

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



**İŞYERLERİNDE AKTİF GÜRÜLTÜ KONTROL YÖNTEMİ İLE GÜRÜLTÜ  
SEVİYESİNİN AZALTILMASINA İLİŞKİN BİR SİSTEMİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Tolga ÖZKAN**

**İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı**

**EYLÜL 2021**

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



**İŞYERLERİNDE AKTİF GÜRÜLTÜ KONTROL YÖNTEMİ İLE GÜRÜLTÜ  
SEVİYESİNİN AZALTILMASINA İLİŞKİN BİR SİSTEMİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Tolga ÖZKAN  
(171215002)**

**İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞIMLI**

**EYLÜL 2021**



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Doktora Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz, İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı (171215002) numaralı öğrencisi Tolga ÖZKAN'nın “İşyerlerinde Aktif Gürültü Kontrol Yöntemi ile Gürültü Seviyesinin Azaltılmasına İlişkin Bir Sistemin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 21.09.2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından *Oy Birliği* ile Doktora tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

**Öğretim Üyesi Adı Soyadı**

**Tez Savunma Tarihi:** 21/09/2021

- 1) Tez Danışmanı:** Dr. Öğretim Üyesi Mustafa YAĞIMLI
- 2) Eş Danışman:** Prof. Dr. Bülent MERTOĞLU
- 3) Jüri Üyesi:** Prof. Dr. Hakan TOZAN
- 4) Jüri Üyesi:** Dr. Öğretim Üyesi H. Uğur ÖNCEL
- 5) Jüri Üyesi:** Dr. Öğretim Üyesi Hilal ARSLAN

## YEMİN METNİ

Doktora tezi olarak sunduğum “İşyerlerinde Aktif Gürültü Kontrol Yöntemi ile Gürültü Seviyesinin Azaltılmasına İlişkin Bir Sistemin Geliştirilmesi” adlı, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (21/09/2021)

Tolga ÖZKAN



*Lisans üstü eğitimimin başladığı ilk günden bu güne kadar benim için her türlü özveriye gösteren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, eğitimim sebebiyle ona ayırmam gereken zamandan çalmak zorunda kaldığım canım eşime, sevgisi ve varlığıyla enerji kaynağım, umudum ve hayatımızın anlamı canım kızıma sonsuz teşekkürler...*

## ÖNSÖZ

Multidisipliner bir bilim dalı olan İş Sağlığı ve Güvenliği alanında Doktora tezi olarak hazırlanmış olan bu çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendirerek destek olan danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yağımlı'ya ve tez izleme komitesinde yer alan değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yolumun İş Sağlığı ve Güvenliği bilimi ile kesişmesini sağlayan, İSG konusundaki derin bilgi ve tecrübeleriyle beni yüksek lisans aşamasından doktora aşamasına kadar destekleyen bu konuda duayen hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin Kalaycı'ya teşekkürlerimi sunarım.

İş Sağlığı ve Güvenliği alanında tezli yüksek lisans ve doktora eğitimim için beni teşvik eden ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Savaş Kanbur'a teşekkürlerimi sunarım.

Sadece doktora tezimi oluşturan bu çalışmam sırasında değil, tüm akademik ve iş hayatım boyunca göstermiş olduğu sabırdan ve bana vermiş olduğu sınırsız desteklerden dolayı hayat arkadaşım Creative Director Buket Özkan'a ve varlığıyla bana hayat veren bir tanecik kızım Melodi Mira Özkan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İş Sağlığı ve Güvenliği alanında bilgi ve tecrübesine çok güvendiğim değerli doktora arkadaşım Mak. Müh. Anıl Çubukçu'ya, tez konum üzerinde vermiş olduğu tüm desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2021

Tolga ÖZKAN

---

(Ziraat Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT .....	xvi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışma Konusu .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	1
1.3 Literatür Araştırması .....	1
1.3.1 İş sağlığı ve güvenliği .....	1
1.3.2 İş sağlığı ve güvenliğinde risk etmenleri .....	2
1.3.2.1 Fiziksel risk etmenleri .....	2
1.3.2.2 Kimyasal risk etmenleri .....	2
1.3.2.3 Biyolojik risk etmenleri.....	2
1.3.2.4 Ergonomik risk etmenleri.....	2
1.3.2.5 Psikososyal risk etmenleri.....	3
1.3.3 Ses ve gürültü.....	3
1.3.3.1 Frekans .....	4
1.3.3.2 Genlik.....	4
1.3.3.3 Dalga boyu .....	5
1.3.3.4 Ses şiddeti .....	5
1.3.3.5 Ses basıncı.....	5
1.3.3.6 Ses gücü .....	6
1.3.3.7 Ses hızı .....	6
1.3.3.8 Gürültü çeşitleri.....	6
Frekansına göre .....	7
Zaman değişimine göre .....	7
1.3.3.9 Gürültü maruziyetinin insan sağlığı üzerindeki etkileri.....	8
Fiziksel etkiler.....	9
Fizyolojik etkiler .....	11
Psikolojik etkiler .....	11
Performans etkileri .....	12
1.3.4 Gürültüden korunma yöntemleri.....	12
1.3.4.1 Pasif gürültü kontrol yöntemleri .....	12
Kaynakta azaltma yöntemi .....	12
Gürültüyü yayılma alanında azaltma yöntemi .....	13
Gürültünün algılandığı noktada önlem alma yöntemi.....	15
1.3.4.2 Aktif gürültü kontrol yöntemleri.....	16

1.3.5 Havalandırma sistemleri üzerinde aktif gürültü kontrolü .....	18
<b>2. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>24</b>
2.1 Amaç .....	24
2.2 Galvaniz Havalandırma Kanalı Üzerinde Dijital ANC Deney Düzenegi .....	24
2.3 Verilerin Analiz Edilmesi .....	36
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>41</b>
3.1 ANC Pasif Durumda İken Elde Edilen Ölçüm Sonuçları .....	41
3.2 ANC Sisteminin Aktif Hale Getirilmesi .....	44
3.3 ANC Aktif Durumda İken Elde Edilen Ölçüm Sonuçları.....	45
3.4 ANC Pasif-Aktif Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	49
3.5 ANC Pasif-Aktif Sonuçlarına İlişkin Regresyon Analizi .....	58
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>70</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>72</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>76</b>



## KISALTMALAR

<b>WHO</b>	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
<b>ILO</b>	: International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
<b>ANC</b>	: Active Noise Control (Aktif Gürültü Kontrolü)
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>kHz</b>	: KiloHertz
<b>dBA</b>	: Desibel (A)
<b>Pa</b>	: Pascal
<b><math>\mu</math>Pa</b>	: Mikro Pascal
<b>FXLMS</b>	: (Filtered-X Least Mean Square) Uyarlanabilir filtreler için en küçük kareler ortalaması algoritması
<b>PVC</b>	: Polivinil Klorür
<b>FIR</b>	: (Finite Impulse Response) Sonlu darbe tepkisi
<b>MEMS</b>	: Mikro Elektrik Mekanik Sistem
<b>REF</b>	: Referans
<b>LMS</b>	: (Least Mean Squares) En Küçük Ortalama Kareler
<b>LPF</b>	: Low Pass Filter (Düşük frekans geçirgen filtre)
<b>HPF</b>	: High Pass Filter (Yüksek frekans geçirgen filtre)
<b>Mic</b>	: Mikrofon
<b>A/D</b>	: Analog / Dijital
<b>Amp</b>	: Amplifikatör
<b>EQ</b>	: Ekolayzır

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 1.1:</b> Uluslararası mevzuattaki gürültü maruziyet değerleri .....	9
<b>Çizelge 2.1:</b> Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve yazılımlar.....	32
<b>Çizelge 2.2:</b> Diyagram üzerindeki kısaltmalar ve terimler .....	36
<b>Çizelge 3.1:</b> ANC pasif durumda iken gürültü büyüklükleri.....	42
<b>Çizelge 3.2:</b> ANC aktif durumda iken gürültü büyüklükleri (dB).....	47
<b>Çizelge 3.3:</b> ANC aktif durumda iken 25-30° arasındaki gürültü büyüklükleri (dB)	48
<b>Çizelge 3.4:</b> ANC pasif ve ANC aktif (5,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	50
<b>Çizelge 3.5:</b> ANC pasif ve ANC aktif (10,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	51
<b>Çizelge 3.6:</b> ANC pasif ve ANC aktif (15,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	51
<b>Çizelge 3.7:</b> ANC pasif ve ANC aktif (20,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	52
<b>Çizelge 3.8:</b> ANC pasif ve ANC aktif (25,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	52
<b>Çizelge 3.9:</b> ANC pasif ve ANC aktif (28,7° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	53
<b>Çizelge 3.10:</b> ANC pasif ve ANC aktif (30,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	53
<b>Çizelge 3.11:</b> ANC pasif ve ANC aktif (35,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	54
<b>Çizelge 3.12:</b> ANC pasif ve ANC aktif (40,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	54
<b>Çizelge 3.13:</b> ANC pasif ve ANC aktif (45,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	55
<b>Çizelge 3.14:</b> ANC pasif ve ANC aktif (50,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi).....	55
<b>Çizelge 3.15:</b> ANC pasif-aktif gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi) .....	56
<b>Çizelge 3.16:</b> ANC açık (28,3°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	58
<b>Çizelge 3.17:</b> ANC'li (28,3°) değerlerin ANC'siz değerler kullanarak tahmin edilmesi (Regresyon Analizi).....	59
<b>Çizelge 3.18:</b> ANC açık (28,4°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	60
<b>Çizelge 3.19:</b> ANC'li (28,4°) değerlerin ANC'siz değerler kullanarak tahmin edilmesi (Regresyon Analizi).....	61

<b>Çizelge 3.20:</b> ANC açık (28,5°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	62
<b>Çizelge 3.21:</b> ANC açık (28,6°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	62
<b>Çizelge 3.22:</b> ANC açık (28,7°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	63
<b>Çizelge 3.23:</b> ANC açık (28,8°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	63
<b>Çizelge 3.24:</b> ANC açık (28,9°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	64
<b>Çizelge 3.25:</b> ANC'li değerlerin ANC'siz değerler kullanarak tahmin edilmesi (Regresyon Analizi) .....	65

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Ses dalgasına ait genlik ve dalga boyu.....	4
Şekil 1.2: (a) Sağlıklı bir kulak (b) Duyma yetisini kaybetmiş kulak .....	10
Şekil 1.3: (a) Sağlıklı bir kulak (b) Duyma yetisini kaybetmiş kulağın kıl hücreleri	10
Şekil 2.1: Aktif gürültü kontrolü deney düzeneği	24
Şekil 2.2: Aktif gürültü kontrol sistemi temel şeması	25
Şekil 2.3: İleri besleme kompensatör şeması	26
Şekil 2.4: Genelleştirilmiş sonlu darbe tepkisi blok diyagramı	30
Şekil 2.5: Galvaniz havalandırma kanalına monte edilmiş fan motoru	33
Şekil 2.6: (a) Referans mikrofon için hazırlanan delik, (b) Referans mikrofon konumlandırma	33
Şekil 2.7: (a) Ters gürültü hoparlörü için hazırlanan boşluk, (b) Hoparlör konumlandırma	34
Şekil 2.8: Test mikrofonu konumlandırma	35
Şekil 2.9: Galvaniz havalandırma kanalı aktif gürültü kontrolü diyagramı	35
Şekil 3.1: ANC pasif durumda iken test mikrofonundan 24sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı	41
Şekil 3.2: ANC pasif durumda iken test mikrofonundan 1sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı	42
Şekil 3.3: ANC pasif durumda iken test mikrofonundan elde edilen gürültü sesi frekans analizi	42
Şekil 3.4: ANC pasif durumda iken farklı frekanslarda test mikrofonundan elde edilen gürültü büyüklükleri (dB)	43
Şekil 3.5: Waves Q10(m) Plug-in'i ile LPF (Low Pass Filter) işlemi	44
Şekil 3.6: Voxengo PHA-979 Plug-in'i ile aktif gürültü kontrolü ayarları	44
Şekil 3.7: ANC aktif durumda iken test mikrofonundan 75sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı	45
Şekil 3.8: ANC aktif durumda iken test mikrofonundan 1sn süreyle alınan gürültü sesi desibel aralığı	46
Şekil 3.9: ANC aktif durumda iken test mikrofonundan elde edilen gürültü sesi frekans analizi	46
Şekil 3.10: ANC aktif durumda iken farklı frekanslarda ve faz derecelerinde test mikrofonundan elde edilen gürültü büyüklükleri	48
Şekil 3.11: 28,3° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması	60
Şekil 3.12: 28,4° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması	61

# İŞYERLERİNDE AKTİF GÜRÜLTÜ KONTROL YÖNTEMİ İLE GÜRÜLTÜ SEVİYESİNİN AZALTILMASINA İLİŞKİN BİR SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ

## ÖZET

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çalışmalarının temel amacı, çalışma ortamlarında çalışanların hayatını tehdit eden, genel tabir ile çalışanları iş kazası veya meslek hastalığı şeklinde ortaya çıkabilecek tehlikelerden korumak ve işyerlerinde proaktif bir yaklaşım ile çalışanlara zarar verebilecek her türlü risk etkenini minimum düzeye indirerek çalışanların güvenli bir ortamda çalışmalarını sağlamak olarak özetlenebilir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İş sağlığını “yalnızca hastalık veya sakatlıkların ortadan kaldırılması değil, aynı zamanda ruhen, bedenen ayrıca sosyal yönden de tam bir huzur ve iyilik halidir.” olarak tanımlar.

İş sağlığı ve güvenliğinde, iş kazaları veya meslek hastalıklarının meydana gelmesini engellemek amacıyla çeşitli risk etmenleri ortaya konulmuştur. Bu etmenler fiziksel etmenler, kimyasal etmenler, biyolojik etmenler, ergonomik ve psikososyal risk etmenleri olarak 5 ana grupta incelenmektedir.

Fiziksel risk etmenlerinin başında yer alan gürültü; duyulduğunda her hangi bir anlam ifade etmeyen, rahatsız edici, maruziyet şiddet ve süresine bağlı olarak çalışanlarda meslek hastalığına sebep olabilen seslerin bütünü olarak tanımlanabilir. Çevremizde her türlü ses üreten cihaz, makine veya ortam gürültü kaynağı olarak karşımıza çıkabilir. Çalışma ortamlarının yanısıra, kentleşme, artan nüfus, trafik yoğunluğu ve plansız yapılaşma da günlük yaşamda önemli gürültü nedenleridir. İşyerlerinde gürültü, çalışanlar üzerinde fiziksel ve psikolojik sorunlar meydana getirme potansiyeline sahiptir. Fiziksel olarak gürültü nedeniyle çalışanlarda duyma bozuklukları, kalp ritminde değişim, yorgunluk ve kas problemleri ortaya çıkabilir.

Ayrıca adrenalin ve tiroid salgılarında değişim ile birlikte damarlarda daralma sorunlarına da sebep olabildiği bilinmektedir. Gürültünün çalışanlar üzerinde meydana getirdiği psikolojik etkiler sonucu ise konsantrasyon ve iletişim bozuklukları ile birlikte yaşam kalitesinde azalma, iş veriminde düşüş görülmektedir. Aynı zamanda işyerlerinde oluşan aşırı gürültü, çalışanlar için tehlike oluşturabilecek makine, araç vb. aletlerin uyarı ikazlarının duyulmasına engel olarak iş kazalarının oluşmasına da neden olabilmektedir.

Bir çok hastalığın ana sebebinin stres olduğu sağlık uzmanları tarafından sıklıkla dile getirilmektedir. Gürültünün önemli bir stres kaynağı olduğu düşünüldüğünde, dolaylı yoldan bir çok hastalığın nedeni olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Havalandırma sistemleri, işyerleri, meskenler, hastaneler, akıllı binalar, kontrollü atmosfer gerektiren yapılar kısacası insanların ortam havasına müdahale etmek istediği her türlü ortamda sıklıkla kullanılan yapı sistemleridir. Havalandırma sistemlerinin insan hayatı üzerindeki olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi gürültü sorunudur. Genelde havalandırma sistemlerinde kullanılan fan motoru gürültüsü ve havalandırma kanalında oluşan

hava akımının kanal içerisinde yaratmış olduğu uğultu şeklindeki gürültü, çalışanlar için önemli bir stres kaynağı haline dönüşmektedir.

Gürültünün önlenmesi veya azaltılması amacıyla birçok teknik yöntem, ekipman ve malzeme kullanılmaktadır. Genel olarak bu yöntemler “Pasif Gürültü Kontrolü” başlığı altında toplanabilir. Pasif gürültü kontrolü, istenmeyen sesin bir ortamdan başka bir ortama geçişini engellemek amacıyla izolasyon işlemi, gürültünün olduğu ortamda sesin yüzeye çarparak geri yansımalarını engellemek amacıyla yapılan akustik düzenlemeler veya alınan önlemler ile etkili sonuç elde edilemiyorsa çalışanlar tarafından kullanılan kişisel koruyucu ekipmanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yaygın olarak kullanımda olan pasif gürültü kontrolüne alternatif olarak “Aktif Gürültü Kontrolü” (ANC) geliştirilmiştir. Bu sistem, savaş uçağı ve savaş helikopteri kokpitlerinde aşırı gürültüyü engellemek amacıyla ilk kez yüksek teknolojiye sahip savunma sanayinde kullanılmaya başlamıştır ve günümüzde farklı alanlarda kullanımının geliştirilmesi amacıyla sınırlı sayıda da olsa akademik çalışmalar mevcuttur. Aktif Gürültü Kontrolü, gürültü kaynağı ile fazı 180 derece değiştirilmiş yani polaritesi ters çevrilmiş gürültünün (Ters Gürültü) üst üste getirilmesi sağlanarak gürültünün yok edilmesi veya azaltılması esasına dayanır.

Literatürde yer alan sınırlı sayıda çalışmada incelendiğinde, havalandırma sistemini simüle eden deney düzeneklerinde genelde konstrüksiyon malzemesi olarak ahşap veya PVC kullanıldığı görülmektedir. Oysa günümüzde, özellikle havalandırma sisteminin büyük önem arz ettiği yapılarda, yapıya uygun boyutlarda galvaniz hava kanalları tasarlanıp üretilerek kullanılmaktadır. PVC borular havalandırma kanalı olarak meskenlerde kısmen kullanılıyor olsa da ahşap malzemenin pratikte kullanımı söz konusu değildir. Bunun yanında yine literatürde yer alan çalışmalarda gürültü kaynağı olarak çoğunlukla hoparlör kullanılmaktadır. Oysaki gerçeğe en yakın sonuçları elde etmek için gürültü kaynağı olarak havalandırma sistemlerinde kullanılan fan motoru kullanarak gürültü kaynağı elde etmek gereklidir. Ayrıca yapılan çalışmalarda kullanılan mikrofonların response aralığının yapılan işleme uygun olmadığı ve istenilen başarıyı yeteri kadar sağlayamayacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak Analog ANC sistemlerinin de kullanıldığı görülmektedir. Analog sistemler için donanım üretim maliyeti, pasif gürültü kontrol yöntemlerine karşı alternatif bir yöntem olabilmesi açısından ANC sistemini dezavantajlı duruma getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, galvaniz havalandırma kanalında oluşan gürültünün azaltılması amacıyla bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Havalandırma kanalının bir ucuna havalandırma fan motoru monte edilerek gerçek bir gürültü kaynağı elde edilmiştir. Deney düzeneğinde bilgisayar, ses işlemci, ses edit programı, eklenti yazılımlar, geniş response aralığına sahip 48V cardioid mikrofonlar ve referans ses monitörleri kullanılarak analog yerine dijital ANC sistemi uygulanmıştır.

Düzenek üzerinde fan motoruna 20cm uzaklığa referans mikrofonu, 100cm uzaklığa ters gürültü hoparlörü ve 200cm uzaklığa yani kanalın sonuna test mikrofonu yerleştirilmiştir. Dijital ANC sistemi vasıtasıyla referans mikrofonundan alınan gürültü sinyalleri işlenerek ters gürültü hoparlörüne iletilmektedir. Kanalın diğer ucuna yerleştirilen test mikrofonu kanalın son noktasında oluşan gürültü sinyallerini almaktadır. Test mikrofonundan alınan sinyaller bu ileri besleme sisteminin ne derece başarılı olduğunu test etmek için kullanılmaktadır.

Düzenekten elde edilen veriler Sound Spectrum Analyzer’da incelenmiştir. Havalandırma kanalının ucundaki fan çalışırken fana yakın olan referans

mikrofonundan sinyal alınmış, sonra eklenti programı sayesinde ses dalgasının fazı her defasında 5° kaydırılarak ortadaki hoparlörden kanalın içerisine verilmiştir. Bu 2 ses içerde çarpışarak total seste kısmen nötralizasyona yol açması sağlanmıştır. Kanalın sonuna yerleştirilen test mikrofonundan da nihai ses alınarak ölçümleme yapılmıştır. Değerlerin tamamı test mikrofonundan alınmış değerlerdir. Öncelikle kanala fazı değiştirilmiş ses verilmeden ölçümleme yapılmış (ANC kapalı/pasif), daha sonra ise kanala fazı değiştirilmiş ses verilip ölçümleme yapılmıştır (ANC açık/aktif). İncelenen tüm frekanslar (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) için 5-50° arası her 5°'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 10 farklı faz derecesi = 60 ölçüm) alınmıştır. En yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz dereceleri arasında (25-30° arasında) ise her 0,1°'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 50 farklı faz derecesi = 300 ölçüm) alınmıştır. ANC'li ve ANC'siz değerlerin karşılaştırılmasında ortalamalar için iki örnek t-testi'nden, ANC'siz değerler ile ANC'li değerlerin tahmin edilmesindeyse Regresyon Analizi'nden yararlanılmıştır. Analizlerde yüzde 95 ve üzeri ( $p < 0,05$ ) anlamlılık düzeyi kabul edilmiştir.

Analizler sonucunda, galvaniz havalandırma kanallarında bas karakterli gürültü ve uğultu sesinin, Sound Edit ve eklenti programlarının yardımıyla gerçekleştirilen Aktif Gürültü Kontrolü yöntemiyle 16-500Hz arasında incelenen tüm frekanslarda 25-35° arasında değişen faz kaydırma ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p < 0,05$ ) 9,9-18,7 dB kadar azaltılabildiği; yine 16-500Hz arasında incelenen tüm frekanslarda 28,7° sağa faz kaydırma ile ortalama 18,7 dB anlamlı düzeyde ( $p < 0,01$ ) gürültü azaltımı sağlanabildiği gözlemlenmiştir. İncelenen tüm frekanslarda ortalama ve toplamda en yüksek gürültü azaltımı sağlanan ANC'li 28,7° sağa faz kaydırma ile 5,1-29,7 dB aralığında değişen gürültü azaltımı (16 Hz'de 18,0 dB, 31Hz'de 20,2 dB, 62 Hz'de 17,9 dB, 125 Hz'de 29,7 dB, 250 Hz'de 21,8 dB ve 500 Hz'de 5,1 dB) sağlanabilmiştir. Dolayısıyla araştırmamızda gürültü azaltma miktarının 28,7° sağa faz kaydırma ile 125Hz'de 29,7 dB gibi en yüksek başarıya ulaştığı gözlemlenmiştir. Özetle, galvaniz havalandırma kanalında dijital ANC sisteminin özellikle bas frekanslı gürültüyü ve uğultu sesini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p < 0,05$ ) azalttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ANC, Aktif gürültü kontrolü, Gürültü, Ters faz, Havalandırma kanalı.

## **DEVELOPING A SYSTEM FOR REDUCING THE NOISE LEVEL BY USING ACTIVE NOISE CONTROL METHOD IN WORKPLACES**

### **ABSTRACT**

It can be summarised that the main purpose of the studies on occupational health and safety is to protect the employees from the dangers which can emerge as an occupational accident or disease and, to ensure that the employees work in a safe place by minimizing any risks that may harm the employees with a proactive approach in the workplace.

