

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
MÜZİK TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI
Yüksek Lisans Tezi

**AKUSTİK VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN
İRDELENMESİ - MEVCUTLARA ALTERNATİF TAŞINABİLİR VE ÇOK
NOKTADA ÖLÇÜM YAPABİLEN BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ**

Hazırlayan
Kıvanç Kurtyener

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Serhat DURMAZ

İZMİR / 2019

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Akustik ve Çevresel Ölçüm Sistemlerinin İrdelenmesi – Mevcutlara Alternatif Taşınabilir ve Çok Noktada Ölçüm Yapabilen Bir Modelin Geliştirilmesi” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

... / ... / ...

Kıvanç Kurtyener

TUTANAK

Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü' nün / / Tarih ve sayılı toplantısında oluşturulan jüri, Lisanüstü Öğretim Yönetmeliği' nin maddesine göre Müzik Teknolojisi Bilim Dalı öğrencisi Kıvanç Kurtyener'in Akustik Gürültü ve Ölçüm Sistemlerinin İrdelenmesi Mevcutlara Alternatif Taşınabilir ve Çok Noktada Ölçüm Yapabilen Bir Modelin Geliştirilmesi konulu tezi incelenmiş ve aday / / tarihinde, saat 'da jüri önünde tez savunmasına alınmıştır. Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini savunmasından sonra dakikalık süre içinde gerek tez konusu, gerekse tezin dayanağı olan anabilim dallarından jüri üyelerine sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin olduğuna oy ile karar verilmiştir.

BAŞKAN**ÜYE****ÜYE**

ÖZET

Akustik ve çevresel gürültü ölçümleri, mimari akustik çalışmalarda ve tasarımlarda belirleyici bir teknik etken olarak kabul edilmektedir. Aynı zamanda çevresel gürültünün yol açtığı insan sağlığı ve psikolojisine olumsuz etkenleri önlemede gürültü ölçümü yapılması ana belirleyici olarak kabul edilmektedir. Akustik ve çevresel gürültü, mimari akustik çalışmalarda, eğlence yerlerinden kaynaklanan vb. çevresel gürültülerin ölçülmesinde kullanılan ölçüm teknikleri mobilite, ölçümün çok noktalı hale getirilirken standart koşulların korunabilmesi ve sürdürülebilmesi için mevcut şartların değiştirilmeden sürekliliğinin sağlanması konusunda gelişimlere açık yapıdadır. Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi'nce desteklenen ve öğretim üyesi Dr. Serhat Durmaz tarafından yürütülen 2018.KB.FEN.014 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamındaki veriler ışığında hazırlanmış, gerçek zamanlı ve çok noktalı mobil ölçüm modellemesinin gerçekleştirilebilmesi için, mevcut gürültü ölçümleme sistemleri incelenmiştir. Mevcut gürültü ölçümleme sistemlerine alternatif bir ölçümleme modellemesinin geliştirilebilmesi için yazılım tabanlı bir çalışma yapılmış, mevcut ölçüm sistemlerine alternatif çok noktalı ve mobil bir ölçüm sistemi modellemesi oluşturulması amaçlanmıştır.

ABSTRACT

Acoustical and environmental noise measurements are considered as a determining factor in architectural acoustic studies and designs. At the same time, noise measurement is considered as the main determinant to prevent negative effects on human health and psychology caused by environmental noise. The measurement techniques of acoustical and environmental noise are open to improvements about multi channel measuring mobile systems with confirming the international sound level measurement standarts. Furthermore, It is also open to development in measurement techniques for architectural acoustic studies and for the prevention of noise from entertainment venues. Also, In this article, manufactured noise measurement systems are analyzed to perform real time and multifunctional mobile measurement modeling which manufactured in international sound measurement standarts. As a result of these studies, it is aimed to develop an alternative multi channel mobile sound level meter modeling to manufactured noise metering systems.

ÖNSÖZ

Akustik ve çevresel gürültü ölçüm sistemlerinin irdelenmesi ve mevcutlara alternatif bir modelin geliştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmanın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren ve araştırmaya bakış açımı genişleten, farklı prensiplerde almış olduğum lisans eğitimimin müzik teknolojileri ile uyumlu şekilde kullanılması ve geliştirilmesi konularında destek veren ve 2018.KB.FEN.014 nolu Bilimsel Araştırma Projesi'nde konu ile ilgili çalışmama olanak tanıyan sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Serhat DURMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimlerini, tecrübelerini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili hocalarım Prof. Dr. Cihan IŞIKHAN'a, Prof. Dr. Feridun ÖZİŞ'e, Öğr. Gör. Alp VAROL'a sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın gerçekleştirilmesinde bilgi birikimi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Serdar ÇETİN'e teşekkür ederim. Çalışmamın birçok aşamasında yardımlarını esirgemeyen Bengü Karakçı'ya teşekkürlerimi sunarım. Beni vizyonuylay, hayata bakış açısıyla yetiştirdikleri için, her konuda maddi ve manevi tüm desteklerinden dolayı sevgili aileme teşekkür ve minnetimi özellikle belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

YEMİN METNİ	ii
TUTANAK	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
KISALTMA LİSTESİ.....	xii

GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM:.....	4
SES, GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI VE ETKİLERİ.....	5
1.1. Ses ve Gürültü.....	5
1.2. Gürültü Kaynakları.....	9
1.3. Gürültü Kaynakları, Seviyeleri ve İnsan Sağlığına Etkileri.....	10
2. BÖLÜM:.....	13
AKUSTİK GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ.....	14
2.1. Akustik Gürültü ve Türleri.....	14
2.2. Akustik Gürültü Ölçüm Parametreleri.....	15
2.2.1. Kaynak Çevresinde Yapılan Ölçüm.....	15
2.2.2. Hemisferik Ölçümler.....	15
2.2.3. Kaynağın Rotasyonu.....	16
2.2.4. Akustik Kuvvet Seviyesinin Hesaplanması.....	16
2.2.5. Yönelim Faktörünün Hesaplanması.....	16
3. BÖLÜM:.....	17
ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ.....	18
3.1. Çevresel Gürültü ve Türleri	18

3.1.1. Frekans Spektrumu Açısından Gürültü Türleri.....	19
3.1.2. Zamana Bağlı Gürültü Türleri.....	19
3.2. Çevresel Gürültü Ölçüm Parametreleri.....	20
3.2.1. Ses ve Ses Gücü Seviyesi.....	21
3.2.2. Desibel Kavramı (dB).....	21
3.2.3. Maksimum ve Minimum Gürültü Seviyeleri.....	22
3.2.4. Oktav Bantları ve Gürültünün Frekans Dağılımları.....	23
3.2.5. Frekans Ağırlıklama ve Filtreleme.....	24
3.2.5.1. A Ağırlıklandırma.....	25
3.2.5.2. C Ağırlıklandırma.....	25
3.2.5.3. Z Ağırlıklandırma.....	26
3.2.6. Zaman Ağırlıklandırma.....	28
3.2.7. Ses Sinyalinin Örneklenmesi.....	29
3.2.8. Eşdeğer Sürekli A Ağırlıklı Gürültü Seviyesi (LAeq).....	31
4. BÖLÜM:.....	32
AKUSTİK VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE	
PROSEDÜRLERİ.....	33
4.1.Gürültü Ölçüm Sistemleri.....	33
4.2.Gürültü Ölçüm Parametreleri.....	33
4.2.1. Ölçüm Noktaları	33
4.2.2. Kaynak Gürültünün Ölçümü.....	34
4.2.3. Arkaplan (Background) Gürültüsünün Ölçümü.....	35
4.3.Gürültü Ölçümünde Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler	36
4.3.1. Dış Kaynaklı Gürültüler.....	36
4.3.2. Meteorolojik Koşullar.....	37
4.3.3. Mevcut Gürültü Kaynağının Durumu.....	38
4.4.Mevcut Çok Noktalı Mobil Ölçüm Cihazlarının İncelenmesi.....	39
5. BÖLÜM:.....	42
ÇOK NOKTALI VE MOBİL ÖLÇÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ.....	43
5.1. Sistem Kapasitesi ve Modelleme Yöntemi	43
5.2. Yazılımın Mimarisi	46

5.2.1.ADC Yazılım Paketi (AnalogToDigital Converter)	47
5.2.2. FFT Yazılım Paketi (Fast Fourier Transform).....	49
5.2.3. Hesaplama Yazılım Paketi	50
5.2.4. Ana (Kontrol) Yazılım Paketi	51
5.2.5. Seri Haberleşme Protokolü ve Veri Depolama.....	51
5.3. Ölçüm Sinyal Gönderimi ve Test Edilmesi.....	53
SONUÇ.....	61
KAYNAKÇA.....	63
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	

EK 1: Mobil Ölçüm Modeli Yazılım Paketleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1- A, C ve Z Ağırlıklandırma Eğrileri Gösterimi.....	24
Şekil 2- Model Devre Prensip Şeması.....	45
Şekil 3- Yazılım Akış Şeması.....	47
Şekil 4- Ses Örneklemesinde Zaman Kavramının Gösterimi.....	48
Şekil 5- Radix-4 FFT İşlem Yapısı.....	50
Şekil 6- ARDUINO UNO R3 Geliştirme Kartı Üzerinden, Sinyal Jeneratörü ile Sinyal Gönderilmesi ve Osiloskop ile Sinyal Ölçüm İşleminin Bağlantı Detayları	53
Şekil 7- Modele Ait Sabit Genlikte 63 Hz – 8 KHz Frekans Aralığında 1/3 Oktav Bant Değerlerinde Ölçüm Sonuç Grafiği.....	54
Şekil 8- 250 Hz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	55
Şekil 9- 500 Hz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	56
Şekil 10- 1 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	57
Şekil 11- 2 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	58
Şekil 12- 4 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	59
Şekil 13- 8 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik.....	60

TABLO LİSTESİ

Tablo 1- Gürültü Düzeyleri ve Oluşturduğu Olumsuz Etkiler.....	11
Tablo 2- Gürültü Seviyesindeki Değişimin Toplum Tarafından Algılanması ve Gürültünün Etkisi.....	11
Tablo 3- Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Gürültü Ve Maruz Kalan Nüfus Oranı İlişkisi.....	12
Tablo 4- Ses Basıncı, Ses Şiddeti ve Ses Gücü Bağlılıkları.....	22
Tablo 5- 1/1 ve 1/3 Oktav Bant Eşitlikleri.....	23
Tablo 6- Frekansa Göre Ağırlık Katsayıları.....	27
Tablo 7 Arkaplan Gürültüsüne Bağlı Düzeltme Faktörleri.....	37

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog to Digital Converter
dB	Desibel
FFT	Fast Fourier Transform
Hz	Hertz
ILO	International Labour Organization
LE	Ses Pozlama Seviyesi
Leg	Eşdeğer Sürekli Gürültü Seviyesi
Pa	Pascal
SEL	Ses Etkilenim Seviyesi
SPL	Ses Basınç Seviyesi
T	Ardaşık iki Sıkışma Arasındaki Zaman
v	Titreşim
IEC	The International Electrotechnical Commission
V	Volt
RMS	Root Mean Square
LCD	Liquid Crystal Display

GİRİŞ

Günümüzde ses seviyesi ölçümünde çoğunlukla tek noktadan ölçüm alan cihazlar kullanılmaktadır. Çok noktadan eş zamanlı ölçüm alabilen cihazlar da mevcut olmakla birlikte sınırlı sayıda ve kullanımı azdır. Oluşturulan modelin, ses endüstrisi standartlarında kullanılması hedeflenen, konusunda daha ileri seviyelere taşınmış çok noktadan eş zamanlı ölçüm yapabilen taşınabilir gürültü ölçüm sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Modelin, farklı gürültü ölçümleme alanlarında, mevcut gürültü ölçümleme cihazlarına göre taşınabilirlik ve eşzamanlılık avantajlarıyla, yapılan gürültü ölçümü işleminin süre açısından hızlandırılması ve ölçüm doğruluğunun artırılması konularına fayda sağlaması amaçlanmıştır. Ayrıca, modelin tek noktalı ses seviye ölçüm cihazlarına göre, ölçüm ön hazırlık sürelerinin kısaltılması amaçlanmıştır. Modelin, ölçüm ekipmanları kurulum süresini hızlandırması açısından değerlendirildiğinde, ölçüm aşamalarını kararlılık ve verimlilik yönlerinden olumlu etkileyeceği görülmektedir. Çevresel gürültü ölçümlemesi ele alındığında, birden fazla noktada eş zamanlı ölçüm yapılabilmesi, ölçüm yapılan nokta sayısı, ön hazırlık süresinin kısaltılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, kısa sürede daha detaylı ölçümleme yapılabilecek ve analiz aşaması daha çok veri ile başlatılabilecektir. Öte yandan, çevresel gürültü koşullarının incelenmesi esnasında, birçok çevresel gürültü faktörünün eş zamanlı ölçümlenebilmesi sağlanacaktır. Modelin daha ileri seviyeye taşınması için belirli donanım özelliklerinin daha gelişmiş devre altyapısında uygulanması, ölçüm doğruluğu, ses örnekleme işleminin çok noktada eş zamanlı yapılabilmesinin endüstri standartlarını sağlar hale getirilmesinde sonraki çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

Ses, kulağın algılayabileceği basınç değişimi olarak tanımlanabilir. Sesin varlığı, dünya üzerindeki anlaşılanın ve insan doğasında yer alan her türlü faaliyetin de varlığı ile eşdeğerdir. İnsan kendi sesi ve evrendeki sesleri algılayabildiği sürece, bu seslere tepki verir ve davranış ortaya koyar. Bu nedenle ses, söz kadar değerli ve önemlidir. Paskal cinsinden sesin yayılması, üretilmesi ve algılanmasını içeren bilime “akustik” adı verilmektedir. Akustik, ses ile ilgili her türlü kavramı içermekte ve incelemektedir.

Sesi tanımlanabilir kılan özellikler; yayılma hızı, frekansı, dalga boyu ve dalga şiddetidir. Dolayısıyla somutluk ifade eden sesin algılanabilir olması ve fiziksel çevre üzerinde etkin şekilde görülen bir enerji türü olması onun diğer enerji türleri gibi bir tanımı olmasını olanaklı kılmıştır. Bu kapsamda sese ilişkin yapılacak bir başka tanımlama ise sesin evrende var olan şiddet ve frekansa bağlı olarak ortaya çıkan fiziksel bir olay ve enerji türü olduğuna yöneliktir.

Evrendeki tüm sesler insanın algılayabileceği ve hoşlanabileceği düzeyde değildir. Kimi sesler insanı rahatsız eder ve tabiatına aykırı durur. Bu sesler gürültü oluşturur. Gürültü; istenmeyen, rahatsız edici ve insan sağlığını tehdit edici düzeydeki seslerdir (ILO, 1977). İnsan kulağı 20-20,000 Hz'lik frekans aralığındaki sesleri duymaktadır. Bu frekans aralığını geçen sesler insan için bir tehdit oluşturabilecek düzeydedir. Bu nedenle duyma eylemi için gürültü oluşturan seslerin kirliliğinin yanında bu aralığı geçmesi insana acı verecek ve sorun yaratacaktır. İnsan için sesteki ağrı eşiği ise 140 dB şeklinde ölçülmüştür.

Gürültü harmonik olmayan sesleri içermektedir. Dolayısıyla gürültüye ilişkin yapılacak tanımlamalarda da sık sık “rahatsız edicilik” ve “uyumsuzluk” kelimeleri geçmektedir (Karabiber, 1991). Bir sesin gürültü kabul edilebilmesi için ses değerinin basıncının ve etki süresinin artması gereklidir. Dolayısıyla insana hoş gelen bir müzik sesi de devamlılık içerdiğinde insanın yorulmasına, bakış açısının değişmesine ve algısal olarak “gürültü” alanına girmesine neden olacaktır. Bu noktada gürültünün algısal bir yönünün de olduğu söylenmelidir. Köknel (1997) bir sesin gürültü olarak kabul edilmesinde değerlerin de önemli olduğunu söyler. Kişinin sevdiği bir müzik türü uzun vadede ona güzel geldiğinde, sevmediği ve dinlemediği bir müzik türü içinde aynı durum söz konusu değildir ve gürültü olarak algılanacaktır (Carter, 1985; Köknel, 1997).

İnsanın algıladığı gürültünün birçok kaynağı olabilmektedir. Çalışma içerisinde bu kaynaklar yapı içi ve yapı dışı olarak iki gruba ayrılarak aktarılmıştır. Ancak bunun yanında kimi kaynaklarda noktasal, çizgisel ve düzlemsel olarak da bir ayırım yapıldığı görülmüştür. Noktasal kaynaklar, gürültüyü oluşturan kaynak ile alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak gürültü kaynağının 2 katı mesafede kalmasıyla oluşan durumdaki

gürültü kaynağı nokta olarak isimlendirilir. Çizgisel kaynak, aynı hizada yan yana birden fazla gürültü kaynağı olması, düzlemsel kaynak ise alıcıya oldukça yakın, düzleminde olan gürültü kaynağıdır.

Gürültünün insan sağlığı üzerinde oldukça olumsuz etkileri bulunmaktadır. Gürültü insanın stres, korku, panik gibi durumlarla karşılaşmasından başlanarak, uzun vadede işitme kaybına da neden olabilmektedir. Özellikle yapılan araştırmalar 160 dBA üstünün işitme kaybına neden olacağını 80 dBA üstünün ise kulaktaki tüyleri yırtarak akustik travmaya neden olacağını ortaya çıkarmıştır. Bunun yanında gürültü tüm vücudu etkilemektedir. Özellikle uzun süre gürültüye maruz kalan, havalimanı ve fabrikalarda çalışan kişilerin stres ve yorgunluk sıkıntıları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar kişilerde uyku problemi yaratmaktadır. Yapılan araştırmalar ayrıca gürültüyle gelen uyku problemlerinin de kalp ve damar hastalıklarına neden olduğunu ortaya koymaktadır (Çekik, 2009; Mateus vd., 2015).

Gürültünün ölçülmesi, ses şiddetinin ölçülmesi anlamına gelmektedir. Ses şiddeti ölçü birimi desibeldir. Sesin insan kulağındaki algısına bağlı olarak gürültü ölçüm cihazı oluşturulmuştur. Bu cihazın adı sonometredir. Sonometre, bir mikrofon ve elektrik devresinden oluşmaktadır. Bu devre sesin şiddetini işitme ile ilgili etkisine bağlı olarak ölçecek düzeyde tasarlanmıştır. Cihazdaki oktav bandı gürültü frekansının ölçülmesini, bilhassa karmaşık ortamlardaki seslerin gürültüye yansımalarını ölçmek adına kullanılmaktadır. Sonometre normal ve dijital olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Sonometre kullanılırken cihazı kullanan kişinin cihaz ölçümüne etkisinden, cihazın özelliklerine ve hatta cihaz kullanımı sonrası durumlarına kadar birçok şeye bilhassa doğru sonuçlar elde etmek için dikkat edilmelidir (Şahinkaya, 2005; Boşat,2013).

Akustik ve çevresel olmak üzere iki tür gürültü bulunmaktadır. Bu gürültülerin ölçülmesi adına da iki tür ölçüm şekli ve parametreleri oluşturulmuştur. Çalışmamızda ses ve gürültü kavramlarının ardından, akustik ve çevresel gürültü konusuna değinilerek mevcut alternatif çok noktada ölçüm yapabilen taşınabilir bir modelin geliştirilmesi sağlanacaktır.

1.BÖLÜM

SES, GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

1. BÖLÜM:

SES, GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

İnsanların içinde yaşadığı çevrede birçok ses ve ses grubu vardır. İnsanın en nihai anlaşma biçimi olan konuşmanın da temelinde olan ses, çevredeki yaşam için kolaylaştırıcı bir anlam ifade ettiği gibi, sınırını aşan her şey gibi aynı zamanda yaşamı zorlaştırıcı bir yanıyla da var olabilmektedir. Sesin insan kulağının sınırını aşacak düzeyde varlık göstermesi gürültüye dönüşmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla gürültü rahatsız edici bir ses düzinesi, kombinasyonu da olarak da tanımlanabilecektir.

Kaynağı ses olan, insan yaşamını olumsuz yönde etkileyen ve bu olumsuzlukla birlikte fizyolojik, psikolojik, fiziksel veya performans anlamında yan etkileri olan karmaşık ses dizisine gürültü denilmektedir. İnsanın var olduğu her yerde ses olduğu gibi gürültü de bulunabilmektedir. Sonometreler aracılığıyla ölçülen sesin, gürültüye dönüşme eşiği vardır. Bu eşik iç ve dış mekânda farklı olmakla birlikte 30-60 dBA arasındaki eşik insan için rahatsız edici seviyenin başladığı alanın eşiği olmaktadır. Bu eşik sınırına gelen her ses gürültü düzeyindedir ve bu düzey insan yaşamında birçok sorunun oluşmasına da neden olacaktır. Çalışmanın bu bölümünde ses ve gürültü kavramlarına değinilerek literatür açısından temel bilgileri vermek amaçlanmıştır.

1.1. Ses ve Gürültü

Ses, esnek bir ortamda periyodik titreşimler oluşturan, ortamın denge basıncında meydana gelen değişimler aracılığıyla belli bir hız ve faz farkının bir ortam içerisinde iletilme durumuna verilen isimdir. Ses, hayatın devamlılığında insan eylemlerinin içerisinde yer alan ve anlaşabilmenin odak noktasındaki konuşma eylemini oluşturan en küçük birimdir. Fiziksel bir yapılanması olan ses; katı, sıvı ve gaz ortamlarda oluşan mekânîk titreşimlerdir.

Ses üç çeşit akustik sinyal içerisinde oluşum gösterir. Birincisi zamanla tekrarlanan ve sürekliliği olan periyodik sinyaller, ikincisi rastgele sinyaller ve üçüncüsü

ise zamana bağılı olarak tekrarlanmayan darbe şeklinde olan sinyallerdir. Bu üç sinyal biçimi ağızdan çıkan sesin yapısı, sürekliliği veya sönüklüğü, frekans, titreşim, karmaşıklığı ile ilgilidir.

Ses heterojen yapıda bir oluşumdur. Sesin birçok fiziksel özelliği vardır. Bu fiziksel özellikler kavramlar doğrultusunda aşağıda ele alınmıştır:

- **Titreşim:** Titreşim bir denge noktası etrafındaki mekanik salınım olarak tanımlanabilmektedir. Titreşimin formülü " $v=k\sqrt{E/p}$ " şeklindedir. Bu formülde k bir sabit, E ortam elastikiyeti, p ise ortam yoğunluğudur. Dolayısıyla titreşimin oluşması; ortam elastikiyeti, dalga ve ortam yoğunluğu parametreleri ile hesaplanabilmektedir.
- **Dalga:** Maddenin üç hali üzerinde de yer alan ve enerjinin taşınmasını sağlayan titreşimdir. Dalga boyu formülü " $\lambda=v.T=v/f$ " şeklinde hesaplanabilmektedir. T, ardışık iki sıkışma arasındaki zamana, v sesin atmosferdeki yayılma hızına bağlıdır.
- **Sesin Kuvveti-Enerji Yoğunluğu ve Şiddeti:** Sesin kendine özgü kuvvetine ses kuvveti denir. Ses kuvveti; sesin bulunduğu ortam, kaynağa uzaklık vb. birçok şeye bağılı olarak değişmektedir. Sesin kuvveti, ortamın enerji yoğunluğuyla da ilgili olarak artıp azalmaktadır. Ortamın enerji yoğunluğu " $D=p^2/pv^2$ " ile hesaplanmaktadır. Sesin şiddeti ise yine ortamla alakalı olarak ses dalgalarının kaynaktan alıcıya geçiş kuvvetini, şiddetini ifade etmektedir.
- **Sesin Atmosferdeki Yolculuğu:** Sesin atmosferde yayılmasında sadece mesafe değil, aynı zamanda hava, sıcaklık ve ortamın viskozitesi de önemli olmaktadır.
- **Rüzgarın Etkisi:** Havanın akışkanlığı ile ortamın viskoz olması bir araya geldiğinde rüzgarın etkisi sesin yönünü, şiddetini ve alıcıya ulaşma süresini etkileyebilmektedir.

