



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü



**İŞİTME KAYBININ BELİRLENMESİNDE PRATİK
KULLANIMLI DİJİTAL ODYOMETRE
GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Murat PEHLİVAN

Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü

**İŞİTME KAYBININ BELİRLENMESİNDE PRATİK
KULLANIMLI DİJİTAL ODYOMETRE
GELİŞTİRİLMESİ**


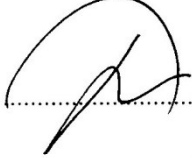
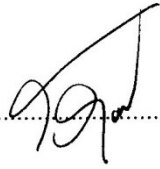
Murat PEHLİVAN

Danışman
Prof. Dr. Fatih ÖĞÜT

Kulak Burun Boğaz Hastalıkları Anabilim Dalı
Odyoloji ve Konuşma Bozuklukları Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

Tez Değerlendirme Kurulu Üyeleri

	(Adı Soyadı)	(İmza)
Başkan (Danışman)	: Prof. Dr. Mehmet Fatih ÖĞÜT	
Üye	: Prof. Dr. Tayfun KİRAZLI	
Üye	: Doç. Dr. Tolga AYAV	

Yüksek Lisans Tezinin kabul edildiği tarih: 02 Eylül 2019

Önsöz

İşitme işlevinin testi için kullanılan odyometre cihazları ucuz cihazlar değildir. Ayrıca bu testler için hem uygun ve sessiz bir ortama gereksinim vardır, hem de bu uygulamayı yapacak eğitim almış veya uzmanlaşmış sağlık personeline ihtiyaç vardır. Ayrıca bu testler zaman alan, emek gerektiren uygulamalardır. Bu tezde pratik kullanımlı bir odyometre geliştirerek problemleri mümkün olabilecek en basit ve ucuz şekilde çözmeyi hedefledim.

İşitme kayıplarının erken dönemde saptanması ve bir uzmana yönlendirilmesi toplum sağlığı için önemli ve de gereklidir. Her ne kadar devlet kurumları okullarda işitmeye yönelik tarama testlerini yaygın olarak uygulamaya başlamış olsalar da, yüzbinlerce genç insana bu testlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için yaygınlaştırılması gerekir. Bu nedenle her okulda, her alışveriş merkezinde, belki de her resmi devlet kurumunda bu ucuz, basit ve kişilerin kendi kendilerini test edebilecekleri cihazların yerleştirilmesi avantaj sağlayacaktır.

Bu yaklaşım ile yola çıkarak, piyasada kolayca bulunabilen malzemeler ve elektronik parçalar kullanarak bir odyometre cihazı tasarladım ve geliştirdim. Geliştirilen odyometre elbette ki profesyonel bir cihaz değildir. Kişiler şüphelendiklerinde işitme testlerini yaptıracakları merkezlere yönlendirecek, kişilerde farkındalık sağlayacak bir cihazdır. Ancak yaygın kullanımı durumunda çok sayıda işitme kaybı vakasını erken dönemde saptanmasında kolaylık ve yenilik getirecek bir uygulama olacağı inancındayım.

İzmir, 22.08.2019

Murat PEHLİVAN

Özet

İşitme Kaybının Belirlenmesinde Pratik Kullanımlı Dijital Odyometre Geliştirilmesi

İşitme kayıplarının erken dönemde ve hızlı tespit edilmesi amacıyla ucuz ve pratik bir odyometre cihazının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla saf ton sinüs dalgası üreten ve bunu kulaklığa yönelten elektronik ve tamamen dijital olarak çalışan devreler tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Odyometrenin önemli özelliklerinden biri de kullanılan kulaklıkların tüketici kullanımı için kullanılan sıradan kulaklıkların olması ve kalibrasyon ayarının da tamamen dijital olarak yapılabilmesidir. Geliştirilen odyometrenin kullanımı ile uzmanlara anket yapılmış ve odyometrenin nasıl olması gerektiği konusunda öneriler toplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İşitme kaybı, odyometre, işitme testi, kulaklık.

Abstract

Developing a practical digital audiometer for the detection of hearing loss

It is aimed to develop an inexpensive and practical audiometer in order to detect hearing loss early and fast. For this purpose, electronic and fully digital circuits which produce pure tone sine wave and direct it to the headset are designed and realized. One of the important features of the audiometer is that the headphones used are ordinary headphones for consumer use and the calibration can be adjusted completely digitally. With the use of the developed audiometer, experts were interviewed and suggestions were collected about how the audiometer should be.

Keywords: Hearing loss, audiometer, hearing test, headphone.

İçindekiler

Önsöz	I
Özet	II
Abstract	III
İçindekiler	IV
Tablolar Dizini	VI
Şekiller Dizini	VII
Ekler Dizini	VIII
Kısaltma Listesi.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Problemi.....	1
1.2. Araştırmanın Sorusu	2
1.3. Araştırmanın Hipotezleri.....	2
1.4. Araştırmanın Varsayımları.....	3
1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları	3
1.6. Araştırmanın Amacı	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Ses Nedir?	4
2.1.1. Ses Frekansı	4
2.1.2. Ses Genliği	4
2.1.3. Ses Şiddeti.....	4
2.1.4. Ses Basıncı	4
2.2. Desibel Ölçeği.....	5
2.2.1. Ses Şiddet Düzeyi	5
2.2.2. Ses Basınç Düzeyi.....	6
2.2.3. Ses Şiddet Düzeyi ve Ses Basınç Düzeyi Farkı	6
2.2.4. İşitme Seviyesi ve Ses Basınç Düzeyi	7
2.3. Ses Yüksekliği.....	8
2.4. Odyometre.....	9
2.4.1. Odyometre Tipleri.....	9
3. GEREÇ VE YÖNTEM	11
3.1. Donanım.....	12
3.1.1. Mikrokontrolör.....	12

3.1.2. Dijital Analog Çevirici.....	14
3.1.3. Genlik Ayarlama	15
3.1.4. Sağ ve Sol Kulak Seçimi.....	16
3.1.5. Gerilim Akım Dönüşümü.....	17
3.1.6. Kulaklık.....	18
3.1.7. Ekran	18
3.1.8. Çalıştırma ve Seçim Düğmeleri	18
3.1.9. Saat ve Kalıcı Bellek.....	18
3.1.10. Pil, Güç Kontrol, Besleme Kesici	19
3.1.11. Mikrofon ve Yükselteç.....	19
3.2. Yazılım.....	19
3.2.1. Sinuzoidal Dalga Üretimi.....	20
3.2.2. Sinüzoidal Dalga Genliği Ayarı	20
3.2.3. Ekran ve Kontrol Düğmeleri.....	20
3.2.4. Kulaklık Kalibrasyonu	21
3.2.5. Ortam Sesi Ölçümü.....	22
3.3. Anket ve Öneriler.....	22
4. BULGULAR.....	23
4.1. Saf Ton Ses Frekansı Ölçümü.....	23
4.2. Toplam Test Süresi	23
4.3. Cihazın Pil Ömrü	23
4.4. Anket Sonuçları.....	23
4.5. Maliyet	25
5. TARTIŞMA	26
5.1. Cihazın Teknik Özellikleri.....	26
5.2. Kullanım Amacı.....	28
5.3. Anket Sonuçları.....	29
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	30
7. KAYNAKLAR	31
8. EKLER.....	34
9. TEŞEKKÜR.....	41
10. Özgeçmiş.....	42

Tablolar Dizini

Tablo 1. Ses şiddeti ve ses basıncı ilişkisi.	6
Tablo 2. Normal kulağın işitme eşiğine göre ses basınç düzeyi farkı.....	8
Tablo 3. Pratik odyometrede olması hedeflenen özellikler.....	11
Tablo 4. Frekans üreticinin kalibrasyon sonuçları.	23
Tablo 5. Anket sonuçları.	24



Şekiller Dizini

Şekil 1. İnsan kulağının ses şiddet düzeyi olarak frekansa bağlı olarak işitme eşiği... 7	
Şekil 2. Saf ton sesler için fon eğrileri (ISO 226:2003)..... 9	
Şekil 3. Tasarlanan odyometrenin çalışmasını gösteren blok diyagramı..... 12	
Şekil 4. Microchip firmasının üretimi PIC16F877A mikrokontrolörü..... 13	
Şekil 5. Geliştirilen odyometrenin açma kapama, besleme, ekran bağlantısı ve mikrokontrolör elektronik devreleri..... 13	
Şekil 6. R-2R tipi 4 bit çözünürlükte bir dijital analog çevirici örneği..... 14	
Şekil 7. CD4053 entegre devresinin yapısı..... 15	
Şekil 8. Darbe Genişlik Modülasyonu..... 16	
Şekil 9. Geliştirilen cihazın dijital analog çevrim yapan, genlik ayarlayan ve kulaklık süren elektronik devre şeması..... 17	
Şekil 10. İki satır 16 Karakter sıvı Kristal (LCD) ekran..... 18	
Şekil 11. Odyometredeki mikrofon ve yükselteç devreleri..... 19	
Şekil 12. Cihazın örnek ekran görünümü..... 21	

Ekler Dizini

Ek 1. Anket soruları.	34
Ek 2. Tasarlanan cihazın Picbasic Pro derleyicisi ile hazırlanmış yazılım örneği.....	35



Kısaltma Listesi

KHz, Hz	:	Kilo Hertz, Hertz
LCD	:	Sıvı Krista Ekran (Liquid Crystal Display)
DAC	:	Dijital Analog Çevirici
PWM	:	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
LCD	:	Sıvı Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
N	:	Newton
m	:	metre
dB SPL	:	Desibel olarak ses basınç düzeyi (decibel Sound Pressure Level)
dB HL	:	Desibel olarak işitme düzeyi (decibel Hearing Level)
dB IL	:	Desibel olarak ses şiddet düzeyi (decibel Intensity Level)
PWM	:	Darbe genişlik modülasyonu (PWM-Pulse Width Modulation)
mA, A	:	Miliamper, Amper

1. GİRİŞ

Odyometre işitme testi sırasında işitme kaybını değerlendirmek için kullanılan bir cihazdır. Genellikle, hastanın sesi duyabildiği zaman yanıt verdiği, tek seferde bir kulağa kontrollü yoğunlukta saf ses tonları veren bir donanımdır. Odyometreler ucuz cihazlar değildir ve genellikle fiyatları 500 - 5000 USD\$ arasındadır.

Tez konusu işitme tarama testlerinde kullanmak amacıyla basit, ucuz ve pratik bir odyometre geliştirilmesi ile ilgilidir.

1.1. Araştırmanın Problemi

İşitme kaybı yaşamın her döneminde kişilerin hayatında önemli etkiler yapar. Pek çok durumda ve özellikle de çocuklarda işitme kaybının varlığı genellikle hemen fark edilmez. İşitme kaybı bir çocuğun sosyal, duygusal ve zihinsel gelişiminde çok önemli etkiler yapar, çocuğun okuldaki gelişimini geciktirebilir ve buna bağlı olarak da çeşitli öğrenme ve davranış sorunları ortaya çıkabilir. Bilimsel araştırmalar doğum sonrası yapılan tarama testleri ile kalıcı işitme kaybı sıklığının binde 3 oranından binde 9-10 oranına çıktığını öngörmektedir. Okul çağı çocuklarda kalıcı veya geçici işitme kaybı görülme sıklığı ise %14 civarındadır. Bu oran her yedi çocuktan birinde okul çağı süresince geçici veya kalıcı işitme kaybı meydana gelmesi nedeniyle etkilendiği anlamını taşımaktadır. Bilimsel araştırmalar çocukluk çağının ilerleyen dönemlerinde ortaya çıkan kalıcı işitme kayıplarının %10-20 oranında yeni doğan tarama testlerinde de tespit edilemediğini göstermektedir.

Yaşlı bireylerde ise işitme kaybı daha yaygındır. Bu oran bazı kaynaklara göre 75 yaş üstünde %40 oranındadır. İşitme kaybı veya değişiklikleri yaşlı kişilerde depresyon, toplumdan ve sosyal aktivitelerden uzaklaşma ve duygusal uzaklaşma oluşturan ciddi bir stres kaynağıdır.

İşitme kayıplarının erken tanınması ve çeşitli yöntemler ile düzeltilmesi bireyleri topluma geri kazandırır ve çocukların da gelişimlerini normal hale getirir.

Toplumsal bir sorun olan işitme kaybının erken tanısı için işitme ile ilgili testlerin belirli aralıklar ile tekrarlanması gerekir. İşitme testi sestem izole edilmiş bir odada ve bu amaçla özel tasarlanmış bir donanım olan odyometre cihazları kullanılarak yapılır. Bu testleri yapılması için bu konuda eğitim almış yetişmiş personele ihtiyaç vardır. Toplumda işitme kaybının erken tespiti için her bir bireye düzenli aralıklar ile işitme testi yapılması gerekir. Bu ise kolay bir işlem olmayacağı gibi pratik uygulamada çok

uzun bir zaman alabilecek pahalı bir süreçtir. Bu durumda kişilerin kendi kendilerine bu testi yapacakları, sadece kendilerinden şüphelenmeleri durumunda bu konuda uzman merkezlere gidebilecekleri bir yönteme ihtiyaç vardır.