World Health Organisation (WHO) defines occupational health as “it is not only a removal of the diseases and injuries but also a state of peace and goodness as mentally, physically and also socially.”

Various risk factors have been put forward on occupational health and safety to prevent the occurrence of occupational injuries and diseases. These factors are examined in 5 main groups as physical factors, chemical factors, biological factors, ergonomic factors, and psychosocial factors.

Noise, one of the major physical factors, can be defined as disturbing sounds that have no meaning when heard and may lead to occupational diseases in employees depending on the exposure volume and duration. It can appear in our environment as any kind of device, machine, or source of ambient noise that produces sound. Workplaces aside; urbanisation, increasing population, dense traffic, and unplanned urbanization are serious causes of noise in daily life.

Noise in the workplace has the potential of creating physical and mental problems for employees. Physical problems such as hearing loss, arrhythmia, fatigue, and muscular problems may emerge due to noise. Besides, it is known to cause veins to narrow along with the change in the secretion of adrenaline and thyroid.

Among the psychological effects of the noise on the employees, there is; reduced quality of life and low work efficiency along with concentration and communication disorders. Also, excess noise in the workplace may cause occupational injuries by preventing the hearing of warning sounds of instruments such as machines and vehicles.

It is frequently stated by health professionals that stress is the main cause of many diseases. Considered that noise is an important source of stress, it should not be ignored that it might be the indirect cause of many diseases.

Ventilating systems are construction systems frequently used in workplaces, residences, hospitals, smart buildings, constructions that require a controlled atmosphere, or in short, any place where people want to interfere in the ambient air.

Besides their positive effects, ventilating systems have negative effects as well. Noise problem is one of the most important negative effects. Generally, the noise of the fan motors used in ventilating systems and the noise that emerges as a background noise caused by the airflow in the ventilating ducts might turn into an important source of stress for employees.

Various techniques, methods, equipment, and instruments are used to prevent or minimize the noise. These methods can be gathered under the title of “Passive Noise Control” in general. Passive noise controls can be done as an insulation process to prevent the transmission of the unwanted sound from one place to another by acoustic arrangements that prevent the resonance in a setting where noise occurs or, if the measures are not effective, by personal protective equipment used by the employees.

“Active Noise Control” (ANC) has been developed as an alternative to commonly used passive noise control. This system was first used in the high technology defense industry to cancel the excess noise in combat aircraft and helicopter cockpits, and today there are a limited number of studies on developing its use in different fields.

Active Noise Control is based on canceling or minimizing the noise by adding noise whose phase is inverted in 180 degrees, or in other words, which polarity is inverted (Anti Noise) to the source of the noise.

When the limited number of studies in the literature are reviewed, it is seen that wood or PVC is generally used as the construction material in the experimental setups simulating the ventilation system. However, today, especially in buildings where the ventilation system is of great importance, galvanized air ducts with dimensions suitable for the construction are designed and produced. Even though PVC pipes are partially used as ventilation ducts in residences, wooden material is not used in practice. In addition, loudspeakers are mostly used as a source of noise in the studies in the literature. However, in order to obtain the most realistic results, it is necessary to obtain a noise source by using the fan motor used in ventilation systems as the noise source. In addition, it is thought that the response range of the microphones used in the studies is not suitable for the procedure and cannot provide the desired success sufficiently. In addition, it is seen that Analog ANC systems are also used. Hardware production cost for analog systems makes the ANC system disadvantageous in terms of being an alternative method to passive noise control methods.

In this thesis, an experimental setup has been established in order to reduce the noise generated in the galvanized ventilation duct. A real noise source has been obtained by mounting the ventilation fan motor at one end of the ventilation duct. In the experimental setup, a digital ANC system has been applied instead of analog by using a computer, sound processor, sound editing program, add-on software, 48V cardioid microphones with a wide response range, and reference sound monitors.

On the setup, a reference microphone at a distance of 20cm from the fan motor, an anti noise speaker at a distance of 100cm, and a test microphone at the end of the air duct are placed at a distance of 200cm. The noise signals received from the reference microphone are processed through the digital ANC system and transmitted to the anti noise speaker. The test microphone placed at the other end of the air duct receives the noise signals generated at the end of the duct. The signals received from the test microphone are used to examine and evaluate how successful this feed forward system is.

The data obtained from the apparatus have been examined on Sound Spectrum Analyzer. While the fan at the end of the ventilation duct was operating, a signal was taken from the reference microphone close to the fan. Then, thanks to the add-on program, the phase of the sound wave was shifted by 5° each time and given into the duct from the middle speaker. These 2 sounds collide inside, causing partial

neutralization in the total sound. Measurements were made by taking the final sound from the test microphone placed at the end of the channel. All values are taken from the test microphone. First, the channel was measured without a phase-changed sound (ANC off/passive), and then the phase-shifted sound was given to the channel and the measurement was made (ANC on/active). Measurements were taken every 5° between 5 and 50° for all investigated frequencies (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz, and 500Hz) (6 different frequencies x 10 different phase degrees = 60 measurements). Between the phase degrees (between 25-30°) that provide the highest noise magnitude (dB) reduction, a measurement was taken once for each 0.1° (6 different frequencies x 50 different phase degrees = 300 measurements). Two sample t-tests were used to compare the values with and without ANC, and Regression Analysis was used to estimate the values with ANC using the values without ANC. A significance level of 95 percent and above ( $p < 0.05$ ) was accepted in the analyses.

As a result of the analyzes, it was found that the bass character noise and hum in galvanized ventilation ducts can be statistically significantly ( $p < 0.05$ ) reduced by 9.9-18.7 dB with a phase shift varying between 25-35° at all frequencies examined between 16-500Hz with the Active Noise Control method performed with the help of Sound Edit and plug-in programs. Again, at all examined frequencies between 16-500Hz, it was observed that an average of 18.7 dB ( $p < 0.01$ ) noise reduction could be achieved with a 28.7° right phase shift. Noise reduction ranging from 5.1-29.7 dB (18.0 dB in 16 Hz, 20.2 dB in 31 Hz, 17.9 dB in 62 Hz, 29.7 dB in 125 Hz, 21.8 dB in 250 Hz, and 5,1dB in 500 Hz) was achieved with 28.7° right phase shift with ANC, which provided the average and the highest overall noise reduction at all frequencies examined. Therefore, in our research, it was observed that the noise reduction amount reached the highest level of 29.7 dB at 125Hz with 28.7° right phase shift. Briefly, it was observed that the digital ANC system in the galvanized ventilation duct has significantly reduced the noise with bass frequency and background noise sound in particular.

**Keywords:** *ANC, Active noise control, Noise, Anti noise, Air duct.*

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışma Konusu

Bu tez çalışmasında, iş sağlığı ve güvenliğinde önemle üzerinde durulan, çalışanlar için risk etmenleri konusu içerisinde ve “Fiziksel Risk Etmenleri” başlığı altında yer alan “Gürültü” konusu işlenerek, gürültünün önlenmesi veya azaltılması üzerinde durulmuştur. Ayrıca spesifik olarak işyerlerinde havalandırma sistemlerinin yaratmış olduğu gürültünün engellenmesi için oluşturulan deneysel düzenek üzerinde ANC (Aktif Gürültü Kontrolü) çalışmaları yapılarak önemli sonuçlar elde edilmiştir.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, çalışma ortamlarında kullanılan havalandırma sistemlerinin ortaya çıkartmış olduğu gürültünün azaltılması için, havalandırma sistemleri üzerinde standart ve alışlagelmiş yöntemlerden farklı olarak dijital ANC (Aktif Gürültü Kontrol) sisteminin kullanılması ve geliştirilmesine katkıda bulunmaktır.

## 1.3 Literatür Araştırması

### 1.3.1 İş sağlığı ve güvenliği

İş sağlığı ve güvenliği; çalışanların işyerlerinde emniyetini, sağlığını ve rahatlığını sağlayan hukuk ve buna bağlı politika ve süreçleri inceleyen ve oluşturan multidisipliner bir bilim dalıdır. Farklı bir tarifile işyerlerinde faaliyet gösterilirken çeşitli sebeplerden dolayı çalışanların sağlığı açısından tehdit oluşturabilecek unsurlara karşı önlem amacıyla gerçekleştirilen sistematik ve bilimsel uygulamalar bütünüdür (Öktem, 2017).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO)'nun tanımlamasına göre İş Sağlığı ve Güvenliği kavramı, her iş kolunda çalışan bireylerin beden, psikolojik ve sosyal anlamda refah durumlarının en üst seviyede olması, ayrıca bu durumun sürdürülebilir ve geliştirilebilir olması için yapılan çalışmalardır.

### **1.3.2 İş sağlığı ve güvenliğinde risk etmenleri**

İş Sağlığı ve Güvenliğinde risk etmenleri 5 ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risk etmenleridir.

#### **1.3.2.1 Fiziksel risk etmenleri**

Çalışma ortamlarında oluşabilecek fiziksel risk etmenleri; gürültü, aydınlatma, vibrasyon (titreşim), radyasyon (iyonize ve non-iyonize ışıklar) ve basınçtır (yüksek ve alçak basınç) (Çırpan, 2016).

#### **1.3.2.2 Kimyasal risk etmenleri**

İşyerlerinde çalışanlar için tehlikeli olabilecek kimyasal maddeler, “Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkındaki Yönetmeliğe” göre; patlamaya hazır, kolay şekilde alevlenir, oksitleyici, toksik, çok toksik, aşındırıcı, zararlı, kanserojen, alerjik, mutajen, üremeler için toksik ve çevre adına tehlikeli olan özelliklerden bir ya da daha fazlasına sahip olan maddeler ve bileşenleri veya yukarıda bahsi geçen sınıflamalara dahil edilmemekle birlikte kimyasal, fiziko-kimyasal ya da toksikolojik özelliği ve kullanılma ya da çalışma alanlarında bulundurma sebebi ile çalışmakta olan kişilerin sağlıkları ve güvenliklerine ilişkin olarak tehlikeler oluşturabilecek maddeler ve mesleki yönden sınır değerleri belirlenmiş olan maddeler” olarak tanımlanmaktadır.

#### **1.3.2.3 Biyolojik risk etmenleri**

Biyolojik etmenler zehirlenmeye, enfeksiyona veya alerjiye sebep olabilecek, gen yapısı değişikliğe uğramış olanlar da dahil tek hücrelileri, hücre kültürünü ve parazitleri kapsamaktadırlar. Bireylerdeki mesleğe bağlı enfeksiyonlar ise, söz konusu mikrobik ajanların, çalışanın mesleği ile alakalı maruziyeti sonucu oluşmuş hastalıklardır (Karaltı, 2017).

#### **1.3.2.4 Ergonomik risk etmenleri**

Çalışanlarda iş yaşamının etkileri sonucu oluşan kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını ifade eden, aynı zamanda bu rahatsızlık sürecini hızlandırarak artıran sebepler ergonomik riskler olarak tanımlanmaktadır. Bu risk faktörleri doğrudan veya dolaylı yoldan kas ve iskelet sisteminde hastalık ve rahatsızlıklara sebebiyet vermektedir.

Ergonomi bilimi, çalışanlar ile makine ve yapılan işin birbirleriyle olan uyumunun iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla, çalışanın fizyolojik, anatomik, biyolojik ve diğer kişisel niteliklerini dikkate alarak alet, makine veya eşyaların bu niteliklere uygun standartlarda tasarlanmasını sağlamaktadır (Bilir, 2003).

### **1.3.2.5 Psikososyal risk etmenleri**

İçinde bulunduğumuz dönemde, çalışanların iş yükünün giderek artması ve çalışma sürelerinin uzaması gibi sebeplerden dolayı çalışanların sağlığı da olumsuz yönde etkilenmekte ve iş verimlilikleri de aynı oranda azalmaktadır. İşyerleri ve işletmeler açısından bu durum ekonomik zarara yol açmaktadır. Psikososyal risk etmenleri, çalışanlarda psikolojik, sosyal veya fiziksel sorunlara neden olabilmektedir. Çalışanlar için yapılan iş ve çalışma şartları çalışanların bilgi, beceri, yetenek veya ihtiyaçları ile uyumsuz ise veya çalışanların kendi işleri üzerinde ki kontrolleri ile sosyal destekleri yetersiz ise çalışanlarda stres ve psikososyal rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir (Vatansever, 2014).

### **1.3.3 Ses ve gürültü**

Ses, fiziksel ve fizyolojik olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Fiziksel olarak ses, katı, sıvı veya gaz halindeki maddeler içerisinde meydana gelen basınç dalgalanmaları veya madde içerisindeki titreşimin sebep olduğu ortama ait parçacıkların yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Fizyolojik tanımı ile ses ise, duyu organları üzerindeki elastik ortamda titreşim sebebiyle oluşan basınç değişimleridir (Hansen, 2001, Barron, 2003, Özgüven, 1986).

Sesin birimi desibeldir ve bir büyüklüğün, belirlenen referans değerine oranlanması ve bu oranın logaritmasının alınması ile elde edilen değer Graham Bell'in anısına Bel (B) olarak tanımlanmaktadır. Desibel (dB), elde edilen bu değer 1/10 una karşılık gelir. Duyma bozukluğu olmayan yetişkin sağlıklı bir insan, 20  $\mu$ Pa ile 200 Pa arasında yer alan ses şiddetlerini duyabilmektedir (Çınar, 2005).

Gürültü kelimesi Latince yüksek ses aynı zamanda beklenmeyen ve hoş gitmeyen sesler anlamına gelen "nausea" sözcüğünden türetilmiştir (Singh ve Davar, 2004). Gürültüye sebep olan ses de normal sesler gibi hava basıncında meydana gelen değişiklikler sonucu oluşmaktadır. Titreşimler sonucu meydana gelen hava

basıncındaki değişiklikler, kulağa dalgalar şeklinde gelmekte ve bunun sonucu olarak ses şeklinde işitilebilmektedir (Çınar, 2005).

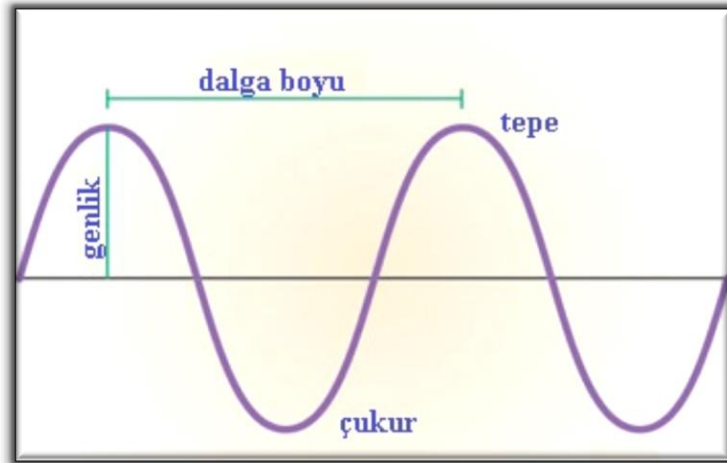
### 1.3.3.1 Frekans

Frekans, periyodik olarak tekrar eden bir işlemin tekraralama hızıdır (Barber, 1992). Ses frekansı ise; birim zaman içerisinde titreşim kaynağı tarafından havada oluşturulan titreşim sayısı şeklinde tanımlanır. Ses frekansının birimi Hertz olup (Hz) simgesi ile ifade edilir. Yüksek olan ses frekanslarında birim olarak ‘kilohertz’ (kHz) kullanılmaktadır. ‘Kilohertz’ (kHz) Hertz’in 1000 katıdır (Baranek, 1992).

İnsanlar arasında işitme gücü konusunda oldukça büyük farklılıklar bulunmasının yanı sıra sağlıklı ve genç olan bir yetişkin kulağı, 20 Hz ile 20 kHz frekansları arasında yer alan sesleri duyabilmektedir. Bu aralığa "İşitilebilir Frekans Aralığı" denir. 20Hz’in altında yer alan 1 ile 20 Hz frekans aralığı “İnfrasonik Frekanslar” olarak adlandırılır. Bu aralıkta yer alan sesler duyulmaz yalnızca titreşim şeklinde hissedilirler. 20.000 Hz’in üzerinde yer alan 20.000 – 40.000 Hz frekans aralıkları “Ultrasonik Frekanslar” olarak tanımlanmaktadır (Barron, 2003).

### 1.3.3.2 Genlik

Genlik, ses dalgalarının dikey büyüklük ölçüsüdür. Ses dalgalarında oluşan sıkışma ve genleşmeler arasındaki fark dalgaların genliğini belirtir (şekil 1.1).



şekil 1.1: Ses dalgasına ait genlik ve dalga boyu

Kaynak: ÇYGM (2018).

### 1.3.3.3 Dalga boyu

Bir ses dalgasının iki tepe ya da iki alt noktası arasında bulunan uzaklığına dalga boyu denir ve “λ” sembolü ile gösterilir, birimi ise metredir (Şekil 1.1). Frekans ile dalga boyu birbirleri ile ters orantılı ilişkiye sahiptir. Dalga boyu 20 - 10.000 Hz frekans aralığında olan sesler 17 m - 25 mm aralığında farklılık gösterir. Sıkışma (maks. basınç) veya gevşeme (min. basınç) bölgeleri arasında geçen süreye veya bir titreşim için harcanan zamana ise periyot denir ve birimi saniyedir (Brüel ve Kjaer, 1998).

### 1.3.3.4 Ses şiddeti

Herhangi bir noktadan yayılan ses dalgaları, açık alan içerisinde küresel olarak yayılım gösterir. Sesin yayılma alanı içerisinde, belirli bir noktadan veya belirli bir birim alan içinden geçen ortalama ses enerji miktarı "Ses Şiddeti" olarak tanımlanır (Hansen, 2001, Barron, 2003, Özgüven, 1986). Ses şiddetinin birimi watt/m<sup>2</sup>'dir. Ses şiddeti vektörel bir niceliğe sahiptir ve uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır.

$$I = W/4\pi r^2 = P^2/\rho \cdot c \quad (1.1)$$

Bu formülde;

I: Ses şiddeti (watt/m<sup>2</sup>)

W: Kaynaktaki ses kuvveti (watt)

P: Ses basıncı (Pa)

ρ : Ses dağılım ortam yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

c: Ses yayılım hızı (m/s)

r: Ses kaynağına olan uzaklık (m)

### 1.3.3.5 Ses basıncı

Sesin meydana getirdiği titreşimlerin atmosfer basıncı üzerinde oluşturmuş olduğu değişimler akustik basınç veya ses basıncı olarak tanımlanır. “P” ile simgelenir, birimi ise Paskal'dır (Pa). Durgun atmosfer basıncı ile karşılaştırıldığında duyulabilir seslerin havada yarattığı basınçlar oldukça küçüktür ve 20 μPa (20x10<sup>-6</sup> Pa) ile 200 Pa aralığında yer almaktadır. Genç ve sağlıklı bir insan kulağı 20 μPa seviyesinde yer alan ses basınçlarını algılayabilmektedir. Bu seviyeye duyma eşiği denir. 200

Pascal'lık ses basıncı ise acı duyma eşiği olarak tanımlanır (Barron, 2003, Hansen, 2001).

### 1.3.3.6 Ses gücü

Belirli bir ses kaynağının birim zamanda yaratmış olduğu ses enerji miktarına “Ses Gücü” denir ve birimi Watt’dır. Ses gücü herhangi bir ses kaynağının hangi düzeyde bir akustik enerji üreteceğinin temel ölçümüdür ve ses gücü kaynağın yer aldığı çevre şartlarından bağımsız olarak ölçülür (Hansen, 2001; Barron, 2003).

$$W = 4\pi r^2 \cdot I \quad (1.2)$$

Bu formülde;

W: Kaynakta oluşan ses gücü (watt)

r: Küresel yayılan ses kaynağın merkezinden yüzey kısmına olan mesafe (m) olarak tanımlanır.

I: Kaynağın ses şiddeti (watt/m<sup>2</sup>)

### 1.3.3.7 Ses hızı

Ses hızı, ses titreşimin meydana getirdiği alçak ve yüksek basınç bölgelerinin çıktığı kaynaktan uzaklaşması olarak ifade edilmektedir (Barron, 2003, Hansen, 2001).

Sesin hızı, frekansı ve dalga boyu arasındaki ilişki formülü;

$$C = f \cdot \lambda \quad (1.3)$$

Bu formülde;

c : Ses hızı (m/s)

f : Frekans (Hz)

$\lambda$ : Dalga boyu (m) olarak ifade edilmektedir.

### 1.3.3.8 Gürültü çeşitleri

Gürültü kavramı gürültü frekansına ve zaman değişimine göre iki grupta incelenmektedir (ÇYGM, 2018).

### **Frekansına göre**

Geniş bant gürültüsü; bu gürültü çeşitinde gürültü kaynağından çıkan seslerin frekansları geniş aralığı kapsamaktadır. Gürültüye neden olan ses frekanslarının, bütün frekans aralığını kapsamasına “Geniş Bant Gürültüsü” denilmektedir. Makineler genel olarak geniş bant gürültü kaynağına güzel bir örnektir.

Her frekans düzeyinde gürültüye aynı oranda katkı sağlayan gürültü çeşitlerine ise “Beyaz Gürültü” denilmektedir. Beyaz gürültü bu özelliğinden dolayı duyulması istenmeyen gizli konuşmaların yer aldığı ortamlarda veya önemli görüşmelerin gerçekleştiği toplantı odalarında, oluşan sesin perdelenerek duyulmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır.

Dar bant gürültüsü; Geniş bant gürültüsünün tam tersi olarak, oluşan gürültünün frekans aralığının, belirli bir frekans bandında toplanmış şekilde görülmesidir. Tez konusu olarak incelenen havalandırma sistemlerinin ortaya çıkardığı gürültü dar bant gürültüsü olarak değerlendirilebilir. Genel olarak havalandırma kanalı içerisinde ortaya çıkan rahatsız edici gürültü düşük frekanslı uğultu şeklindeki gürültüdür.

### **Zaman değişimine göre**

Kararlı gürültü; Genel olarak belirli bir zaman dilimi içinde değişim miktarları 5 dB(A)’ya kadar olan gürültü çeşididir. Kısaca gürültü seviyesinde zamana bağlı bir değişim gözlenmemektedir. Sürekli olarak çalışan havalandırma sisteminin çıkarmış olduğu gürültü kararlı gürültüye güzel bir örnektir.

- **Kararsız gürültü:** Ses seviyelerinde zamanla önemli değişimler gözlenen gürültü çeşididir. Kendi içerisinde 3’e ayrılır. Bunlar dalgalı gürültü, kesikli gürültü ve darbe gürültüleridir.
- **Dalgalı gürültü:** Gözlem süresince seviyesinde sürekli ve önemli ölçüde değişiklikler olan gürültü çeşitlerine denir.
- **Kesikli gürültü:** Gözlem süresi içerisinde seviyesi aniden ortam gürültü seviyesine inen ve ortam gürültü seviyesi üzerindeki değeri bir saniye veya daha fazla sürede sabit olarak devam eden gürültü türüdür. Trafikten kaynaklanan gürültü ve durup tekrar çalışan vantilatörler bu gürültü türüne güzel örneklerdir.

- **Darbe gürültüleri (Anlık gürültü):** Her biri bir saniyeden daha kısa süren bir yada birden fazla vuruşun çıkardığı gürültü çeşitidir. Çekiç, perçin ve presleme makineleri bu gürültü çeşidi için güzel örneklerdir.

### 1.3.3.9 Gürültü maruziyetinin insan sağlığı üzerindeki etkileri

Sanayi sektöründe çalışanlarda görülen ve gürültünün neden olduğu işitme kayıpları fiziki etmenlere bağlı olarak meydana gelen meslek hastalığı şeklinde nitelendirilmektedir (Hisam, 2018).

