

## Ortam Gürültü Seviyesi Uyarlamalı ve Mikro Denetleyici Destekli Saf Ton Odyometre Gerçekleştirilmesi

Mehmet Cem ÇATALBAŞ<sup>1\*</sup>, Hasan GÜLER<sup>1</sup>, Arif GÜLTEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ

\*mcmccatalbas@gmail.com

(Geliş/Received: 12.05.2016; Kabul/Accepted: 06.06.2016)

### Özet

Bu çalışmada ortam gürültü seviyesine bağlı olarak ürettiği saf ses sinyalinin genliğini ayarlayan bir odyometre tasarlanmıştır. Ortamın gürültü seviyesi mikrodenetleyici tabanlı bir desibelmetre yardımı ile belirlenmiştir. Odyometrenin gerçekleştirilmesi sürecinde, başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle klinik çalışmalarda sıkça kullanılan Hughson-Westlake yöntemi tercih edilmiştir. Odyometrenin tasarım süreci ikili tabanda tanımlanmıştır. Ayrıca genliği ayarlanabilir beyaz gürültü yardımı ile test esnasında aktif ses kanalından pasif ses kanalına olan girişimin engellenmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak, lisans ve lisansüstü biyomedikal eğitimini destekleyecek ve klinik çalışmalar ile benzerlik gösteren bir eğitim yazılımı gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyomedikal Cihaz Tasarımı, Odyometre, LabVIEW, Medikal Sinyal İşleme, Ses Sinyali İşleme, Mikrokontrolör Desibel Metre.

## Implementation of Pure Tone Audiometer based on Environment Noise Level and supported by Microcontroller

### Abstract

In this paper, we design an audiometer based on noise level of environment by changing amplitude of pure tone signal. These noise level is determined by a decibelmeter based on microcontroller. The modified Hughson-Westlake method which has commonly been used for clinical works due to giving successful results is preferred for audiometer implementation process. The audiometer design is realized in binary. Besides, a white noise is added to audiometer system for minimizing effect of interference from active sound channel to passive sound channel in test process. As a result, a training software which is similar to clinical studies is realized to support biomedical education for graduate and post graduate.

**Keywords:** Biomedical Device Design, Audiometer, LabVIEW, Medical Signal Processing, Sound Signal Processing, Micro Controller Decibel Meter

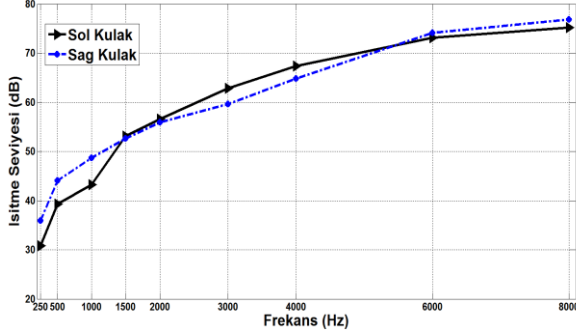
### 1.Giriş

Duyuma yeteneği yıllara bağlı olarak hassasiyetini kaybedebilmektedir. Bunun nedenleri arasında yüksek sesli yayınlara uzun süreli maruz kalmak, bakterilerden kaynaklanan etkiler ve yaşlılık gibi nedenler gelmektedir. Odyometre sistemleri belirli frekans ve genlik değerlerine ilişkin işitme kaybının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kaybedilen bu oranın belirli frekans aralıklarıyla tespit edilmesi testi, odyometre testi olarak adlandırılmaktadır.