Kişilerin kendi kendilerine işitme testi yapabilmeleri için piyasada bilgisayara veya cep telefonuna bağlanabilen kulaklık ile çalışan basit odyometre cihazları mevcuttur (Abu-Ghanem et al., 2016; Barczik & Serpanos, 2018; Bright & Pallawela, 2016; Kohlert & Bromwich, 2017; Renda, Selcuk, Eyigor, Osma, & Yilmaz, 2016; Swanepoel, Myburgh, Howe, Mahomed, & Eikelboom, 2014). Ancak bu cihazların pek çoğu özel kulaklıklar kullanırlar ve genellikle de pahalıdır. Oysaki çok daha ucuz, her okulda, her işyerinde, alışveriş merkezlerinde duvara asılı halde bulunan ve kişilerin kendi kendine test yapabilecekleri cihazlar olması gerekir. Böyle bir cihazın mevcudiyeti durumunda merak eden veya kendi işitmesinden şüphe duyan kişi birkaç dakika süren böyle bir işitme testini kendine uygulayıp herhangi bir sorun fark eder ise ileri testlerin yapılabildiği merkezlere gitmeye yönlendirilebilir. Böyle bir cihazın her okulda bulunması durumunda belli aralıklar ile testler kolayca öğrencilerin kendileri tarafından da tekrarlanabilir. Sorunlu öğrenciler ise böylece vakit kaybedilmeden ileri test merkezlerine yönlendirilebilir. Böylece fark edilemeyen geçici veya kalıcı işitme kayıpları ile kaybın meydana getireceği sosyal ve gelişimsel sorunların büyük oranda önüne geçilebilir.

Bu amaçla dijital olarak çalışan, benzerlerine göre çok daha ucuz, pahalı olmayan sıradan kulaklıklar kullanabilen ve pil ile çalışan pratik bir odyometre cihazına ihtiyaç vardır.

1.2. Araştırmanın Sorusu

İşitme kayıplarının erken tanısında kullanılacak nitelikte pratik bir odyometre nasıl olmalıdır? Pratik odyometre hangi özelliklere sahip olmalıdır?

1.3. Araştırmanın Hipotezleri

H₁: İşitme kayıplarının erken tanısında kullanılacak pratik bir odyometre basit olmalıdır.

H₁: Pratik bir odyometre basit ve ucuz malzemeler veya parçalar kullanılarak yapılabilir.

H₀: Odyometre cihazları masa üstünde duran cihazlardır.

1.4. Araştırmanın Varsayımları

Pratik odyometrenin geliştirilmesi sırasında kullanılan tüm test, ölçüm ve kalibrasyon cihazlarının belli hata sınırları içinde doğru çalıştıkları kabul edilmiştir.

1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Geliştirilen odyometre cihazının kulaklığının ses şiddet düzeyinin ölçülebilmesi ve ayarların yazılıma tanımlanabilmesi için özel kalibrasyon cihazı gereklidir. Böyle bir cihaza ulaşmakta sorun yaşanmıştır. Bu amaçla alternatif çözümler bulunmuştur.

Tez bir araştırma geliştirme çalışmasıdır. Bu nedenle insanlar veya hayvanlar üzerinde deneyler yapılmamıştır. Ortaya çıkacak ilk örnek odyometre cihazı hastalara tanı koymak veya tarama testi yapmak amacıyla kullanılmamıştır. Pratik odyometrenin klinikte etkinliğinin değerlendirilmesi ayrı bir araştırma konusudur.

1.6. Araştırmanın Amacı

İşitme kayıplarının erken dönemde ve hızlı tespit edilmesi amacıyla ucuz ve pratik bir odyometre cihazının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ses Nedir?

Ses terimi nesnel (objektif) ve öznel (subjektif) olarak iki şekilde tanımlanabilir: Öznel anlamda ses uyanık bir insanın işitme sınırı (*n. acusticus*) uyarıldığında algıladığı duyumdur. İşitme sinirini uyarabilen hava basıncı dalgaları ise sesin nesnel tanımıdır (Çelebi, 2008).

Türk Dil Kurumu sözlüğünde ise ses “kulağın duyabildiği titreşim” ve “akciğerlerden gelen havanın ses yolunda oluşturduğu titreşim” olarak tanımlanmıştır. Ses titreşen cisimlerden ortaya çıkan bir basınç dalgasıdır. Maddedeki moleküller sıkışır ve gevşer ve böylece basınç dalgası ilerler Her dalganın bir frekansı, bir de genliği vardır.

2.1.1. Ses Frekansı

Frekans, bir saniyede bir olayın tekrarlama sıklığı olarak tanımlanır. Ses için basınç dalgasının bir saniyedeki tekrarlama sıklığı o sesin frekansını verir. İnsan kulağı 20 Hz ile 20.000 Hz arası sesleri duyabilir. Yaşın ilerlemesiyle bu aralık daralmaya başlar.

2.1.2. Ses Genliği

Periyodik bir harekette en büyük düzey olarak tanımlanabilir. Bir dalganın tepesinden çukuruna olan düşey uzaklığın yarısına genlik (amplitüt) denir. Sesin genliği ile ilgili basınç veya şiddet gibi bir niceliğin varabileceği en yüksek sınırı ifade eder.

2.1.3. Ses Şiddeti

Ses dalgasının birim zamanda birim alandan geçirdiği titreşim enerjisi miktarıdır. Birimi Jul/s/cm^2 veya Watt/m^2 'dir. Normal insan kulağı her frekanstaki sesi aynı şiddette algılayamaz. Normal insan kulağının işitilebilen en düşük ses şiddeti 1000 Hz için 10^{-12} Watt/m^2 dir (Çelebi, 2008).

2.1.4. Ses Basıncı

Bir yüzey üzerine dik olarak etki eden kuvvetin birim alana düşen miktarına basınç denir. Kısaca kuvvetin alana oranıdır. Katı, gaz veya sıvı maddelerin birim yüzeye etki eden kuvveti basınç, bu basıncın bütün yüzeye etki eden toplam kuvvetine de basınç kuvveti denir.

Ses dalgaları da basınç dalgalarıdır ve bu dalgaların basıncının en yüksek ve en düşük olduğu durumlar vardır. Normal bir insan kulağı 1000 Hz’de algılayabildiği en düşük ses basıncı $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ veya $2 \times 10^{-4} \text{ dyn/cm}^2$ kadardır. Ses basıncı ile ses şiddeti arasında aşağıdaki gibidir (Çelebi, 2008).

$$I = \frac{P^2}{2 \times v \times d}$$

I = maksimum ses şiddeti

P = maksimum ses basıncı

v = ortamdaki ses hızı

d = ortamın özkütlesi

2.2. Desibel Ölçeği

Bir değerın aynı birimden olan diğerk değer ile oranını logaritmik ifade etmek için kullanılan genel bilimsel bir ifadedir. Oranlanan değerler güç, şiddet, genlik, potansiyel farkı gibi değerler olabilir. Bu sayede küçük değerlerdeki küçük değişiklikler ile büyük değerlerdeki büyük değişiklikler daha kolay ifade edilir.

İlk defa yirminci yüzyılın başlarında Amerika Birleşik Devletleri’nde Bell Telefon şirketi tarafından telefon hatlarındaki kazancın veya kaybın tanımlanması için kullanılmıştır. Günümüzde mühendislikte, akustikte, elektronikte ve kontrol teorilerinde sıklıkla kullanılır. Desibel boyutsuz logaritmik bir gösterimdir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$dB = 10 \times \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

Desibel I_1 ve I_2 gibi iki şiddetin birbirine oranının logaritmasınının 10 katına eşittir. Bu ölçek akla gelebilecek aralarında büyük farklar olan her türlü büyüklüğün karşılaştırılması için kullanılır. Sıfır desibel her zaman söz konusu büyüklüğün referans olarak kabul edilen değerine eşittir.

2.2.1. Ses Şiddet Düzeyi

Normal insan kulağı hem her frekanstaki sesi aynı şiddette algılayamaz, hem de çok düşük ses şiddetlerinden çok büyük ses şiddetlerine kadar çok geniş bir aralıkta işitme işlevini gerçekleştirebilir. İnsan kulağının normal insanlar tarafından 1000 Hz’de

duyulabilen en düşük şiddeti 10^{-12} Watt/m² veya 10^{-16} Watt/cm² kadardır. Bu değere “işitme eşiği ses şiddeti” denir ve yaklaşık olarak bir sivrisineğin yakında uçarken çıkardığı ses kadardır.

İşitme eşiği ses şiddeti aynı zamanda desibel ölçeğinde referans ses şiddeti olarak kullanılır. Pratikte kulağın duyarlılığını sesin frekansına bağımlı olarak belirtmekten kaçınmak amacıyla “ses şiddet düzeyi” adı verilen ve desibel olarak ifade edilen bir ölçek sıklıkla kullanılır. Bu desibel ölçeğine göre ortamın ses şiddeti (I) ile işitme eşiği ses şiddeti (I₀) oranı alınır ve ses şiddet düzeyi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$dB = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

2.2.2. Ses Basınç Düzeyi

Desibel ölçeğini kullanarak herhangi bir ses basıncının referans bir ses basıncı ile karşılaştırıp ses basınç düzeyi olarak ifade edilmesidir. Normal bir insan kulağının 1000 Hz’de algılayabildiği en düşük ses basıncı olan 2×10^{-5} N/m² referans basınç olarak kullanılır (Çelebi, 2008). Bu durumda ses şiddeti ile ses basıncı arasındaki bağıntı desibel ölçeğine yerleştirildiğinde ses basınç düzeyi desibel olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$dB = 10 \times \log \left(\frac{\frac{P^2}{2 \times v \times d}}{\frac{P_0^2}{2 \times v \times d}} \right) \rightarrow dB = 20 \times \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Ses düzeyini ölçen veya gürültü düzeyini ölçen cihazlar aksi belirtilmedikçe ses basınç düzeyini ölçen cihazlardır.

2.2.3. Ses Şiddet Düzeyi ve Ses Basınç Düzeyi Farkı

Ses düzeyini belirtmek için desibel olarak ses şiddeti düzeyi (dB IL) ve ses basıncı düzeyi (dB SPL) sıklıkla kullanılır. Referans olarak alınan ölçümler farklıdır. Desibel olarak değerler birbirine eşittir. Her iki ölçeğin de farkları Tablo 1’de verilmiştir (Valente, Fernandez, Monroe, Valente, & Cadieux, 2017).

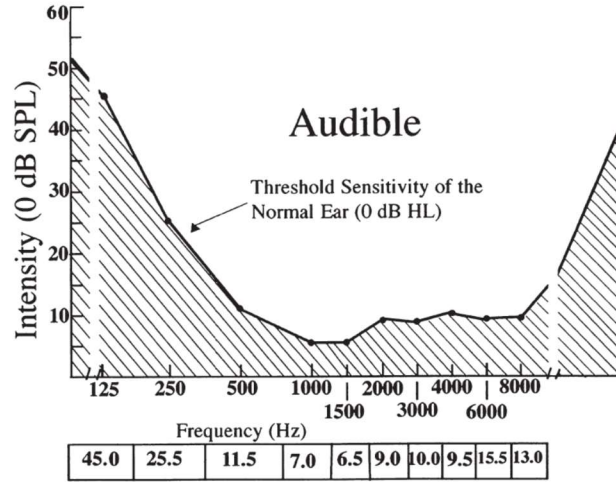
Tablo 1. Ses şiddeti ve ses basıncı ilişkisi.

Şiddet	Referansın Katı	dB	Basınç	Basıncın Katı
--------	-----------------	----	--------	---------------

Watt/cm ²			dyn/cm ²	
10-16	1	0	0,0002	1
10-14	100	20	0,002	10
10-12	10,000	40	0,02	100
10-10	1,000,000	60	0,2	1,000

2.2.4. İşitme Seviyesi ve Ses Basınç Düzeyi

İnsan kulağı kulağa uygulanan her frekanstaki saf ton sesi şiddeti eşit olsa bile eşit seviyede algılayamaz. Bu konudan “Ses Yüksekliği” başlığı altında sayfa 8’de de bahsedilmiştir. Algıdaki bu farklılık ses şiddet düzeyi olarak Şekil 1’de verilmiştir. Odyometrik testlerde bu tip eğrilere bakarak işitme kayıplarını ölçmek ve değerlendirmek oldukça zordur. Bu nedenle bu farklılığı 1000 Hz’de insan kulağının duyabildiği en düşük ses şiddetini veya basıncını referans olarak kabul edip (Tablo 1) bu değerdeki şiddeti veya basıncı sıfır desibel olarak kabul etmek pratik bir çözüm olmuştur (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, 2008; Valente et al., 2017).



Şekil 1. İnsan kulağının ses şiddet düzeyi olarak frekansa bağlı olarak işitme eşiği.

Saf ton ses kullanılarak yapılan odyometride fon eğrilerinden yola çıkılarak ses basınç düzeyi ölçümlerine Tablo 2’de verilen ekleme ve çıkarmalar yapılarak normal bir kulağın işitme eşiği düz hale getirilir. Böylece odyometrik ölçümlerde “işitme seviyesi” (dB HL) adı altında yeni bir tanımlama yapılmıştır.

Tablo 2. Normal kulağın işitme eşiğine göre ses basınç düzeyi farkı.