- Sıcaklığın Etkisi: Ses dalgalarının atmosferdeki hızı ile hava sıcaklığı doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla atmosferdeki yükseklik ve bu yüksekliğin her 200 metrede bir düşmesiyle birlikte değişen hava sıcaklığı sesin şiddetini de etkilemektedir.
- Yansıma ve Absorbsiyon: Sesin şiddeti ve ses dalgalarının yönü sesin bir engelle çarpmasıyla birlikte yaşanan yansıma ve sesin emilimi yani absorbe edilmesiyle birlikte değişmektedir. Dolayısıyla sesin fleksibilite, pürüzlülük ve porozite gibi özellikleri sesin alıcıya ulaşmasını oldukça etkilemektedir.

Sesin akustik olarak bir armoni ve uyum içerisinde olmayan birden çok ses ile bir araya gelmesi ve tüm bu seslerin bir araya gelmesi ile oluşan sesler topluluğu da gürültü olarak adlandırılabilir. Gürültü, Latince “nausea” kelimesinden dilimize geçmiş ve yüksek ses, hoş olmayan tını anlamında kullanılmıştır (Singh ve Davar, 2004). Gürültü öznel bir kavramdır. Kişinin algısına göre değişebilen ses topluluğu olan gürültü, aynı zamanda “istenmeyen ses” olarak da kabul edilebilir.

ASHA’ya (1988) göre gürültü; bir çevre kirleticisi olarak insanlar tarafından istenmeyen, harmonik bir uyumu olmayan ve çevreye, insan sağlığına ve psikolojiye karşı zararı dokunan bir kavramdır. Dolayısıyla yaşam kalitesini olumsuz etkiler ve insanın özellikle herhangi bir konuya karşı odaklanmasına engel olur (ASHA, 1988).

Kumar ve arkadaşları (2004) gürültüyü; sorumsuz bireylerin ortaya çıkardığı sağlık bozan bir eylem olarak görür ve bu eylemin oldukça zarar verici, topluma yüklenen bir maliyet olduğu üzerinde dururlar (Kumar vd., 2004). Bu eylemin yönü olumsuzluk belirttiği için kavramın kendisi de akılda negatif bir şekilde kalmaktadır (Kurra, 2009).

Bir sesin gürültü olarak adlandırılması sesin sadece şiddet ve tınısına bağlı değildir. Aynı zamanda sesi algılayan kişinin algı durumu, sese karşı hassasiyeti de bulunan ortamdaki algıyı değiştirmektedir. Özellikle düzensiz, ani ve anlamsız gelen ses birlikleri daha çok gürültü olarak anılmaktadır (Maraş vd., 2011). Gürültüyü tanımlamak için gürültüyü oluşturan kavramların temel tanımlarını da bilmek gereklidir. Aşağıda bu kavramlar verilmiştir:

- Frekans: Ses dalgalarının birim zamandaki titreşim sayısıdır.
- Desibel (dB): Ses gücüdür.
- dBA: Ses değerlendirme birimidir.
- L_{eg} : Ses basınçlarının ortalama değerini veren gürültü ölçü birimidir.
- L_{gece} : A-Ağırlıklı gürültü seviyesi enerji ortalaması olup gece oluşan ses rahatsızlığını ifade etmektedir.
- Arka Plan Gürültüsü: Bir çevrede oluşturulan gürültü kaynağının susturulmasıyla birlikte ortamda kalan arka plan gürültüsüdür.
- Desibel Düzeylerinin Çıkarılması: Ölçülen gürültünün; arka plan, kaynak veya ikisinin bileşkesinden meydana geldiğini saptanmak amacıyla kullanılır.

Gürültü varlığı her zaman bilinen bir kavram olsa da özellikle de sanayileşme ile birlikte 18.yüzyıldan sonra çok daha fazla anılan, yüksek performanslı makine seslerinin de karıştığı, şehir hayatını temsil eden bir şeydir. Bu nedenle gürültüyü tanımlarken aynı zamanda; daha çok şehir hayatında görülen, kaynağı insan-hayvan-makine vb. birçok şey olabilen olumsuz ve rahatsız edici sesler olarak da bir tanım yapılabilir.

Şehirleşmenin artması, bilhassa sayısı oldukça fazla olan nüfusun bir arada yaşamasına olanak vermekle birlikte bu nüfusun aynı zamanda da bir arada çıkardıkları düzensiz seslerin gürültü olarak algılanmasına neden olmuştur. Şehir hayatı gürültünün en fazla olduğu mekânlardır. Robert Koch, insanların şehir hayatında veba ve koleradan değil, gürültüden ölebileceklerini söyleyerek gürültünün şehirde insan sağlığını ne denli etkileyeceğini vurgulamıştır. Dolayısıyla gürültü şehirleşmenin başladığı tarih boyunca önemli bir sorun olarak günümüze gelmiştir. 2000’li yıllara gelindiğinde şehirleşmenin artan düzeyi, AVM sayısı, bilhassa metropol dediğimiz kentlerde ulaşım ile birlikte insan sayısının artması durumları gürültüye karşı insanların çok daha fazla bağıklık kazanmalarına neden olmuştur. Bilhassa Türkiye’de İstanbul, İzmir, Ankara gibi nüfusu

oldukça fazla olan kentlerde gürültü yaşamın içerisinde var olan bir olgu gibi görülmektedir.

Gürültü niceliksel olarak bir şiddete sahiptir. Bu şiddetin insan ve şehir hayatında sağlıksal açıdan olumsuz etkileri olduğu için gürültü şiddeti ölçülür ve tespit edilir. Gürültü ölçümünün birçok amacı bulunmaktadır. Bunların en başında gürültü kaynağını tespit ederek var olan gürültüyü ortadan kaldırma, gürültünün olumsuz etkilerini azaltma ve insan – toplum sağlığı açısından gürültüyü yok etme gelmektedir. Gürültünün ölçüm amaçlarını “emisyon ölçümleri”, “etkileme ölçümleri” ve “imisyon ölçümleri” olarak üç grupta incelenmiştir.

1.2. Gürültü Kaynakları

Çevreden gelen gürültü çok kaynaklı olabilmekle birlikte genellikle gürültü kaynakları kendi içerisinde sesin yayılma alanına bağlı olarak “iç mekân gürültüleri” ve “dış mekân gürültüleri” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İç mekân gürültüleri; konutlardan kaynaklanan yüksek sesli konuşmalar, ev aletleri, soğutucu-pompa ve klima sesleri gibi ev veya bir başka iç mekân sınırının sesini içeren çok kapsamlı çeşitliliğe sahip seslerin birlikteliği ile ortaya çıkmaktadır. Dış mekân sesleri ise çok daha geniş bir alanı kaplayarak daha çok kişinin rahatını bozan gürültülerdir. Dış mekân gürültüleri genellikle ulaşım araçları kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır. Hava, kara veya denizde çalışan bir ulaşım aracı, yardımcı araç veya herhangi bir şey bu gürültüye kaynak oluşturmaktadır.

Dış mekân gürültüleri içerisinde özellikle trafik gürültüsü şehirleşmenin olduğu bölgelerde büyük bir sorun olmaktadır. Kara bağlantı yolunda trafik sıkışıklığı, çok fazla sayıda aracın trafiğe çıkması, saatte yapılan aşırı hızlar, egzoz sesleri gibi birçok ses dışarıda insan yaşamını olumsuz etkilemektedir. Ulaşım gürültüsünün nedenlerini kara trafiğinde trafik yoğunluğu, trafik kompozisyonu, trafik akım cinsi, ortalama hız gibi faktörlere bağlamıştır. Bunun yanında dış mekânlarda bir de yapım çalışmaları gürültüleri vardır. Bu gürültü tipi şantiye gürültüsü olarak da anılır. Yol ve bina yapımlarında çevreyi rahatsız edecek makine sesleri bu gürültü kapsamına girmektedir.

1.3. Gürültü Kaynakları, Seviyeleri ve İnsan Sağlığına Etkileri

Gürültü varlığı ve oluşturduğu yayılımla birlikte çeşitli açılardan sınıflandırılabilir. Yapılan gürültü sınıflandırmalarında şu iki kıstas temel alınır:

- Frekans dağılımı (spektrum)
- Ses düzeyinin zamanla değişme şekli

Frekans dağılımına göre gürültü seviyeleri “geniş bant gürültü” ve “dar bant gürültü” olmak üzere iki grupta incelenebilir. Geniş bant gürültü; gürültüyü oluşturan arı ses frekanslarının geniş bir aralığı kapsamasını içeren gürültü tipidir. Dar bant gürültü ise frekans dağılımı toparlanmıştır ve belirli bir aralıktadır. Ancak bu durum dar bant gürültünün daha az düzeyde olduğu anlamına gelmemelidir. Nitekim belli bir aralık içerisinde şiddeti yüksek olabilmekte, dolayısıyla rahatsız ediciliği de aynı şekilde yükselebilmektedir (Devren, 1999).

Ses düzeyinin zamanla değişimine bağlı olarak gürültü ise “kararlı gürültü” ve “kararsız gürültü” olmak üzere iki grupta incelenebilir. Kararlı gürültü, gürültü düzeyinde zamana bağlı bir değişim olmadığı, kararsız gürültü ise zamana bağlı olarak gürültü düzeyinin değiştiği gürültü türüdür. Diğer bir adı darbe gürültüsü olan bu gürültü türüne kesik gürültü, darbe gürültüsü, vurma gürültüsü de örnek verilebilir (Güvercin ve Aybek 2003).

Sesin düzensiz ve harmonik bir uyumda olmaması insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Kişiden kişiye göre değişen bu olumsuz etkiler, kişilerin algılama düzeyi, sese olan aşinalığı veya gürültüden anladıklarıyla ilgili olarak değişmekle birlikte sesin şiddetinin artması her insan için aynı olumsuz etkiyi doğuracaktır. Bu olumsuz etki ses dalgalarının insan kulağı tarafından algılanması ve insan beynine ulaşmasıyla algıyı ve psikolojiyi de etkileyecektir (Barron, 2003). Genel olarak 30 ile 65 dBA arasındaki sesten itibaren insan gürültüden rahatsız olmaya başlayacaktır. Tablo 1’de gürültü düzeyleri ve oluşturdukları olumsuz etkiler gösterilmiştir.

Tablo 1- Gürültü Düzeyleri ve Oluşturduğu Olumsuz Etkiler (Kurra,2009)

Sınıflandırma	Gürültü Düzeyi	Ortaya Çıkan Olumsuzluklar
1.Düzye	30-65 dBA	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, kızgınlık, uyku ve konsantrasyon bozukluğu
2.Düzye	65-90 dBA	Fizyolojik tepkiler; kan basıncının artması, kalp atışı ve solunumun hızlanması, beyin sıvısındaki basıncın azalması, ani refleksler
3.Düzye	90-120 dBA	Fizyolojik tepkilerin artması, baş ağrıları
4.Düzye	120-140 dBA	İç kulakta sürekli hasar ve dengeinin bozulması
5.Düzye	>140 dBA	Ciddi beyin tahribatı

Gürültünün bir fark edilme eşiği vardır. Nasıl ki sesin fark edilme eşiği oluyorsa, gürültünün eşiği de rahatsız ediciliği etkiler düzeyde bir eşiktir. Tablo 2’de gürültü seviyesinin toplum tarafından algılanma düzeyi ve etkisi gösterilmiştir.

Tablo 2- Gürültü Seviyesindeki Değişimin Toplum Tarafından Algılanması ve Gürültünün Etkisi

Artış (dB)	Değişimin Algılanması	Gürültünün Etkisi
0	Fark edilmez	Yok
3	Değişim ancak fark edilebilir	Çok az
3-5	Değişim kolayca fark edilebilir	Az
5-7	Aralıklı şikayetler görülebilir	Orta seviyede
7	Rahatsız olunur	Orta seviyede
7-10	Aralıklı şikayetler	Yüksek
10-15	Geniş çaplı şikayetler	Çok yüksek
15-20	Grup reaksiyonları görülebilir	Çok yüksek

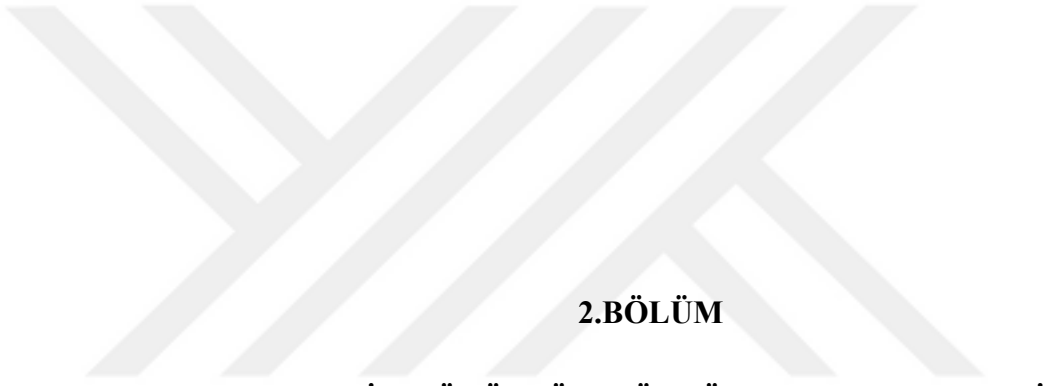
İnsanı çok farklı seviyelerde etkileyen gürültü, alışılmadık ve acı verici düzeyde olduğunda insan sağlığının tehlikeye girmesine neden olabilmektedir. İnsan kulağının bir

duyma eşiği vardır. Örneğin; ofiste bilgisayar gürültüsü için 60 dBA sınırdır. Bu sınırın üstüne çıkan ses bilhassa iç mekânda insanın duyma yetkisini kaybedebilmesine değin varacak durumlara neden olacaktır.

Gürültünün insan sağlığına etkileri “fizyolojik”, “psikolojik”, “fiziksel” ve “performans” olmak üzere dört düzeyde ele alınabilir. Yüksek gürültüye maruz kalan kişinin duyma kaybı yaşaması, kulak çınlaması, akustik travmalar gibi sorunlar yaşaması devam eden süreçte bu sorunların kalıcı hasar oluşturmalarına da neden olabilmektedir. 2000 yılında Avrupa Topluluğu’nda 65 dBA üzerindeki gürültüye maruz kalan insanlar saptanmış ve bu kişilerin oranı Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3- Avrupa Topluluğu Ülkelerinde Gürültü ve Maruz Kalan Nüfus Oranı İlişkisi
(www.cdr.cevre.gov.tr, 2000)

Gündüz Gürültü Düzeyi (dBA)	Maruz Kalan Nüfus (%)
55'den az	28,9
55-60	26,9
60-65	21,9
65-70	14,7
70-75	6,2
75'den fazla	1,4



2.BÖLÜM

AKUSTİK GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

2.BÖLÜM:

AKUSTİK GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

Akustik gürültü kaynakları, gürültünün dağıldığı alan baz alınarak ölçümünün yapıldığı kaynaklardır. Akustik, sesin yayıldığı alanla ilgilidir. Akustik gürültü ölçümü istenen yerler endüstriyel tesisler, büyük çaplı fabrikalar, eğlence mekanları, konser salonları gibi işletmelerdir. Bilhassa Çevre ve Şehircilik Bakanlığı çok ses ve gürültü olan bu alanlarda işletmelerin çevreye yaydığı sesleri göz önüne alır ve bu seslerin ortadan kalkması adına yapılabilecekleri tasarlamak için “akustik ölçüm” yapılmasını ister. Çalışmanın bu bölümünde akustik gürültü ve ölçümüne dair literatüre yer verilmiştir.

2.1.Akustik Gürültü ve Türleri

Akustik yönden gürültü kaynakları; gürültünün dağıldığı kaynak ve yayıldığı alanı baz alarak akustik gürültüyü tanımlar. Bu açıdan akustik gürültü kaynakları kendi içerisinde üç gruba ayrılır: noktasal gürültü kaynakları, çizgisel gürültü kaynakları ve düzlemsel gürültü kaynakları.

Noktasal gürültü kaynakları; bir alandaki mevcut gürültünün boyutunun alanın iki katı alana yayılmasıyla oluşan, fizik olarak hareketli ve sabit hale gelip üretilen sestten daha fazla ses yayılmasına neden olan kaynaktır. Kaynaktan uzaklaşıldıkça ses daha geniş bir alana yayılır. Dolayısıyla gürültü kaynağı etrafa dairesel olarak 2π hızında bir yayılım gösterir. Nokta w , alan yarıçapı r olmak üzere sesin şiddeti $I=W/4\pi r^2$ ile hesaplanır.

Çizgisel gürültü kaynakları; birden çok gürültü kaynağının aynı veya yakın noktalarda bir araya gelmesiyle oluşan gürültü kaynağıdır. Bu kaynağın özelliği, bir alan üzerinde gürültüyü tek başına oluşturmaması, aynı zamanda gürültü kaynağının çok çeşitli olmasıdır. Örneğin; bir semtteki eğlence mekânları akustik gürültü oluşumunda çizgisel gürültü kaynaklarına örnek teşkil etmektedirler. (Dal, 2007; Hamamcı, 2015).

2.2. Akustik Gürültü Ölçüm Parametreleri

Akustik gürültü ölçüm parametreleri kendi içerisinde “kaynak çevresinde yapılan ölçüm”, “hemisferik ölçümler”, “kaynağın rotasyonu”, “akustik kuvvet seviyesinin hesaplanması” ve “yönelim faktörünün hesaplanması” şeklinde ele alınabilir.

2.2.1. Kaynak Çevresinde Yapılan Ölçüm

Kaynak çevresinde yapılan ölçüm, gürültü kaynağını bulmak ve kaynaktan çıkan gürültünün şiddetini saptamak adına oldukça önemlidir. Bu ölçümün temel amacı, kaynaktan çıkan gürültünün çevrede yarattığı etkiyi saptamak, dolayısıyla çevre kurallarına uygunluğunu ölçümlemektir.

Bir çevrede yapılan ölçümleme, ses enerjisinin niceliği hakkında bir kanıya varmayı sağlayacaktır. Kaynağın gürültü düzeyi, sesin yayıldığı fiziki ortam, ses dağılımının hızı ve etkileri kaynak çevresinde yapılan ölçümlemenin parametreleri arasındadır. Kaynak çevresinde yapılan ölçümlemede rüzgar, nem, sıcaklık, ortam basıncı, titreşim ve manyetik alana dikkat edilir. Gürültü ölçümleme aracının sağlıklı ölçüm yapabilmesi adına rüzgarın ses oluşumuna mahal verecek noktada durmamasına, ortamdaki nem miktarına, sıcaklığın -10 ile 50 derece arasında olmasına ve ani değişimler yaşamamasına, titreşimin olmamasına, cihazın titreşimden etkilenmemesine, elektrostatik ve manyetik alan oluşturan cihazların ölçüm yapılacak cihazın yakınında olmamasına dikkat edilmelidir.

2.2.2 Hemisferik Ölçümler

Kaynağın tipinin noktasal, düzlemsel veya çizgisel olması kaynak tipinin ne şekilde olduğunu göstermektedir. Kaynak tipine bağlı olarak da hemisferik ölçümler sağlanarak gürültünün şiddeti tespit edilebilir (Öngel, 2009: 165).

2.2.3. Kaynağın Rotasyonu

Akustik ölçümlerde kaynağın rotasyonu oldukça önemlidir. Ölçüm cihazı kaynağa yakın ve kaynak ile aynı hizada yönelimde olmalıdır. Kaynağa zıt konumda olması ölçümün hatalı yapılmasına neden olabilecektir. Mümkünse titreşimden uzak, kaynak rotasyonu ile aynı seviyede ve yerden yüksekliği sesi algılayacak düzeyde olmalıdır (Öngel, 2009).

2.2.4. Akustik Kuvvet Seviyesinin Hesaplanması

Bina ve benzeri yapılarda akustik kuvvet seviyesi oldukça önemlidir. Binanın yalıtımı, ses kaynağının ses geçirgenliği sesin yansıyan şiddetini etkilemektedir. Bu nedenle akustik kuvvet seviyesi hesaplanırken binanın ses geçirgenliği göz önüne alınmalıdır.

2.2.5. Yönelim Faktörünün Hesaplanması

Gürültü kaynağı ile ölçüm cihazı arasındaki yönelim faktörünün hesaplanması, cihaz tahminlerini güçlendirmesi ve ölçümün sağlıklı olması adına önemlidir.

3.BÖLÜM

ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

3.BÖLÜM:

ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

Çevresel gürültünün ölçümü öncesi ve sonrasında birçok hususa dikkat edilmeli, hem gürültü oluşturan cisim veya alan hem de çevresel birçok unsur açısından kapsamlı bir çalışma yapıldığı göz önüne alınarak çalışmaya başlanmalıdır. Çevresel gürültünün ölçümünden evvel gürültü ölçümleme cihazında 94 dB veya 114 dB aralığında kalibrasyon yapılmalı, ölçüm yapacak cihaza ilişkin bilgiler kaydedilmeli, ölçüm yapacak cihazın çalışıp çalışmadığı, doğru veriler ortaya çıkaracak olma durumu göz önüne alınmalıdır. Cihazda kullanılacak güç kaynaklarının durumu göz önüne alınmalıdır. Ölçüm yapılacak nokta belirlenmelidir ve yükseklik, yağmur durumu gibi koşullar göz önüne alınmalıdır. Ölçülecek gürültü kaynaklarına ilişkin cihaz ayarları tam şekilde ayarlanmalıdır. Cihazın gürültü ölçümü sırasında da makinenin birçok şeyden etkileneceği göz önüne alınarak şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Cihazın yönüne dikkat edilmeli, gürültü kaynağına doğru cihaz yerleştirilmelidir.
- Cihazın titreşimden etkilenmemesi sağlanmalıdır.
- Cihazın üzerine mikrofon yerleştirilmeli rüzgar ve titreşime karşı önlem alınmalıdır.

Çevresel gürültünün ölçülmesinin ardından sonuçlar değerlendirilmeli, bu sonuçların değerlendirilmesi sırasında da cihazın doğru çalışıp çalışmadığına, mikrofonun nemden etkilenip etkilenmediğine, batarya performansına, ölçüm yapan kişinin vücut etkisine dikkat edilerek sonuçlar değerlendirilmelidir.

3.1. Çevresel Gürültü ve Türleri

Çevresel gürültü; insanın yakın ve uzak çevresinde olan iç ve dış yapı kaynaklı gürültüyü ifade etmektedir.

Çevresel gürültü türleri kendi içerisinde temelde iki gruba ayrılarak sınıflandırılabilir. Birincisi; frekans spektrumu açısından gürültü türleri, ikincisi ise zamana bağlı gürültü türleridir. Bu sınıflandırmada gürültü oluşumunun frekans düzeyinde, ortama bağlı etkisi ile zamana bağlı olarak ortaya çıkan etkisi göz önüne alınır. Frekans spektrumu açısından gürültü türleri kendi içerisinde “sürekli spektrum” ile “işitilebilir ayrı noktadaki spektrum” olmak üzere ikiye ayrılırken, zamana bağlı spektrum türleri de aynı şekilde “kararlı gürültü” ve “kararsız gürültü” olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.1. Frekans Spektrumu Açısından Gürültü Türleri

Frekans spektrumuna bağlı olarak gürültü türleri “sürekli spektrum” ve “işitilebilir ayrı noktadaki spektrum” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sürekli spektrum, bir sesin farklı noktalar aralığının sürekli devam etmesi, zamana bağlı olarak değişmemesidir. Dolayısıyla birçok gürültüyü meydana getiren ses de aynı bu şekilde geniş ve sürekli bir spektrum aralığında dağılmaktadır. Sürekli spektruma örnek olarak konuşma sesi gösterilebilir.

İşitilebilir ayrı noktadaki spektrum ise sürekli dar bant gürültüsü olarak da anılan, içerisinde birkaç frekansın yoğun olarak yer aldığı seslerdir. Bu sesler ortamın yoğunluğuna bağlı olarak bir gürültü düzeyine erişirler. Örneğin; daire içerisinde çıkan testere kesme sesi bu kapsamda değerlendirilebilir.