Gürültünün çalışanların sağlığı üzerindeki olumsuz etkisinde maruziyet süreleri en önemli faktörlerden birisidir. Gürültü maruziyetinin çalışanlar arasında kişiye göre farklı sonuçları olabilmektedir. Kişinin iç kulak durumu, önceden oluşmuş hastalıkları ve kişisel hassasiyetleri önemli etkenlerdir.

Gürültü maruziyeti ve sonuçlarının sağlık açısından değerlendirilmesinde çalışanın yaşı da oldukça önemli bir faktördür. Bu sebeple duyma kaybı tespitlerinde yaş dikkate alınır. Tıpkı görme duyusunda olduğu gibi duyma duyusunda da 40 yaşından sonra duyma kayıpları başlamaktadır. Bu nedenle, işitme kaybı hesaplaması 40 yıl ile sınırlıdır ve her yıl odyogramdan sonra 0,5 dB yaşa bağlı işitme kaybı düşülür (Hisam, 2018). İlk duyma bozukluğu genellikle 4000 Hz (4kHz) frekansında gerçekleşir. Daha sonra konuşma frekanslarının duyulduğu frekans aralığını etkilemeye başlar.

ÇSGB (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) tarafından 28.07.2013 tarih ve 28721 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış olan “Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik” İşçileri sağlık ve güvenlik tehlikelerinden, özellikle gürültüye maruz kalmadan kaynaklanan işitme kaybından korumaya yönelik minimum gereksinimler tanımlanmıştır. Bunlar:

- a) En düşük maruziyet eylem düzeyi (LEX, 8saat) = 80 dB(A) veya (Ptepe) = 112 Pa [135 dB(C) re. 20 µPa] (20 µPa ölçüm aralığında 135 dB (C) şeklinde hesaplanmış olan değerler).
- b) En yüksek maruziyet eylem düzeyi: (LEX, 8saat) = 85 dB(A) ya da (Ptepe) = 140 Pa [137 dB(C) re. 20 µPa].
- c) Maruziyet sınır değeri: (LEX, 8saat) = 87 dB(A) veya (Ptepe) = 200 Pa [140 dB(C) re. 20 µPa] şeklinde yönetmeliklerde tespiti yapılmıştır (ÇSGB, 2013).

Uluslararası kurumlar tarafından kabul edilmiş gürültü maruziyet sınırları değerleri Çizelge 1.1’ de verilmektedir.

**Çizelge 1.1:** Uluslararası mevzuattaki gürültü maruziyet değerleri

	<b>Düşük maruziyet eylem değerleri:</b> - Günlük veya haftalık kişisel maruz kalma düzeyi: 80 dB(A) - Peak Ses basıncı seviyesi: 135 dB(C)
HSE (Health and Safety Executive – İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kuruluşu)	<b>Yüksek maruziyet eylem değerleri:</b> - Günlük veya haftalık kişisel maruz kalma düzeyi: 85 dB(A) - Peak Ses basıncı düzeyi: 137 dB(C)
	<b>Maruziyet sınır değerleri:</b> - Günlük veya haftalık kişisel maruz kalma düzeyi; 87 dB(A) - Peak Ses basıncı seviyesi: 140 dB(C)
OSHA (Occupational Safety and Health Administration – Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi)	8 saat maruz kalma değeri: 90 dB(A)
NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health – Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)	8 saat maruz kalma değeri: 85 dB(A)

**Kaynak:** Fişne (2008).

### **Fiziksel etkiler**

Dünya Sağlık Örgütü tarafından gürültünün insanların işitme organına zarar verdiği belirtilmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 1,1 milyar insan akıllı telefonlar da dahil olmak üzere bireysel ses üreten cihazlar, eğlence mekânları ve spor etkinliklerinden gelen yüksek ses şiddetleri nedeniyle işitme kaybı riski altında bulunmaktadır (WHO, 2018).

İnsan kulağındaki işitme kayıpları 2 grup altında incelenmektedir;

- 1) İletim tipi işitme kaybı
- 2) Algı tipi işitme kaybı

- **İletim tipi işitme kaybı**

Orta ve dış kulak yapısında oluşan sağırlık çeşitidir. Dış ve orta kulaktan geçen sesin enerjisinin kaybolması sonucu ses doğrudan iç kulağa iletilemez. Bu sağırlık türüne, orta kulak zarı için zararlı olabilecek ani, güçlü bir patlama sesinin sebep olabileceği düşünülmektedir.

- **Algı tipi işitme kaybı**

Bu tip işitme kaybı iç kulakta oluşan işitme kayıplarıdır. Kokleadaki sıvı ve lif yapılarının bozulması sonucu işitsel sinir fonksiyonunun kaybı olarak tanımlanır. Bu sağırlık türü genel olarak yüksek yoğunluğa sahip ve yüksek frekanslı gürültü maruziyeti sonucu oluşmaktadır (Hisam, 2018).

Şekil 1.2’de (a) sağlıklı bir kulak ile (b) duyma yetisini kaybetmiş bir kulağın yapıları görülmektedir.

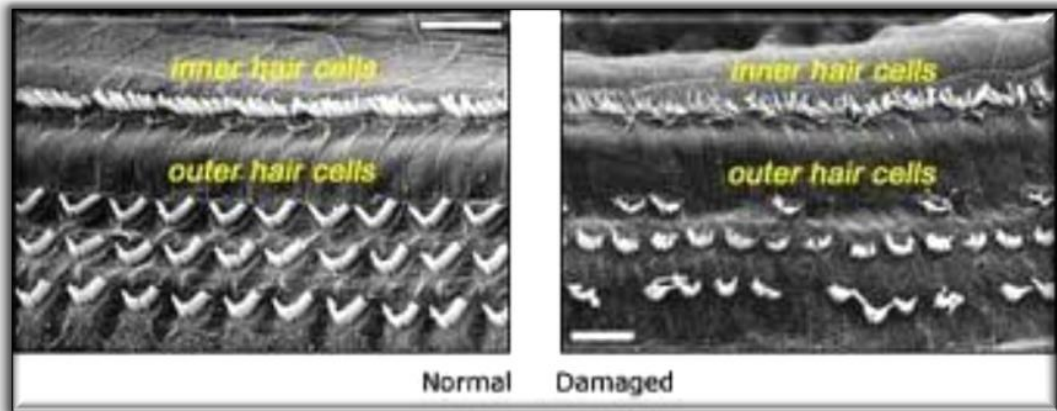


a

b

Şekil 1.2: (a) Sağlıklı bir kulak (b) Duyma yetisini kaybetmiş kulak

Kaynak: Hisam (2018).



a

b

Şekil 1.3: (a) Sağlıklı bir kulak (b) Duyma yetisini kaybetmiş kulağın kıl hücreleri

Kaynak: Hisam (2018).

### **Fizyolojik etkiler**

Gürültünün insan fizyolojisine etkileri; kan basıncı yükselmesi, kalp atışında hızlanma, vücuttaki kolesterol seviyesinin yükselmesi, adrenalin seviyesinde yükselme, nefes alış veriş hızında artış, kasların gerilmesi ve uyku düzeninde bozulmalar şeklinde görülmektedir. Gürültü maruziyeti özellikle çalışanlarda kardiyovasküler hastalıklarla ilişkili bulunmuştur. Yapılan araştırmalar, en az 85 dB şiddetinde sürekli olarak gürültüye maruz kalan çalışanların, gürültüye maruz kalmayanlara oranla daha yüksek tansiyona sahip oldukları belirlenmiştir (MEB, 2012, Stephen vd., 2013).

Smith ve Laird'in dört denek üzerinde yapmış olduğu araştırmalarda 10 dakika süre ile 80 dB gürültüye maruz kalan, ardından 10 dakika boyunca sessiz ortamda kalan ve ardından yine 10dk süreyle 60 dB gürültüye maruz bırakılmaları sonucu midelerinde kasılmalar gözlemlenmiştir. 80 dB gürültü maruziyeti esnasında midede yaşanan kasılma sayısının dakikada %37 arttığı, sessizlik esnasında ise kasılmaların normal sayıya ulaştığı, 60 dB maruziyet esnasında ise normale göre hafif şekilde değişmelerin olduğu gözlemlenmiştir (Bugliarello vd., 1976).

### **Psikolojik etkiler**

Seviyesi çok yüksek veya kaynağı belli olmayan gürültü insanlarda aşırı duygusal tepkiler ve davranış bozukluklarına sebep olabilmektedir.

İnsanlarda ruh sağlığı ile gürültü arasındaki korelasyonu inceleyen ilk çalışma, 1950'li yılların ortalarında ABD donanmasına ait bir uçak gemisi mürettebatı üzerinde yapılmış ve çalışma sonucunda gürültünün insanların ruh sağlığını etkilediği bilgisine ulaşılmıştır.

Gürültü şiddeti yeterli oranda yüksek olduğunda; gürültü sebebiyle oluşan rahatsızlık aşırı tepki ve öfke şeklinde davranışa dönüşür. Almanya'da ilkokul öğrencileri arasında yapılan bir çalışmanın sonucunda gürültüye maruz kalmış olan iki grup (1280 + 123 kişi) üzerinde çevreden kaynaklanan gürültülerin olumsuz etkilerine yönelik incelemeler yapılmış, 8-11 yaş aralığındaki ilkokul öğrencilerinin sınıflarına uyum sağlayamamalarının yanında etrafındakilere karşı sinirli davranışlar sergiledikleri gözlemlenmiştir (Çınar, 2015).

## **Performans etkileri**

Gürültü kaynağının ses seviyesi, çalışan performansının etkilerini ortaya çıkartan en önemli parametrelerden birisidir ve yapılan iş çeşidine göre değişim gösterir. 115 dB seviyesine kadar gürültüden etkilenmeden basit işler gerçekleştirilebilir, ancak daha ayrıntılı ve kompleks işler gürültü seviyesindeki artış ile birlikte kesintiye uğrar. Gürültünün bulunduğu frekans aralığı da iş performansının üzerinde oldukça etkilidir. Yüksek frekanslardaki gürültüler, düşük frekanslı gürültülere göre yapılan işi daha çok aksatmaktadır (Fişne, 2008).

İşyerlerinde gürültü sebebiyle çalışanlarda meydana gelen rahatsızlıklar sebebiyle iş veriminin azalması hem çalışanları, hem işyeri sahibini olumsuz etkilemektedir. Okuma, öğrenme ve iş verimliliği konusunda gürültü kaynaklı performans değişiklikleri üzerinde yapılan çalışmalar 1930'lu yıllardan bu yana devam etmektedir. Yapılan bu çalışmalar; gürültü, gürültü değişikliklerine karşı gösterilen uyum, çalışanın zeka seviyesi, işin zorluk derecesi, yaş vb. çalışan performansını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen çok sayıda değişkenin bulunması sebebiyle, çalışanın verimliliğinin düşüşüne sebep olan gürültü seviyesinin tam olarak belirlenmesi mümkün değildir (Kavraz, 2006).

### **1.3.4 Gürültüden korunma yöntemleri**

Gürültüden korunma yöntemleri “Pasif Gürültü Kontrol Yöntemleri” ve “Aktif Gürültü Kontrol Yöntemleri” olarak iki ana başlık altında incelenebilir.

#### **1.3.4.1 Pasif gürültü kontrol yöntemleri**

Gürültü kişilerin hayatını olumsuz şekilde etkilemektedir. Gürültüyü ortadan tamamen yada kısmen kaldırmak mümkün değilse, gürültünün neden olduğu çalışan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini yok etmek veya en aza indirmek gerekmektedir. Gürültünün azaltımı için temel olarak üç yöntem kullanılır. Bu yöntemler gürültüyü kaynağında azaltma yöntemi, bariyer ve engeller kullanarak azaltma yöntemi ve kişisel korunma yöntemleri olarak belirtilebilir (Maraş, 2016; Demir, 2012).

#### **Kaynakta azaltma yöntemi**

Gürültünün oluştuğu kaynakta azaltılması yöntemi oldukça pasif bir yöntemdir. Oluşan gürültünün engellenmesi için gürültüyü oluşturan bütün titreşimlerin ortadan

kaldırılması ya da minimum seviyeye indirilmesi hedeflenir. Pasif gürültü kontrolünde temel esas kullanılan malzemelerin gürültü ve titreşim emilim özelliğinden faydalanmaktır. Gürültüyü azaltmak amacıyla kullanılan malzemelerin gürültü kaynağına ya da kaynağın yakın bölümlerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Egzozlu araçlarda kullanılan egzoz susturucuları, hemen hemen tüm araçlarda kullanılan ses yalıtım malzemeleri, otoyol ve havalimanlarında kullanılan gürültü bariyerleri kaynaktan azaltma yöntemine örnek olarak verilebilir. Kaynaktan gürültü kontrolü, gürültü kaynağının bakım zamanlamasının doğru yapılması, çeşitli susturucular kullanılması veya yalıtımlı kapalı bir ortama yerleştirilmesi şeklinde de desteklenerek sağlanabilir. Gürültü kaynağının etrafının oluklu saclar vb. gibi materyallerin kullanılarak kaplanması, sesin kırılmasına neden olarak 10 dBA - 40 dBA düzeyinde gürültü azaltımını sağlayabilmektedir (Demir, 2012).

Gürültünün kaynağında azaltılması yöntemi ile yüksek frekans aralığına sahip gürültülerde yüksek verim alınmasına rağmen düşük frekans aralığında bulunan gürültülerde maalesef yeterli başarı elde edilememektedir. Bu yöntem ile gürültü kontrolü, yalıtım malzemesinin çok fazla kullanılması gerektiği için ve özellikle yalıtım malzemelerinin maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle yeterince etkili ve ekonomik olma özelliğini kaybetmektedir (Köstekçi ve Taşgetiren, 1995). Gürültünün kaynaktan kontrolünün sağlanabilmesi için genel ilkeler aşağıda yer almaktadır;

- 1) Bakım ve planlı gürültü kontrolleri,
- 2) İşletmenin koşullarının değişimi,
- 3) Daha az sesli olan işletmelerin seçilmesi,
- 4) Kaynakların yerlerinin değişimi,
- 5) Susturucuların kullanılması,
- 6) Titreşimlerin yalıtılması,
- 7) Titreşimin sönmelenmesi,
- 8) Gürültü kaynaklarının üzeri ve yanlarının kapatılması.

### **Gürültüyü yayılma alanında azaltma yöntemi**

Gürültünün yayılım alanında (gürültü kaynağı ile alıcı arasında bulunan ortamda) azaltılması amacıyla belirli önlemlerin alınması sağlanmaktadır. Gürültünün yayıldığı ortamda zemine, duvarlara, tavana kısacası sesin çarpabileceği tüm

yüzeyle ses emici özellikteki malzemeler yerleştirilebilir. Sert, su geçirmez, pürüzsüz veya hava geçirmez özelliklere sahip yapı malzemeleri genel olarak sesi yansıtıran, gözenekli ve yumuşak malzemeler (Taş yünü, cam elyafı, mineral yünler, ağaç lifleri, talaş vb.) sesi emici özelliğe sahiptirler. Gürültü seviyesinin yüksek olduğu iş yerlerinin duvar ve tavanlarında bu tip malzemeler kullanılarak kaplama yapılır ise yüksek frekanslı gürültülerin büyük bir bölümü kaplama malzemesinin üzerinde hapsolarak sönümlenir ve ses dalgasının yansıma sonucu oluşan sürekliliği ortadan kaldırılır (Elbistanlıoğlu, 1988; Koç, 1997).

Birçok yalıtım malzemesi gürültüyü belli oranda yutarak ve ısı enerjisine dönüştürmektedir fakat “akustik yalıtım malzemesi” adı verilen sesi sönümlenmek amacıyla özel olarak tasarlanarak üretilmiş yapı malzemeleri yüksek ses sönümlenme özelliğine sahiptir. Bu akustik malzemelerdeki gözenekli ve girintili çıkıntılı yapı sayesinde ses dalgaları girinti ve çıkıntılar arasındaki boşluklarda kolayca hapsolmektedir. Akustik yalıtım malzemesinin yeteri kadar gözenekli ve kalın olduğu durumlarda, ses dalgası enerjisinin yaklaşık %95’i bu şekilde sönümlenebilmektedir. Bazı yalıtım malzemelerin ses yalıtım değerleri aşağıda verilmiştir (Çınar, 2005).

- 1) Polietilen temelli yalıtım malzemeleri genellikle darbe tipindeki sesleri kesme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler yaklaşık 20 dBA gürültü sesi indirgeme değerine sahiptir ve üzerlerinde oluşan ses titreşimini bir amortisör mantığıyla hareket ederek sönümlenmektedir.
- 2) Taşyünü temelli yalıtım malzemeleri ile ses yalıtımı, malzemenin kalınlığına göre değişmekle birlikte 2 cm kalınlıkta 29 dBA ve 3 cm kalınlıkta 37 dBA’ ya kadar yalıtım sağlamaktadır. Genellikle stüdyolarda ve kayıt odalarında yalıtım malzemesi olarak sıklıkla kullanılır.
- 3) Poliüretan temelli yapı malzemeleri yapılan ses yalıtımları yüzey hacmi çoğaltılarak yapılabilir. Bu yapı malzemesinin gürültü sesi indirgeme değeri yaklaşık 30 dBA’dır.
- 4) Arazi veya açık alanlarda ahşap, beton, toprak veya bitkiler yardımı ile yapay setler oluşturularak gürültü azaltımı sağlanabilmektedir. Arazi yapısına uygun set hazırlanarak yapılan uygulamalar ile yaklaşık 16 dBA bir azalma sağlanabilmektedir.

## **Gürültünün algılandığı noktada önlem alma yöntemi**

Gürültünün, olduğu kaynaktan veya yayılım alanında minimuma indirilememesi halinde çalışanlar için maruziyet miktarını azaltmak veya minimuma indirmek amacıyla kişisel koruyucu önlemler alınabilmektedir.

Alınan bu tedbirler;

- 1) Gürültünün olduğu ortamda çalışanlar hakkında gerekli tespitlerin yapılması
- 2) Gürültünün idari açıdan kontrol edilmesi,
- 3) Çalışanların gürültüye maruz kalma sürelerinin azaltılması ve gürültü kaynağının bulunduğu alanlarda dönüşümlü çalışma sisteminin uygulanması,
- 4) Kişisel kulak koruyucuların kullanımı (Şahin, 2003).

Gürültünün algılandığı noktada kontrolü amacıyla genellikle kulak koruyucu ekipmanlar kullanılır. Kulak koruyucuları; kulak tıkaçları, kulak manşonları veya kulağı da koruyan baretler şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu ekipmanlar genellikle, gürültünün çok yüksek seviyede olduğu durumlarda (115 dBA - 120 dBA) kullanılmaktadır. Kişisel koruyucu ekipman kullanımı bireysel bir korunma yöntemi olarak geçici bir önlem olarak düşünülmeli ve gürültüyü kaynağında engellemenin yolları araştırılmalıdır.

Gürültü maruziyeti sonucu ortaya çıkabilecek sorunları engellemek için alınabilecek diğer yardımcı önlemler ise çalışanlar için çalışma saatleri, molalar ve vardiyaların doğru planlanmasıdır.

İşyerlerinde gürültüye karşı alınacak tüm önlemlerin yanısıra, gürültü maruziyeti altında çalışanların düzenli ve periyodik şekilde yapılan sağlık kontrollerinde odyogram testlerinin de yer alması sağlanmalı, testler sonucunda gürültüden etkilendiği düşünülen çalışanlar için gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır.

90 dBA şiddetinde 50 dakika süreyle gürültüye maruz kalmış olan bir çalışanın kulağında oluşan 15 dBA – 20 dBA düzeyinde ki geçici işitme kayıplarının giderilmesi için bu gürültülü ortamdan 500 dakika boyunca uzak durması gerekmektedir (Sabuncu, 1998).

Geçici bir işitme kaybı yaşayan çalışanın tekrar eski haline dönebilmesi için gereken süre, gürültülü ortamda geçirdiği süreden 10 kat daha fazladır.

Çalışanlarda, önemli bir çevre kirliliği türü olan gürültü maruziyeti sonucu oluşabilecek meslek hastalıkları konusunda farkındalık oluşturmak, hatta bu bilinçlendirme ve farkındalık eğitimini ilkökul seviyesinden başlayarak uygulamak son derece önemlidir (Güler ve Çobanoğlu, 1994; Çınar, 2005).

#### **1.3.4.2 Aktif gürültü kontrol yöntemleri**

Aktif gürültü kontrol yöntemi, pasif gürültü kontrolünde olduğu gibi oluşan gürültüye karşı savunma mantığı yerine, oluşan gürültüye karşı bir enerji harcanarak karşı müdahale mantığına dayanır. Aktif Gürültü Kontrolü ile ilgili bugüne kadar yapılan ve literatürde yayınlanmış çalışmaların oldukça kısıtlı olması ile birlikte incelendiğinde, çalışmaların, gelişmiş yalıtımlı kulaklıklarda dış ortam gürültüsünün engellenmesi, uçak kokpiti, helikopter, tank, tır, lokomotif gibi kapalı sürücü kabin ortamlarında ve otoyol kenarlarında gürültü engelleyici bariyer olarak yapıldığı gözlemlenmiştir. Literatürde ANC ile ilgili yapılan bazı çalışmalara aşağıda yer verilmiştir;

Pan, Paurobally ve Qiu'nun (2015) Avustralya'daki çalışma ortamlarında aktif gürültü kontrolü üzerine yaptığı çalışmada Aktif Gürültü Kontrolü yöntemi kullanılarak bir tır ve lokomotifin şoför kabineye yerleştirilen sensör ve speaker'larla kullanıcının maruz kaldığı gürültünün azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda ANC'li (Aktif Noise Control) değerlerin ANC'siz değerlere kıyasla gürültünün yaratmış olduğu ses frekanslarındaki tepe noktaları 20dB'e kadar azaltabildiği ispatlanmıştır.

Narang, Sharma ve Vig'in (2013) çalışmasında, SPIB (Signal Processing Information Base) den elde edilen F16 savaş uçağı kokpiti ve M106 Tank sesi üzerinde Aktif Gürültü Kontrolü yöntemi uygulanarak ortalama 31dB'lik bir gürültü azaltımı sağlanmıştır.

Cha, Troshin ve Kim'in (2011) çalışmasında, otoyol üzerinde ağır kamyonların ve otobüslerin geçişleri sırasında çıkartmış oldukları gürültülerin Aktif Gürültü Kontrolü yöntemiyle ve bariyer mantığıyla azaltılmasına çalışılmıştır. Birbirinden farklı ANC ile uyumlu farklı algoritmalarla hazırlanmış filtrelerin denendiği çalışma

sonucunda bas frekansların ve uzun dalga boylu gürültülerin azaltılabildiği gözlemlenmiştir.

Lin ve diğ.'nin (2015), geri beslemeye uyarlanabilir aktif gürültü engelleme kulaklığı için konuşma anlaşılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla yaptığı çalışmada; gürültü önleyicili kulaklıklar üzerinde PNC (Pasif Gürültü Kontrolü) ile ANC (Aktif Gürültü Kontrolü) arasındaki fark incelenmiş ve ANC'nin dış ortam gürültüsünün yalıtımı konusundaki başarılı olduğu gösterilmiş; kulaklık üzerinde elde edilen gürültü seviyeleri karşılaştırıldığında, ANC kullanılan kulaklıktaki gürültü seviyesinin daha düşük olduğu isptalanmıştır.

Akhtar, Abe ve Kawamata'nın (2006) çalışmasında Aktif Gürültü Kontrolü üzerine geliştirilen yeni modellemeler ve bunların algoritmaları üzerine çalışmalar yapılmış, aktif gürültü kontrol sistemlerinde çevrimiçi ikincil yol modellemesi için yeni bir değişken adım boyutlu LMS algoritması tabanlı yöntem geliştirilmiştir.

