

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULANAN ODYOGRAMLARIN YAPAY SİNİR  
AĞLARI VE KOŞULLU İFADELERLE İŞİTME KAYBI TİPİ VE  
DERECESİ YORUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

Odyoloji Anabilim Dalı  
Odyoloji Programı

Mart, 2022

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULANAN ODYOGRAMLARIN YAPAY SİNİR  
AĞLARI VE KOŞULLU İFADELERLE İŞİTME KAYBI TİPİ VE  
DERECESİ YORUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf FAKİRULLAHOĞLU  
(Y1716.070023)

Odyoloji Anabilim Dalı  
Odyoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. B. Özlem KONUKSEVEN

Mart, 2022

# ONAYFORMU



## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Görüntü İşleme Uygulanan Odyogramların Yapay Sinir Ağları Ve Koşullu İfadelerle İşitme Kaybı Tipi Ve Derecesi Yorumlarının Karşılaştırılması” 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 oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (15/03/2022)

Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgilerini bizlerle özveriyle paylaşan, gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Özlem KONUKSEVEN'e bana farklı bakış açıları kattığı ve öğrettiği tüm bilgiler için şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmamda mühendislik alanındaki bilgilerinden faydalandığım, kendisine her danıştığım da bana kıymetli zamanını ayırıp sabır ve ilgiyle yardımcı olan Prof. Dr. Adem ÖZYAVAŞ hocama teşekkür ederim. Lisans eğitimim boyunca bizlere kattıkları her şey için Dr. Öğr. Üyesi İnci ADALI hocama teşekkür ederim.

Bana faydalı olabilmek için elinden geleni yapan ve gelecekteki yaşamında da çok başarılı olacağına inandığım dostum Ümit Can ÇETİNKAYA'ya teşekkür ederim. Verdiği desteklerden dolayı değerli dostum Şahatay ÇELİK'e ve çalışmamın hazırlanma sürecinde bilgisini esirgemeyerek bana yardımcı olan Ahmet Yasin DIŞÇI'ye teşekkür ederim.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarıma, arkadaşlarıma ve adını sayamadığım emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak bu hayattaki en büyük şansım olan, desteklerini her an hissettiğim, canım aileme ve hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmamda da bana yardımcı olan kıymetli eşim, yârim, Gülfem FAKİRULLAHOĞLU'na sonsuz teşekkürler.

Mart, 2022

Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

# GÖRÜNTÜ İŞLEME UYGULANAN ODYOGRAMLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI VE KOŞULLU İFADELERLE İŞİTME KAYBI TİPİ VE DERECEİ YORUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

## ÖZET

**Amaç:** Dişçi ve Konukseven (2021), odyogramların işitme kaybı türü ve derecesi belirlenmesinde, yapay sinir ağları ve koşullu ifadeler kullanan mobil uygulama metotlarını karşılaştırmış ve doğruluk oranlarını yapay sinir ağında işitme kaybı türü ve derecesini sırasıyla %94,50 ve %95, koşullu ifadelerde %96,40 ve %100 olarak oldukça yüksek elde etmiştir. Ancak mobil uygulamada, işitme eşikleri dB seviyeleri yazılarak girilmektedir. Mobil uygulamayı kullanan bireylerin işitme eşik dB seviyelerini yazarak doğru girmeleri problem olabilir. Bu bağlamda web uygulamalarında odyogramların fotoğraflarından veya pdf sonuçlarından sağ ve sol kulak işitme eşiklerinin görüntü işleme algoritmalarıyla veri seti oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmanın amacı, odyometre test sonuçlarından görüntü işleme uygulamasıyla veri seti oluşturmak ve bilgisayar tabanlı iki farklı metodun; makine öğrenmesi ve koşullu ifadeler; işitme kaybı türü ve derecesi yönünden elde edilen sonuçlarını karşılaştırmaktır.

**Metot:** Çalışmada 1000 adet odyograma görüntü işleme algoritmaları uygulanmış ve frekans ile desibel değerlerinin belirlendiği bir veri seti haline getirilmiştir. Bu veri seti, alanında uzman odyologlar tarafından işitme kaybı derecesi ve türü yönünden etiketlenmiştir. Veri setinin her bir satırındaki işitme eşikleri, koşullu yapılarla döngüye girerek işitme kaybı türü ve derecesi belirlenmektedir. Yapay sinir ağları algoritması için Python programlama dili kullanılmıştır. Veri setindeki odyogramların 800 tanesi makineyi eğitmek için kullanılırken 200 tanesi makine sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmıştır.

**Bulgular:** Yapay zeka ile işitme kaybı tipi belirlemede toplamda %89,50 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %86,79, mikst tip işitme

kaybı %85,00 iletim tip işitme kaybı %89,19, normal işitmede %94,29 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Yapay zeka ile işitme kaybının derecesini belirlemede toplamda %89,00 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %75,00, ileri derecede işitme kaybında %81,81, orta-ileri derecede işitme kaybında %89,49, orta derecede işitme kaybında %90,00, hafif derecede işitme kaybında %86,11, normal işitmede %94,29 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Koşullu ifadeler ile işitme kaybı tipi belirlemede toplamda %96,20'lik doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %93,63, mikst tip işitme kaybı %93,87, iletim tip işitme kaybı %95,65, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Koşullu ifadeler ile işitme kaybının derecesini belirlemede toplamda %100'lük doğruluk oranı elde edilmiştir.

**Sonuç:** Görüntü işleme algoritmalarıyla odyogramların işitme eşik dB seviyeleri belirlenerek veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinin işitme kaybı tipi ve derecesi yorumlanmasında koşullu ifadelerle elde edilen doğruluk oranı yapay sinir ağı algoritmasına göre daha yüksek elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, İşitme Kaybı, Makine Öğrenmesi, Koşullu İfadeler

# COMPARISON OF THE TYPE AND DEGREE OF HEARING LOSS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND CONDITIONAL EXPRESSIONS OF AUDIOGRAMS APPLIED TO IMAGE PROCESSING

## ABSTRACT

**Purpose:** Dişçi and Konukseven (2021) compared mobile application methods using artificial neural networks and conditional expressions to determine the type and degree of hearing loss in audiograms and compared the accuracy rates of the type and degree of hearing loss in the artificial neural network with 94,50% and 95% conditional expressions, 96,40% and 100%, respectively. achieved quite high. However, in the mobile application, hearing thresholds are entered by typing dB levels. It may be a problem for individuals using the mobile application to enter their hearing threshold dB levels correctly. In this context, the need to create a data set with image processing algorithms of right and left ear hearing thresholds has arisen from photos of audiograms or pdf results in web applications. The aim of this study is to create a data set from audiometer test results with image processing application and to use two different computer-based methods; machine learning and conditional expressions; To compare the results obtained in terms of the type and degree of hearing loss.

**Method:** In the study, image processing algorithms were applied to 1000 audiograms and they were turned into a data set in which frequency and decibel values were determined. This data set has been labeled by specialist audiologists in terms of the degree and type of hearing loss. Hearing thresholds in each row of the dataset are looped with conditional expressions to determine the type and degree of hearing loss. Python programming language was used for artificial neural network algorithm. Of the audiograms in the dataset, 800 were used to train the machine, while 200 were used to check the accuracy of the machine results.

**Results:** A total of 89.50% accuracy rate was obtained in determining the type of hearing loss with artificial intelligence. The accuracy rate was 86.79% for

sensorineural hearing loss, 85.00% for mixed hearing loss, 89.19% for conductive hearing loss, and 88.57% for normal hearing.

A total of 89.00% accuracy rate was obtained in determining the degree of hearing loss with artificial intelligence. 75.00% in profound hearing loss, 81.81% in severe hearing loss, 89.49% in moderately severe hearing loss, 90.00% in moderate hearing loss, 86.11% in mild hearing loss, and in normal hearing An accuracy rate of 94.29% was obtained.

A total of 92.80% accuracy rate was obtained in determining the type of hearing loss with conditional expressions. The accuracy rate was 91.39% for sensorineural hearing loss, 90.14% for mixed hearing loss, 93.48% for conductive hearing loss, and 95.24% for normal hearing.

A total of 100% accuracy rate was obtained in determining the degree of hearing loss with conditional statements.

**Conclusion:** The data set was created by determining the hearing threshold dB levels of the audiograms with image processing algorithms. The accuracy rate obtained with conditional expressions in the interpretation of hearing loss type and degree of this data set was higher than the artificial neural network algorithm.

**Keywords:** Image Processing, Hearing Loss, Machine Learning, Conditional Expressions

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ONUR SÖZÜ .....	i
ÖNSÖZ.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
I. GİRİŞ .....	1
II. GENEL BİLGİLER.....	7
A. Normal İşitme .....	7
B. İşitme Kaybı.....	7
1. İşitme Kaybı Tipleri .....	8
a. İletim tipi işitme kaybı (İTİK) .....	8
b. Sensörinöral işitme kaybı (SNİK) .....	8
c. Mikst tip işitme kaybı .....	9
d. Fonksiyonel (Non-organik) işitme kaybı.....	10
e. Santral işitme kaybı .....	10
2. İşitme Kaybı Derecelendirmesi.....	10
3. İşitmenin Değerlendirilmesi.....	10
a. Saf ses odyometri .....	11

b. Konuşma odyometrisi.....	11
4. Yapay Zeka .....	13
a. Makine öğrenmesi .....	13
5. Odyoloji Alanında Makine Öğrenmesi ve Görüntü İşleme Kullanımı .....	19
<b>III. GEREÇ VE YÖNTEMLER.....</b>	<b>22</b>
A. Çalışma İzni ve Etik Kurul Onayı .....	22
B. Çalışmanın Örnekleme .....	22
C. Örneklemin Demografik Özellikleri.....	23
D. Çalışma Planı .....	24
1. Odyogramların Elde Edilmesi.....	24
2. Görüntü İşleme Algoritmalarının Oluşturulması.....	24
a. HSB renk uzayı.....	24
b. Ayrık küme ormanı.....	25
c. Morfolojik görüntü işleme.....	26
d. Şablon eşleştirme yöntemi.....	27
e. OTSU metodu.....	28
3. Görüntü İşleme Algoritmalarının Çıktısı Olarak Veri Setinin Oluşturulması.....	30
4. Makine Öğrenmesi ile Yapay Sinir Ağları Algoritmalarının Oluşturulması.....	32
5. Makine Öğrenmesinin Eğitilip Test Edilmesi.....	33
6. Koşullu İfadelerin Oluşturulması.....	33
7. Koşullu İfadelerin Test Edilmesi .....	35
8. Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerin Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	37
<b>IV. BULGULAR.....</b>	<b>38</b>
A. Görüntü İşleme Algoritmalarıyla Yapay Sinir Ağları Doğruluk Ölçümü .....	38
B. Görüntü İşleme Algoritmalarıyla Koşullu İfadeler Doğruluk Ölçümü .....	38

C. Görüntü İşleme ile Yapay Sinir Ağları ve Koşullu İfadeler Doğruluk Oranlarının Karşılaştırılması.....	39
D. Görüntü İşlemenin Doğruluk Oranları.....	40
1. Frekans Bazında Doğruluk Oranı .....	40
2. Odyogram Bazında Doğruluk Oranı .....	41
<b>V. TARTIŞMA .....</b>	<b>42</b>
<b>VI. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>48</b>
<b>VII.KAYNAKÇA .....</b>	<b>50</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>56</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>64</b>

## KISALTMALAR

<b>ABR</b>	: İşitsel beyin sapı cevabı
<b>dB</b>	: Desibel
<b>DSÖ</b>	: Dünya Sağlık Örgütü
<b>HSB</b>	: Hue, Saturation, Brightness
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>İTİK</b>	: İletim tipi işitme kaybı
<b>KBH</b>	: kronik böbrek hastalığı
<b>kHz</b>	: KiloHertz
<b>MCL</b>	: Most Comfortable Loudness
<b>Mm</b>	: Milimetre
<b>Ms</b>	: Milisaniye
<b>nV</b>	: Nanovolt
<b>RGB</b>	: Red, Green, Blue
<b>SD</b>	: Speech Discrimination
<b>SNİK</b>	: Sensörinöral işitme kaybı
<b>SPL</b>	: Sound Pressure Level
<b>SRT</b>	: Speech Reception Treshold
<b>SSO</b>	: saf ses ortalaması
<b>UCL</b>	: Uncomfortable Loudness
<b>YSA</b>	: Yapay sinir ağları

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.	Makine öğrenmesi metotlarıyla yapılmış odyolojik çalışmalar .....	4
Çizelge 2.	İşitme kaybı derecelendirmesi.....	10
Çizelge 3.	İlişkisel Operatörler.....	18
Çizelge 4.	Mantıksal Operatörler .....	19
Çizelge 5.	Örneklemin işitme kaybı türüne göre demografik özellikleri .....	23
Çizelge 6.	Örneklemin işitme kaybı derecesine göre demografik özellikleri .....	23
Çizelge 7.	Koşullu ifadeler ve yapay sinir ağları doğruluk oranları .....	40
Çizelge 8.	Görüntü işleminin frekans bazında doğruluk oranları.....	41

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.	Sağ ve sol kulakta normal hava-kemik işitme eşiklerine sahip odyogram grafiği .....	7
Şekil 2.	Sol kulak normal, sağ kulak iletim tipi işitme kayıplı odyogram grafiği..	8
Şekil 3.	Bilateral asimetric SNİK odyogram grafiği .....	9
Şekil 4.	Sağ kulak mikst tip işitme kaybı odyogram grafiği .....	9
Şekil 5.	Nöron hücresi ve yapay sinir ağı yapısı .....	17
Şekil 6.	HSB metodu ile kırmızı ve mavi piksellerin odyogramdan elde edilmesi	25
Şekil 7.	Sağ kulak grafiğinin elde edilmesi ve ikili (binary) resme dönüştürülmesi	27
Şekil 8.	Sol kulak değerlerinin merkez noktalarının hesaplanması.....	28
Şekil 9.	OTSU metoduyla görüntünün siyah-beyaz hale getirilmesi .....	29
Şekil 10.	Yatay doğrultu histogramı.....	29
Şekil 11.	Dikey doğrultu histogramı .....	30
Şekil 12.	Odyogramların işitme kaybı derecesine göre etiketlenmesi .....	31
Şekil 13.	Odyogramların işitme kaybı tipine göre etiketlenmesi .....	31
Şekil 14.	Yapay sinir ağının işitme kaybı derecesine göre modellenmesi .....	32
Şekil 15.	Yapay sinir ağının işitme kaybı türüne göre modellenmesi.....	32
Şekil 16.	Yapay zeka ve etiketlenmiş veri setinin karşılaştırılması .....	33
Şekil 17.	Hava yolu ve kemik yolu saf ses ortalaması hesaplanması.....	34
Şekil 18.	İşitme kaybı derecesi için integer değer ataması.....	34
Şekil 19.	İşitme kaybı türü için integer değer ataması .....	34
Şekil 20.	Koşullu ifadelerle oluşturulan normal işitme bloğu.....	35

Şekil 21.	Koşullu ifadelerle oluşturulan işitme kaybı türü blokları.....	36
Şekil 22.	Koşullu ifadelerle oluşturulan işitme kaybı derecesi blokları.....	36
Şekil 23.	İşitme kaybı türüne göre tahmin çıktısı.....	37
Şekil 24.	İşitme kaybı derecesine göre tahmin çıktısı .....	37
Şekil 25.	Yapay sinir ağı algoritmasının işitme kaybı tipi skoru .....	38
Şekil 26.	Yapay sinir ağı algoritmasının işitme kaybı derecesi skoru.....	38
Şekil 27.	Koşullu ifadelerin işitme kaybı türü için toplam doğru ve yanlış tahmin sayısı .....	39
Şekil 28.	Koşullu ifadelerin işitme kaybı derecesi için toplam doğru ve yanlış tahmin sayısı .....	39

## I. GİRİŞ

İşitme süreci, sesin kulak kepçesi tarafından toplanmasıyla başlar ve sesin dış kulak yoluna iletilmesiyle devam eder. Kulak zarı titreşir ve orta kulaktaki kemikçikler sesi iç kulağa iletir. İç kulaktan işitme siniri, beyin sapı ve kortekse elektriksel uyarılar gönderilir ve nihayetinde işitme gerçekleşmiş olur. Bu süreç içerisinde herhangi bir noktada problem oluşması işitme kaybı (İK) oluşacağı anlamına gelir.

İşitme kaybı, bireyleri iletişim, sosyal yaşam, bilişsel durum, akademik başarı ve istihdam konularında kötü etkilemekte ayrıca toplum ve ekonomi üzerine de olumsuz etkilere sahip olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) yayınladığı Dünya İşitme Raporu verilerine göre tanılanmamış işitme kaybının yıllık küresel maliyeti 980 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Buna işitme cihazlarının maliyeti hariç sağlık sektörü maliyetleri, eğitim desteği maliyetleri, üretkenlik kaybı ve toplumsal maliyetler dahildir (WHO, 2021b).

Yaşamın herhangi bir döneminde işitme kaybı çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilir. Kulak enfeksiyonları, kafa travmaları, genetik faktörler, ototoksik ilaç kullanımı, sigara, yaş, hipoksi, yüksek sese maruziyet işitme kaybı risk faktörlerinden bazılarıdır. DSÖ yayınladığı raporda işitme sağlığını korumak için; sağlıklı beslenme, kişisel hijyen ve kulak hijyeni, bebeğin anne sütüyle beslenmesi, vaktinde aşılama, tütünden kaçınma, yüksek seslerden ve gürültüden kaçınma gibi önerilerde bulunmuştur (WHO, 2021b). Dünya İşitme Raporu lansmanında küresel çapta 430 milyondan fazla insanın işitme kaybından etkilendiği belirtilmiştir (WHO, 2021a). Aynı zamanda Dünya İşitme Raporunda çocuklarda görülen işitme kayıplarının %60 oranında önlenebilir sebeplere bağlı olduğu tahmin edilmiştir (WHO, 2021b).

Erken teşhis işitme kaybının olumsuz etkilerini minimuma indirmek için kritik öneme sahiptir. Amerika'da 2000 yılından bu yana devlet destekli tarama programı sürdürülmektedir. 2006'dan beri İngiltere'de yenidoğan işitme taraması uygulanmaktadır. Almanya'da yenidoğan işitme taraması 1 Ocak 2009'dan beri

zorunludur. Rusya'da yenidoğan işitme taraması 2008 yılında ulusal sağlık programına dahil edilmiştir (WHO, 2009). Türkiye'de ise yenidoğan işitme tarama programı Ankara Zübeyde Hanım Doğum Hastanesinde, 29.09.2000 tarihinde pilot program olarak başlatılmıştır. 2008 yılından bu yana 81 ilde, doğum yapılan kamu, özel ve üniversite sağlık kurumlarında ulusal program halinde uygulanmaktadır (*Yenidoğan işitme tarama programı*, 2017).

İşitme kaybı doğuştan olabileceği gibi sonradan da oluşabilmektedir. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte kişinin kendi işitme takibini yapabilmesini kolaylaştırmak amacıyla bazı uygulamalar geliştirilmiştir.

(DİŞÇİ, 2021) yılında yaptığı çalışmada yapay sinir ağları ve koşullu ifadeler yöntemlerini kullanarak işitme kaybının tipini ve derecesini belirlemeyi hedeflemiştir. 1000 adet saf ses odyometre testinin sonucu veri setine dahil edilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA) için veri setinin %80'i eğitim verisi, %20'si ise test verisi olarak rastgele ayrılmıştır. Koşullu ifadelerle işitme kaybı tipi ve derecesini belirleyebilmek amacıyla döngüler oluşturulmuştur. İşitme kaybı tipi belirlemede yapay zeka ile %94,50 doğruluk oranı, koşullu ifadelerle ise %96,4'lük doğruluk oranı elde edilmiştir. İşitme kaybı derecesi belirlemede ise yapay zeka ile %95 doğruluk ve koşullu ifadelerde %100'lük doğruluk oranı elde edilmiştir.