Sağlıklı bir insanın frekans bazında işitme aralığı 16 Hz ve 20 kHz şeklindedir. Bir insanın 16 Hz altındaki bir ses sinyalini işitebilmesi çok nadir bir olaydır buna mukabil 20 kHz ve

üstündeki bir ses sinyalini asla işitememektedir. Bu aralık sağlıklı bir insanın işitme aralığı olarak karşımıza çıkmaktadır [1]. Bazı özel çalışmalar ve klinik uygulamalar da bu aralığın dışına çıkılabilmektedir. Ama bireylerin işitme kalitesini test etmek amacıyla oluşturulan odyometre sistemleri genel olarak 0 dB ve 80 dB aralığında ve 250 Hz ile 8000 Hz arasında çalışmaktadır. Odyometre testinin başarı ile gerçekleştirilmesi için dış ortam seslerinden izole edilmiş çok sessiz bir ortama ihtiyaç vardır. Odyometre test süreci 250 Hz olan en düşük frekans değerinden başlar ve 8000 Hz olan en yüksek frekans değerine kadar gider. Ses sinyalinin genlik değeri ise 5 veya 10 dB adım aralıkları ile artırılarak işitilen en son değer

belirlene kadar artırılır. Bu süreç sonucunda Şekil 1'de gösterilen odyogram olarak adlandırılan çıktı elde edilir.



Şekil 1. Odyogram

Literatür çalışmalarında sıklıkla kullanılması, arayüz oluşturulması sürecinin kullanıcı dostu olması ve medikal çalışmalarda sıklıkla kullanılması [2-3] nedeniyle bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek olan yazılım tabanlı odyometre tasarımı için LabVIEW yazılımı tercih edilmiştir. Odyometre tasarımına ilişkin literatür çalışmaları irdelendiği zaman Tan ve arkadaşları tarafında saf ton ve konuşma sinyali üzerinden gerçekleştirilen bir odyometre prototipi bulunmaktadır [4]. Vencovsky ve arkadaşları tarafından saf ton bir odyometre tasarımı karşımıza çıkmaktadır ve bu çalışmada bizim çalışmamızdan farklı olarak test aşamasında pasif ses kanalına, aktif ses kanalına olacak girişimi engelleyecek bir beyaz gürültü yapısı bulunmamaktadır [5]. Voon ve arkadaşları ise işitme kaybını belirleyen bir odyometre sistemi için LabVIEW tabanlı kalibrasyon arayüzü gerçekleştirmişlerdir [6]. Bu çalışmada, LabVIEW yazılımı tabanlı bir grafik kullanıcı arayüzü oluşturularak odyometre test sistemi gerçekleştirilmiştir [7]. Test sürecinde, pasif kalanın aktif kanala uygulan ses sinyaline bağlı olarak herhangi bir istenmeyen girişime maruz kalmaması için pasif kanal için genliği değiştirilebilir bir beyaz gürültü yapısı oluşturulmuştur. İlgili arayüz ile oluşturulan ses sinyali, literatür çalışmalarına paralel olarak genlik ve frekans değeri 0-80 dB arasında ve 250 Hz ile 8000 Hz arasında değişmektedir [8]. Bunlara ek olarak test sonuçları kullanıcı arayüzünde gerçek zamanlı görülebilmektedir. Yazılım tabanlı bir odyometre tasarımının gerçekleştirilmesi süreci birçok adım

içermektedir. Bu adımların başarı ile icra edilmesi için tüm olası durumlar ikili tabanda oluşturulmuştur.

