplı bireylerde işitme cihazı tahmini yapabilmek için yapay zeka algoritmaları kullanılmış, elde edilen modellerin performans metrikleri karşılaştırılmış ve işitme cihazı seçiminde modellere göre en önemli değişkenler belirlenmiştir. Bu doğrultuda işitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yaşları 18 ile 60 arasında değişen S/N tipte işitme kaybı olan 3196 hastanın odyolojik verileri ve işitme cihazı tercihleri simüle edilerek 4 farklı yapay zekâ algoritması ile model elde edilmiştir.

2013 yılında yapılan bir çalışmada işitme cihazı kullanan hastaları memnun etmek için doğru işitme cihazını uygulama amacıyla Odyoloji’de bir Karar Destek Sistemine ihtiyaç olduğu düşünülmüş ve heterojen odyoloji verileriyle istatistiksel modeller oluşturularak iki işitme cihazı tipi (ITE ve BTE cihazı) arasında seçim yapmak üzere bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada üç farklı veri türü kullanılmıştır: Odyogramlar sonuçları, yapılandırılmış tablo verileri (cinsiyet, tanı, işitme cihazı türü gibi) ve yapılandırılmamış metin (serbest metin olarak adlandırılan her hasta hakkında yapılan özel gözlemler) (Anwar and Oakes, 2013:38). Çalışmada bir işitme cihazı kliniğinden 180.000 kayıt (23.000'den fazla farklı hasta) kullanılmıştır. Naive Bayesian analizi tekniği kullanılmıştır (Anwar and Oakes, 2013:37). Kullanılan odyoloji veri setindeki her kayıta, örneğin işitme cihazı tipi (ITE veya BTE) seçiminde odyologların bireysel kararları doğru olarak kabul edilmiştir. Veri setinin %80'i modeli oluşturmak için kullanılmış ve %20'sini bu modeli test etmek için kullanılmıştır (Anwar and Oakes, 2013:38). Modelin başarı oranı %63 ile %66 arasında elde edilmiştir (Anwar and Oakes, 2013:37). Araştırmacılar bulguları doğrultusunda,

işitme cihazı tipinin belirlenmesinde iki ana belirleyici parametrenin hava yolu işitme eşikleri ve hava-kemik aralığı olduğunu belirtmiştir (Anwar and Oakes, 2013:40). Geliştirilen sistemin, karmaşık vakalar için odyologlar tarafından ikinci bir görüş olarak kullanılabileceği düşünülmüştür (Anwar and Oakes, 2013:41). 2018 yılında yapılan başka bir çalışmada hastaların çeşitli odyolojik verilerini veri madenciliği yöntemlerini kullanarak yaygın olan işitme cihazı türü (Kulak arkası ve kulak içi) arasındaki seçimi etkileyen faktörleri araştırmıştır. Çalışmada Middlesbrough'daki James Cook Üniversitesi Hastanesi'ndeki işitme cihazı kliniğine ait 23.000 hastanın 180.000 verisi analiz edilmiştir. Çalışmada CN2, AdaBoost, Rassal orman ve Lojistik regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma ile elde edilen bulgulara göre hastaların hangi tür işitme cihazı kullanmaları gerektiği konusunda doğru tahminler elde edildiği belirtilmiştir (Kurnaz and Aljabery, 2018:1). Çalışmamız kapsamında 3196 hastaya ait veriler kullanılmıştır. Kullanılan algoritmalar ile elde edilen modellerin performans ölçüt sonuçları incelendiğinde işitme cihazı seçimi için kullanılabileceği düşünülmüştür. İşitme cihazı seçiminde değişken önemleri incelendiğinde tüm modellerde hastaların sessiz ve gürültülü ortamlarda işitme tercihleri, işitme kaybı derecesi ve işitme cihazlarının teknolojik düzeylerinin işitme cihazı seçiminde daha etkili rol oynadığı olduğu görülmüştür.

ReportLinker tarafından yayınlanan bir raporda 2024 yılına kadar yapay zeka çalışmalarında kullanılan verilerin yaklaşık %60'ının sentetik veri seti olacağı belirtilmiştir (Reportlinker.com, 2022). Odyoloji alanında hastaların demografik bilgileri, klinik bulguları, odyolojik test sonuçları, görüntüleme teknikleri, hastaların yaşam tarzları, sosyo-ekonomik durumları, yaşadığı çevre ve çalışma ortamı gibi çok büyük ve karmaşık veri bulunmaktadır. Hastalıkların zamanında ve doğru tanınması, tedavi edilmesi, araştırma ve geliştirme çalışmaları için bu verilerin kullanımı giderek artmaktadır. Buna karşın, hastaya ait toplanan bu bilgilerin hasta mahremiyeti ve Kişisel Verileri Koruma Kanunu sebebiyle araştırmalarda kullanımı kısıtlıdır. Ayrıca verinin işlenmesi, korunması ve kullanımı konusundaki yasal gerekliliklerin uzun süreçler gerektirmesi nedeniyle, araştırmalardan elde edilecek bilgilerin paylaşılmasıyla sağlanacak faydayı da önemli derecede geciktirmektedir (Goncalves et al., 2020:2). Açıklanan nedenlerden dolayı sentetik veri üretilmesi, yenilikçi ve adaptif bir

uygulama olarak düşünölmektedir (Yale et al., 2020:253). Sentetik veri, güvenlik-gizlilik riski olmayan, gerçek verilerle ilişkili yapay veri olup, verinin olmadığı veya elde edilmesinin zor ve maliyetli olduğu durumlarda belirli bir ihtiyaca yönelik üretilebilmektedir (Deveci ve Esen, 2022:18). Araştırmacıların çalışma amaçlarına yönelik gerçek verilerin yerini alabilecek, keşfedici veya doğrulayıcı nitelikte olan ve etik endişeler içermeyen sentetik veri setlerinin kullanımı veri anonimleştirmeye iyi bir alternatif oluşturmaktadır (Dube and Gallagher, 2014:71). İşitme cihazı uygulamasında sabit bir reçetenin ve standardın bulunmaması, her bir hasta için parametrelerin değişen önemi ve depolanan bilgilerin karmaşıklığı göz önünde bulundurularak çalışmamızda gerçek verilerle ilişkili, araştırmacılar tarafından oluşturulan sentetik bir veri seti kullanılmıştır. İşitme cihazı seçimlerinde önemli rol oynayan toplamda sekiz konu başlığı belirlenmiştir. Belirlenen konu başlıkları doğrultusunda bireylere uygun işitme cihazı belirlenebilmesi için sekiz konu başlığından toplam on beş soru oluşturulmuştur.