(Er, 2020) yılında işitme kaybı tipini yapay sinir ağı algoritması kullanarak belirleme amacıyla bir çalışma yapmıştır. Matlab ortamında saf ses oluşturup, Visual Studio C# ortamında oluşturulan yazılıma entegre edilmiştir. Hava yolu için JBL marka kulak üstü kulaklık ve kemik yolu için kemik iletimli bir kulaklığın kalibrasyonları yapılarak test için uygun hale getirilmiştir. Hava yolu için 250 Hertz (Hz), 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz ve 6000 Hz frekansları hesaba katılmış, kemik yolu için ise 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekansları yapay sinir ağı giriş verileri olarak kabul edilmiştir. Veri seti 247 adet test sonucundan oluşmaktadır. 200 adet test sonucu eğitim verisi olarak, 47 test sonucu ise modeli test etmek için kullanılmıştır. Bu test ile sistemin doğrulama oranı %99,064, eğitilme oranı %99,536, test oranı %97,042 ve genel öğrenme oranını ise %99,097 olarak belirlenmiştir. İşitme kaybı tipi belirlemede yapay sinir ağı algoritması ile %97 oranında doğruluk oranı elde edilmiştir.

(Charih vd., 2020) yılında mobil odyometri için veriye dayalı makine öğrenmesi içeren odyogram sınıflandırması çalışmasını yapmıştır. 270 odyogramdan oluşan veri setinde karar ağacı algoritması kullanarak flat tip, bisküvi ısırtığı, Carhart çentiği gibi sınıflandırma örnekleri kullanılmış ve Flat 0.94, Sloping 0.81, Precipitous 0.88, Reverse sloping 0.96, Cookie bite 0.95, Reverse cookie bite 0.93, Notched 0.84, Atypical 0.84 doğruluk oranları elde edilmiştir.

(Heisey vd., 2020) yılında yaptıkları çalışmada hastaların gerçek işitme eşiklerini belirlemek için bayesian tahmin tekniği makine öğrenimi algoritması ile otomatik maskelemenin doğruluğu ve verimliliği araştırmışlardır. Yaşları 21 ile 83 arasında değişen, farklı işitme durumuna sahip 29 birey için otomatik olarak maskelenmiş odyogramlar toplanmıştır. Geliştirilen programda hava iletim için maskeleme; test kulağının hava iletim eşiği, test edilmeyen kulağın kemik veya hava iletim eşiği arasında en az 40 dB olması durumunda uygulanmış, kemik iletim için maskeleme ise; test kulağının hava ve kemik iletim eşikleri arasında en az 15 dB fark olması durumunda uygulanmıştır. Bütün katılımcılara bir odyolog tarafından standart odyometri testi uygulanmış, klinik olarak belirlenen şekilde maskeleme uyaranları eklenmiştir, ardından maskeli bir makine öğrenmesi odyometri testi yapılmıştır. Geliştirilen uygulama normal işiten dinleyicilerde 3,4 dB'lik bir aralıkta sonuç vermiştir. İşitme kaybı yüksek asimetri ve düşük asimetri içeren katılımcılarda ise sırasıyla 4,9 ve 2,6 dB'lik bir aralıkta elde edilmiştir. Otomatik olarak maskelenmiş odyogramların, gerçek eşik tahminleri elde edebileceği ve mevcut klinik maskeleme prosedürlerine kıyasla test süresini azaltacağı düşünülmüştür.

(Barbour vd., 2019) yılında Bonauria çevrimiçi odyometri platformunda uygulanan WebAudio kütüphanesini kullanarak çevrimiçi olarak uygulanan bir işitme eşiği tahmin tekniği ile bayesian tahmin tekniği kullanılan makine öğrenmeli odyogram yönteminin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirme çalışması yapmıştır. Bilgisayarın ses çıkışı odyometrenin ses çıkışına göre kalibre edilmiş ve katılımcılar sessiz kabinde, insert earphone kullanılarak test edilmiştir. Farklı işitme durumuna sahip 19 ile 79 yaşları arasındaki 21 katılımcı üzerinde hava yolu saf ses odyometrisi gerçekleştirmişlerdir. Eşik tahminleri arasındaki ortalama mutlak fark  $3,24 \pm 5,15$  dB elde edilmiştir.

(Aliabadi vd., 2014) yılında gürültüye maruz kalan çelik fabrikası işçilerinin işitme eşiğini belirlemek için MATLAB yazılım dilinde çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağlarını kullanarak bir çalışma yapmıştır. 210 katılımcı kullanılmış, verilerin %70'i yapay sinir ağlarını eğitmek için, %20'si test etmek için ve %10'u doğruluk ölçümü için kullanılmıştır. Yapay sinir ağları için girdiler; yaş, çalışma süresi, gürültüye maruz kalma düzeyi, sigara içme, işitme koruyucu kulaklık kullanımı iken, çıktı ise işitme eşiği tahmini olmaktadır. Root-mean-square error: 2,6 dB ve  $R^2$ : 0,89 bulunarak başarılı bir eşik tahmini yapılmıştır.

Makine öğrenmesiyle metotlarıyla işitme yorumlama, odyogram sınıflandırma, maskeleye ile ilgili yapılmış çalışmalar çizelge 1'e gösterilmiştir.

Çizelge 1. Makine öğrenmesi metotlarıyla yapılmış odyolojik çalışmalar

Yazar adı-yılı	Çalışmanın amacı	Denek sayısı ve tipi	Makine öğrenmesi tipi	Doğruluk oranı	Eşik farkı
Dişçi ve Konukseven (2021)	Koşullu ifadelerin ve YSS'nin İK türü ve derecesi belirlemede doğruluk oranlarının karşılaştırılması	1000 kulak Normal: 423 İTİK: 122 SN: 284 Mikst: 171	Yapay sinir ağları için Python programlama kullanılmıştır. Koşullu ifadeler Java programlama dilinde yazılmıştır.	YSA İK Tipi: %94,5 YSA İK Derecesi: %95 Koşullu İfade İK Tipi: %96,4 Koşullu İfade İK Derecesi: %100	-
Er (2020)	İK derecesi ve tipini belirlemek için yapay zeka destekli otonom tonal odyometri cihazının geliştirilmesi	247 odyogram Normal: 63 İTİK: 62 SN: 61 Mikst: 61	Matlab ortamında Visual Studio C# programında yazılımı gerçekleştirilen odyometri ölçüm sistemi içerisinde; yapay sinir ağı algoritması	Doğruluk oranı: %97	-
Charih vd. (2020)	Odyogramların sınıflandırmasını kolaylaştırmak üzere makine öğrenmesi metodu geliştirilmesi	270 odyogram	Java programlama dili kullanılmıştır. Karar ağacı algoritması 3 katmanlı çapraz doğrulama kullanılarak eğitilmiştir	Doğruluk oranları; Flat 0.94 Sloping 0.81 Precipitous 0.88 Reverse sloping 0.96	-

Çizelge 1 (devamı) Makine öğrenmesi metotlarıyla yapılmış odyolojik çalışmalar

Yazar adı-yılı	Çalışmanın amacı	Denek sayısı ve tipi	Makine öğrenmesi tipi	Doğruluk oranı	Eşik farkı
Heisey vd. (2020)	Gerçek işitme eşiklerini elde etmek için otomatik makine öğrenimi maskelemenin doğruluğunu ve verimliliğini belirlemek	29 katılımcı (9 normal işitme, 20 işitme kayıplı)	Matlab programında Bayesian tahmini	-	Normal: 3,4 dB İK yüksek asimetri: 4,9 dB İK düşük asimetri: 2,6 dB
Barbour vd. (2019)	Çevrimiçi makine öğrenmeli odyogram yönteminin doğruluğunu değerlendirmek amaçlanmıştır	21 odyogram	Bayesian tahmin tekniği Uyarılar Matlab üzerinden oluşturulmuştur. Bilgisayarın ses çıkışı odyometrenin ses çıkışına göre kalibre edilmiş ve katılımcılar sessiz kabinde, insert earphone kullanılarak test edilmiştir	-	3,24 ± 5,15 dB

Dişçi ve Konukseven (2021), odyogramların işitme kaybı türü ve derecesi belirlenmesinde, yapay sinir ağları ve koşullu ifadeler kullanan mobil uygulama metotlarını karşılaştırmış ve doğruluk oranlarını yapay sinir ağında işitme kaybı türü ve derecesini sırasıyla %94,50 ve %95, koşullu ifadelerde işitme kaybı türü ve derecesini sırasıyla %96,40 ve %100 olarak oldukça yüksek elde etmiştir. Ancak mobil uygulamada, işitme eşikleri dB seviyeleri yazılarak girilmektedir. Mobil uygulamayı kullanan bireylerin işitme eşik dB seviyelerini yazarak doğru girmeleri problem olabilir. Bu bağlamda web uygulamalarında odyogramların fotoğraflarından veya pdf sonuçlarından sağ ve sol kulak işitme eşiklerinin görüntü işleme algoritmalarıyla excel dosyasına dönüştürülmesi ve yapay sinir ağları için veri seti oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Bu çalışmanın amacı, odyometre test sonuçlarından görüntü işleme uygulamasıyla veri seti oluşturmak ve bilgisayar tabanlı bu iki farklı metodun; makine öğrenmesi ve koşullu ifadeler; işitme kaybı türü ve derecesi yönünden elde edilen sonuçlarını karşılaştırmaktır.

Çalışmadaki hipotezler aşağıda belirtilmiştir;

H0: Görüntü işleme uygulanan odyogramların, işitme kaybı türü ve derecesi sınıflamaları kapsamında makine öğrenmesi doğruluk oranları koşullu ifadelerle yazılan kodlamalara göre doğruluk oranlarından düşüktür.

H1: Görüntü işleme uygulanan odyogramların, işitme kaybı türü ve derecesi sınıflamaları kapsamında makine öğrenmesi doğruluk oranları koşullu ifadelerle yazılan kodlamalara göre doğruluk oranlarından yüksektir.

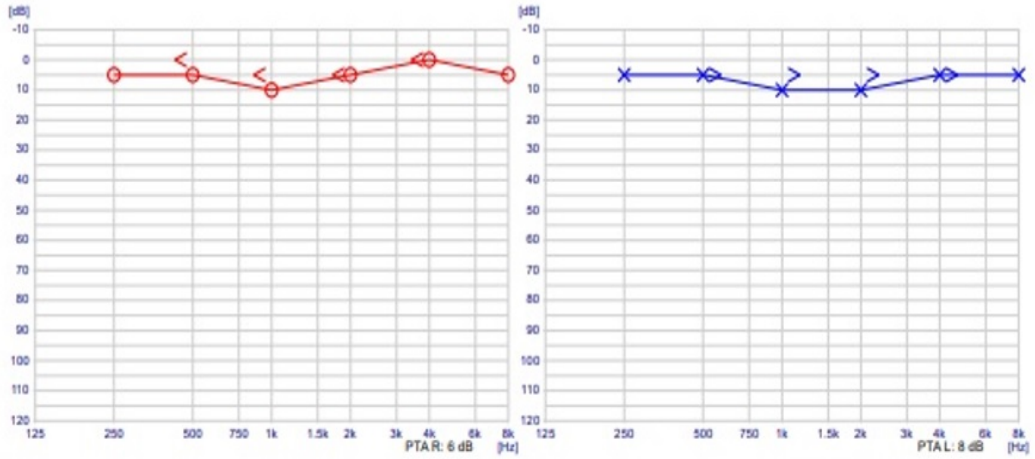


## II. GENEL BİLGİLER

Çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilen işitme kaybı, bireyleri akademik, sosyal, bilişsel yönlerden olumsuz etkileyebilmektedir. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak veya minimum seviyede tutabilmek için erken tanı önemlidir. Erken tanı sayesinde hastaların tedavisinde ve rehabilitasyonunda daha çok yol alınabilmekte dolayısıyla yaşam kalitesinde artış sağlanabilmektedir.

### A. Normal İşitme

İşitme eşiği bir sesin duyulabildiği en düşük ses şiddeti olarak tanımlanabilir. Normal işitme, Goodman sınıflandırmasına göre işitme eşiklerinin 26 dB'den düşük olduğu durumdur (Katz, 2015, s. 38). Şekil 1'de sağ ve sol kulak için normal işitmeye sahip odyogram gösterilmiştir.



Şekil 1. Sağ ve sol kulakta normal hava-kemik işitme eşiklerine sahip odyogram grafiği

### B. İşitme Kaybı

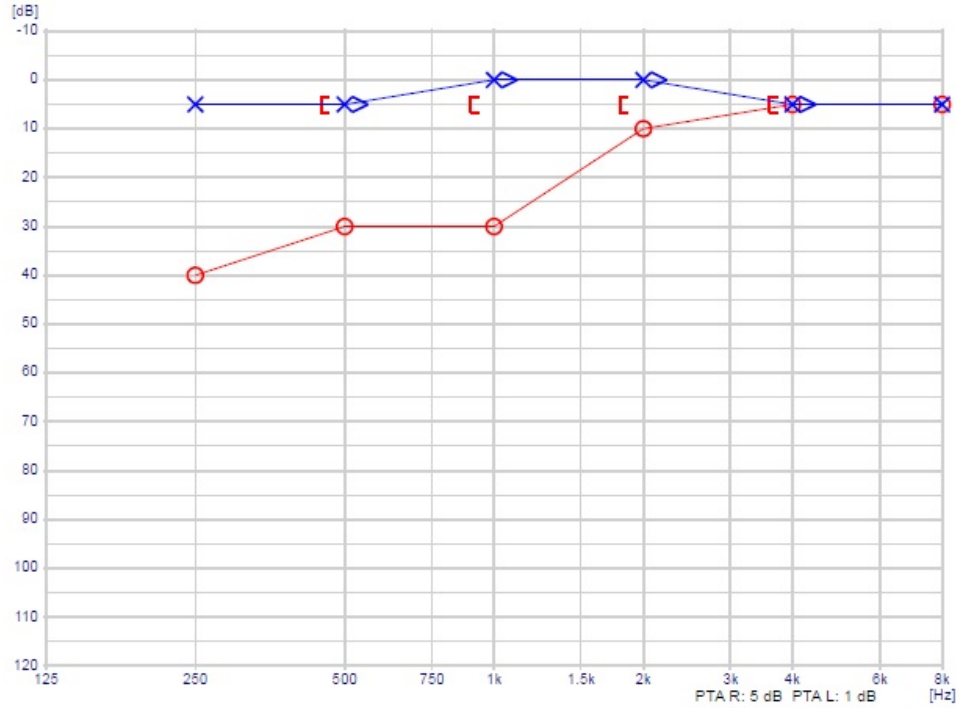
İşitme kaybı tanımlaması yapılırken genellikle üç faktör göz önünde bulundurulur. Bunlar; İK derecesi, İK tipi ve İK konfigürasyonudur (ASHA, 2021).

## 1. İşitme Kaybı Tipleri

Patolojinin bulunduğu bölgeye göre beş grupta incelenmektedir.

### a. İletim tipi işitme kaybı (İTİK)

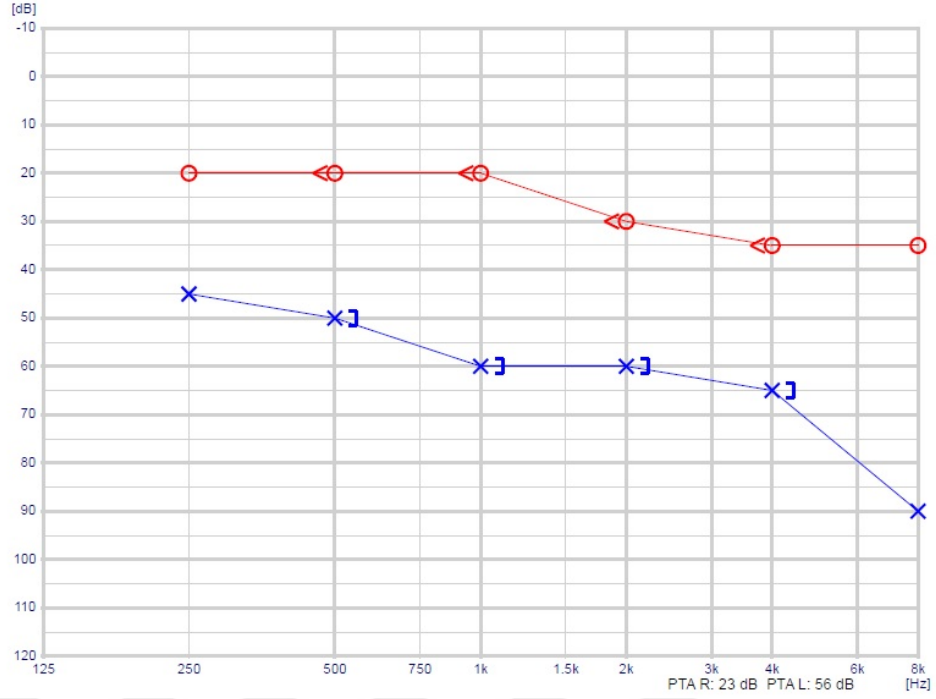
Yetişkinler için, kemik yolu işitme eşiklerinin normal sınırlarda (<26 dB, Goodman 1965), hava yolu işitme eşiklerinin >25 dB üzerinde olması (Goodman 1965) ve aralarında minimum 10 dB hava-kemik aralığı olması ile karakterizedir. Etiyolojilerinde dış ve orta kulak hastalıkları yer alır. Şekil 2’de sol kulağı normal, sağ kulağı iletim tipi işitme kaybına sahip bir hastanın odyogram grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2. Sol kulak normal, sağ kulak iletim tipi işitme kaybılı odyogram grafiği

### b. Sensörinöral işitme kaybı (SNİK)

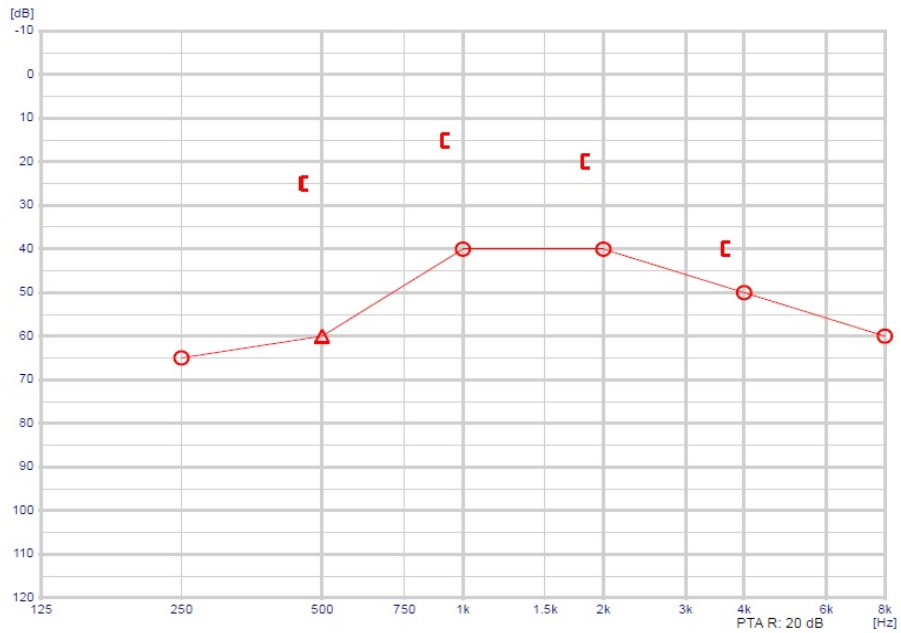
25 dB üzeri hava ve kemik yolu işitme eşikleri ve hava-kemik yolu eşiklerinin arasında 5 dB’i aşan fark olmaması ile karakterizedir. Etiyolojide iç kulak ve işitme siniri patolojileri gözlenir. Bilateral asimetrik SNİK odyogram grafiği şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Bilateral asimetrik SNİK odyogram grafiği

### c. Mikst tip işitme kaybı

Kemik ve hava yolu işitme eşiklerinin normal sınırların altında (<26 dB, Goodman 1965), ve aralarında minimum 10 dB hava-kemik aralığı olması ile karakterizedir. Şekil 4'te sağ kulak mikst tip işitme kaybı görülmektedir.



Şekil 4. Sağ kulak mikst tip işitme kaybı odyogram grafiği

#### **d. Fonksiyonel (Non-organik) işitme kaybı**

İşitsel sistemde herhangi bir patoloji olmaksızın işitme testlerinde ortaya çıkan bir işitme kaybını veya işitsel sistemdeki patoloji temelinde açıklanabilecek olandan daha büyük görünen bir işitme kaybını ifade eder. Testler arasında tutarlılık olmaması ayırt edici bir özelliktir. Basit odyolojik testler ve davranışsal ipuçları ile tanı konulabilir (Schmidt vd., 2013).