3.1.2. Zamana Bağlı Gürültü Türleri

Zamana bağlı olarak oluşan çevresel gürültü türleri “kararlı gürültü” ile “kararsız gürültü” olmak üzere iki gruba ayrılır. Kararlı gürültü olduğu çevre içerisinde zamana bağlı olarak değişmeyen, aynı modda çalışan bir makine veya araç sesini kapsayacak düzeydedir. Kimi zaman eğlence mekanlarından gelen müzik sesleri de bu tip gürültülere örnek olarak gösterilmektedir. Kararsız gürültü ise gürültü süresinin ve şiddetinin zamana bağlı olarak değişime uğradığı gürültülerdir. Bu gürültülere örnek olarak darbe ve patlama gürültüleri örnek gösterilebilir.

3.2. Çevresel Gürültü Ölçüm Parametreleri

3.2.1. Ses ve Ses Gücü Seviyesi

Birim zamanda yapılan iş miktarı veya enerji değişimi güç (watt) olarak adlandırılır. Güç ses kavramıyla tamamen ilişkilidir. Bir ortamda yayılan ses dalgaları bir anlamda sesin enerjisidir. Ses gücü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$P = I \cdot S = \frac{p^2}{\rho c} S \quad (1)$$

P: ses basıncının karekökü

c: ses hızı

S: 1 metre karede düzlemin alanı

p: ortamın hacim yoğunluğu

Belirli bir frekans aralığında birim zamanda bir ses kaynağından çıkan toplam ses enerjisine ses çıkışı, ses gücüne ait seviyesi ses gücü seviyesi adını almaktadır. Ses gücü seviyesi P_0 değerine göre bir seviye olarak ifade edildiğinde, ses gücü seviyesi L_w (dB) olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

P_0 : 10^{-12} referans değerini almaktadır.

W: 10^{-12} W / m^2

3.2.2 Desibel Kavramı (dB)

Birim zamanda yapılan iş miktarı veya enerji değişimi güç (watt) olarak adlandırılır. Ses gücü ise Güç desibel kavramıyla tamamen ilişkilidir. Desibel ses ölçümlemesinde fiziksel iki ifadenin oransal gösterimini sağlayan, ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birimdir. Bell biriminin onda birine karşılık gelmektedir. Bell birimi ses basınçlarını ifade etmek için yüksek bir birim olduğu için, Uluslararası Birimler Sistemi'nin (SI) belirlediği desi ön ekini alarak desibel adını almaktadır. Kısaltması dB olarak geçmektedir. Kavram adını bulucusu Alexandra Graham Bell'den almaktadır.

$$dB = 10 \log_{10}(P^2/p_1) \quad (3)$$

p1: ilk sinyalin gücü (watt)

p1: ikinci sinyalin gücü (watt)

Ses ölçümlemede, desibel kavramı biraz daha farklı ele alınmaktadır. Ses basıncının karesi, sesin yoğunluğu ile orantılı hale gelmektedir. Bu bağıntıya göre ses ölçümlemede ses basınç seviyesi L_p (dB) olarak hesaplanmaktadır. Bir diğer adı ise dB SPL olarak geçmektedir. 1000 Hz frekansındaki sesin titreşiminin basıncı 20 mikropaskal (μp) değerine karşılık gelmektedir. Bu değer normal seviyede duyabilen bir insan kulağı için 1000 Hz frekans değerinde duyulabilecek minimum ses seviyesidir. 20 μp basınç değeri 0 dB ses basıncı seviyesine karşılık gelmektedir. 1 p basınç değeri ise 94 dB ses basıncı seviyesine karşılık gelmektedir.

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

p: Ölçülen ses basıncının kare köküdür

p0:Referans ses basınç seviyesinin kare köküne eşittir (20 μp)

Tablo 4- Ses Basıncı, Ses Şiddeti ve Ses Gücü Bağlılıları.

	Ses Şiddet Seviyesi	Ses Basıncı Seviyesi	Ses Güç Seviyesi
Birim	IL, dB	SPL, dB	PWL, dB
Bağıntı	$10 \log \frac{I}{I_0}$	$20 \log \frac{P}{P_0}$	$10 \log \frac{W}{W_0}$
Birimler	I (watt/cm ²)	P dyne/cm ²	W (Watt)
Referans ses basınç seviyesi olarak genellikle işitilebilen en küçük düzey alınır	$I_0 = 10^{-16}$ watt/cm ²	$P = 2 \times 10^{-4}$ Dyne/cm ² veya 0,0002 mikrobar	$W_0 = 10^{-12}$ watt
İşitilebilen en küçük değer	$IL = 0$ dB	$SPL = 0$ dB	$PWL = 0$ dB
Dayanılabilen en yüksek değer	$I = 10^{-3}$ watt/cm ²	$P = 2 \times 10^2$ Dyne/cm ²	
Dayanılabilen en yüksek değer	$IL = 130$ dB	$SPL = 120$ dB	

3.2.3. Maksimum ve Minimum Gürültü Seviyeleri

Ölçüm süresi boyunca maksimum ve minimum ses seviyeleri L_{max} ve L_{min} olarak isimlendirilir. Uluslararası standart karşılığı olan parametreler ile birlikte kullanılması daha doğrudur. Ölçüm süresi içinde ulaşılan maksimum ve minimum gürültü seviyelerinin, A-Ağırlıklı frekans filtresi ve zaman ağırlıklamaları kullanılarak belirlenmesi önemlidir.

3.2.4. Oktav Bantları ve Gürültünün Frekans Dağılımları

Oktav bandı, ses analizlerinde incelenen frekans aralıklarıdır ve bir oktav bandının alt limit frekansı, üst limit frekansının yarısına eşittir. Oktav bantlarında, frekans sayıları, alçak frekanslarda az, yüksek sayıda daha fazladır. Oktav bantlarında bulunan frekansların geometrik ortalaması, merkez frekansıdır.

1/1 OKTAV BANT $f_2 = 2f_1$ $f_m = \sqrt{f_1 * f_2} = \sqrt{2} * f_1 = \frac{f_2}{\sqrt{2}}$ Bandwith : $B = (f_2 - f_1) \approx 0.7f_m$
1/3 OKTAV BANT $f_2 = \sqrt[3]{2} * f_1$ $f_m = \sqrt[6]{f_1 * f_2} = \sqrt[6]{2} * f_1 = \frac{f_2}{\sqrt[6]{2}}$ $(\sqrt[3]{2} = 1.2599, \sqrt[6]{2} = 1.1225)$ Bandwith : $B = (f_2 - f_1) \approx 0.23f_m$
f : Merkez veya orta frekans f_1 : Oktav bandın alt sınır frekansı f_2 : Oktav bandın üst sınır frekansı

Tablo 5- 1/1 ve 1/3 Oktav Bant Eşitlikleri

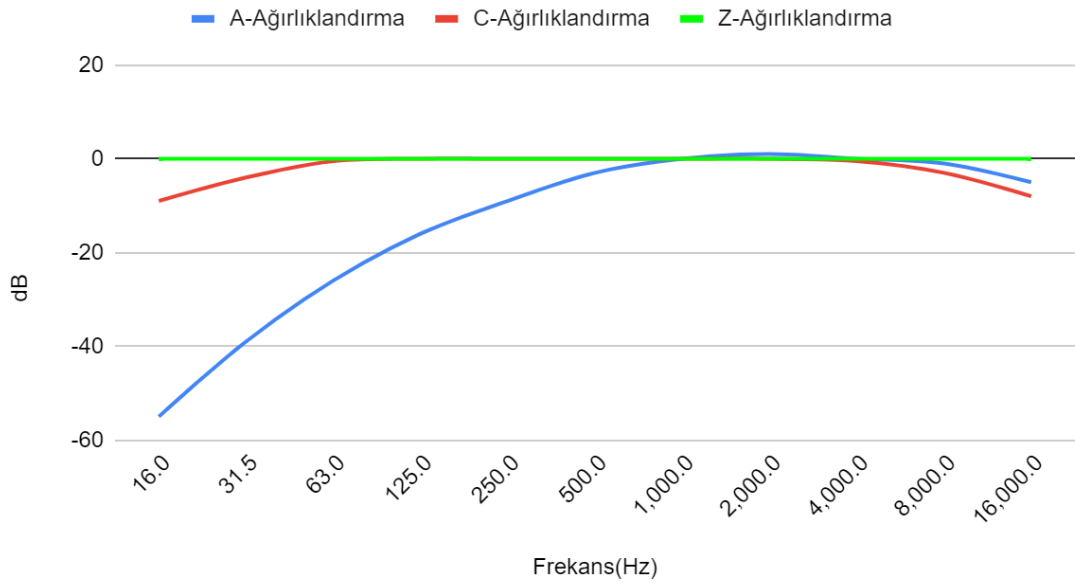
Kulak, oranları tam sayı olan iki ses frekansını benzer algılar. Oktav bant oranları buna göre düzenlenmiştir. Çevresel gürültüyü ölçerken kullanılan 1/1 oktav bantta; ses 8 merkez frekansa ayrılarak, 1/3 oktav bantta ise 24 merkez frekansa ayrılarak detaylı analiz yapılabilmektedir. Mevcut gürültü ölçümleme sistemlerinde Bunun dışında daha çok veri elde edilebilecek FFT (Fast Fourier Transform) kullanılabilmektedir. Oktav filtrelerin

kullanımında iki adet uluslararası standart kullanılmaktadır. Bu standartlar oktav bant ve kesirli tip oktav bant filtreler için JIS C 1514: 2002, oktav bant ve $\frac{1}{3}$ oktav bant için JIS C 1513: 2002 standartlarıdır.

3.2.5. Frekans Ağırlıklama ve Filtreleme

Ses seviyesi ölçüm sistemlerinde, ölçüm esnasında hava basınç değişimlerine duyarlı diyaframa sahip özel mikrofonlar kullanılır. Kullanılan mikrofonlar tarafından algılanan elektrik akımı amplifikatör üzerinden geçerek ölçüm devresinin doğru şekilde algılayabileceği akım sinyallerine dönüştürülür. Dönüştürülen sinyalin analizinin yapılabilmesi için belirli frekans ağırlıklama filtreleri kullanılır. Filtre tasarımları belirli frekans bantlarına diğerlerinden daha fazla önem vermektedir. Frekans ağırlıklama filtreleri ses seviye ölçümünün insan kulağı tarafından algılanma koşullarına göre A, B, C, D ve Z ağırlıklama olarak ayrılmaktadır. Günümüzde standartlara sahip ses seviye ölçüm cihazlarında kullanılan filtreler A, C, ve Z ağırlıklandırma filtreleridir.

A-Ağırlıklandırma, C-Ağırlıklandırma and Z-Ağırlıklandırma



Şekil 6- A, C ve Z Ağırlıklandırma Eğrileri Gösterimi

3.2.5.1. A Ağırlıklandırma

A Ağırlıklandırma eğrisi, insan kulağının duyma eğrileri ile benzer frekans tepkisine sahip özellik taşımaktadır. Özellikle düşük frekanstaki sesleri filtreleme işlevine sahiptir. A ağırlıklama eğrisi, ortalama 2,5 kHz frekans değerinde ortalanan geniş bir bant aralığı filtresidir. 20 Hz - 20 kHz frekans aralığında görev yapmaktadır. 1 kHz frekans değerinde 40 dB’lik ses basıncı referans seviyesi olarak derecelendirilmiştir. Bazı çalışmalarda 40 phon birimiyle de anılmaktadır. Düşük frekans değerlerinde etkisi fazla olup, yüksek frekanslarda daha mütevazi bir etkiye sahiptir. A ağırlıklı filtreleme gerçekleştirmek için IEC 61672 standartına göre aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$L_{At}(t) = 20 \log_{10} \left\{ \left[\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t p^2 A(\xi) e^{-(t-\xi)/\tau} d\xi \right]^{1/2} / p_0 \right\} \quad (5)$$

t: Zaman sabiti (Birimi : saniye) hızlı ağırlıklama için 0,125 sn, yavaş ağırlıklama için 1 sn kabul edilir.

ξ: İntegraldaki - ∞ ile t zaman aralığındaki değişkendir.

Pa: AC çıkış sinyaline bağlı A Ağırlıklı ani basınç seviyesi.

P0: Referans ses basıncı. 20 mikropaskal değerine eşittir.

3.2.5.2. C Ağırlıklandırma

C Ağırlıklandırma, düşük frekansları kapsayan bir filtre türüdür. 20Hz - 20kHz aralığını kapsar. Fakat 63 Hz - 8 kHz frekans aralığında etkin ve A Ağırlıklandırma filtresine göre düz bir frekans tepkisine sahiptir. Yüksek basınç seviyesine sahip seslerin gürültü ölçümlemesinde kullanılır.

3.2.5.3. Z Ağırlıklandırma

Düz ağırlıklandırma olarak da adlandırılan Z Ağırlıklandırma, frekans ağırlığına sahip olmayan bir filtrelemedir. Frekans düzeltme fonksiyonuna sahip değildir. Mikrofonun AC çıkışından gelen sinyalin frekans ağırlığına uğramadan aktarılmasına izin verir. Bütün frekansların düz bir şekilde, herhangi bir frekans bandında ağırlık uygulanmadan ölçüm yapılması durumunu gerçekleştirmektedir. Z Ağırlıklandırma, IEC 61672-1 uluslararası standardında, ses basınç ölçümleri içerisinde tanımlanmıştır.



Tablo 6- Frekansa Göre Ağırlık Katsayıları (Çevresel Gürültü Kılavuzu: 35)

Frekans(Hz)	A AĞIRLIKLI (dB)	B AĞIRLIKLI (dB)	C AĞIRLIKLI (dB)
10	-70,4	-38,2	-14,3
12,5	-63,4	-33,2	-11,2
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3
40	-34,6	-14,2	-2
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3	-0,1
200	-10,9	-2	0
250	-8,6	-1,3	0
315	-6,6	-0,8	0
400	-4,8	-0,5	0
500	-3,2	-0,3	0
630	-1,9	-0,1	0
800	-0,8	0	0
1000	0	0	0
1250	0,6	0	0
1600	1	0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2
2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,3
6300	-0,1	-1,9	-2
8000	-1,1	-2,9	-3
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

3.2.6. Zaman Ağırlıklama

Gürültü ölçüm cihazlarında zaman ağırlıklama metodlarının tarihinin analog tipte gürültü ölçerlerin kullanıldığı döneme dayandığı bilinmektedir. O dönemde kullanılan analog tipte ibreli ekranların marka farklarına göre hareket ve ölçüm değeri gösterim hızları farklılık göstermektedir. Gösterim farklılıklarını en aza indirmek için ibre hareket zamanları ile ilgili çeşitli parametreler oluşturulmuştur. Zaman ağırlıklama o dönemde ölçüm sonuçlarını okuma konusunda standardizasyon getirmeyi amaçlamıştır. Günümüzde zaman ağırlıklama parametreleri “ Hızlı ”, “ Yavaş ” ve “ Darbe ” olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Günümüz gürültü ölçüm cihazlarının çoğu ölçümü gerçekleştirecek kişinin zaman ağırlıklandırma seçimi yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Hızlı, 1 saniyede 8 adet ölçümün kaydının yapıldığı, kısa ve sık aralıklarla değişim gösteren bir ağırlıklandırma biçimidir. Çoğunlukla zaman içerisinde sıklıkla değişim gösteren gürültü biçimlerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. $1/8 = 125$ ms aralıklarla ölçüm alınmaktadır.

Yavaş ağırlıklandırma modunda ise toplam ölçüm içerisinde 1 sn aralıklarla ölçüm kaydı yapmaktadır. Okuma aralıklarının azaltılması ölçümlerin daha kolay görülmesini sağlamaktadır. Sıklıkla anlık değişim verilerine ihtiyaç duyulmayan ortalama gürültü seviyesinin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Darbe tipi ağırlıklandırma genellikle ani ses şiddeti değişimleri gösteren olayların ölçümü için kullanılmaktadır. Patlama, darbe gibi durumların gürültü ölçümlemesi için kullanılmaktadır. 35 mikro saniyede bir ölçüm kaydı yapılmakta ve ani değişim gösteren olaylar kayıt altında tutulmaktadır.

Zaman ağırlıklandırma karakteristikleri gürültü ölçümleme standartları arasında IEC 61672-1: 2002'de açıklanmaktadır.

3.2.7. Ses Sinyalinin Örneklenmesi

Doğadaki ses sinyallerinin analog olması, dijital ortamda ses üzerinde çalışabilmek için belirli gereklilikler oluşturmuştur. Analog bir ses sinyalini dijital bir sinyal haline dönüştürmeden üzerinde işlem yapmak mümkün değildir. Ses sinyali örnekleme yapılabilmesi için belirli kavramların bilinmesi gerekmektedir. Sesin analogtan dijitalle çevrilebilmesi için kullanılan analogtan dijitalle çevirici devre ADC olarak adlandırılmaktadır. Sistemde kullanılan mikrodenetleyici mutlaka bir ADC ile birlikte kullanılmak zorundadır. Aksi takdirde sesin örneklenebilmesi için gerekli olan analogtan dijitalle çevirim işlemi gerçekleştirilemez. Öncelikle ses örnekleme yapılması planlanan ADC hakkında en önemli parametre olan Bit (Binary Digit) değeri, dijital sistemlerde kullanılan en küçük hafıza birimidir. İkilik sayı sisteminden gelir ve hesaplama yaparken 0 ve 1 sayılarını kullanır. ADC'nin sahip olduğu bit değeri, yapabileceği maksimum örnekleme miktarında ana belirleyicidir. ADC'nin sahip olduğu bit değeri örnekleme kapasitesi hesaplanırken ikinin kuvveti olarak bit değeri yazımı ile hesaplanmaktadır. Örneğin 16 bit değerine sahip bir ADC, $2^{16} = 65536$ çözünürlüğe sahiptir. 0-5V gerilim aralığında görev yapan bir ADC için bu aralıkta 65536 adet örnekleme kapasitesi olduğundan bahsedilebilir. Örnekleme kapasitesi arttıkça ses sinyalinin örnekleme çözünürlüğü artacaktır. Öte yandan ses sinyalinin örnekleme işleminde ADC için bir diğer önemli parametre ise KSPS kısaltması ile anılan saniyedeki 1000 adet örnek sayısıdır. Örneğin kullanılacak olan ADC, 10 KSPS değerine sahip ise saniyede 10000 adet örnekleme yapabilmektedir. Ses örnekleme işleminin hangi frekans aralığında yapılacağını belirlemek için Amerikalı elektrik mühendisi Harry Nyquist tarafından bulunmuş olan Nyquist teoremi dijital sinyal işleme alanında örnekleme hızını oluşturmak için gerekli ön koşulu hesaplama konusunda önemli yer taşır. Ses örneklemesinde önemli bir metot olan Nyquist teoremi bir frekans bandından sampling (örnekleme) yapılabilmesi için kullanılması gereken bant genişliğini tanımlar. Bu teoreme göre analog bir ses sinyalinin en az bozulma ile dijital hale çevrilebilmesi için kullanılacak olan en yüksek frekans değerinin iki katı hesaplanmalıdır. Amerikalı elektrik mühendisi Harry Nyquist tarafından bulunmuş olan Nyquist teoremi dijital sinyal işleme alanında örnekleme hızını oluşturmak için gerekli ön koşulu hesaplama konusunda

önemli yer taşır. Doğadaki seslerin tamamının analog olduğunu düşünürsek gürültü ölçümü yapılabilmesi için ölçüm öncesinde mikrofon tarafından alınan analog ses sinyalinin dijital hale getirilmesi gerekmektedir. Ses örneklemesinde önemli bir metot olan Nyquist teoremi bir frekans bandından sampling (örnekleme) yapılabilmesi için kullanılması gereken bant genişliğini tanımlar. Bu teoreme göre analog bir ses sinyalinin en az bozulma ile dijital hale çevrilebilmesi için kullanılacak olan en yüksek frekans değerinin iki katı hesaplanmalıdır. Baştaki örneğe tekrar dönecek olursak 10 KSPS değerindeki ADC'nin $10000/2 = 5000$ Hz değeri Nyquist Teoremi ile hesaplanmaktadır. Özetlemek gerekirse örnekte kullanılması planlanan ADC 0 Hz - 5000 Hz aralığındaki ses sinyallerini doğruluk payı yüksek olarak örnekeleyecek, 5000 Hz ve üzeri frekanslardaki ses sinyallerinde hata payı frekans artışına doğru orantılı olarak artacaktır. Endüstri standartlarının yakalanması için 44 kHz ve üzeri frekans değerine sahip olan ADC seçimi yapılmalıdır. Bu sayede $44000/2=22$ kHz değeri ışığında 0-20 kHz aralığındaki ses sinyalleri analogtan dijitalle çevrilebilecek ve insan kulağının algılayabildiği ses frekansı seviyeleri dahilinde ölçüm yapılabilmesine olanak sağlayacak bir sistem oluşturulabilecektir.

3.2.8. Eşdeğer Sürekli A Ağırlıklı Gürültü Seviyesi ($L_{Aeq,T}$)

Eşdeğer Sürekli A Ağırlıklı Gürültü Seviyesi, dalgalanan gürültüyü ortalama olarak sunmaktadır. İnsan kulağının hangi gürültü seviyelerine ne kadar süre ile dayanacağını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Gürültü ölçümlemesinde çevresel gürültüyü değerlendirmek için önemli bir parametredir. Zaman T olarak adlandırılırsa, T1 ve T2 aralığındaki süre içerisinde oluşan sabit seviyede olmayan gürültünün sabit ve sürekli kısmının değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Logaritmik sistemde hesaplanmaktadır.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right) \quad (6)$$

$P_A(t)$: A ağırlıklı ses basıncı

P_0 : Referans ses basıncı 20 μ Pa

t_1 : Ölçüm başlangıç zamanı

t_2 : Ölçüm bitiş zamanı

T : İntegral zaman aralığı

4.BÖLÜM
AKUSTİK VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE
PROSEDÜRLERİ

4.BÖLÜM:

AKUSTİK VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE PROSEDÜRLERİ

4.1. Gürültü Ölçüm Sistemleri

Gürültü ölçüm sistemleri genel olarak dört temel bileşenden oluşmaktadır.

- Mikrofon - Dönüştürücü: Basınç duyarlı bir diyafram kullanılarak, ses basıncında oluşan değişimleri elektrik akımına dönüştürmek için kullanılır.
- Amplifikatör: Çok küçük elektrik akım sinyallerini yükseltmek için kullanılır.
- A-ağırlıklı şebeke ya da diğer elektronik filtreler: Alınan ve yükseltilecek elektrik sinyallerini analiz için kullanılır.
- Sayaç: Ölçülen ve analiz edilen elektrik sinyallerinin analog veya dijital değerlerini gösterir.

Gürültü ölçümü yapılabilmesi için ölçüme başlamadan önce gürültüye maruz kalan ortam bilgileri toplanır. Gürültünün ölçümleme süresi ile ilgili bir plan hazırlanır. Gürültü ölçüm donanımlarının kontrol edilmesi ve ölçüm cihazının kalibrasyonunun yapılması ile ölçümün ilk hazırlık adımları tamamlanır. Hassas ve doğru bir ölçüm için ölçüm cihazı kalibre edilmelidir.

Tüm hazırlık aşamaları tamamlandığında gürültü ölçümü başlatılır. Ölçüm yapılırken çevresel koşullar göz önünde bulundurulur.

4.2. Gürültü Ölçüm Parametreleri

4.2.1. Ölçüm Noktaları

Ses kaynaklarından yayılan sesler, bir yansıtıcı, yansıtıcı, engelleyici bir yüzey olmadığı koşulda küresel bir biçimde yayılır. Kaynağa yakın geniş yansıtıcı bir yüzey eklendiğinde ses yansıma yüzünden kuvvetlenerek yine küresel biçimde yayılır. Geniş

yansıtıcı yüzeylerin yönelme üzerinde de etkisi vardır. Olabildiğince serbest alan özelliklerine sahip noktalarda ölçüm yapılmalıdır. Bir kaynaktan çıkan gürültünün kısıtlı bir alan için ölçülmesi isteniyorsa, ölçüm noktası alanın en yüksek gürültüye sahip olan yeri olmalıdır. Gürültüye karşı hassasiyeti bulunan her noktada ölçüm yapılamayabilir. Böyle durumlarda alınmış ölçümler, yapılamayanlar hakkında referans olabilmelidir. Bir gürültü kaynağının aynı alanda tekrar değerlendirilmesi durumunda, daha önce ölçüm yapılanlarla aynı noktaların kullanılması ölçümler arasında kıyas yapma fırsatı sağlar. Bütün noktalarda yapılamasa bile en az bir noktada denenip kıyaslama yapılması sağlıklı olacaktır.