Bu çalışmada Karar Ağacı, Rassal Orman, XGBoost ve Yapay Sinir Ağı algoritmaları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan veri setinin özellikleri nedeniyle bu algoritmaların kullanılması tercih edilmiş, çalışma sonuçlarının geçerliliği için önemli katkılar sağlayacağı düşünölmüştür.

XGBoost algoritması ile kurulan model doğruluk değeri en yüksek (0,9475) olan model olarak elde edilmiştir. İkinci model 0,9427 doğruluk değeri elde edilen Karar Ağacı algoritması ile kurulan model, üçüncü model 0,914 doğruluk değeri elde edilen Rassal Orman algoritması ile kurulan modeldir. Yapay Sinir Ağları ile kurulan model, doğruluk değerinin en düşük (0,8748) olduğu model olarak elde edilmiştir.

Karar ağaçları algoritması, sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan algoritmalardan biridir. Karar ağaçlarının en büyük avantajı, oluşturulmasının ve yorumlanmasının kolay olmasıdır. Karar ağaçları, denetimli öğrenme için kullanılan dağılımlardan bağımsız bir öğrenme yöntemi türüdür (Özlüer vd., 2021:116). Çalışmamızda kullanılan diğer bir yapay zeka algoritması Rassal orman algoritmasıdır. Bu algoritma karar ağaçları ve düğümlerden oluşan bir yapıya sahiptir. Düğümlerde yer alan ağırlıklara göre dalların aldığı değerler, nihai kararın verilmesine yardım etmektedir. Rassal orman algoritması, girdi

değişkeninin çok olduğu büyük verilerde iyi performans göstermesinin yanı sıra eksik verilerde de yüksek tahminler gerçekleştirilmesi bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır. Rassal orman, doğru sınıflandırma değerini arttıran bir yöntemdir (Koç Ustalı vd., 2021:2). Çalışmamızda kullanılan üçüncü yapay zeka algoritması Aşırı Gradyan Güçlendirme (XGBoost) algoritmasıdır. XGBoost algoritması, mantığı Karar Ağaçları algoritmasına dayanmaktadır. Bu algoritma, Gradyan Güçlendirmeli Karar Ağaçları algoritmasının genişletilmiş ve geliştirilmiş şeklidir. Birçok tahmin probleminde çözüm üretmede etkili sonuçlar vermektedir (Koç Ustalı vd., 2021:2). Yapay Sinir Ağları algoritması ise çalışmamızda kullanılan dördüncü algoritmadır. Yapay zekâ çalışmalarıyla bağlantılı olarak insan beyninin yapısından esinlenilerek geliştirilmiş bir algoritmadır. Geliştirildiği ilk günden bu yana sürekli gelişim göstermiş ve günümüz bilgisayarlarının algoritmik yapısından çok farklı bir yapıya sahip olmuştur. Böylece doğrusal olmayan problemlere çözüm üretme noktasında tercih edilen modellerden biri olduğu söylenmektedir (Koç Ustalı vd., 2021:2).

Çalışmamız kapsamında 4 farklı yapay zeka algoritması ile oluşturulan modellerden elde edilen performans ölçütleri sonuçlarına göre tüm ölçütlerde XGBoost algoritması ile kurulan model en yüksek değerleri vermiştir. Bunun sebebinin XGBoost algoritmasının diğer algoritmalara karşı olan avantajlarından kaynaklandığını düşünülmektedir.

- XGBoost, tek bir platformda mevcut yöntemlerden yaklaşık 10 kat daha hızlıdır, bu nedenle özellikle ağ verilerinin ön işlenmesi yapıldığında zaman tüketimi sorununu ortadan kaldırmaktadır (Dhaliwal et al., 2018:5),
- Yüksek düzeyde ölçeklenebilir, dağıtılmış/paralel hesaplama ve algoritmik optimizasyon işlemlerini kullanarak milyarlarca örnek üretir ve minimum kaynak kullanır. Bu nedenle, verilerin sınıflandırılması ve verilerin üst düzey ön işleme gibi konuların ele alınmasında oldukça etkilidir (Dhaliwal et al., 2018:5),
- Düzenleştirme, XGBoost algoritmasının önemli bir yönüdür. Ağaç tabanlı veya doğrusal modeller için verilerin aşırı sığdırılması

sorunlarından kaçınılmasına yardımcı olmaktadır (Dhaliwal et al., 2018:5),

- XGBoost, eksik değerleri algılamak ve buna bağlı oluşan problemleri çözmek için iyi donanıma sahiptir (Dhaliwal et al., 2018:5),

İşitsel Uyarılmış Beyinsapı Yanıtları (ABR) testinin yorumlanması büyük ölçüde deneyim ve eğitim gerektirir. Sonuçları yanlış yorumlama, işitsel sistemin bütünlüğü hakkında yanlış yargılara yol açabilir. Makine öğrenimi yöntemleri, ABR yorumlamasını otomatikleştirmek ve insan hatasını azaltmak için uygun bir yaklaşım olabilir. Bu doğrultuda Wimalarathna ve arkadaşları, ABR testinin analizini otomatikleştirmek ve uygun bir makine öğrenimi tekniğini belirlemek amacıyla çalışma yapmıştır. İşitsel işleme zorlukları açısından değerlendirilen 136 çocuktan alınan rutin klinik değerlendirme sırasında kaydedilen ABR yanıtları, birkaç yaygın makine öğrenimi algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. ABR sonuçlarındaki nörolojik anormallikleri doğru bir şekilde tanımlayabilen en iyi modeli belirlemek için Destek Vektör Makineleri, Rassal Ormanlar, Xgboost ve Yapay Sinir Ağları algoritmalarını kullanarak modeller oluşturulmuştur (Wimalarathna et al, 2021:1). Sağ kulakta Xgboost algoritması ile 0,923; Rassal Ormanlar algoritması ile 0,897; Destek Vektör Makineleri algoritması ile 0,910 ve Gradient Boosting algoritması ile oluşturulan model ile 0,858 doğruluk oranı elde edilmiştir (Wimalarathna et al, 2021:7). Tinnitus deneyimlerinde ve tedavideki başarılarında önemli farklılıklar olması nedeniyle tinnitus tedavi yönetimleri zordur. Tinnitus tedavi başarısının öngörücü modelleri eksiktir. Rodrigo ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptıkları çalışma ile tinnitus için internet tabanlı bilişsel davranışçı terapinin (ICBT) tedavi başarısıyla ilişkili değişkenleri belirlemek için karar ağacı yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmaya ICBT uygulanan 228 birey dahil edilmiştir. En çok etkileyen değişkenleri belirlemek için çeşitli makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak analizler yapılmıştır. CART, C5.0, Gradient Boosting, XGBoost, AdaBoost ve Rassal orman algoritmaları olmak üzere toplam 6 algoritma ile modeller kurulmuştur. Altı algoritma arasında, CART (doğruluk: %70,7, duyarlılık: %74, özgüllük: %64) ve Gradient Boosting (doğruluk: %71,8, duyarlılık: %78,3, özgüllük: %58,7) modelleri en iyi tahmin modelleri olarak bulunmuştur. Araştırmacılar