#### **e. Santral işitme kaybı**

Santral işitme kaybı, santral işitsel yolakta veya işitsel kortekste bir lezyon sebebiyle oluşur. Bu bireyler; ses lokalizasyonunda zorluk, gürültülü ortamlarda düşük anlaşılabilirlik, sözlü iletişimde yanıt süresinin uzun olması, karmaşık işitsel yönergeleri ve komutları takip etme zorluğu, yeni bir dil öğrenmede zorluk yaşayabilirler (ASHA, 2005).

### **2. İşitme Kaybı Derecelendirmesi**

İşitme kaybı derecelendirmesi; 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz'deki hava yolu eşiklerinin ortalamasına göre belirlenmektedir. Hesaplanan bu ortalama, saf ses ortalaması (SSO) olarak tanımlanır. Farklı yazarlara göre oluşturulan işitme kaybı derecelendirmesi çizelge 2'de mevcuttur. Bu çalışmada Goodman sınıflandırması uygulanmıştır.

Çizelge 2. İşitme kaybı derecelendirmesi

İşitme Derecesi	Kayıbı	Northern and Downs (2002)	Goodman (1965)	Jerger and Jerger (1980)
Kayıp Yok		<16	<26	<21
Çok Hafif		16-25		
Hafif		26-30	26-40	21-40
Orta		30-50	41-55	41-60
Orta İleri			56-70	
İleri		51-70	71-90	61-80
Çok İleri		>70	>90	>80

Kaynak: (Katz, 2015, s. 38)

### **3. İşitmenin Değerlendirilmesi**

İşitmenin değerlendirilmesi objektif ve subjektif test yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Objektif test yöntemleri uygulayıcıdan uygulayıcıya değişmeyen ve hastanın yanıtına bağlı olmayan testlerdir. İşitsel uyarılmış

potansiyeller, otoakustik emisyon testi, elektrokokleografi, timpanometri objektif testlere örnektir. Subjektif testlerde ise klinisyenin uygulaması, yorumlaması ve hasta cevapları önem taşır. Saf ses odyometresi ve konuşma testleri subjektif testlerdendir.

#### **a. Saf ses odyometri**

Saf ses eşikleri, bir tonal uyarana verilen en düşük yanıt seviyesini temsil eder. Normal işiten genç yaştaki insanlar 20 ile 20.000 Hz arasındaki frekansları algılayabilirler. İnsan işitmesi, 500 ile 8.000 Hz arasındaki frekans aralığında daha hassastır. Genellikle saf ses odyometrisinde 250 (veya 125) ile 8000 Hz arasındaki frekanslar için eşikler değerlendirir. Konvansiyonel odyometri için frekans aralığı, konuşmayı anlamak için önemli olan frekans aralığına (100 ila 6.000 Hz) çok benzerdir (French & Steinberg, 1947).

Saf ses eşikleri, koklea ve işitsel sinirden ayrı olarak dış ve orta kulaktaki sorunlardan kaynaklanan kayıp miktarının nicelleştirilmesini sağlar. İşitme sistemindeki bir hasar, sıklıkla frekansa özgü bir hassasiyet kaybıyla sonuçlanır. Saf ses eşikleri, kaybın miktarı ve türü hakkında kritik tanısal bilgiler sağlamanın yanı sıra bir hastalık sürecinin tedavisini veya ilerlemesini takiben işitmedeki değişiklikleri izlemek, işitme kaybı taraması yapmak, işitme cihazı veya koklear implant adaylığını belirlemek ve işitme cihazı için frekans kazanç özelliklerini seçmekte yol göstericidir. Hava yolu eşikleri tüm işitsel yolu değerlendirir ve genellikle supraaural kulaklıklarla ölçüm yapılır. Kemik yolu eşikleri, mastoid çıkıntı üzerine vibratör konularak ve her iki kulağın ayrı ayrı değerlendirilebilmesi için, genellikle test edilmeyen kulağa maske gürültüsü verilerek ölçülür. Kemik yolu testinin amacı, dış ve orta kulağı atlayıp kokleayı doğrudan uyarmaktır. Hava yolu ve kemik yolu eşiklerinin karşılaştırılması, iletim ve sensör / sinir sistemlerinin durumuna ilişkin ayrı tahminler sağlar (Katz, 2015, s. 31).

#### **b. Konuşma odyometrisi**

Konuşma odyometrisi, iletişim performansını karakterize ederek işitmenin değerlendirilmesine yardımcı olur. Konuşma odyometrisi, işitme organının iletim ve sinirsel yönlerinin değerlendirilmesini sağlayarak, merkezi işitsel işleme işlevi hakkında bir miktar fikir verir (Boron vd., 2020).

### **i. Konuşmayı algılama eşiği (SRT – Speech Reception Treshold)**

Bu test hastanın basit düzeydeki konuşmaları anlayabildiği eşiği belirlemek için kullanılmaktadır. Test, hastanın en rahat duyabildiği ses seviyesinden başlanarak 5 kelimededen 3'ünü doğru bildiği en düşük seviyeye kadar devam eder. SRT ile SSO arasında  $\pm 10$  dB'lik korelasyon bulunur. İstisnalar hariç bu değerin dışına çıkılan durumlarda; fonksiyonel işitme kaybı, hastada kooperasyon eksikliği, eşiklerin yanlış belirlenmesi gibi olasılıklar düşünülmelidir (Koç, 2013, s. 78).

### **ii. Konuşmayı ayırt etme testi (SD – Speech Discrimination)**

Tek heceli kelimeler kullanılarak, bireyin konuşmayı ayırt etme becerisi yüzdesel olarak belirlenir. En rahat duyulabilen ses düzeyinde teste başlanır, bu genellikle SSO'nun 40 dB üzerindedir. 25 kelimenin doğru tekrar edilen yüzdesi hesaplanır. Konuşma seslerinin geniş bir frekans bandında (100-6000 Hz) bulunması sebebiyle, ayırt etmeyi doğru ölçebilmek için kullanılan kelimelerin fonetik dengeli olması gerekir (Belgin & Şahlı, 2015, s. 79).

### **iii. Rahatsız edici ses seviyesi (UCL – Uncomfortable Loudness)**

Konuşma sesinden rahatsız olunan ses seviyesidir. Hastayla akıcı bir konuşma içerisindeyken ses seviyesi yavaşça yükseltilir. Hastadan rahatsız olduğu seviyeyi bildirmesi istenir. Retrokoklear patolojilerde rahatsız edici ses seviyesinin genellikle yüksek olmasına karşın koklear patolojilerde bu değer düşmektedir. İşitme cihazı ayarlamasında UCL değerine göre maksimum çıkış ayarlanmalıdır.

### **iv. En rahat ses seviyesi (MCL – Most Comfortable Loudness)**

MCL konuşma sesinin en rahat duyulduğu ses seviyesidir. Konuşma sırasında ses şiddeti kademeli bir şekilde yükseltilerek hastanın en rahat duyduğu ses seviyesi belirlenir. MCL'nin frekansa özgü ölçümleri, işitme cihazlarının frekans ve kazanç özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Shapiro, 1980).

#### 4. Yapay Zeka

Günümüz dünyasında bilgisayar ve bilgisayar sistemleri yaşamımızın hemen hemen tüm alanlarında yer almaktadır. Kamu işleri, sağlık sistemleri, akıllı ev aletleri, askeri sistemler, eğitim bunlardan bazılarıdır. Önceleri sadece veri transferi ve karmaşık hesaplamalar gerçekleştirmek için kullanılan bilgisayarlar günümüzde olaylar hakkında karar verebilecek ve olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilecek kapasiteye erişmişlerdir.

Avron Barr ve Edward Feigenbaum yapay zekayı, “*Bilgisayar biliminin akıllı bilgisayar sistemleri tasarlamaya ilgili bölümüdür. İnsan davranışında zeka ile ilişkilendirdiğimiz özelliklerle sergilenen dili anlama, öğrenme, akıl yürütme, problem çözme vb. işlevleri gerçekleştirmektedir.*” Şeklinde açıklamıştır (Barr & Feigenbaum, 1981, ss. 3–4).

Matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan problemler, makinalar tarafından sezgisel yöntemler yolu ile çözülebilmektedir. Bilgisayarlara bu özellikleri kazandıran çalışmalara yapay zeka çalışmaları ve bu sistemlere de zeki sistemler denir. Zeki sistemlerin en temel özellikleri mevcut bilgilerle olayları öğrenmeleri ve benzer olaylar hakkında karar verebilmeleridir. Bu yönüyle insanın öğrenme süreci ve karar verme mekanizması taklit edilmektedir.

İnsanların karşılaştığı problemlere sundukları çözüm şekli farklı bölge ve kişilerde farklı olabilmektedir. Bilgisayarların, insanların problem çözme ve karar verme yönünden taklit etmesinin sağlanması beraberinde farklı teknolojilerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Çeşitli yapay zeka teknolojileri mevcuttur, bu teknolojilerin çoğu laboratuvar aşamasında olmasına rağmen sayının 60’tan fazla olduğu bilinmektedir (Öztemel, 2006, ss. 13–15).

##### a. Makine öğrenmesi

Öğrenme bir süreçtir ve bu süreç içerisinde bireyin edindiği tecrübeler ışığında davranışlarında değişiklik olması beklenir. Yeni öğrenimler sonucu kapasite gelişir ve birey daha önce yapamadığı şeyleri yapabilir hale gelir.

Makine öğrenmesi, bilgisayar sistemlerinin geçmiş deneyimlerinden elde ettiği öğrenimleri kullanarak bir model oluşturmasını ve gelecekte karşılaşılabilecek durumlar karşısında bir tahminde bulunmasını, problemlere çözümler üretmesini

sağlayan bir yapay zeka alanı olarak tanımlanabilir. (Bilgin, 2018, s. 13; Ögücü, 2006).

Makine öğrenmesi son yıllarda günlük yaşamda her alanda görülmektedir. Film izleyeceğimiz siteler film önerisinde bulunurken, yemek sipariş edeceğimizde öne çıkarılan restoran, alışveriş sitelerinde hangi ürünlerin satın alınacağına ilişkin otomatik öneriler, müzik dinlediğimiz çevrimiçi müzik uygulamalarının kişiselleştirilmiş şarkı önerileri ve fotoğraflarımızda arkadaşlarımızı tanımaya kadar birçok modern web sitesi ve cihazın temelinde makine öğrenimi algoritmaları bulunur. Amazon, Facebook, Spotify, Apple veya Netflix gibi karmaşık bir web sitesi veya uygulama incelendiğinde, sitenin veya uygulamanın her bölümünün birden fazla makine öğrenimi modeli içermesi çok olasıdır (Müller & Guido, 2017, s. 1).

#### **i. Makine öğrenmesi uygulama adımları**

Mevcut verilere göre makine öğrenmesi görevine birkaç adım daha eklenebilir fakat literatürde genel olarak adımlar aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

- **Veri Toplama:** Çeşitli ortamlardan toplanan ham veriler, analiz için uygun elektronik bir formatta oluşturulur. İlgili verilerin kalitesi, doğruluğu, hacmi makine öğrenmesinin başarısıyla doğru orantılıdır. Bu veriler, kurulan algoritmanın eyleme geçirilebilir bilgi üretmekte kullandığı öğrenme materyali olacaktır.
- **Verilerin Hazırlanması:** Bu adım, çok fazla müdahale gerektirir ve süreç içindeki çabanın çoğunu kapsar. Eğitim modelini oluşturmadan önce yapılan ön işlemleri (verilerin düzenlenmesi, ayıklanması işlemleri) içerir.
- **Modeli eğitmek:** Yapılmak istenilen çalışmaya uygun model seçiminin yapıldığı ve algoritmanın belirlendiği süreçtir. Daha sonra eğitim kümesi ile sistem eğitilir ve test aşamasında kullanılacak uygun bir model oluşturulmuş olur.
- **Model performansının değerlendirilmesi:** Bir önceki aşamada eğitilen modelin deneyimlerinden ne kadar iyi öğrendiğini değerlendirmek sağlıklı bir süreç için önemlidir. Modelin

doğruluğunu test ederken daha önce görmediği veriler kullanmak, modelin başarısını doğru bir şekilde ölçmek için gereklidir.

- Model performansının iyileştirilmesi: Test edilen model performansının daha iyi olması gerekiyorsa, bunu sağlamak için daha gelişmiş stratejiler kullanmak gerekli hale gelir. Bazı durumlarda tamamen farklı bir model türüne geçmek veya verimliliği arttırmak için 2. adıma dönüp verileri tekrar düzenlemek gerekebilir.

Tüm adımlar tamamlandıktan sonra, model başarılı bir performans gösteriyorsa, bu durum amaçlanan görevi için hazır olduğu anlamına gelir (Lantz, 2013, s. 17).

## **ii. Makine öğrenmesi metotları**

Literatür incelendiğinde öğrenme metotları için; denetimli-danışmanlı, denetimsiz-danışmansız, yarı denetimli-yarı danışmanlı, takviyeli-pekiştirmeli gibi farklı isimlerin tercih edildiği görülmüş olsa da içerik olarak benzer bilgileri barındırdığı belirlenmiştir.

- Denetimli Öğrenme: Denetimli öğrenmede girdiler ve çıktılar bilinir ve bunların eşleştirilmesiyle sistem eğitilir (Kilic, 2020). Denetimli öğrenme modeli genellikle sınıflandırma problemini çözmek için tercih edilmektedir. (Chao, 2011). En bilinen denetimli öğrenme algoritmaları olarak YSA, Destek Vektör Makinesi, k-En Yakın Komşu, Lojistik Regresyon, Doğrusal Regresyon, Basit Bayes, Multinom Basit Bayes, Rastgele Orman ve Karar Ağaçları algoritmaları verilebilir (Caruana & Niculescu-Mizil, 2006).
- Denetimsiz Öğrenme: Denetimsiz öğrenmede sisteme sadece girdi verileri verilir ve çıktı verilerini kendisi oluşturması beklenir, yani girdi verilerinden bilgi çıkarması istenir (Kilic, 2020). Kullanılan algoritmalar, sisteme girilen örnekler arasındaki ilişkilerin bulunmasını sağlayacak bir model oluşturmaya çalışır (Nilsson, 1996). Denetimsiz öğrenmenin kullanım amacı, birliktelik kuralı öğrenme, öznitelikler arasındaki ilişkilerin bulunması, boyut indirgeme ve kümeleme vb. alanlardır (Chao, 2011).

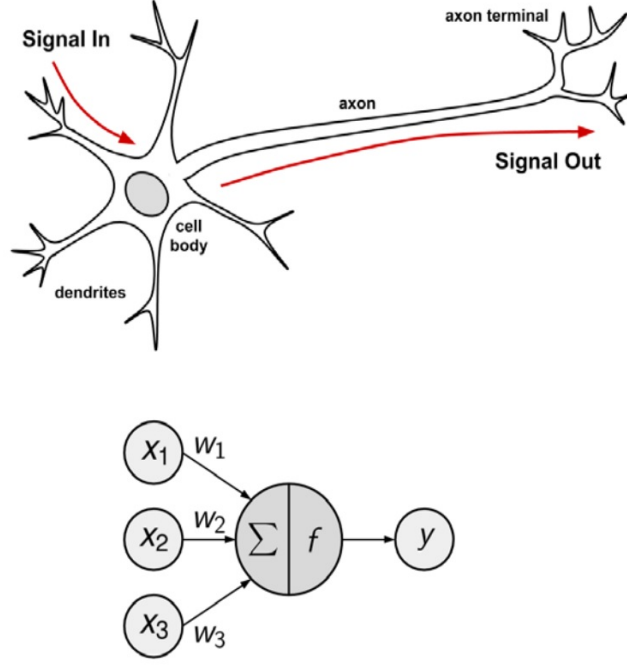
- Yarı Denetimli Öğrenme: Yarı denetimli öğrenmede daha iyi sınıflandırmalar oluşturmak için az miktarda etiketlenmiş verilerle büyük miktarda etiketlenmemiş verinin kullanılmaktadır (Diaz-Pinto vd., 2019). Bu yöntem genellikle etiketlenmemiş veriyi elde etmenin kolay olduğu durumlarda tercih edilmektedir.
- Pekiştirmeli Öğrenme: Pekiştirmeli öğrenmede sistemi doğuya yaklaştırmak için ödüllendirme veya cezalandırma yapılmaktadır. Sistem ödül almak amacıyla strateji belirlediği için zaman içinde en iyi stratejiyi kendi kendine öğrenmelidir (Géron, 2019, ss. 14–15).

### iii. Yapay sinir ağları

YSA makine öğrenmesi yöntemlerinden biridir ve makinelerin de insanlar gibi kendi başına öğrenebilmesi, eğitilebilmesi ve çıkarımlar yapabilmesi amacıyla geliştirilmiş bir teknolojidir (Aydoğan & Şener, 2020).

Yapay sinir ağları öğrenme, sınıflandırma, optimizasyon, özellik belirleme, ilişkilendirme ve genelleme konularında insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde başarılı olarak uygulanmaktadır. Örnekler sayesinde kendi deneyimlerini oluşturmakta ve benzer konularda benzer kararlar vermekte ayrıca bilgisi olmadığı konularda da yorum yapıp sonuç üretebilmektedir (Öztemel, 2006, ss. 29–31).

Biyolojik nöronlarda aşağıdaki şekildeki gibi, gelen sinyaller uyarının önemine veya sıklığına göre dendritler tarafından alınır. Gelen sinyaller hücre gövdesinde biriktikçe, hücrenin ateşlendiği eşiğe ulaşılır ve çıkış sinyali akson boyunca iletilir. Aksonun uçlarındaki sinapslardan, komşu nöronlara sinyal iletilir. Yapay sinir ağı modeli, biyolojik modele benzer terimlerle anlaşılabilir. Aşağıdaki şekildeki gibi, YSA diyagramı, dendritler tarafından alınan giriş sinyalleri ( $x$  değişkenleri) ile çıkış sinyali ( $y$  değişkeni) arasındaki ilişkiyi tanımlar. Biyolojik nöronda olduğu gibi, dendritler sinyali önemine veya sıklığına göre alır ( $w$  değerleri). Giriş sinyalleri hücre gövdesi tarafından toplandıktan sonra, sinyal  $f$  ile gösterilen bir aktivasyon fonksiyonuna göre iletilir. Yapay sinir ağlarının yapı taşları bu nöronlardır (Lantz, 2013, ss. 207–208).



Şekil 5. Nöron hücresi ve yapay sinir ağı yapısı

Bir YSA genellikle üç kısımdan oluşmaktadır. Bu katmanlar yukarıda tarif edildiği gibi girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanıdır. Girdi katmanı, gelen bilgileri ara katmana iletir, ara katman, girdi katmanından gelen bilgileri işleyip çıktı katmanına iletir. Gizli katman olarak da isimlendirilen ara katman birden fazla olabilir. Son olarak çıktı katmanı gelen bilgileri işleyerek uygun çıktılarla doğru sonuç üretmeye çalışır (Öztemel, 2006, ss. 52–53).

Yapay sinir ağlarının iki farklı bağlantı yapısı mevcuttur. Bunlardan basit yapıda olan ileri beslemeli YSA'dır. Bu bağlantı yapısına sahip ağlarda veriler giriş katmanından ara katmana ve çıktı katmanına doğru sadece tek yönde hareket eder (Haykin, 2009, s. 21). Buna karşın geri beslemeli ağlar, sinyallerin döngüler kullanarak her iki yönde hareket edebilmesine olanak sağlar. Biyolojik bir sinir ağına daha çok benzeyen özellik, son derece karmaşık kalıpların öğrenilmesini sağlar. Kısa süreli bir belleğin eklenmesiyle belirli bir süre boyunca olay dizilerini anlama yeteneğini sağlamış olur ve konuşmayı anlama, borsa tahmini veya hava tahmini için kullanılabilir (Lantz, 2013, ss. 209–213).

#### iv. Görüntü işleme

Görüntü işleme, işlenmek istenen görüntünün işleme sürecine daha uygun hale getirilebilmesi amacıyla doğal görüntüsünün değiştirilmesini içeren bir dizi

aşamadan oluşmaktadır. Görüntü işleme, kaydedilmiş veya ölçülmüş sayısal görüntü verilerini, bilgisayar ve yazılımlar aracılığıyla amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik yapılan çalışmalardır (McAndrew, 2004, ss. 1–4).