## 2. Yazılım Tabanlı Odyometre Tasarımı

İlk aşamada kullanıcı dostu bir arayüz oluşturulması gerekmektedir. Kullanıcı oluşturduğu saf ton ses sinyalinin genliğini kaydırıcı (slider) yapısı ile ayarlayabilmektedir. Ayrıca ses sinyalinin ne kadar süre ile kullanıcıya uygulanacağı ayarlanabilmektedir. Bu süre 0-2 saniye arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan, yazılım tabanlı saf ses sinyalinin örnekleme frekansı 44100 Hz şeklindedir. Odyometre test süreci uygulama için belirlenen başlangıç frekans değeri klinik çalışmalarda belirtildiği 250 Hz ve genlik seviyesinin başlangıç değeri 50 dB olarak alınmıştır. Test süreci belirli bir frekans değerinden, genlik değerinin 5 dB aralıklarla azaltılması şeklinde gerçekleştirilmektedir [9]. Test sürecinde genliği azaltılan ses sinyaline bağlı olarak kişi duyduğuna ilişkin bilgiyi bir düğme tarafından sisteme aktarmaktadır. Kullanıcının işitebildiği son genlik değeri, ilgili frekans değeri için geçerli duyma eşliğini içermektedir. Bu çalışmada klinik çalışmalarda sıklıkla tercih edilen düzenlenmiş Hughson-Westlake yöntemi tercih edilmiştir [10]. Odyometre test sürecinin gerçekleştirilmesi için birkaç yöntem bulunmaktadır. Bazı uzmanlar frekans başlangıç değerinin 1000 Hz olması gerektiğini ve 5 dB aralıklar ile ölçüm alınması gerektiğini söylemektedirler. Düzenlenmiş Hughson-Westlake yöntemi ise 60 dB ve 1000 Hz değerleri ile teste başlamayı önermektedir. Fakat günümüzde odyometre alanında çalışan bazı uzmanlar 60 dB başlangıç değerinin, sağlıklı insanlar için rahatsız edici olduğunu ve daha düşük genlik değerlerinden odyometre testine başlanması gerektiğini söylemektedir. Bu nedenden dolayı ilgili çalışmada genlik başlangıç değeri 30 dB olarak belirlenmiştir. Ayrıca, gerçekleştirdiğimiz test sistemi için başlangıç frekans değeri 250 Hz olarak belirlenmiştir.

## 3. LabVIEW ve Biyomedikal Uygulamalar

LabVIEW, National Instruments firması tarafından arayüz veya sistem oluşturmaya

yarayan görsel bir programlama dilidir. [11]. LabVIEW genellikle veri elde edilmesi, veri analizi, sinyal işleme, endüstriyel otomasyon, cihaz kontrolü gibi vb. alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. LabVIEW, iki adet arayüz kullanılmaktadır. Bu ara yüzler; ön panel ve blok diyagramıdır. Ön panel kullanıcı ile alakalıdır ve süreç için gerekli giriş bilgilerinin sisteme verilmesini veya değişkenlerin gözlemlenmesini sağlar. Ön panel sayesinde sistemdeki değişimler anlık olarak gözlemlenebilir. Bu çalışmada ise oluşturulan ses sinyalinin genlik ve frekans değerleri, test süresi, ses kanalının seçimi ve duyma kontrol butonu gibi bilgiler ön panel yardımı ile sisteme verilmektedir. Blok diyagramı ise alınan bu bilgilerin değiştirilmesine imkan sağlamaktadır.

#### 4. Yazılım Tabanlı Odyometre Tasarımı

##### 4.1. Odyometre durumlarının belirlenmesi

Çalışmanın bu aşamasında odyometre tasarımının ikili kodlar ile durum tabanlı anlatılması ve açıklanması uygun görülmüştür. İlk aşamada kullanıcı, kanallara uygulanacak ses sinyalinin süresini belirlemektedir. Sonraki aşamada kullanıcı tarafından test edilecek ses kanalı belirlenecektir. Bu seçimlerden sonra pasif ses kanalına beyaz gürültü eklenmesine ilişkin bir seçenek bulunmaktadır.

**Tablo 1.** Odyometre Durum Tablosu

Durumlar	Sol	Sağ	Maskleme	Sonuç (Çıkış)
0 (000)	0	0	0	Ses yok
1 (001)	0	0	1	Sol ve Sağ Kanal Maskeleniyor.
2 (010)	0	1	0	Sağ kanal Aktif
3 (011)	0	1	1	Sağ kanal Aktif, Sol kanal Maskeleniyor
4 (100)	1	0	0	Sol kanal Aktif
5 (101)	1	0	1	Sol kanal Aktif, Sağ kanal Maskeleniyor
6 (110)	1	1	0	Sol ve Sağ Kanal Aktif.
7 (111)	1	1	1	Sol ve Sağ Kanal Maskeleniyor.