Streeter, Ray ve Collier'in (2004) çalışmasında F16 uçak kokpitlerinde ve HUEY helikopterlerde oluşan gürültü, geri besleme ve ileri besleme metodları birleştirilerek ve hibrit bir ANR (Aktif Noise Reduction) sistemi oluşturularak gürültünün azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, yüksek frekanslarda gürültü seviyesinde 5-10dB aralığında bir azalma sağlanırken, 100Hz seviyesinde 30dB'e varan azalmalar sağlanmıştır.

Boultifat'ın (2019) çalışmasında, aktif gürültü kontrolü (ANC) ile bir boşluktaki bazı noktalarda veya bir hacimde rahatsız edici bir ses dalgasının etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan deney düzeneğinde ahşap bir kutu içinde kutunun bir ucundan hoparlör ile verilen gürültü sesinin diğer ucunda bir mikrofon ile alınarak ve alınan sesin işlenip ters çevrildikten sonra daha ileri bir noktadan kutu içine geri verilmesi, kısaca gürültünün anti gürültü ile yok edilmesine çalışılmıştır. Çalışmada, dış kaynaklı gürültülere tepki olarak kutu iç hacminin ilgili noktalarında basınçtaki değişikliklerin hesaplanmasını gerektiren dinamik modeller kullanılmış, aktif bir kontrol sistemi ile düşük karmaşıklıkta sonlu boyutlu bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışmada belirli koşullar altında 3B sisteme 1B sistemle yaklaşmanın mümkün olduğu LS2N Box prototip sistemi üzerinde deneysel olarak gösterilmiştir.

### 1.3.5 Havalandırma sistemleri üzerinde aktif gürültü kontrolü

Havalandırma sistemleri ev, işyerleri, hastaneler, kontrollü atmosfer gerektiren her türlü yapı, hatta uzay teknolojisinde, kısacası geleceğin tüm teknolojik yapılarında çoğalarak ve geliştirilerek kullanılmaya devam edileceği düşünülen yapı sistemlerdir. Havalandırma sistemlerinin insan hayatı üzerindeki olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi gürültü sorunudur. Literatürde rastlanan, havalandırma sistemlerinde aktif gürültü kontrolü yöntemiyle gürültünün azaltılması konusunda yapılan akademik çalışmalara aşağıda yer verilmiştir:

Ratnam ve Ramaiah'ın (2013) çalışmasında bilgisayar destekli olarak sağlanan periyodik gürültünün bir havalandırma kanalında, ileri beslemeli ANC sistemleri için kullanılan bir adaptive (uyarlanabilir) algoritma olan Filtrelenmiş En Küçük Ortalama Kareler (*FXLMS: Filtered-X Least Mean Square*) algoritması kullanılarak azaltılmasına çalışılmıştır. Sistemde bir havalandırma borusu, gürültü kaynağı için bir hoparlör, referans ve error (hata) mikrofonları, mikrofondan alınan sesleri yükseltmek için pre-amplifikatörler ve ses işleme için ANC sistemi ve bilgisayar kullanılmıştır. İstenmeyen gürültüyü ölçmede ve istenmeyen gürültünün spektral içeriğiyle ilişkilendirilerek onu karakterize eden bir referans sinyali üretilmede referans sensörü (mikrofon) kullanılmıştır. Bu referans sinyali, gürültü dinleme konumuna ulaşmadan önce uygun kontrol sinyalini belirleyebilmesi için kontrol sistemine (ANC) iletilmiş; kontrol sistemi bu referans sinyalini, hata sensörüyle (Error Mic) bir araya getirerek istenmeyen gürültüyü azaltan bir anti gürültü kontrol sinyali oluşturmak için kullanılmıştır. Hata sensörünün istenmeyen gürültü ve kontrol sinyali birleştikten sonra kalan gürültüyü ölçererek hatayı daha da azaltmak amacıyla kontrol sistemini uyarlamak için kontrolöre bir hata sinyali göndermesi; kontrol sisteminin ise kalan hatayı en aza indirmek için kontrol sinyalini uyarlanabilir şekilde değiştirmesi sağlanmıştır. Aynı genliğe sahip uyarlanabilir filtre çıkışı birincil gürültü (gürültü kaynağı) ile 180° faz farkına sahip olup akustik olarak birleştirildiğinde, artık hata sıfır olmakta ve böylelikle süper pozisyon prensibine göre her iki ses sıfırlanabilmektedir. ANC sistemi açık ve ANC sistemi kapalı iken ölçülerek karşılaştırma yapılan deney düzeneğinden elde edilen sonuçlar, oktav frekanslarında verilen gürültü kaynağı için dB cinsinden gürültü azaltma seviyelerinin 5-45 dB arasında değiştiğini göstermiştir.

Bai ve diğ.'nin (2019) çalışmasında iki kanallı ileri beslemeli ANC sistemi üzerine çalışılmış, doğrulamak için simülasyonlar ve deneyler yapılmıştır. Test aşamasında ahşap bir kanal kullanılmış ve FXLMS algoritması bir kıyaslama yöntemi olarak kullanılmıştır. Kanalin gürültüyü kesme üst frekansı 1078 Hz olduğu için enine kesit boyunca azalma sadece kesme frekansının altında mümkündür. Bu frekansın üstünde, dalga önü düzlemsel olmayıp, azalma sadece hata mikrofonu konumunda anlamlı olmaktadır. Kanal ANC sistemi bir kaynak hoparlörü, iki kontrol hoparlörü (ikincil kaynaklar), bir hata mikrofonundan, iki ses güç yükselticisi, gürültü üretici, spektrum analizörü PULSE (B & KVR) ve DSP, TMS320C6713 (Texas InstrumentsVR) den oluşmaktadır. Kontrol hoparlörleri 1 ve 2, hata mikrofonundan sırasıyla 0,45 m ve 0,20 m' mesafede konumlandırılmış, referans giriş sinyali olarak Jeneratör sinyali kullanılmıştır. Referans mikrofon kullanılmadığından akustik geri bildirim kolaylık açısından yok sayıldığı çalışmada LS, LASSO ve OMP algoritmaları kullanılarak tasarlanan geleneksel FXLMS ve TUMIF yaklaşımları simülasyonlarla karşılaştırılmış; sonuç olarak ileri beslemeli ANC sistemleri, zaman alanlı belirsiz çok kanallı ters filtreleme (*TUMIF: Time-domain Underdetermined Multichannel Inverse Filtering*) yaklaşımı temelinde geliştirilmiştir. TUMIF yaklaşımının kullanılabilirliğinin anahtarı, artan kontrol kanalı sayısından kaynaklanan az tespit edilmiş sistemde yatmaktadır. Bununla birlikte, iyileştirilmiş gürültü zayıflatma performansı, uzun filtrelerin hesaplama karmaşıklığının artmasıyla gelir. Simülasyonlar ve deneyler, TUMIF tabanlı denetleyicilerin geniş bant rastgele gürültüyü baskılamadaki etkinliğini göstermiştir. Çalışmada TUMIF denetleyicilerinin özellikle 1100-2000 Hz aralığında FXLMS denetleyiciden daha iyi performans gösterdiği, 100-3000 Hz frekans aralığında 5-20 dB arası gürültü azaltımı sağlayabildiği saptanmıştır.

Szumski ve Pawelczyk'in (2016) çalışmasında, aktif ve pasif gürültü kontrol yöntemleri birlikte kullanılarak inceleme yapılmıştır. Havalandırma kanalı için hibrid aktif-pasif gürültü kontrol sistemi, hem fiziksel bir gürültü emici hem de aktif bir sistem tarafından çalıştırılmaktadır. Üretilen gürültüyü azaltmak için tasarlanmış muhafazalı bir mikrofon kullanılmıştır. Çalışmada, pasif kontrol yöntemi ile (izalasyon) yüksek frekanstaki gürültüler ile, aktif gürültü yöntemiyle ise düşük frekanstaki gürültüler ile başa çıkılması hedeflenmiştir. Çalışmada fanın yaratmış olduğu titreşimler ivmeölçer ile ölçülmüştür. Hibrid aktif-pasif gürültü kontrol

bölümünün yerleştirilmesinden önceki ve sonraki ölçümler, kullanılan pasif emicinin yaklaşık 500 Hz'de tam verim sağladığını göstermiştir. Genellikle ivmeölçerler sınırlı frekans aralıkları nedeniyle sesi ölçmek için kullanılmaz. Bununla birlikte, pasif bir emicinin varlığı bu gereksinimi azaltır ve bu da mikrofonlara potansiyel olarak uygulanabilir bir alternatif yapar. Geri kalan problem titreşimli yapının doğal rezonans frekansıdır. İvmeölçerlerin doğrudan havalandırma kanalına bağlanması, bu yapının karmaşık bir modal yanıtı nedeniyle oldukça öngörülemez bir spektral içeriğe sahiptir. Ölçümler kanal montaj noktaları tarafından bozularak her bir yapıyı farklı hale getirir ve bu tür bir çözümü ticari olarak gerçekleştirmeyi zorlaştırır. Bu sorunları azaltmak için başlangıçta pasif emicinin içine yerleştirilmiş ayrı bir metal plaka kullanılmasının doğru olacağı öngörülmüştür. Kanalın kendisinden iletilen titreşimleri azaltmanın yanı sıra, bu tür yerleştirme, kanal içinde ilave türbülanslı hava akışının oluşmasını önleme anlamına gelen minimum kanal girişini de garanti etmektedir. Ayrıca, sensörlerin fiziksel yapısı nedeniyle, ivmeölçer ölçümleri, yüksek hava akışından, mikrofon ölçümlerine göre daha az etkilenir. Bu nedenle, mikrofonlar bu tür zorlu koşullarda kullanılacaksa, bu tür bir amaç için özel olarak tasarlanmalıdır veya uygun bir malzeme ile doldurulmuş büyük T-kutularına yerleştirilmelidir. İlk çözüm çok pahalıdır, ancak ikincisi mikrofonlar için büyük T kutuları gerektirir ve kurulumu önemli ölçüde genişletir. Sonuç olarak bu makalede, bir hava akımı altında bir havalandırma kanalında akustik sinyal tahmini yöntemi önerilmiştir. Pasif emiciye monte edilen bir plakaya bağlı ivmeölçerlerden yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Doğrudan fan kanatları tarafından üretilen temel frekanslar, tahmini sinyalde yeniden yapılandırılmıştır. Spektrumun geri kalanına gelince, mikrofon kullanılarak elde edilen sonuçlar doğrulama yerine karşılaştırma için gösterilmiştir. Akustik ölçüm üzerindeki türbülanslı gürültü etkisini azaltmak için, mikrofon bir T kutusuna yerleştirilmiştir. İvmeölçer ölçümü ile ilgili belirgin bir sorun, arka plan gürültü ölçümlerinde görülen yüksek gürültü zemin seviyesidir. Akselerometre hassasiyetinin oldukça düşük olduğunu veya metal plaka ile kanal duvarı arasında kullanılan titreşimi baskılayan malzemenin daha ayrıntılı olarak araştırılması gerektiği görülmektedir. Ayrıca, mikrofonla çalışan bir sistem ile ivmeölçer tabanlı bir sistem arasındaki sonuçları karşılaştırmada ANC sistemi için tahmini sinyalin kullanılmasını gerektirmektedir. Araştırmada yapılan titreşim ölçümlerine göre; bir havalandırma kanalında gürültü yayılması nedeniyle üretilen titreşim yüksek olup; uygun ve verimli yöntemlerle gürültünün azaltılmasında aktif-

pasif gürültü kontrol sisteminin kullanılabilceği gösterilmiştir. Ancak ilgili araştırmada hangi miktarda gürültü düşürülebildiği belirtilmediği gibi anlamlılık testi de bulunmamaktadır.

Chen ve diğ.'nin (2017) çalışmasında aktif gürültü kontrol (ANC) teknikleri kullanılarak havalandırma kanal gürültüsü azaltılmaya çalışılmıştır. ANC'yi gerçekleştirmek için geri besleme nötralizasyonlu ve tek kanallı ileri besleme algoritmasının kullanıldığı çalışmada tonal sesler, süpürme tonal sinyalleri ve beyaz gürültü de dahil olmak üzere çeşitli kanal sesleri araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen ANC sisteminin bir PVC kanaldaki bu sesleri yok edebileceğini, beyaz gürültünün gürültü azaltımının 20 dB'ye kadar olabileceğini göstermektedir. FXLMS algoritmali ileri beslemeli ANC sisteminin incelendiği çalışmada akustik geri besleme probleminin üstesinden gelmek için bir geri besleme nötralizasyon algoritması da önerilmiştir. Ayrıca, PVC kanalını kısa, uygulamalar için daha pratik hale getirmek için referans mikrofon ile ikincil hoparlör arasındaki mesafe de incelenmiştir. Kanallardaki gürültüleri azaltmak adına ANC sisteminin etkinliğini göstermek için çeşitli deneyler sunulmaktadır. İleri beslemeli ANC yapısında, nedensellik sorunu kısıtlaması altında geniş bant gürültüsünü iptal etmek için etkili bir yöntem olan istenmeyen gürültüyü ANC sisteminin bir referans sinyali olarak ölçmede yukarı yönde bir mikrofon ve kalan gürültüyü ölçmedeyse aşağı yönde bir hata mikrofonu kullanılmıştır. Tüm kanal gürültüsü iptal deneylerini uygulamak için polivinil klorür (PVC) ile yapılmış bir kanal kullanılmıştır. Bir hoparlör (birincil hoparlör) gürültüyü gürültü kaynağı olarak kanalın bir ucuna monte edilmiştir. Anti-noise sinyalini çalmak için diğ. bir hoparlör (ikincil hoparlör) yan tarafa monte edilmiştir. Gürültü kaynağını ANC sistemi için referans gürültü olarak ölçmek için bir mikro elektromekanik sistem (MEMS) mikrofonu birincil hoparlörün yanına yerleştirilmiş, kalan gürültü sinyalini ölçmek için sonuna başka bir MEMS mikrofon yerleştirilmiş ve ANC'ye geri bildirim sinyali göndermesi sağlanmıştır. ANC sisteminin çekirdeği Texas Instrument (TI) TMS320C6713DSK'dır ve hem referans hem de hata mikrofonları için Alexis Microtube Duo mikrofon preamp kullanılmıştır. Hoparlörleri çalmak için iki SMSL SA-98E güç amplifikatörü kullanılmıştır. Ayrıca gerekli veri işleme ve dönüştürme için ADC / DAC ve alçak frekans geçiren filtreler gibi çeşitli analog devreler kullanılmıştır. Tek tonlu gürültü azaltmaya yönelik ilk deneyde, gürültü birkaç saniye çalındıktan sonra ANC sistemi aktive edilmiş, bu

sayede gürültü gücü önemli ölçüde azaltılmıştır. İstenmeyen gürültü olarak 350 Hz, 450 Hz, 550 Hz ve 650 Hz ile çok tonlu sesler kullanılan ikinci deneyde de gürültü azaltma performansı oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Bu deney, önerilen sistemin gürültüyü değişen frekansta iptal edebildiğini ve sistem değişikliği için güvenilir olduğunu göstermektedir. ANC açılmadan önce ve sonra gürültü azaltımını test etmek için A ağırlıklı bir ses basınç ölçerini kullandığı deneylerde gürültü kaynağı olarak 200-750 Hz frekanslı beyaz gürültüyü kullanılmıştır. Deneylerin sonuçları ANC sisteminin oldukça tatmin edici sonuçlar verdiğini ve 20dB'e kadar gürültü azaltımı sağladığını göstermiştir.

Venkata ve diğ.'nin (2018) çalışmasında, bir havalandırma fanı tarafından üretilen tonal (periyodik) gürültüyü ve geniş bant gürültüsünü azaltmak için deneyler yapılarak bu araştırmada geliştirilen taşınabilir analog aktif gürültü kontrol sisteminin performansı sunulmuştur. Çalışmada ANC sistemi oluşturulan elektronik devreler yardımıyla analog olarak çalıştırılmış ve bu sistemin avantajlı olduğu gösterilmiştir. Tek boyutlu akustik kanalın deneysel kurulumu, analog ANC sistemini test etmek için Andhra Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bilimi ve Sistemleri Mühendisliği (CS & SE) Gömülü Sistemler Laboratuvarı'nda inşa edilmiştir. Çalışmada deneysel test düzeneği dikdörtgen ahşap bir akustik kanaldan oluşmakta olup gürültü kaynakları için modüler ve çıkarılabilir iki küp kutu imal edilmiştir. Sırasıyla ton ve geniş bant / fan gürültüsü üretmektedir. Yapılan deneyde düşük frekanslı gürültünün azaltılması amaçlanmıştır. Bir ucuna takılan birincil gürültü kaynağı tarafından üretilen kanal ve gürültü seviyesi analog ANC sistemi kullanarak kanalın diğer ucunda ölçülmüştür. Bu deneysel çalışmada fiziksel sistem olarak 10"x12"x12" akustik kanal, sensör olarak 1kHz'de 2,5 mV/Pa hassasiyette referans mikrofonu, Aktüatör olarak 8 Ohm, 40Watts, 20Hz - 1kHz'lik Woofer, frekans tepkisi olarak da 50-15000 Hz kullanılmıştır. Gürültü kontrol ünitesi olaraksa Analog Kontrol ANC Sistemi, Ref. Mikrofon, Anti-gürültü kontrol çıkışı, Manuel ileri besleme kontrolü, +5V 2A ve +12V 1A güç kaynakları, çıkış kontrolü için güç amplifikatörü kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen tonal gürültü kontrolü ile ilgili deneysel sonuçlara göre; 63-1000hz arası frekanslarda 2,9-15,2 dB aralığında değişen bir gürültü azaltımı sağlanmış olup en yüksek gürültü azaltımının 125 Hz'de gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Son olarak, Dineen, Gelin ve Wise'in (1996) araştırmasında mikrofonlar ve hoparlörlerin kullanıldığı bir ANC sistemi ile 63, 125 ve 250 Hz frekanslarda 20dB'e kadar, 31 Hz'de ise 10dB'e kadar gürültü azaltımı sağlanabildiği belirtilmiştir.

200 x 20 x 20cm ölçülerinde galvaniz havalandırma kanalı içerisinde fan motorunun oluşturduğu ve hava akımı sebebiyle meydana gelen, rahatsız edici, düşük frekanslı uğultu şeklindeki gürültünün, çeşitli yazılım ve eklenti programlar yardımıyla gerçekteşirilen dijital ANC yöntemi ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) azaltılması mümkündür.



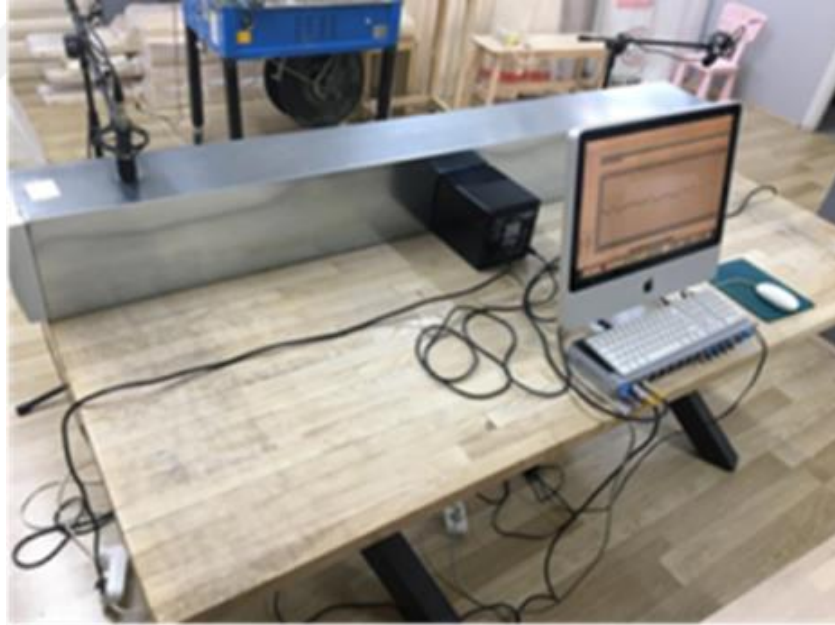
## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Amaç

Çalışmada amaç, galvaniz havalandırma kanalına monte edilen fanın yaratmış olduğu bas frekanslı rahatsız edici uğultu sesinin, Aktif Gürültü Kontrolü yöntemiyle azaltılması ve kanal konstrüksiyonu üzerinde yarattığı rezonans ve uğultu sesi iletimini minimuma indirilerek hava akımının çıkış noktasında uğultu sesinin mümkün olduğu kadar az duyulmasını sağlamaktır.

### 2.2 Galvaniz Havalandırma Kanalı Üzerinde Dijital ANC Deney Düzeneği

Bu deney düzeneği, yüksek teknolojili ve akıllı binaların havalandırma sistemlerinde galvaniz boru veya kanalların kullanılması sebebiyle, özel olarak ürettirilen 200 x 20 x 20cm ölçülerinde (kare kesit) iki tarafı açık galvaniz kanal üzerinde hazırlanmıştır. Galvaniz kanal üzerinde oluşturulmuş deney düzeneği Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



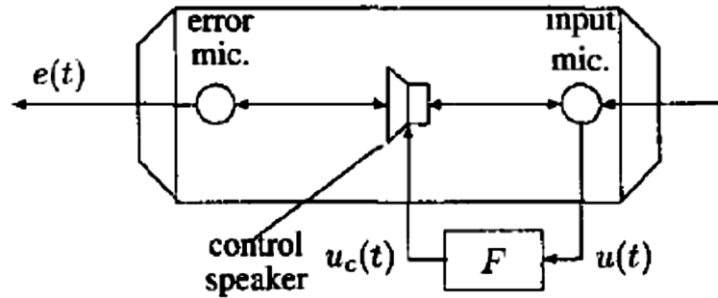
**Şekil 2.1:** Aktif gürültü kontrolü deney düzeneği

Galvaniz kanal için 20x20cm’lik kesit ölçüsünün sebebi, deneyde kullanılan ters gürültü kaynağı oluşturan hoparlörün (Anti Noise Speaker) ölçüsü ve havalandırma fanının çerçeve ölçüsü ile uyumlu olmasıdır.

Çalışmada, ses teknolojileri alanında bilgisayar ortamında kullanılan Sound Edit programı ve eklenti (Plug-in) programlardan faydalanılmıştır. Deneyde kullanılan eklenti programının üreticisiyle yapılan yazışmada Voxengo PHA-979 Plug-in’de kullanılan filtreler ve algoritmaları hakkında bilgi alınmış; eklenti yazılım programının arka planında kullanılan algoritmanın “FIR filtresi” (*Finite Impulse Response* = Sonlu Darbe Tepkisi) olarak ifade edilen ve dönüştürülmemiş sinyalle gerekli oranda karıştırılan basit bir “Hilbert transformatörü” olduğu, bu algoritma ile gerekli faz kaydırma miktarının oluşturabildiği öğrenilmiştir. FIR filtre, adaptive bir filtre olduğu için değişken bir ses dalgasına karşı sistem anlık ve sürekli olarak yeni katsayı üretmektedir. Bu nedenle de bir değer girip hesaplanması güçtür. Uçak teknolojisinde uçağın anlık değişen şartlara uyum sağlamasında sistem mühendisliği konusu olan ve müzik teknolojisinde de kullanılan FIR Filtre’nin ANC Sisteminde çalışma prensibi şöyle açıklanabilir (Zeng ve Callafon, 2003):

Aktif gürültü kontrolünde ses azaltmak için kontrol algoritmaları genel olarak ileri besleme kompanzasyonu, geri besleme kontrol veya bunların birlikte bulunduğu hibrit bir yöntem kullanılabilir. Akustik eşleşme ve ters dinamiğin ileri besleme kompanzasyonunun ihtimallerini kısıtlamasına karşın rekürsif en küçük kareler ortalama azaltması (LMS) sayesinde tahmin ve adaptasyon için ileri besleme bazlı ses azaltma yöntemlerinin verimli olması sağlanabilmektedir. Bu tür yaklaşımlarda ileri besleme kompanzasyonu amacıyla FIR gibi doğrusal parametrelili filtreler veya doğrusal regresyon filtreleri kullanılabilir.