Frekans (Hz)	İşitme Düzeyi (dB HL)	*Ses Basıncı Düzeyi Farkı (dB SPL) (ISO 2003)	**Ses Basıncı Düzeyi Farkı (dB SPL) (ANSI S3.6-1996 standardı)
125	0	-	45,0
250	0	+12	27,0
500	0	+5	13,5
750	0	-	9,0
1000	0	+2	7,5
1500	0	-	7,5
2000	0	-2	9,0
3000	0	-	11,5
4000	0	-5	12,0
6000	0	-	16,0
8000	0	+13	15,5

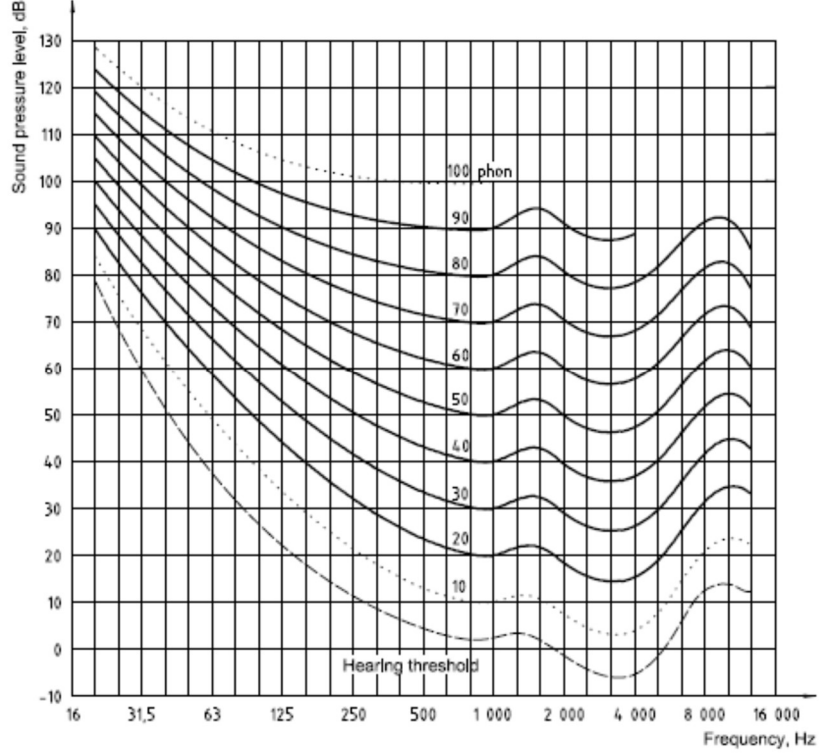
*Açık alanda kulağın işitmesi için ölçülen fizyolojik değerlerdir.

**Odyometre kulaklık kalibrasyonu için kullanılan değerlerdir.

2.3. Ses Yüksekliği

Kulak farklı frekanslardaki sesleri şiddetleri veya basınçları aynı olsa bile farklı şiddetlerde algılar. Kulak bazı frekanslardaki seslere daha duyarlıdır. Örneğin, birbiri ile aynı şiddette olan 3 KHz frekanstaki ses tonunu 1 KHz frekanstaki ses tonuna göre daha yüksek şiddette algılar. Her kulağa göre değişen bu subjektif ses algılamasına sesin yüksekliği (ing. loudness) denir. Ses yüksekliği “fon” (ing. phon) adı verilen bir birimle ölçülür (Çelebi, 2008).

Fon ses yüksekliği birimi 1 KHz’lik ses tonunun şiddet veya basınç düzeyine eşit ses yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Buna göre 1000 Hz’lik ses tonu için 1 fon 1 dB ses şiddet düzeyi veya ses basınç düzeyidir. İnsan kulağına ait fon eğrileri Şekil 2’de verilmiştir. Fon eğrileri kulağın her frekansa aynı hassasiyeti göstermediğini ve bu hassasiyetin de uyarı şiddeti ile de değişebildiğini gösterir.



Şekil 2. Saf ton sesler için fon eğrileri (ISO 226:2003).

2.4. Odyometre

Odyometreler işitme keskinliğini değerlendirmek için kullanılan cihazlardır. Bu cihazlar bir kulaklık veya benzeri bir parça aracılığı ile kulağa hava veya kemik yolu ile basınç dalgaları uygular. Odyometrelerde genellikle test yapılan kişinin kendisine gönderilen sesi duyup duymadığını belirleyebilmek amacıyla test yapılan kişinin elinde bir geribildirim düğmesi vardır.

2.4.1. Odyometre Tipleri

Günümüzde kullanılan odyometreler “Objektif Odyometre” ve “Subjektif Odyometre” olmak üzere iki tiptir. Objektif odyometrelerde test yapılan kişinin herhangi bir işlem yapmasına gerek yoktur. Subjektif odyometrede ise test yapılan kişinin test uyarısına cevap verebilecek şekilde uyanık ve tetikte olması gerekir. Sıklıkla kullanılan odyometrelere örnekler aşağıda verilmiştir. Araştırmalar dışında nadiren kullanılan diğer tipleri aşağıda listelenmemiştir.

Objektif Odyometreler

- 1) Otoakustik Emisyon (OAE-OtoAcoustic Emission): Bebeklerde işitme taraması amacıyla genellikle kullanılan yöntemdir. Kohlea kaynaklı işitme kayıplarının saptanmasında kullanılır.
- 2) İşitsel Beyin Sapı Cevabı (ABR-Auditory Brainstem Response): Kohlea ile işitme korteksi arasındaki bağlantıları değerlendirir.
- 3) Empedans ve Refleks Ölçümleri: Kulak zarı hareketlerini ve ortakulaktan gelen işitsel refleksleri ölçer

Subjektif Odyometre Tipleri (IEC – International Electrotechnical Comission, 1980'a göre)

- 1) Tip I - İleri düzeyde gelişmiş tanısal odyometre: Saf ton, kemik iletimi, maskeleme, konuşma testleri ve ses alanı testi için hoparlörleri ile tam donanımlı odyometrelerdir.
- 2) Tip II – Gelişmiş tanısal odyometre: Ses alanı testi için hoparlörleri olmayan tam donanımlı odyometrelerdir.
- 3) Tip III – Basit tanısal odyometre: Konuşma testi bulunmayan taşınabilir odyometrelerdir.
- 4) Tip IV – Tarama tipi odyometre: Saf ton verebilir. Bazı modelleri her şiddette ve her tipte saf ton sesi üretmezler.
- 5) Tip V – En basit odyometre: belirli sınırlarda saf ton ses verebilir, kulaklığı bulunmayabilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Odyometri uygulamalarında pratik kullanılabilir ve tamamen dijital olarak çalışan bir odyometre geliştirilmiştir. Bu odyometrenin işitme kayıplarının erken dönemde belirlenmesi için tarama testi olarak ve yaygın kullanılabilir bir cihaz olması hedeflenmiştir. Bu amaçla sorunlar ve pratik odyometre ile sağlanabilecek çözümler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Pratik odyometrede olması hedeflenen özellikler.

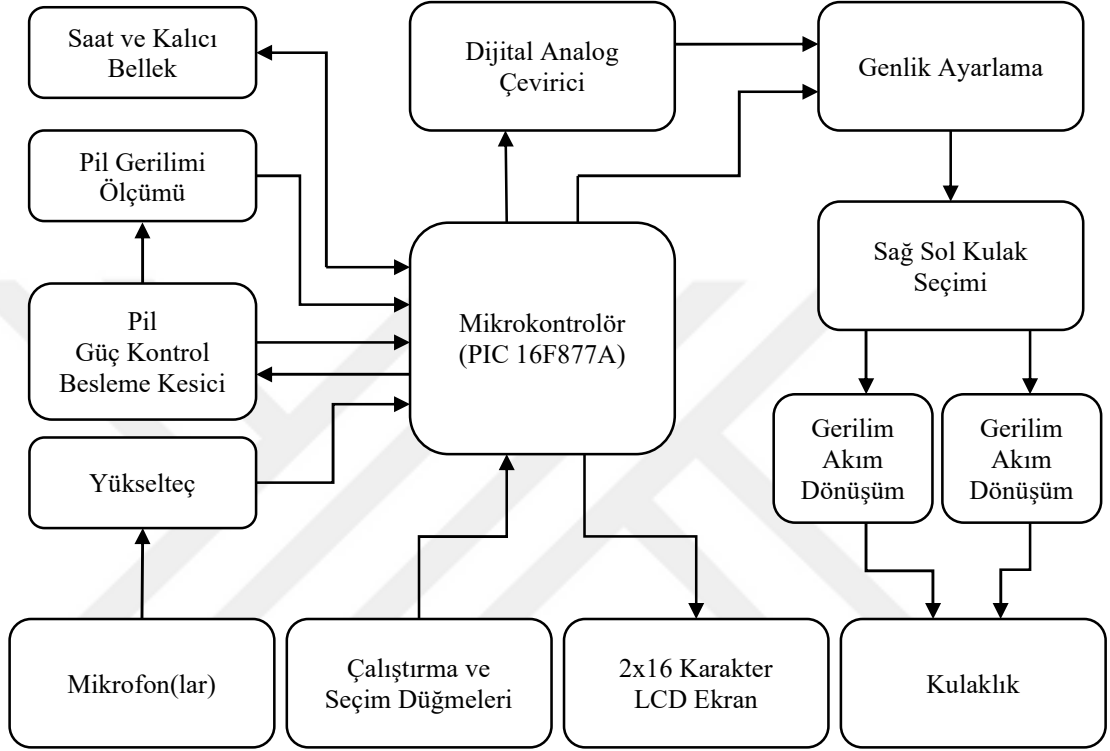
Sorun	Açıklama	Çözüm
Kulaklık	Profesyonel odyometre cihazlarının kulaklık fiyatları yüksektir	Kulak içi olmayan her türlü kulaklık kullanılabilir
Fiyat	Odyometre cihazı fiyatları pahalıdır (500\$ - 5000\$ arası)	Maliyeti ve olası piyasa fiyatı 100\$ altında olmalı
Uzman kişi	Odyometrik ölçümlerin pek çoğu bir uzman kontrolünde yapılır	Ölçümü kişi kendi kendine yapabilir
Ortam	Ölçüm için özel tasarlanmış ortamlar gerekir	Tarama testi yapılmalı Çok gürültülü ortamlar haricinde ölçüm yapılabilir, Cihaz ortam sesini de ölçebilir ve hata payı koyabilir
Erken tanı	Erken tanı için test merkezlerine ulaşım	Kişiler test merkezine gitmemeli Cihaza kolaylıkla ulaşabilir, yaygın olmalı
Diğer	Bilgisayar ve cep telefonları uygulamaları gibi alternatif uygulamalar	Amaca yönelik tasarlanmış, kullanımı pratik ve hızlı olmalı, pil ömrü çok uzun olmalı, düşük maliyetli olmalı

Odyometre sistemi kulağa kulaklık aracılığı ile ses şiddet düzeyi belirlenmiş saf ton ses verebilen ve genellikle de kişinin bu sesi duyabildiğinde yanıt verdiği bir donanımdır. Saf ton ses sinüzoidal dalga formunda üretilen elektrik akımının kulaklığa gönderilmesi sayesinde üretilir. Geliştirilen ve dijital çalışan Pratik Odyometre IEC (International Electrotechnical Commission)1980 yılı standartlarına göre Tip 4 veya 5 standardında bir odyometre cihazıdır (Sayfa 9).

Geliştirilen cihaz yazılım ve donanım olarak iki bölümden oluşmuştur.

3.1. Donanım

Geliştirilen cihazda kullanılan elektronik devre elemanları piyasada kolaylıkla bulunabilen parçalardan seçilmiştir. Odyometrenin çalışmasını ve bölümlerinin birbiri ile ilişkisini gösteren blok diyagramı Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan odyometrenin çalışmasını gösteren blok diyagramı.