Dış mekânda mikrofonu konumlandırırken ölçüm noktaları yansıtıcı yüzeylerden (yer dışındaki) 3,5 m uzakta konumlandırılmalıdır. Alan yetersiz ise yüzeye 1 metrede bulunmalıdır, bu durum 2,5 dB fazlalık yaratır, düzeltilmesi hesaplanmalıdır.

Mikrofon ve zemin arasındaki mesafe yaklaşık 1,5 metre olmalıdır.

İç mekânda mikrofon konumu için ise eşit olarak dağılmış ve aralarında en az 0,7 metre mesafe bulunan en az 3 nokta seçilmelidir. Yüzeylerden en az 0,5 metre ve pencere, hava alma boşluklarından en az 1 metre uzaklıkta bulunmalıdır.

İç alanın boyutu 300 m³'ten büyük ise daha fazla mikrofon ile ölçüm noktası belirlenmeli, alçak frekanslı gürültüler için 1/3'ü köşe noktalarda olmalıdır.

4.2.2. Kaynak Gürültü Ölçümü

Kaynak gürültü ölçümü yapılırken ölçüm süresi, ölçüm türüne, ölçüm konumuna, gürültü türüne, gürültü kaynağına göre değişmektedir.

Ölçümün yapılacağı konum belirlenirken ise aşağıdaki denklemden faydalanılabilir.

$$\frac{h_s+h_r}{r} \geq 0,1 \quad (7)$$

h_0 : Kaynak yüksekliği(m)

h_r : Alıcı yüksekliği (m)

r : Kaynak-alıcı arası mesafe (m)

Eğer hesaplanan değer denklemi sağlamıyorsa, en az 10 dakika ölçüm yapılmalıdır. Karşılanıyorsa, 5 dakikalık ölçümler yeterli olabilmektedir.

4.2.3. Arkaplan (Background) Gürültüsünün Ölçümü

Kaynak gürültü ölçümünde doğru sonuca ulaşabilmek için arkaplan gürültüsünü hesaplamalara katmak gerekmektedir. Arkaplan gürültüsü, ölçüm yapılacak konumda kaynak gürültüsü kaldırıldığında ölçülen ses seviyesidir. Ölçülen ses basınç seviyesi ile arkaplan gürültüsü arasındaki fark 10 dB ya da daha düşük bir değerdeyse herhangi bir düzeltme yapmak gerekli değildir. Bu durumda ölçülen değer kaynak gürültüsü olarak alınır. Aradaki farkın 3-10 dB aralığında olması durumunda ise Şekil 10'da gösterilen denklem uygulanarak saf kaynak gürültüsü hesaplanmalıdır. Arkaplan gürültüsü ile ölçülen ses basınç seviyesi arasındaki fark 3 dB den az ise düzeltme yapılmaması önerilir, ölçüm noktaları değiştirilip ölçümler yenilenmelidir.

$$L_{düzeltmiş} = 10 \log(10^{L_{ölçülmüş}/10} - 10^{L_{arkaplan}/10})dB \quad (8)$$

Kaynağın durdurulamadığı anlarla da karşılaşılabilmekte ve uygun koşulların sağlanabilmesi ile böyle durumlarda da ölçümler yapılabilmektedir.

Gürültü kaynağının susturulamadığı ölçümlerde çevre koşullarının incelenmesinin değerlendirilen gürültü kaynağı bir eğlence mekânı ise önemi artar. Eğlence mekânına, faaliyetin öncesinde, süresince gelen veya oradan ayrılan insanların

ve taşıtlarının sebep olacağı gürültü, arkaplan gürültüsünü değiştirebilmektedir. Bu faktörlerin raporlanması gerekmektedir.

Kaynağın susturulamadığı anlarda, L90 parametresi kullanılabilir. Birçok ülkede L90 değeri, arkaplan gürültüsü olarak hesap edilmektedir. Kaynak gürültüsünün ölçümü L90 değerinden belli seviyede yüksek ise, (Leq değeri ile L90 değeri arasındaki fark 10 dB den daha büyük) L90 değeri arkaplan değeri olarak alınabilir.

4.3. Gürültü Ölçümünde Dikkat Edilmesi Gereken Parametreler

4.3.1 Dış Kaynaklı Gürültüler

Ölçüm yapılan alandaki akustik özelliği yansıtan, gürültüyü temsil etmeyen sesler dış kaynaklı seslerdir. Dış kaynaklı sese bir örnek olarak, ölçüm alanını yol yakını bir alan seçtiğimizde, alanda bulunan araç gürültüsü verilebilir. Ölçüm yapılan alan dış seslere karşı olabildiğince izole edilmiş olmalıdır. Arkaplan gürültüsünün seviyesi ile ölçülen toplam gürültü seviyesi arasında hesaplanan fark en az 10 dB ise kaynağın gürültüsü, ölçülen toplam gürültü seviyesi olarak alınabilir. Aralarında 10 dB den daha az fark olması koşulunda düzeltmeler yapılmalıdır. Yapılacak düzeltmeler tablo 6'da görülebilir.

Tablo 7- Arkaplan gürültüsüne bağlı düzeltme faktörleri

Kaynağın durdurulduğu ve durdurulmadığı koşullarda yapılan ölçümlerde hesaplanan fark	Saf kaynak gürültüsüne ulaşmak için toplam ölçüm değerinden çıkarılması gereken değer
>10 dB(A)	0 (<0.5) dB(A)
9 dB(A)	0.6 dB(A)
8 dB(A)	0.7 dB(A)
7 dB(A)	1 dB(A)
6 dB(A)	1.3 dB(A)
5 dB(A)	1.7 dB(A)
4 dB(A)	2.2 dB(A)
3 dB(A)	3 dB(A)
< 3 dB(A)	Düzeltilme tavsiye edilmemektedir.*

* Ölçülen değerler arasındaki fark 3 dB küçük ise yapılabiliriyorsa farklı noktalardan ölçüm alınmalıdır.

4.3.2. Meteorolojik Koşullar

Meteorolojik faktörlerin dış alandaki gürültüyü arttırıcı bir etkisi vardır. Aynı zamanda iletilen gürültünün alıcıya ulaşımını arttırabilir veya azaltabilir. Bu yüzden ölçümlerde meteorolojik faktörler de göz önünde bulundurulmalı, raporlanmalıdır.

Bu konuda önemli faktörlerden biri rüzgârdır. Rüzgar hızı 5 m/sn'yi geçtiğinde ölçümlerde gürültü yaratabileceği için bu esnada ölçüm yapılmamalıdır. Daha yüksek seviyeli farklı dış gürültüler oluştuğunda rüzgar etkisi hesaba katılmasa bile ölçüm raporlarında belirtilmelidir. Rüzgarın oluşturduğu gürültü seviyesi, ölçüm rüzgar

yönünde yapılıyorsa ölçülen değeri arttırırken tersi yönünde ölçüm bir gölge alanı oluşturur. Rüzgarın ses seviyesine etkisi, büyük mesafelerde, düşük mesafelere (<50m) göre çok daha yüksek olabilmektedir. Rüzgar hızına bağlı olarak aynı yönde ölçüm yapıldığında 2-3 dB artış, farklı yönlerde ise yine hız ve mesafeye bağlı olarak 20 dB ve üzeri bir etki gözlemlenmektedir. Bu yüzden ölçümlerde rüzgar ile aynı yön kullanılır.

Rüzgâr, mikrofona gelen havadan dolayı basınç değişimi ile gürültü oluşturabilir. Ölçüm cihazına bir mikrofon koruma köpüğü (rüzgarlık) eklemek, oluşacak bu gürültüyü önleyecektir.

Sıcaklık değişimlerinin de ses ölçümü üzerinde etkileri bulunmaktadır. Sıcaklığın artışı yer yüzeyindeki gürültüyü arttırmaktadır. Mikrofon ve piller sıcaklıktan en çok etkilenen ses ölçüm cihazlarıdır. Sıcaklığın pil ömrünü etkilemesini önlemek için özel kutular kullanılmaktadır. Çok yüksek ortam sıcaklığı da bazı mikrofonlara zarar vermektedir.

Aşırı nem de mikrofonlarda gürültü oluşturabilmektedir.

Yağış ise dış gürültüyü en çok etkileyen meteorolojik etmenlerdendir. Yağışın oluşturacağı ses, aynı zamanda yaratacağı yüksek nemin cihazların duyarlılığını etkilemesi ihtimali yağışlı havalarda ölçüm yapılmasından kaçınmayı gerektirir.

Bulutlu havalarda düşük hava basıncı etkisi sebebiyle ölçümlerde bu durum raporlanmalıdır. Zemin özelliklerinin de ses ölçümlerinde etkisi olmaktadır. Yumuşak zeminlerde değer azalırken, sert zeminlerde artış görülmektedir. Yağışların da zemine etkisi dikkate alınmalıdır.

4.3.3. Mevcut Gürültü Kaynağının Durumu

Ölçümler sırasında, hava koşullarının gürültüye en az etkisi olduğu durum seçilmeli, ölçümler rüzgar yönünde yapılmalı (rüzgar şiddeti 5 m/s üzerinde ise yapılmamalı), yüzey kuru olmalı, donmuş veya karla kaplanmış olmamalıdır. Her ölçüm öncesi ve sonrasında kalibrasyon yapılmalıdır.

4.4. Mevcut Çok Noktalı Mobil Ölçüm Cihazlarının İncelenmesi

Günümüzde mevcut olan çok noktadan eş zamanlı ve gerçek zamanlı ölçüm yapabilen uluslararası standartlarda üretilmiş cihazlar bu bölümde incelenmiştir. Cihazlar, mobilite, kullanıcı dostluğu ve fonksiyonellik açısından birbirleri arasında farklılık gösterse dahi teknik standartlar açısından hemen hemen aynı işlevleri yerine getirmektedirler. Öncelikle “RION” markasına ait “NOTE” modelinin teknik özelliklerine değinecek olursak, aşağıdaki ölçüm tiplerini analiz edebildiğini görmekteyiz. Analizleri yaparken, IEC 61272-1:2013, IEC 61620 Class 1, ANSI S1.11 Class 1, JIS C 1513 Class 1, JIS C 1514 Class 1 standartlarına göre sistem işleyişi yürüttüğünü görmekteyiz.

- FFT Analizi
- Oktav Bant Analizi
- A, C ve Z Frekans Ağırlıklı Filtre Analizi
- NC Eğrisi fonksiyonu
- LAeq, Lmax, Lmin, Le, Ln hesaplama ve gerçek zamanlı gösterimi
- Ses Dalgası analizi
- Harici DC sensör analizi (Takometre, Termometre, Vibrasyon Ölçer)

Tüm bu teknik analizleri gerçekleştirirken mevcut tek noktadan ve çok noktadan ölçüm yapabilen ses seviye ölçerlerden ayrıldığı bazı noktalar mevcuttur. FFT analizi işlemini yaparken, 2 veya 4 kanal için eş zamanlı olarak power spectrum, cross spectrum, transfer function, coherence sinyal analizlerini yapabilmektedir. Ayrıca yine 4 kanal için eş zamanlı olarak frekans bandı içerisinde integral, türev ve seviye hesaplamalarını yapabilmektedir. FFT analizi için mikrofondan alınan analog sinyalin oluşturduğu dalga formulu FFT analizinde kullanıldığı şeklinde hafızada her kanal için ayrı ayrı saklanır ve tekrar analiz yapılması için kullanıma olanağı sağlar. Oktav band analizinde ise 4 kanal için ayrı ayrı A, C, ve Z ağırlıklı filtreleme seçimini yapma işlevini kullanıcıya

sunmaktadır. Zaman ağırlıklı filtreleme açısında da 4 farklı zaman seçeneğini kullanıcıya değiştirme seçeneği sunmaktadır. Sistemin en çok öne çıkan kısmı ölçüm analizi aşamasındaki doğruluk payını arttırmak adına eklenmiş özellikler olarak görülmektedir. Ölçülen veriyi saklamak adına 32 GB'a kadar yükseltilebilirken bir SD Kart girişi bulunmaktadır. SD Kart depolama özelliği birçok alanda kullanılabilir. FFT Analizi, Ses Dalga Formu Analizi, Ses Seviye Ölçümü verileri depolanmakta ve yine RION markasına ait bilgisayar için geliştirilmiş analiz programında detaylı analiz çalışmalarına aktarılabilir. Yine Microsoft Excel programına da ölçüm verileri aktarılabilir. Öte yandan, Mikrofon ve Vibrasyon Ölçüm Sensörü kalibrasyon değerleri de SD Kart üzerine yüklenebilmekte ve diğer RION NOTE cihazlarına yüklenip aynı kalibrasyon değerlerinde çalışabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede, ölçüm doğruluğu ve kalibrasyon farklılıklarına yol açan etmenler ortadan kaldırılmaktadır. Gürültü ölçümlemesinde, dikkat edilmesi gereken durumlardan bir tanesi de ölçüm esnasında cihazın ortam koşullarından ve ölçüm yapan kişiden kaynaklanabilecek sorunlardır. Bunlara tek noktadan ölçüm yapılırken, ses seviye ölçüm cihazının elde tutulması veya sabitleme ayağı üzerindeki hareketinden oluşabilecek yanıltıcı gürültüler, çok noktadan ölçüm yapılması esnasında ise, mikrofonun ölçüm cihazı ile bağlantı kurduğu kablo tarafından oluşabilecek teknik sorunlar göze çarpmaktadır. Bu tip sorunların önüne geçmek için, RION NOTE kablosuz mikrofon bağlantısı teknolojisini kullanmaktadır. Buna ilave olarak, amplifikatör de ses ölçüm ünitesinden fiziksel olarak ayrılabilir ve ölçüm gerekliliği için istenen noktada konumlandırılabilir.

Kullanıcıya birçok fayda sağlayan RION NOTE, kulak içi mikrofon bağlanabilme özelliği ile, ölçüm esnasında, ölçüm mikrofonlarından gelen sesi eş zamanlı olarak ölçüm yapan kişiye sunmaktadır. Bu sayede, ölçüm yapan kişi, ölçüm alanına uzak dahi olsa, gürültü hakkında fikir sahibi olabilmekte ve cihazın sahip olduğu ekranda ses dalga formunun gerekli gördüğü bölümü üzerine yazılı ve sesli notlar alabilmektedir.

RION NOTE modelini elektronik açıdan incelediğimizde, 51,4 KHz değerinde ses örnekleme yapabildiğini ve maksimum 20KHZ değerine kadar frekans bandını okuyabilmekte olduğunu görmekteyiz. 24 Bit değerinde bir ADC'ye sahip olması

yönüyle hesaplarsak, $2^{24} = 16.777.216$ değerini bulmaktayız. Buradan, gelen analog sinyal verisinin çok detaylı şekilde incelendiğini saptayabilmekteyiz.

Yine, RION NOTE ile teknik açıdan benzer uluslararası standartlara sahip olan SVANTEK 958 4 Kanallı Ses Seviye Ölçer, çok noktalı mobil ölçüm cihazlarına güncel bir örnektir. Yukarıda RION NOTE modeli için belirtilen analizlerin tamamını SVANTEK 958 modeli de gerçekleştirmektedir. Mikrofon ve vibrasyon ölçer kalibrasyonu için kalibrasyon değerleri mikrofon ve vibrasyon ölçer üzerinde saklanabilmekte, mikrofon veya vibrasyon ölçer, ölçüm cihazına bağlantı yapıldığında otomatik olarak kalibrasyon değerleri ölçüm cihazına yüklenmektedir. Cihazlar arasındaki mobilite farklarına değinecek olursak, SVANTEK 958'de kablosuz mikrofon özelliği bulunmamaktadır. Ayrıca, amplifikatör ve mikrofon bağlantı istasyonu ölçüm cihazı ile birleşik yapıdadır. Özellikle dış mekan ölçümlerinde RION NOTE, SVANTEK 958 modeline göre avantajlar sağlamaktadır. SVANTEK 958 modeli hafıza depolama işlemini ise USB Bellek ile çözümlemektedir. Bu sayede, ölçüm verileri bilgisayara aktarılabilmektedir.

SVANTEK 958 modeli, elektronik donanım açısından incelendiğinde, 20 Bit değerinde ADC'ye sahip olduğunu görmekteyiz. Endüstri standartlarını sağlamak için Bit değerine sahip olan ADC kullanımı yüksek önem taşımaktadır. Örnekleme kapasitesi olarak baktığımızda ise 48 KHz değerine sahiptir. Değerden anlaşılabileceği üzere, Nyquist teoremine göre $48/2 : 24$ KHz frekans değerinde örnekleme yapacağı anlaşılabilecektir. İnsan kulağının algılayabileceği tüm frekans aralıklarında ölçüm yapabildiğini görmekteyiz. Teknik açıdan 0 Hz-24KHz aralığında ölçüm yapabilmesine izin veren bu değer, firmanın verdiği veriler sonucunda 0,5 Hz - 22,4 KHz aralığında, formül üzerinden hesaplanan verilere benzer şekilde ve minimum kayıpla gürültü ölçümleme işlemini gerçekleştirmektedir.

5.BÖLÜM

ÇOK NOKTALI VE MOBİL ÖLÇÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

5.BÖLÜM:

ÇOK NOKTALI VE MOBİL ÖLÇÜM SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

5.1. Sistem Kapasitesi ve Modelleme Yöntemi

Model, dört adet ses seviye ölçerinin eş zamanlı çalışması ile gerçekleştirilmektedir. Modelde, 4 adet ARDUINO UNO R3 (AU) geliştirme kartı gürültü ölçümlemesi yapmak için eş zamanlı çalışmaktadır. Gürültü ölçümü yapan dört adet AU'dan her birine seri haberleşme protokolü ile bağlantı yapılmış olan bir adet AU bulunmaktadır. Gürültü ölçüm verilerini depolamak için ise Micro SD Kart Modülü ve içerisinde 8 GB kapasiteye sahip MicroSD hafıza kartı kullanılmıştır. Yapılmakta olan bu depolama işlemine teknik olarak “Data Logging”, işlemi yapan sisteme ise “Data Logger” adı verilmektedir. Gürültü Ölçümü için çalışan AU'ya sinyal girişi 3,5 mm dişi tip TS konektör yardımı ile yapılmıştır. Tasarlanan modele aynı anda 4 farklı ölçüm noktasından toplanan ses sinyallerinin girişleri bağımsız olarak yapılabilmektedir. Dört bağımsız mikro denetleyici, eş zamanlı başlatılan sistemde dört farklı nokta için eş zamanlı gürültü ölçümlemesinin yapılmasını olanaklı hale getirir.

AU geliştirme kartları asenkron seri haberleşme protokolü (UART) ile çalışan, 16 MHz saat hızında, 6 analog girişli ATMEGA328P mikro denetleyicisine (EEPROM) sahiptir.

Analog sinyallerin dijital sinyale dönüştürebilmesi için AU geliştirme kartı üzerinde 10 bit çözünürlükte ADC (Analog to Digital Converter) işlemcisi hazır bulunmaktadır. 10 bitlik çözünürlük, 0 ile 1023 (2^{10}) değerleri arasında 1024 basamaklı bir hassasiyeti temsil etmektedir. AU'ya operasyon voltajı için 5 VDC uygulanması önerilir. ADC 0 ile 5V arasındaki giriş gerilimlerini 0 ile 1023 tam sayı değerleri arasındaki karşılıkları ile eşleştirmektedir. Bu çözünürlük kartın toplam çalışma gerilimine göre, algılanabilecek en küçük voltaj değerini de belirler. Böylece okunabilecek her bit değerinin alacağı gerilim, $5V/2^{10} = 4,9 \text{ mV}$ olarak hesaplanacaktır. Yani AU kartı, analog sinyali dijitalle çevirirken girişe uygulanan balanssız sinyal voltaj

adımları arasında ortalama 4,9 mV seviyesinde değişim duyarlılığına sahiptir. [Ses sinyallerinin sayısal dönüşümü için en az 16 bit (tercihen 24 bit) işlemce derinliğine sahip olunması (Bölüm 3.2.6) gerektiği dikkate alınacak olursa, 4,9 V değerine sahip bir kartın standartlara uygun ölçümler için yetersiz kalacağı açıktır. Kullanılacak devrenin voltaj değişimlerine karşı balanssız sinyal hassasiyetinin en az $5V/2^{16} = 76,3 \mu V$ seviyelerinde bulunması gerektiği bilinmektedir.]

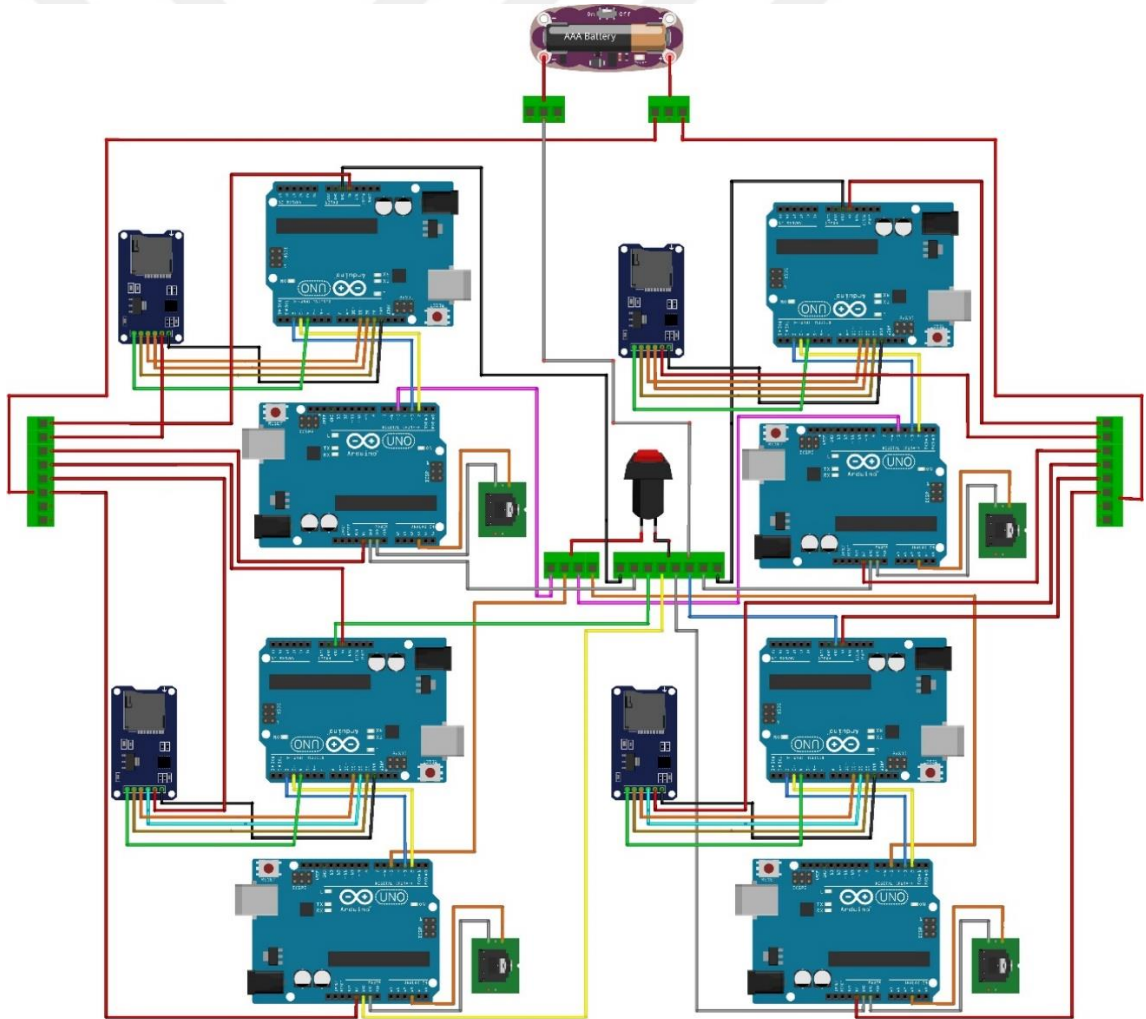
Standartlar ses ölçüm cihazlarının S, F ve I tipi zaman filtreleri kullanması gerektiğini bildirir. Anımsanacağı üzere bu filtreler girdilerin zaman alanındaki (time domain) bölümlenmelerinin bir ifadesi olup tau (τ) ile gösterilir. Model ölçüm adımlarını mevcut hızıyla 8 ms olarak gerçekleştirmektedir. Yani AU kartı ile ölçüm sonuçları S ,F ve I modlarında izlenebilecek hıza sahiptir,. Impulse ölçüm değerlendirmeleri için en az 33 MHz (tercihen 66 MHz) saat hızına ihtiyaç bulunmaktadır.