Görüntü işlemede, tekniklerden sadece bir tanesinin kullanılması nadiren gerçekleştirilir. Genellikle bir görevi eksiksiz gerçekleştirebilmek için teknikler karmaşık bir şekilde kullanılırlar. Örneğin, bir hücre görüntüsünden hedef organelleri ayıklamak için, önce görüntü segmentasyon tekniğiyle görüntü bölünür ve daha sonra her segment hedefi içerip içermediğine dair bir görüntü tanıma tekniğiyle incelenir. Sonuç olarak, tekniklerin işlevinin ve bu tekniklerin yararlı kombinasyonlarının bilinmesi gerekmektedir (Uchida, 2013).

#### v. Koşullu ifadeler

Koşullu ifadeler tüm yazılım dillerinde kullanılabilen önemli yapılardır. Yazılan programların kararlar almasına ve bu kararların sonuçlarına göre belirli ifadeler yürütmesine olanak sağlar. Koşullu ifadelerle birlikte ilişkisel operatörler, güçlü bir veri işleme imkanı oluşturur. İlişkisel operatör her değerlendirdiğinde, 1 veya 0 değeri üretilir. Doğru her zaman 1 ile, yanlış ise her zaman 0 ile ilişkilendirilir. Çizelge 3’te ilişkisel operatörler gösterilmiştir.

Çizelge 3. İlişkisel Operatörler

İlişkisel Operatör	Tanım
==	Eşittir
>	Büyüktür
<	Küçüktür
>=	Büyük eşit
<=	Küçük eşit
!=	Eşit değil

Kaynak: (Greg & Miller, 2014, s. 94)

“if” ifadesi, Türkçede “eğer” anlamına gelmektedir ve konuşma dilinde olduğu gibi çalışır. If bloğundaki kodun çalışabilmesi için koşulun sonucunun 1 olması, yani koşulun doğru olması gerekmektedir. Eğer if bloğundaki koşul sağlanmazsa ve bir else dalı eklenmişse, else dalı tarafından tanımlanan blok çalıştırılır. “Else” Türkçede “başka” anlamına gelir ve if kod bloğunun yanlış olduğu durumda devreye girer. Örneğin; kısaca “if (number>10)” eğer sayı 10’dan büyükse kod bloğu yazılmış ve sisteme gelen sayı 11 ise sonuç doğru yani “sayı 10’dan büyük” şeklinde cevap alınabilir. Eğer sayı 10’dan küçükse sonuç

yanlış olur if kod bloğu çalışmaz ve buradaki “else” kod bloğu devreye girer sonuç da “sayı 10’dan küçük” şeklinde alınabilir.

İlişkisel operatörler, iki değerın nasıl ilişkili olduğunu test ederken, mantıksal operatörler, ilişkisel operatörleri birleştirir. Birden fazla ilişkisel testi tek bir if ifadesinde birleştirebilmek için mantıksal operatörler kullanılabilir. Bu sayede kod netleştirilmiş olur. Çizelge 4’te mantıksal operatörler gösterilmiştir.

Çizelge 4. Mantıksal Operatörler

Mantıksal Operatör	Tanım
&&	Ve
	Veya

Kaynak: (Greg & Miller, 2014, s. 103)

“Ve” operatörü kullanılarak birleştirilmiş iki ifadeden oluşan bir ifade, yalnızca birleştirilmiş ifadelerin her ikisi de doğru olarak değerlendirilirse doğru olur aksi halde yanlış olur. Örneğin; “Odanı toplarsan ve ders çalışırsan oyun oynayabilirsin.” Bu ifadeden oyun oynanabilmesi için hem odanın toplanması hem de ders çalışılması gerektiği anlaşılıyor. Veya operatörü kullanılarak birleştirilmiş ifadelerden sadece biri doğru olarak değerlendirilirse, ifade doğru olur. Örneğin; “Odanı toplarsan veya ders çalışırsan oyun oynayabilirsin.” Oyun oynanabilmesi için iki ifadeden birinin yapılması yeterlidir. Eğer her iki ifade de yanlış olursa sonuç yanlış olur. (Calvanese, 2004; Greg & Miller, 2014, s. 99; Java-programming, 2021)

## 5. Odyoloji Alanında Makine Öğrenmesi ve Görüntü İşleme Kullanımı

Birçok alanda olduğu gibi sağlık alanında da makine öğrenmesi ve görüntü işleme teknikleri popülerlik kazanmıştır.

Richard McKearney ve Robert MacKinnon işitsel beyin sapı cevaplarını (ABR) makine öğrenmesiyle yorumlamaya çalışmışlardır. 18-31 yaş aralığında normal işitmeye sahip 4 erkek, 4 kadın katılımcıdan elde edilen ABR verileri ile Python programının Keras eklentisi kullanılmış yapay sinir ağları eğitildi. ABR verileri 1 kilohertz (kHz) ve 4 kHz tone pip uyarılarıyla, 23,97/s rate kullanılarak, eşik seviyesinin 5 dB altından başlanıp 100 dB Sound Pressure Level (SPL)’e kadar tarandı ve tüm katılımcılardan toplamda 232 dalga formu toplandı. Sutton ve Lightfoot yanıt kriterleri kabul edildi. Buna göre; dalga biçimleri arasında

yüksek korelasyon, dalga amplitüdünün 40 nanovolt (nV) ve yanıtın arka plan gürültü seviyesinin 3 katı olması durumlarında "net yanıt" mevcut kabul edilmiş, aksi durumlarda "yanıt yok" veya yanıt yok kriterine de uymayan durumlar "sonuçsuz" olarak işlendi. 6 katılımcının sonuçları yapay sinir ağları için eğitim seti, 2 katılımcının sonuçları da test seti olarak kullanıldı. Sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniğiyle eksik temsil edilen verilerin çoğaltılması sağlandı. ABR dalgası görüntülerine sinyal analiz ve işleme tekniği olan dalgacık dönüşümü kullanıldı. Sonuç olarak ABR dalgaları %92,9 doğruluk, %92,9 duyarlılık ve %96,4 özgüllük oranı ile "net yanıt", "yanıt yok" veya "sonuçsuz" olarak sınıflandırılmıştır (McKearney & MacKinnon, 2019).

Chan ve arkadaşları, normal kulak zarından yansıyan ses frekans ranj aralığı geniş ve düşük şiddette, seröz ve akut otitli kulak zarından yansıyan sesin frekans ranj aralığı daha dar ve yansıma daha şiddetli olacaktır düşüncesinden yola çıkarak; kulak zarı hareketliliğini değerlendirerek orta kulak durumunu tespit etmek amacıyla akıllı telefonların mikrofonunu ve hoparlörünü makine öğrenmesiyle birleştiren bir uygulama üretti. Uygulama, akıllı telefon hoparlörü ile kulak kanalına 150 milisaniye (ms) frekans modülasyonlu, 1,8 ila 4,4 kHz arasında devamlı chirp uyarını gönderir, mikrofon ile kulak zarından yansıyan sesi algılar ve bu yansımaları sınıflandırmak ve orta kulak sıvı durumunu tahmin etmek için bir lojistik regresyon makine öğrenme modeli kullanır. Sesi kulak kanalına yönlendirmek için spekulum olarak 7 milimetre (mm) açıklığa sahip kağıt bir huni kullanıldı. 18 ay-17 yaş aralığında 48 hasta kulak, 50 normal kulak üzerinde çalışma gerçekleştirildi, hassasiyet %84,6 ve özgüllük %81,9 olarak belirlendi. Frekans yanıtını yakalamak için 48.000 noktalı hızlı Fourier dönüşümü (FFT) gerçekleştirildi ve lojistik regresyon analizi ile birlikte model doğrulama tekniği olan LOOCV kullanıldı. Klinisyen olmayanlarla yapılan performans testinde toplam 25 kulağın 24'ü klinisyenler ve evebeynler tarafından aynı bulundu. Düşük maliyeti, kolay uygulanabilirliği ve ulaşılabilirliği açısından evde tarama için iyi bir yardımcı uygulama olarak nitelendirilebilir (Chan vd., 2019).

Timpanostomi tüpü yerleştirildikten sonra takip eden 6-12 ay içerisinde kendiliğinden çıkacak şekilde tasarlanmıştır. Tüp yerleştirildikten sonra ilk ay ve devamında altı ayda bir düzenli takip gerekmektedir. Xin Wang ve arkadaşları makine öğrenmesi ve görüntü işleme yöntemiyle bu takibi gerçekleştirebilmenin

ilk adımlarını atmaya amaçlamışlardır. Sıklıkla yeşil, mor, mavi veya beyaz renkte kullanılan timpanostomi tüplerini algılamak için ilk katmanda renkli görüntüleri işlemede kullanılan RGB metodu kullanıldı. İkinci katmanda timpanostomi tüpünün yuvarlak olan bariz şeklini algılamak için kenar haritalama, Hough dönüşümü ve faz kodlama algoritmasıyla beraber uygulandı. Üçüncü katmanda ise Bag of Visual Words metodu ile veri tabanında eşleşen nesnelere bulmak ve bir nesnenin şeklini tanımlamak amaçladı. Bu üç katman tarafından 215 otoskopik görüntü etiketlendi ve etiketlenen görüntülerle makine öğrenmesinin sınıflandırma algoritmalarından olan destek vektör makinesi eğitildi. Ek olarak çevrimdışı öğrenme sürecinin yanında programı iyileştirmek için kullanıcı düzeltme bilgilerini alan çevrimiçi bir iyileştirme süreci de oluşturuldu. Program %92 duyarlılık ve %93 özgüllük oranlarına ulaştı (Wang vd., 2015).

### **III.GEREÇ VE YÖNTEMLER**

#### **A. Çalışma İzni ve Etik Kurul Onayı**

Bu çalışma, 28.07.2021 tarihinde, 2021/553 kayıt numarasıyla, İstanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (EK 1). Çalışma, İstanbul Aydın Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Odyoloji Bölümü Klinik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

#### **B. Çalışmanın Örneklemi**

Görüntü işleme uygulanan odyogramların işitme kaybı türü ve derecesi sınıflamalarını içeren veri seti oluşturmak için; 336 adet normal işitmeye sahip, 267 adet sensörinöral tip işitme kaybına sahip, 213 adet mikst tip işitme kaybına sahip ve 184 adet iletim tipi işitme kaybına sahip saf ses odyometri sonuçları çalışmaya dahil edilmiştir.

##### **Çalışmaya dahil edilme kriterleri:**

- Çalışmada saf ses hava yolu ve saf ses kemik yolu ölçümü yapılan 15-65 yaş arası, bireylerin test sonuçları Goodman 1965 sınıflamasına göre yorumlanmıştır.
- Normal işitmeye sahip bireyler için kriter; hava ve kemik SSO'nun  $\leq 25$  dB olması,
- Sensörinöral tip işitme kaybına sahip bireyler için kriter; SSO  $> 25$  dB ve hava-kemik aralığının  $< 10$  dB olması,
- Mikst tip işitme kaybına sahip bireyler için kriter; hava ve kemik SSO  $> 25$  dB ve hava-kemik aralığının  $> 10$  dB olması,
- İletim tip işitme kaybına sahip bireyler için kriter; hava SSO  $> 25$  dB ve kemik SSO  $< 25$  dB olması.

### Çalışmanın dışlanma kriterleri:

- 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz ve 8000 Hz hava yolu işitme eşikleri ve 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz kemik yolu eşiklerinden birinin eksik olması.
- Pdf veya fotoğraf haricinde elle yazılmış odyogramlar
- Odyogram üzerinde işaretlenmiş olan hava yolu veya kemik yolu işitme eşiklerini birbirine bağlayan çizginin; hava yolu veya kemik yolu işitme eşiği simgesinin içinden geçmesi.

### C. Örneklemin Demografik Özellikleri

Çalışmaya 15-65 yaş aralığında, normal işiten, sensörinöral tip, mikst tip ve iletim tip işitme kaybına sahip bireyler dahil edilmiştir. Örneklemin demografik özellikleri Çizelge 5'te ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Örneklemin işitme kaybı türüne göre demografik özellikleri

Kulak (n)	Kadın	Erkek	Toplam
Normal İşitme	150	186	336
İletim Tipi İşitme Kaybı	86	98	184
Mikst Tip İşitme Kaybı	100	113	213
Sensörinöral Tip İşitme Kaybı	124	143	267
Toplam	460	540	1000

Çizelge 6. Örneklemin işitme kaybı derecesine göre demografik özellikleri

Kulak (n)	Kadın	Erkek	Toplam
Normal İşitme	150	186	336
Hafif Derecede İşitme Kaybı	83	100	183
Orta Derecede İşitme Kaybı	80	78	158
Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı	61	66	127
İleri Derecede İşitme Kaybı	54	62	116
Çok İleri Derecede İşitme Kaybı	32	48	80
Toplam	460	540	1000

## **D. Çalışma Planı**

Çalışma 8 adımda gerçekleştirilmiştir;

1. Odyogramların elde edilmesi
2. Görüntü işleme algoritmalarının oluşturulması
3. Görüntü işleme algoritmalarının çıktısı olarak veri setinin oluşturulması
4. Makine öğrenmesi ile yapay sinir ağları algoritmalarının oluşturulması
5. Makine öğrenmesinin eğitilip test edilmesi
6. Koşullu ifadelerin oluşturulması
7. Koşullu ifadelerin test edilmesi
8. Makine öğrenmesi ve koşullu ifadelerin test sonuçlarının karşılaştırılması

### **1. Odyogramların Elde Edilmesi**

Çalışmaya 15-65 yaş aralığındaki bireylerin; 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz hava yolu işitme eşikleri ve 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz kemik yolu işitme eşikleri bulunan odyogramları dahil edilmiştir. Odyogramlar Maico marka odyometre cihaz sonuçlarının pdf'e dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Toplamda 1000 adet kulağın odyogramı kullanılmıştır.

### **2. Görüntü İşleme Algoritmalarının Oluşturulması**

Bu çalışmada görüntü işleme algoritması olarak; HSB renk uzayı, ayrık küme ormanı, morfolojik görüntü işleme, şablon eşleştirme yöntemi ve OTSU metodu kullanılmıştır (Şahin & Özyavaş, 2021).

#### **a. HSB renk uzayı**

HSB (Hue, Saturation, Brightness) renk uzayı, RGB (Red, Green, Blue) renk uzayından türetilmiştir fakat RGB renk uzayından farklı olarak, belirli bir rengi sunma yöntemi, renkleri algılama şeklimizle yakından eşleşir. Çünkü HSB

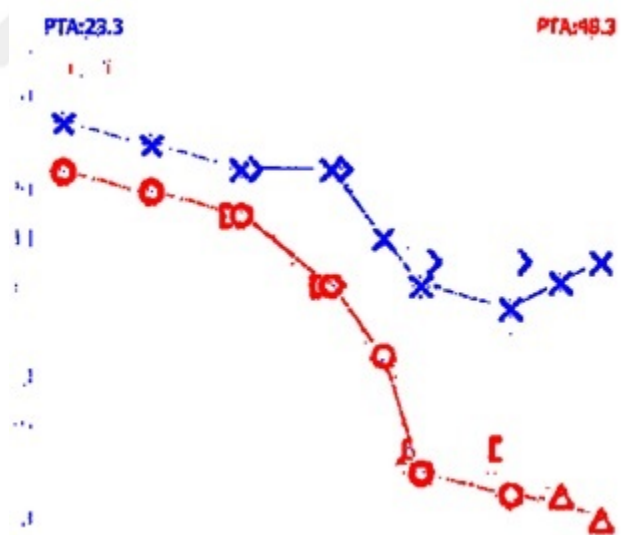
renk uzayı, renkleri Ton (Hue), Doygunluk (Saturation) ve Parlaklık (Brightness) ile ele alır.

Bu sistemde ton, çoğu insanın renkle kastettiği şeydir, örneğin kırmızı, turuncu ve sarı birer tondur. Ton eksenini için değerler kırmızı ile başlayıp yeşil ve mavi ile devam eder ayrıca turuncu, mor gibi tüm ara renkler boyunca uzanır. 0° ile 360° arasında değer alır bu nedenle, iki ton arasındaki açı ne kadar büyükse, aralarındaki renk farkı o kadar büyük olur.

Doygunluk, mevcut olan rengin miktarıdır. Renk tonunun griden ne kadar farklı olduğunu gösterir. %0 ile %100 arasında değer alır, 0' a yaklaşıldıkça renk gri tonlara yaklaşır.

Parlaklık, aydınlatma seviyesini gösterir yani koyu kırmızı ile açık kırmızı ayırımının yapılmasını sağlar. %0 ile %100 arasında değer alır (Huang, 2005; Russ & Neal, 2016, ss. 166–168).

Şekil 6'da HSB metodu kullanılarak kırmızı ve mavi piksellerin odyogramdan elde edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 6. HSB metodu ile kırmızı ve mavi piksellerin odyogramdan elde edilmesi

#### b. Ayrık küme ormanı

Ayrık küme ormanı, n farklı elemanı ayrık kümelerde gruplamayı sağlar. Bu uygulamaların genellikle iki işlemi gerçekleştirmesi gerekir: belirli bir öğeyi içeren özgün kümeyi bulmak ve iki kümeyi birleştirmek (Cormen vd., 2009, s. 561).

Ayrık küme ormanında MAKE-SET işlemiyle, yalnızca bir düğümü olan bir ağaç oluşturulur. Ağacın kökünü bulana kadar üst işaretçiler takip edilerek FIND-SET işlemi yapılır, köke doğru yolda ziyaret edilen düğümler, bulma yolunu oluşturur. Son olarak UNION işlemi ile bir ağacın kökünün diğer ağacın kökünü göstermesi gerçekleştirilir.

Çalışma süresini iyileştirmek için iki sezgisel yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem, daha fazla düğüme sahip ağacın köküne, daha az düğüme sahip ağacın kökünü, işaret ettirmektir. Dereceye göre birleştirme yapılırken, UNION işlemi sırasında daha küçük dereceli kök, daha büyük dereceli köke yönlendirilir. İkinci sezgisel yöntem olan yol sıkıştırma yöntemi de ilki kadar basit ve etkilidir. FIND-SET işlemleri sırasında, bulma yolundaki her bir düğüm doğrudan köke yönlendirilir ve bu yöntem herhangi bir sırayı değiştirmez (Cormen vd., 2009, ss. 561–564)

Ayrık küme ormanı kapalı şekilleri bulmak için uygun bir yöntemdir. Bu sebeple çalışmamızda maskesiz sağ hava yolu, maskeli sağ ve sol hava yolu bu yöntemle bulunmuştur.

### **c. Morfolojik görüntü işleme**

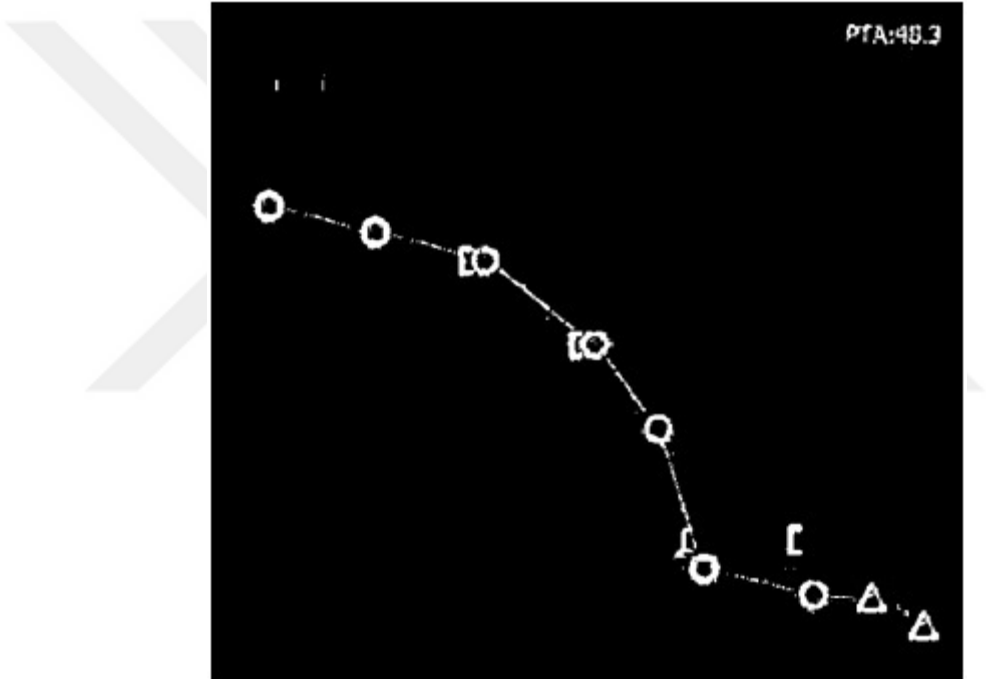
Morfolojik görüntü işleme, görüntüleri şekillere göre işleyen geniş bir görüntü işleme operasyonları setidir. Morfolojik işlemler, bir giriş görüntüsüne yapılandırma ögesi uygulayarak aynı boyutta bir çıkış görüntüsü oluşturur. Bir görüntüdeki şekil özelliklerini belirten yapılandırma elemanı, genellikle daire, kare veya çizgi parçası gibi küçük ve basit bir binary görüntüdür. Morfolojik bir işlemde, çıkış görüntüsündeki her pikselin değeri, giriş görüntüsündeki karşılık gelen pikselin komşularıyla karşılaştırmasına dayanır (Kimori, 2013; MathWorks, 2021).