Bu araştırmada yapılan deney, ileri besleme kompanzasyonu, geliştirilmiş, rekürsif FIR modeli üzerine kurulmuştur. Geliştirilmiş bir FIR model kullanmada amaç, sistem dinamiğinin önceki durumuna dair bilginin, filtrenin gecikme hattında kullanılmasını sağlamaktır.



**Şekil 2.2:** Aktif gürültü kontrol sistemi temel şeması

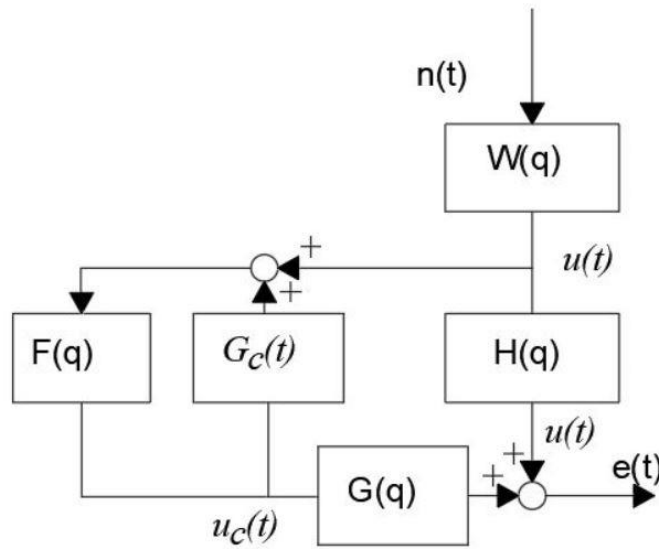
**Kaynak:** Zeng ve Callafon, (2003).

Şekil 2.2’de, yükseltilmiş sinyal  $u(t)$ , girdi mikrofonundan, kontrol sinyali  $u_c(t)$ ’yi kontrol eden ileri besleme kompensatörü  $F$ ’ye ses kompanzasyonu yapabilmesi için beslenir.  $e(t)$  ise mikrofondaki hatadır.

İleri besleme kompensatörü  $F$ ’nin tasarımının analizinin yapılması için, Şekil 2.3’deki diyagram verilmiştir. Bu blok diyagrama uygun olarak, aktif ses kontrol sistemindeki sinyallerin arasındaki ilişki, ayrık zaman transfer fonksiyonu ile belirtilebilir. Transfer fonksiyonu bu formdadır ve

$$qu(t) = u(t + 1) \quad (2.1)$$

şeklinde birim adım zaman gecikmesini ifade eder.



**Şekil 2.3:** İleri besleme kompensatör şeması

**Kaynak:** Zeng ve Callafon, (2003).

Şekil 2.3’deki ileri besleme kompensatör şeması incelendiğinde; Girdi mikrofon sesi  $u(t)$  filtrelenmiş sinyal  $n(t)$  ile karakterize edilir [ $W(q)$  stabil ve tersinir stabil bir gürültü filtresi olmak üzere]. Girdi sinyali  $u(t)$  ve hata sinyali  $e(t)$  arasındaki dinamik ilişki  $H(q)$  fonksiyonu, kontrol hoparlörü ve hata sinyali arasındaki ilişki ise  $G(q)$  ile gösterilir. Son olarak  $G(q)$  kontrol hoparlörü ve girdi  $u(t)$  ile arasındaki pozitif ileri besleme döngüsü  $F(q)$ ’yu ifade eden akustik bağlantıyı gösterir.

Bu şemadaki bütün transfer fonksiyonlarının stabil ve bilinir olduğu kabulü ile, mikrofondaki hata sinyali  $e(t)$  aşağıdaki (Denklem 2.2) gibi ifade edilebilir.

$$e(t) = W(q) \left[ H(q) + \frac{G(q)F(q)}{1-G_c(q)F(q)} \right] n(t) \quad (2.2)$$

$e(t)$ ,  $F(q)$  ve  $G(q)$  stabil ise, stabil bir pozitif ileri besleme transfer fonksiyonudur.

Şemadaki transfer fonksiyonları biliniyorsa ideal ileri besleme ses azaltımı, aşağıdaki (Denklem 2.3) gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} F(q) &= -\frac{H(q)}{G(q)-H(q)G_c(q)} \\ &= \frac{F(q)}{1+\tilde{F}(q)G_c(q)}, \tilde{F}(q) := -\frac{H(q)}{G(q)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'deki ifade, akustik bağlama etkisi  $G(q)$  göz ardı edilirse aşağıdaki (Denklem 2.4) gibi basitleştirilebilir:

$$F(q) \approx \tilde{F}(q) = -\frac{H(q)}{G(q)} \quad (2.4)$$

Genel olarak, filtre  $F(q)$ ,  $G(q)$  ve  $H(q)$  fonksiyonlarının çözümünün dayatmasına göre stabil veya nedensel değildir. Dolayısıyla, optimum bir yaklaşımla en uygun nedensel ve stabil ileri besleme kompensatörü araştırılmalıdır.

Ayrık zaman hata sinyali  $e(t)$  [ $\lambda$ ,  $n(t)$ 'nin varyansı olmak üzere] aşağıdaki (Denklem 2.5) gibi ifade edilebilir:

$$\frac{\lambda}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |W(e^{j\omega})|^2 \left| H(e^{j\omega}) + \frac{G(e^{j\omega})F(e^{j\omega})}{1-G_c(e^{j\omega})F(e^{j\omega})} \right|^2 d\omega \quad (2.5)$$

Mikrofon hata sinyalinin varyans azaltılmasının aktif gürültü kontrolü için gerekli olduğu durumlarda, optimum ileri besleme kontrolcüsü, parametrik filtre  $F(q, Q)$ 'nin nedensel ve stabil bir filtre olması şartıyla aşağıdaki bağıntının (Denklem 2.6) azaltılması ile verilebilir:

$$\begin{aligned} \min_{\theta} \int_{\omega=-\pi}^{\omega=\pi} |L(e^{j\omega}, \theta)|^2 d\omega &= \min_{\theta} \| L(q, \theta) \|_2 \\ L(q, \theta) &= W(q) \left[ H(q) + \frac{G(q)F(q, \theta)}{1-G_c(q)F(q, \theta)} \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

Akustik bağlantı  $G(q)$ 'nin etkisi ihmal edilirse, ifade aşağıdaki (Denklem 2.7) hale gelir:

$$\begin{aligned} \min_{\theta} \int_{\omega=-\pi}^{\omega=\pi} |L(e^{j\omega}, \theta)|^2 d\omega &= \min_{\theta} \|L(q, \theta)\|_2 \\ L(q, \theta) &= W(q)[H(q) + G(q)F(q, \theta)] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Ses bozunumunun tayfsal bileşenleri, stabil ve ters stabil filtre  $W(q)$ 'nin tek değişken bileşeni olması, ileri besleme kontrol yapılabilmesi için gereklidir.

İleri besleme kompensatörünü doğrudan tahmini için akustik eşleme  $G$  ihmal edildiğinde, hata sinyali  $e(t)$  aşağıdaki (Denklem 2.8) gibi verilebilir:

$$e(t, \theta) = H(q)u(t) + F(q, \theta)G(q)u(t) \quad (2.8)$$

Ve sinyalin tanımı da Denklem 2.9'deki gibi olur:

$$y(t) := H(q)u(t), u_f(t) := -G(q)u(t) \quad (2.9)$$

$e(t)$  Denklem 2.10'deki düzenlenebilir:

$$e(t, \theta) = y(t) - F(q, \theta)u_f(t) \quad (2.10)$$

Optimum ileri besleme filtresi  $F(q, B)$  tahmini için, standart çıktı hatası azaltımı (Denklem 2.11) problemin yapıtaşdır:

$$\min_{\theta} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e(t, \theta) \quad (2.11)$$

Akustik eşleşme  $G$ 'nin ihmal edilemediği durumlarda, ileri besleme filtrenin tahmini  $F(q, B)$  kapalı çevrim tanımlama problemine dönüşür. Girdi sinyali  $u(t)$ 'nin,

$$\|u\|_2 = |W(q)|^2 \lambda \quad (2.12)$$

Denklem 2.12'deki ilişkiyi sağladığının kabulü ile azaltılması için, frekans uzayında limit  $N$  sonsuza giderken, Parseval Teoremi'ne göre Denklem 2.13'deki gibi ifade edilebilir:

$$\min_{\theta} \int_{-\pi}^{\pi} |W(e^{j\omega})|^2 |H(e^{j\omega}) + G(e^{j\omega})F(e^{j\omega}, \theta)|^2 d\omega \quad (2.13)$$

Genel olarak, çıktı hatası azaltılması doğrusal olmayan bir optimizasyondur, fakat  $F(q,0)$  durumunda optimizasyon konveks optimizasyon problemine indirgenir. Parametrenin 0 oluşundaki doğrusallık ayrıca filtrenin doğrusal rekürsif tahmini için uygundur ve sonlu darbe tepkili FIR filtre kullanımı (Denklem 2.14) ile elde edilebilir:

$$F(q, \theta) = D_0 + \sum_{k=0}^N \theta_k q^{-k} \quad (2.14)$$

Ayrıca sonlu darbe tepkili parametrizasyon, ileri besleme kompensatörün nedensellik ve stabilliğini sağlar.

FIR filtrenin beslenen gecikme katsayılarının tahmini, ileri besleme kompensatör için gereklidir. Aktif gürültü kontrol, tahmin özelliklerinin geliştirilmesi için gecikme fonksiyonlarının doğrusal kombinasyonları Denklem 2.15'deki gibi genellenebilir.  $V_k(q)$ 'nin geliştirilmiş ortonomal temel fonksiyonları sistem dinamikleri hakkında bilgi verir.

$$F(g, \theta) = D_0 + \sum_{k=0}^N \theta_k V_k(q) \quad (2.15)$$

$V_k(q)$  fonksiyonlarının oluşturulma detayları ise,  $A, B$  durum matrisi ve girdi matrisi olmak üzere, McMillan derecesi  $n > 0$  ve matrisin  $rank(B) = m$  olmak üzere,  $C, D$  matrisleri 2.16'daki bağıntıya göre oluşturulabilir:

$$\begin{aligned} C &= UB^*(I_n + A^*)^{-1}(I_n + A) \\ D &= U[B^*(I_n + A^*)^{-1}B - I_m] \end{aligned} \quad (2.16)$$

Bu  $m \times m$  kare iç transfer fonksiyonu ortaya çıkarır (Denklem 2.17):

$$P(q) = D + C(qI - A)^{-1}B \quad (2.17)$$

$P_k$ 'nin birim çemberde Laurent serisi açılımı vardır:

$$P(q) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k q^{-k} \quad (2.18)$$

$P_k$  setinin ortonormalliği  $P_k$ 'nin  $z$  dönüşümü Denklem 2.19'deki gibidir:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} P_i(e^{j\omega}) P_k^T(e^{-j\omega}) d\omega = \begin{cases} I & i = k \\ 0 & i \neq k \end{cases} \quad (2.19)$$

$V_0$  Denklem 2.20'deki gibi tanımlanırsa;

$$V_0(q) := (qI - A)^{-1} B \quad (2.20)$$

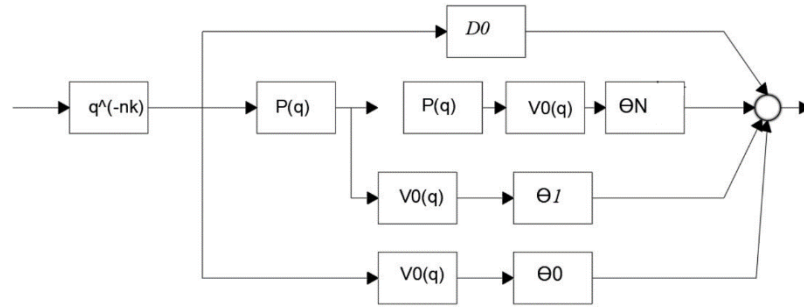
$$V_k(q) = (qI - A)^{-1} B P^k(q) = V_0(q) P^k(q)$$

Aşağıdaki gibi genelleştirilmiş bir sonlu darbe cevabı filtresi,  $V_k(q)$ 'nin temel fonksiyonlarından,

$$\sum_{k=0}^N \theta_k V_k(q) \quad (2.21)$$

$V_k(q)$ 'nin doğrusal kombinasyonlarından oluşturulur. Böylece genelleştirilmiş sonlu darbe tepkili filtre aşağıdaki (Denklem 2.22 ve Şekil 2.4) gibi oluşturulur (Aşağıdaki ifadede ek olarak muhtemel zaman adımları da ileri besleme kompansatöre dahil edilmiştir):

$$F(q) = q^{-n_k} [D_0 + \sum_{k=0}^N \theta_k V_0(q) P^k(q)] \quad (2.22)$$



**Şekil 2.4:** Genelleştirilmiş sonlu darbe tepkisi blok diyagramı

**Kaynak:** Zeng ve Callafon, (2003).

İleri besleme kontrolcü  $F(q)$  için, başlangıç ve tekrar eden aşamalarda bir ayırım yapılmalıdır. Genelleştirilmiş filtrenin başlatılması için,  $y(t)$  ve  $u(t)$ 'nin çıktı hatası azaltılması için uygun olması gerekir.  $y(t)$  hali hazırda Denklem 2.23'deki gibi tanımlanır:

$$y(t) := H(q)u(t) \quad (2.23)$$

$G(q)$  aktif gürültü azaltma sisteminin mekanik ve geometrik özellikleri sabit olduğu için sabittir ve  $G(q)$ 'nin başlangıç değerlerinin bulunması için başlangıç için bir model kullanılarak filtrelenmiş girdi sinyali  $u_f(t)$  yaratılabilir.

$G(q)$  modelinin tahmini, kontrol hoparlörü  $u_c(t)$  ve tahrik sinyali ve çıktı olarak hata sinyali  $e(t)$  Denklem 2.24'deki gibi yapılır:

$$\varepsilon(t, \beta) = e(t) - G(q, \beta)u_c(t) \quad (2.24)$$

Denklem 2.24'deki ifadenin azaltılması Denklem 2.25'deki bağıntı şeklinde olur:

$$\hat{G}(q) = G(q, \hat{\beta}), \hat{\beta} = \min_{\beta} \frac{1}{N} \sum_{t=0}^N \varepsilon^2(t, \beta) \quad (2.25)$$

Denklem 2.25'deki ifade, filtreleme amaçlı bir  $G(q)$  modeli oluşturulması içindir.  $G(q)$  sadece filtreleme amaçlı kullanıldığı için, yüksek mertebe bir model, filtrelenmiş girdi sinyalinin yeniden yaratılmasıyla tahmin edilebilir.

$$\hat{u}_f(t) := \hat{G}(q)u(t) \quad (2.26)$$

Genelleştirilmiş bir sonlu darbe tepkili filtrenin kullanımını için,  $V_k(q)$  için bir temel fonksiyon seçimi yapılmalıdır. Düşük mertebe bir temel fonksiyon yeterlidir. İleri besleme kompensatör  $F(q)$ 'nin başlatılması için, Denklem 2.27'deki gibi düşük mertebe bir model  $P(q)$  seçilir:

$$\hat{F}(q) = F(q, \hat{\theta}), \hat{\theta} = \min_{\theta} \frac{1}{N} \sum_{t=0}^N \varepsilon^2(t, \theta) \quad (2.27)$$

Burada,  $e(t, \theta)$  hata sinyali Denklem 2.28'deki gibi hesaplanır:

$$e(t, \theta) = y(t) - F(q, \theta)\hat{u}_f(t) \quad (2.28)$$

Bir düşük mertebe  $F(q)$  modelinin dengeli durumu gerçekleştirmesi için  $V_k(q)$  oluşturulur.  $F(q)$ 'nin bilinmesiyle Denklem 2.29'daki formülde  $y(t)$  sinyali oluşturulur:

$$y(t) := H(q)u(t) = e(t) + F(q, \theta_{k-1})u_f(t) \quad (2.29)$$

İleri besleme filtrenin rekürsif azaltılması standart rekürsif En Küçük Ortalama Kareler (*LMS: Least Mean Squares*) yöntemiyle yapılabilir (Denklem 2.30):

$$\theta_k = \min_{\theta} \frac{1}{k} \sum_{t=0}^k \lambda(t) (y(t) - F(q, \theta)\hat{u}_f(t))^2 \quad (2.30)$$

İleri Besleme filtresi geliştirilmiş sonlu darbe cevap modeli bazlı olduğu için, girdi  $f(t)$  ayrıca gecikme hattına beslenir. Filtrenin parametreleri lineer olduğu için, rekürsif hesaplama yöntemleri ile parametreler güncellenebilir (Zeng ve Callafon, 2003).

Araştırmamızda gerçekleştirilen deneyde, gürültü kaynağı olarak gerçek fan motoru kullanılmıştır. Deneyde kullanılan ekipmanların özellikleri ve teknik detayları Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

**Çizelge 2.1:** Deney düzeneğinde kullanılan ekipman ve yazılımlar

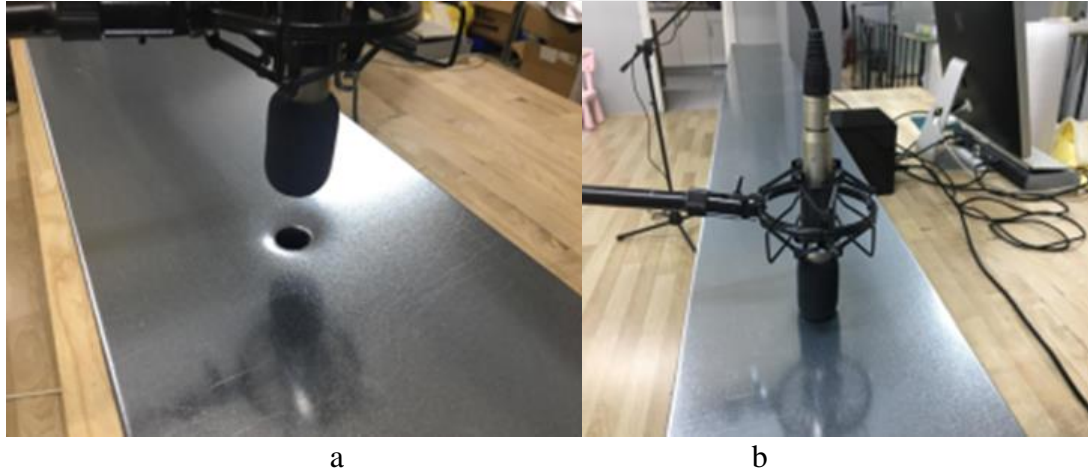
Ventilation Fan - Aircol 200 – (20x20cm)	220V, 44W, 350m <sup>3</sup> /h, 2000rpm, 80Pa,
Galvanized Air Duct	200 x 20 x 20cm
Referance & Test Microphone - MXL 603	30Hz- 20kHz, 48V Phantom Power, Cardioid
Anti Noise Speaker - Behringer Behritone C50A Reference Monitor	220V, Active, Woofer(5.25)inc,
Sound Processor – Presonus Firestudio Audio Interface	External, Firewire (IEEE 1394), 24-bit resolution, up to 96K sampling rate
Phaser Plug-in	Voxengo PHA-979
Sound Spectrum Analyzer Plug-in	Waves PAZ Spectrum Analyzer
Low Pass Filter Plug-in	Waves Q10(m)
Computer	Imac
Software	Logic Pro 9

İki tarafı açık olan Galvaniz Havalandırma kanalının bir tarafına çerçeve ölçüsü 20x20cm olan fan motoru monte edilmiştir. Fan motorunun pervane çapı 14cm’dir. Monte edilen fan motoru Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.5:** Galvaniz havalandırma kanalına monte edilmiş fan motoru

Havalandırma kanalı üzerinde fan motoruna 20cm uzaklıkta kanalın enine ölçüsünün orta noktasına yerleştirilecek olan referans mikrofona için 2cm çapında açılan delik ve referans mikrofona nasıl konumlandırıldığı Şekil 2.6'da görülmektedir.



**Şekil 2.6:** (a) Referans mikrofona için hazırlanan delik, (b) Referans mikrofona konumlandırma

Referans mikrofona baş kısmına, mikrofona diyaframı üzerinde oluşabilecek hava basıncı patlamalarını engellemek amacıyla sönümleyici sünger takılmıştır. Havalandırma kanalı üzerinde, ters gürültü hoparlörünü konumlandırmak amacıyla merkezi fan motoruna 100cm uzaklıkta olacak şekilde 14cm çapında delik açılmış ve hoparlör tamamen kanal içine bakacak şekilde kanala 90 derece konumlandırılmıştır. Şekil 2.7'de hoparlör için açılan delik ve konumlandırma şekli görülmektedir.



**Şekil 2.7:** (a) Ters gürültü hoparlörü için hazırlanan boşluk, (b) Hoparlör konumlandırma

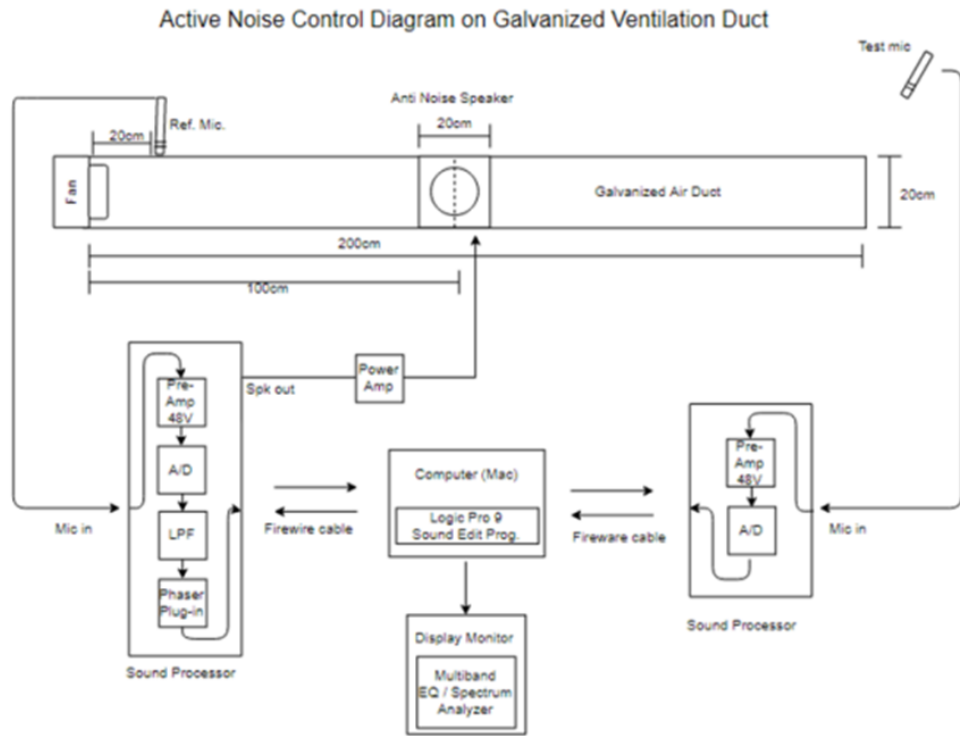
Kullanılan ters gürültü hoparlörü, amplifikatör devresini kendi bünyesinde bulundurmaktadır. Bu sebeple deneyde ekstra bir amplifikatör ünitesi kullanılmamıştır. Kullanılan hoparlörün cevap aralığı bas frekansları da kapsamaktadır.