tarafından yapay zeka algoritmaları, özellikle CART ve Gradient Boosting modelleri, ICBT sonuçlarını tahmin etmede umut verici görülmüştür (Rodrigo et al., 2021:1). Okul çağındaki çocukların yaklaşık %0,2-5'i işitme kaybı olmadığı halde dinleme güçlüğünden şikâyet etmektedir. Bu çocuklar genellikle bir işitsel işleme bozukluğu (APD) değerlendirmesi için bir odyologa yönlendirilir. Bozukluğun heterojenliği nedeniyle doğru tanıya ulaşılabilmesi için yeterli deneyim ve eğitim gereklidir. Wimalarathna ve arkadaşları 2023 yılında yaptıkları çalışmada, çocuklarda APD'yi teşhis etmek ve klinik popülasyondaki alt grupları belirlemek için makine öğrenimi algoritmalarını kullanmayı amaçlamıştır. Çalışmada 2015 ile 2021 yılları arasında APD değerlendirmesi için yönlendirilen 134 çocuğun retrospektif verisi kullanılmıştır. Makine öğrenimi modellerinin eğitimi ve klinik değerlendirmelerden elde edilecek özellikler için veri setinin etiketlenmesi uzman odyologlar tarafından yapılmıştır. İki farklı makine öğrenimi algoritması Rassal orman ve XGBoost kullanılmıştır. Rassal orman algoritması ile oluşturulan modelin XGBoost algoritması ile kurulan modele göre daha yüksek doğruluk değeri (%90) elde edilmiştir (Wimalarathna 2023:1).

Çalışmamızda, literatürle tutarlı olarak XGBoost ve karar ağacı algoritmaları kullanılarak eğitilen modellerde, diğer modellere göre sırasıyla 0,9475 ve 0,9427 doğrulukla en yüksek doğruluk oranı veren modeller olarak elde edilmiştir. XGBoost algoritması, üzerinde çalıştığı makinenin tüm çekirdeklerini kullanan paralel işleme avantajına sahiptir. Yüksek düzeyde ölçeklenebilirdir, dağıtılmış, paralel hesaplama ve algoritmik optimizasyon işlemlerini kullanarak milyarlarca örnek üretir ve bu işlem için minimum derece kaynak kullanır. Bu nedenle verilerin sınıflandırılması ve verilerin üst düzey ön işleme gibi alanlardaki avantajından dolayı tercih edilmiştir. Elde edilen doğruluk oranları göz önünde bulundurularak işitme kayıplı bireyler için demografik özelliklerine, sosyo-kültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecelerine göre işitme cihazı seçiminin yapay zeka algoritmaları ile desteklenebileceği düşünülmektedir.

## VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada işitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zeka algoritmaları ile doğru işitme cihazı seçimini doğruluk oranı yüksek bir şekilde gerçekleştirecek bir model oluşturmak amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen sınıflandırma algoritmalarının performans metriklerine göre en yüksek doğruluk derecesini veren algoritmanın XGBoost algoritması olduğu görülmüş en düşük doğruluk derecesini veren algoritmanın ise Yapay Sinir Ağları algoritmasının olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın, işitme kayıplı bireyler için ilk olması ile literatüre yenilikçi bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

- İşitme kayıplı bireyler için bireyin demografik özelliklerine, sosyokültürel özelliklerine ve işitme kaybı derecesine göre yapay zeka algoritmaları ile doğru işitme cihazı seçimini yapması amacıyla oluşturulan modeller ve 3149 simüle hasta verisini içeren Odyoloji Veri Seti, ülkemizin işitme cihazı literatürüne kazandırılmıştır.
- Çalışmamız kapsamında yapay zeka algoritmalarıyla oluşturulan modeller, işitme cihazı uygulayıcıları tarafından özellikle işitme cihazı profesyonellerine ulaşımın kısıtlı olduğu durumlarda bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir.
- Sonraki çalışmalarda, çalışmaya dahil edilen işitme cihazı marka, model sayısı artırılarak ve kullanılan veri seti genişletilerek hastalar için daha geniş bir yelpazede işitme cihazı seçim süreci gerçekleştirilebilir. Gelişen teknoloji ve işitme cihazı üreticilerinin üretecekleri yeni cihazlar göz önünde bulundurularak veri seti geliştirilerek güncelliği sağlanmalıdır.



- Gelecekteki çalışmalarda, çalışmamız kapsamında yapay zeka algoritmalarıyla geliştirilen modeller, mobil uygulama ve web sitesi ile entegre edilerek hastaların hızlı, basit ve erişilebilir bir şekilde modeli kullanması sağlanabilir.