Kullanıcı pasif ses kanalına beyaz gürültü ekleyecek ise bunun genliğini de belirleyebilmektedir [12]. Bu seçimlerden sonra test süreci başlamakta ve belirlenen kanal ile kullanıcının duyma bilgisi üzerinden odyogram sonuçları elde edilerek grafik kullanıcı arayüzünde oluşturulmaktadır. Bu çalışmada 3 bit kodlama üzerinden 8 farklı durum modellenmiştir. Bu durumlar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1’de gösterilen durumlar incelendiğinde 0, 6 ve 7’nci durumların anlamlı olmadığı gözlemlenmektedir. Aynı anda iki ses kanalını maskelemek veya saf ton ses vermek odyometre testi açısından karşılığı olan bir işlem değildir. Geri besleme düğümü ile kullanıcı tarafından duyulan ses belirlenerek kaydedilir ve bir üst frekans değerine geçilir [13]. Bu sayede dinamik olarak kullanıcı için belirli frekans ve genlik değerleri için odyogram oluşturulmuş olur. Odyogram sonucu LabVIEW ön panelinde ses kanallarına bağlı olarak görülebilmektedir.

##### 4.2. Uyarlamalı odyometre kalibrasyonu

Ses sinyalinin genel tanımı zamana bağlı olarak değişen basınç şeklindedir. Paskal ( $P_a$ ), ses basıncının birimidir. Ses seviyesi ( $L_p$ ) ise SBS (ses basınç seviyesi) ile temsil edilmektedir. Bu terim akustik biliminin en temel terimidir. Bu terimin hesaplaması Eşitlik 1’de gösterilmektedir.  $P_{ref}$ , referans ses basıncını,  $P_{rms}$  ise ölçülen ses basıncının karekök ortalama değerini temsil etmektedir [14].

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right) \quad (1)$$

Odyometre test süreci oldukça sessiz bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Bu çalışma kapsamında, testin gerçekleştirileceği ortam için ölçülen ortalama ses seviyesinin farklı frekanslar için değerleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Odyometre testi için ortam ses seviyesi şiddetlerinin her bir frekans değeri için belirli bir değer altında olması gerekmektedir [15].

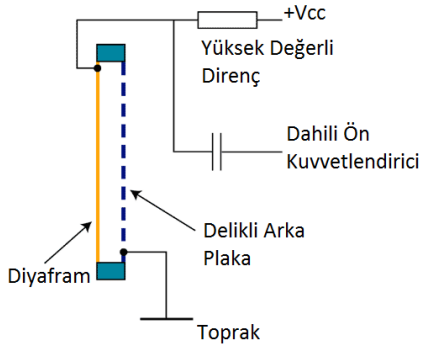
Odyometre cihazlarında test için belirlenen sesin genliği ile cihazın ürettiği ses sinyalinin genliği arasında farklılıklar bulunmaktadır. Test öncesi bu iki genlik seviyesi birbiri ile uyumlu hale getirilmelidir.

Bu çalışmada bu eşleme işlemi mikrokontrolör tabanlı bir desibel metre ile yapılmıştır.

**Tablo 2.** Frekans değerleri için gürültü seviyesi

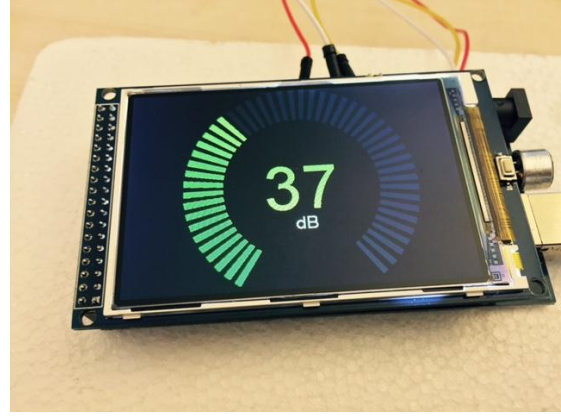
Frekans(Hz)	SBS (dB)
250	34.049
500	36.125
1000	36.894
1500	39.464
2000	41.109
3000	43.033
4000	46.147
6000	46.712
8000	45.036