Geliştirilen cihazın elektronik devre şemaları Şekil 5 ve Şekil 9’de verilmiştir. Cihaz çeşitli bölümlerden oluşmaktadır. Bu bölümler ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

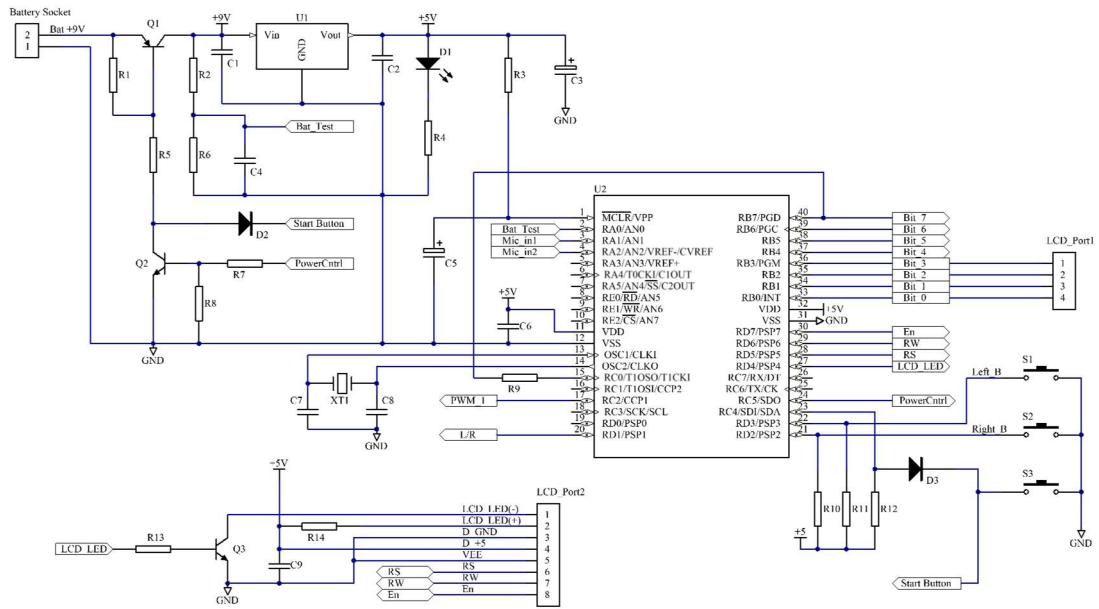
3.1.1. Mikrokontrolör

Cihazın yazılımının yüklendiği, tüm işlevleri gerçekleştiren işlemcisidir. Odyometrede Microchip® firmasının ürettiği PIC16F877A mikrokontrolörü kullanılmıştır. Geliştirilen odyometrenin açma-kapama, besleme, ekran bağlantısı ve mikrokontrolör elektronik devreleri. (Şekil 5). Bu mikrokontrolör devrede 20 MHz saat frekansında işlem yapmakta ve bir kodu 200 nano saniyede işleyebilmektedir. 8 kilobayt program

ve 368 bayt işlem sırasında kullanılan belleği bulunan 40 bacaklı bir işlemcidir. İçinde ayrıca yazılıp silinebilir kalıcı bellekler, puls genişlik modülasyonu yapan iki adet çıkış, analog veriyi 10 bit çözünürlükte sayısal veriye dönüştüren çevirici, seri iletişim modülü ile üç adet sayıcı modülü içermektedir. Ucuz ve kolaylıkla bulunabilen bir işlemcidir. Şekil 4’de işlemci gösterilmiştir.



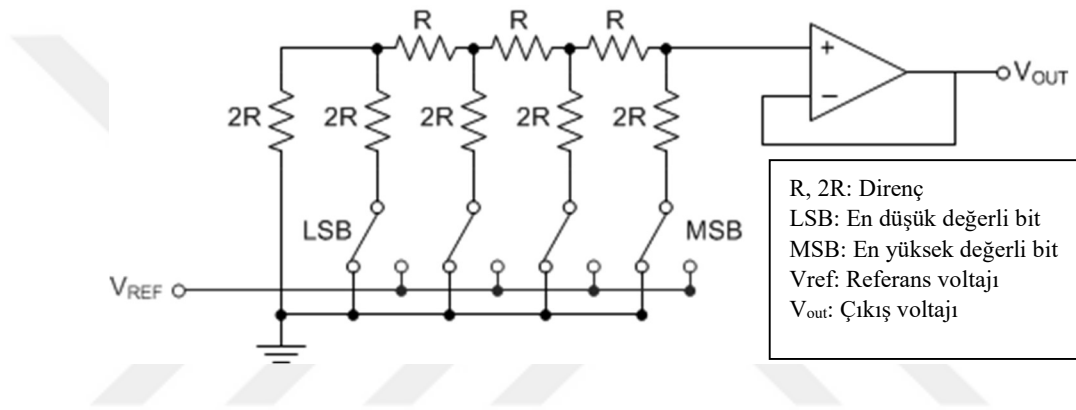
Şekil 4. Microchip firmasının üretimi PIC16F877A mikrokontrolörü.



Şekil 5. Geliştirilen odyometrenin açma-kapama, besleme, ekran bağlantısı ve mikrokontrolör elektronik devreleri.

3.1.2. Dijital Analog Çevirici

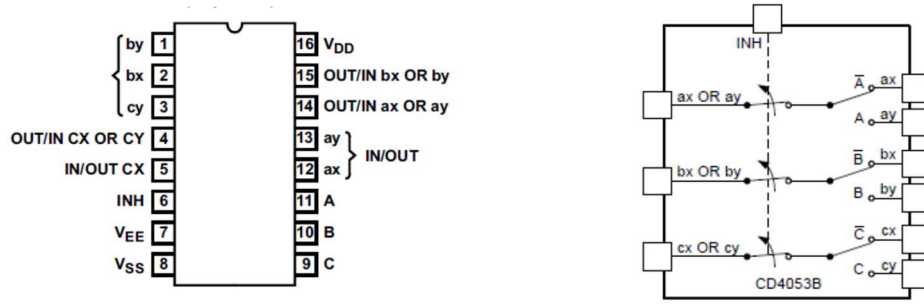
Saf ton sesin üretimi için sinüzoidal dalga formunda bir sinyale ihtiyaç vardır. Bu amaçla mikrokontrolör çıkışına 8 bit çözünürlükte ve hızlı çalışan bir dijital analog çevirici (DAC) eklenmiştir. Avantajları ve hızı nedeniyle R-2R tipi bir çevirici kullanılmıştır. Bu tipte 4 bitlik bir çevirici devresi Şekil 6’de verilmiştir. Geliştirilen odyometrede ise 8 bitlik bir çevrim yapılmaktadır. En düşük değerli bitten en yüksek değerli bit’e kadar 8 adet mikrokontrolör çıkışı ile kumanda edilebilen analog anahtar kullanılmıştır. Bu analog anahtarlar istenilen çıkış voltajını elde edebilmek için 2R değerindeki dirençleri referans voltajına veya sıfır volt değerine bağlar.



Şekil 6. R-2R tipi 4 bit çözünürlükte bir dijital analog çevirici örneği (DACs, 2013).

Örneğin, çıkış voltajının referans voltajına eşit olması isteniyorsa 8 adet 2R değerindeki direnç analog iletim yapan dijital anahtar ile referans voltajına bağlanır. Böylece mikrokontrolör çıkışındaki 255 rakamı (8 bit – 11111111) referans voltajını aynen, 127 rakamı (8 bit – 11110000) referans voltajının tam yarısını, 0 rakamı ise (8 bit – 00000000) sıfır volt olarak çıkış voltajı oluşturur.

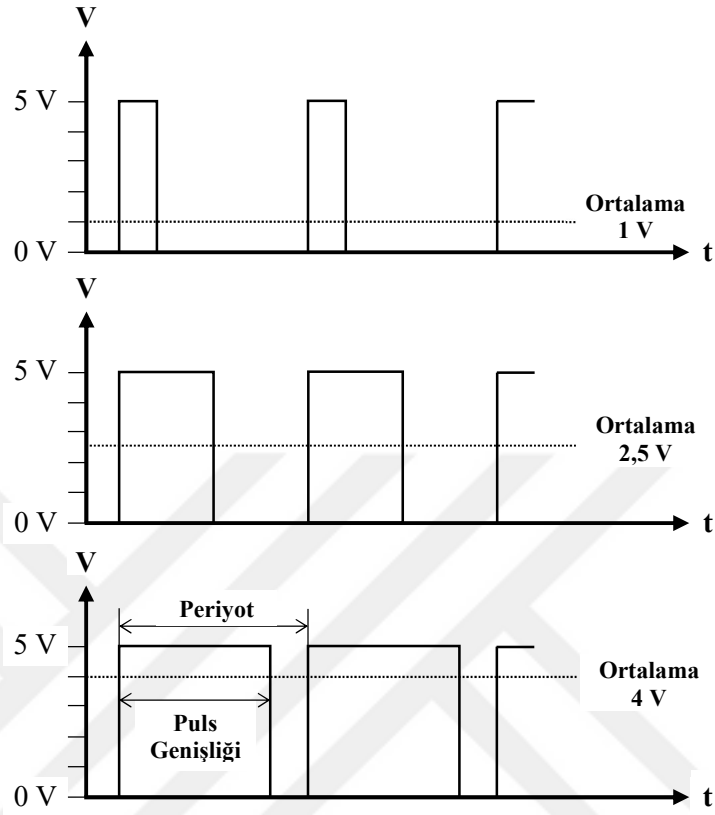
Devrede dijital kontrollü analog anahtar olarak CD4053 entegre devresi kullanılmıştır. Bu devre elemanının resmi ve bağlantı yapısı Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. CD4053 entegre devresinin yapısı.

3.1.3. Genlik Ayarlama

Dijital analog çevirici çıkışında sinüs dalgası mikrokontrolör çıkışında oluşturulan 8 bitlik veri sayesinde oluşturulur. Oluşturulan sinüs dalga şeklinin genliğinin ayarlanabilmesi için mikrokontrolör çıkışında elde edilen PWM (darbe genişlik modülasyonu) kullanılmıştır. Bu yöntemde oluşturulan kare dalga sinyalin frekansı sabittir. Pulsun yüksekte veya düşükte kalma süresi değiştirilir, çıkış alçak geçiren bir filtreden geçirilerek filtre edilir ve böylece istenen potansiyel farkı oluşturulur. Örneğin, pulsun yüksekte ve düşükte kalma süresi eşit ise, bir başka deyişle darbe genişlik oranı %50 ise filtre edildikten sonra elde edilen potansiyel farkı maksimum puls voltajının %50 sine eşittir. Bu yöntem dijital verinin analog veriye dönüştürülmesi için kullanılan bir yöntemdir (Şekil 8).

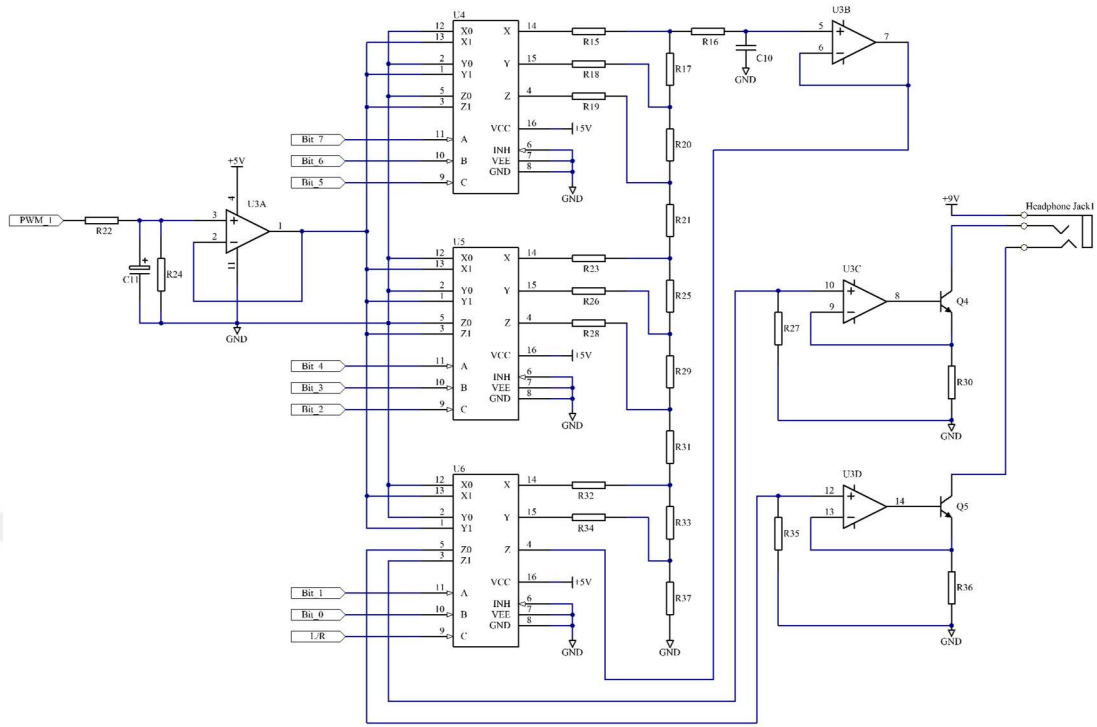


şekil 8. Darbe Genişlik Modülasyonu.

Odyometre cihazında darbe genişlik modülasyonu için ~30 KHz kullanılmıştır ve bu sayede oluşturulan potansiyel farkı Dijital analog çeviricinin referans voltajı olarak kullanılmıştır. şekil 9'de PWM_1 ile gösterilen kısım mikrokontrolör tarafından üretilen sinyalin filtre edilen kısmını göstermektedir. Bu şekilde oluşturulan sinüs dalgasının genliği 10 bit çözünürlükte ayarlanabilmektedir. Bu kısım kulaklığa ulaşan her frekanstaki sesin her kulaklık için bağımsız olarak şiddet ayarlanmasını yapabilmek içindir.

3.1.4. Sağ ve Sol Kulak Seçimi

Mikrokontrolör çıkışı (L/R) CD4053 entegre devresindeki dijital kontrollü analog anahtarına bağlanmıştır. Bu sayede oluşan sinüzoidal sinyal sağ veya sol kulaklığa yazılım aracılığı ile yönlendirilir (şekil 9).



Şekil 9. Geliştirilen cihazın dijital analog çevrim yapan, genlik ayarlayan ve kulaklık süren elektronik devre şeması.

3.1.5. Gerilim Akım Dönüşümü

Genliği ve frekansı mikrokontrolör tarafından ayarlanan sinüzoidal sinyali kulaklığa gönderen kısımdır (Şekil 9). Potansiyel farkını akım sinyaline dönüştürür. Bu sayede kulaklık direnci, kablo direnci gibi değişkenlerin kulaklık çıkışında oluşturabileceği farklılıklar ortadan kalkar. Bu sayede kulaklık düşük ve yüksek frekanslarda doğrusal yanıt verir. Sabit akım üretimi ve diğer analog devrelerde içinde dört adet operasyonel yükselteç bulunan LM324AN entegre devresi kullanılmıştır.