## VII. KAYNAKLAR

### KİTAPLAR

- BALABAN, M. E. VE KARTAL, E. (2015). **Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi**, İstanbul: Çağlayan Kitabevi
- BARR, A., FEİGENBAUM, E. A., & COHEN, P. R. (Eds.). (1981). **The handbook of artificial intelligence** (Vol. 3). HeurisTech Press.
- BOWKER, L. & PEARSON, J. (2002). **Working with specialized language: A practical guide to using corpora**. New York, Routledge, pp. 15-29. ISBN 9780415236997
- BURKOV, A. (2021). **100 Sayfada Makine Öğrenmesi Kitabı**. Çev. A. Okatan, T. Karatekin, K. Okatan, İstanbul, Papatya Yayıncılık Eğitim. (Orijinal çalışma basım tarihi 2019)
- DE VILLE, B. (2006). **Decision Trees for Business Intelligence and Data Mining: Using SAS Enterprise Miner**, North Caroline, United States of America: SAS Institute Inc.
- DILLON H. (Ed.). (2001). **Hearing aids** (pp. 255-256, 380), Sydney, Australia: Boomerang Press
- DILLON, H. (2008). **Hearing aids**, Hodder Arnold.
- KATES, J. M. (2008). **Digital hearing aids**. Plural publishing.
- NİLSSON, NİLS J. (2018). **Yapay Zekâ Geçmişi ve Geleceği**, Çev. Mehmet Doğan, İstanbul, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2018.
- RUSSELL, S., NORVIG P. (2010). **Artificial Intelligence a Modern Approach**, Pearson Education Inc., ABD.
- QI, Y. (2012). Random Forest for Bioinformatics. In: Zhang, C., Ma, Y. (eds) **Ensemble Machine Learning**. Springer, New York, NY. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9326-7_11)

SHEARER, A. E., HILDEBRAND, M. S., SMITH, R. J. H. (1993). **Hereditary Hearing Loss and Deafness Overview**. (Ed.: M. P. Adam, D. B. Everman, G. M. Mirzaa, R. A. Pagon, S. E. Wallace, L. J. H. Bean et al.), Seattle: University of Washington

JUHOLA M. (2008). "On machine learning classification of otoneurological data", (Ed: Andersen S.K.) in **eHealth Beyond the Horizon: Get IT There: Proceedings of MIE2008** Stud Health Technol Inform. 2008;136: pp. 211-216. IOS Press

## **MAKALELER**

AGNEW J. (2000). "Digital hearing aid terminology made simple: A handy glossary", **Hearing Journal**, 53(3), pp. 37-43

ALSHUAIB, WALEED B. JASEM M. AL-KANDARI, & SONIA M. HASAN. (2015). "Classification of hearing loss", **Update On Hearing Loss** pp. 29-37.

ANWAR, M. N. & OAKES, M. P. (2013). "Decision support system for the selection of an ITE or a BTE hearing aid", **International Journal of Computer Applications**, 76(14) pp. 37-42.

ARSLAN, K. (2020). "Eğitimde Yapay Zeka ve Uygulamaları", **Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi**, 11 (1), ss. 71-88. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/baebd/issue/55426/690058>

ATALAY, M. & ÇELİK, E. (2017). "Büyük Veri Analizinde Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Uygulamaları", **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 9 (22), ss. 155-172. DOI: 10.20875/makusobed.309727

BAINBRIDGE, K. E. & RAMACHANDRAN, V. (2014). "Hearing Aid Use Among Older U.S. Adults", **Ear and Hearing**, 35(3), pp. 289-294. doi:10.1097/01.aud.0000441036.

BARDINA, M., VAGANOV, D., & GULEVA, V. (2020). "Sociodemographic features meet interests: on subscription patterns and attention distribution in online social media", **Procedia Computer Science**, 178, pp. 162-171, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.11.018>

- BERTOLI, S., STAEHELİN, K., ZEMP, E., SCHINDLER, C., BODMER, D., & PROBST, R. (2009). "Survey on hearing aid use and satisfaction in Switzerland and their determinants", **International Journal of Audiology**, 48(4), pp. 183–195. doi:10.1080/14992020802572627
- CHISOLM T. H., JOHNSON C. E., DANHAUER J. L., PORTZ L. J. P., ABRAMS H. B., LESNER S., NEWMAN C. W. (2007). "A systematic review of health-related quality of life and hearing aids: Final report of the American Academy of Audiology task force on the health-related quality of life benefits of amplification in adults", **Journal of the American Academy of Audiology**, 18, pp. 151-183
- CLARK, J. (1981). "Uses and abuses of hearing loss classification", **ASHA**, 23, pp. 493–500
- CROWSON, M. G., DIXON, P., MAHMOOD, R., LEE, J. W., SHIPP, D., LE, T., CHAN, T. C. Y. (2020). "Predicting Postoperative Cochlear Implant Performance Using Supervised Machine Learning", **Otology & Neurotology**, 41(8), pp. 1013–1023. doi:10.1097/mao.0000000000002710
- CSERMAK B., ARMSTRONG S. (1999). "Bits, bytes & chips: Understanding digital hearing instruments", **Hearing Review**, 6(1), 8-12
- ÇALIŞ, A., KAYAPINAR, S. & ÇETİNYOKUŞ, T. (2014). "Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları ile Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, 25 (3), pp. 2-19. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/46771/58636>
- EGOLF D.P., ELMER V. CARLSON, PETER L. MADAFFARI, AUGUST F. MOSTARDO (1989). "Design evolution of miniature electroacoustic transducers", **J Acoust Soc Am** 1 November 1989; 86 (S1): S86. <https://doi.org/10.1121/1.2027701>
- DE VILLE, B. (2013), "Decision trees", **WIREs Comput Stat**, 5: pp. 448-455. <https://doi.org/10.1002/wics.1278>

- DECASTRO-GARCIA, N., MUÑOZ CASTAÑEDA, Á. L., ESCUDERO GARCIA, D., & CARRIEGOS, M. V. (2019). “Effect of the sampling of a dataset in the hyperparameter optimization phase over the efficiency of a machine learning algorithm”, **Complexity**, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6278908>
- DEMİRHAN A., KILIÇ Y.A. & İNAN G. (2010) “Tıpta yapay zeka uygulamaları”, **Yoğun Bakım Dergisi** 2010;9(1): ss. 31-4
- DEVECİ A. & ESEN M.F. (2022). “Medikal Sentetik Veri Üretimiyle Veri Dengelemesi”, **İstatistik ve Uygulamalı Bilimler Dergisi**, no. 5, ss. 17-27, Jun. 2022, doi:10.52693/jsas.1105599
- DHALIWAL, S., NAHID, A.-A., & ABBAS, R. (2018). “Effective Intrusion Detection System Using XGBoost”, **Information**, 9(7), 149. <http://dx.doi.org/10.3390/info9070149>
- DILLON, H., BIRTLES, G., & LOVEGROVE, R. (1999). “Measuring the Outcomes of a National Rehabilitation Program: Normative Data for the Client Oriented Scale of Improvement (COSI) and the Hearing Aid User’s Questionnaire (HAUQ)”, **J Am Acad Audiol**, 10(02): 67-79 doi: 10.1055/s-0042-1748459
- DILSIZIAN, S. E., & SIEGEL, E. L. (2013). “Artificial Intelligence in Medicine and Cardiac Imaging: Harnessing Big Data and Advanced Computing to Provide Personalized Medical Diagnosis and Treatment”, **Current Cardiology Reports**, 16:441. doi:10.1007/s11886-013-0441-8
- DUBE, K., & GALLAGHER, T. (2014). “Approach and Method for Generating Realistic Synthetic Electronic Healthcare Records for Secondary Use”, **Lecture Notes in Computer Science**, pp. 69–86. doi:10.1007/978-3-642-53956-5\_6
- ERICKSON BJ, KORFIATIS P, AKKUS Z, KLINE TL. (2017) “Machine Learning for Medical Imaging”, **Radiographics**, Mar-Apr;37(2):505-515. doi: 10.1148/rg.2017160130. Epub 2017 Feb 17. PMID: 28212054; PMCID: PMC5375621.