IEC 61672:2003 Standardına göre ölçüm cihazları A, C ve Z tipi frekans filtrelerine uygun çalışmalıdır. Bu filtre bilindiği üzere frekans alanındaki (frequency domain) bileşenlerin değerlerinin bir ifadesi olup, Hz ile ifade edilmektedir. Bu projede sadece Z ve A ağırlıklı filtre algoritmaları kullanmış, insan kulağının algılama modeline uygun çalışma ile “A Ağırlıklı Ses Basınç Seviyeleri (dB_A) ve zamana bağlı eşdeğer karşılıklarının (L_{Aeq}) hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Hızlı Fourier Dönüşümü ile 63Hz-8kHz 1/3 Oktav Bant frekanslarındaki band basınç değerleri hesaplanmış ve A filtre düzeltme faktörü ile hesaplanmış değerler kullanılmıştır. 1/3 oktav aralıkta her frekans değerleri için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Kart girişine uygulanan analog voltaj değişimleri, yükseltilerek ve dijital verilere çevrilerek ölçme/değerlendirme işlemine tabi tutulur. A Ağırlıklı filtre uygulaması donanımsal değildir; A Ağırlıklı Filtre parametreleri karta yüklenen yazılım algoritmaları yardımıyla uygulanır.

Modelin ilk bölümünü, mikrofon girişine uygulanan voltajın (bu projede sinyal kaynağı olarak dijital sinyal jeneratörü kullanılmıştır) analogdan dijitalle çevrilme işlemi oluşturur. Bunu FFT analizleri ve girdi verilerine aritmetik işlem algoritmalarının uygulanması izler. Toplanan veriler hesaplandıktan sonra sonuçları LCD ekran üzerinden kullanıcıya ekranlanır. Zaman ağırlıklı sonuçlar anlık, zaman ortalamalı sonuçlar ise

hesaplamalar sonucunda görünür hale getirilir. Micro SD kart üzerine tüm RAW verileri gelecekte yeniden değerlendirilebilmesi, farklı analizlerde kullanılabilmesi için depolanmaktadır. Bu işlem modelin tek noktadan komut verilerek dört adet analog sinyali aynı anda gürültü ölçümleme işlemine başlatıp, L_{Aeq} değerini hesaplamasını ve hesaplanan değerlerin gerçek zamanlı gösterilmesini sağlamaktadır.

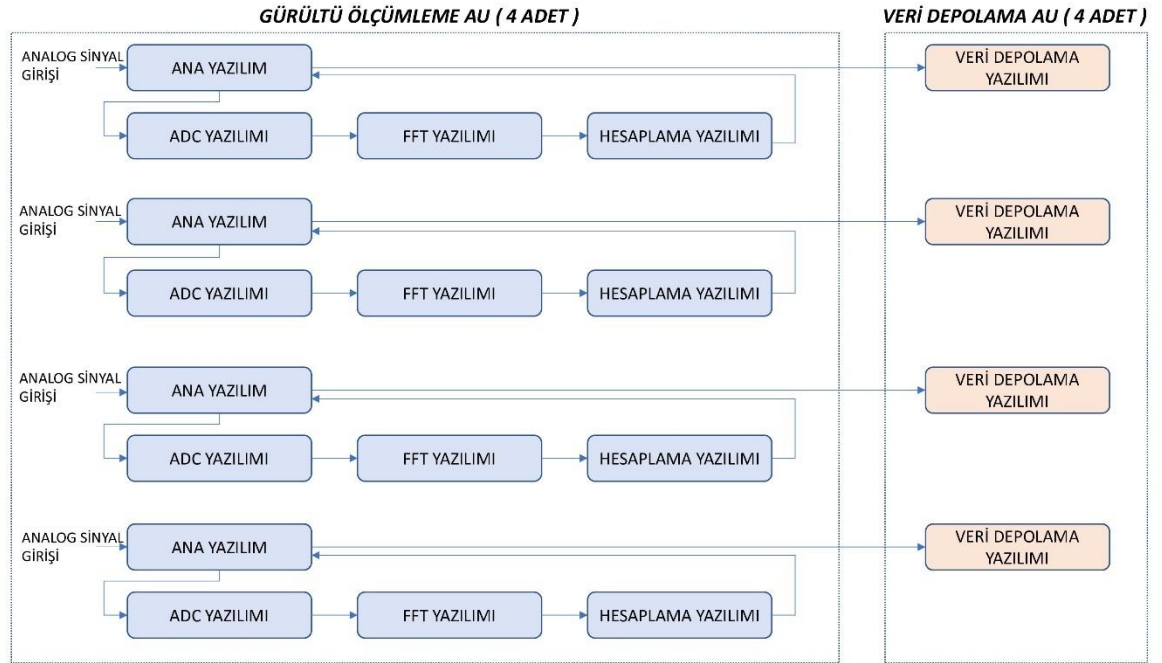
Model mobil özellikte olacağı için, taşınabilir bataryaya sahip olması gerekmektedir. Tüm sistemin beslenmesi 5000 mAH kapasiteye ve 5V çıkış gerilimine sahip taşınabilir batarya ile sağlanır. Batarya küçük bir devre yardımı ile ve Mikro USB tipi giriş sayesinde kolaylıkla şarj edilebilmektedir.



Şekil 2- Model Devre Prensip Şeması

5.2. Yazılımın Mimarisi

Sistem, AU içine yüklenmiş olan birden fazla yazılım paketinin birleşiminden oluşmaktadır. Yazılım paketinin altyapısını Davide Gironi'ye ait "Arduino Spl Meter Arduino" yazılımı oluşturmaktadır. Yazılım üzerinde birçok değişiklik yapılmış ve çok noktadan mobil ölçüm sistemi gereksinimlerine göre düzenlenmiş ve farklı yazılım paketleri ile desteklenmiştir. Yazılım paketinde işlemler farklı programlarda test edip uygulanarak ana yazılıma çağırılmak suretiyle gürültü ölçümlemesinin tamamlanması sağlanmıştır. Yazılım paketi Analogdan Dijitale Çevirim Yazılımı, FFT Yazılımı, Gürültü Ölçme/değerlendirme Yazılımı ve Ana Yazılım başlıkları altında dört yazılım ile görev yapmaktadır. Ana yazılım, diğer 4 yazılımı komut sisteminde çağırarak işlemlerin yaptırılmasını sağlamanın yanı sıra 4 adet mikro denetleyicinin eş zamanlı olarak ölçüm işlemine başlaması için komutu işleme sokan bir dizi algoritmadır. Ayrıca gürültü ölçümlemesi yazılımları ile elde edilen değerler yine ana yazılım içerisinde SD Kart aktarımı için kullanılmaktadır. Ana yazılımın yüklü olduğu AU, veri depolama görevi için hazırlanmış ikinci AU ile seri haberleşme protokolü üzerinden yazılım aracılığıyla bağlantı kurmaktadır; ölçüm yapılan verileri diğer AU'ya göndermektedir. Veri depolama görevi yapan AU ise ölçüm verilerini SD Kart Modülüne yükleme görevini yerine getirmektedir. Tek kanallı bir ölçme cihazı için iki adet işlemci ve bağımsız geliştirme kartı kullanmak ölçme ve depolama işlevlerine hizmet edecek şekilde olup çözümü kolaylaştırmayı sağlar.

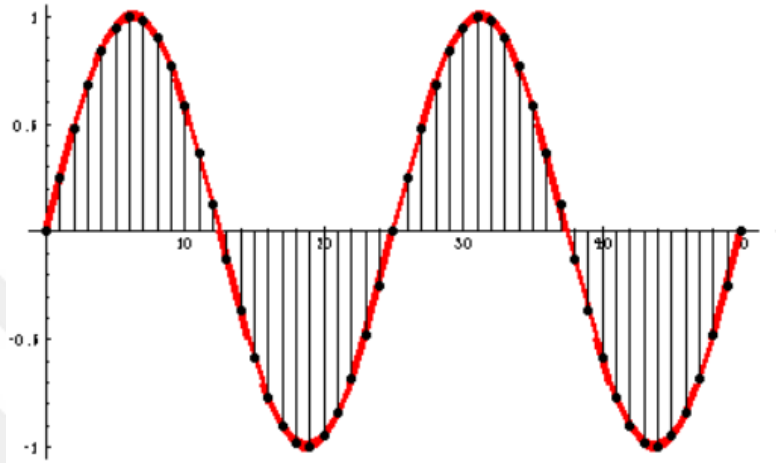


Şekil 3- Yazılım Akış Şeması

5.2.1. ADC Yazılım Paketi (Analog To Digital Converter)

Girdi verilerinin mikro denetleyici içerisinde işlenebilmesi için dijital formda olması gerekmektedir. Ses sinyalleri analog sinyallerdir. Bu nedenle analog olarak gelen veri öncelikle analogdan dijitale çevrilir. AU üzerinde 6 adet analog girişi mevcuttur. Bu girişler A0, A1, A2, A3, A4, A5 isimleriyle kart üzerinde tanımlanmışlardır. Mikrofon, analog girişe model üzerinde bulunan ses giriş bölümü sayesinde bağlantı yapılmaktadır. Yazılımda ise hangi analog giriş kullanıldı ise o girişin adı program içerisinde belirtilmelidir. Aksi takdirde yazılım hangi girişten çevirim yapacağını algılayamayacaktır. Modele ait yazılımda A3 olarak adlandırılmış olan analog giriş kullanılmıştır. Yazılım aşamasında model, AU üzerindeki 10 Bit değerindeki ADC bölümünü kullanarak analogdan dijitale çevrim işlemini gerçekleştirir. ADC kod dizilişinde öncelikle çalışması istenilen ATMEGA 328P mikro denetleyicisi tanımlanır.

Bu sayede, mikro denetleyiciye ait ADC işleminde bir analog sinyal dijital veriye çevrilirken belirlenen zaman dilimlerinde de örnekleme yapılmaktadır. Şekil 13'de sinüs sinyali üzerindeki noktaların her biri örnekleme zamanlamasının grafik üzerinde gösterimine teorik bir örnektir.



Şekil 4- Ses Örneklemesinde Zaman Kavramının Gösterimi

Yazılım içerisinde ADC işlemini yapmak amacıyla prescaler olarak adlandırılan bölücüler kullanılmaktadır. ADC zamanlamasında 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 prescaler değerlerini kullanarak zamanlayıcı ayarlarını yapmakta ve ADC sayaç saat frekansını ölçekleme olayını gerçekleştirilmektedir.

5.2.2. FFT Yazılım Paketi (Fast Fourier Transform)

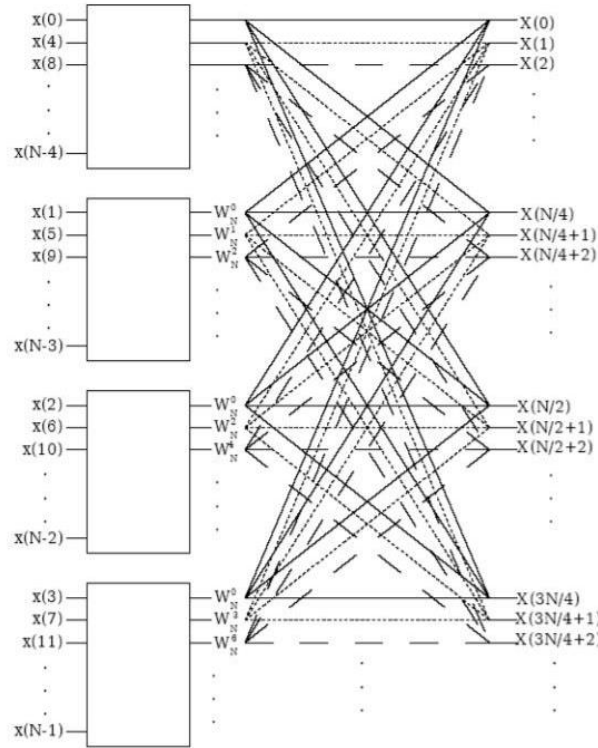
Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) yazılımında öncelikle ATMEGA 328 P mikro denetleyici tanımlanmaktadır. Hızlı Fourier dönüşümü ile giriş sinyallerine ait frekansların ölçülebilmesi sağlanır ve sinyal işleme gerçekleştirilir. FFT temel olarak N adet $x(n)$ veri serisini N adet $X(k)$ serisine çevirmektedir. Yapılan işlem aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad (9)$$

W_N (faz faktörü) değeri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$W_N = e^{-j2\pi / N} \quad (10)$$

Yazılımda, Anatoly Kuzmenko tarafından yazılmış olan Radix 4 FFT tipi kullanılmıştır. Radix 4 FFT, işlemi parçala ve hesapla tekniğine dayanmaktadır. Aynı zamanda bu yöntem Cooley-Tukey yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Bu sistem N sayısını 4'e eşit şekilde sınırlamaktadır. Bu sınırlama sistemin problemi her seferinde dört eşit parça bölmesinden dolayı oluşmaktadır. Hesaplama çıkan sonuçlar ufaltılmış sonuçların tekrar kullanımı sayesinde yürütülmektedir. Bu sayede işlem basitleştirilmiş hale gelmekte ve hesaplama hızını arttırmak amaçlanmıştır.



Şekil 5- Radix-4 FFT İşlem Yapısı

5.2.3. Hesaplama Yazılım Paketi

Yazılımın bu bölümünde RMS değerler üzerinde A Ağırlıklı Filtreleme, dB SPL ve LAeq (dBA) hesaplamaları uygulanmaktadır. Öncelikle Timer kodları tanımlanır. Bu program için 13 Clock değeri alır ve 1 Mhz içinde en iyi çalışma performansı belirlenir. ADC'den gelen veriler burada hesaplanmadan önce, kesme (interrupt) tanımları ve zaman ayarlamaları yapılır. Kesme, yazılımda önem sırasına göre bir görevin yapılabilmesi için kesilmesine izin veren bir kod dizisi olup işlem hızının arttırılmasını sağlayan bir yazılım tekniğidir. Ardından TCCR1A ve TCCR1B zamanlamaları tanımlanır ve ADC yazılım paketinden gelen sinyal işleme alınır. Öncelikle FFT yazılımı, bu yazılımda kütüphane türünde kullanılmakta ve yazılım içerisinde çağırılarak sinyali dönüşüm işlemine sokulduktan sonra ilgili formüle uygular. Ardından, hesaplanan değer zaman ağırlıklama işlemlerine sokulur. Zaman ağırlıklama hızlı ve yavaş olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Sonrasında RMS değeri, SPL formülüne uygulanır ve dB SPL hesaplanır.

Bulunan dB SPL değeri, A Ağırlık Filtre parametreleri ile düzenlenerek L_{Aeq} değeri hesaplanır.

5.2.4. Ana (Kontrol) Yazılım Paketi

Ana yazılım, bütün fonksiyon yazılımlarını çağıran ve tek bir başlık altında kullanımını sağlayan yazılımdır. Ayrıca dört adet mikro denetleyicinin ölçüm yapan kişi tarafından bir buton yardımı ile oluşturduğu fiziksel komutu alarak eş zamanlı ölçümü başlatması işleminin yapıldığı yazılımdır. Buradaki kodlar AU'ya özel yazılım programı yardımı ile yazılmıştır. Aşağıda bulunan yazılımları ayrı ayrı çağırarak ölçüm verilerini dB cinsinden sisteme bağlı olan LCD ekrana yazdırma işlemini yapar. SD Kart üzerine ölçülen verilerin depolanması için gereken komutları da barındırır.

- Sesin Analogdan Dijitale Çevrilmesi
- Kod dizisi ile FFT işlemine tabi tutulması
- Gürültü Ölçüm Hesaplama Bölümü
- Ölçüm verilerinin gerçek zamanlı olarak SD Kart üzerine depolanması

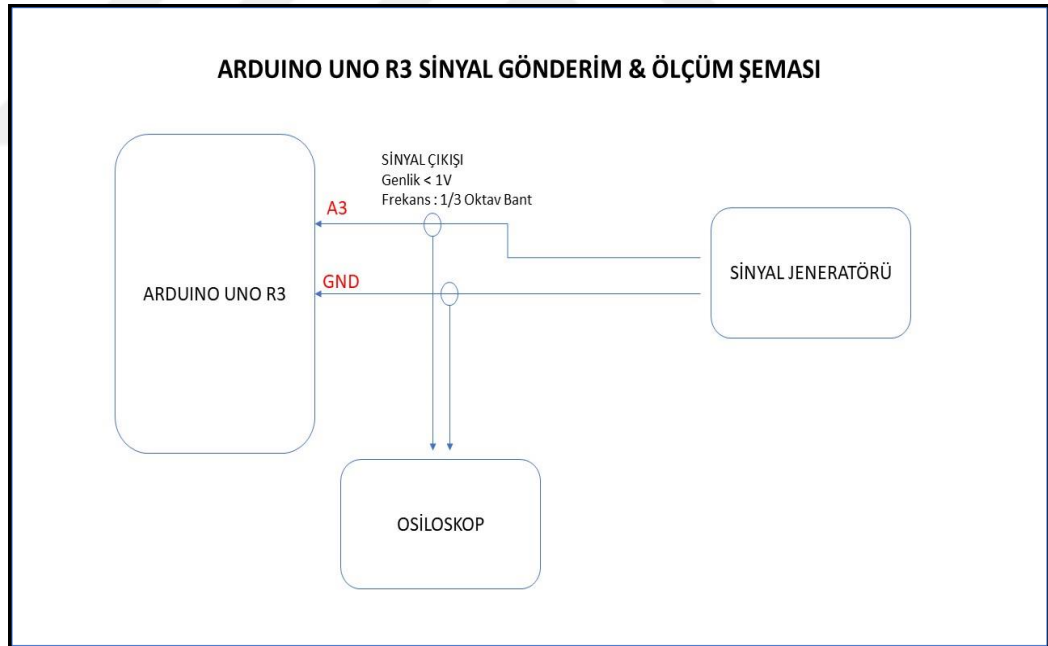
5.2.5. Seri Haberleşme Protokolü ve Veri Depolama

Evrensel Asenkron Alıcı Verici Sistemi (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) olarak adlandırılan UART, mikrodenetleyicinin; çevre ara birimleri ile iletişimini sağlar. Seri Haberleşme Protokolü kullanımında aktarım hızı, veri hızı gibi parametreler yazılım içerisinde yapılandırılmaktadır. Bu sayede UART evrensellik niteliğini kazanmaktadır. UART mikrodenetleyici üzerine veya harici olarak adapte edilen seri haberleşme cihazı olarak da düşünülebilir. Asenkron olarak çalıştığı için herhangi bir saat ihtiyacı duymamaktadır. Asenkron iletim, göndericide ve alıcıda ayrı saat işaretleri kullanılan seri iletim türüdür. Senkron haberleşme protokollerinin aksine alıcı ve gönderici tarafından ya da merkezi bir birim tarafından belirlenmiş bir saat değerine sahip değildir. İletilen her veri bloğu bitler çerçevesi içerisinde gönderilmektedir. Gönderilecek veri, 7 ya da 8 bit değerinden oluşan ve karakter adı

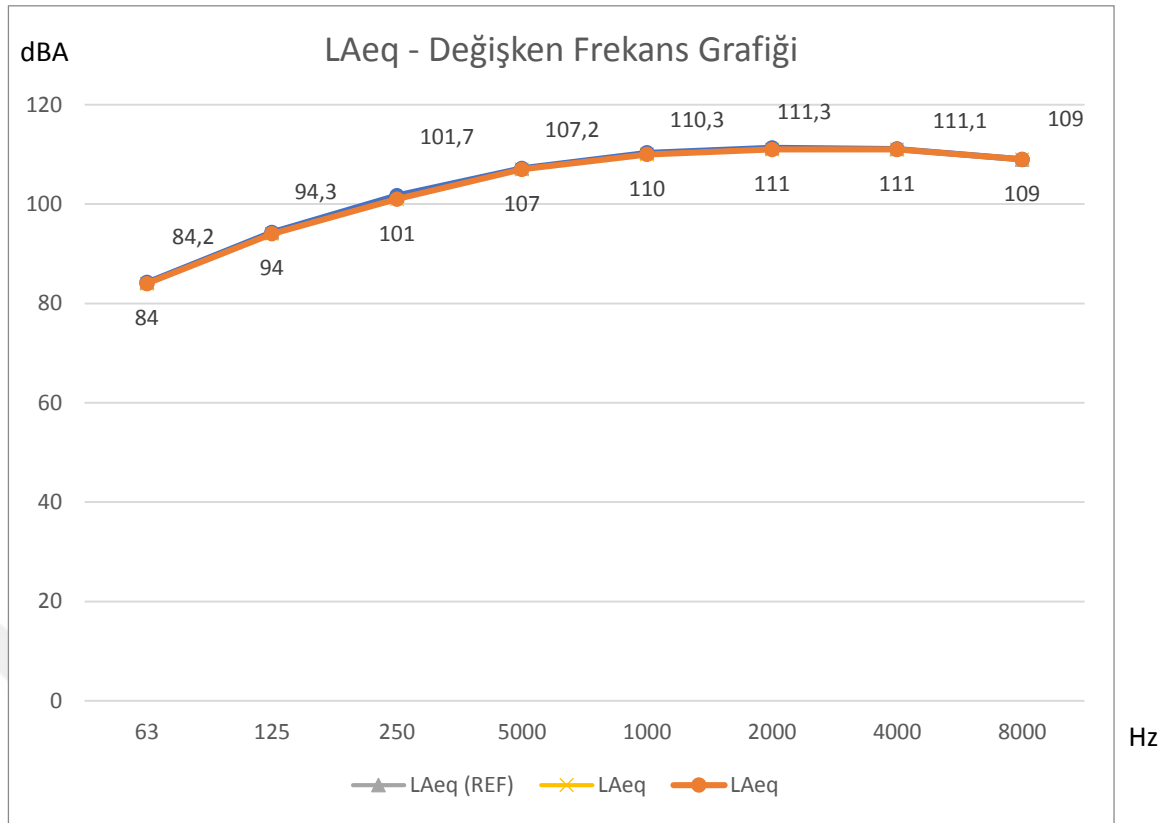
verilen bloklara ayrılmaktadır. Karakterin başına bir adet başla biti, sonuna ise bir dur biti eklenir. Alıcı, her karakter başlangıcında başla bitini algılayarak kendi saat darbelerini göndericinin saat darbeleriyle eş zamanlı duruma getirir. Eş zamanlama işlemi her karakter için yenilendiğinden, alıcıdaki saat darbelerinin kayması nedeniyle oluşabilecek hatalar önlenmiş olacaktır. UART, tasarladığımız sistemde, model üzerinde etkin halde AU kartları arasında veri aktarımı amacıyla kullanılmaktadır. Gürültü Ölçümleme yazılımına sahip AU ile SD Kartta veri depolamasını sağlayan AU arasında, UART ile veri alışverişi sağlanmaktadır. Gürültü Ölçümleme görevine sahip AU verici konumunda, SD Kart Depolama görevi yapan AU ise alıcı konumunda çalışmaktadır. Modelde, Software Serial tipi, yazılım tabanlı seri haberleşme sistemi kullanılmıştır. Gürültü ölçüm yazılımına entegre etmek amacıyla AU Ide kütüphaneleri içerisinde Software Serial kütüphanesi, alıcı ve verici AU içerisindeki yazılımlarda tanımlanmıştır. AU kartına ait, yazılımda tanımlanarak iki dijital çıkış pini kullanılmış, bu pinler üzerinden seri haberleşme sağlanmıştır. Yazılım üzerinde, baudrate olarak adlandırılan veri taşıma hızı belirlenmelidir. Verici yazılımı, hesaplanan gürültü ölçümleme verisini her hesaplama adımında, alıcı AU'ya göndermektedir. Alıcı AU, seri haberleşme protokolü ile gelen veriyi içerisindeki yazılım aracılığıyla SD Kart Modülü'ne göndermekte ve veri depolama işlemini gerçekleştirmektedir. SD Kart Modülü sistemde Data Logger görevini yerine getirmektedir. Bu işlemi gerçekleştirirken sistem bağlantılarını kontrol etmekte sonraki adımda SD Kart içerisine RAW tipi veri gönderebilmek için bir text dosyası oluşturmaktadır. Ölçüm işlemi verileri, oluşturulan text dosyası içerisine ölçüm döngüsü esnasında işlenmektedir. Bu işlem her döngü için ortalama 8ms süre içerisinde gerçekleşmektedir. Ölçüm kayıt süresi 300 saniye olarak belirlenmiştir. Alıcı ve vericiye ait her iki yazılımda da anlık işlem döngüsünün elektriksel olarak izlenebilmesi için AU kartları üzerinde birer dijital pin tanımlanmıştır. Bu pinler üzerinden osiloskop bağlantısı aracılığıyla alıcı ve verici işlem süreleri gürültü ölçümlemesi ve veri aktarımı süreci ile eş zamanlı olarak sinyal iletim yapısı itibariyle ayrı ayrı izlenebilmektedir.