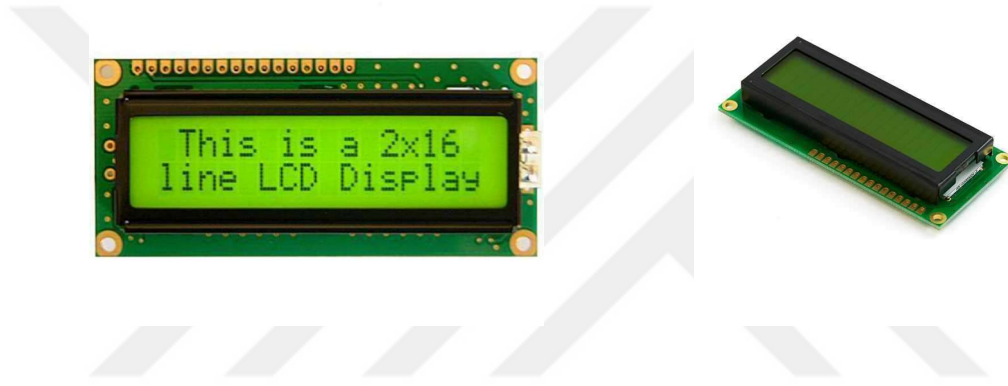
Bu kısım kulaklıkları çalıştırmak içindir. Kulaklık içi hoparlörler genellikle ses yükselteçleri tarafından çalıştırılırlar ve bu yükselteçlerin çıkış gücü kulaklık iç direncine ve rezonans frekansına göre değişkenlik gösterir. Bu sorunun ortadan kaldırılması için dijital analog çevrim çıkışındaki sinüzoidal gerilim yine sinüzoidal dalga şeklindeki sabit akıma dönüştürülmüştür.

3.1.6. Kulaklık

Odyometrede kulağı kapatabilecek tipte, piyasada bulunabilen ucuz bir kulaklık kullanılmıştır. Cihazda kullanılan kulaklık empedansı 8–32 Ω arasındadır. Kulaklık hoparlörü sargıları akım ile çalıştırılmıştır.

3.1.7. Ekran

İki satır 16 karakter yazabilen LCD tipi bir ekran kullanılmıştır (Şekil 10). Ekranın arka aydınlatma ışığı mikrokontrolör tarafından açılıp kapatılabilmektedir. Bu sayede pil tasarrufu da sağlanmıştır.



Şekil 10. İki satır 16 Karakter sıvı Kristal (LCD) ekran.

3.1.8. Çalıştırma ve Seçim Düğmeleri

Odyometrede üç adet kumanda düğmesi kullanılmıştır (Şekil 3 ve Şekil 5). Bu düğmelerden ikisi ekranda yazılı durumları seçim için, biri ise onaylamak için tasarlanmıştır. Onay düğmesi aynı zamanda cihazı otomatik açıp kapatmak için kullanılmaktadır. Bu düğme besleme katına da kumanda ederek cihazın elektronik devrelerine enerji verilmesini başlatır.

3.1.9. Saat ve Kalıcı Bellek

Cihazın kullanımı ve kullanıcıları ile ilgili kayıtları tutmak içindir. İsteğe bağlı eklenebilecek bir özelliktir.

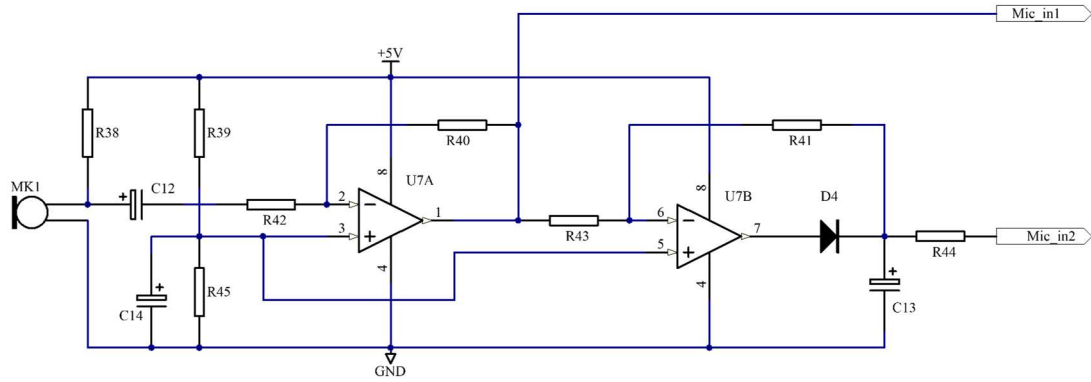
3.1.10. Pil, Güç Kontrol, Besleme Kesici

Bu kısım 9 Volt pil gerilimini cihazın çalışma gerilimi olan 5 Volt'a düşürür. Bunun için LM7805 voltaj regülatörü kullanılmıştır. Cihazın seçim düğmelerinden birine basılarak çalıştırılması, kullanılmadığı zamanlarda da kendisini tamamen katması amacıyla bu regülatör önüne ayrıca bir transistor eklenerek tüm pil gerilimi kapatılıp açılmıştır (Şekil 5). Böylece cihazda ayrıca açma kapama düğmesine ihtiyaç kalmamıştır. Tüm süreç yazılım ile kontrol edilmektedir.

3.1.11. Mikrofon ve Yükselteç

Mikrofon ve yükselteç devreleri iki amaç için düşünülmüştür. Birinci amaç ortam ses şiddet düzeyini değerlendirmek ve uygun koşullar mevcut değil ise test uygulaması sırasında kişiyi uyarmaktır. Çok gürültülü ortamlarda da test yapılmasını engellemektedir. İkinci amaç ise otomatik olmayan test modunda kişinin önündeki düğmeye basmadan sesli komutlar ile programda ilerlemesini sağlamaktır. Bu sayede odyometrenin otomatik veya düğmeye basma suretiyle veya kişinin mikrofonu ses vermesi ile çalışabilecek bir odyometre gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla mikrokontrolöre iki bağlantı yapılmıştır. Bunlardan birincisi ses şiddet düzeyi ölçümü için mikrofon sinyali girişi içindir. İkincisi ise yarım dalga doğrultulmuş ses sinyalinin ortalama seviyesini ölçmek içindir (Şekil 11).



Şekil 11. Odyometredeki mikrofon ve yükselteç devreleri.

3.2. Yazılım

Pratik odyometrenin neredeyse tamamı dijital olarak çalışmaktadır. Bütün işlevler mikrokontrolöre yüklenmiş yazılım aracılığı ile yapılmaktadır. Cihazın analog çalışan

kısmı dijital analog çevirici çıkışından kulaklığa sinüzoidal dalganın ulaştırıldığı kısımlar ile mikrofon yükselteç kısmıdır.

Cihaz yazılımı PICBASIC PRO™ (MELabs, Inc.) derleyicisi kullanılarak hazırlanmıştır. Tasarlanan cihazın yazılım örneği Ek 2’de verilmiştir.

3.2.1. Sinüzoidal Dalga Üretimi

Yazılım hafızasında bulunan sinüzoidal dalga formunu temsil eden rakamları sırasıyla mikrokontrolörün çıkış portuna 8 bit olarak gönderir. Gönderme hızı ~190 KHz dir. Yazılım 500 Hz frekansın katları olacak şekilde sinüs dalgası üretecek şekilde hazırlanmıştır. Bu şekilde istenilen 20000 Hz frekansa kadar istenilen frekansta saf ton ses kolaylıkla üretilebilir. Bunun için gereken sadece yazılım içinde bir rakamın değiştirilmesidir.

Cihaz yazılım 500, 1000, 1500, 2500 ve 5000 Hz sinüzoidal dalga üretecek şekilde programlanmıştır.

Yazılımın en önemli özelliklerinden biri sinüzoidal dalga üretimine her zaman sıfır değerinden başlaması ve yine sıfır değerinde sonlandırmasıdır. Bu uygulama sırasında istenmeyen seslerin engellenmesi için ve sabit akım kullanılarak çalıştırılan kulaklıkların zarar görmemesi için düşünülmüştür.

3.2.2. Sinüzoidal Dalga Genliği Ayarı

Yazılım aynı zamanda 10 bit çözünürlükte oluşturduğu sinüzoidal dalganın genliğini ayarlayabilmektedir. Bunun için mikrokontrolörün darbe genişlik modülasyonu (PWM) çıkışı kullanılmıştır. Bu çıkış ile sabit bir gerilim üretilmekte ve bu gerilim R-2R tipi dijital analog çeviricide bulunan referans gerilimi olarak kullanılmaktadır (Şekil 5 ve Şekil 9). Böylece sinüzoidal dalganın genliği dalga formu bozulmadan kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Mikrokontrolörün darbe genişlik üretici 30 KHz olacak şekilde yazılım ile ayarlanmıştır.

Mikrokontrolörün ürettiği her bir frekansın genliğini bağımsız olarak ayarlayabilmektedir.

3.2.3. Ekran ve Kontrol Düğmeleri

Yazılım iki satır ve her satırda 16 harf veya rakam yazabilen sıvı kristal (LCD) bir ekrana da bilgi göndermektedir. Bu sayede ekranda kullanıcıyı yönlendiren ve bilgi

veren yazılar görünmektedir (Şekil 12) ve donanımda bulunan üç adet kontrol düğmesi aracılığı ile de test süreci yönlendirilmektedir.



Şekil 12. Cihazın örnek ekran görünümü.

Cihaz donanımı ile birlikte hazırlanacak özel bir yazılım ile çalışacaktır. Bu yazılımın kullanıcıyı yormayan, doğru şekilde yönlendiren ve doğru ölçümler yapabilecek şekilde pratik özellikler taşıyan bir yazılım olması gereklidir. Örneğin, yazılım ortam ses şiddet düzeyini ölçmeli ve çok gürültülü ortamlarda bu testi kişilere uygulamamalıdır. Planlanan yazılımın aynı zamanda reaksiyon zamanı da ölçme özelliği eklenecektir. Bu ölçümlerin güvenilirliğini arttıran bir özellik olacaktır.

3.2.4. Kulaklık Kalibrasyonu

Yazılım her bir kulaklıktaki her bir hoparlörün ses basınç düzeyini (SPL) her bir frekans için ayarlanmasını sağlar. Böylece piyasada satılan ucuz kulaklıklar da rahatça kullanılabilir.

Kalibrasyon ayarı için gürültü ölçümü 30-130 dB SPL arasında ölçümü yapabilen bir ölçüm cihazı ile (CS70 Hand Held Warbler, Focus Research Ltd) el tipi bir ses üreticiden faydalanılmıştır. Bu cihaz 500, 1000, 2000, 3000, 4000 ve 6000 Hz frekanslarda 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 ve 70 dB HL ses verebilmektedir. Desibel metre ile Tablo 2'deki fark değerleri de kullanılarak kulaklık çıkışları ayarlanmış ve bu sırada CS70 ses üretici de referans olarak kullanılmıştır. Yazılım aracılığı ile kulaklık ses şiddeti ~30 dB HL değerine ayarlanmıştır.

Aynı ayarlar piyasada müzik dinleme amacıyla kullanılan farklı kulaklıklar ile de yapılmıştır.

3.2.5. Ortam Sesi Ölçümü

Yazılım donanımdaki mikrofon aracılığı ile ortamın ses basınç düzeyini değerlendirerek test ortamının uygun olup olmadığı konusunda kullanıcıya bilgi verir. Böylece odyometrenin çok gürültülü ortamlarda kullanılması önlenmiş olur.

3.3. Anket ve Öneriler

Pratik odyometrenin basit ve kullanışlı olması hedeflenmiştir. Bu amaçla alanında uzman kişilere prototip cihaz gösterilmiş, denemeleri istenmiş ve Ek 1’de verilen anket soruları sorulmuştur. Bu sayede cihazın tarama testleri amacıyla yaygın kullanımı için en uygun özellikler belirlenmeye çalışılmıştır.



4. BULGULAR

4.1. Saf Ton Ses Frekansı Ölçümü

Odyometrenin ürettiği saf ton sinüzoidal dalganın frekansı bir frekans sayıcı aracılığı ile ölçülmüş ve ölçüm değerleri ve hata oranları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Frekans üreticinin kalibrasyon sonuçları.

Ekranında Gösterilen Frekans (Hz)	Frekans Sayıcıda Ölçülen Frekans (Hz)	Sapma (Hz)	Sapma (%)
500	500,8	+0,8	0,160
1000	1000,1	+0,1	0,010
1500	1500,2	+0,2	0,013
2500	2500,4	+0,4	0,016
5000	5000,8	+0,8	0,016

4.2. Toplam Test Süresi

Toplam test süresi ~40 saniye olarak ölçülmüştür. Bu süreler yazılım ile değiştirilebilir.

4.3. Cihazın Pil Ömrü

Cihazın LCD ekran aydınlatması açık olarak saf ton ses üretimi sırasında çektiği akım ~100 mA olarak ölçülmüştür. LCD ekran arka aydınlatması kapalı olduğu durumda değer ~16 mA olarak ölçülmüştür.