- EXARCHOS, T. P., RIGAS, G., BIBAS, A., KIKIDIS, D., NIKITAS, C., WUYTS, F. L., FOTIADIS, D. I. (2016). "Mining balance disorders' data for the development of diagnostic decision support systems", **Computers in Biology and Medicine**, 77, pp. 240–248. doi:10.1016/j.compbiomed.2016.08.016
- FOGEL AL, KVEDAR JC. (2018) "Artificial intelligence powers digital medicine", **Npj Digit Med**, pp. 1:5.
- GONCALVES, A., RAY, P., SOPER, B., STEVENS, J., COYLE, L., & SALES, A. P. (2020). "Generation and evaluation of synthetic patient data", **BMC Medical Research Methodology**, 20(1). doi:10.1186/s12874-020-00977-1
- GOODMAN, A. (1965). "Reference zero levels for pure-tone audiometers", **ASHA**, 7, pp. 262–263.
- GOPINATH, B., WANG, J. J., SCHNEIDER, J., BURLUTSKY, G., SNOWDON, J., MCMAHON, C. M., ET AL. (2009). "Depressive symptoms in older adults with hearing impairments: the blue mountains study", **J. Am. Geriatr. Soc.** 57(7), pp. 1306–1308. doi: 10.1111/j.1532-5415.2009.02317.x
- HAMPSON, R. (2012). "Hearing aids", **European Geriatric Medicine**, 3(3), pp. 198-200.
- HANDELMAN GS, KOK HK, CHANDRA RV, RAZAVI AH, LEE MJ, ASADI H. (2018). "eDoctor: machine learning and the future of medicine", **J Intern Med**, Dec;284(6):603-619. doi: 10.1111/joim.12822.
- HAYES, S. H., DING, D., SALVI, R. J., & ALLMAN, B. L. (2013). Anatomy and physiology of the external, middle and inner ear. **Handbook of Clinical Neurophysiology**: New York: Elsevier, pp. 3-23.
- HUANG, C.-Q., DONG, B.-R., LU, Z.-C., YUE, J.-R., LIU, Q.-X. (2010). "Chronic diseases and risk for depression in old age: A meta-analysis of published literature", **Ageing Research Reviews**, 9(2), pp. 131–141. doi:10.1016/j.arr.2009.05.005

- ISAACSON, J., & VORA, N. M. (2003). "Differential diagnosis and treatment of hearing loss". **American Family Physician**, 68(6), pp. 1125-1132.
- JIANG F, JIANG Y, ZHI H, DONG Y, LI H, MA S, WANG Y, DONG Q, SHEN H, WANG Y. (2017) "Artificial intelligence in healthcare: past, present and future", **Stroke Vasc Neurol**. Jun 21;2(4):230-243. doi: 10.1136/svn-2017-000101.
- SANTRA K., CHRISTY C.J., (2012). "GeneticAlgorithm and Confusion Matrix for DocumentClustering", **International Journal of Computer Science Issues**, Vol. 9, Issue 1, No 2, pp: 322-328.
- KARSOLIYA, S. (2012). "Approximating Number of Hidden Layer Neurons in Multiple Hidden Layer BPNN Architecture", **International Journal of Engineering Trends and Technology**, 3, pp. 714-717.
- KAUR H., WASAN S. K. (2006). "Empirical study on applications of data mining techniques in healthcare", **J Comput Sci**, 2: pp. 194–200.
- KIM TS, CHUNG JW. (2013). "Evaluation of age-related hearing loss", **Korean J Audiol**. Sep;17(2): pp. 50-3.
- KOÇ USTALI, N., TOSUN, N. & TOSUN, Ö. (2021). "Makine Öğrenmesi Teknikleri İle Hisse Senedi Fiyat Tahmini", **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, 16 (1), ss. 1-16. DOI: 10.17153/oguiibf.636017
- KORVER, A. M., SMITH, R. J., VAN CAMP, G., SCHLEISS, M. R., BITNER-GLINDZICZ, M. A., LUSTIG, L. R., ... & BOUDEWYNS, A. N. (2017). "Congenital hearing loss", **Nature reviews Disease primers**, 3(1), pp. 1-17.
- KOTSIANTIS, S.B. (2013). "Decision trees: a recent overview", **Artif Intell Rev** 39, pp. 261–283. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9272-4>
- KURNAZ, S., ALJABERY, M.A. (2018). "Predict the type of hearing aid of audiology patients using data mining techniques", **In Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018**, 19–20 June; pp. 1–6.

- SAMUEL, A. L. (1959). "Some studies in machine learning using the game of checkers" **IBM Journal of research and development**, 3(3), pp. 210-229.
- LANSBERGEN S, DRESCHLER WA. (2020). "Classification of Hearing Aids Into Feature Profiles Using Hierarchical Latent Class Analysis Applied to a Large Dataset of Hearing Aids", **Ear Hear**, Nov/Dec;41(6): pp. 1619-1634. doi: 10.1097/AUD.0000000000000410.
- LAPLANTE-LÉVESQUE A., NIELSEN C., JENSEN L. D., NAYLOR G. (2014). "Patterns of hearing aid usage predict hearing aid use amount (data logged and self-reported) and overreport", **Journal of the American Academy of Audiology** 25(2): pp. 187–198. doi: 10.3766/jaaa.25.2.7.
- LEE C. Y., HWANG J. H., HOU S. J., LIU T. C. (2010). "Using cluster analysis to classify audiogram shapes", **International Journal of Audiology** 49(9): pp. 628–633. doi: 10.3109/14992021003796887.
- LEE, C. S., NAGY, P. G., WEAVER, S. J., & NEWMAN-TOKER, D. E. (2013). "Cognitive and System Factors Contributing to Diagnostic Errors in Radiology", **American Journal of Roentgenology**, pp. 611–617. doi:10.2214/ajr.12.10375
- LEE, J. W., & BANCE, M. L. (2019). "Hearing loss", **Practical neurology**, 19(1), pp. 28-35.
- LUPSAKKO A., T., J.KAUTIAINEN, H., & SULKAVA, R. (2004). "The non-use of hearing aids in people aged 75 years and over in the city of Kuopio in Finland", **European Archives of Oto-Rhino-Laryngology**, 262(3), pp. 165–169. doi:10.1007/s00405-004-0789-x
- GUMUS M. AND KIRAN M.S. (2017). "Crude oil price forecasting using XGBoost," **2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)**, Antalya, Turkey, 2017, pp. 1100-1103, doi: 10.1109/UBMK.2017.8093500.