5.3. Ölçüm Sinyal Gönderimi ve Test Edilmesi

Modelin ölçüm yapabilmesi için analog sinyal girişi yapılmaktadır. Gürültü ölçüm cihazının ölçüm için ses sinyali girişi alması ve aldığı veriyi işleme sokması gerekmektedir. Test koşullarının yaratılabilmesi için mikrofon verilerini kontrollü olarak simüle etmek gerekmektedir. Bu sayede test koşullarını iyileştirmek, analog sinyal girişinde oluşabilecek sinyal dışındaki faktörleri minimuma indirmek hedeflenmiştir. Bu amaçla mikrodenetleyiciye sabit genlikte analog sinyal göndermek için dijital sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Dijital sinyal jeneratörü üzerinden sabit genlikte 1/3 oktav bantlarında 63 Hz – 8000 Hz aralığında frekanslar devrenin analog girişinden gönderilmiştir. Gönderilen sinyalin doğruluğu Osiloskop kullanılarak 1/3 oktav bandındaki her frekans için ayrı ayrı sabit genlik üzerinden değerlendirme yapılarak kontrol edilmiştir.

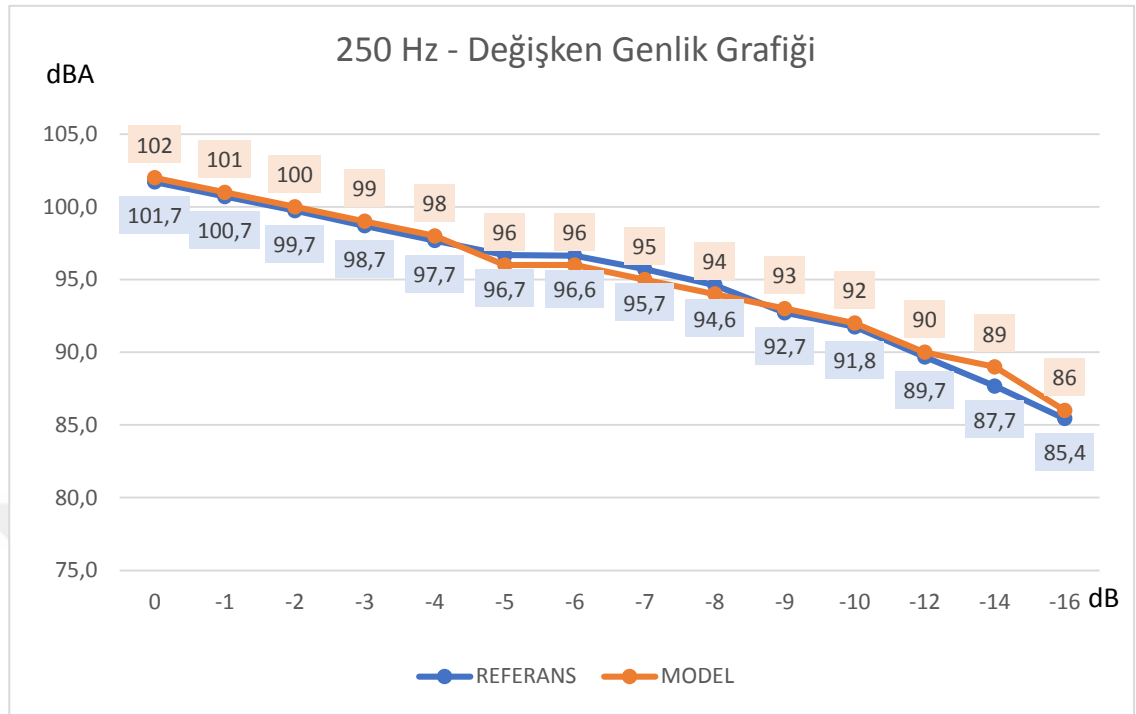


Şekil 6- ARDUINO UNO R3 Geliştirme Kartı Üzerinden, Sinyal Jeneratörü ile Sinyal Gönderilmesi ve Osiloskop ile Sinyal Ölçüm İşleminin Bağlantı Detayları

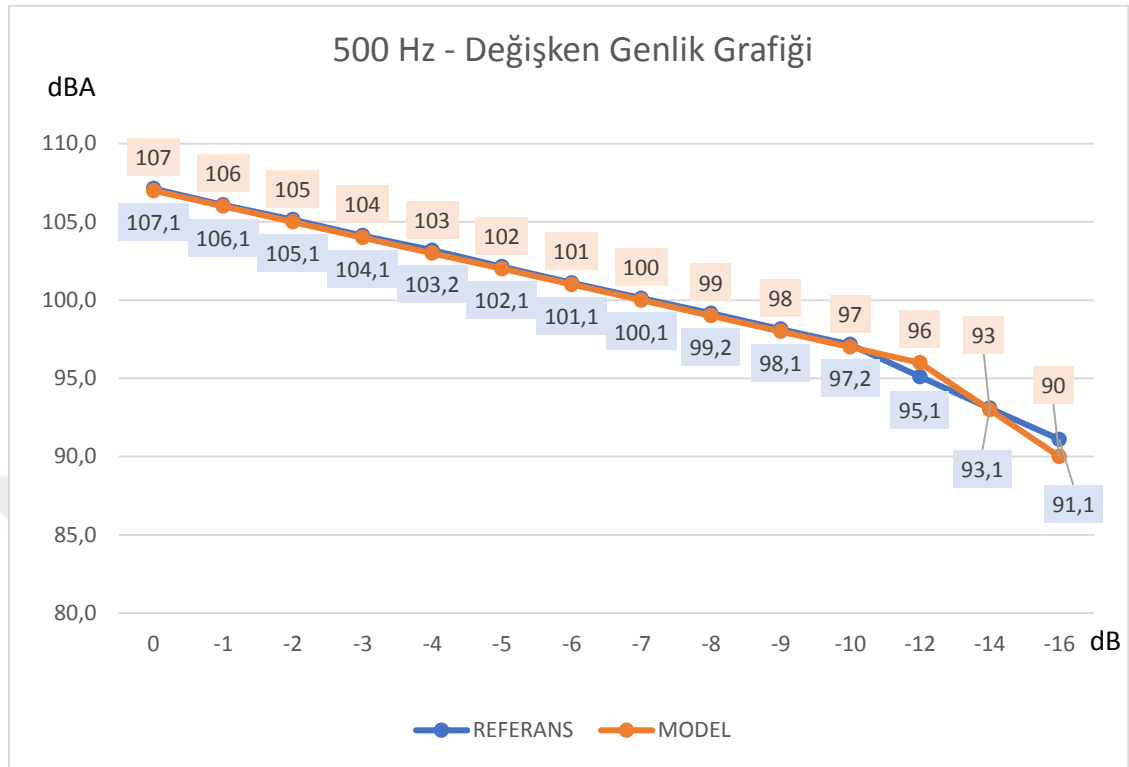


Şekil 7- Modele Ait Sabit Genlikte 63 Hz – 8 KHz Frekans Aralığında 1/3 Oktav Bant Değerlerinde Ölçüm Sonuç Grafiği

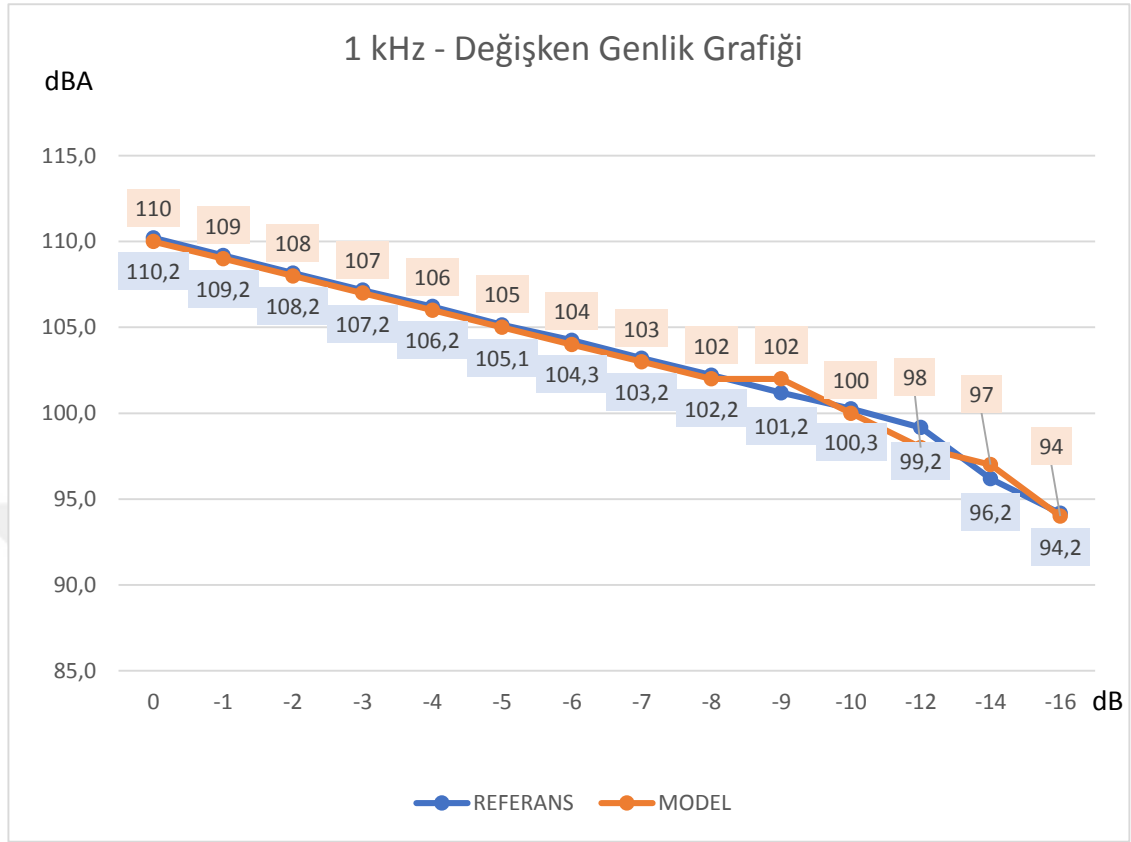
Yazılımsal ve elektronik açıdan oluşturulan model, farklı frekanslarda ve genliklerde test edilmiştir. Dijital sinyal jeneratörü ile oluşturulan çeşitli frekanslardaki sinyaller model üzerinde yer alan 3,5 mm dişi tip TS konektörler ile modele iletilmiştir. Endüstri standartlarına sahip gürültü ölçüm cihazlarına ait verilerle kıyaslanmış ve ölçüm doğruluğu oranı gözlemlenmiştir. Birçok ölçüm verisi elde edilmiş, ölçüm verilerinin doğruluğu için yazılımsal ve donanımsal iyileştirmeler yapılmıştır.



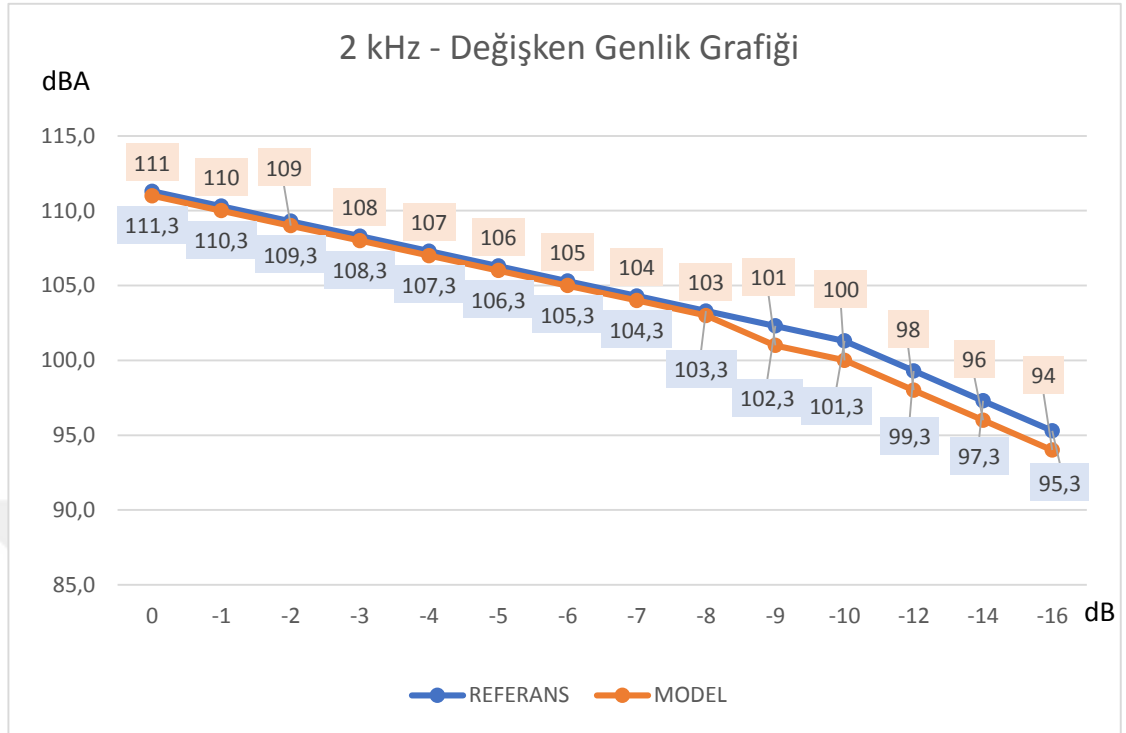
Şekil 8- 250 Hz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik



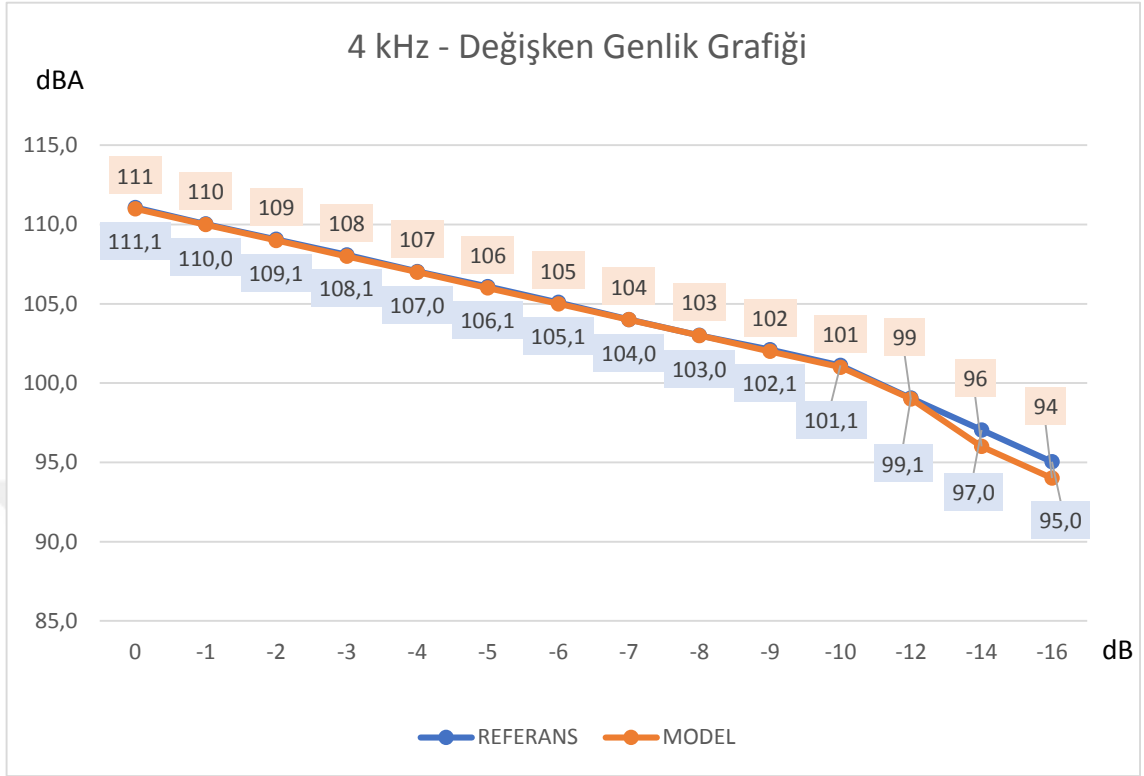
Şekil 9- 500 Hz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik



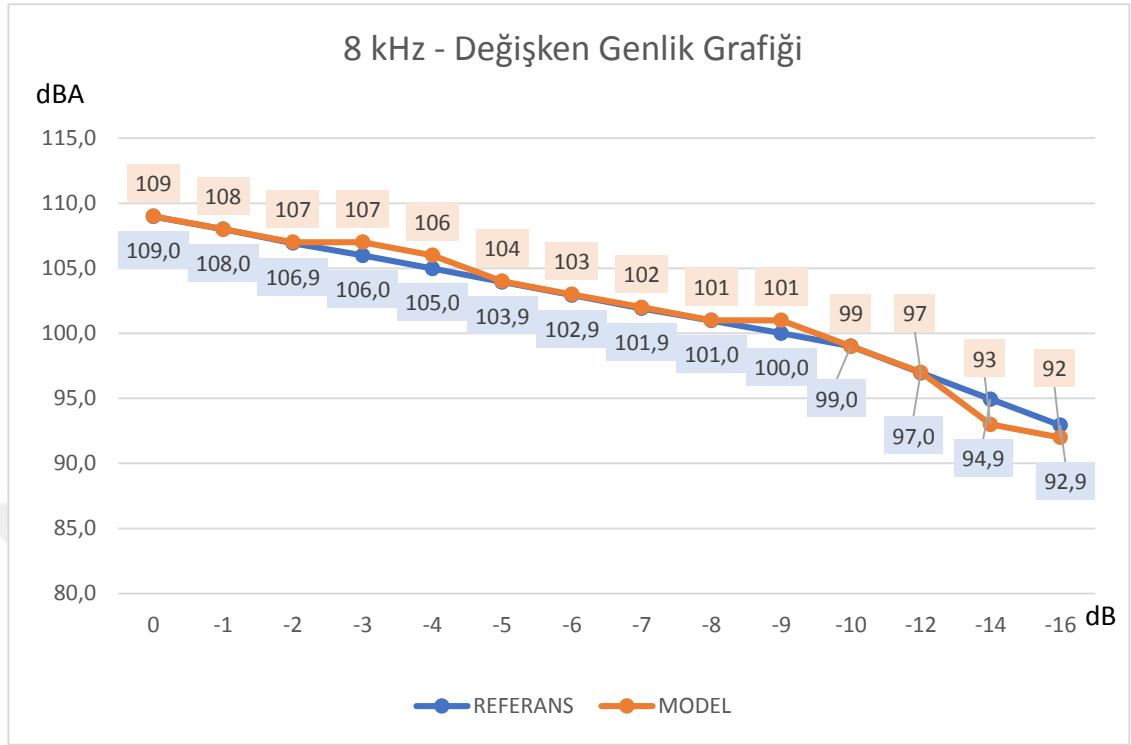
Şekil 10- 1 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik



Şekil 11- 2 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik



Şekil 12- 4 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik



Şekil 13- 8 kHz sabit frekansta, değişken genlikte referans test değerleri ile karşılaştırılmasına ait grafik

SONUÇ

Yapılan çalışmada çok noktalı ve gerçek zamanlı bir mobil ölçüm sistemi modellenmiştir. Model oluşturulurken mevcut çok noktadan ölçüm yapabilen taşınabilir gürültü ölçüm sistemleri ve gürültü ölçümüne ait parametreler incelenmiştir ve alternatif bir ölçümleme sistemi geliştirilme çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma, ses ölçümü yazılımı, ölçüm yazılımlarını ve devreleri komuta eden ana yazılımın mikrodenetleyici tarafından çalıştırılması ve 4 adet mikrofon üzerinden veri alıp tek noktada değerlendirme sisteminin modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verileri SD Kart Modülü üzerine depolanmış ve ölçüm yapılan verilerin detaylı olarak analiz edilmesi için veri depolama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm ünitesi mikrofonlardan bağımsız bir gövdeye sahip şekilde tasarlanmıştır. Oluşturulan modelin, gürültü ölçümlemesini mevcut sistemlerin kullandığı gürültü ölçümleme standartlarına uygun şekilde yapması sağlanmıştır. Yazılımda uygulanan ses seviye ölçüm işlemlerinin yaptığı hesaplamalar bu standartlara ve standartlara uygun mevcut ölçüm sistemleri incelenerek gerçekleştirilmiştir. Yazılım ve elektronik altyapının gürültü ölçümleme işlemini gerçekleştirebilmesi için hangi adımların izlenmesi gerektiği, bu sistemin mobil ve dört adet noktadan eş zamanlı gerçekleştirilebilmesi için yapılacak diğer çalışmalara ışık tutması hedeflenen bir kaynak oluşturulmuştur. Oluşturulan kaynağın elektronik ve yazılımsal açıdan geliştirilmesiyle endüstri standartlarını içeren model oluşturulması için altyapı hazırlanması amaçlanmıştır.

Gürültü ölçüm sistemleri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel gürültü analizi, makine gürültü analizi, dış alan gürültü analizi, eğlence mekânlarından kaynaklı gürültü analizi, akustik tasarımda kullanılmak üzere gürültü analizi gibi çeşitlendirilmektedir. Uluslararası standartları sağlamak adına 0 Hz – 20 kHz aralığında ölçüm yapabilmek gerekmektedir. Ölçüm yapılacak frekans genişliğini yeterli seviyede tutmak için minimum 44 kHz örnekleme hızına sahip analogtan dijitale çevirme yapabilen ADC kullanımı koşulu sağlanması hedeflenmelidir. Çalışma sırasında, mikrodenetleyici üzerindeki işlem yükünü hafifletmek için harici tip ADC kullanılması önemli avantaj sağlayacaktır. Bu sayede çok noktadan ölçüm yapabilen taşınabilir gürültü

ölçümleme modeli oluşturulurken, mikrodnetleyicinin yazılım kontrolüyle 4 adet ADC üzerinde işlem yaptırması sayesinde, ses örnekleme işleminin mikrodnetleyici işlemcisine minimum yük bindireceği öngörülmektedir. ADC'ye ait teknik değerler incelenirken, işlem hata payı da göz önüne alınarak 20 Bit – 24 Bit seviyelerinde, dinamik alanı 100 dB ve üzeri olan ADC seçimi yapılması uygun olacaktır. Bu sayede gürültü ölçüm aralığı minimum 0 dB, maksimum ise 100 dB ve üzeri olarak hesaplanabilme kabiliyeti elde edilebilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca bit değeri arttırıldıkça, örnekleme çözünürlüğü artmaktadır.