Mikro kontrolör olarak Arduino Mega 2560 modeli ve ses sinyalinin şiddetinin eş zamanlı olarak gözlemlenebilmesi için HVGA(480x320), 3.2" boyutlarında ince film transistör (TFT) özellikli bir sıvı kristal ekran tercih edilmiştir. Ses sinyalinin genliğini belirlemek için mikro kontrolörün analog girişine bağlı bir kapasitif mikrofon yapısı bağlanmıştır. Bu sayede ortamın gürültü seviyesi belirlenerek, odyometre sistemi ile alakalı ses sinyali genliği eşleşmesi yapılmış olur. Şekil 2'de mikrofona ait gösterim bulunmaktadır.

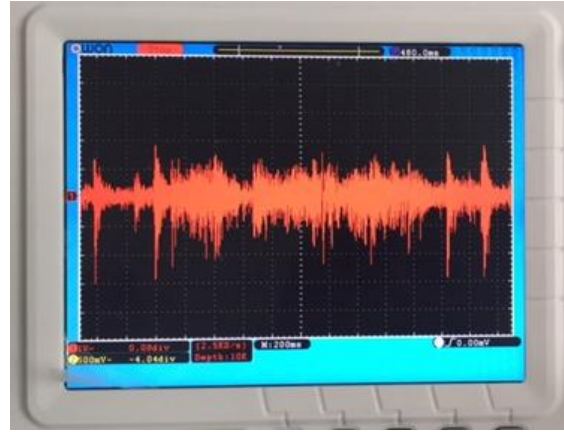


**Şekil 2.** Kapasitif mikrofonun iç yapısı

Çalışma kapsamında odyometre ses sinyalinin genliği ile üretilen saf ton sinyalin genliğinin eşleşmesini sağlayan mikro kontrolör tabanlı sistemin görüntüsü Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 4'de bu devreden elde edilen ses sinyalinin osiloskop çıktısı görülmektedir.



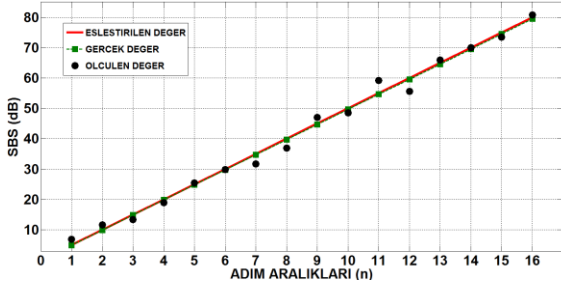
**Şekil 3.** Eşleşme sistemini sağlayan devre



**Şekil 4.** Kapasitif Mikrofonun Osiloskop Çıktısı

Ortamın gürültü seviyesi eşleşme devresi yardımı ile belirlenir ve istenen ses şiddeti ve test sürecinde kulaklıktan elde edilen ses şiddetinin eşitlenmesine çalışılır. Eşleşme sürecinde sistemden 5 dB aralıklar ile ses sinyali üretilir. Üretilen ses sinyali ile eşleşme cihazından elde edilen ses sinyali arasındaki farkı azaltacak şekilde LabVIEW yazılımına ses genliğini istenilen hata seviyesine indirecek katsayılar girilir ve üretilen sesin genliği ile çarpılarak sistem çıkışına verilir. Şekil 5'de 0-80 dB arasındaki kalibrasyon sürecine ilişkin çıktı gösterilmektedir. Kalibrasyon sürecini gerçekleştirmek için ilgili ortam değerlerine bağlı olarak birinci dereceden bir polinom oluşturulmuştur [16]. İlgili polinoma ilişkin katsayılar Eşitlik 2'de gösterilmektedir. Kalibrasyon sürecine ilişkin karesel ortalama hata değeri 0.1138 şeklinde hesaplanmıştır.

$$p(x) = 0.993x + 0.0007 \quad (2)$$



Şekil 5. Kalibrasyon Çıktısı

Tablo 2’de kalibrasyon öncesi ve sonrası mikrokontrolör yapısı ile ölçülen ve sisteme verilen saf ses sinyalinin genliğine ilişkin çıktılar gösterilmektedir.