- MELLOR, J., STONE, M. A., & KEANE, J. (2018). "Application of Data Mining to a Large Hearing-Aid Manufacturer's Dataset to Identify Possible Benefits for Clinicians, Manufacturers, and Users", **Trends in Hearing**, 22, 233121651877363. doi:10.1177/2331216518773632
- MENG, X. AND FEIGENBAUM, J. (2020). "Privacy-Preserving XGBoost Inference", **ArXiv**, abs/2011.04789.
- MICHELS T.C., DUFFY M.T., ROGERS D.J. (2019). "Hearing Loss in Adults: Differential Diagnosis and Treatment", **Am Fam Physician**, Jul 15;100(2): pp. 98-108.
- MINTZ, Y., & BRODIE, R. (2019). "Introduction to artificial intelligence in medicine", **Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies**, 28(2), pp. 73-81.
- MOHAGHEGH, S. (2000). "Virtual-Intelligence Applications in Petroleum Engineering: Part -1 Artificial Neural Networks", **J Pet Technol**, pp. 52:64–73. doi: <https://doi.org/10.2118/58046-JPT>
- MYBURGH, H. C., VAN ZIJL, W. H., SWANEPOEL, D., HELLSTRÖM, S., & LAURENT, C. (2016). "Otitis Media Diagnosis for Developing Countries Using Tympanic Membrane Image-Analysis", **EBioMedicine**, 5, pp. 156–160. doi:10.1016/j.ebiom.2016.02.017
- ÖCAL E.E., EMRAH A., ÖNSÜZ M.F., ALGIN F., ÇOKYİĞİT F.K., KILINÇ S., ET AL. (2020). "Tıp Fakültesi Öğrencilerinin Tıpta Yapay Zeka ile İlgili Düşünceleri", **Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Derg.** 2020;2(1): pp. 9–16.
- ÖZLÜER BAŞER, B., YANGIN, M. & SARIDAŞ, E. S. (2021). "Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Diyabet Hastalığının Sınıflandırılması", **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 25 (1), pp. 112-120. DOI: 10.19113/sdufenbed.842460
- PANCHEV C., ANWAR M. N., OAKES M. (2013). "Hearing aid classification based on audiology data, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 375–380. ISBN 978-3-642-40728-4. doi: 10.1007/978-3-642-40728-4\_47.

- PANCHEV, C., ANWAR, M. N., & OAKES, M. (2013). "Hearing aid classification based on audiology data". In **Artificial Neural Networks and Machine Learning–ICANN 2013: 23rd International Conference on Artificial Neural Networks** Sofia, Bulgaria, September 10-13, Proceedings 23 (pp. 375-380). Springer Berlin Heidelberg.
- PATEL, V. L., SHORTLIFFE, E. H., STEFANELLI, M., SZOLOVITS, P., BERTHOLD, M. R., BELLAZZI, R., & ABU-HANNA, A. (2009). "The coming of age of artificial intelligence in medicine", **Artificial intelligence in medicine**, 46(1), pp. 5-17. doi:10.1016/j.artmed.2008.07.017
- PICOU EM. (2020) MarkeTrak 10 (MT10) Survey Results Demonstrate High Satisfaction with and Benefits from Hearing Aids. *Semin Hear.* 2020 Feb;41(1):21-36. doi: 10.1055/s-0040-1701243. Epub 2020 Feb 10. PMID: 32047346; PMCID: PMC7010487. S:21
- PICOU, E. M. (2020). "MarkeTrak 10 (MT10) survey results demonstrate high satisfaction with and benefits from hearing aids", In **Seminars in Hearing**, Vol. 41, No. 01, pp. 021-036. Thieme Medical Publishers.
- RAMESH, A. N., KAMBHAMPATI, C., MONSON, J. R., & DREW, P. J. (2004). "Artificial intelligence in medicine", **Annals of the Royal College of Surgeons of England**, 86(5), pp. 334-338. doi: 10.1308/147870804290
- RENGANATHAN V. (2019). "Overview of artificial neural network models in the biomedical domain", **Bratisl Lek Listy**. 2019;120(7): pp. 536-540. doi: 10.4149/BLL\_2019\_087.
- RODRIGO H, BEUKES EW, ANDERSSON G, MANCHAI AH V. (2021). "Exploratory data mining techniques (decision tree models) for examining the impact of internet-based cognitive behavioral therapy for tinnitus: Machine learning approach", **J. Med. Internet Res.** 2021;23(11):e28999. doi: 10.2196/28999.
- LEK, S., & PARK, Y. S. (2008). "Artificial neural networks", In **Encyclopedia of Ecology**, Five-Volume Set, pp. 237-245. Elsevier Inc.