Morfolojik görüntü işleme yalnızca binary görüntülere değil, aynı zamanda gri tonlamalı ve renkli görüntülere de uygulanabilmektedir (Burger & Burge, 2016, s. 181).

Morfolojik görüntü işlemede en temel işlemler genişleme (dilation) ve erozyondur (erosion). Genişleme, bir görüntüdeki nesnelere sınırlarına pikseller eklerken, erozyon nesne sınırlarındaki pikselleri kaldırır. Genişleme işlemi ile görüntü genişletilir ve yapılandırma elemanı ile kesiştiği bölümler büyütülür bu

sayede görüntüdeki gürültüler azalır ve yapılandırma elemanı için daha uygun hale getirilir. Morfolojik genişleme ve erozyon işlemlerinde, giriş görüntüsündeki piksele ve komşularına bir kural uygulanarak çıkış görüntüsündeki pikselin durumu, belirlenir. Pikselleri işlemek için kullanılan kural, bu gerçekleştirilen işlemin, genişleme veya aşınma olarak tanımlanmasına sebep olur (MathWorks, 2021).

Şekil 7’de sağ kulak hava yolu işitme eşiklerinin elde edilmesi ve HSB renk uzayı ile binary resme dönüştürülmesi gösterilmiştir. Bu aşamada odyogram, doğru bir görüntü işleme süreci için genişleme uygulanmasına hazır hale getirilmiştir.



Şekil 7. Sağ kulak grafiğinin elde edilmesi ve ikili (binary) resme dönüştürülmesi

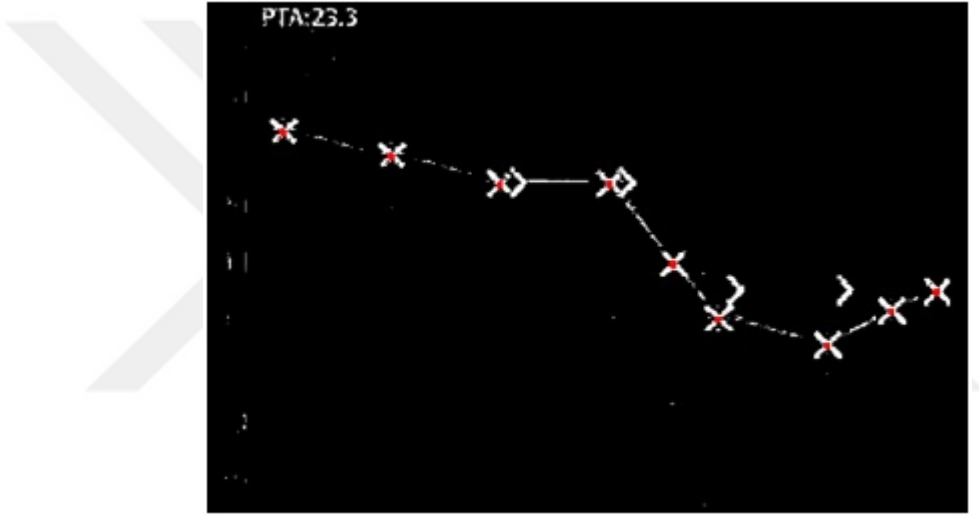
#### d. Şablon eşleştirme yöntemi

Şablon eşleştirme, bir nesnenin referans görüntüsünden, o nesnenin analiz edilen herhangi bir görüntüde olup olmadığına karar vermeyi ve varsa konumunu bulmayı sağlayan bir yöntemdir. Şablon eşleştirme sürecinde, aranan görüntünün, analiz edilen görüntüyle aralarındaki benzerlik ölçüsü hesaplanır (Zhang vd., 2009).

Şablon eşleştirme yönteminde, Tüm Çerçeve Taraması Algoritması (FullFrame Searching Algorithm – FFS) en temel metottur. Örnek çerçevenin,

eşleştirilmek istenilen çerçeve üzerinde aranarak minimum bozulmanın veya maksimum çapraz korelasyonun bulunduğu konumdaki eşleştirme, şablon eşleştirmedir. Referans çerçevenin eşleştirilmek istenen çerçeve üzerindeki tüm piksellerde gezdirilmesi sonucu oluşan eşleştirmeye FFS denir (Aktaş, 2015).

Şablon eşleştirme yönteminde OpenCV kütüphanesinin fonksiyonları kullanıldı. Bu yöntemle maskesiz sol hava yolu, maskesiz kemik yolları ve maskeli kemik yolları tespit edildi. Sol kulak grafiğinin elde edilmesinden sonra şablon eşleştirme yöntemi kullanılarak sol kulak değerlerinin merkez noktalarının hesaplanması şekil 8’de gösterilmiştir. Sol kulak değerlerinin merkez noktaları kırmızı noktayla gösterilmiştir.

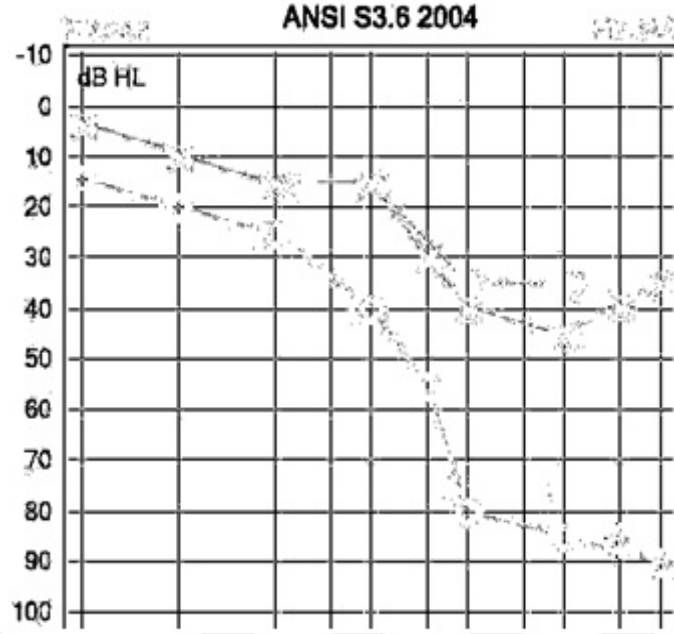


Şekil 8. Sol kulak değerlerinin merkez noktalarının hesaplanması

#### e. OTSU metodu

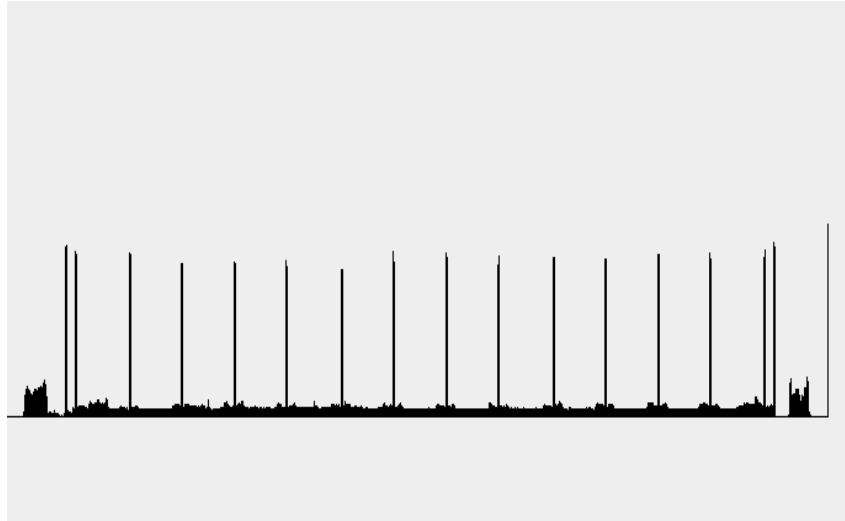
OTSU metodu, gri tonlamalı görüntü üzerindeki piksel değerleri, görüntüde kaç defa var mantığı ile geliştirilmiş bir metottur. Bu metot, basit, verimli, kısa zamanda uygulanabilen ve görüntüyü siyah beyaz hale getirmek için en çok kullanılan metotlardan biridir.

Şekil 9’da kırmızı ve mavi pikseller görüntüden çıkarıldıktan sonra OTSU metodu kullanılarak histogram elde edilmesini kolaylaştırmak için görüntünün siyah-beyaz hale getirilmesi gösterilmiştir.

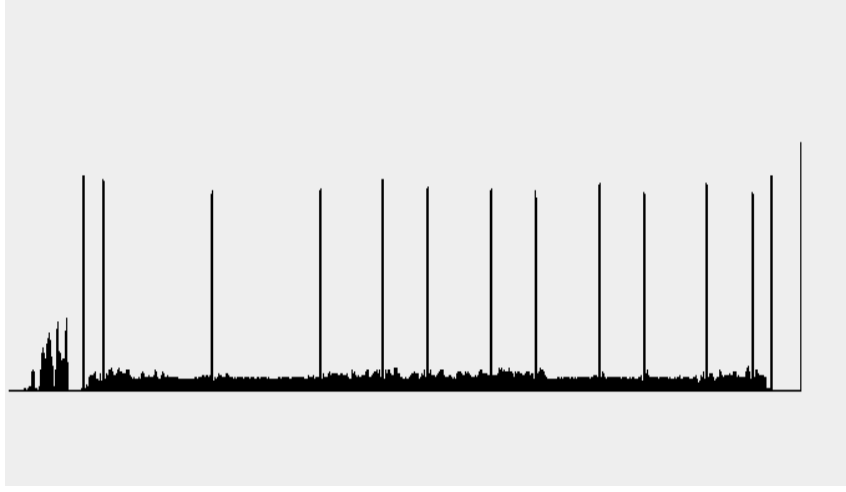


Şekil 9. OTSU metoduyla görüntünün siyah-beyaz hale getirilmesi

Çalışma mantığı renk piksel değerlerinin kaç defa kullanıldığına bakılması olduğundan ilk olarak görüntünün histogramı hesaplanmaktadır. Sonraki işlemlerde hesaplanan bu histogram kullanılmaktadır. Şekil 10 ve 11’de yatay ve dikey doğrultuda piksel değerleri toplamından elde edilen histogramlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu histogramdaki kutu indeksi (histogramdaki peak noktaları) görüntüdeki yatay çizgilerin piksel değerleridir.



Şekil 10. Yatay doğrultu histogramı



Şekil 11. Dikey doğrultu histogramı

OTSU yönteminde, ön plan ve arka plan piksellerinin ağırlıkları belirlenmiş sınıf içi varyans değerinin minimize edilmesi, en iyi eşik değerinin belirlenmesini sağlamaktadır (Özkan, 2011)

Odyogram grafiğinde ilk dikey çizgi 125 Hz, ilk yatay satır da -10db ile başlar. İkili görüntüde çizgilerin konumlarının belirlenmesi sayesinde yatay ve dikey iz düşüm histogramlarında çizgilerin konumları bulunur ve nihayetinde odyogramın frekans ve desibel değerleri elde edilir.

Gri tonlamalı görüntü, siyah beyaz görüntüye dönüştürülürken baz alınacak bir eşik değere ihtiyaç duyulur. Eşik değeri sabit bırakıldığında farklı görüntülerde sonuçlar farklı olacağından, her işlem sırasında eşik değerinin bulunması gerekmektedir. OTSU metodu ile gerekli olan bu eşik değeri bulunabilmektedir. Eşik değeri, sınıf içi varyans değerine bakılarak hesaplanmaktadır. En küçük varyans değeri, en ideal eşik değeri gösterir. Görüntüdeki pikseller hesaplanan eşik değere göre iki kümeye ayrılır. Eşik değeri üstündeki pikseller beyaza dönüşürken, altındaki pikseller siyaha dönüşmektedir (Akdemir, 2018).

### 3. Görüntü İşleme Algoritmalarının Çıktısı Olarak Veri Setinin Oluşturulması

Örneklem büyüklüğü belirlemek için G Power 3.1.9.7 programı kullanılmıştır. Analiz yapılırken d etki büyüklüğü 0.80 tercih edilmiştir. Çalışmanın veri seti için çalışmaya dahil edilen bireylere ait 1000 adet saf ses odyometre testi sonucu alınmıştır. 1000 adet odyometri sonucunda bulunan 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz ve 8000 Hz hava yolu

işitme eşikleri ve 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz kemik yolu işitme eşikleri, uygulanan görüntü işleme algoritmalarının ardından excel formatında hazırlanan veri setine sütun olarak girilmiştir. Denetimli makine öğreniminin gerçekleştirilebilmesi için saf ses odyometri test sonuçlarından elde edilen işitme kaybı yok veya varsa tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışmamızda veri setinde etiketleme işlemi, yapı geçerliliği için alanında üç uzman odyolog tarafından kör çalışma olarak yapılmıştır ve tez sahibi etiketleme sonucu ile üç uzman odyolog sonucunun aynı olması koşulu ile veri seti oluşturulmuştur. Veri seti sınıflandırması Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	125 Hz Hava	250 Hz Hava	500 Hz Hava	1000 Hz Hava	2000 Hz Hava	4000 Hz Hava	6000 Hz Hava	8000 Hz Hava	500 Hz Kemik	1000 Hz Kemik	2000 Hz Kemik	4000 Hz Kemik	İşitme Kaybı Derecesi
2	5	10	10	10	5	10	10	15	0	5	5	5	Normal İşitme
3	10	10	10	15	10	10	10	15	0	5	5	0	Normal İşitme
4	20	20	15	40	45	50	55	65	15	40	45	50	Hafif Derecede İşitme Kaybı
5	15	15	20	40	45	55	60	70	15	40	45	55	Hafif Derecede İşitme Kaybı
6	15	20	20	10	5	10	15	25	15	0	0	15	Normal İşitme
7	35	45	45	40	45	50	45	40	10	5	10	10	Orta Derecede İşitme Kaybı
8	40	40	45	45	40	45	45	45	10	10	5	15	Orta Derecede İşitme Kaybı
9	10	10	15	15	15	10	10	20	10	10	5	10	Normal İşitme
10	50	55	50	50	55	50	50	55	0	5	5	5	Orta Derecede İşitme Kaybı
11	40	50	55	50	50	45	45	45	5	5	10	5	Orta Derecede İşitme Kaybı
12	20	20	25	30	40	45	45	50	25	30	35	45	Hafif Derecede İşitme Kaybı
13	15	15	30	30	40	50	55	55	25	30	40	45	Hafif Derecede İşitme Kaybı
14	10	15	10	10	15	15	10	10	5	5	10	10	Normal İşitme
15	45	55	45	50	55	70	70	75	40	50	55	65	Orta Derecede İşitme Kaybı
16	15	20	15	10	10	15	15	20	10	5	5	10	Normal İşitme
17	10	15	15	15	10	15	15	15	10	5	10	10	Normal İşitme
18	70	85	85	85	100	105	100	95	60	60	60	65	Çok İleri Derecede İşitme Kaybı
19	85	90	100	95	85	85	85	90	70	65	70	65	Çok İleri Derecede İşitme Kaybı
20	50	50	50	55	60	60	65	70	45	50	55	60	Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı
21	5	10	5	10	10	10	10	15	0	5	5	10	Normal İşitme
22	60	65	70	70	75	70	70	80	45	40	40	65	İleri Derecede İşitme Kaybı
23	70	70	75	80	70	75	75	85	45	50	35	70	İleri Derecede İşitme Kaybı
24	85	100	90	85	90	100	100	105	65	75	80	75	Çok İleri Derecede İşitme Kaybı
25	9	95	95	85	85	100	100	95	65	75	80	75	Çok İleri Derecede İşitme Kaybı
26	60	65	65	70	80	90	95	95	60	60	70	70	İleri Derecede İşitme Kaybı

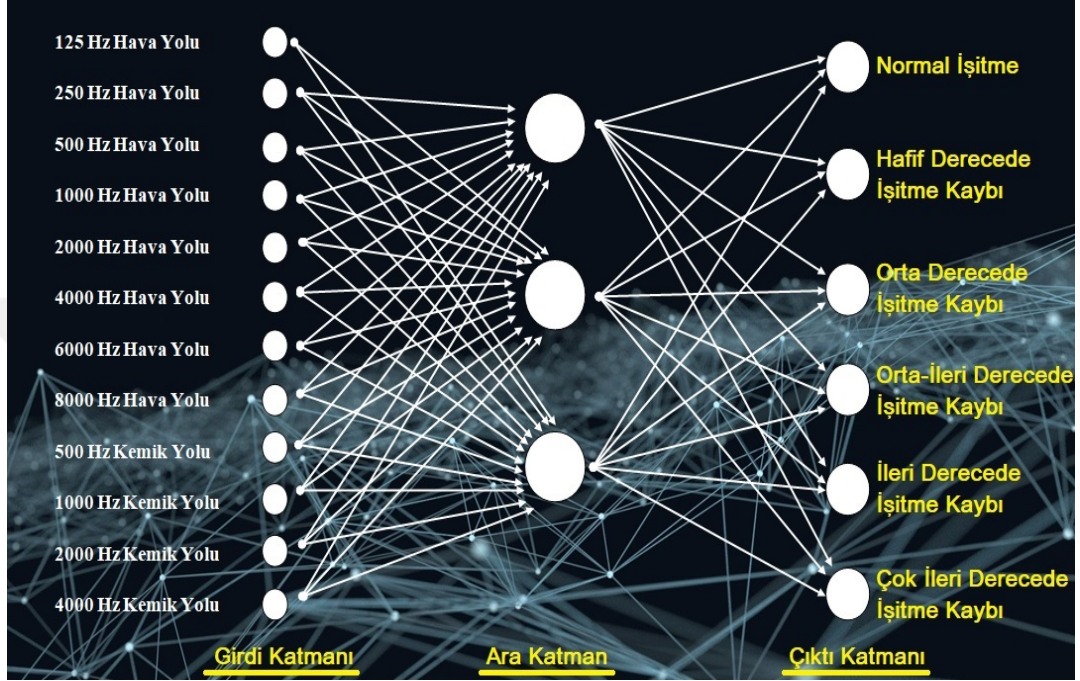
Şekil 12. Odyogramların işitme kaybı derecesine göre etiketlenmesi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	125 Hz Hava	250 Hz Hava	500 Hz Hava	1000 Hz Hava	2000 Hz Hava	4000 Hz Hava	6000 Hz Hava	8000 Hz Hava	500 Hz Kemik	1000 Hz Kemik	2000 Hz Kemik	4000 Hz Kemik	İşitme Kaybı Tipi
2	5	10	10	10	5	10	10	15	0	5	5	5	Normal İşitme
3	10	10	10	15	10	10	10	15	0	5	5	0	Normal İşitme
4	20	20	15	40	45	50	55	65	15	40	45	50	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
5	15	15	20	40	45	55	60	70	15	40	45	55	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
6	15	20	20	10	5	10	15	25	15	0	0	15	Normal İşitme
7	35	45	45	40	45	50	45	40	10	5	10	10	İletim Tipi İşitme Kaybı
8	40	40	45	45	40	45	45	45	10	10	5	15	İletim Tipi İşitme Kaybı
9	10	10	15	15	15	10	10	20	10	10	5	10	Normal İşitme
10	50	55	50	50	55	50	50	55	0	5	5	5	İletim Tipi İşitme Kaybı
11	40	50	55	50	50	45	45	45	5	5	10	5	İletim Tipi İşitme Kaybı
12	20	20	25	30	40	45	45	50	25	30	35	45	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
13	15	15	30	30	40	50	55	55	25	30	40	45	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
14	10	15	10	10	15	15	10	10	5	5	10	10	Normal İşitme
15	45	55	45	50	55	70	70	75	40	50	55	65	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
16	15	20	15	10	10	15	15	20	10	5	5	10	Normal İşitme
17	10	15	15	15	10	15	15	15	10	5	10	10	Normal İşitme
18	70	85	85	85	100	105	100	95	60	60	60	65	Mikst Tip İşitme Kaybı
19	85	90	100	95	85	85	85	90	70	65	70	65	Mikst Tip İşitme Kaybı
20	50	50	50	55	60	60	65	70	45	50	55	60	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
21	5	10	5	10	10	10	10	15	0	5	5	10	Normal İşitme
22	60	65	70	70	75	70	70	80	45	40	40	65	Mikst Tip İşitme Kaybı
23	70	70	75	80	70	75	75	85	45	50	35	70	Mikst Tip İşitme Kaybı
24	85	100	90	85	90	100	100	105	65	75	80	75	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
25	9	95	95	85	85	100	100	95	65	75	80	75	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı
26	60	65	65	70	80	90	95	95	60	60	70	70	Sensörinöral Tip İşitme Kaybı