Tablo 2. Kalibrasyon Sonucu Ses Değerleri

Adım Sayısı (n)	Gerçek Ses Şiddeti değeri (dB)	Ölçülen Ses Şiddeti Değeri (dB)	Kalibrasyon sonucu elde edilen ses şiddeti değeri (dB)
1	5	6.86	4.96
2	10	11.65	9.93
3	15	13.37	14.89
4	20	18.931	19.86
5	25	25.48	24.82
6	30	29.79	29.79
7	35	31.74	34.75
8	40	36.97	39.72
9	45	47.05	44.68
10	50	48.48	49.65
11	55	59.15	54.61
12	60	55.5	59.58
13	65	65.89	64.54
14	70	70.04	69.51
15	75	73.48	74.47
16	80	80.80	79.44

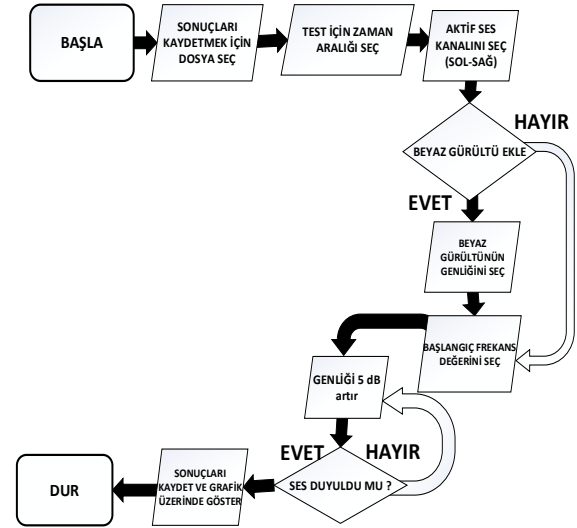
## 5. Odyometre Arayüzünün Oluşturulması ve Test Süreci

Çalışma kapsamında oluşturulan, yazılım tabanlı Odyometre belirtilen içeriklere sahiptir

- Giriş Kılavuzu
- Dosyaların Kaydedilmesi için gerekli kayıt yeri
- Zamanlayıcı değeri (0-2 saniye)

- Ses kanalının seçimi (sol-sağ)
- Aktif olmayan kanala beyaz gürültü eklenmesi ve genliğinin değiştirilmesi
- Sol kanal test ekranı
- Sağ kanal test ekranı
- Seçilen durumun test ekranı
- Sol kanalın test sonucu
- Sağ kanalın test sonucu
- Sol, sağ ve beyaz gürültüyü içeren çıkış sinyalinin gösterimi şeklindedir.

Yazılım tabanlı odyometre tasarımına ilişkin akış şeması Şekil 6’da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Odyometre test sistemine ilişkin akış diyagramı

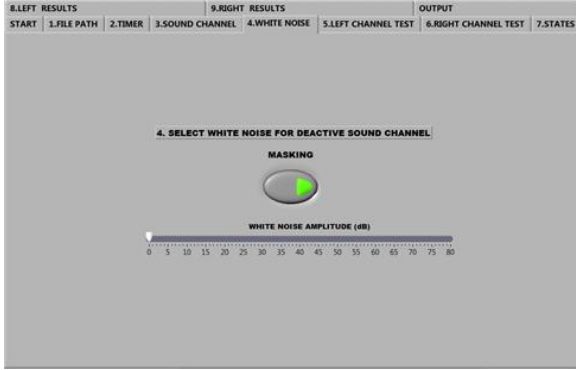
Şekil 7’de odyometre test sisteminin arayüzü gösterilmektedir.