- SINGH, G., & LAUNER, S. (2016). "Social context and hearing aid adoption", **Trends in Hearing** 20: pp. 1–10. doi: 10.1177/2331216516673833.
- SMITH, R. J., BALE, J. F., WHITE, K. R. (2005). "Sensorineural hearing loss in children". **The Lancet**, 365(9462), pp. 879-890.
- STARK, P. AND HICKSON, L. (2004). "Outcomes of hearing aid fitting for older people with hearing impairment and their significant others", **International Journal of Audiology**, 43(7), pp. 390–398. doi:10.1080/14992020400050050
- STRAWBRIDGE, W. J., WALLHAGEN, M. I., SHEMA, S. J. AND KAPLAN, G. A. (2000). "Negative Consequences of Hearing Impairment in Old Age", **The Gerontologist**, 40(3), pp. 320–326. doi:10.1093/geront/40.3.320
- SWANEPOEL, D., & CLARK, J. L. (2019). "Hearing healthcare in remote or resource-constrained environments", **The Journal of Laryngology & Otology**, 133(1), pp. 11-17.
- TIMMER B., HICKSON L., LAUNER S. (2017) "Hearing aid use and mild hearing impairment: Learnings from big data", **Journal of the American Academy of Audiology** 28: pp. 731–741. doi: 10.3766/jaaa.16104.
- ULUÇ, S. (2007). "ROC Analizi I: Özgüllük, Duyarlılık, pozitif yordayıcı değer ve negatif yordayıcı değer hesaplamaları", **Türk Psikoloji Bülteni**, 13(40), pp. 26-31.
- VUORIALHO, A., KARINEN, P. AND SORRI, M. (2006). "Counselling of hearing aid users is highly cost-effective", **European Archives of Oto-Rhino-Laryngology**, 263(11), pp. 988–995. doi:10.1007/s00405-006-0104-0
- WALCZAK, S. AND CERPA, N. (2003). "Artificial Neural Networks", **Encyclopedia of Physical Science and Technology**, pp. 631–645. doi:10.1016/b0-12-227410-5/00837-1

- WILSON, H. J., & DAUGHERTY, P. R. (2018). "Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces", **Harvard Business Review**, 96(4), pp. 114-123.
- WIMALARATHNA, H., ANKMNAL-VEERANNA, S., ALLAN, C., AGRAWAL, S. K., ALLEN, P., SAMARABANDU, J., & LADAK, H. M. (2021). "Comparison of machine learning models to classify auditory brainstem responses recorded from children with auditory processing disorder". **Computer methods and programs in biomedicine**, 200, 105942.
- WIMALARATHNA, H., ANKMNAL-VEERANNA, S., DUONG, M., ALLAN, C., AGRAWAL, S. K., ALLEN, P., ... & LADAK, H. M. (2023). "Using machine learning to assist auditory processing evaluation", **Frontiers in Audiology and Otology**, 1. doi: 10.3389/fauot.2023.1215965
- YALE, A., DASH, S., DUTTA, R., GUYON, I., PAVAO, A., & BENNETT, K. P. (2020). "Generation and evaluation of privacy preserving synthetic health data", **Neurocomputing**, 416, pp. 244-255. doi:10.1016/j.neucom.2019.12.136
- YAMASOBA, T., LIN, F. R., SOMEYA, S., KASHIO, A., SAKAMOTO, T., & KONDO, K. (2013). "Current concepts in age-related hearing loss: epidemiology and mechanistic pathways", **Hearing research**, 303, pp. 30-38.
- YANG, L., & SHAMI, A. (2020). "On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice", **Neurocomputing**, 415, pp. 295-316. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.07.061>
- ZHAO, Y., LI, J., ZHANG, M., LU, Y., XIE, H., TIAN, Y., & QIU, W. (2018). "Machine learning models for the hearing impairment prediction in workers exposed to complex industrial noise: a pilot study", **Ear and Hearing**.

## **ELEKTRONİK KAYNAKLAR**

IBM “What is deep learning?” <https://www.ibm.com/topics/deep-learning> (Erişim Tarihi: 01 Haziran 2023)

REPORTLINKER (2022) “Global Synthetic Data Generation Market Size, Share & Industry Trends Analysis Report By Application, By Offering, By Data Type, By Modeling Type, By End-use, By Regional Outlook and Forecast, 2022 - 2028”, <https://www.reportlinker.com/p06364778/Global-Synthetic-Data-Generation-Market-Size-Share-Industry-Trends-Analysis-Report-By-Application-By-Offering-By-Data-Type-By-Modeling-Type-By-End-use-By-Regional-Outlook-and-Forecast.html> (Erişim Tarihi: 10 Ağustos 2023)

WHO (2023) “Deafness and hearing loss”, <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/deafness-and-hearing-loss> (Erişim Tarihi: 10 Ağustos 2023)

MCCARTHY, J. (2004). “What is artificial intelligence?” <http://wwwformal.stanford.edu/jmc/whatisai/>. (Erişim Tarihi: 11 Kasım 2019)

## **TEZLER**

BEKOLAY, T. (2011) Learning in large-scale spiking neural networks (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) University of Waterloo Master of Mathematics in Computer Science Waterloo, Ontario, Canada.

BILIM Y.B. (2023) Artificial Neural Network Tool Development For Flue Gas Sequestration in Depleted Shale Oil Reservoirs (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) Istanbul Technical University Graduate School Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Istanbul.

DEMİRTÜRK S. (2023) Makine Öğreniminde Sınıflandırma Yöntemleri Kullanılarak Ulaşım Kartı Suistimalinin Tespit Edilmesi (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun

MAĞARA S.S. (2023) Privacy-preserving XGBoost inference with homomorphic encryption. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi) Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

### **Diğer Kaynaklar**

ANWAR, M. N. & OAKES, M. P. (2011). “Data mining of audiology patient records: Factors influencing the choice of hearing aid type”, Proceedings of the ACM Fifth International Workshop on Data and Text Mining in Biomedical Informatics, DTMBIO '11, pp. 11–18. New York, NY: ACM. doi:10.1145/2064696.2064701.

BARDENET, R., BRENDEL, M., KÉGL, B., & SEBAG, M. (2013). “Collaborative hyperparameter tuning”, In Proceedings of the 30th International Conference on International Conference on Machine Learning- Volume 28 (ICML'13). Acm Press, 28, pp.199-207.

CHEN T. & GUESTRIN C. (2016). “XGBoost: A Scalable Tree Boosting System”, In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

## **EKLER**

**Ek-1:** Etik Kurul Raporu

## Ek-1 Etik Kurul Raporu



T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI

Sayı : B.30.2.AYD.0.00.00-050.06.04/101  
Konu : Karar hk.

30.06.2022

Sayın, Prof. Dr. Bahriye Özlem KONUKSEVEN

İstanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun **30.06.2022** tarihinde yapılan olağan toplantısında danışmanlığını yürüttüğünüz "Ümit Can Çetinkaya" isimli öğrencinize ait "İşitme Kayıplı Hastalar İçin Makine Öğrenmesi İle İşitme Cihazı Seçim Sisteminin Geliştirilmesi" konulu doktora tez çalışmanız ile ilgili alınan **2022/101** no'lu karar gereği; başvuru dosyanız ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenerek etik yönden oy birliğiyle uygun bulunmuş olup tutanaklar ekte sunulmuştur. Bilgilerinize sunarım.