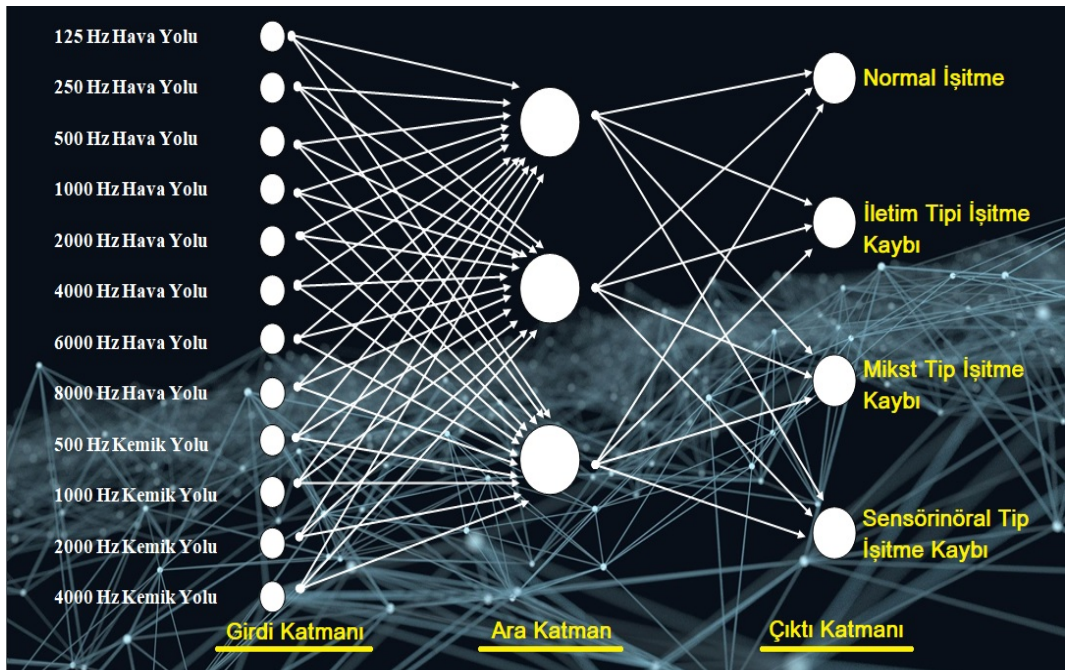
Şekil 13. Odyogramların işitme kaybı tipine göre etiketlenmesi

#### 4. Makine Öğrenmesi ile Yapay Sinir Ağları Algoritmalarının Oluşturulması

Odyogram verileri Python programlama dilinin Python 3.10.1 sürümü kullanılarak işlendi (Dişçi & Konukseven 2021). Spyder eklentisinde sanal ortam oluşturuldu ardından pandas ve sklearn kütüphaneleri kullanıldı. Yapay sinir ağının veri setini işleme modellemesi Şekil 14 ve 15'te verilmiştir.



Şekil 14. Yapay sinir ağının işitme kaybı derecesine göre modellemesi



Şekil 15. Yapay sinir ağının işitme kaybı türüne göre modellemesi

Program üzerinden işitme kaybı türleri ve derecesi için sayılar tanımlandı. İşitme kaybı derecesi (Goodman, 1965) 'e göre (Çizelge 2) sınıflandırıldı.

Veri seti küçültüldü, bu sayede makine öğrenmesinin eğitim ve test süreçleri daha hızlı gerçekleştirildi.

## 5. Makine Öğrenmesinin Eğitilip Test Edilmesi

Görüntü işleme algoritmalarından elde edilen veri seti X ve y olmak üzere ikiye ayrıldı ve makine öğrenmesi tarafından okundu. Sklearn veri kütüphanesi aracılığıyla veri seti, X\_train, y\_train eğitim verisi ve X\_test, y\_test test verisi olarak ayrıldı. Veri setinin %80'i (800) eğitim verisi, %20'si de (200) test verisi olarak ayrıldı ve bu ayrımın sabit bir değerde yapılması sağlandı.

Çalışma kapsamında, veri setindeki odyogramlar üç uzman odyolog tarafından yapılan kör çalışma ve tez sahibinin etiketleme sonucunun aynı olması koşulu ile bireylerin işitme kaybı türü ve işitme kaybı derecesi belirlenmiştir. Yapay zeka yanıtları şekil 16'daki gibi excel dosyasına aktarılmış ve işitme kaybı tipi ve derecesi için doğruluk oranları hesaplanmıştır.

Etiketlenen Veri	Yapay Zeka Yanıtı	Uyumluluk
1	1	DOĞRU
0	0	DOĞRU
3	3	DOĞRU
4	4	DOĞRU
1	1	DOĞRU
0	0	DOĞRU
0	0	DOĞRU
2	2	DOĞRU
4	4	DOĞRU
0	0	DOĞRU
5	1	YANLIŞ
0	0	DOĞRU
2	2	DOĞRU
2	0	YANLIŞ
2	2	DOĞRU
2	2	DOĞRU
4	4	DOĞRU
4	4	DOĞRU

Şekil 16. Yapay zeka ve etiketlenmiş veri setinin karşılaştırılması

## 6. Koşullu İfadelerin Oluşturulması

Veri seti, Java programlama dilinde Eclipse IDE for Java Developers-2021-03 programı, poi.apache kütüphanesi kullanılarak analiz edildi.

Saf ses ortalamasına 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekansları dahil edildi. Program üzerinde hava yolu saf ses ortalaması “havaOrtalama”, kemik yolu saf ses ortalaması ise “kemikOrtalama” olarak belirtildi. Şekil 17’de bu ortalama hesaplaması gösterilmiştir.

```
//Hava yolu SSO
double havaOrtalama = (satir.getCell(1).getNumericCellValue() + satir.getCell(2).getNumericCellValue() +
    satir.getCell(3).getNumericCellValue() + satir.getCell(4).getNumericCellValue()) / 4.0d;

//Kemik yolu SSO
double kemikOrtalama = (satir.getCell(6).getNumericCellValue() + satir.getCell(7).getNumericCellValue() +
    satir.getCell(8).getNumericCellValue() + satir.getCell(9).getNumericCellValue()) / 4.0d;
```

Şekil 17. Hava yolu ve kemik yolu saf ses ortalaması hesaplanması

Hava yolu ve kemik yolu saf ses ortalamaları program tarafından hesaplandı. İşitme kaybı derecesi ve türünün doğru ve yanlış cevaplarının sayılabilmesi için program içerisinde bütün cevaplara integer değerler atandı. Şekil 18 ve 19’da işitme kaybı derecesi ve türü için integer değer ataması gösterilmiştir.

```
//işitme kaybı derecesi
int normalIsitmeDogru = 0;
int normalIsitmeyanlis = 0;
int hafifKayipDogru = 0;
int hafifKayipYanlis = 0;
int ortaKayipDogru = 0;
int ortaKayipyanlis = 0;
int ortaIleriKayipDogru = 0;
int ortaIleriKayipYanlis = 0;
int ileriKayipDogru = 0;
int ileriKayipYanlis = 0;
int cokIleriKayipDogru = 0;
int cokIleriKayipYanlis = 0;
```

Şekil 18. İşitme kaybı derecesi için integer değer ataması

```
//işitme kaybı türü
int normalIsitmeDogru = 0;
int normalIsitmeYanlis = 0;
int iletimTipKayipDogru = 0;
int iletimTipKayipYanlis = 0;
int miksTipKayipDogru = 0;
int miksTipKayipYanlis = 0;
int snTipKayipDogru = 0;
int snTipKayipYanlis = 0;
```

Şekil 19. İşitme kaybı türü için integer değer ataması

## 7. Koşullu İfadelerin Test Edilmesi

Görüntü işleme algoritmalarından elde edilen excel veri setindeki her satır döngüye girdi ve işitme kaybı derecesi ve türü için tahminler yapıldı. Tahminlerin toplam doğru ve yanlış sayısı etiketlenmiş veri setine göre belirlendi. Örneğin Excel veri setinin 10. satırında normal işitme olarak etiketlenen, saf ses ortalaması 20 dB olan bir odyogram, şekil 13'teki normal işitme bloğuna göre saf ses ortalaması 25 dB'ye küçük eşitse normal işitme olarak algılanacak ve dönüye giren satır etiketlenen veriyle uyduğu için "normalIsitmeDogru" hanesi bir artacaktır. Uyuşmaması halinde ise "normalIsitmeYanlis" hanesi bir artacaktır. Şekil 20'de normal işitmenin tespiti için yazılan kod gösterilmiştir.

```
if(havaOrtalama <= 25) {  
    if(satir.getCell(11).getStringCellValue().contentEquals("Normal İşitme"))  
        normalIsitmeDogru++;  
    else  
        normalIsitmeYanlis++;  
}
```

Şekil 20. Koşullu ifadelerle oluşturulan normal işitme bloğu

SSO 25'ten büyük olan satırlarda if bloğundan tahmin alınamayıp uygun olan else if bloklarında işlem görecektir ve işitme kaybı türü ve derecesi sınıflandırması yapılacaktır. Şekil 21 ve 22'de işitme kaybı türü ve derecesi blokları belirtilmiştir. Her satır için bu döngü ile işitme kaybı derecesi ve türü tahmini yapılmıştır.

```

if(

    if(
        iletimTipKayipDogru++;
    else
        iletimTipKayipYanlis++;

else if(

    if(
        miksTipKayipDogru++;
    else
        miksTipKayipYanlis++;

else if(

    if(
        snTipKayipDogru++;
    else
        snTipKayipYanlis++;

        .contentEquals("İletim Tipi İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("Mikst Tip İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("Sensörinöral Tip İşitme Kaybı"))

```

Şekil 21. Koşullu ifadelerle oluşturulan işitme kaybı türü blokları

```

else if
    if(
        hafifKayipDogru++;
    else
        hafifKayipYanlis++;
else if
    if(
        ortaKayipDogru++;
    else
        ortaKayipYanlis++;
else if
    if(
        ortaIleriKayipDogru++;
    else
        ortaIleriKayipYanlis++;
else if
    if(
        ileriKayipDogru++;
    else
        ileriKayipYanlis++;
else if
    if(
        cokIleriKayipDogru++;
    else
        cokIleriKayipYanlis++;

        .contentEquals("Hafif Derecede İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("Orta Derecede İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("Orta İleri Derece İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("İleri Derece İşitme Kaybı"))
        .contentEquals("Çok İleri Derece İşitme Kaybı"))

```

Şekil 22. Koşullu ifadelerle oluşturulan işitme kaybı derecesi blokları

Çıktı ekranında işitme kaybı türü ve derecesine göre doğru ve yanlış tahmin sayılarının alınabilmesi için yazılan kod Şekil 23 ve 24’te gösterilmiştir.

```

System.out.println("Normal İşitme Doğru Tahmin" + normalIsitmeDogru);
System.out.println("Normal İşitme Yanlış Tahmin" + normalIsitmeYanlis);

System.out.println("İletim Tipi İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + iletimTipKayipDogru);
System.out.println("İletim Tipi İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + iletimTipKayipYanlis);

System.out.println("Mikst Tip İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + miksTipKayipDogru);
System.out.println("Mikst Tip İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + miksTipKayipYanlis);

System.out.println("Sensörinoral İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + snTipKayipDogru);
System.out.println("Sensörinoral İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + snTipKayipYanlis);

System.out.println("Toplam Doğru Tahmin" + (normalIsitmeDogru + iletimTipKayipDogru + miksTipKayipDogru + snTipKayipDogru));
System.out.println("Toplam Yanlış Tahmin" + (normalIsitmeYanlis + iletimTipKayipYanlis + miksTipKayipYanlis + snTipKayipYanlis));

```

Şekil 23. İşitme kaybı türüne göre tahmin çıktısı

```

System.out.println("Normal İşitme Doğru Tahmin" + normalIsitmeDogru);
System.out.println("Normal İşitme Yanlış Tahmin" + normalIsitmeYanlis);

System.out.println("Hafif Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + hafifKayipDogru);
System.out.println("Hafif Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + hafifKayipYanlis);

System.out.println("Orta Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + ortaKayipDogru);
System.out.println("Orta Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + ortaKayipYanlis);

System.out.println("Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + ortaIleriKayipDogru);
System.out.println("Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + ortaIleriKayipYanlis);

System.out.println("İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + ileriKayipDogru);
System.out.println("İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + ileriKayipYanlis);

System.out.println("Çok İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin" + cokIleriKayipDogru);
System.out.println("Çok İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin" + cokIleriKayipYanlis);

System.out.println("Toplam Doğru Tahmin" + (normalIsitmeDogru + hafifKayipDogru + ortaKayipDogru + ortaIleriKayipDogru + ileriKayipDogru + cokIleriKayipDogru));
System.out.println("Toplam Yanlış Tahmin" + (normalIsitmeYanlis + hafifKayipYanlis + ortaKayipYanlis + ortaIleriKayipYanlis + ileriKayipYanlis + cokIleriKayipYanlis));

```

Şekil 24. İşitme kaybı derecesine göre tahmin çıktısı

## 8. Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerin Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu başlık bulgular kısmında detaylandırılacaktır.

## IV. BULGULAR

### A. Görüntü İşleme Algoritmalarıyla Yapay Sinir Ağları Doğruluk Ölçümü

Yapay sinir ağı algoritması çalıştırılarak algoritmanın başarı skoru yüzdesel bir oran olarak elde edilmiştir. Elde edilen başarı skorları, işleme kaybı tipine göre toplamda %89,5 ve işleme kaybı derecesine göre toplamda %89'dur. Şekil 25 ve 26'da gösterilmiştir.

```
In [37]: runfile('C:/Users/asus2/Desktop/Oku_MLPRegressor.py',  
wdir='C:/Users/asus2/Desktop')  
Score: 0.895
```

Şekil 25. Yapay sinir ağı algoritmasının işleme kaybı tipi skoru

```
In [37]: runfile('C:/Users/asus2/Desktop/Oku_MLPRegressor.py',  
wdir='C:/Users/asus2/Desktop')  
Score: 0.89
```

Şekil 26. Yapay sinir ağı algoritmasının işleme kaybı derecesi skoru

### B. Görüntü İşleme Algoritmalarıyla Koşullu İfadeler Doğruluk Ölçümü

Algoritma çalıştırıldığında işleme kaybı türüne ve derecelerine göre doğru ve yanlış tahmin edilen verilerin sayıları elde edilmiştir. Algoritmanın işleme kaybı türüne göre başarı oranı toplamda %92,8 ve işleme kaybı derecesine göre ise toplamda %93'tür. Şekil 27 ve 28'de işleme kaybı tipi ve derecesi için toplam doğru ve yanlış sayıları gösterilmiştir.

```
Normal İşitme Doğru Tahmin 336
Normal İşitme Yanlış Tahmin 0
İletim Tipi İşitme Kaybı Doğru Tahmin 176
İletim Tipi İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 8
Mikst Tip İşitme Kaybı Doğru Tahmin 200
Mikst Tip İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 13
Sensörinöral İşitme Kaybı Doğru Tahmin 250
Sensörinöral İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 17
Toplam Doğru Tahmin 962
Toplam Yanlış Tahmin 38
```

Şekil 27. Koşullu ifadelerin işitme kaybı türü için toplam doğru ve yanlış tahmin sayısı

```
Normal İşitme Doğru Tahmin 336
Normal İşitme Yanlış Tahmin 0
Hafif Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin 179
Hafif Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 0
Orta Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin 158
Orta Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 0
Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin 131
Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 0
İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin 116
İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 0
Çok İleri Derecede İşitme Kaybı Doğru Tahmin 80
Çok İleri Derecede İşitme Kaybı Yanlış Tahmin 0
Toplam Doğru Tahmin 1000
Toplam Yanlış Tahmin 0
```

Şekil 28. Koşullu ifadelerin işitme kaybı derecesi için toplam doğru ve yanlış tahmin sayısı

### C. Görüntü İşleme ile Yapay Sinir Ağları ve Koşullu İfadeler Doğruluk Oranlarının Karşılaştırılması

Görüntü işleme algoritmaları ile elde edilen veri setinin etiketlenmesiyle eğitilip test edilen yapay sinir ağları ve yazılan koşullu ifade algoritmalarının test edilmesiyle ortaya çıkan işitme kaybı derecesi ve tipi için doğruluk oranları çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Koşullu ifadeler ve yapay sinir ağları doğruluk oranları

KOŞULLU İFADELER				YAPAY SİNİR AĞLARI		
İşitme Kaybı Derecesi	Test Edilen Veri Sayısı	Yanlış Sayısı	Algoritmanın Doğruluk Oranı	Test Edilen Veri Sayısı	Yanlış sayısı	Algoritmanın Doğruluk Oranı
Normal İşitme	336	0	%100	70	4	%94,29
Hafif Derecede İşitme Kaybı	179	0	%100	37	6	%86,11
Orta Derecede İşitme Kaybı	158	0	%100	33	3	%90,90
Orta-İleri Derecede İşitme Kaybı	131	0	%100	26	3	%88,46
İleri Derecede İşitme Kaybı	116	0	%100	22	4	%81,81
Çok İleri Derecede İşitme Kaybı	80	0	%100	12	2	%75
<b>Toplam İşitme Kaybı</b>	<b>1000</b>	<b>0</b>	<b>%100</b>	<b>200</b>	<b>22</b>	<b>%89</b>
İşitme Kaybı Tipi	Test Edilen Veri Sayısı	Yanlış Sayısı	Algoritmanın Doğruluk Oranı	Test Edilen Veri Sayısı	Yanlış sayısı	Algoritmanın Doğruluk Oranı
Normal İşitme İletim Tipi	336	0	%95,24	70	4	%94,29
İşitme Kaybı Mikst Tip	184	8	%95,65	37	4	%89,19
İşitme Kaybı Sensörinöral Tip İşitme Kaybı	213	13	%93,90	40	6	%85
<b>Toplam</b>	<b>267</b>	<b>17</b>	<b>%93,63</b>	<b>53</b>	<b>7</b>	<b>%86,79</b>
<b>Toplam</b>	<b>1000</b>	<b>38</b>	<b>%96,20</b>	<b>200</b>	<b>21</b>	<b>%89,50</b>

#### D. Görüntü İşlemenin Doğruluk Oranları

OTSU metodunda odyogram resimlerinin zaman zaman çizgilerinin bir kısmını kaybolabilmekte ve bazı çizgiler görünmeyebilmektedir. Dilation uygulaması renkli görüntülere uygulandığından bu probleme engel olmamaktadır. OTSU metodu resimlerin binary hale getirilmesi sürecini kapsamaktadır. Görüntü işleme doğruluk oranlarının %100 olmaması yapay zeka veya koşullu ifadelerin doğruluk oranlarını etkilememektedir. Çünkü görüntü işlemeden nasıl bir eşik çıkarsa çıksın, etiketleme işlemi odyologlar tarafından yapılmıştır.

#### 1. Frekans Bazında Doğruluk Oranı

1000 kulağın her birinin hava yolu için; 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 Hz hava yolu ve 500, 1000, 2000, 4000 Hz kemik yolu bulunmaktadır. Görüntü işleme sonucunda toplamda 12000 adet frekans değeri

tespit edilmiştir. Çizelge 8’de görüntü işlemenin frekans bazında doğruluk oranları belirtilmiştir.