Cihazın test süresince yaklaşık 20 saniye süre ile 100 mA, 20 saniye süre ile 16 mA akım kullandığı düşünülürse bu durumda gücü ~2000 mA/saat olan bir alkali pil ile yaklaşık olarak 72,5 saat çalışabilecektir.

Bir test süresinin ortalama 40 saniye sürdüğü kabul edilirse 2000 mA/saat kapasiteli bir pil ile cihaz yaklaşık olarak 6525 adet test yapabilecektir.

4.4. Anket Sonuçları

Pratik odyometrenin kullanımını konusunda odyometri teknisyenlerine ve Kulak Burun Boğaz uzmanları olmak üzere toplam 7 kişiye Ek 1’de verilen anket soruları soruldu. Anket uygulanan kişilerin yaş ortalaması $43,4 \pm 9,7$ ve meslekteki iş tecrübesi ortalama

yılı $20,1 \pm 10,6$ olarak bulundu. Anket sorularına alınan cevaplar ve yüzde oranları Tablo 5’da verilmiştir.

Tablo 5. Anket sonuçları.

Soru	Seçilen Cevap Sayısı (n)	Yüzde oran (%)	Seçilen cevap
1. Ekran nasıl olmalı?	0	0	Her bir frekans için ışıklı ekran
	7	100	Yazı yazabilen ekran
	0	0	Diğer
2. Cihaz görünümü yapısı nasıl olmalı?	4	57,1	Duvara asılı kutu
	1	14,2	Vitrin mankeni başı
	1	28,6	Masa üstü kutu
	0	0	Diğer
3. Cihaz üstü kaç adet düğme olmalı?	7	100	Mevcut yeterli
	0	0	Üçten fazla, klavye benzeri
4. Cihaz sizce nasıl bir güç kaynağı kullanmalı?	7	100	Pil veya şarj edilebilir pil / aktü
	0	0	Şehir ceryanı
5. Pratik Odyometre sizce nerelerde kullanılabilir?	6	85,7	Okul
	5	71,4	Alışveriş merkezi
	5	71,4	Resmi daireler
	1	14,3	Havaalanı
	4	57,1	Fabrika
	0	0	Diğer
6. Pratik Odyometre için kabin gerekli mi?	2	28,6	Sessiz özel bir kabin
	5	71,4	Sessiz bir oda yeterli olmalı
	0	0	Diğer
7. Pratik odyometrenin ortam ses şiddet düzeyini ölçmeli midir?	7	100	Evet, kabin dışında kullanılıyorsa
	0	0	Hayır, gereksiz
	0	0	Diğer
8. Basit bir tarama cihazı olarak düşünürseniz, cihaz nasıl çalışmalıdır?	5	71,4	Otomatik olmalıdır, kişinin herhangi bir düğmeye basmasına gerek yoktur
	2	28,6	Kişi kulağına gelen sesi duydukça düğmeye basmalı ve ilerlemelidir.
9. İki farklı ses şiddetinde test yapılmalı mıdır?	4	57,1	Basit tarama testi olduğu için tek şiddet yeterlidir
	3	42,9	İki veya üç farklı ses şiddet düzeyi kullanılmalıdır

Anket sonuçlarında 6. soruya birden çok cevap verilmiştir. Buna göre pratik odyometrenin kullanılabilacağı yerler arasında en çok okullarda kullanılabilacağı (%85,7), daha sonra alışveriş merkezleri ile resmi dairelerde kullanılabilacağı (%71,4) ve fabrikalarda da tarama testi amacıyla da kullanılabilacağı (%57,1) önerilmiştir.

Havaalanı çalışanlarında yüksek şiddetli sese maruz kalma nedeniyle %14,3 oranında faydalı olabileceği önerilmiştir.

4.5. Maliyet

Geliştirilen cihazın elektronik malzeme ve kulaklık olarak maliyeti yaklaşık 72 Türk lirası (~12,3 USD\$) olarak hesaplanmıştır. Kullanılacak kutu ve diğer aksesuarlar bu maliyete eklenmelidir.



5. TARTIŞMA

Tez işitme kaybının belirlenmesinde pratik kullanımlı dijital odyometre geliştirilmesi prototip olarak tamamlanmıştır. Geliştirilen cihazın pratik ve yaygın kullanılabilir basitlikte olmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla oldukça ucuz bir cihaz tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Tarama testleri için dahi olsa en basit cihazların fiyatları 500 - 5000 USD\$ arasında değişmektedir. Bu yüksek fiyatlar ise yaygın kullanımı sınırlamaktadır. Mevcut cihazın elektronik malzeme olarak maliyeti ise ~12,3 USD\$ olarak bulunmuştur. Bu fiyata kutu veya benzeri aksesuarların eklenmesi de maliyeti çok fazla arttırmayacaktır. Seri üretim yapılması ise maliyeti anlamlı şekilde düşürebilecektir.

Cep telefonu ve tablet bilgisayarlar ile gerçekleştirilen ve pratik odyometre mantığı ile çalışan odyometrelerin de fiyatları ucuz değildir. Fiyatları pratik odyometre ile kıyaslanamayacak kadar farklıdır. Bu cihazların asıl kullanım amaçları dışında kullanılmaları, farklı marka ve modellerin farklı teknik özelliklerinin olması bu gibi cihazlar kullanılarak yapılan odyometrelerin güvenilirliklerini düşürmektedir. Uygulama ve yazılım olarak pratik değildirler.

5.1. Cihazın Teknik Özellikleri

Piyasada cep telefonu ve bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiş çok sayıda cihaz uygulama mevcuttur (Adiputra, Hareva, & Krisnadi, 2018; Brungart et al., 2018; Chu et al., 2019; Hutter et al., 2010; Isler & Uzun, 2016; Kohlert & Bromwich, 2017; Levy, Hill, Bia, & Feinn, 2018; Rourke, Kong, & Bromwich, 2016; Suwandi & Hermawanto, 2012; Thompson, Sladen, Borst, & Still, 2015). Bu uygulamaların geçerlik ve güvenilirliği konusunda da çeşitli sahada yapılan çeşitli araştırmalar mevcuttur (Chu et al., 2019; Kohlert & Bromwich, 2017). Ototoksitenin erken tespiti konusunda da yapılan araştırmalarda (Brungart et al., 2018; Kohlert & Bromwich, 2017) tablet bilgisayarlar kullanılmıştır.

Tablet bilgisayarlar, masaüstü bilgisayarlar veya cep telefonlarında ses üretmek ve bunu kulaklık fişi aracılığıyla dışarı vermek için dijital veriyi analog sinyale çeviren entegre devreler kullanılır. Standart ses kartı veya ses modülü çıkışları dijital veriyi analog veriye çevirirler. Ancak bu çıkışlar genellikle 44,1 KHz örnekleme hızına sahiptirler. Beş KHz'lik sinüzoidal bir dalganın üretimi sırasında 44.1 KHz örnekleme frekansında belirgin bozulmalar meydana gelir. Çünkü saniyede 5 bin defa tekrarlanan

bir dalga sadece saniyede ~ 8.9 adet örneklenmiş çıkış ile temsil edilir. Oysaki geliştirilen odyometrede bu değer ~ 39 adettir, çok daha yüksek frekansta örneklenmektedir ve oluşan sinüs dalgası aslına daha benzerdir. Bu oluşturulan saf ton sinüs dalgasının tablet bilgisayar veya mobil telefon uygulamalarına göre çok daha kaliteli ve gerçeğine yakın olduğunu göstermektedir. Mevcut odyometre çıkışı osiloskop aracılığı ile ölçülerek ses kartları ile kıyaslanmıştır.

Müzik dinleme sırasında kulak bu örnekleme frekansı ile ilgili düşüklüğü fark etmek genellikle hiç mümkün değildir. Ancak saf ton ses üretiminde yüksek hız ile örneklenmeyen sesler iyi bir kulak tarafından fark edilebilir. Geliştirilen pratik odyometre cihazında ses kartı veya benzerlerine göre daha yüksek hızlarda örnekleme yapılması cihazın bir üstünlüğüdür.

Bir diğer teknik konu da pek çok standart ses kartı veya ses modülü çıkışlarında 2.5 volt veya benzeri bir değerde sürekli olarak bir potansiyel farkı gözlenir. Bu müzik dinlerken veya ses tonu üretirken herhangi bir sorun oluşturmaz. Ancak ses kartına yazılım aracılığı ile ses tonu gönderilmesi başta ve sonda tıklama şeklinde ek sesler çıkmasına sebep olabilir. Bu sorun yazılımda saf tonun genliğinin hızla azaltılarak sıfıra getirilmesi ile çözülmüş olabilir. Pratik odyometrede ise bu sorun saf ton için üretilen sinüs dalgasının her zaman sıfır değerinden başlayıp yine sıfır değerinde bitmesini sağlayan yazılımı ile çözülmüştür.

Pratik odyometrenin ucuz olması hedeflenmiştir. Odyometre cihazlarında maliyeti arttıran en önemli unsurlardan biri de test amacıyla kullanılan özel kulaklıklardır. Bu kulaklıkların fiyatları 150-300 USD\$ arasında değişmektedir. Yaygın olarak kullanılması istenen odyometre cihazlarında bu maliyette kulaklıkların kullanılması hiç de akıllıca bir seçim olmayacaktır. Pratik odyometrede ise düşük maliyetli ve müzik dinlemek amacıyla kullanılan ucuz kulaklıkları kullanılmıştır. Bu kulaklıkların olası temel sorunlarından biri farklı empedanslara sahip olması, lineer frekans aralığında çalışmaması sayılabilir. Pratik odyometrede kulaklık empedansından etkilenmemek ve kulaklığın frekans cevabını doğrusala yakın hale getirmek amacıyla ses çıkışı sabit akım mantığı ile çalışan bir akım sürücü ile tasarlanmıştır. Böylece pratik odyometre her türlü kulaklık ile çalışabilir hale getirilmiştir.

Pratik odyometrenin yazılım özelliklerinden biri de saf ton sesi üretirken genliğini ayarlamasıdır. Oysaki pek çok odyometrede (Champlin & Letowski, 2014; Lightfoot,

2000; Pedroso, Gerges, & Gonçalves, 2004; Ruiz, Feuereisen, Machon, & Recuero, 2005; Smith & Foster, 1997) ses üreticinde üretilen saf ton ses sabit genliktedir ve şiddeti düşürölerek kulaklığa uygulanır. Pratik odyometrede sinüs dalgasının genliğinin de dijital olarak ve üretilirken ayarlanabilmesi donanım olarak da daha az malzeme kullanılmasına ve karmaşıklığın azalmasına sebep olmuştur.

Pratik odyometrede üretilen saf ton sinyal ve dolayısıyla da ses genliği dijital olarak 10 bit çözünürlükte, bir başka deyişle 1024 ayar kademesinde ayarlanabilmektedir. Bu sayede mikrokontrolör yazılımının özelliği sayesinde sağ ve sol kulağa uygulanan farklı frekanslardaki sesin genliği ayrı ayrı ayarlanabilmektedir. Bu aynı zamanda her türlü kulaklığın verdiği ses düzeyi ölçölerek bağımsız olarak da kalibrasyon ayarı yapılmasına olanak sağlayan bir teknik özelliiktir.

Cihazda kullanılan LM324 operasyonel amplifikatörü $V_{cc} - 1,5$ Volta kadar çıkış verebilmektedir. Bunun anlamı operasyonel yükselteç çıkışının 5 Volt altında en fazla 3.5 Volta kadar yükselebiliyor olmasıdır. Devrenin tasarımı bu özellik dikkate alınarak yapılmıştır. Bu nedenle cihazın analog devreleri 0-5 Volt aralığında değil, 0-3 Volt aralığında çalışmaktadır. Bu durum “Rail to Rail” tipi operasyonel yükselteç entegre devreleri kullanılarak çözülebilir.

Cep telefonu veya tablet bilgisayarların odyometri amacıyla kullanılmasında sorunlardan bir diğeri de bu cihazların çalışması için çok fazla pil tüketmesi ve sıklıkla şarj edilmeye ihtiyaç duyulmasıdır. Pratik odyometre için standart alkalın piller kullanılarak yaklaşık 72,5 saat sürekli açık ve çalışır halde kalabileceği ve ~6500 adet ölçüm yapabileceği hesaplanmıştır. Bu süre ve sayı pil kapasitesinin artırılması veya daha düşük enerji tüketen işlemcilerin kullanılması ile çok daha fazla artırılabilir.

5.2. Kullanım Amacı

Pratik odyometrenin tasarlanma ve geliştirme amacı tarama testleridir. Çok basit olması, kişinin kendinde bir sorun olup olmadığını kendi kendine tespit edebilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle pratik odyometre prototipinde sadece bir tek işitme düzeyinde saf ton ses kullanılmış ve cihazın ona göre kalibrasyon ayarı yapılmıştır. Prototip cihazın sadece tek işitme düzeyinde ses üretiyor olması bir eksiklik olabilir. Bu durum yazılımın değiştirilmesi ve uygun hale getirilmesi ile düzeltilebilecek bir durumdur. Nitekim anket sonuçlarında da farklı şiddetlerde uygulama yapılması önerisi de vardır.