Kanalın açık olan diğer ucuna, galvaniz kanal içerisinde oluşan hava akımının gürültüsünü ve kanal üzerindeki etkisini hassas boyutlarda ölçmek amacıyla test mikrofonu konumlandırılmıştır. Konumlanan mikrofonun kanala uzaklığı yaklaşık 35cm'dir. Buradaki amaç havalandırma kanalının hava çıkış bölgesinde insan kulağının duyabileceği hassaslıkta ölçüm yapabilmektir. Çalışmada bas frekans ve uğultu sesine odaklanıldığı ve frekans ölçümleri yapılacağı için Sonometre (Desibel ölçer) ile ölçüm yapmak yerine stüdyo hassasiyetinde, cevap aralığı 30hz-20kHz olan yani insan kulağının duyabileceği tüm sesleri algılayabilen bir kardioid mikrofon olan MXL 603 kullanılmıştır. Test mikrofonunun nasıl konumlandırıldığı Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8:** Test mikrofonu konumlandırma

Galvaniz havalandırma kanalı üzerinde hazırlanmış olan Aktif gürültü kontrolü deney düzeneğinin proses akış şeması Şekil 2.9'daki diyagramda gösterilmiştir.



**Şekil 2.9:** Galvaniz havalandırma kanalı aktif gürültü kontrolü diyagramı

Şekil 2.9'daki diyagramda yer alan kısaltma ve terimler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2:** Diyagram üzerindeki kısaltmalar ve terimler

Ref. Mic.	Referans Mikrofon
Pre. Amp. 48V	Pre-amplifikatör 48V
A/D	Analog – Digital Dönüştürücü
LPF	Bas Frekans Geçirgen Filtre
Multiband EQ	20hz-20kHz Geniş Band Ekolayzer

Deneyledeki ölçümler şu şekilde yürütülmüştür: Kanalın ucundaki fan çalışırken fana yakın olan referans mikrofonundan sinyal alınmış, sonra eklenti programı sayesinde ses dalgasının fazı her defasında  $5^\circ$  kaydırılarak ortadaki hoparlörden kanalın içerisine verilmiştir. Bu 2 ses içerde çarpışarak total seste kısmen nötralizasyona yol açması sağlanmıştır. Kanalın sonuna yerleştirilen test mikrofonundan da nihai ses alınarak ölçümlene yapılmıştır. Değerlerin tamamı test mikrofonundan alınmış değerlerdir. Öncelikle kanala fazı değiştirilmiş ses verilmeden ölçümlene yapılmış (ANC kapalı/pasif), daha sonra ise kanala fazı değiştirilmiş ses verilip ölçümlene yapılmıştır (ANC açık/aktif). İncelenen tüm frekanslar (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) için  $5-50^\circ$  arası her  $5^\circ$ 'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 10 farklı faz derecesi = 60 ölçüm) alınmıştır. En yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz dereceleri arasında ( $25-30^\circ$  arasında) ise her  $0,1^\circ$ 'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 50 farklı faz derecesi = 300 ölçüm) alınmıştır.

### 2.3 Verilerin Analiz Edilmesi

Çalışmada elde edilen verilerin analizinde Microsoft Office Excel Programı'nın Veri→Veri Çözümleme işlevleri kullanılmıştır. ANC'li ve ANC'siz değerlerin karşılaştırılmasında "ortalamlar için iki örnek t-testi"nden, ANC'siz değerler ile ANC'li değerlerin tahmin edilmesindeyse "Regresyon Analizi"nden yararlanılmıştır. Analizlerde yüzde 95 ve üzeri ( $p<0,05$ ) anlamlılık düzeyi kabul edilmiştir.

T-testi, iki grup ortalaması arasında belli özellikler ile bağıntılı olabilecek anlamlı farklılık bulunup bulunmadığını saptamada kullanılan çıkarımsal istatistiklerden biridir (Dawson, 2018). Normal bir dağılım gösteren ve varyansları bilinmeyen iki farklı veri setinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla üç çeşit t-testi bulunmaktadır: Bunların ikisinde iki örneğin varyansları eşit (t-test: Eşit varyanslar varsayarak iki örnek) veya farklı (t-test: Farklı varyanslar varsayarak iki örnek) sayılırken üçüncü

tür t-testinde varyansların eşit veya farklı olduğu varsayımında bulunulmayarak iki örnek veri setinin ortalamaları (t-test: Ortalamalar için iki örnek) baz alınmaktadır (Madhu, 2020). T-testi, bir popülasyona uygulanabilir bir varsayımı test etmeyi sağlayan bir hipotez doğrulama aracı olup istatistiksel anlamlılığı belirlemek için t-istatistiği, t-dağılım değerleri ve serbestlik derecelerini kullanmaktadır. İki veri setindeki ortalama değerleri karşılaştırmaya ve bunların aynı popülasyondan olup olmadığını belirlemeye olanak tanımaktadır. T-testi sonucunda elde edilen t-değerinin hesaplanmasında her bir veri setindeki ortalama değerlerin arasında bulunan farkı (ortalama farkı), her bir gruptaki standart sapmayı ve her bir grupta yer alan veri değerlerini kullanılmaktadır (Ganguli ve Guha Deb, 2021). Bu hesaplanan t değeri daha sonra t-dağılım tablosu olarak da bilinen kritik değer tablosunda karşılık gelen bir değer ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmayla, fark üzerinde tek başına tesadüf etkisinin ve ilgili farkın bu tesadüf aralığı dışında olup olmadığı belirlenebilmektedir. T-testinde, iki grup arasında bulunan farkın araştırmada gerçek bir farklılığı gösterip göstermediği veya istatistiksel olarak anlamlı olmayan rastgele bir fark olma durumu sorgulanmaktadır (Trinity College Dublin, 2016). T-dağılım tablosu tek uçlu ve iki uçlu formatlarda mevcuttur. Tek uçlu t-testinden, sabit bir değere ya da net bir yöne (negatif veya pozitif) sahip aralıklardaki vakaların değerlendirilmesinde yararlanılmaktadır. Örneğin, bir çift zar atıldığında çıktı değerinin -3'ten düşük olma ya da 7'nin üzerinde gelme olasılığı gibi. İki uçlu t-testi ise kız öğrencilerin bir dersten aldıkları not ortalaması ile erkek öğrencilerin aynı dersten aldıkları not ortalamasının istatistiksel olarak tesadüf eseri olmayacak bir bilimsel doğrulukta farklı olup olmadığı gibi analizler için kullanılmaktadır. T-testi, MS Excel'de bulunan "veri→veri çözümlene" kısmından yapılabildiği gibi IBM SPSS programı gibi gereken istatistiksel işlevlerin desteklendiği standart yazılım programlarıyla da yapılabilmektedir. T-testinde temel hipotez ( $H_0$ : Sıfır hipotezi) iki veri setinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde eşit olduğu varsayımına dayanmaktadır. T-değerinin yüksek olması, iki örnek seti arasındaki farklılığın yüksek olduğunu gösterirken bu değer küçük olması, iki örnek seti arasında benzerliğin yüksek olduğunu göstermektedir. Nihai karara varılmasında t-testi sonucunda elde edilen t-değerinin p olasılık değerine bakılmaktadır. Eğer t-değerinin p olasılık değeri 0,05'e eşit veya 0,05'ten büyükse başlangıç hipotezi kabul edilmekte; yani iki örnek setinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde benzerlik gösterdiği yargısına varılmaktadır. Ancak p olasılık değeri 0,05'ten küçükse

başlangıç hipotezi reddedilmekte, yani iki örnek setinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olduğu yargısına varılmaktadır. Her iki durumda da elde edilen farklılık ya da benzerliğin tesadüf eseri olmadığı, bilimsel olarak geçerli kabul edilebilir bir anlamlılıkta olduğu t-testi ile belirlenmiş olmaktadır (Madhu, 2020).

Dolayısıyla araştırmamızda aktif gürültü kontrol sistemi kullanılmadan (ANC pasif) önce elde edilen gürültü değerlerinin aktif gürültü kontrol sistemi kullanıldığında (ANC aktif) elde edilen gürültü değerlerinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olup olmadığının, bir diğer deyişle ANC sistemi kullanıldığında gürültünün anlamlı düzeyde düşürülebilip düşürülemediğinin belirlenebilmesi için iki örneklem t-testi kullanılmıştır.

Regresyon analizi, birden fazla sayısal değişken arasında bulunan ilişkinin ölçülmesinde kullanılmakta olan analiz yöntemidir. Regresyon analizinde, bir değişkenin bağımlı, diğerlerininse bağımsız olması gerekmektedir. Burada temel alınan mantık, eşitlikte solda bulunan değişkenin (bağımlı değişkenin) eşitlikte sağda bulunan değişken veya değişkenlerden (bağımsız değişkenlerden) etkilenmesidir (Bayrak ve Akgül, 2013). Regresyon analizinde elde edilen  $R^2$  değeri sayesinde bağımlı değişkeni etkilediği varsayılarak modele dahil edilen bağımsız değişken ya da değişkenlerin bağımlı değişkeni ne düzeyde (yüzdeler olarak) etkilediği bulunabilmektedir. Bunun yanı sıra regresyon analizinde kurulan modelin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir regresyon tahmin denklemi vermesi halinde bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenin değeri bilimsel olarak kabul edilebilir sınırlara yakın olarak tahmin edilebilmektedir. Dolayısıyla regresyon denklemi, bir veya birden fazla etkenin değerleri kullanılarak etkiye maruz kalan unsurun değerini tahmin edebilmeyi de sağlamaktadır. Analizde iki değişken kullanılması halinde basit regresyon, ikiden fazla değişken kullanılması halindeyse çoklu regresyon adını almaktadır. İki değişken arasında doğrusal ilişki varsayılmışsa bu durumda basit doğrusal (lineer) regresyon adını almaktadır (Alexopoulos, 2010).

Dolayısıyla bu araştırmada aktif gürültü kontrol sistemi kullanılmadan (ANC pasif) önce elde edilen gürültü değerlerinin aktif gürültü kontrol sistemi kullanıldığında (ANC aktif) elde edilen gürültü değerlerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkileyip etkilemediğini, etkiliyor ise aktif gürültü kontrol sistemi kullanılmadan (ANC pasif) önce elde edilen gürültü değerleri yardımıyla aktif gürültü kontrol sistemi kullanıldığında (ANC aktif) elde edilecek olan gürültü değerlerinin

istatistiksel olarak anlamlı düzeyde tahmin edilebilip edilemeyeceğinin belirlenebilmesi için Denklem 2.31’de gösterilen basit doğrusal regresyon analizi kullanılmış, bu değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal (lineer) tahmin edilebileceği varsayılmıştır.

$$R_t[\text{Bağımlı değişken}] = \alpha_0 + \alpha_1 * D_t [\text{Bağımsız değişken}] \quad (2.31)$$

Denklem 2.1’de  $R_t$  bağımlı değişken olup frekansa bağlı ANC (açık) değerlerini ifade etmektedir.  $D_t$  ise bağımsız değişken olup frekansa bağlı ANC (kapalı) değerlerini ifade etmektedir. Bu değerler denklemde yerine koyulduğunda Denklem 2.32 elde edilmektedir:

$$ANC(\text{açık})_t = \alpha_0 + \alpha_1 * ANC(\text{kapalı})_t \quad (2.32)$$

Burada;

$t$ : Veri sıra numarasını göstermekte olup düşük frekanstan (16 Hz’den) yüksek frekansa (500 Hz’e) giderken yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerlerin ardışık sıra numarasını göstermektedir. Örneğin 16 Hz için 1 değerini, 31 Hz için 2 değerini, 62 Hz için 3 değerini, 125 Hz için 4 değerini, 250 Hz için 5 değerini, 500 Hz için 6 değerini almakta; 1’den 6’ya kadar sıralı gitmekte; birbirini takip eden 6 veriyi göstermektedir.

$ANC(\text{açık})_t$ : Aktif gürültü kontrol sistemi aktifken (açık iken)  $t$  sıra numaralı frekansta yapılan gürültü ölçümünü (dB) ifade etmekte olup bağımlı değişendir.

$ANC(\text{kapalı})_t$ : Aktif gürültü kontrol sistemi pasifken (kapalı iken)  $t$  sıra numaralı frekansta yapılan gürültü ölçümünü (dB) ifade etmekte olup bağımsız değişkendir.

$\alpha_0$ : “Kesişim katsayısı”dır. Regresyon analizi sonucunda hesaplanmış olur ve veri setindeki tüm veriler için aynıdır.

$\alpha_1$ : ANC pasif değerinin çarpım “katsayısı”dır. Regresyon analizi sonucunda hesaplanmış olur ve veri setindeki tüm ANC (kapalı) değerleri için aynıdır.

Denklem 2.2, ANC(kapalı) değerlerini kullanarak ANC aktif hale getirilmeden önce bulunabilecek en yakın ANC(açık) değerini tahmin etmeyi sağlayabildiği gibi, ANC ölçümü yapılmamış olan ara frekanslarda da en yakın ANC(açık) değerini tahmin edebilmeyi de sağlayabilmektedir. Dolayısıyla bu araştırmada kullanılan özelliklerdeki bir deney düzeneğini kullanan başka araştırmacılar da ölçüm

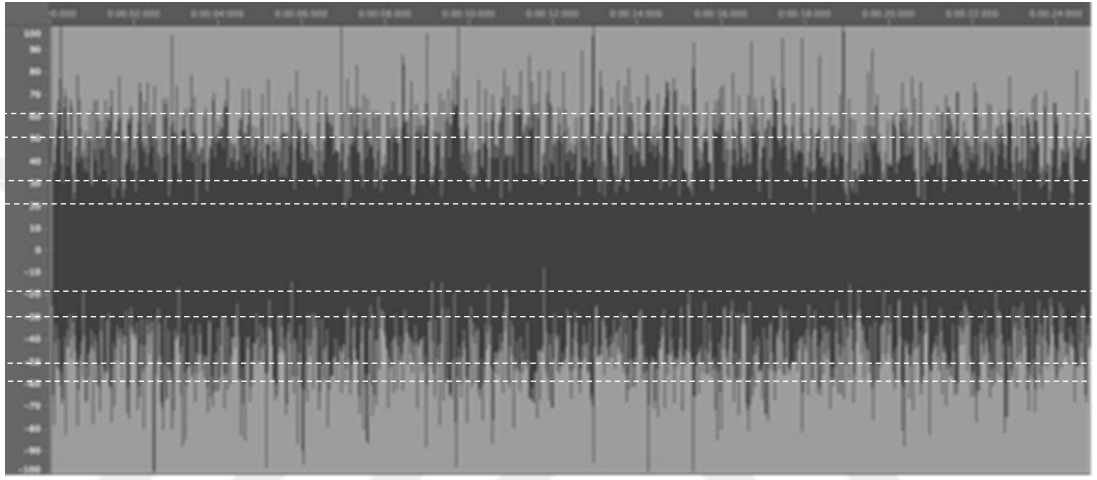
yapacakları diğer ara frekanslarda yaklaşık olarak hangi ANC(açık) değerini elde edebileceklerini hesaplayabileceklerdir. Ancak bu durum, regresyon analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir regresyon denklemi bulunması halinde mümkün olabilmektedir.



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

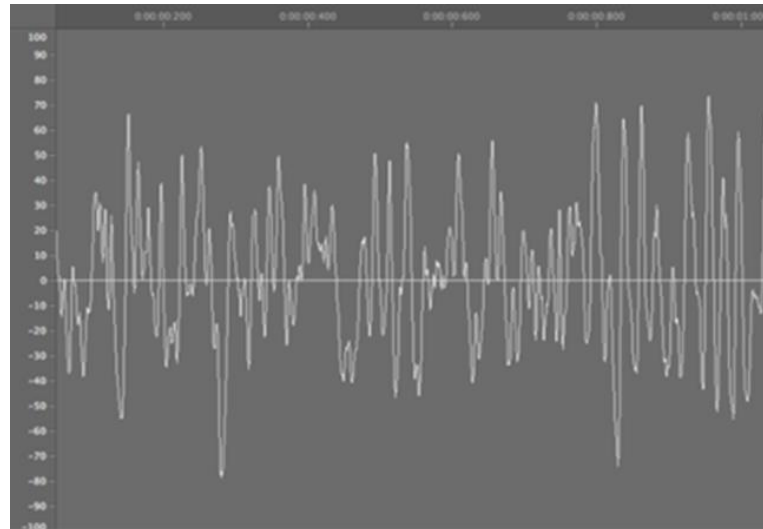
#### 3.1 ANC Pasif Durumda İken Elde Edilen Ölçüm Sonuçları

Deney düzeneğinde fan motoru çalıştırılarak test mikronundan ses alınmaya başlanmıştır. 24 saniye süreyle alınan sesin desibel aralığı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



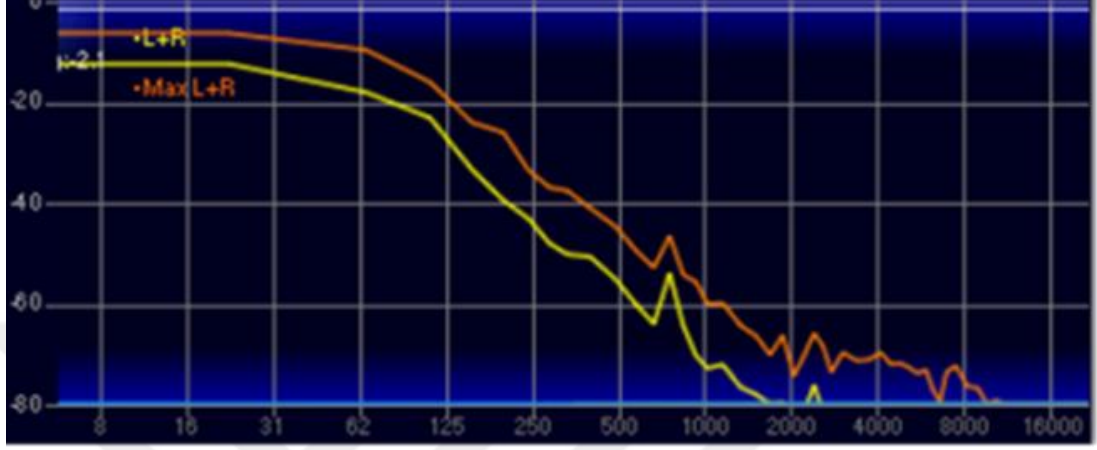
**Şekil 3.1:** ANC pasif durumda iken test mikrofondan 24sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı

Şekil 3.1’deki 24 saniyelik gürültü ses dosyası, aralıklı pik seviyeler göz ardı edildiğinde yaklaşık 50-60dB aralığında kararlı bir gürültü sesi oluştuğunu göstermektedir. Yine aynı gürültü sesi dosyasının bir saniye süreli ayrıntılı görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir.



**Şekil 3.2:** ANC pasif durumda iken test mikrofonundan 1sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı

Aktif gürültü kontrolü aktive edilmeden alınan bu gürültü dosyasının frekans spektrum analizi Şekil 3.3’de yer almaktadır.



**Şekil 3.3:** ANC pasif durumda iken test mikrofonundan elde edilen gürültü sesi frekans analizi

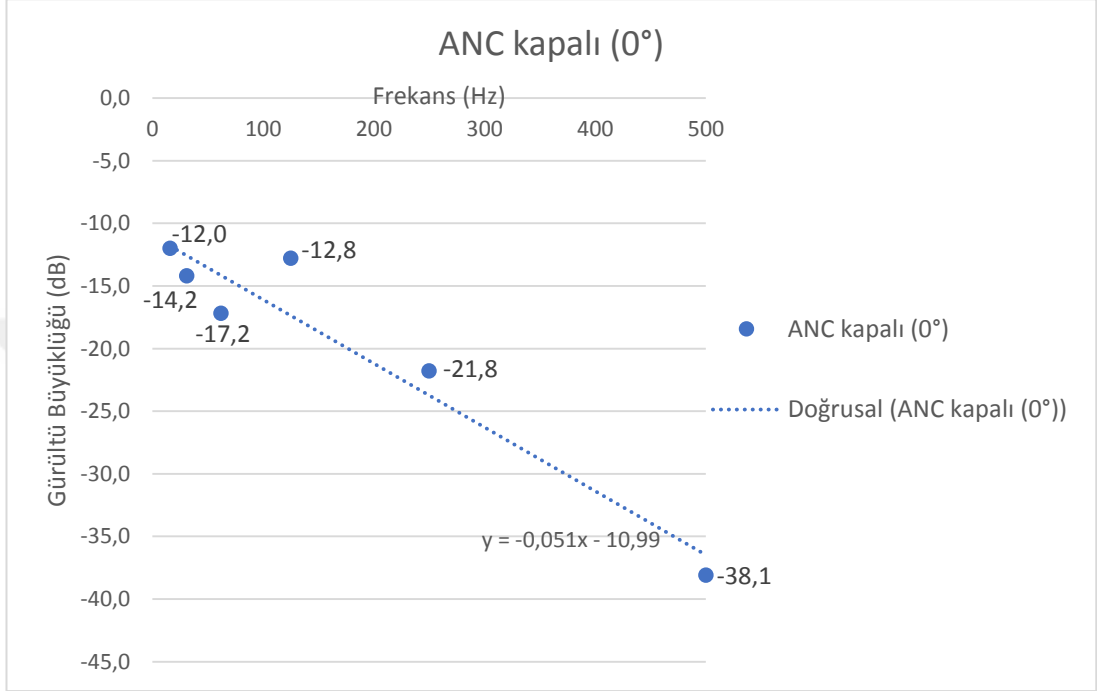
Şekil 3.3’deki frekans analizinde yer alan kırmızı çizgi frekansların çıkmış olduğu pik noktalarını, sarı çizgi ise stabil pozisyonda devam eden frekansları göstermektedir. Frekans analizi bu ses dosyasının bas karakterli bir ses olduğunu 8hz’den 125hz’e kadar 0 ile -20 aralığında bir seyir izlediğini göstermektedir. “0” değeri spektrumda en yüksek noktayı temsil eder. Frekans arttıkça (ses inceldikçe) gürültü gücünün (dB) zayıfladığı gözükmektedir.

ANC pasif (kapalı) durumda iken farklı frekanslar (Hz) için ölçülen gürültü büyüklüklerine (dB) ilişkin bulgular Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1:** ANC pasif durumda iken gürültü büyüklükleri

Frekans (Hz)	ANC pasif (dB)
16	-12,0
31	-14,2
62	-17,2
125	-12,8
250	-21,8
500	-38,1

ANC pasif durumda iken 16-500Hz arası (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) altı farklı frekansta yapılan gürültü ölçümlerinde gürültünün büyüklüğünün -12 ila -38,1 dB arasında değiştiği saptanmıştır. Frekans değeri 16Hz'den 500Hz'e doğru artarken gürültünün gücünün -12,0 dB'den -38,1 dB'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 3.1 ve Şekil 3.4).



**Şekil 3.4:** ANC pasif durumda iken farklı frekanslarda test mikrofonundan elde edilen gürültü büyüklükleri (dB)

### 3.2 ANC Sisteminin Aktif Hale Getirilmesi

Aktif Gürültü Kontrolü pasif durumda iken ortaya çıkan sonuçlar incelendikten sonra referans mikrofonundan alınan ses sinyallerine öncelikle “Waves Q10(m)” plug-in’i ile LPF (Low Pass Filter) işlemi uygulanmıştır. Uygulanan işlem Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Waves Q10(m) Plug-in’i ile LPF (Low Pass Filter) işlemi

Kanal içerisine verilecek ters gürültü (Anti Noise) sinyalleri üzerinde sadece bas frekansların geçişi sağlanmış, 500hz ve üzeri frekanslar kesilerek filtreleme işlemi (high cut) uygulanmıştır. Bu şekilde kanal içerisinde çözüme katkısı olmayacak yüksek frekanslı seslerin ikinci bir gürültü kaynağı oluşturması engellenmiştir. Bu işlemin ardından “Voxengo PHA-979” Plug-in’i vasıtasıyla Aktif Gürültü Kontrolü uygulanmıştır. Plug-in’in uygulanışı Şekil 3.6’da yer almaktadır.