Çizelge 8. Görüntü işlemenin frekans bazında doğruluk oranları

Frekans	Toplam Sayı	Yanlış Sayısı	Doğruluk Oranı
125 Hz Hava	1000	88	%91,2
250 Hz Hava	1000	97	%90,3
500 Hz Hava	1000	102	%89,8
1000 Hz Hava	1000	127	%87,3
2000 Hz Hava	1000	119	%88,1
4000 Hz Hava	1000	98	%90,2
6000 Hz Hava	1000	123	%87,7
8000 Hz Hava	1000	115	%88,5
500 Hz Kemik	1000	110	%89
1000 Hz Kemik	1000	114	%88,6
2000 Hz Kemik	1000	125	%87,5
4000 Hz Kemik	1000	128	%87,2
Toplam	12000	1346	%88,78

## 2. Odyogram Bazında Doğruluk Oranı

Bazı odyogramlarda bir veya birden fazla frekansta hatalı frekans işlenmiş olup toplamda 622 adet kulağa sahip odyogramda hatasız görüntü işleme yapılmış ve doğruluk oranı %62,2 olarak bulunmuştur.

## V.TARTIŞMA

Bu çalışmada odyometre test sonuçları görüntü işleme algoritmalarıyla veri seti haline getirilmiş, bilgisayar tabanlı iki farklı sistemle işitme durumunu, işitme kaybı tipi ve derecesi yönünden belirlerken makine öğrenmesi ve koşullu ifadelerle yazılan kodlar arasındaki elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapay zeka ile işitme kaybı tipi belirlemede toplamda %89,50 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %86,79, mikst tip işitme kaybı %85,00 iletim tip işitme kaybı %89,19, normal işitmede %94,29 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Yapay zeka ile işitme kaybının derecesini belirlemede toplamda %89,00 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %75,00, ileri derecede işitme kaybında %81,81, orta-ileri derecede işitme kaybında %89,49, orta derecede işitme kaybında %90,00, hafif derecede işitme kaybında %86,11, normal işitmede %94,29 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Koşullu ifadeler ile işitme kaybı tipi belirlemede toplamda %96,20'lik doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %93,64, mikst tip işitme kaybı %93,87, iletim tip işitme kaybı %95,65, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Koşullu ifadeler ile işitme kaybının derecesini belirlemede toplamda %100'lük doğruluk oranı elde edilmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %100, ileri derecede işitme kaybında %100, orta-ileri derecede işitme kaybında %100, orta derecede işitme kaybında %100, hafif derecede işitme kaybında %100, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde edilmiştir.

Dişçi ve Konukseven (2021) yılında yapay sinir ağları ve koşullu ifadeler yöntemlerini kullanarak işitme kaybının tipini ve derecesini belirlemeyi hedeflemiştir. 1000 adet saf ses odyometre testinin sonucunu veri setine dahil etmiştir. Çalışmaya dahil edilen saf ses odyometre testi sonuçlarınının 423 tanesi normal işitmeye, 171 tanesi mikst tip işitme kaybına, 284 tanesi sensörinöral

İşitme kaybına ve 122 tane iletim işitme kaybına sahip bireylerden oluşmaktaydı. İşitme kaybı derecesine göre ise 423 tanesi normal işitmeye, 246 tanesi hafif derecede, 164 tanesi orta derecede, 86 tanesi orta-ileri derecede, 42 tanesi ileri derecede ve 39 tanesi çok ileri derecede işitme kaybına sahip bireylerden oluşmaktaydı. Veri setinin %80'ini eğitim verisi, %20'sini ise test verisi olarak rastgele ayırmıştır. İşitme kaybı tipi belirlemede yapay zeka ile %94,50 doğruluk oranı elde etmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %93,10, mikst tip işitme kaybı %94,00, iletim tip işitme kaybı %100, normal işitmede %94,00 doğruluk oranı elde etmiştir. Bizim çalışmamızda ise işitme kaybı tipi belirlemede yapay zeka ile %89,50 doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %86,79, mikst tip işitme kaybı %85,00, iletim tip işitme kaybı %89,19, normal işitmede %88,57 doğruluk oranı elde edilmiştir. Dişçi ve Konukseven (2021) işitme kaybı derecesi belirlemede ise yapay zeka ile %95 doğruluk oranı elde etmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %100, ileri derecede işitme kaybında %83,30, orta-ileri derecede işitme kaybında %95,20, orta derecede işitme kaybında %100, hafif derecede işitme kaybında %88,60, normal işitmede %98,6 doğruluk oranı elde etmiştir. Bizim çalışmamızda ise işitme kaybı derecesi belirlemede ise yapay zeka ile %89,00 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %75,00, ileri derecede işitme kaybında %81,81, orta-ileri derecede işitme kaybında %88,46, orta derecede işitme kaybında %90,90, hafif derecede işitme kaybında %86,11, normal işitmede %94,29 doğruluk oranı elde edilmiştir. Dişçi ve Konukseven (2021) koşullu ifadeler ile işitme kaybı tipi belirlemede %96,4'lük doğruluk oranı elde etmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %91,1, mikst tip işitme kaybı %97,6, iletim tip işitme kaybı %94,3, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde etmiştir. Bizim çalışmamızda ise koşullu yapı ile işitme kaybı tipi belirlemede %96,20'lik doğruluk oranı elde edilmiştir. Sensörinöral tip işitme kaybı %93,63, mikst tip işitme kaybı %93,87, iletim tip işitme kaybı %95,65, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde edilmiştir. Dişçi ve Konukseven (2021) koşullu yapı ile işitme kaybı derecesi belirlemede %100'lük doğruluk oranı elde etmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %100, ileri derecede işitme kaybında %100, orta-ileri derecede işitme kaybında %100, orta derecede işitme kaybında %100, hafif derecede işitme kaybında %100, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde etmiştir. Bizim çalışmamızda koşullu ifadeler ile işitme kaybı derecesi belirlemede %100'lük doğruluk oranı elde

edilmiştir. Çok ileri derecede işitme kaybında %100, ileri derecede işitme kaybında %100, orta-ileri derecede işitme kaybında %100, orta derecede işitme kaybında %100, hafif derecede işitme kaybında %100, normal işitmede %100 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çalışmamızda odyometre test sonuçları görüntü işleme uygulamasıyla veri seti haline getirildikten sonra işitme durumunu, işitme kaybı tipi ve derecesi yönünden belirlenmesi makine öğrenmesi ve koşullu ifadelerle yazılan kodlar ile yapılmıştır. Çalışmamızda kullanılan veri seti Dişçi ve Konukseven'in 2021 yılında yaptığı çalışmada kullandığı veri setine göre gruptaki örneklem sayısı birbirine daha yakın olmasına karşın yapay sinir ağlarında daha düşük doğruluk oranları ve koşullu ifadelerde çok yakın doğruluk oranları elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak Dişçi'nin yapay sinir ağlarında rastgele yapılan eğitim verisi dağılımının bizim çalışmamızdaki rastgele yapılan eğitim verisine göre işitme kaybı tipi ve derecesi için daha homojen olduğu düşünülmektedir. Koşullu ifadelerde yakın sonuçlar alınmasının sebebinin algoritmaların aynı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Er, (2020) yılında işitme kaybı tipini yapay sinir ağı algoritması kullanarak belirleme amacıyla bir çalışma yapmıştır. Matlab ortamında saf ses oluşturup, Visual Studio C# ortamında oluşturulan yazılıma entegre edilmiştir. Hava yolu için JBL marka kulak üstü kulaklık ve kemik yolu için kemik iletimli bir kulaklığın kalibrasyonları yapılarak test için uygun hale getirilmiştir. Hava yolu için 250 Hertz (Hz), 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz ve 6000 Hz frekansları hesaba katılmış, kemik yolu için ise 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ve 4000 Hz frekansları yapay sinir ağı giriş verileri olarak kabul edilmiştir. Veri seti 247 adet test sonucundan oluşmaktadır. 200 adet test sonucu eğitim verisi olarak, 47 test sonucu ise modeli test etmek için kullanılmıştır. İşitme kaybı tipi belirlemede yapay sinir ağı algoritması ile %97 oranında doğruluk oranı elde edilmiştir. Çalışmamızda görüntü işleme ile elde edilen veri seti kullanılarak yapay sinir ağı algoritması ile işitme kaybı tipini belirlemede %89,50 doğruluk oranı elde edilmiştir. Bu farkın çalışmalarda kullanılan odyogram konfigürasyonlarının ve değerlendirmeye katılan frekansların farklılığından kaynaklandığı düşünülmüştür.

(İçer vd., 2009) yılında tecrübesizliğe bağlı hatalı tanılamayı ortadan kaldırmak ve kolayca doğru teşhise ulaşmayı sağlamak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. İK tipi sınıflandırması yapabilmek için yapay sinir ağları ile bir

karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Çeşitli işitme kayıplarına ait odyogram verileri Kayseri Erciyes Üniversitesi'nden elde edilmiştir. Veri seti Normal işiten 40, İletim işitme kaybına sahip 120, mikst tip işitme kaybına sahip 120 ve sensörinöral işitme kaybına sahip 120 bireyden Toplam 400 veriden oluşmaktadır. Yapay sinir ağları, ortalama kare hata performans fonksiyonu 0,0001'e ulaşana kadar eğitilmiştir. Toplam 80 test verisinde sadece 1 bireyin yanlış sınıflandırması sonucunda %98,75 doğruluk oranı elde edilmiştir. Bizim çalışmamızda işitme kaybı tipi belirlemede yapay sinir ağları ile elde edilen başarı oranı %89,50'dir. Bunun sebebinin çalışmalar arasındaki eğitim metodunun farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

McKearney ve MacKinnon, (2019) yılında ABR testini makine öğrenmesiyle yorumlamaya çalışmışlardır. 18-31 yaş aralığında normal işitmeye sahip 4 erkek, 4 kadın katılımcıdan elde edilen ABR verileri ile Python programının Keras eklentisi kullanılmış yapay sinir ağları eğitilmiştir. Katılımcılardan toplamda 232 dalga formu toplanmıştır. 6 katılımcının sonuçları yapay sinir ağları için eğitim seti, 2 katılımcının sonuçları da test seti olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak ABR dalgaları %92,9 doğruluk, %92,9 duyarlılık ve %96,4 özgüllük oranı ile "net yanıt", "yanıt yok" veya "sonuçsuz" olarak sınıflandırılmıştır.

(Pitathawatchai vd., 2022) yılında yaptıkları çalışmada sensörinöral işitme kayıplı çocukların odyogramlarını tahmin etmek için bir makine öğrenimi algoritmasının doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaya sensörinöral işitme kaybı olan 206 çocuktan alınan 206 odyogram dahil edilmiştir. Odyogramları tahmin etmek için makine öğrenmesi kullanmanın ortak yaklaşım kullanmaktan daha güvenilir ve daha doğru olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

(Wimalarathna vd., 2021) yılında yaptıkları çalışmada ise ABR yanıtlarının analizini otomatikleştirmek için uygun bir makine öğrenme algoritmasının belirlenmesi amaçlamışlardır. İşitsel işleme bozukluğu şüphesi olan 136 çocuktan alınan ABR yanıtları çalışmaya dahil edilmiştir. Uyarılar 80 dBnHL'de 13.3 rate ve 2 tekrarlı 2000 sweep ile sunulmuştur. Destek vektör makinesi (SVM), Rastgele orman, karar ağaçları, Gradient Boosting (GB), Extreme Gradient Boosting (Xgboost), ve yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Xgboost algoritması kullanılarak eğitilen modeli, diğer modellere kıyasla %92 doğrulukla en yüksek başarı oranı elde edilen model olarak belirlemişlerdir.

(Heisey vd., 2020) yılında yaptıkları çalışmada hastaların gerçek işitme eşiklerini belirlemek için bayesian tahmin tekniği makine öğrenimi algoritması ile otomatik maskelemenin doğruluğu ve verimliliği araştırmışlardır. Yaşları 21 ile 83 arasında değişen, farklı işitme durumuna sahip 29 birey için otomatik olarak maskelenmiş odyogramlar toplanmıştır. Geliştirilen programda hava iletim için maskeleme; test kulağının hava iletim eşiği, test edilmeyen kulağın kemik veya hava iletim eşiği arasında en az 40 dB olması durumunda uygulanmış, kemik iletim için maskeleme ise; test kulağının hava ve kemik iletim eşikleri arasında en az 15 dB fark olması durumunda uygulanmıştır. Bütün katılımcılara bir odyolog tarafından standart odyometri testi uygulanmış, klinik olarak belirlenen şekilde maskeleme uyarıları eklenmiştir, ardından maskeli bir makine öğrenmesi odyometri testi yapılmıştır. Geliştirilen uygulama normal işiten dinleyicilerde 3,4 dB'lik bir aralıkta sonuç vermiştir. İşitme kaybı yüksek asimetri ve düşük asimetri içeren katılımcılarda ise sırasıyla 4,9 ve 2,6 dB'lik bir aralıkta elde edilmiştir. Otomatik olarak maskelenmiş odyogramların, gerçek eşik tahminleri elde edebileceği ve mevcut klinik maskeleme prosedürlerine kıyasla test süresini azaltacağı düşünülmüştür.

(Barbour vd., 2019) yılında yaptıkları çalışmada bayesian tahmin tekniği makine öğrenimi ile çevrimiçi uygulanabilecek ve yaygın olarak kullanılacak odyometre geliştirilmesini amaçlanmıştır. Farklı işitme durumuna sahip 19 ile 79 yaşları arasındaki 21 katılımcı üzerinde hava yolu saf ses odyometrisi gerçekleştirmişlerdir. Eşik tahminleri arasındaki ortalama mutlak fark  $3,24 \pm 5,15$  dB elde edilmiştir.

(Barbour vd., 2019; Heisey vd., 2020; McKearney & MacKinnon, 2019; Pitathawatchai vd., 2022; Wimalarathna vd., 2021) çalışmaları göz önüne alındığında odyolojinin farklı alanlarında yapay zeka uygulamalarının kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Çalışmamızda görüntü işleme yöntemi ile odyogram sonuçları okunmuş ve yapay zeka uygulamalarıyla hızlı ve yüksek doğruluk oranlarıyla yorumlanmıştır.

Çalışmanın sınırlılığı, oluşturulan görüntü işleme algoritmalarının farklı tipteki odyogram grafikleri üzerinde yüksek performansta başarılı olarak çalışmamasıdır. Bazı odyogram grafiklerinde sağ kulak maskesiz hava yolu işitme eşiği simgesinin içi dolu olabilmekte veya işitme eşiklerini birbirine bağlayan çizgiler, işitme eşiği simgelerinin içinden geçebilmektedir. Bunların haricinde, kullanılan OTSU metodunda odyogram resimlerinin çizgilerinin bir kısmı kaybolabilmekte ve bazı çizgiler görünmeyebilmektedir. Bu gibi durumlar simgelerin ayırt edilmesinde farklı görüntü işleme algoritmaları oluşturulmasını gerektirmektedir. Çalışmada kullanılan veri seti odyogram çeşitliliği bakımından zenginleştirilmesi ve buna uygun görüntü işleme yöntemlerinin denenmesi planlanmıştır. Veri setimizde binlerce farklı odyogram görüntüsü bulunması halinde YOLO yöntemi denenerek görüntüden bilgi çıkarılabilir. YOLO hızlı çalışır fakat doğruluğu diğer derin öğrenme yöntemlerine göre daha düşük bir yöntemdir. Bunun dışında binlerce görüntü olmasa dahi görüntü augmentation yöntemi kullanılarak görüntü sayısı artırılıp denenebilir.

## VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, odyometre test sonuçlarından görüntü işleme uygulamasıyla veri seti oluşturularak bilgisayar tabanlı iki farklı metodun; makine öğrenmesi ve koşullu ifadeler; işitme kaybı türü ve derecesi yönünden elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır.

İşitme kaybı tiplerine göre; koşullu ifadelerle yazılan algoritma, yapay sinir ağları algoritmalarına göre daha yüksek doğruluk oranları göstermiştir;

- Normal işitme için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarından, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir.
- İletim tipi işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarının, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.
- Mikst tip işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngü yanıtları, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranı göstermiştir.
- Sensörinöral tip işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngü yanıtları, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

İşitme kaybı derecelerine göre; koşullu ifadelerle yazılan algoritma, yapay sinir ağları algoritmalarına göre daha yüksek doğruluk oranları göstermiştir;

- Normal işitme için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarının, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.
- Hafif derecede işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarından, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir.

- Orta derecede işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarının, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.
- Orta-ileri derecede işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngü yanıtları, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranı göstermiştir.
- İleri derecede işitme kaybı için, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarından, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir.
- Çok ileri derecede işitme kaybı belirlenirken, koşullu ifadelerle oluşturulan döngünün yanıtlarının, yapay sinir ağı algoritmasının yanıtlarına göre daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

#### Öneriler:

Çalışmada kullanılan odyogram grafiği çeşitleri artırılabilir ve görüntü işleme metodunun farklı özellikteki odyogram grafiklerini de işleyebilmesi amacıyla görüntü işleme algoritmaları geliştirilebilir.

Yapay sinir ağı algoritmaları için veri setinin büyütülüp daha fazla veri ile eğitilmesi sonucunda doğruluk oranının artırılabilceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada odyogram tipine yönelik bir sınıflandırma yapılmamıştır. Yapılacak sonraki çalışmalarda alçak ve yüksek frekanslardaki düşüşlere bağlı olarak odyogram tipi de dahil edilebilir.

Bu çalışma ile; odyogramların yorumlanmasında yardımcı olarak işlev görebilir, işitme kaybıyla ilgili epidemiyolojik çalışmalar için odyogramların gruplandırılması kolaylaştırılabilir ve odyoloji öğrencileri için bir eğitim aracı olarak kullanılabilir.

## VII. KAYNAKÇA

### KİTAPLAR

- BELGİN, E., & ŞAHLI, S. (2015). Konuşma odyometrisi. İçinde E. Belgin (Ed.), **Temel odyoloji** (1. baskı, Sayı 1, s. 79). Güneş Tıp Kitapevleri.
- BİLGİN, M. (2018). **Makine öğrenmesi** (2. baskı, s. 13). PapatyaBilim Üniversite Yayıncılığı.
- BARR, A., & FEIGENBAUM, E. A. (1981). Artificial intelligence. İçinde Aikins Janice, Bennett James S., Clancey William J., Cohen Paul R., Davidson James E., Dietterich Thomas, Elschlager Robert, Fagan Lawrence, Gardner Anne, Kanade Takeo, Phillips Jorge, Tappel Steve, & Westfold Stephen (Ed.), **The Handbook of Artificial Intelligence** (C. 1, ss. 3–4). William Kaufmann Inc.
- BURGER, W., & BURGE, M. J. (2016). Morphological filters. İçinde D. Gries & F. B. Schneider (Ed.), **Digital image processing an algorithmic introduction using java** (2. baskı, s. 181). Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6684-9>
- CALVANESE, D. (2004). **Introduction to programming**.
- CARUANA, R., & NICULESCU-Mizil, A. (2006). **An empirical comparison of supervised learning algorithms**. *Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning - ICML '06*, 161–168. <https://doi.org/10.1145/1143844.1143865>
- CHAO, W.-L. (2011). **Machine Learning Tutorial**.
- CORMEN, T. H., LEISERSON, C. E., RIVEST, R. L., & STEIN, C. (2009). **Introduction the algorithms**. (3. baskı, s. 561). Massachusetts Institute of Technology. <https://doi.org/9780262033848>
- GERON, A. (2019). **Hands-on machine learning with scikit-Learn, keras, and TensorFlow**. (2. baskı, ss. 13–14). O'Reilly Media, Inc.