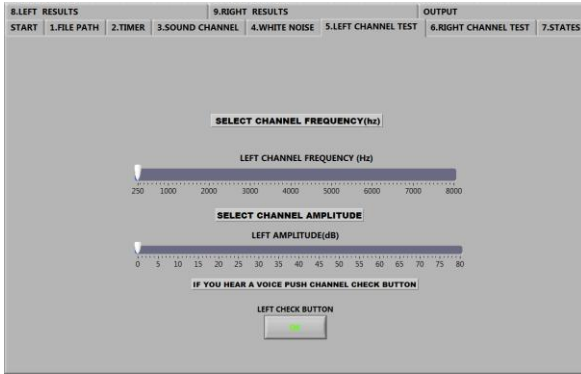
Şekil 7. Odyometre sisteminin arayüzü

Şekil 8 ve Şekil 9’da sırasıyla beyaz gürültü eklenmesi sürecine ilişkin arayüz ve sol ses

kanalının test sürecine ilişkin arayüz gösterilmektedir.



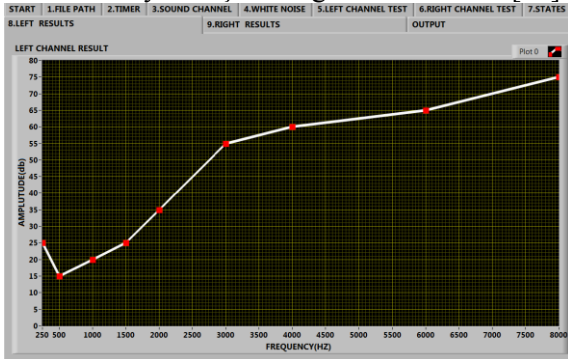
Şekil 8. Odyometre Beyaz Gürültü Arayüzü



Şekil 9. Sol Kanal Test Arayüzü

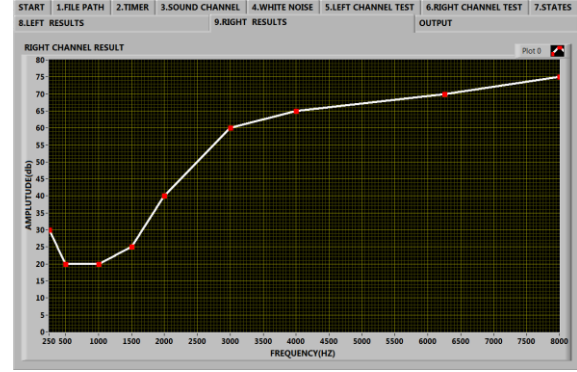
Yazılım tabanlı odyometre test sistemine ilişkili sol kanal ve sağ kanal test sonuçları sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmektedir.

Şekillerde görüldüğü gibi farklı frekans seviyesine göre kullanıcıya ait işitme seviyesi sonucu detaylı bir şekilde gösterilmektedir [13].

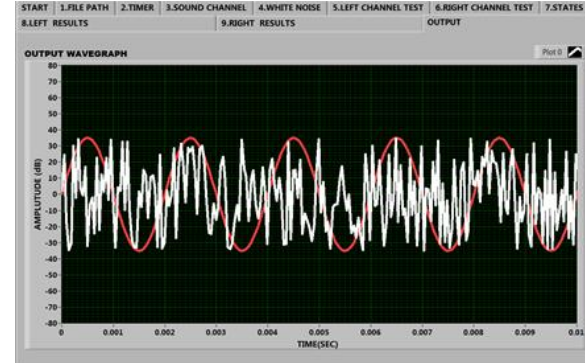


Şekil 10. Sol Kanal Test Sonucu

Şekil 12'de odyometre sisteminin seçilen parametreler ışığında çıkışı gösterilmektedir. Şekilde gösterilen çıktıya göre sağ ses kanalında 30 dB şiddetinde bir beyaz gürültü, sol ses kanalında ise 30 dB şiddetinde ve 500 Hz frekans değerine sahip bir ses sinyali bulunmaktadır.