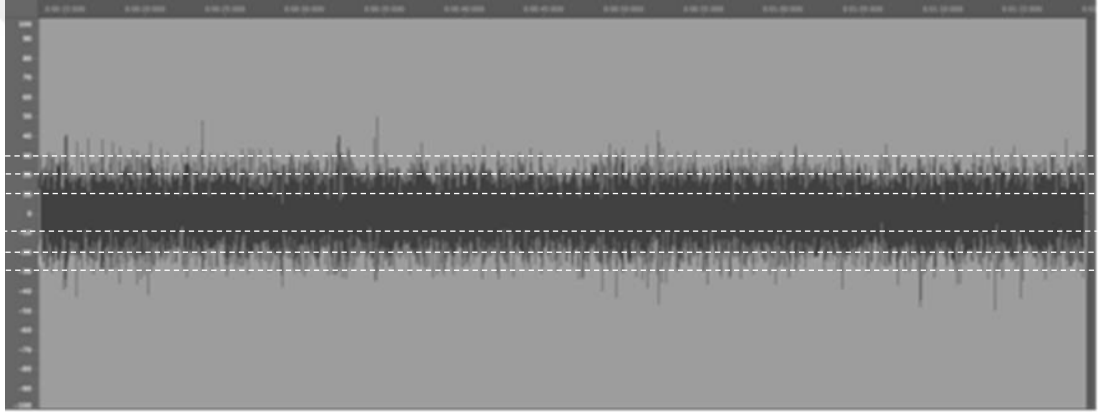


Şekil 3.6: Voxengo PHA-979 Plug-in’i ile aktif gürültü kontrolü ayarları

Şekil 3.6’da yer alan Plug-in’in “Phase” sekmesinde bulunan “Left” kanalı, deney düzeneğinde ters gürültü hoparlörüne yönlendirilmiştir. Yönlendirilen sinyalin faz derecesi incelenen frekansların (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) her

biri için 5°-50° arası her 5°'de bir ölçüm alınarak kaydedilmiştir. En yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz derecelerinin 25° ve 30° olduğu tespit edilmiş, böylece maksimum gürültü düşürmeyi sağlayan faz derecesinin 25-30° arasında olduğu saptanmıştır. Daha sonra 25-30° arasında her 0,1°'de bir ölçüm alınarak bulunan dB değerleri kaydedilmiştir. Kanal içerisindeki fan sesi ile maksimum faz polaritesi sağlanarak uğultu sesinde maksimum azalma sağlayan faz derecesinin farklı frekanslar için 28,3-28,9° arasında değiştiği, faz bazında tüm frekanslar için ortalama ve toplamda ise 28,7° sağ fazda en büyük gürültü azaltma sağlandığı saptanmıştır.<sup>1</sup> 'Voxengo PHA-979' Plug-in'i çalıştığı esnada test mikrofonundan alınan ses dosyasının desibel aralığı Şekil 3.7'de yer almaktadır.

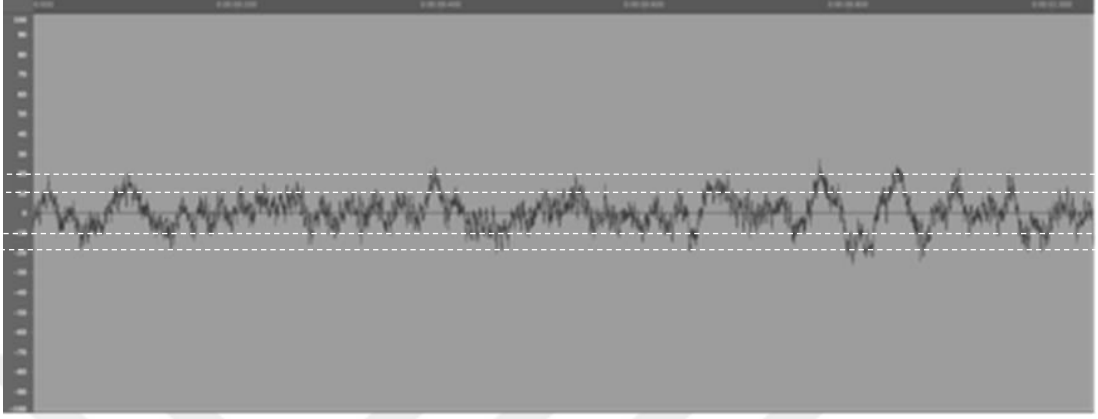
### 3.3 ANC Aktif Durumda İken Elde Edilen Ölçüm Sonuçları



**Şekil 3.7:** ANC aktif durumda iken test mikrofonundan 75sn süreyle elde edilen gürültü sesi desibel aralığı

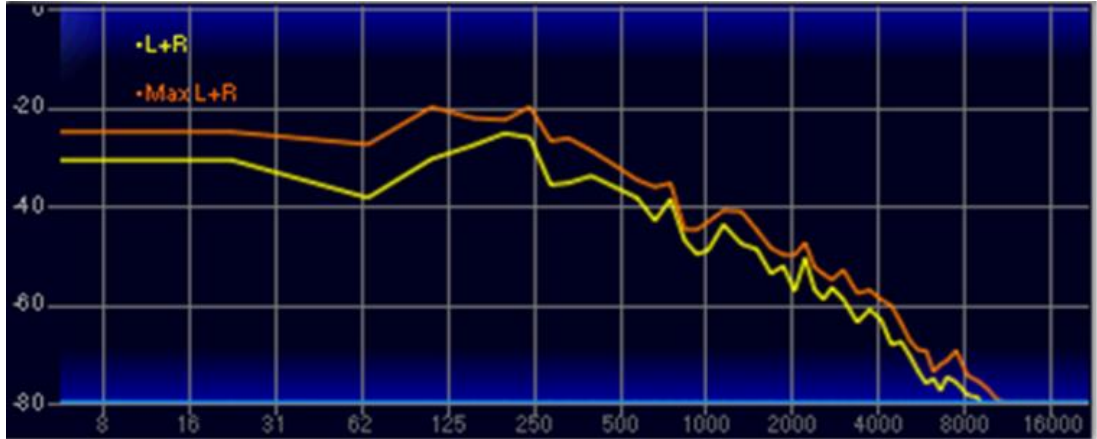
<sup>1</sup> En yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz derecesinin tespitinde şu yol izlenmiştir: Öncelikle incelenen tüm frekanslar (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) için 5-50° arası her 5°'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 10 farklı faz derecesi = 60 ölçüm) alınmıştır. En yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz derecelerinin 25° ve 30° olduğu tespit edilmiş, böylece maksimum gürültü düşürmeyi sağlayan faz derecesinin 25-30° arasında olduğu saptanmıştır. Daha sonra 25-30° arasında her 0,1°'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 50 farklı faz derecesi = 300 ölçüm) alınmıştır. Tüm ölçümler neticesinde, incelenen tüm frekanslarda sağlanan toplam gürültü büyüklüğü düşürme miktarının 16Hz için 28,5° faz derecesinde en büyük, 31 ve 62Hz için 28,3° faz derecesinde en büyük, 125Hz için 28,8° faz derecesinde en büyük, 250Hz için 28,7° faz derecesinde en büyük, 500Hz için 28,9° faz derecesinde en büyük olduğu saptanmıştır. Tüm frekanslarda sağlanan gürültü büyüklüğü düşürme miktarı toplamının 28,7° faz derecesinde en büyük (Ortalama 38,1±5,7 dB) olduğu görülmüştür. Bu ölçümlere ilişkin bulgular bir sonraki bölümde sunulacak olup, ANC aktif (açık) ve pasif (kapalı) iken farklı frekanslar ve faz dereceleri için elde edilen bulgular ANC'li-ANC'siz bazda karşılaştırılarak istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığına bakılacak, ayrıca ANC'siz değerler ile en yüksek gürültü büyüklüğü düşürmenin sağlandığı ANC'li değerlerin tahmin edilebildiği, istatistiksel olarak anlamlı bir denklemin elde edilip edilemeyeceği Regresyon analiziyle incelenecektir.

Şekil 3.7'deki 75 saniyelik gürültü ses dosyası, aralıklı pik seviyeler göz ardı edildiğinde yaklaşık 20-30dB aralığında kararlı bir gürültü sesi oluştuğunu göstermektedir. Yine aynı gürültü sesi dosyasının bir saniye süreli ayrıntılı görünümü Şekil 3.8'de verilmiştir.



**Şekil 3.8:** ANC aktif durumda iken test mikrofonundan 1sn süreyle alınan gürültü sesi desibel aralığı

Bir saniye sürelik ses grafiği de 20 ile 30dB arası kararlı bir gürültünün oluştuğunu bize göstermektedir. Yine ANC aktif iken test mikrofonu tarafından alınan bu gürültü dosyasının frekans spektrum analizi Şekil 3.9'da verilmiştir.



**Şekil 3.9:** ANC aktif durumda iken test mikrofonundan elde edilen gürültü sesi frekans analizi

Şekil 3.9'daki frekans analizinde yer alan kırmızı çizgi frekansların çıkmış olduğu pik noktalarını, sarı çizgi ise stabil pozisyonda devam eden frekansları göstermektedir. Frekans analizi, bu ses dosyasının yine bas karakterli bir ses

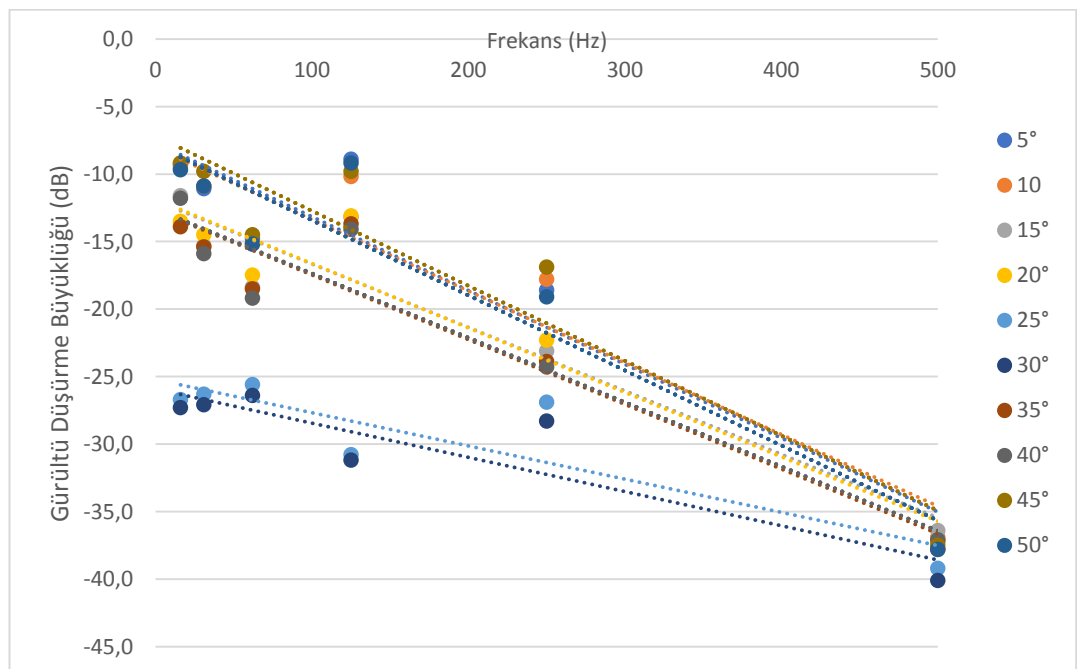
olduğunu, 8hz'den 250hz'e kadar -20 ile -40 aralığında bir seyir izlediğini göstermektedir.

ANC aktif (açık) durumda iken farklı frekanslar (Hz) ve faz dereceleri (°) için ölçülen gürültü büyüklüklerine (dB) ilişkin bulgular Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** ANC aktif durumda iken gürültü büyüklükleri (dB)

Frekans (Hz)	Faz Dereceleri (°)									
	5°	10	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
16	-9,3	-9,5	-11,6	-13,5	-26,7	-27,3	-13,9	-11,8	-9,2	-9,7
31	-11,1	-10,9	-15,3	-14,5	-26,3	-27,1	-15,4	-15,9	-9,8	-10,9
62	-14,8	-15,2	-18,4	-17,5	-25,6	-26,4	-18,5	-19,2	-14,5	-15,2
125	-8,9	-10,2	-13,2	-13,1	-30,8	-31,2	-13,7	-14,1	-9,8	-9,2
250	-18,6	-17,8	-23,1	-22,3	-26,9	-28,3	-23,9	-24,3	-16,9	-19,1
500	-37,2	-36,9	-36,4	-37,2	-39,2	-40,1	-37,8	-37,1	-37,5	-37,8

ANC aktif durumda iken 16-500Hz arası (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) altı farklı frekansta, öncelikle 5-50° arasında 10 ayrı faz derecesi için her 5°'de bir (5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45° ve 50°) ölçüm yapılmıştır. Yapılan gürültü ölçümlerinde gürültünün büyüklüğünün -8,9 ila -40,1 dB arasında değiştiği saptanmıştır. Frekans değeri 16Hz'den 500Hz'e ve 5°'den 50°'ye doğru artarken gürültünün gücünün -9,3 dB'den -37,8 dB'e düştüğü gözlemlenmiştir (Çizelge 3.2 ve Şekil 3.10).



**Şekil 3.10:** ANC aktif durumda iken farklı frekanslarda ve faz derecelerinde test mikrofonundan elde edilen gürültü büyüklükleri

Çizelge 3.2 ve Şekil 3.10'a göre incelenen tüm frekanslarda en yüksek gürültü büyüklüğü (dB) düşürmeyi sağlayan faz derecelerinin 25° ve 30° olduğu görülmektedir. Buna göre maksimum gürültü düşürmeyi sağlayan faz derecesinin 25-30° arasında olduğu anlaşılmıştır.

Maksimum gürültü düşürmeyi sağlayan faz derecesinin tam olarak (onda birlik değerinde) tespit edilebilmesi için 25-30° arasında her 0,1°'de bir ölçüm (6 farklı frekans x 50 farklı faz derecesi = 300 ölçüm) alınmıştır (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3:** ANC aktif durumda iken 25-30° arasındaki gürültü büyüklükleri (dB)

Faz Dereceleri (°)	Frekanslar (Hz)						Toplam	Ort.	S.S.
	16Hz	31Hz	62Hz	125Hz	250Hz	500Hz			
25,0	-26,7	-26,3	-25,6	-30,8	-26,9	-39,2	-175,5	-29,3	5,2
25,1	-26,2	-25,8	-28,3	-32,3	-27,2	-39,4	-179,2	-29,9	5,2
25,2	-28,1	-29,5	-29,9	-28,1	-22,8	-40,4	-178,8	-29,8	5,8
25,3	-27,5	-24,1	-27,9	-28,9	-28,3	-39,7	-176,4	-29,4	5,3
25,4	-26,0	-26,7	-23,2	-35,2	-23,9	-41,3	-176,3	-29,4	7,2
25,5	-27,9	-29,8	-27,2	-33,2	-23,7	-38,5	-180,3	-30,1	5,2
25,6	-26,9	-30,8	-31,3	-31,3	-29,1	-38,7	-188,1	-31,4	4,0
25,7	-25,9	-28,0	-25,6	-32,8	-28,5	-41,6	-182,4	-30,4	6,1
25,8	-25,9	-25,6	-26,0	-35,5	-34,3	-40,9	-188,2	-31,4	6,5
25,9	-26,9	-26,6	-26,3	-33,9	-35,0	-41,9	-190,6	-31,8	6,3
26,0	-29,2	-25,5	-31,2	-31,4	-30,4	-40,4	-188,1	-31,4	4,9
26,1	-27,6	-28,5	-28,8	-31,2	-29,5	-41,5	-187,1	-31,2	5,2
26,2	-26,7	-31,5	-27,7	-33,8	-32,2	-41,2	-193,1	-32,2	5,2
26,3	-28,7	-29,1	-32,5	-31,6	-30,1	-40,0	-192,0	-32,0	4,2
26,4	-29,3	-29,0	-31,8	-37,1	-26,7	-43,2	-197,1	-32,9	6,2
26,5	-29,6	-28,1	-25,8	-38,5	-30,3	-39,6	-191,9	-32,0	5,7
26,6	-30,2	-31,0	-29,1	-31,6	-35,6	-43,0	-200,5	-33,4	5,2
26,7	-27,4	-31,6	-29,2	-31,9	-31,9	-40,6	-192,6	-32,1	4,5
26,8	-27,0	-27,6	-32,9	-33,0	-37,1	-41,8	-199,4	-33,2	5,6
26,9	-29,2	-28,2	-30,3	-35,2	-37,4	-43,9	-204,2	-34,0	6,0
27,0	-29,4	-31,4	-28,0	-39,7	-34,9	-41,7	-205,1	-34,2	5,6
27,1	-28,6	-30,4	-28,6	-32,5	-34,8	-41,3	-196,2	-32,7	4,8
27,2	-28,9	-29,9	-35,4	-33,9	-34,9	-43,0	-206,0	-34,3	5,0
27,3	-31,2	-27,6	-27,7	-36,7	-35,4	-43,9	-202,5	-33,8	6,3
27,4	-28,6	-30,3	-31,6	-34,2	-32,1	-43,1	-199,9	-33,3	5,1
27,5	-27,9	-33,5	-32,0	-33,9	-36,7	-42,7	-206,7	-34,5	5,0
27,6	-29,5	-33,7	-36,0	-40,7	-40,3	-41,6	-221,8	-37,0	4,8
27,7	-30,9	-28,6	-34,4	-39,6	-30,8	-44,2	-208,5	-34,8	6,0
27,8	-29,3	-33,6	-31,0	-35,1	-41,2	-42,8	-213,0	-35,5	5,4
27,9	-30,4	-31,9	-31,0	-37,2	-34,9	-45,1	-210,5	-35,1	5,5
28,0	-30,5	-31,1	-34,4	-38,4	-34,8	-44,0	-213,2	-35,5	5,0
28,1	-29,1	-29,0	-33,7	-41,9	-34,9	-43,6	-212,2	-35,4	6,2
28,2	-29,3	-29,5	-34,7	-42,7	-37,9	-43,6	-217,7	-36,3	6,2

Çizelge 3.3: Devamı

Faz Dereceleri (°)	Frekanslar (Hz)						Toplam	Ort.	S.S.
	16Hz	31Hz	62Hz	125Hz	250Hz	500Hz			
28,3	-28,5	-35,7	-37,7	-37,8	-37,3	-45,5	-222,5	-37,1	5,4
28,4	-29,4	-35,7	-32,0	-37,0	-39,6	-44,8	-218,5	-36,4	5,5
28,5	-32,5	-32,9	-30,2	-42,2	-41,7	-45,3	-224,8	-37,5	6,3
28,6	-31,0	-34,0	-36,7	-42,5	-38,5	-44,1	-226,8	-37,8	5,0
28,7	-30,0	-34,4	-35,1	-42,5	-43,6	-43,2	-228,8	-38,1	5,7
28,8	-31,7	-35,0	-31,3	-43,9	-39,5	-44,9	-226,3	-37,7	6,0
28,9	-30,7	-32,7	-34,7	-43,0	-38,8	-45,7	-225,6	-37,6	5,9
29,0	-30,6	-33,1	-29,6	-40,5	-34,2	-42,7	-210,7	-35,1	5,3
29,1	-30,4	-29,1	-31,9	-33,9	-31,4	-43,7	-200,4	-33,4	5,3
29,2	-28,5	-27,8	-32,5	-34,1	-33,5	-41,6	-198,0	-33,0	5,0
29,3	-29,2	-29,0	-35,1	-36,6	-34,8	-43,8	-208,5	-34,8	5,5
29,4	-29,3	-29,0	-34,3	-38,2	-33,3	-41,3	-205,4	-34,2	4,9
29,5	-28,3	-30,0	-31,4	-35,8	-33,8	-43,6	-202,9	-33,8	5,5
29,6	-26,4	-32,0	-26,6	-31,9	-35,1	-39,9	-191,9	-32,0	5,1
29,7	-29,5	-29,6	-28,4	-37,1	-35,8	-41,7	-202,1	-33,7	5,3
29,8	-29,6	-27,5	-29,4	-34,5	-35,1	-40,2	-196,3	-32,7	4,7
29,9	-28,2	-25,0	-29,2	-29,9	-33,9	-41,5	-187,7	-31,3	5,8
30,0	-27,3	-27,1	-26,4	-31,2	-28,3	-40,1	-180,4	-30,1	5,2

Ort.: Ortalama, S.S.: Standart Sapma

Tüm ölçümler neticesinde, incelenen tüm frekanslarda elde edilen gürültü büyüklüğünün 16Hz için 28,5° faz derecesinde en küçük, 31Hz için 28,3-28,4° derecelerinde en küçük, 62Hz için 28,3° faz derecesinde en küçük, 125Hz için 28,8° faz derecesinde en küçük, 250Hz için 28,7° faz derecesinde en küçük, 500Hz için 28,9° faz derecesinde en küçük olduğu saptanmıştır. Tüm frekanslar için herhangi bir faz derecesinde elde edilen gürültü büyüklüğü toplamının ve ortalamasının 28,7° faz derecesinde en küçük (Toplam -228,8 dB; Ort.: -38,1±5,7 dB) olduğu görülmüştür.

### 3.4 ANC Pasif-Aktif Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 3.4-3.14'de ANC aktif (açık) ve pasif (kapalı) iken incelenen tüm frekanslar için faz bazında ortalama gürültü büyüklükleri (dB) ve ayrıca faz bazında en düşük toplam ve ortalama gürültü değeri sağladığı tespit edilen 28,7° faz derecesi için elde edilen ortalama gürültü büyüklüklerinin (dB) ANC pasif ve ANC aktif bazda karşılaştırılmasına ilişkin “ortalamlar için iki örnek t-testi” sonuçları verilmiştir.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Karşılaştırmalar, incelenen her faz için 6 farklı frekansta (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) bulunan ANC'siz ve ANC'li gürültü büyüklükleri (dB) arasında yapılmıştır.

**Çizelge 3.4:** ANC pasif ve ANC aktif (5,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC pasif (dB)</i>	<i>ANC aktif (5°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-16,65
Varyans	97,127	114,883
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,998621863	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	-6,49769784	
P(T<=t) tek-uçlu	0,001	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,001**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

ANC: Active Noise Control (Aktif Gürültü Kontrolü)

Pasif: ANC sistemi kapalı

Aktif: ANC sistemi açık

ANC pasif (dB): ANC kapalı iken ölçülen gürültü değeri (dB cinsinden)

ANC aktif (dB): ANC açık iken ölçülen gürültü değeri (dB cinsinden)

Ortalama (dB): İncelenen 6 farklı frekansın (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) her biri için ANC pasif ve ANC aktif iken ölçülen gürültü büyüklüklerinin (dB) pasif ve aktif için ayrı ayrı ortalama değerleri (ANC pasif için 6 adet verinin ortalamasını, ANC aktif için 6 adet verinin ortalamasını ifade etmektedir).

Gözlem: Her bir örnek veri setinde kaç adet veri bulunduğunu ifade eder.

Pearson Korelasyonu: çarpım moment korelasyon katsayısı olup, iki örnek veri seti arasındaki doğrusal ilişkinin düzeyini gösterir. -1 ila +1 dahil olmak üzere bu iki değer arasında değişir.