- GREG, P., & MILLER, D. (2014). **C programming absolute beginner's guide**. (3. baskı, ss. 94–103). Pearson Education, Inc. All.
- HAYKIN, S. (2009). **Neural networks and learning machines**. (3. baskı, ss. 21–22). Pearson Education, Inc.
- KATZ, J. (2015). **Handbook of clinical audiology**. (7. baskı, s. 38). Wolters Kluwer.
- KOÇ, C. (2013). **Kulak burun boğaz hastalıkları ve baş-boyun cerrahisi**. (2. baskı, s. 78). Güneş Tıp Kitapevleri.
- LANTZ, B. (2013). **Machine learning with R**. (1. baskı, s. 17). Packt Publishing Ltd.
- MathWorks. (2021). *Types of morphological operations*. <https://www.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html>
- McANDREW, A. (2004). **An introduction to digital image processing with matlab**. (1. baskı, ss. 1–4).
- MÜLLER, A. C., & GUIDO, S. (2017). **Introduction to machine learning with python**. (1. baskı, C. 1, s. 1). O'Reilly Media, Inc.
- NILSSON, N. J. (1996). *Introduction to machine learning*.
- ÖZTEMEL, E. (2006). Yapay zeka ve makine öğrenmesine genel bakış Yapay sinir ağlarının yapısı ve temel elemanları. İçinde **Yapay sinir ağları** (2. baskı, ss. 13–15). Papatya Yayıncılık Eğitim.
- RUSS, J. C., & NEAL, F. B. (2016). Hue, Saturation, Intensity. İçinde **The image processing handbook** (7. baskı, ss. 166–168). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b18983>

## MAKALELER

- ALIABADI, M., FARHADIAN, M., & DARVISHI, E. (2014). Prediction of hearing loss among the noise-exposed workers in a steel factory using artificial intelligence approach. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, 88(6), 779–787. <https://doi.org/10.1007/s00420-014-1004-z>

- AYDOĞAN, M., & ŞENER, A. (2020). An artificial intelligence application in health developed on covid-19 documents. **Journal of Health, Medicine and Nursing**, *75*, 58–66. <https://doi.org/10.7176/JHMN/75-08>
- BARBOUR, D. L., HOWAR, R. T., SONG, X. D., METZGER, N., SUKESAN, K. A., DILORENZO, J. C., SNYDER, B. R. D., CHEN, J. Y., DEGEN, E. A., BUCHBINDER, J. M., & HEISEY, K. L. (2019). Online machine learning audiometry. **Ear and Hearing**, *40*(4), 918–926. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000669>
- BORON, A., SKLADZIEN, J., & WIATR, M. (2020). Pre- and post-operative speech audiometry evaluation in patients with chronic otitis media. **The Journal of International Advanced Otology**, *16*(2), 241–247. <https://doi.org/10.5152/iao.2020.8150>
- CHAN, J., RAJU, S., NANDAKUMAR, R., BLY, R., & GOLLAKOTA, S. (2019). Detecting middle ear fluid using smartphones. **Science Translational Medicine**, *11*(492), 2–11. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aav1102>
- CHARIH, F., BROMWICH, M., MARK, A. E., LEFRANÇOIS, R., & GREEN, J. R. (2020). Data-Driven audiogram classification for mobile audiometry. **Scientific Reports**, *10*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60898-3>
- DIAZ-Pinto, A., COLOMER, A., NARANJO, V., MORALES, S., XU, Y., & FRANGI, A. F. (2019). Retinal Image Synthesis and Semi-Supervised Learning for Glaucoma Assessment. **IEEE transactions on medical imaging**, *38*(9), 2211–2218. <https://doi.org/10.1109/TMI.2019.2903434>
- FRENCH, N. R., & STEINBERG, J. C. (1947). Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds. **Journal of the Acoustical Society of America**, *19*(1), 90–119. <https://doi.org/10.1121/1.1916407>
- GOODMAN, A. (1965). Reference Zero Levels for Pure-Tone Audiometers. **ASHA**, *7*, 262–273.
- HEISEY, K. L., WALKER, A. M., XIE, K., ABRAMS, J. M., & BARBOUR, D. L. (2020). Dynamically masked audiograms with machine learning

- audiometry. **Ear and Hearing**, 41(6), 1692–1702.  
<https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000891>
- HUANG, S.-M. (2005). A study of hue identification in the hue circle of the hsb color space. **Perceptual and Motor Skills**, 100(3), 1143–1154.  
<https://doi.org/10.2466/pms.100.3c.1143-1154>
- İÇER, S., GÜVEN, A., & BAKI, M. (2009). Classification with the neural network application of basic hearing losses determined by audiometric measuring. **Journal of Networking Technology**, 1(2), 63–68.  
<http://www.dline.info/jnt/fulltext/v1n2/1.pdf>
- KILIÇ, A. (2020). Artificial intelligence and machine learning in cardiovascular health care. **The Annals of Thoracic Surgery**, 109(5), 1323–1329.  
<https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2019.09.042>
- KIMORI, Y. (2013). Morphological image processing for quantitative shape analysis of biomedical structures: Effective contrast enhancement. **Journal of Synchrotron Radiation**, 20(6), 848–853.  
<https://doi.org/10.1107/S0909049513020761>
- McKEARNEY, R. M., & MacKINNON, R. C. (2019). Objective auditory brainstem response classification using machine learning. **International Journal of Audiology**, 58(4), 224–230.  
<https://doi.org/10.1080/14992027.2018.1551633>
- PITATHAWATCHAI, P., CHAICHULEE, S., & KIRTSREESAKUL, V. (2022). Robust machine learning method for imputing missing values in audiograms collected in children. **International Journal of Audiology**, 61(1), 66–77. <https://doi.org/10.1080/14992027.2021.1884909>
- SCHMIDDT, C. M., AM ZEHNHOFF-Dinnesen, A., MATULAT, P., KNIEF, A., ROSSLAU, K., & DEUSTER, D. (2013). Nonorganic hearing loss in children: Audiometry, clinical characteristics, biographical history and recovery of hearing thresholds. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**, 77(7), 1190–1193.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2013.04.037>
- SHAPIRO, I. (1980). Comparison of three hearing aid prescription procedures. **Ear**

**and Hearing**, 1(4), 211–214. <https://doi.org/10.1097/00003446-198007000-00006>

UCHIDA, S. (2013). Image processing and recognition for biological images. **Development, Growth & Differentiation**, 55(4), 523–549. <https://doi.org/10.1111/dgd.12054>

WANG, X., VALDEZ, T. A., & BI, J. (2015). Detecting tympanostomy tubes from otoscopic images via offline and online training. **Computers in Biology and Medicine**, 61, 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2015.03.025>

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(2), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.105942>

ZHANG, G., LEI, M., & LIU, X. (2009). Novel template matching method with sub-pixel accuracy based on correlation and Fourier-Mellin transform. **Optical Engineering**, 48(5), 1–13. <https://doi.org/10.1117/1.3125425>

## ELEKTRONİK KAYNAKLAR

ASHA. (2005). *Central auditory processing disorder*. ASHA. [https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/central-auditory-processing-disorder/#collapse\\_2](https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/central-auditory-processing-disorder/#collapse_2)

ASHA. (2021). *What is hearing loss*. ASHA. <https://www.asha.org/public/hearing/what-is-hearing-loss/>

Java-programming. (2021). *Logical operators*. <https://java-programming.mooc.fi/part-1/6-conditional-statements>

WHO. (2009). Newborn and infant hearing screening: current issues and guiding principles for action. İçinde *World Health Organization*. [https://www.who.int/blindness/publications/Newborn\\_and\\_Infant\\_Hearing\\_Screening\\_Report.pdf](https://www.who.int/blindness/publications/Newborn_and_Infant_Hearing_Screening_Report.pdf)

- WHO. (2021a). *Launch of the world report on hearing*. World Health Organization.  
<https://www.who.int/news-room/events/detail/2021/03/03/default-calendar/launch-of-the-world-report-on-hearing>
- WHO. (2021b). World report on hearing. İçinde *World Health Organization*.  
<https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-hearing>
- Yenidoğan işitme tarama programı*. (2017). T.C. Sağlık Bakanlığı.  
<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/cocukergen-tp-liste/yenidoğan-işitme-taraması-programı.html>

## **TEZLER**

- AKDEMİR, K. Ü. (2018). Optik gözlemeleri için balıkgzü kamera ile bulutluluk haritasının çıkarılması. T.C. Akdeniz Üniversitesi.
- AKTAŞ, H. (2015). Şablon eşleştirme yöntemi ile nesne takibi ve yüksek hızlı fpga gerçekleştirilmesi. T.C. Akdeniz Üniversitesi.
- DIŞÇI, A. Y. (2021). İşitme kaybı türü ve işitme kaybı derecesi belirlenmesinde iki metot karşılaştırması: Yapay sinir ağları ve koşullu yapılarla kodlanan mobil uygulama. T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi.
- ER, B. (2020). Yapay zeka destekli odyometri ölçüm sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- ÖĞÜCÜ, M. O. (2006). Yapay sinir ağları ile sistem tanıma. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- ÖZKAN, D. (2011). Kamera Görüntülerinden Hareketli Hedef Tespiti. Hacettepe Üniversitesi.
- ŞAHİN, F. M., & ÖZYAVAŞ, A. (2021). Dijital Odyometri Görüntülerinin Görüntü İşleme İle Analizi Ve Yorumlanması. T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi.

## **EKLER**



**Ek-1:** Etik Kurul Onayı

**Ek-2:** Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

**Ek-3:** Anamnez Formu



## Ek-1: Etik Kurul Onayı

TÜRKİYE CUMHURİYETİ İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ		THE REPUBLIC OF TURKEY İSTANBUL AYDIN UNIVERSITY	
			
<b>T.C. İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI</b>			
Sayı	: B.30.2.AYD.0.00.00-050.06.04/553		28.07.2021
Konu	: Karar hk.		
<b>Sayın, Prof. Dr. Bahriye Özlem KONUKSEVEN</b> Sağlık Bilimleri Fakültesi Odyoloji			
<p>İstanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun <b>28.07.2021</b> tarihinde yapılan olağan toplantısında danışmanlığını yürüttüğünüz "Yusuf Fakirullahoğlu" isimli öğrencinize ait "<b>Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerle Yazılan Kodlar Kullanılarak Odyometre Test Sonuçlarına Göre İşitme Kaybı Türü ve İşitme Kaybı Derecesi Yorumlamalarının Karşılaştırılması</b>" konulu yüksek lisans tez çalışmanız ile ilgili alınan <b>2021/553</b> 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.</p> <p>Bilgilerinize sunarım.</p>			
			
Beşyol Mah. İnönü Cad. No:38 Sefaköy, 34295 Küçükçekmece / İSTANBUL		www.aydin.edu.tr   444 1 428	

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK  
KURULU  
KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerle Yazılan Kodlar Kullanılarak Odyometre Test Sonuçlarına Göre İşitme Kaybı Türü ve İşitme Kaybı Derecesi Yorumlamalarının Karşılaştırılması
--------------------------	--

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Istanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu		
	AÇIK ADRESİ	Istanbul Aydın Üniversitesi Tıp Fakültesi Beşyol Mahallesi, İnönü Cd. No:38, 34295 Küçükçekmece/İstanbul		
BAŞVURU BİLGİLERİ	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Bahriye Özlem Konukseven		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Odyoloji		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Sağlık Bilimleri Fakültesi		
	VARSA İDARİ SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI	-		
	DESTEKLEYİCİ	-		
	PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. gibi kaynaklardan destek alanlar için)	-		
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	-		
	ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	<input type="checkbox"/>	
		FAZ 2	<input type="checkbox"/>	
		FAZ 3	<input type="checkbox"/>	
FAZ 4		<input type="checkbox"/>		
Gözlemsel ilaç çalışması		<input type="checkbox"/>		
Tıbbi cihaz klinik araştırması		<input type="checkbox"/>		
İn vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları		<input type="checkbox"/>		
İlaç dışı klinik araştırma		<input type="checkbox"/>		
Diğer ise belirtiniz: Gözlemsel çalışma				
ARAŞTIRMAYA K	SEK	ÇOK	ULUSAL	ULUSLARARASI
	KEZ	MERKEZLİ	X	

Etik Kurul Başkanının  
Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr.  
İmza:

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerle Yazılan Kodlar Kullanılarak Odyometre Test Sonuçlarına Göre İşitme Kaybı Türü ve İşitme Kaybı Derecesi Yorumlamalarının Karşılaştırılması
-----------------------	--

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili	
		ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	12.07.2021		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	X		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	OLGU RAPOR FORMU	X		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ	-		Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	
DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama			
	SİGORTA	-			
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	X			
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	-			
	İLAN	-			
	YILLIK BİLDİRİM	-			
	SONUÇ RAPORU	-			
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	-			
	DİĞER:	X	Kurum İzni, Özgeçmişler, İKU Bilgilendirme Belgesi, Helsinki Bildirgesi		
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 553	Tarih: 28.07.2021			
	İstanbul Aydın Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 28.07.2021 tarihinde yapılan olağan toplantısında danışmanlığını yürüttüğünüz "Yusuf Fakirullahoğlu" isimli öğrencinize ait "Görüntü İşleme, Makine Öğrenmesi ve Koşullu İfadelerle Yazılan Kodlar Kullanılarak Odyometre Test Sonuçlarına Göre İşitme Kaybı Türü ve İşitme Kaybı Derecesi Yorumlamalarının Karşılaştırılması" konulu yüksek lisans tez çalışmanız ile ilgili alınan 2021/553 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.				

Etik Kurul Başkanının  
Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr.  
İmza:

Not: Etik kur

faya imza atmalıdır.

İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI	13.04.2013 tarihli, 28617 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Klinik Araştırmalar Hakkındaki Yönetmelik
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof. Dr. Erman Bülent TUNCER

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım		İmza		
			E	X	E	H	E	H			
Prof. Dr. Erman Bülent TUNCER	Protetik Diş Tedavisi	İstanbul Aydın Üniversitesi (Etik Kurul Başkanı)	E	X	E	H	X	E	H		
Prof. Dr. Hatice Aysel ALTAN	Anestezi	İstanbul Aydın Üniversitesi (Etik Kurul Başkan Yardımcısı)	E		K	X	E	H	X	E	H
Doç. Dr. Türkiz VERİMER	Farmakolog	İstanbul Aydın Üniversitesi	E	X	K		E	H	X	E	H
Prof. Dr. Hasan SAYGIN	Nükleer Bilimler	İstanbul Aydın Üniversitesi	E	X	K		E	H	X	E	H
Prof. Dr. Umut Mert AKSOY	Ruh Sağlığı ve Hastalıkları	İstanbul Aydın Üniversitesi	E	X	K		E	H	X	E	H
Prof. Dr. Hafize SEZER	Biyostatistik	İstanbul Aydın Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H
Doç. Dr. Sami SÖKÜCÜ	Ortopedi ve Travmatoloji	İstanbul Aydın Üniversitesi	E	X	K		E	H	X	E	H
Doç. Dr. Meryem Sedef ERDAL	Farmasötik Teknoloji	İstanbul Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H
Doç. Dr. Feyza Nur TUNCER KILINÇ	Genetik	İstanbul Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KARADENİZ	Kadın Hastalıkları ve Doğum	İstanbul Aydın Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H
Dr. Öğr. Üyesi Murat AKSU	Tıp Tarihi ve Etik	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	E	X	K		E	H	X	E	H
Dr. Öğr. Üyesi Dilek DÜZGÜN ERGÜN	Biyofizik	İstanbul Aydın Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H
Zeynep AKYAR	Hukuk	İstanbul Aydın Üniversitesi	E		K	X	E	H	X	E	H

Etik Kurul Başkanı  
Unvanı/Adı/Soyadı  
İmza:



Her sayfaya imza atmalıdır.

## Ek-2: Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu

Sayın gönüllü,

Bu katıldığınız çalışma bilimsel bir araştırma olup, araştırmanın adı "Görüntü işleme uygulanan odyogramların yapay sinir ağları ve koşullu ifadelerle işitme kaybı tipi ve derecesi yorumlarının karşılaştırılması" dır.

Çalışma hakkında tam olarak bilgi sahibi olduktan sonra katılmak isterseniz sizden bu formu onaylamanız istenecektir. Şu an bu formu doldursanız bile istediğiniz herhangi bir zamanda herhangi bir neden göstermeden çalışmayı bırakmakta özgürsünüz. Çalışma sonucunda sizin kimliğinizi ortaya çıkaracak kayıtlar gizli tutulacak olup kamuoyuna açıklanmayacaktır; araştırma sonuçlarının yayımlanması halinde dahi kimliğiniz gizli kalacaktır.

Çalışmanın amacı: Bu çalışmada yapay sinir ağları ve koşullu ifadelerle yazılan programlar yardımıyla görüntü işleme uygulamasından elde edilmiş veriler işlenerek işitme kayıp türleri ve dereceleri ayırt edilecektir. Elde edilen verilere göre iki programın doğruluk oranlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışma 15 yaş üstü işitme kayıplı veya normal işiten bireylerde uygulanabilir. Çalışmada dahil olacağınız kısım odyometre testinin gerçekleştirilmesi aşamasıdır. İşitme eşiğinizi ölçmek için kulaklık ve kemik vibratör takılacaktır sizden duyduğunuz her sestem sonra elinizdeki butona basmanız istenecektir. Vermiş olduğunuz cevaplara göre işitme eşiğiniz saptanacaktır. Test için öngörülen süre ortalama 20 dakika olup, çalışmada yer alması planlanan katılımcı sayısı 500 kişidir. Çalışmaya 15 yaş üstü 500 birey dahil edilecektir. Bu çalışmada yer almanız nedeniyle size hiçbir ödeme yapılmayacak ve hiçbir ücret istenmeyecektir. Yapılan bu çalışmada, sizin isminiz hiçbir şekilde kullanılmayacaktır.

Risk: Çalışmamızda hiçbir risk yoktur.

Çalışma ile ilgili herhangi bir sorunuz olduğunda araştırmacı Ody. Yusuf FAKİRULLAHOĞLU ile iletişime geçebilirsiniz. Telefon numaram ve mail adresim aşağıda yazmaktadır.

Araştırmacı: Ody. Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

██████████@stu.aydin.edu.tr/ 05 ██████████

Yukarıdaki tüm bilgileri okudum ve sözlü olarak dinledim. Aklıma gelen tüm soruları araştırıcıya sordum ve açıklığa kavuşturdum. Tarafıma yapılan yazılı ve sözlü tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım.

Bu çalışmaya katılmaya karar vermem için bana yeterli süre verildi. Bu koşullarda, şahsıma ait tıbbi bilgilerin gözden geçirilmesi, transfer edilmesi ve işlenmesi konusunda araştırma yürütücüsüne yetki vermeyi kabul ediyorum.

Çalışmaya Katılım Onayı:

Gönüllünün

Adı Soyadı:

Telefon:

İmzası:

Araştırmacının:

Adı Soyadı: Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

İmzası:

**Ek-3: Anamnez Formu**

**ANAMNEZ FORMU**

**I. Ad Soyad:**

**II. Doğum Tarihi:**

**III. Katılımcı 18 yaşından küçükse veli adı soyadı:**

**IV. Cinsiyet:**  Kadın  Erkek

**V. Telefon:**

**VI. İşitme kaybınız var mı?**  Evet  Hayır

**VII. Varsa ne zamandan beri var?.....**

**VIII. İşitme cihazı kullanıyor musunuz?**  Evet  Hayır

**IX. Aşağıdaki hastalıklardan geçirdiğiniz bir hastalık var mı? (Birden fazla işaretleme yapılabilir veya geçirilmediyse boş bırakılabilir.)**

- Kulak zarında delik  
 Kafa travması  
 Kulakta iltihaplı akıntı  
 Akustik travma  
 Kulak ameliyatı  
 Ateşli hastalık

**X. Yüksek sese-gürültüye maruz kaldınız mı?**  Evet  Hayır

Kaldıysanız belirtiniz (Askerlikte, Eğlence mekanında vb.)

**XI. Ailenizde işitme kaybı öyküsü olan var mı?**  Evet  Hayır

**XII. Aşağıdaki hastalıklardan biri veya birden fazlası için düzenli ilaç kullanıyor musunuz?**

- Tip 2 şeker hastalığı  
 Kanser  
 Solunum yolu hastalıkları  
 Kalp-damar hastalıkları  
 Obezite

**XIII. İşitmenizi etkileyecek herhangi bir problem yaşadıysanız belirtiniz:**

	125 Hz Hava	250 Hz Hava	500 Hz Hava	1000 Hz Hava	2000 Hz Hava	4000 Hz Hava	6000 Hz Hava	8000 Hz Hava	500 Hz Kemik	1000 Hz Kemik	2000 Hz Kemik	4000 Hz Kemik
Sağ Kulak												
Sol Kulak												

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad:** Yusuf FAKİRULLAHOĞLU

### ÖĞRENİM DURUMU

**Yüksek Lisans:** İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Odyoloji  
Yüksek Lisans, 2022

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