Şekil 11. Sağ Kanal Test Sonucu



Şekil 12. Odyometre sisteminin çıkış sinyali

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada mikrokontrolör destekli ve LabVIEW yazılım tabanlı bir odyometre test sisteminin gerçekleştirilmesi ve test sonuçlarının irdelenmesi süreci gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde beklenen ses şiddeti ile gerçek ses şiddeti arasındaki farklılıkların belirlenmesini sağlayacak mikrokontrolör tabanlı ses şiddeti ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ses şiddetleri arasındaki farkı en aza indirgeyecek polinom katsayıları belirlenmiştir. İlgili çalışmada birinci dereceden bir polinom ile karesel ortalama hata değeri, 16 adım için 0.1138 genlik seviyesine indirgenmiştir. Test sürecinde

klirik çalışmalarında sıklıkla kullanılan 9 frekans adımı seçilmiştir.

Uygulamanın gerçekleştirilmesi sürecinde odyometre uygulamalarında başarımı nedeniyle sıklıkla kullanılan, düzenlenmiş Hughson-Westlake yöntemi kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, aktif ses kanalından pasif ses kanalına test esnasındaki olası istenmeyen girişimleri engellemek için genliği ayarlanabilir bir beyaz gürültünün pasif ses kanalına uygulanmasını sağlayacak bir yapı oluşturulmuştur.

## 7. Kaynaklar

1. Faycal, Y. and Wahiba, B. and Lotfi, B. and Ratiba, B. and Benia, A, Computer Audiometer for Hearing Testing, "Advances in Electronics and Micro-electronics, 2008. ENICS '08. International Conference on", pages 111-114, 2008.
2. Gasmelseed, A., "New Development Environment for Modern Bioelectromagnetics Signal Processing Applications [Application Notes]," in Microwave Magazine, IEEE , vol.14, no.5, pp.134-152, July-Aug. 2013.
3. Guler H., Ata F., "The Comparison of Manual and LabVIEW-Based Fuzzy Control on Mechanical Ventilation" Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part H-Journal of Engineering in Medicine, Vol. 228, No. 9, 916-925, 2014.
4. Su-Lim Tan, Seng-Kit Loh and Wang-Cheng Chee, Speech-enabled pure tone audiometer, "Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2007. ISPACS 2007. International Symposium on", pages 361-364, 2007.
5. Vencovský, V. – Rund, F.: Pure Tone Audiometer. In 20th Annual Conference Proceeding's Technical Computing Bratislava, 2012.
6. Er Poi Voon, KK Tan, M. Teo, "Using LabVIEW to Design and Develop a Hearing Loss Calibration System", Ni Asean 2011 Case Study Booklet, 2011.
7. Zhao Xian-ling, "The Virtual Instrument Based on Labview and Sound Card," Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2010 International Conference on , pp.743,745, 26-28 Sept. 2010.
8. Rajkumar, S.; Muttan, S.; Pillai, B., "Adaptive expert system for audiologists," Communications and Signal Processing (ICCSP), 2011 International Conference on , pp.305,309, 10-12 Feb., 2011.
9. Carr, Patricia I. Development of an audiological test procedure manual for first year Au. D. students. Diss. University of South Florida, 2001.
10. Franks, J. R. , "Hearing measurement. Occupational Exposure to Noise: Evaluation", Prevention and Control. Geneva: World Health Organisation, 183-231, 2001.
11. Travis, Jeffrey, and Jim Kring. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun (National Instruments Virtual Instrumentation Series). Prentice Hall PTR, 2006.
12. Gandhi, S.V.; Thakker, M.T.; Dalal, C.S., "Low cost microphone sensor based sound detection and analysis system using LabVIEW," Engineering (NUiCONE), 2013 Nirma University International Conference on , pp.1,4, 28-30 Nov. 2013
13. Aiju Chen; Jingjing Liu, "A Kind of Virtual Oscilloscope Used in Experiment Teaching Based on Sound Card and LabVIEW," Education Technology and Training, 2009. ETT '09. Second International Conference on , pp.118,121, 13-14 Dec. 2009.
14. Hansen, Colin H., and C. H. Sehrndt. "Fundamentals of acoustics."Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control. World Health Organization, 2001.
15. Frank T, Williams DL. "Ambient noise levels in industrial audiometric test rooms". Am Ind Hyg Assoc J, 55:433-437. 1994.
16. H.J. Motulsky and A Christopoulos, Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression."A practical guide to curve fitting", 2003.