Prof. Dr. Erman Bülent TUNCER  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar  
Etik Kurulu Başkanı



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı:** Ümit Can ÇETİNKAYA

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans :** 2017, İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Odyoloji

**Yüksek Lisans :** 2019, İstanbul Aydın Üniversitesi, Odyoloji

### Yüksek Lisans Tez Başlığı ve Tez Danışmanı:

**Tez adı:** Türkçe Gürültüde Sayı Testi Mobil Uygulamasının Geliştirilmesi ve Etkinliğinin Değerlendirilmesi

**Tez Danışmanı:** Prof. Dr. Özlem KONUKSEVEN

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

#### A. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

- A1. ÇETİNKAYA ÜMİT CAN, KAYIKCI HÜSNÜ, MERAL MERVE, KARTAL AHSEN, ULUDAĞ BÜŞRA, ADALI İNCİ, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2019). Evaluation Of Hearing And Balance System In Childhood With Chronic Renal Failure. 14th Congress of the European Federation of Audiology Societies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6251176)
- A2. ADALI İNCİ, ÇETİNKAYA ÜMİT CAN, MERAL MERVE, KARTAL AHSEN, ULUDAĞ BÜŞRA, ÖZAL BARIŞ TANSU, GÜN ÖZGE MELİKE, ÖZKARAKAŞ HALUK, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2019). What are the Differences Between Canalolithiasis and Cupulolithiasis in patients with BPPV: Latency, Direction, Duration and Age Distribution. 14th Congress of the European Federation of Audiology Societies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6251170)

- A3. MERAL MERVE, KARTAL AHSEN, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, ULUDAĞ BÜŞRA, ADALI İNCİ, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2019). Age-Related Treatment Effect On Sudden Hearing Loss. 14th Congress of the European Federation of Audiology Societies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6251166)
- A4. KARTAL AHSEN, ULUDAĞ BÜŞRA, MERAL MERVE, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, ŞAFAKOĞLU EYÜP HAKAN, TEKİNAY BETÜL, MOLA MUSTAFA, ADALI İNCİ, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2019). C-VEMP Test Parameters in Patients with Motion Sickness:Latency, Amplitude and Asymmetric Ratio. 14th Congress of the European Federation of Audiology Societies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6251174)

**B. Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:**

- B1. Adım Adım Tıbbi Makale Nasıl Yazılır?, Bölüm adı:(Bilimsel Makalelerde Giriş Nasıl Yazılır?) (2021)., **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, KAYA ŞULE, US Akademi, Editör:KONUKSEVEN ÖZLEM, Basım sayısı:1, ISBN:978-605- 0627-57-2, Türkçe(Bilimsel Kitap), (Yayın No: 7059453)
- B2. Temel Vestibüler Rehabilitasyon El Kitabı, Bölüm adı:(Vestibüler Rehabilitasyonda Ölçme ve Değerlendirme Anketler) (2020)., **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, KARTAL AHSEN, US Akademi, Editör:Bahriye Özlem Konukseven, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-9358-71-2, Türkçe(Bilimsel Kitap), (Yayın No: 6195650)

**C. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:**

- C1. KARTAL AHSEN, MERAL MERVE, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, TERLEMEZ ŞENGÜL (2022). Odyoloji Öğrencilerinin Mesleğe Karşı Tutumlarında Pandemi Sürecinin Etkisi: Kesitsel Çalışma. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 10(2), 616-626., Doi: 10.33715/inonusaglik.1029674 (Kontrol No: 7850570)
- C2. MERAL MERVE, KARTAL AHSEN, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, ÇIKRIKCI RAHİME NÜKHET (2022). Odyolog Adayı Öğrencilerin

Odyoloji Mesleğine İlişkin Tutum Ölçeği: Geçerlilik ve Güvenilirlik Çalışması. Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(7), 473-483., Doi: 10.5336/healthsci.2021-83282 (Kontrol No: 7160723)

**D. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan**

**bildiriler:**

- D1. KARTAL AHSEN, MERAL MERVE, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, TERLEMEZ ŞENGÜL (2021). COVID-19 Pandemi Sürecinde Odyoloji Öğrencilerinin Mesleğe Karşı Tutumlarının İncelenmesi. Marmara Odyoloji Günleri (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:7059445)
- D2. KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM, MERAL MERVE, ŞAFAKOĞLU EYÜP HAKAN, TEKİNAY BETÜL, MOLA MUSTAFA, KARTAL AHSEN, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, ADALI İNCİ, DİNÇER D'ALESSANDRO HİLAL (2018). Hareket Hastalığı Duyarlılığının Latans, Şiddet ve Asimetri Oranı İle Değerlendirilmesi. 9. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6195666)
- D3. ADALI İNCİ, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, MERAL MERVE, KARTAL AHSEN, DİNÇER D'ALESSANDRO HİLAL, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2018). 500 Hz Tone Burst Uyarı İle Yapılan İşitsel Beyin Sapı Yanıtlarında Polarite Değişikliğinin Latans, Uyarı Şiddeti ve Morfoloji Üzerine Etkisi. 9. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6195669)
- D4. KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM, KOMAR ELİF, KABASAKAL AŞYENUR, MERAL MERVE, **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN**, KARTAL AHSEN, KAYA ŞULE, ADALI İNCİ, DİNÇER D'ALESSANDRO HİLAL (2018). İşitme Taramasında Yeni Bir Yöntem: Normal İşiten Bireylerde Self Servis İşitme Tarama Sonuçları. 9. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6195659)

- D5. **ÇETİNKAYA ÜMİT CAN, KÖSE BÜŞRA, POLAT ZAHRA, KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM (2018).** Odyoloji Lisans Öğrencileri Memnuniyet Araştırması. 9. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6250970)
- D6. **KONUKSEVEN BAHİRİYE ÖZLEM, ÖZYÜREK HÜLYA, KARSTARLI CANSU, ERDEM GÜLSÜM, MERAL MERVE, ÇETİNKAYA ÜMİT CAN, KARTAL AHSEN, KAYA ŞULE, ADALI İNCİ, DİNÇER D'ALESSANDRO HİLAL (2018).** İşitme Kayıplı Bireylerde Self Servis İşitme Tarama Sonuçları. 9. Ulusal Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:6195664)