Ses dalga formu analizi işleminde ise olmazsa olmaz özellik yeterli hafıza olacaktır. Hafıza, dalga formatında kayıt yapabilmeli ve 4 adet mikrofondan gelen analog ses sinyalinin kaydedebilecek seviyede seçilmelidir. Kayıt işlemi ses dalgası formu analizi kadar, FFT analizi için de aynı önemi taşımaktadır. Hafıza sayesinde gerçek zamanlı ölçümlerin, tekrar tekrar hafıza üzerinden çağırılıp analiz edilmesi mümkün olacaktır. SD Kart ile hafıza desteklenmeli ve bilgisayar üzerinde yapılan detaylı analizler için de kullanılabilir halde depolanabilmelidir. Oluşturulan modelde depolama işlemi ölçüm işlemi ile eş zamanlı olarak yapılabilmektedir. Modelin geliştirilmesiyle ses dalgası formu analizi de yapması da hedeflenmelidir. Ölçüm cihazının bilgisayar ile haberleşebilmesi için çeşitli arabirimler kullanılması, veri alışverişi işlemine katkı sağlayacaktır. Mevcut taşınabilir çok noktalı taşınabilir ölçüm cihazları incelendiğinde, genellikle LAN tipi kablo, RS 232 C, USB kablosu gibi bağlantı kabloları ile veri alışverişi sağlandığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

Aktürk, N. ve Toprak, R. (2004). Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerindeki Olumsuz Etkileri, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi (Turk Hij Den Biyol Derg), (61),1,2,3, ss. 49-58.

Anonim, (2011), T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı Çevresel Gürültü Ölçüm Ve Değerlendirme Kılavuzu, Ankara (2011)

Arana, M., Sam Martin, R., San Martin, M. L.,Aramendia, E. (2010). Strategic Noisemap Of A Major Road Carried Out With Two Environmental Prediction Software Packages. Environmental Monitoring Of Assessment. 163, 503–513.

Barron, Randall F.;Industrial Noise Control and Acoustics, New York: Marcel Dekker, 2003.

Bıçakcı, T., Selek, Z., 2012, Trafikten Kaynaklanan Çevresel Gürültü Haritaları Ve Çukurova Üniversitesi Kampüsü Örneği, Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri dergisi, 28, 2, 115-125

Boşat, M., (2013). İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Hastanesi Polikliniklerinde Gürültü Düzeylerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Candemir, N., (2008). D100 (E5) Karayolunun Gürültü Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Carter, F. 1985. Pollution Problems in Post-War Czechoslovakia, Transactions of the Institute of British Geographers, 10(1), pp.17-44

Dal, Z. (2007). Açık Hava Etkinliklerinden Kaynaklanan Gürültünün İncelenmesi Stadyumlar, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE.

Devren M. (1999). Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplı Olguların Odyolojik Bulguları ve Psikososyal Yönden Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne

Dülgeroğlu, A. 2002. "Trafik ve Çevre Etkisi", Uluslararası 1. Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara, 190-195.

Embleton, TF. 1997. İş Yerindeki Gürültüye İlişkin Üst Sınırların Teknik Değerlendirmesi Nihai Raporu. Yayın 97-1, 16-203.

Farnham, J. ve Beimborn, E. (1990). Noise Barrier Design Principles, Noise Barrier Design Guidelines, University of Wisconsin, USA.

Goldsmith, Mike, Discord: The Story of Noise, Oxford: Oxford University Press, 2012

Güvercin Ö, Aybek A. (2003). Taş Kırma ve Eleme Tesislerinde Gürültü Sorunu. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(2)

Hamamcı S.F. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Gürültü Düzeyi Katmanı Oluşturma Çalışması Antalya Örneği, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.

ILO. 1977. Working Environment. Air pollution, Noise and Vibration, Convention 148. Geneva.

Kalıpcı E. (2007). Giresun İl Merkezinde Gürültü Kirliliği Ölçümü ve Haritasının Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Karabiber, Z. 1991. Gürültü-İnsan Etkileşimi-Boğaziçi Üniversitesi. Çevre Bilimleri Enstitüsü Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu I.Bildiriler,I.Cilt.B.Ü.Bebek-İstanbul.

Karakum, F.Ş. 1999. Hastane Ortamındaki Gürültü Etkenleri ve Personelin Bu Konudaki Görüşleri, Sağlık Çalışanlarının Sağlığı 1. Ulusal Kongresi Kongre Kitabı, s.190, Ankara.

Köknel, Ö., 1997, Gürültünün insanın ruh sağlığına etkisi, Gürültü ile Savaşım Sempozyumu, YTÜ, İstanbul, 23-25.

Kumar, Brind; Sharad V. Oberoi ve Akash Goenka, “A Brief Review of the Legislative Aspects of Noise Pollution”, Workshop on Environmental Pollution: Perspectives and Practices, organized by Institute of Engineering and Technology, Lucknow, India, April 30, 2004

Kumbay, A. (2006). İstanbul Tarihi Yarımada Kentsel Mekânların Gürültü Denetimi Açısından İncelenmesi; Değerlendirmeler ve Öneriler, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE.

Kurra, S., 2009. Çevre gürültüsü ve yönetimi. İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi Yayınları

Maraş EE, Maraş HH, Maraş SS, Alkış Z.(2011). CBS Verilerinden Çevresel Gürültü Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Tahmin Yönteminin Analizi. Harita Dergisi, Sayı 145.

Mateus, M., Carrilho, J.D., Silva, M.G. (2015). An experimental analysis of the correction factors adopted on environmental noise measurements performed with window-mounted microphones. Applied Acoustics, 87, 212–218.

Öngel, A. (2009). Gürültüye karşı sessiz yollar, Bilim Kültür ve Eğitim, İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayını.

Özmen, A. (2014). Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Hükümlerinin Örneklerle Ve Saha Uygulamalarıyla Açıklanması, İş Sağlığı Ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara: T.C. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

Öztürk, Z. (1998). Karayolu Ve Demiryolunda Yol Yakınında Alınabilecek Gürültü Önlemlerinin İncelenmesi, Antalya: IV. Ulusal Akustik Kongresi Bildiriler Kitabı, ss.93-103, 29-31 Ekim.

Singh, Narendra; Subhash C. Davar, “Noise Pollution-Sources, Effects and Control”, Journal of Human Ecology, C. 16, S. 3, 2004.

Şahinkaya, S.(2005). Coğrafik Bilgi Sistemleri (CBS) ile Demiryolu Gürültü Kirliliğinin Modellenmesi: Konya Örneği, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Konya: T.C. Selçuk Üniversitesi FBE, Çevre Mühendisliği ABD

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (2011). Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu. Ankara.

www.cdr.cevre.gov.tr T.C. Edirne Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Edirne İl Çevre Durum Raporu, http://cdr.cevre.gov.tr/icd_raporlari/edirne%2005.pdf, (Erişim Tarihi: 28.06.2019)

Ballou, Glen (2008). Handbook for Sound Engineers Fourth Edition, USA: Focal Press

The International Electrotechnical Commission (2002). IEC 61672-1:2002. <https://webstore.iec.ch/publication/19902&preview=1>, (Erişim Tarihi: 24.06.2019)

The International Electrotechnical Commission (2013). IEC 61672-1:2013. <https://webstore.iec.ch/publication/5708> , (Erişim Tarihi: 24.06.2019)

Acoustical Society of America (2004). ANSI S1:11 Standards, <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/ansi.s1.11.2004.pdf>, (Erişim Tarihi: 23.06.2019)

JIS Standards (2011). JIS 1514-2002 Standards, http://www.jsajis.org/index.php?main_page=product_info&products_id=6031 ,(Erişim Tarihi:23.06.2019)

JIS Standards (2011). JIS 1513-2002 Standards, http://www.jsajis.org/index.php?main_page=product_info&cPath=2&products_id=7373, (Erişim Tarihi:23.06.2019)

The International Electrotechnical Commission(1998). IEC 61620:1998.
<https://webstore.iec.ch/publication/5708> , (Erişim Tarihi: 24.06.2019)



ÖZGEÇMİŞ

Ad, Soyad: Kıvanç KURTYENER

Doğum Yeri ve Yılı: İzmir-1988

Eğitim:

- Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Müzik Teknolojisi Bölümü- Yüksek Lisans / 2019
- Doğu Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Elektronik Mühendisliği Bölümü -Lisans / 2013
- Karşıyaka Gazi Lisesi / 2005

İş:

- Güler Elektrik Mühendislik Proje Taahhüt Limited Şirketi- Elektronik ve Elektronik Mühendisi / Teknik Müdür
- Güler Mühendislik Limited Şirketi - Elektrik ve Elektronik Mühendisi

**AKUSTİK VE ÇEVRESEL GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM SİSTEMLERİNİN
İRDELENMESİ - MEVCUTLARA ALTERNATİF TAŞINABİLİR VE ÇOK
NOKTADA ÖLÇÜM YAPABİLEN BİR MODELİN GELİŞTİRİLMESİ
KONULU YAZILIM PAKETLERİ**

Hazırlayan
Kıvanç Kurtyener

İZMİR / 2019

**Yazılım paketleri Davide Gironi'ye ait Avr Splmeter Arduino yazılım paketleri
temel alınarak geliştirilmiştir.**

ARDUINO UNO 1 ÜZERİNE YÜKLENECEK YAZILIMLAR

Sesin Analogtan Dijitale Çevrilmesi Yazılım Paketi

Yazılım paketi “adc.c” ve “adc.h” kütüphanelerinden oluşmaktadır.

Adc.c (ADC Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “adc.c” olarak oluşturulmalıdır.

```
/*ADC_REFRES
ADC Library 0x06

copyright (c) Davide Gironi, 2013

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.
*/

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>

#if defined (__AVR_ATtiny13A__)
#elif defined (__AVR_ATmega8__)
#elif defined (__AVR_ATmega168__) || defined (__AVR_ATmega168P__)
#elif defined (__AVR_ATmega328__) || defined (__AVR_ATmega328P__)
#elif defined (__AVR_ATmega2560__)
#else
    #error "no definitions available for this AVR"
#endif

#include "adc.h"

//complete this if trigger is on
//call adc_setchannel()
//call sei()
//ISR(ADC_vect)
//{
//}

/*
 * set an adc channel
 */
```

```

void adc_setchannel(uint8_t channel)
{
    ADCSRA &= ~(1 << ADEN);
    #if defined (__AVR_ATtiny13A__)
    ADMUX &= 0b1111100; //clean channel
    channel = channel & 0b00000011;
    #elif defined (__AVR_ATmega8__) || defined (__AVR_ATmega168__)
    || defined (__AVR_ATmega168P__) || defined (__AVR_ATmega328__) ||
defined (__AVR_ATmega328P__)
    ADMUX &= 0b11111000; //clean channel
    channel = channel & 0b00000011;
    #elif defined (__AVR_ATmega2560__)
    if(channel < 8) {
        ADMUX &= 0b11111000; //clean channel
        channel = channel & 0b00000011;
        ADCSRB &= ~(1 << MUX5); //clean MUX5
    } else {
        ADMUX &= 0b11111000; //clean channel
        channel = (channel-8) & 0b00000011;
        ADCSRB |= (1 << MUX5); //set MUX5
    }
    #endif
    ADMUX |= channel; //set channel
    ADCSRA |= (1 << ADEN);
}

/*
 * read from selected adc channel
 */
uint16_t adc_readsel()
{
    ADCSRA |= (1 << ADSC); // Start conversion
    while( !(ADCSRA & (1<<ADIF)) ); // Wait for conversion to
complete
    uint16_t adc = ADC;
    ADCSRA |= (1 << ADIF); // Clear ADIF by writing one to it
    return(adc);
}

/*
 * read from adc channel
 */
uint16_t adc_read(uint8_t channel)
{
    adc_setchannel(channel);
    return adc_readsel();
}

/*
 * init adc
 */
void adc_init()
{
    // Init registers
    ADMUX = 0;
    ADCSRA = 0;
}

```

```

    #if defined (__AVR_ATtiny13A__) || defined (__AVR_ATmega168__)
    || defined (__AVR_ATmega168P__) || defined (__AVR_ATmega328__) ||
defined (__AVR_ATmega328P__) || defined (__AVR_ATmega2560__)
        ADCSRB = 0;
    #endif
/* ATMEGA 328p datasheet
0 0 AREF, Internal V ref turned off
0 1 AV CC with external capacitor at AREF pin
1 0 Reserved
1 1 Internal 1.1V Voltage Reference with external capacitor at AREF
pin
*/

// Set ADC reference
#if defined (__AVR_ATtiny13A__)
    #if ADC_REF == 0
        ADMUX |= (0 << REFS0); // VCC used as analog reference
    #elif ADC_REF == 1
        ADMUX |= (1 << REFS0); // Internal Voltage Reference
    #endif

    #elif defined (__AVR_ATmega8__) || defined (__AVR_ATmega168__)
    || defined (__AVR_ATmega168P__) || defined (__AVR_ATmega328__) ||
defined (__AVR_ATmega328P__) || defined (__AVR_ATmega2560__)
        #if ADC_REF == 0
            ADMUX |= (0 << REFS1) | (0 << REFS0); // AREF, Internal
Vref turned off

            #elif ADC_REF == 1
                ADMUX |= (0 << REFS1) | (1 << REFS0); // AVCC with
external capacitor at AREF pin

            #elif ADC_REF == 2

                #if defined (__AVR_ATmega2560__)
                    ADMUX |= (1 << REFS1) | (0 << REFS0); // Internal 1.1V
Voltage Reference with external capacitor at AREF pin
                    // ??? Atmega328p 1 1 = internal 1.1V Ref with Cap at AREF
                #endif

            #elif ADC_REF == 3
                ADMUX |= (1 << REFS1) | (1 << REFS0); // Internal 2.56V
(or 1.1V atmeag328p) Voltage Reference with external cap at AREF
            #endif
        #endif

// Set ADC prescaler
#if ADC_PRESCALER == 2
    ADCSRA |= (0 << ADPS2) | (0 << ADPS1) | (1 << ADPS0); //
Prescaler 2
    #elif ADC_PRESCALER == 4
        ADCSRA |= (0 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (0 << ADPS0); //
Prescaler 4
        #elif ADC_PRESCALER == 8
            ADCSRA |= (0 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); //
Prescaler 8
            #elif ADC_PRESCALER == 16

```

```

        ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (0 << ADPS1) | (0 << ADPS0); //
Prescaler 16
        #elif ADC_PRESCALER == 32
        ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (0 << ADPS1) | (1 << ADPS0); //
Prescaler 32
        #elif ADC_PRESCALER == 64
        ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (0 << ADPS0); //
Prescaler 64
        #elif ADC_PRESCALER == 128
        ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); //
Prescaler 128
        #endif

        // Set ADC justify
        #if ADC_JUSTIFY == 'L'
        ADMUX |= (1 << ADLAR); // Left adjust ADC result to allow easy
8 bit reading
        #elif ADC_JUSTIFY == 'R'
        ADMUX &= ~(1 << ADLAR); // Right adjust
        #endif

        // Set ADC trigger and mode
        #if ADC_TRIGGERON == 1
            #if defined (__AVR_ATtiny13A__) || defined
(__AVR_ATmega168__) || defined (__AVR_ATmega168P__) || defined
(__AVR_ATmega328__) || defined (__AVR_ATmega328P__) || defined
(__AVR_ATmega2560__)
                ADCSRB |= (0 << ADTS2) | (0 << ADPS1) | (0 << ADPS0); //
Free Running mode
                ADCSRA |= (1 << ADSC); // Enable ADC Interrupt
                #elif defined (__AVR_ATmega8__)
                ADCSRA |= (1 << ADFR); // Set ADC to Free-Running Mode
                #endif
                ADCSRA |= (1 << ADIE); // Enable ADC Interrupt
            #endif

            // Enable ADC
            ADCSRA |= (1 << ADEN);

            #if ADC_TRIGGERON == 1
            ADCSRA |= (1 << ADSC); // Start conversions
            #endif
        }

/*
 * get reference voltage using bandgap voltage
 */
double acd_getrealvref()
{
    double intvoltage = 0;
    #if defined (__AVR_ATmega8__) || defined (__AVR_ATmega168__) ||
defined (__AVR_ATmega168P__) || defined (__AVR_ATmega328__) ||
defined (__AVR_ATmega328P__) || defined (__AVR_ATmega2560__)
        uint8_t admuxbak = ADMUX; //store current admux
        //set bandgap voltage channel, and read value
        adc_setchannel(6);

```

```

        ADCSRA &= ~(1 << ADEN);
        ADMUX |= (1 << MUX3); //set MUX3
        #if defined (__AVR_ATmega2560__)
        ADMUX |= (1 << MUX4); //set MUX4
        #endif
        ADCSRA |= (1 << ADEN);
        _delay_us(250);
        uint16_t adc = adc_readsel();
        ADCSRA &= ~(1 << ADEN);
        ADMUX = admuxbak; //restore admux
        ADCSRA |= (1 << ADEN);
        //calculate internal voltage
        intvoltage = ((ADC_BANDGAPVOLTAGE * ADC_REFRES) / adc) /
1000.0;
        #endif
        return intvoltage;
    }

/*
 * convert an adc value to a resistance value
 */
long adc_getresistance(uint16_t adcread, uint16_t
adcbalanceresistor)
{
    if(adcread == 0)
        return 0;
    else
        return
(long)((long)(ADC_REFRES*(long)adcbalanceresistor)/adcread-
(long)adcbalanceresistor);
}

/*
 * convert an adc value to a voltage value
 */
double adc_getvoltage(uint16_t adcread, double adcvref) {
    if(adcread == 0)
        return 0;
    else
        return (double)(adcread*adcvref/(double)ADC_REFRES);
}

/*
 * exponential moving avarage filter
 *
 * "newvalue" new adc read value
 * "value" old adc filtered value
 * return a new filtered value
 *
 * References:
 * Guillem Planissi: Measurement and filtering of temperatures
with NTC
 */
#define ADC_EMAFILTERALPHA 30
unsigned int adc_emafilter(unsigned int newvalue, unsigned int
value)

```

```

{
    //use exponential moving avarate  $Y=(1-\alpha)*Y + \alpha*Y_{new}$ ,
    alpha between 1 and 0
    //in uM we use int math, so  $Y=(63-63\alpha)*Y + 63\alpha*Y_{new}$ 
    and  $Y=Y/63$  ( $Y=Y>>6$ )
    value = (64-
ADC_EMAFILTERALPHA)*value+ADC_EMAFILTERALPHA*newvalue;
    value = (value>>6);
    return value;
}

```

Adc.h (ADC Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “adc.h” olarak oluşturulmalıdır.

```

/*
ADC Library 0x06

copyright (c) Davide Gironi, 2013

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.
*/

#ifndef ADC_H
#define ADC_H

//setup values
#define ADC_REF 1 //3 no output //0 no output //2 no output //1 isOK
//0 no output //adc reference voltage (see adc_init function for
reference)
/*
* 0 = AREF, Internal Vref turned off
* 1 = ref is AVCC with external capacitor at AREF pin
* 2 = reserved?, Internal 1.1V Voltage Reference with external
capacitor at AREF pin
* 3 = ref is Internal 2.56V Voltage Reference with external cap at
AREF, or
*     internal 1.1V Ref with cap at AREF (Atmega 328)
*/
#define ADC_PRESCALER 16 //adc prescaler (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128)
#define ADC_JUSTIFY 'R' //adc justify ('L' or 'R')
#define ADC_TRIGGERON 0 //adc trigger (1 on - 0 off)
#define ADC_REFRES 1024 //reference resolution used for conversions

//bandgap reference voltage * 1000, refers to datasheet

```

```

#if defined (__AVR_ATmega168__) || defined (__AVR_ATmega168P__) ||
defined (__AVR_ATmega328__) || defined (__AVR_ATmega328P__) ||
defined (__AVR_ATmega2560__)
#define ADC_BANDGAPVOLTAGE 1100L
#elif defined (__AVR_ATmega8__)
#define ADC_BANDGAPVOLTAGE 1300L
#endif

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
//functions
extern void adc_setchannel(uint8_t channel);
extern uint16_t adc_read(uint8_t channel);
extern uint16_t adc_readsel();
extern void adc_init();
extern double acd_getrealvref();
extern long adc_getresistance(uint16_t adcread, uint16_t
adcbalanceresistor);
extern double adc_getvoltage(uint16_t adcread, double adcvref);
extern unsigned int adc_emafilter(unsigned int newvalue, unsigned
int value);
#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif

```

FFT Yazılım Paketi (Fast Fourier Transform)

Yazılım paketi “fftradix4.cpp” ve “fftradix4.h” kütüphanelerinden oluşmaktadır.

fftradix4.cpp (FFT Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “fftradix4.cpp” olarak oluşturulmalıdır.

```
/*
fftradix4 lib 0x01

copyright (c) Davide Gironi, 2012

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.
*/

#define __PROG_TYPES_COMPAT__
#include <avr/pgmspace.h>
#include <math.h> //include libm

#include "fftradix4.h"

#define NWAVE 256 //full length of Sinewave[]
const prog_int16_t Sinewave[NWAVE] PROGMEM = {
    +0,    +6,    +13,    +19,    +25,    +31,    +37,
+44,    +50,    +56,    +62,    +68,    +74,    +80,    +86,
+92,
    +98,    +103,    +109,    +115,    +120,    +126,    +131,
+136,    +142,    +147,    +152,    +157,    +162,    +167,    +171,
+176,
    +180,    +185,    +189,    +193,    +197,    +201,    +205,
+208,    +212,    +215,    +219,    +222,    +225,    +228,    +231,
+233,
    +236,    +238,    +240,    +242,    +244,    +246,    +247,
+249,    +250,    +251,    +252,    +253,    +254,    +254,    +255,
+255,
    +255,    +255,    +255,    +254,    +254,    +253,    +252,
+251,    +250,    +249,    +247,    +246,    +244,    +242,    +240,
+238,
    +236,    +233,    +231,    +228,    +225,    +222,    +219,
+215,    +212,    +208,    +205,    +201,    +197,    +193,    +189,
+185,
    +180,    +176,    +171,    +167,    +162,    +157,    +152,
+147,    +142,    +136,    +131,    +126,    +120,    +115,    +109,
+103,
```

```

+98, +92, +86, +80, +74, +68, +62,
+56, +50, +44, +37, +31, +25, +19, +13,
+6,
+0, -6, -13, -19, -25, -31, -38,
-44, -50, -56, -62, -68, -74, -80, -86,
-92,
-98, -104, -109, -115, -121, -126, -132, -
137, -142, -147, -152, -157, -162, -167, -172,
-177,
-181, -185, -190, -194, -198, -202, -206, -
209, -213, -216, -220, -223, -226, -229, -231,
-234,
-237, -239, -241, -243, -245, -247, -248, -
250, -251, -252, -253, -254, -255, -255, -256,
-256,
-256, -256, -256, -255, -255, -254, -253, -
252, -251, -250, -248, -247, -245, -243, -241,
-239,
-237, -234, -231, -229, -226, -223, -220, -
216, -213, -209, -206, -202, -198, -194, -190,
-185,
-181, -177, -172, -167, -162, -157, -152, -
147, -142, -137, -132, -126, -121, -115, -109,
-104,
-98, -92, -86, -80, -74, -68, -62,
-56, -50, -44, -38, -31, -25, -19, -13,
-6
};

```

```

#define mult_shf_s16x16( a, b) \
({ \
int prod, val1=a, val2=b; \
__asm__ __volatile__ ( \
"muls %B1, %B2 \n\t" \
"mov %B0, r0 \n\t" \
"mul %A1, %A2 \n\t" \
"mov %A0, r1 \n\t" \
"mulsu %B1, %A2 \n\t" \
"add %A0, r0 \n\t" \
"adc %B0, r1 \n\t" \
"mulsu %B2, %A1 \n\t" \
"add %A0, r0 \n\t" \
"adc %B0, r1 \n\t" \
"clr r1 \n\t" \
: "=&d" (prod) \
: "a" (val1), "a" (val2) \
); \
prod; \
})

```

```

static inline void mult_shf_I(int c, int s, int x, int y, int *u,
int *v) __attribute__((always_inline));
static inline void mult_shf_I(int c, int s, int x, int y, int *u,
int *v) {
    *u = (mult_shf_s16x16(x, c) - mult_shf_s16x16(y, s));
    *v = (mult_shf_s16x16(y, c) + mult_shf_s16x16(x, s));
}