Pratik odyometre genel tarama amaçlı kullanılmak üzere tasarlandığı için diğer odyometrelerde olduğu gibi bir grafik oluşturmamakta ve kağıtlı bir yazıcıya sonuç göndermemekte ve yazdırmamaktadır. Sisteme ayrıca bir yazıcı eklenmesi maliyeti arttırabileceği gibi başka teknik sorunlar da ortaya çıkarabilecektir. Ancak daha gelişmiş modeller üretilebilir, otomatik olarak soğuk içecek veya kahve satışı yapan makinalar gibi işleme testi yapan makinalar haline getirilebilir ve bu durumda sonuç kağıdı verebilir hale getirilebilir. Bu hale getirilmiş bir cihaz tezin amacı olan yaygın kullanımı ve ucuz maliyeti ortadan kaldırır.

Pratik odyometre sessiz bir ortamda basit işleme testi taraması yapmak amacıyla düşünülmüştür. Bu nedenle de sestem izle bir kabine ihtiyaç olduğu öngörülmemiştir. Ortam sesini ölçerek üretilen ses düzeyinin belli bir oranda arttırılması da düşünülebilir. Ancak bu ayrı bir çalışma konusudur.

5.3. Anket Sonuçları

Anket sonuçlarına göre cihazın duvara asılı olarak kullanılması, pil ile çalışması, sessiz bir odada bulunması, otomatik olarak çalışması ve tek bir ses şiddeti kullanması tercih edilmiştir. Bu sonuçlar pratik odyometrenin amacına uygun tasarlandığını düşündürmektedir. Özellikle duvarda asılı durması, ekranın görülebilmesi, için duvara raylı bir sistem eklenmesi boyu kısa öğrencilerin de böyle bir testi kendi başına yapabilmelerini sağlayabilecektir.

Pratik odyometrenin okul, alışveriş merkezi resmi daireler ve fabrikalarda kullanılması en çok önerilmiştir. Odyometrenin tasarımı ve geliştirilmesi aşamasında bu kullanım alanları dikkate alınarak yazılım ve donanımın geliştirilmesi sağlanmalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Pratik odyometre hem donanım, hem de yazılım olarak beklenen asgari başarıyı sağlamıştır. Tezde geliştirilen dijital odyometre bir prototiptir. Bir sonraki aşama olarak “Pratik Odyometre” yönteminin sessiz oda kullanılan ve işitme kaybı nedeniyle işitme testi uygulanan kişilerde karşılaştırılmalı denenmesi uygun olacaktır. Ancak bu ayrı bir araştırma konusudur.

Yazılım ve donanımda ortaya çıkabilecek yeni ve yenilikçi yönlerin, etik kurallar da ihlal edilmeden patent veya benzeri şekilde belgelenmesi ve korunması için çalışmalar yapılacaktır.

Her okulda, her resmi dairede, her fabrikada bir odyometre cihazının duvarda asılı durması ve kişilerin bu testi kendi kendilerine yapabilmesi, işitme sağlığı bakımından erken tanı imkanlarını arttırmış olacaktır. Bu nedenle bakanlık düzeyinde çalışmaların yapılması ve pratik odyometrenin bu doğrultuda daha da geliştirilmesi hedeflenmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Abu-Ghanem, S., Handzel, O., Ness, L., Ben-Artzi-Blima, M., Fait-Ghelbendorf, K., & Himmelfarb, M. (2016). Smartphone-based audiometric test for screening hearing loss in the elderly. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273(2), 333-339. doi:10.1007/s00405-015-3533-9
- Adiputra, A., Hareva, D. H., & Krisnadi, D. (2018, 2018). *Android Mobile Audiometry Test*.
- Barczik, J., & Serpanos, Y. C. (2018). Accuracy of Smartphone Self-Hearing Test Applications Across Frequencies and Earphone Styles in Adults. *American Journal of Audiology*, 27(4), 570-580. doi:10.1044/2018_aja-17-0070
- Bright, T., & Pallawela, D. (2016). Validated Smartphone-Based Apps for Ear and Hearing Assessments: A Review. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 3(2), e13. doi:10.2196/rehab.6074
- Brungart, D., Schurman, J., Konrad-Martin, D., Watts, K., Buckey, J., Clavier, O., . . . Dille, M. F. (2018). Using tablet-based technology to deliver time-efficient ototoxicity monitoring. *International Journal of Audiology*, 57(sup4), S25-S33. doi:10.1080/14992027.2017.1370138
- Champlin, C., & Letowski, T. (2014). Audiometric calibration: Air conduction. *Seminars in Hearing*, 35, 312-328. doi:10.1055/s-0034-1390161
- Chu, Y. C., Cheng, Y. F., Lai, Y. H., Tsao, Y., Tu, T. Y., Young, S. T., . . . Liao, W. H. (2019). A Mobile Phone-Based Approach for Hearing Screening of School-Age Children: Cross-Sectional Validation Study. *Jmir Mhealth and Uhealth*, 7(4), 13. doi:10.2196/12033
- Çelebi, G. (2008). Ses ve İşitme. In *Biyomedikal Fizik* (pp. 137-179). İzmir: Fakülteler Kitabevi Barış Yayınları.
- DACs, D. o. (2013, May 29, 2013). DAC Essentials: The resistor ladder. *TI E2E™ support forums*. Retrieved from https://e2e.ti.com/blogs_/b/analogwire/archive/2013/05/29/dac-essentials-the-resistor-ladder
- Hutter, H. P., Moshhammer, H., Wallner, P., Cartellieri, M., Denk-Linnert, D. M., Katzinger, M., . . . Kundi, M. (2010). Tinnitus and mobile phone use. *Occupational and Environmental Medicine*, 67(12), 804-808. doi:10.1136/oem.2009.048116

- Isler, Y., & Uzun, Y. O. (2016, 2016). *Audiometer device design with integration to different sources.*
- Kohlert, S., & Bromwich, M. (2017). Mobile tablet audiometry in fluctuating autoimmune ear disease. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, 46(1), 18. doi:10.1186/s40463-017-0195-1
- Levy, D. A., Hill, D. R., Bia, F. J., & Feinn, R. S. (2018). Tablet-based Hearing Screening in Children Aged 5 to 17 in Rural Dominican Republic. *Otology & Neurotology*, 39(7), 823-828. doi:10.1097/mao.0000000000001857
- Lightfoot, G. R. (2000). Audiometer Calibration: Interpreting and Applying the Standards. *British Journal of Audiology*, 34(5), 311-316. doi:10.3109/03005364000000143
- Pedroso, M. A., Gerges, S. N. Y., & Gonçalves, A. A. (2004). Uncertainty in audiometer calibration. *Metrologia*, 41(1), 1-7. doi:10.1088/0026-1394/41/1/001
- Renda, L., Selcuk, O. T., Eyigor, H., Osmar, U., & Yilmaz, M. D. (2016). Smartphone Based Audiometric Test for Confirming the Level of Hearing; Is It Useable in Underserved Areas? *Journal of International Advanced Otology*, 12(1), 61-66. doi:10.5152/iao.2016.1421
- Rourke, R., Kong, D. C., & Bromwich, M. (2016). Tablet Audiometry in Canada's North: A Portable and Efficient Method for Hearing Screening. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 155(3), 473-478. doi:10.1177/0194599816644407
- Ruiz, M., Feuereisen, B., Machon, D., & Recuero, M. (2005). Factors contributing to the uncertainty in circumaural earphone calibration for audiometric testing. *Applied Acoustics*, 66(9), 1033-1048. doi:10.1016/j.apacoust.2005.02.005
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, S. (2008). *Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function: Preliminary report.* European Commission Health & Consumer Protection DG Directorate C: Public Health and Risk Assessment Unit C7 - Risk Assessment
- Smith, P. A., & Foster, J. R. (1997). Audiometer Calibration: Two Neglected Areas. *British Journal of Audiology*, 31(5), 359-364. doi:10.3109/030053640000000030

- Suwandi, A., & Hermawanto, D. (2012). Developing a Computer Based Audiometer for Hearing Loss Screening. *MAPAN*, 27(4), 205-212. doi:10.1007/s12647-012-0040-y
- Swanepoel, D. W., Myburgh, H. C., Howe, D. M., Mahomed, F., & Eikelboom, R. H. (2014). Smartphone hearing screening with integrated quality control and data management. 53(12), 841-849. doi:10.3109/14992027.2014.920965
- Thompson, G. P., Sladen, D. P., Borst, B. J. H., & Still, O. L. (2015). Accuracy of a Tablet Audiometer for Measuring Behavioral Hearing Thresholds in a Clinical Population. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 153(5), 838-842. doi:10.1177/0194599815593737
- Valente, M., Fernandez, E., Monroe, H., Valente, L. M., & Cadieux, J. (2017). *Psychoacoustics. In Audiology Answers for Otolaryngologists* (Second Edition ed.). Stuttgart, New York, Delhi, Rio: Thieme Verlagsgruppe.

8. EKLER

Ek 1. Anket soruları.

Adı Soyadı (ismin baş harfleri):	
Yaşı:	
Mesleği / Görevi:	
İş Tecrübesi (yıl):	
Sorular	
Pratik Odyometre odyometrik testlerde kullanılan türde saf ton sinüs dalgası üretilen kulaklığa verebilen bir cihazdır. Cihaz basit tarama testi amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir.	
1. Ekran nasıl olmalı?	<input type="checkbox"/> Her bir frekans için ışıklı ekran
	<input type="checkbox"/> Yazı yazabilen ekran
	Diğer:
2. Cihaz görünümü yapısı nasıl olmalı?	<input type="checkbox"/> Duvara asılı kutu
	<input type="checkbox"/> Vitrin mankeni başı
	<input type="checkbox"/> Masa üstü kutu
	Diğer:
3. Cihaz üstü kaç adet düğme olmalı?	<input type="checkbox"/> Mevcut yeterli
	<input type="checkbox"/> Üçten fazla, klavye benzeri
4. Cihaz sizce nasıl bir güç kaynağı kullanılmalı?	<input type="checkbox"/> Pil veya şarj edilebilir pil / akü
	<input type="checkbox"/> Şehir ceryanı
5. Pratik Odyometre nerelerde kullanılabilir?	<input type="checkbox"/> Okul
	<input type="checkbox"/> Alışveriş merkezi
	<input type="checkbox"/> Resmi daireler
	<input type="checkbox"/> Havaalanı
	<input type="checkbox"/> Fabrika
	Diğer:
6. Pratik Odyometre için kabin gerekli mi?	<input type="checkbox"/> Sessiz özel bir kabin
	<input type="checkbox"/> Sessiz bir oda yeterli olmalı
	Diğer:
7. Pratik odyometrenin ortam ses şiddet düzeyini ölçmeli midir?	<input type="checkbox"/> Evet, kabin dışında kullanılıyorsa
	<input type="checkbox"/> Hayır, gereksiz
	Diğer:
8. Basit bir tarama cihazı olarak düşünürseniz, cihaz nasıl çalışmalıdır?	<input type="checkbox"/> Otomatik olmalıdır, kişinin herhangi bir düğmeye basmasına gerek yoktur
	<input type="checkbox"/> Kişi kulağına gelen sesi duydukça düğmeye basmalı ve ilerlemelidir.
9. İki farklı ses şiddetinde test yapılmalı mıdır?	<input type="checkbox"/> Basit tarama testi olduğu için tek şiddet yeterlidir
	<input type="checkbox"/> İki veya üç farklı ses şiddet düzeyi kullanılmalıdır