```

```

}

static inline void sum_dif_I(int a, int b, int *s, int *d)
__attribute__((always_inline));
static inline void sum_dif_I(int a, int b, int *s, int *d) {
    *s = (a+b);
    *d = (a-b);
}

void rev_bin(int *fr, int fft_n) {
    int m, mr, nn, l;
    int tr;

    mr = 0;
    nn = fft_n - 1;

    for (m=1; m<=nn; ++m) {
        l = fft_n;
        do {
            l >>= 1;
        } while (mr+l > nn);

        mr = (mr & (l-1)) + 1;

        if (mr <= m)
            continue;
        tr = fr[m];
        fr[m] = fr[mr];
        fr[mr] = tr;
    }
}

void fft8_dit_core_p1(int *fr, int *fi) {
    int plus1a, plus2a, plus3a, plus4a, plus1b, plus2b;
    int mins1a, mins2a, mins3a, mins4a, mins1b, mins2b, mM1a, mM2a;

    sum_dif_I(fr[0], fr[1], &plus1a, &mins1a);
    sum_dif_I(fr[2], fr[3], &plus2a, &mins2a);
    sum_dif_I(fr[4], fr[5], &plus3a, &mins3a);
    sum_dif_I(fr[6], fr[7], &plus4a, &mins4a);

    sum_dif_I(plus1a, plus2a, &plus1b, &mins1b);
    sum_dif_I(plus3a, plus4a, &plus2b, &mins2b);

    sum_dif_I(plus1b, plus2b, &fr[0], &fr[4]);
    sum_dif_I(mins3a, mins4a, &mM1a, &mM2a);

    int prib1a, prib2a, prib3a, prib4a, prib1b, prib2b;
    int otnt1a, otnt2a, otnt3a, otnt4a, otnt1b, otnt2b, oT1a, oT2a;

    sum_dif_I(fi[0], fi[1], &prib1a, &otnt1a);
    sum_dif_I(fi[2], fi[3], &prib2a, &otnt2a);
    sum_dif_I(fi[4], fi[5], &prib3a, &otnt3a);
    sum_dif_I(fi[6], fi[7], &prib4a, &otnt4a);

    sum_dif_I(prib1a, prib2a, &prib1b, &otnt1b);

```

```

sum_dif_I(prib3a, prib4a, &prib2b, &otnt2b);

sum_dif_I(prib1b, prib2b, &fi[0], &fi[4]);
sum_dif_I(otnt3a, otnt4a, &oT1a, &oT2a);

mM2a = mult_shf_s16x16(mM2a, 181);
sum_dif_I(mins1a, mM2a, &plus1a, &plus2a);

prib2b = mult_shf_s16x16(oT1a, 181);
sum_dif_I(otnt2a, prib2b, &mins3a, &plus3a);

sum_dif_I(plus1a, mins3a, &fr[7], &fr[1]);
sum_dif_I(mins1b, otnt2b, &fr[6], &fr[2]);
sum_dif_I(plus2a, plus3a, &fr[3], &fr[5]);

oT2a = mult_shf_s16x16(oT2a, 181);
sum_dif_I(otnt1a, oT2a, &plus1a, &plus2a);

plus2b = mult_shf_s16x16(mM1a, 181);
sum_dif_I(-mins2a, plus2b, &plus3a, &mins3a);

sum_dif_I(plus1a, mins3a, &fi[7], &fi[1]);
sum_dif_I(otnt1b, -mins2b, &fi[6], &fi[2]);
sum_dif_I(plus2a, plus3a, &fi[3], &fi[5]);
}

void fft_radix4_I(int *fr, int *fi, int ldn) {
    const int n = (1UL<<ldn);
    int ldm = 0, rdx = 2;

    ldm = (ldn&1);
    if ( ldm!=0 ) {
        for (int i0=0; i0<n; i0+=8) {
            fft8_dit_core_p1(fr+i0, fi+i0);
        }
    } else {
        for (int i0 = 0; i0 < n; i0 += 4) {
            int xr,yr,ur,vr, xi,yi,ui,vi;

            int i1 = i0 + 1;
            int i2 = i1 + 1;
            int i3 = i2 + 1;

            sum_dif_I(fr[i0], fr[i1], &xr, &ur);
            sum_dif_I(fr[i2], fr[i3], &yr, &vi);
            sum_dif_I(fi[i0], fi[i1], &xi, &ui);
            sum_dif_I(fi[i3], fi[i2], &yi, &vr);

            sum_dif_I(ui, vi, &fi[i1], &fi[i3]);
            sum_dif_I(xi, yi, &fi[i0], &fi[i2]);
            sum_dif_I(ur, vr, &fr[i1], &fr[i3]);
            sum_dif_I(xr, yr, &fr[i0], &fr[i2]);
        }
    }
    for (ldm += 2 * rdx; ldm <= ldn; ldm += rdx) {
        int m = (1UL<<ldm);

```

```

int m4 = (m>>rdx);

int phI0 =  NWAVE / m;
int phI  = 0;

for (int j = 0; j < m4; j++) {
    int c,s,c2,s2,c3,s3;

    s  = pgm_read_word(&Sinewave[  phI]);
    s2 = pgm_read_word(&Sinewave[ 2*phI]);
    s3 = pgm_read_word(&Sinewave[ 3*phI]);

    c  = pgm_read_word(&Sinewave[  phI + NWAVE/4]);
    c2 = pgm_read_word(&Sinewave[ 2*phI + NWAVE/4]);
    c3 = pgm_read_word(&Sinewave[ 3*phI + NWAVE/4]);

    for (int r = 0; r < n; r += m) {
        int i0 = j + r;
        int i1 = i0 + m4;
        int i2 = i1 + m4;
        int i3 = i2 + m4;

        int xr,yr,ur,vr,xi,yi,ui,vi;

        mult_shf_I( c2, s2, fr[i1], fi[i1], &xr, &xi);
        mult_shf_I(  c,  s, fr[i2], fi[i2], &yr, &vr);
        mult_shf_I( c3, s3, fr[i3], fi[i3], &vi, &yi);

        int t = yi - vr;
        yi += vr;
        vr = t;

        ur = fr[i0] - xr;
        xr += fr[i0];

        sum_dif_I(ur, vr, &fr[i1], &fr[i3]);

        t = yr - vi;
        yr += vi;
        vi = t;

        ui = fi[i0] - xi;
        xi += fi[i0];

        sum_dif_I(ui, vi, &fi[i1], &fi[i3]);
        sum_dif_I(xr, yr, &fr[i0], &fr[i2]);
        sum_dif_I(xi, yi, &fi[i0], &fi[i2]);
    }
    phI += phI0;
}
}

```

fftradix4.h (FFT Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “fftradix4.h” olarak oluşturulmalıdır.

```
/*
fftradix4 lib 0x01

copyright (c) Davide Gironi, 2012

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.

References:
+ Anatoly Kuzmenko radix4 library
  http://coolarduino.wordpress.com/2012/03/24/radix-4-fft-integer-math/
*/

#ifndef FFTRADIX4_H_
#define FFTRADIX4_H_

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
    //functions
    extern void rev_bin(int *fr, int fft_n);
    extern void fft_radix4_I(int *fr, int *fi, int ldn);
#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif
```

Hesaplama Yazılım Paketi

Yazılım paketi “audioget.c” ve “audioget.h” kütüphanelerinden oluşmaktadır.

Audioget.c (Hesaplama Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “audioget.c” olarak oluşturulmalıdır.

```
/*
audiogetfft 0x04

copyright (c) Davide Gironi, 2013

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.
*/

#include <avr/io.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <math.h> //include libm

#include "audioget.h"

#include "adc.h"

extern volatile int16_t audioget_fr[AUDIOGET_SAMPLES];
extern volatile int16_t audioget_fi[AUDIOGET_SAMPLES];

volatile uint8_t audioget_takesample = 0;
static uint16_t audioget_fsc = 0;
/*
 * timer1 interrupt
 */
ISR(TIMER1_OVF_vect) {
    audioget_fsc++;
    audioget_takesample = 1;
}

/*
```

```

* init ports
*/
void audioget_init() {
    //init adc
    //ADC speed (F_CPU/prescaler)/13 (adc takes 13 clock to perform
    set max for not error = 1Mhz)
    //so a maximum ADC clock of 1MHz means approximately 77k
    samples per second
    adc_setchannel(AUDIOGET_INPUTCHANNEL);
    adc_init();

    //init timer
    ICR1 = TIMER1_ICR1; //ICR1
    TCCR1A = (1 << WGM11); //fast pwm mode
    TCCR1B = (1 << WGM13) | (1 << WGM12);
    TCCR1B |= TIMER1_PRESCALER; //prescaler
#ifdef TIMSK
    TIMSK |= (1<<TOIE1); //enable timer1
#else
    TIMSK1 |= (1<<TOIE1); //enable timer1
#endif
    //init fft variables
    uint16_t i = 0;
    for(i=0; i<AUDIOGET_SAMPLES; i++) {
        audioget_fr[i] = 0;
        audioget_fi[i] = 0;
    }

    //enable interrupt
    sei();
}

/*
* load samples from adc pin
* signal must be biased to ADVREF voltage / 2
*/
void audioget_getsamples() {
    int16_t biasadc = 0;
    int16_t biasadcmin = 1024;
    int16_t biasadcmax = 0;

    int16_t adc_raw = 0;

    audioget_fsc = 0;

    //set channel
    adc_setchannel(AUDIOGET_INPUTCHANNEL);

    uint8_t i = 0;
    audioget_takesample = 0;
    for(i=0; i<AUDIOGET_SAMPLES; i++) {
        //wait for timer pulse
        while(!audioget_takesample) {};
        audioget_takesample = 0;
    }
}

```

```

        //get sample
        adc_raw = adc_readsel();

        //dynamic bias computation
        #if AUDIOGET_DYNAMICBIAS == 1
        if(adc_raw < biasadcmin)
            biasadcmin = adc_raw;
        if(adc_raw > biasadcmax)
            biasadcmax = adc_raw;
        biasadc = (biasadcmin + (biasadcmax-biasadcmin)/2);
        adc_raw = adc_raw - biasadc;
        #endif

        //audioget_fr holds the real part of the signal
        audioget_fr[i] = adc_raw;
        //audioget_fi holds the complex part of the signal
        audioget_fi[i] = 0; //always 0
    }
}

/*
 * compute fft
 */
void audioget_computefft() {
    rev_bin((int *)audioget_fr, AUDIOGET_SAMPLES); //reverse f_r
    //f_i could not being reversed, cause it's composed by zero
    only
    fft_radix4_I((int *)audioget_fr, (int *)audioget_fi,
    AUDIOGET_SAMPLESLOG2); //do fft computation using radix4
}

/*
 * compute weighting
 */
void audioget_doweighting() {
    uint8_t i = 0;

    double weightingtabr[] = AUDIOGET_WEIGHTINGTR;
    double weightingtabi[] = AUDIOGET_WEIGHTINGTI;

    //apply filter function
    for (i=0; i<AUDIOGET_SAMPLES/2; i++) {
        double weighingfactor = weightingtabr[i];
        audioget_fr[i] *= weighingfactor;
        audioget_fr[AUDIOGET_SAMPLES - (i + 1)] *=
weighingfactor;
        weighingfactor = weightingtabi[i];
        audioget_fi[i] *= weighingfactor;
        audioget_fi[AUDIOGET_SAMPLES - (i + 1)] *=
weighingfactor;
    }
}

```

```

/*
 * get the signal magnitude
 */
void audioget_getmagnitude(double spectrum[]) {
    uint8_t i = 0;

    //compute magnitude from 0 to AUDIOGET_SAMPLES/2
    //since we want it normalized, we divided it by number of
samples
    //since we dropped half the FFT, we multiply it 2 to keep the
same energy
    for (i=0; i<=AUDIOGET_SAMPLES/2; i++) {
        spectrum[i] =
2*sqrt(((long)audioget_fr[i]*(long)audioget_fr[i] +
(long)audioget_fi[i]*(long)audioget_fi[i]) >>
(AUDIOGET_SAMPLESLOG2*2));
    }
}

/*
 * get the running frequency to compute time window strategies
 */
uint16_t audioget_getfsc() {
    return audioget_fsc;
}

/*
 * get rms value from audio signal
 * signal must be biased to ADVREF voltage / 2
 */
int16_t audioget_getrmsval() {
    uint8_t i = 0;
    int16_t getval = 0;
    static double retval = 0;

    //calculate rms for DFT with real input
    //use parseval theorem to transform rms on frequency domain to
rms on time domain, on real DTFT interval
    uint16_t magnitud = 0;
    for (i=0; i<=AUDIOGET_SAMPLES/2; i++) {
        magnitud += ((long)audioget_fr[i]*(long)audioget_fr[i] +
(long)audioget_fi[i]*(long)audioget_fi[i]) >>
(AUDIOGET_SAMPLESLOG2*2);
    }
    magnitud = magnitud*2;
    getval = sqrt(magnitud);

    //apply rms offset
    getval += AUGIOGET_RMSOFFSET;

    //time-weight filter
    #if AUGIOGET_TW == AUGIOGET_TWF
        retval = AUGIOGET_TWFALPHA*retval+(1-
AUGIOGET_TWFALPHA)*getval;
    #endif
}

```

```

        #elif AUDIOGET_TW == AUDIOGET_TWS
            retval = AUDIOGET_TWSALPHA*retval+(1-
AUDIOGET_TWSALPHA)*getval;
        #endif

        if(retval<0)
            retval = 0;

        return (int16_t)retval;
    }

    /*
     * get spl value,
     * depending on actual voltage read, voltage at a db reference, the
     db reference
     */
    int16_t audioget_getspl(float voltnow, float voltref, float dbref) {
        int16_t ret = (20 * log10(voltnow/voltref)) + dbref;
        return ret;
    }

```

Audioget.h (Hesaplama Yazılım Paketi)

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından kütüphane olarak kullanılacaktır. Dosya adı “audioget.h” olarak oluşturulmalıdır.

```

/*
audiogetfft 0x04

copyright (c) Davide Gironi, 2013

Released under GPLv3.
Please refer to LICENSE file for licensing information.
*/

#ifndef AUDIOGET_H
#define AUDIOGET_H

#include "fftradix4.h"

// FFT setup -----
//define number of samples to take
#define AUDIOGET_SAMPLES 64
#define AUDIOGET_SAMPLESLOG2 6 //log2 AUDIOGET_SAMPLES
//real and imaginary part array for fft algorithm

```

```

volatile int16_t audioget_fr[AUDIOGET_SAMPLES];
volatile int16_t audioget_fi[AUDIOGET_SAMPLES];

// TIME WEIGHT setup -----
//define time weight type
#define AUGIOGET_TWF 1 //time weight Fast
#define AUGIOGET_TWS 2 //time weight Slow

#define AUGIOGET_TW AUGIOGET_TWS //CONFIG: use fast or slow time
weight

//time-weight is a RC filter, exponential averaging is equivalent to
a simple RC filter
// $Y = (1 - \alpha) * Y + \alpha * Y_{new}$ , alpha between 1 and 0
//given a sample rate Fs (Hz), number samples taken every seconds
//N as the number of samples grabbed in the input loop
//and a window size W (seconds),  $W/1000 = W_{ms}$  (milliseconds)
//the number of samples computed on every function call per window
should be
//every function call, the window samples has a weight of 1/S
// $S = W * F_s / N$ 
//alpha can be computed as
// $\alpha = W_{ms} / ((F_s / f_{sc}) + W_{ms})$ 
//given fsc the number of loop taken to collect the input, we could
use N here, but in real
//world, record N samples takes more than N cycles
#define AUGIOGET_TWFALPHA 0.652
#define AUGIOGET_TWSALPHA 0.956

// offset setup -----
//define and audio offset, could be set to completly suppress DC
noise
#define AUGIOGET_RMSOFFSET -2

//define weighting gain table, must cointain AUDIOGET_SAMPLES/2
elements
//define A-Weighting (Real and Imaginary part)
#define AUDIOGET_WEIGHTINGTAR {0, 0.0363026, 0.513928541,
0.843129901, 1.023094514, 1.113238974, 1.150785316, 1.155376165,
1.13740991, 1.102630535, 1.05439208, 0.994794792, 0.925287976,
0.847016355, 0.76104051, 0.668494706, 0.570712944, 0.469336568,
0.366405293, 0.264424011, 0.16638812, 0.075740395, -0.003775804, -
0.068404531, -0.114833072, -0.140808562, -0.145845064, -0.131862152,
-0.103509898, -0.067907722, -0.033622556, -0.008963035}
#define AUDIOGET_WEIGHTINGTAI {0, 0.505227283, 0.673226268,
0.563062114, 0.390563392, 0.220544591, 0.066543122, -0.070793602, -
0.193315087, -0.302824007, -0.40056018, -0.487184777, -0.562867671,
-0.627380288, -0.680177014, -0.720469871, -0.747306718, -
0.759664611, -0.756570026, -0.737256522, -0.701366932, -0.649199279,
-0.581981015, -0.502132952, -0.413453151, -0.321118596, -
0.231384828, -0.150886776, -0.085535271, -0.039169914, -0.012326333,
-0.00159859}
#define AUDIOGET_WEIGHTINGTR AUDIOGET_WEIGHTINGTAR
#define AUDIOGET_WEIGHTINGTI AUDIOGET_WEIGHTINGTAI

```

```

// BIAS setup -----
//enable or disable dynamic bias
//with dynamic bias the zero raw bias is estimated using max and min
raw value read
#define AUDIOGET_DYNAMICBIAS 1
//zero value, raw value read when there is no sound
#define AUDIOGET_BIASZERORAW 512

// INPUT setup -----
//adc input channel
#define AUDIOGET_INPUTCHANNEL 3
//sampler timer
//freq = FCPU/1+(prescaler*ICR1)
//ICR1 = (FCPU/freq - 1)/prescaler
//note: ICR1 can not be small, because we have some commands to
execute during the interrupt routine
//es. 22050kHz @ 16Mhz, ICR1 91, prescaler 1
#define TIMER1_ICR1 91
#define TIMER1_PRESCALER (1<<CS11)
#define AUDIOGET_ADCSAMPLERATE 22050
#define AUDIOGET_ADCSAMPLES AUDIOGET_SAMPLES

// INPUT hardware setup -----
//define voltage reference and spl db reference
#define AUDIOGET_VOLTREF 0.000126 //0.000315
#define AUDIOGET_DBREF 38 //30
/* transfer factor, see http://www.sengpielaudio.com/calculator-transferfactor.htm
Referenz 94db/1Vpa
Sensitivity = 20 Å- log (transfer factor in mV/Pa)
transfer factor in mV/Pa = 10^(sensivity/20), FORMEL:

value=Math.round(1000*Math.pow(10,(inp.value/20))*1*1000000)/1000000
);
LINUX: echo "scale=4;1000*(e((-
32/20)*1(10))*1*1000000)/1000000;" |bc -l
NEW OLD
94dB 1Pascal 74db 0.1 Pascal
-30dB -> 31.6228 mV/Pa 316.2278 mV/Pa
-32db -> 25.1189 mV/Pa 251.1886 mV/Pa
-38db -> 12.5893 mV/Pa 125.8925 mV/Pa
-40db -> 10.0000 mV/Pa 100.0000 mV/Pa

315 mV -> -10db 315mV -> -30db
*/

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
//functions
extern void audioget_init();
extern void audioget_getsamples();
extern void audioget_doweighting();
extern void audioget_computefft();

```

```
extern uint16_t audioget_getfsc();
extern void audioget_getmagnitude(double spectrum[]);
extern int16_t audioget_getrmsval();
extern int16_t audioget_getspl(float voltnow, float voltref, float
dbref);
#ifdef __cplusplus
}
#endif

#endif
```



Ana (Kontrol) Yazılım Paketi

Açıklama: Yazılım gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino Uno tarafından ana kontrol yazılımı olarak kullanılacaktır. Dosya “ARDUINO IDE” yazılımı içerisine yüklenip çalıştırılmalıdır. Ana yazılım dosyasının, bilgisayarda ana yazılıma ait kütüphane dosyaları (audioget,fftradix4,adc) ile aynı klasörde olması faydalıdır.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
void setup() {
    lcd.begin();

    mySerial.begin(38400); //software serial baud rate belirlendi

    pinMode(13, OUTPUT); // osiloskop üzerinden sinyal izlemek için
    kullanıldı

    // Open serial communications and wait for port to open:

    //init interrupt
    sei();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print("Sound Level Meter");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    lcd.setCursor(1, 0);
    lcd.print("LAeq =      ");
}

void loop()

{

    double refv = acd_getrealvref();
    audioget_init();

    int16_t audiorms = 0;
    // int16_t audiospl = 0;
    byte audiospl = 0;

    byte sayac = 0 ;

    double spectrum[AUDIOGET_SAMPLES / 2 + 1] = {0};

    while (1)
```

```

{
    digitalWrite(13, HIGH); // sets the digital pin 13 on
    uint16_t i = 0;

    //get samples
    audioget_getsamples();
    //compute fft
    audioget_computefft();
    //apply weighting
    audioget_doweighting();
    //get spectrum
    audioget_getmagnitude(&spectrum[0]);

    //get rms and spl
    audiorms = audioget_getrmsval();
    float rmsvolt = 0;
    if (audiorms <= 0)
        rmsvolt = AUDIOGET_VOLTREF;
    else
        rmsvolt = adc_getvoltage(audiorms, refv);
    audiospl = audioget_getspl(rmsvolt, AUDIOGET_VOLTREF,
AUDIOGET_DBREF);

    mySerial.write(audiospl);    //software rs232 gönderme

    // ekrana 500ms de bir spl geliyor 45 yazarsak    500ms/11ms=45
    12c modül işlem sayısını azaltır ve işlem hızı arttırılır
    //Sayaç sayısı insan gözünün rahatsızlık yaşamayacağı tekrarlama
    seviyesinde seçildi
    if (sayac >= 45) {
        //spl ekrana yazma
        lcd.setCursor(8, 0);
        lcd.print(audiospl, DEC);

        sayac = 0;
    }
    else {
        sayac = sayac + 1 ;
    }
    digitalWrite(13, LOW); // sets the digital pin 13 off
    delay(1);
}
}

```

ARDUINO UNO 2 ÜZERİNE YÜKLENECEK YAZILIM

Veri Depolama Yazılım Paketi

Açıklama: Yazılım veri depolama görevi yapan Arduino Uno tarafından ana yazılım olarak kullanılacaktır. Gürültü ölçümleme görevi yapan Arduino üzerinden ölçüm verilerini seri haberleşme protokolü ile kendi üzerine aktarıp SD Kart modülüne yerleştirilmiş olan Micro Sd Kart üzerine yazdırma görevini gerçekleştirmektedir. Veri depolama için sadece bu yazılım kullanılmalıdır. Dosya “ARDUINO IDE” yazılımı içerisine yüklenip çalıştırılmalıdır.

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <SoftwareSerial.h>    //software rs232 iletişim için gereken
kütüphane

SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX  software serial in adi mySerial

const int chipSelect = 4;

void setup() {

    mySerial.begin(38400);    // software rs232ye ait Baud Rate değeri

    // Open serial communications and wait for port to open:
    Serial.begin(9600);      //uno kartındaki hardware rs232 nin acilmasi  Baud
Rate 9600 seçildi
    while (!Serial) {
        ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
    }

    Serial.print("Initializing SD card...");
```

```

    pinMode(9, OUTPUT);    // sets the digital pin 9 as output  olsun
    osiloskopta gormek icin

    // see if the card is present and can be initialized:
    if (!SD.begin(chipSelect)) {
        Serial.println("Card failed, or not present");
        // don't do anything more:
        while (1);
    }
    Serial.println("card initialized.");
}

void loop() {

    digitalWrite(9, HIGH); // sets the digital pin 9 on  osiloskop 1 oldu

    // make a string for assembling the data to log:
    byte dataString = 0;

    if ( mySerial.available() > 0) {

        dataString = mySerial.read();

        File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

        // if the file is available, write to it:
        if (dataFile) {
            dataFile.println(dataString);
            dataFile.close();

            // print to the serial port too:

            Serial.println(dataString);          // spl meter spl degerini software
            serial dan gonderir.Bu deger bu kartta dataString içine yerleşir,bu satırda
            o deger seri mon gider

            digitalWrite(9, LOW); // sets the digital pin 9 off

            delay(1);
        }
    }
}

```

```
// if the file isn't open, pop up an error:
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}
}

// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so you have to close this one before opening another.
}
```