Ek 2. Tasarlanan cihazın Picbasic Pro derleyicisi ile hazırlanmış yazılım örneği.

```
/////////////////////////////////////////////////////////////////
'Includes
include "modedefs.bas"
/////////////////////////////////////////////////////////////////
'Defines
DEFINE LOADER_USED 1
DEFINE OSC 20 'Oscillator speed in MHz: 3(3.58) 4 8 10 12 16 20 24 25 32 33 40
DEFINE LCD_DREG PORTB 'LCD data port
DEFINE LCD_DBIT 0 'LCD data starting bit 0 or 4
DEFINE LCD_BITS 4 'LCD bus size 4 or 8
DEFINE LCD_LINES 2 'Number lines on LCD
DEFINE LCD_RSREG PORTD 'LCD register select port
DEFINE LCD_RSBIT 5 'LCD register select bit
DEFINE LCD_EREG PORTD 'LCD enable port
DEFINE LCD_EBIT 7 'LCD enable bit
DEFINE LCD_RWREG PORTD 'LCD read/write port
DEFINE LCD_RWBIT 6 'LCD read/write bit
DEFINE LCD_COMMANDUS 2000 'Command delay time in us
DEFINE LCD_DATAUS 50 'Data delay time in us

RCSTA = %10010000 ' Set transmit register to transmitter enabled
TXSTA = %00100110
SPBRG = 32 'baudrate 38400 for 20MHz

DEFINE CCP1_REG PORTC 'Hpwm 1 pin port
DEFINE CCP1_BIT 2 'Hpwm 1 pin bit
DEFINE CCP2_REG PORTC 'Hpwm 2 pin port
DEFINE CCP2_BIT 1 'Hpwm 2 pin bit
DEFINE BUTTON_PAUSE 50 ' button debounce delay is 50ms
/////////////////////////////////////////////////////////////////
Constants_label:

'LCD_satir_tanimlari
satir1_1 con $80
satir1_2 con $81
satir1_3 con $82
satir1_4 con $83
satir1_5 con $84
satir1_6 con $85
satir1_7 con $86
satir1_8 con $87
satir1_9 con $88
satir1_10 con $89
satir1_11 con $8A
satir1_12 con $8B
satir1_13 con $8C
satir1_14 con $8D
satir1_15 con $8E
satir1_16 con $8F

satir2_1 con $C0
satir2_2 con $C1
satir2_3 con $C2
satir2_4 con $C3
satir2_5 con $C4
satir2_6 con $C5
satir2_7 con $C6
satir2_8 con $C7
satir2_9 con $C8
```

```

satir2_10 con $C9
satir2_11 con $CA
satir2_12 con $CB
satir2_13 con $CC
satir2_14 con $CD
satir2_15 con $CE
satir2_16 con $CF

sag_kulak con 5
sol_kulak con 6
yumusak_g con 7
/////////////////////////////////////////////////////////////////
Variables_label:

uygulama_sayac    var byte
bekleme_sayac    var word
arasayac1        var byte
sinus_sayac      var byte
sinus_katsayi    var byte
sinus_sure_sayac var byte
Port_IO_Data     var byte
sinus_arasi_ms   var word
Timer1_value     var word
sinus_sure       var byte
sinus_genlik     var byte
ses_verme_arasure var word

Sayac var        byte
B0          var byte
/////////////////////////////////////////////////////////////////
'Alias and Modifiers
TRISA = %11111111
TRISB = %00000000
TRISC = %11010001
TRISD = %00001101
TRISE = %00000111 'PSP mode select Son 3 bit Port E yönüdü

Timer1_input    var portC.0 '1
power_buton_in  var portC.4 '1 power açma kapama butonu
power_control_out var portC.5 '0 power için transistör açar kapatır
sinus_yon_sec   var portD.1 '0 sol kulak sag kulak seçimi
sag_buton_in    var portD.2 '1 ekran altındaki sag buton
sol_buton_in    var portD.3 '1 ekran altındaki sol buton
Ekran_LED      var portD.4 '0 LED

'Symbols
/////////////////////////////////////////////////////////////////
symbol SCL = PORTC.3 ' I2C clock pin
symbol SDA = PORTD.0 ' I2C data pin

'Special Function Registers
/////////////////////////////////////////////////////////////////
T1CON = %00000110 'timer 1 enabled, internal osc clock selected, prescale=0
INTCON = %00000000
/////////////////////////////////////////////////////////////////
Initial_Values_label:
Ekran_LED = 0
clear
sinus_arasi_ms = 1200
sinus_sure = 15 '10 = 1.0 saniye ses verir
PIR1.0 = 0 'TMR1IF Int flag set to zero
gosub Acilis_ekrani
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```



```

PROGRAM:
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
for uygulama_sayac = 0 to 9
  LOOKUP uygulama_sayac,[1,1,1,1,1,0,0,0,0],sinus_yon_sec ' sağ sol kulaklık seşimidir
  LOOKUP uygulama_sayac,[1,2,3,5,10,1,2,3,5,10],sinus_katsayi ' 500 Hz in katlarını belirler
  LOOKUP uygulama_sayac,[12,12,12,12,12,12,12,12,12,12],sinus_genlik ' ses şiddetini ayarlama içindir

pause 1000
LCDOUT $FE, satir1_2, "Duyuyor musun?"
lcdout $fe, satir2_14, "Hz"

select case sinus_katsayi
  case 1
    lcdout $fe, satir2_9, " 500"
  case 2
    lcdout $fe, satir2_9, "1000"
  case 3
    lcdout $fe, satir2_9, "1500"
  case 5
    lcdout $fe, satir2_9, "2500"
  case 10
    lcdout $fe, satir2_9, "5000"
  case else
    lcdout $fe, 1
end select
select case sinus_yon_sec
  case 0
    lcdout $fe, satir2_2, "Sag ", sag_kulak," "
  case 1
    lcdout $fe, satir2_2, sol_kulak, " Sol", " "
end select
gosub Sinus_genlik_ayarla
gosub sinus_sure_ayarla
  sinus_sayac = 193 'sinyal olarak sıfırdan başlatır. ıkış sıfırdadır
Ekran_LED = 1
  gosub sinus_uret
Ekran_LED = 0
  LCDOUT $FE, satir1_2, " "
  LCDOUT $FE, satir2_9, " "
  pause sinus_arasi_ms
  if power_buton_in = 0 then goto bitirme_ekrani
next uygulama_sayac
gosub bitirme_ekrani
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
Sub_Routines:
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
Bitirme_ekrani:
  arasayac1 = 0
  Ekran_LED = 1
  LCDOUT $FE, 1
  bekleme_sayac = 0
  LCDOUT $FE, satir1_2, "Tekrar et?" ' Clear display and show text
  lcdout $FE, satir2_2, "Evet"
  lcdout $FE, satir2_11, "Hayir"
  sorgu_tekrar:
  if sol_buton_in = 0 then
    LCDOUT $FE, 1
    pause 100
    pause 600
    goto Initial_Values_label
  endif
  if sag_buton_in = 0 then
    power_control_out = 0
  end
endif

```

```

bekleme_sayac = bekleme_sayac +1
pause 1
if bekleme_sayac = 5000 then ekran_LED = 0
if bekleme_sayac = 15000 then
    power_control_out = 0
    end
    endif
goto sorgu_tekrar
end
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
Acilis_ekrani:
    power_control_out = 1
    LCDOUT $FE, 1
    pause 100 'LCD start up time
    LCDOUT $FE, 1
    gosub Load_LCD_special_characters
    Ekran_LED = 1
    LCDOUT $FE, satir1_2, "Odiyometre v01" ' Clear display and show text
    lcdout $FE, satir2_2, "Murat Pehlivan"
    pause 1500
    Ekran_LED = 0
    LCDOUT $FE, 1
    pause 1000
    Ekran_LED = 1
    tekrar_sor:
LCDOUT $FE, satir1_2, "Hazir misiniz?"
lcdout $FE, satir2_2, "Evet"
lcdout $FE, satir2_11, "Hayir"
    if sol_buton_in = 0 then
        LCDOUT $FE, 1
        goto Program
    endif
    if sag_buton_in = 0 then
        power_control_out = 0
    endif
    bekleme_sayac = bekleme_sayac +1
    pause 1
    if bekleme_sayac = 10000 then ekran_LED = 0
    if bekleme_sayac = 20000 then
        power_control_out = 0
        end
        endif
goto tekrar_sor
return
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
sinus_sure_ayarla:
'sinus_katsayi 1 ise 500 Hz ve katları katlarını belirler
'sinus_sure = 10 ' 1.0 saniye ses verir
TICON.0 = 0 'Timer1 OFF
Timer1_value = 65535 - (sinus_katsayi * 50 * sinus_sure) '500 Hz
TMR1H = Timer1_value.highbyte
TMR1L = Timer1_value.lowbyte
TICON.0 = 1 'Timer1 ON
return
'//////////////////////////////////////////////////////////////////
sinus_uret: 'döngü 500,8 Hz dir
'193. sayı sinüse sıfırdan başlar
'A-A" yaklaşık 5.8 mikrosaniye
sinus_sayac = sinus_sayac + sinus_katsayi 'frekans çarpandır
LOOKUP sinus_sayac,
[127,130,133,136,139,142,145,148,151,154,157,160,163,166,169,172,175,178,181,184,186,189,192,194,197,20
0,202,205,207,209,212,214,216,218,221,223,225,227,228,230,232,234,235,237,238,240,241,243,244,245,246,2
47,248,249,250,250,251,252,252,253,253,253,253,253,253,253,253,253,252,252,251,250,250,249,248,
247,246,245,244,243,241,240,239,237,236,234,232,230,229,227,225,223,221,219,216,214,212,210,207,205,20
2,200,197,195,192,189,187,184,181,178,175,172,169,167,164,161,158,155,151,148,145,142,139,136,133,130,1

```

```

27,124,120,117,114,111,108,105,102,99,96,93,90,87,84,81,78,75,72,70,67,64,61,59,56,54,51,49,46,44,41,39,37
,35,33,31,28,27,25,23,21,19,18,16,15,13,12,11,9,8,7,6,5,4,3,3,2,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,2,3,3,4,5,6,7,8,9,10,
12,13,14,16,17,19,21,22,24,26,28,30,32,34,36,39,41,43,46,48,51,53,56,58,61,64,66,69,72,75,78,80,83,86,89,92,
95,98,101,104,107,111,114,117,120,123],Port_IO_Data
portB = Port_IO_Data
'A"
asm
NOP 'döngü kalibrasyonu için gecikme
endasm
if PIR1.0 = 1 then goto sinus_cikisi 'Timer1 0 TMR1IF bit
goto sinus_uret
return
'////////////////////////////////////
sinus_cikisi:
if sinus_sayac = 193 then 'çıkış sıfır oluncaya kadar döngüye devam et
portB = 0 'port B OFF
PIR1.0 = 0 'reset Timer1 0 TMR1IF bit
' sinus_sayac = 193 'sinyal olarak sıfırdan başlatır. Çıkış sıfırdadır
return
else
goto sinus_uret
endif
return
'////////////////////////////////////
Sinus_genlik_ayarla:
HPWM 1,sinus_genlik,30000
return
'////////////////////////////////////
kulaklik_direnc:
sinus_yon_sec = 1
sinus_genlik = 255 : gosub Sinus_genlik_ayarla
sinus_sayac = sinus_sayac + 1 'frekans çarpanıdır
portB = sinus_sayac
lcdout $fe, satir1_5, dec3 sinus_sayac
pause 250
goto kulaklik_direnc
return
'////////////////////////////////////
Load_LCD_special_characters:
' clearwdt
'adres 0 = ok yukarı
lcdout $fe, $40
lcdout %00000100
lcdout %00001110
lcdout %00010101
lcdout %00000100
lcdout %00000100
lcdout %00000100
lcdout %00000100
lcdout %00011100
lcdout %00000000
'adres 1 = ok aşağıya
lcdout $fe, $48
lcdout %00011100
lcdout %00000100
lcdout %00000100
lcdout %00000100
lcdout %00010101
lcdout %00001110
lcdout %00000100
lcdout %00000000
'adres 2 = ok sağa uyarı var
lcdout $fe, $50
lcdout %00000100
lcdout %00000010
lcdout %00011111
lcdout %00010010

```

```
lcdout %00010100
lcdout %00010000
lcdout %00010000
lcdout %00000000
'adres 3 = ok sağa uyarı yok
  lcdout $fe, $58
  lcdout %00010000
  lcdout %00010000
  lcdout %00010100
  lcdout %00010010
  lcdout %00011111
  lcdout %00000010
  lcdout %00000100
  lcdout %00000000
'adres 4 = ok aşağıya
  lcdout $fe, $60
  lcdout %00000100
  lcdout %00000100
  lcdout %00000100
  lcdout %00000100
  lcdout %00010101
  lcdout %00001110
  lcdout %00000100
  lcdout %00000000
'adres 5 = sağ kulak şekli
'  sag_kulak con 5
  lcdout $fe, $68
  lcdout %00001100
  lcdout %00010010
  lcdout %00010001
  lcdout %00000101
  lcdout %00001101
  lcdout %00000101
  lcdout %00000010
  lcdout %00001100
'adres 6 = sol kulak şekli
'  sol_kulak con 6
  lcdout $fe, $70
  lcdout %00000110
  lcdout %00001001
  lcdout %00010001
  lcdout %00010100
  lcdout %00010110
  lcdout %00010100
  lcdout %00001000
  lcdout %00000110
'adres 7 =
'  yumuşak_g con 7
  lcdout $fe, $78
  lcdout %00011100
  lcdout %00010100
  lcdout %00011100
  lcdout %00000000
  lcdout %00010000
  lcdout %00010100
  lcdout %00011000
  lcdout %00010100
return
'////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////'
```

9. TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında değerli önerileri ile destek olan ve emeği geçen danıőmanım Prof. Dr. Fatih ÖĞÜT ve tüm Ege Üniversitesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı öğretim üye ve çalıőanlarına, her zaman bana motivasyon kaynağı olan ve desteğini esirgemeyen anne ve babama teşekkür ederim.

İzmir, 22.08.2019

Murat PEHLİVAN



10. Özgeçmiş

14 Nisan 1968 yılında İzmir, Kınık'ta doğdu. İlkokul öğrenimini 1974-1979 yılları arasında Bornova Yavuz Selim İlkokulu'nda, 1979-1986 yılları arasında ortaokul ve lise öğrenimini İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1986 yılında Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi (İzmir) girdi ve 1992 yılında tıp doktoru olarak mezun oldu. Aynı yıl Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı'na biyofizik alanında doktora çalışmalarına başladı ve Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak kabul edildi. 1998 yılında doktorasını tamamlayan Dr. Pehlivan 1999–2008 yılları arasında aynı kurumda yardımcı doçent, 2008–2015 yılları arasında doçent olarak görev yaptı. Kendisi 2010 yılından itibaren aynı bölümde anabilim dalı başkanı ve 2015 yılından itibaren de profesör unvanlı olarak görev yapmaktadır. Tıpta tanı ve tedavi yöntemleri, biyofizik ve biyomedikal fizik konularında çalışmaktadır. İyi derecede İngilizce bilen Dr. Pehlivan üç çocuk babasıdır.

Elektronik posta adresi: murat.pehlivan@ege.edu.tr, murat.pehlivan68@gail.com