Varyans: t varyansı temel olarak 1'in üzerinde derece sahip bir varyans olma özelliği taşır. Fakat örneklemin büyüklüğünde artış yaşandıkça varyansın değeri 1'e yaklaşmaktadır.

df: gözlem sayısından örnek sayısının çıkarılıp bir eklenmesiyle bulunur. Burada iki farklı örnek veri seti bulunduğu için 6-2+1=5 olarak hesaplanmaktadır.

t Kritik tek-uçlu: t serbestlik derecesi dağılımındaki bir gözlemin "t Kritik tek kuyruklu"dan Alpha'ya eşit ya da Alpha'dan büyük olma olasılığıdır.

t Kritik iki-uçlu: Kesmeoff değeridir. Mutlak değerde gözlenmiş olan t Stat değerinin "t Kritik ik-uçlu"dan büyük Alpha olma olasılığıdır.

t Stat: t-istatistik değeri olup t-değeri olarak da anılır. T Stat değerinin yüksek olması, iki örnek seti arasındaki farklılığın yüksek olduğunu gösterirken bu değer küçük olması, iki örnek seti arasında benzerliğin yüksek olduğunu göstermektedir.

5,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha yüksektir (p<0,01). Bir diğer deyişle, 5°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde artırmaktadır (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.5:** ANC pasif ve ANC aktif (10,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (10°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-16,75
Varyans	97,127	107,843
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,996698966	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	-6,513584132	
P(T<=t) tek-uçlu	0,001	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,001**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

10,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha yüksektir (p<0,01). Bir diğer deyişle, 10°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde artırmaktadır (Çizelge 3.5).

**Çizelge 3.6:** ANC pasif ve ANC aktif (15,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (15°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-19,66666667
Varyans	97,127	83,87066667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,994994422	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	0,657995094	
P(T<=t) tek-uçlu	0,270	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	0,540	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

15,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ile ANC pasifken bulunan değerler arasında anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmamaktadır (p>0,05). Bir diğer deyişle, 15°'lik fazda ANC'nin kullanılması veya kullanılmaması gürültüyü anlamlı düzeyde değiştirmemektedir (Çizelge 3.6).

**Çizelge 3.7:** ANC pasif ve ANC aktif (20,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (20°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-19,68333333
Varyans	97,127	85,37766667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,998879495	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	1,069656375	
P(T<=t) tek-uçlu	0,167	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	0,334	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05 \*\*: p<0,01

20,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ile ANC pasifken bulunan değerler arasında anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmamaktadır (p>0,05). Bir diğer deyişle, 20°'lik fazda ANC'nin kullanılması veya kullanılmaması gürültüyü anlamlı düzeyde değiştirmemektedir (Çizelge 3.7).

**Çizelge 3.8:** ANC pasif ve ANC aktif (25,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (25°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-29,25
Varyans	97,127	27,091
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,828273108	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	3,871009047	
P(T<=t) tek-uçlu	0,006	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,012*</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05 \*\*: p<0,01

25,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür (p<0,05). Bir diğer deyişle, 25°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde azaltmaktadır (Çizelge 3.8).

**Çizelge 3.9:** ANC pasif ve ANC aktif (28,7° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (28,7°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-38,13333333
Varyans	97,127	32,78266667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,585953653	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	5,761032949	
P(T<=t) tek-uçlu	0,001	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,002**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

28,7° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür (p<0,01). Bir diğer deyişle, 28,7°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde azaltmaktadır (Çizelge 3.9).

**Çizelge 3.10:** ANC pasif ve ANC aktif (30,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (30°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-30,06666667
Varyans	97,127	26,99466667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,858790042	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	4,3645461	
P(T<=t) tek-uçlu	0,004	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,007**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

30,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür (p<0,01). Bir diğer deyişle, 30,0°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde azaltmaktadır (Çizelge 3.10).

**Çizelge 3.11:** ANC pasif ve ANC aktif (35,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (35°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-20,53333333
Varyans	97,127	86,13066667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,997816331	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	3,393286038	
P(T<=t) tek-uçlu	0,010	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,019*</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

35,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür (p<0,05). Bir diğer deyişle, 35°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde azaltmaktadır (Çizelge 3.11).

**Çizelge 3.12:** ANC pasif ve ANC aktif (40,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (40°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-20,4
Varyans	97,127	85,888
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,99175791	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	1,89043485	
P(T<=t) tek-uçlu	0,059	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	0,117	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

40,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ile ANC pasifken bulunan değerler arasında anlamlı düzeyde bir farklılık bulunmamaktadır (p>0,05). Bir diğer deyişle, 40°'lik fazda ANC'nin kullanılması veya kullanılmaması gürültüyü anlamlı düzeyde değiştirmemektedir (Çizelge 3.12).

**Çizelge 3.13:** ANC pasif ve ANC aktif (45,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (45°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-16,28333333
Varyans	97,127	117,5896667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,993873901	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	-4,967533074	
P(T<=t) tek-uçlu	0,002	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,004**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

45,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha yüksektir (p<0,01). Bir diğer deyişle, 45°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde artırmaktadır (Çizelge 3.13).

**Çizelge 3.14:** ANC pasif ve ANC aktif (50,0° sağa faz kaydırılmış) gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

	<i>ANC kapalı (dB)</i>	<i>ANC açık (50°'lik faz) (dB)</i>
Ortalama (dB)	-19,35	-16,98333333
Varyans	97,127	118,3256667
Gözlem	6	6
Pearson Korelasyonu	0,998427067	
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	5	
t Stat	-4,930080069	
P(T<=t) tek-uçlu	0,002	
t Kritik tek-uçlu	2,015048373	
P(T<=t) iki-uçlu	<b>0,004**</b>	
t Kritik iki-uçlu	2,570581836	

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

50,0° sağa kaydırılmış fazda ANC aktif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha yüksektir (p<0,01). Bir diğer deyişle, 50°'lik fazda ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde artırmaktadır (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.4-3.14’de verilen tablolardaki bulgular genel değerlendirme yapılabilmesi amacıyla Çizelge 3.15’de özetlenmiştir.

**Çizelge 3.15:** ANC pasif-aktif gürültü ortalamalarının (dB) karşılaştırılması (t-testi)

Faz Dereceleri (°)		Toplam <sup>1</sup>	Ort. <sup>2</sup>	S.S.	t	p	Anlamlı Fark
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	-6,50	0,001**	B>A
B.	ANC aktif 5,0	-99,9	-16,7	10,7			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	-6,51	0,001**	B>A
B.	ANC aktif 10,0	-100,5	-16,8	10,4			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	0,66	0,540	
B.	ANC aktif 15,0	-118,0	-19,7	9,2			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	1,07	0,334	
B.	ANC aktif 20,0	-118,1	-19,7	9,2			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	3,87	0,012*	A>B
B.	ANC aktif 25,0	-175,5	-29,3	5,2			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	5,76	0,002**	A>B
B.	ANC aktif 28,7	-228,8	-38,1	5,7			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	4,36	0,007**	A>B
B.	ANC aktif 30,0	-180,4	-30,1	5,2			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	3,39	0,019*	A>B
B.	ANC aktif 35,0	-123,2	-20,5	9,3			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	1,89	0,117	
B.	ANC aktif 40,0	-122,4	-20,4	9,3			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	-4,97	0,004**	B>A
B.	ANC aktif 45,0	-97,7	-16,3	10,8			
A.	ANC pasif 0,0	-116,1	-19,4	9,9	-4,93	0,004**	B>A
B.	ANC aktif 50,0	-101,9	-17,0	10,9			

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

<sup>1</sup> İncelenen tüm frekanslar (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) için faz derecesi bazında toplam gürültü büyüklüğü (dB)

<sup>2</sup> İncelenen tüm frekanslar (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) için faz derecesi bazında ortalama gürültü büyüklüğü (dB)

Çizelge 3.15’e göre; ANC aktif iken 25,0°, 28,7°, 30,0° ve 35,0°’lik fazlarda, incelenen tüm frekanslar (16-500Hz arası) için ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC pasifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür. Bir diğer deyişle, ANC’nin 25-35° faz dereceleri arasında kullanılması anlamlı düzeyde daha fazla gürültü azaltmaktadır (Çizelge 3.15). Bu bakımdan, 200 x 20 x 20cm ölçülerinde galvaniz havalandırma kanalı içerisinde fan motorunun oluşturduğu ve hava akımı sebebiyle meydana gelen, rahatsız edici, düşük frekanslı uğultu şeklindeki gürültünün, çeşitli yazılım ve eklenti programlar yardımıyla

gerçekleştirilen dijital ANC yöntemi ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) azaltılması mümkündür. Bu doğrultuda, maksimum gürültü düşürme için, deneyde kullanılan özellikleri taşıyan bir ANC yönteminin 25-35° faz dereceleri arasında kullanılması uygun olacaktır. Daha önce Çizelge 3.3'de de gösterildiği üzere farklı frekanslar için 28,3-28,9° arası faz derecelerinde en düşük gürültü değerleri elde edilmekte olup, 28,7°'de toplam ve ortalama gürültü büyüklüğü en düşüktür, yani 16-500Hz arası maksimum gürültü düşürmek için ANC'nin kullanılması gereken faz derecesi aralığı 28,3-28,9° arasında değişmeli ve 28,7°'ye yakın olmalıdır.

Diğer yandan 5,0°, 10,0°, 45,0° ve 50,0°'lik fazlarda ANC pasif iken elde edilen ortalama gürültü büyüklüğü (dB) ANC aktifken bulunan değerlerden anlamlı düzeyde daha düşüktür. Bir diğer deyişle, 0-10° faz dereceleri arasında ve ayrıca 45-50° faz dereceleri arasında ANC'nin kullanılması gürültüyü anlamlı düzeyde artırmaktadır (Çizelge 3.15). Bu durumun nedeni; gürültü kaynağı olan fan sesinin ses dalgası ile kanal içerisine verilen ters gürültünün ses dalgası arasındaki eşleşme noktasının uzak olması sebebiyle verilen ters gürültünün de ekstra gürültü kaynağı yaratmasıyla açıklanabilir. Nitekim Limb (1997) de ANC'de ters gürültünün gürültü ile eşleşmemesi halinde gürültü büyüklüğünü (dB) artırıcı bir etkisi olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla araştırmamızda kullanılan deney düzeneği özelliklerinde ANC'nin 0-10° dereceleri arasında ve 45-50° dereceleri arasında faz kaydırmadan kaçınılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Bunun yanı sıra, faz derecesi 28,7°'ye yaklaştıkça özellikle 16hz, 31hz, 62hz gibi bas frekanslarda yavaş yavaş seste (gürültü frekansı ve ters gürültü frekansında) eşleşme başlamakta, 125hz civarlarında maksimum eşleşme gerçekleşmektedir. Ve bu durum da ölçümlerde gürültü azalması olarak kendini göstermektedir. Zaten, 16hz fanın ürettiği fakat insan kulağının duyabileceği bir frekans değildir. Ancak ses frekansı 31hz'den başlayarak 250hz'e kadar bas karakter taşımaktadır. Galvaniz havalandırma kanalı içerisindeki uğultunun insan kulağına rahatsızlık veren frekans aralığı ise 20-180Hz arasındadır. Literatürdeki sayısız araştırmada (Araújo Alves ve diğ., 2020; Liu ve diğ., 2016; Pedersen, Møller ve Waye, 2008; Schust, 2004; Walker ve diğ., 2016), 20-180 Hz arasındaki seslerin insanlara çeşitli derecelerde rahatsızlık verdiği, rahatsız edici gürültü olarak algılandığı saptanmıştır. Örneğin; Pedersen ve diğ.'nin (2008) yaptığı araştırmaya katılan insanların bir bölümünün fiziksel bir sestem (20-180 Hz) rahatsız olduğu, diğerlerinin ise düşük frekanslı kulak

çınlanmasından (algılanan frekans 40-100 Hz) muzdarip olduğu gösterilmiştir. Diğer yandan aynı araştırmada 20 Hz'nin altındaki frekanslardaki (infrasound) fiziksel sesin, insanlara rahatsızlık vermediği saptanmıştır. Dolayısıyla araştırmamızda 28,7° faz derecesinde 16-250Hz arası frekanslarda ANC yöntemiyle sağlanan 17,9-29,7 dB gürültü azaltımı, ayrıca 125 Hz'de ölçülen maksimum azalma (29,7 dB) ile 20-180Hz frekans bandını kontrol edebilmekteyiz ki bu durum, 28,7° faz derecesinde en yüksek ortalama ve toplam gürültü azaltımı şeklinde kendini göstermiş olup insan kulağına asıl rahatsızlık veren frekans aralığı (20-180Hz) için araştırmamızda kullanılan ANC yöntemi ile ortalama 20-30 dB gürültü azaltımı sağlanarak havalandırma kanallarındaki gürültünün azaltılması konusunda kayda değer bir başarı elde edilebileceğini göstermektedir.

### 3.5 ANC Pasif-Aktif Sonuçlarına İlişkin Regresyon Analizi

Farklı frekanslar için (16Hz, 31Hz, 62Hz, 125Hz, 250Hz ve 500Hz) en fazla gürültü düşürme sağlayan faz derecelerindeki ANC'li değerleri (28,3°, 28,4°, 28,5°, 28,6°, 28,7°, 28,8 ve 28,9°) ANC'siz değerler kullanarak tahmin etmeyi sağlayacak, istatistiksel olarak anlamlı bir denklem elde edilip edilemeyeceği Regresyon Analiziyle incelenmiş, buna ilişkin bulgular Çizelge 3.16-3.25'de verilmiştir.

**Çizelge 3.16:** ANC açık (28,3°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,831843
R Kare	0,691962
Ayarlı R Kare	0,614953
Standart Hata	3,36879
Gözlem	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	101,9733	101,9733	8,985428	<b>0,040*</b>
Fark	4	45,39499	11,34875		
Toplam	5	147,3683			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-28,2165	3,262099	-8,64979	<b>0,001**</b>	-37,2735	-19,1594
ANC kapalı (dB)	0,458235	0,152869	2,99757	<b>0,040*</b>	0,033803	0,882667

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01    ANOVA: Analysis of Variance (Varyans analizi)    F: Anova F değeri  
df: Degree of Freedom (Serbestlik Derecesi)    SS: Sum of Square (Kareler Toplamı)  
MS: Mean Square (Kareler ortalaması)    Anlamlılık F: Anova F değerinin anlamlılık düzeyi

T Stat: t testi değeri Ayarlı R Kare: Düzeltilmiş R<sup>2</sup> (Açıklanan varyans)

R Kare: Çoklu R değerinin karesi olup bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etki düzeyini göstermektedir. Çizelge 3.16'da 0,691962 olarak bulunan R Kare değerine göre ANC kapalı iken ölçülen değerler (bağımsız değişkenin) ANC açık olan değerlerin (bağımlı değişkenin) yaklaşık %69,2'sini açıklamaktadır.

Katsayılar: kesişim ve bağımsız değişkenin katsayıları

P-değeri: kesişim katsayısı ve bağımsız değişkenin katsayısı için anlamlılık düzeyi

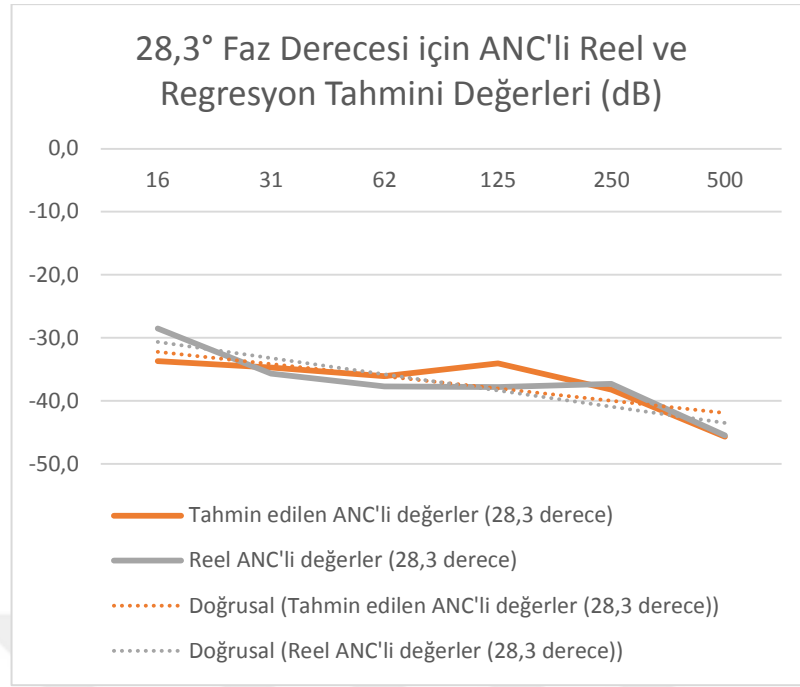
Çizelge 3.16'ya göre; ANC açık (aktif) ve 28,3° sağa kaydırılmış faz derecelerinde iken hesaplanan Regresyon denklemleri anlamlı düzeydedir (p=0,040). Buna göre; ANC 28,3° faz derecesinde açık (aktif) iken incelenen her frekans için reel gürültü (dB) değerlerinden regresyon tahmin değerleri aşağıdaki (Denklem 3.1) regresyon denklemleri vasıtasıyla Çizelge 3.17'deki gibi hesaplanarak bulunmaktadır:

$$\text{ANC açık (28,3°) iken gürültü büyüklüğü (dB)} = -28,2165 + 0,458235 * \text{ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB)} \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.17:** ANC'li (28,3°) değerlerin ANC'siz değerler kullanarak tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<b>Gürültü Büyüklüğü (dB) (ANC'li 28,3° faz derecesi için)</b>				
<b>Frekans (Hz)</b>	<b>ANC'siz Reel</b>	<b>Regresyon Denklemi</b>	<b>Regresyon Tahmin Sonucu</b>	<b>Reel Değer</b>
<b>16</b>	-12,0	-28,2165 + 0,458235 * (-12,0) =	-33,7	-28,5
<b>31</b>	-14,2	-28,2165 + 0,458235 * (-14,2) =	-34,7	-35,7
<b>62</b>	-17,2	-28,2165 + 0,458235 * (-17,2) =	-36,1	-37,7
<b>125</b>	-12,8	-28,2165 + 0,458235 * (-12,8) =	-34,1	-37,8
<b>250</b>	-21,8	-28,2165 + 0,458235 * (-21,8) =	-38,2	-37,3
<b>500</b>	-38,1	-28,2165 + 0,458235 * (-38,1) =	-45,7	-45,5
		<b>Toplam</b>	-222,5	-222,5

Regresyon analizinin temel mantığı gereğince, incelenen her frekans için ANC'siz değerler yardımıyla hesaplanan ANC'li (28,3°) değerlerin toplamı, reel ANC'li (28,3°) değerlerin toplamına eşit olmaktadır (Çizelge 3.17). 28,3° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması Şekil 3.11'de de görülebilmektedir.



**Şekil 3.11:** 28,3° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması

**Çizelge 3.18:** ANC açık (28,4°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,8370504
R Kare	0,700653373
Ayarlı R Kare	0,625816716
Standart Hata	3,350540577
Gözlem	6

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	105,1038	105,1038	9,362436	<b>0,038*</b>
Fark	4	44,90449	11,22612		
Toplam	5	150,0083			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-27,4147	3,244428	-8,44979	<b>0,001**</b>	-36,4227	-18,4068
ANC kapalı (dB)	0,465216	0,152041	3,05981	<b>0,038*</b>	0,043083	0,887348

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

Çizelge 3.18'e göre; ANC açık (aktif) ve 28,4° sağa kaydırılmış faz derecelerinde iken hesaplanan Regresyon denklemleri anlamlı düzeydedir (p=0,038). Buna göre;

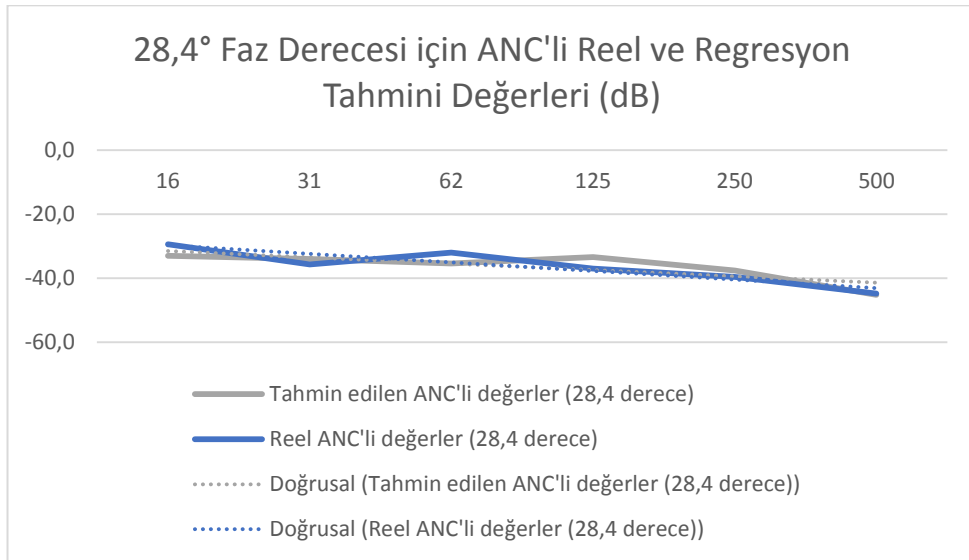
ANC 28,4° faz derecesinde açık (aktif) iken incelenen her frekans için reel gürültü (dB) değerlerinden regresyon tahmin değerleri aşağıdaki (Denklem 3.2) regresyon denklemleri vasıtasıyla Çizelge 3.19'daki gibi hesaplanarak bulunmaktadır:

$$\text{ANC açık (28,3°) iken gürültü büyüklüğü (dB)} = -27,4147 + 0,465216 * \text{ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB)} \quad (3.2)$$

**Çizelge 3.19:** ANC'li (28,4°) değerlerin ANC'siz değerler kullanarak tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

Frekans (Hz)	ANC'siz Reel	Gürültü Büyüklüğü (dB) (ANC'li 28,4° faz derecesi için)		
		Regresyon Denklemi	Regresyon Tahmin Sonucu	Reel Değer
16	-12,0	$-27,4147 + 0,465216 * (-12,0) =$	-33,0	-29,4
31	-14,2	$-27,4147 + 0,465216 * (-14,2) =$	-34,0	-35,7
62	-17,2	$-27,4147 + 0,465216 * (-17,2) =$	-35,4	-32,0
125	-12,8	$-27,4147 + 0,465216 * (-12,8) =$	-33,4	-37,0
250	-21,8	$-27,4147 + 0,465216 * (-21,8) =$	-37,6	-39,6
500	-38,1	$-27,4147 + 0,465216 * (-38,1) =$	-45,1	-44,8
		<b>Toplam</b>	-218,5	-218,5

Regresyon analizinin temel mantığı gereğince, incelenen her frekans için ANC'siz değerler yardımıyla hesaplanan ANC'li (28,4°) değerlerin toplamı, reel ANC'li (28,4°) değerlerin toplamına eşit olmaktadır. 28,4° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması Şekil 3.12'de daha rahat görülebilmektedir.



**Şekil 3.12:** 28,4° faz derecesi için ANC'li reel ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması

**Çizelge 3.20:** ANC açık (**28,5°**) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>						
Çoklu R	0,647784					
R Kare	0,419624					
Ayarlı R Kare	0,27453					
Standart Hata	5,387088					
Gözlem	6					

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılı k F</i>
Regresyon	1	83,93047	83,93047	2,892088	0,164
Fark	4	116,0829	29,02072		
Toplam	5	200,0133			

	<i>Katsayıla r</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-29,4224	5,216477	-5,64028	<b>0,005**</b>	-43,9057	-14,9391
ANC kapalı (dB)	0,415724	0,244455	1,700614	0,164	-0,26299	1,09444

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

Çizelge 3.20'ye göre; ANC aktif ve 28,5° faz derecesindeyken kesişim katsayısı anlamlı düzeyde olsa da (p<0,01), regresyon modelinin anlamlılık değeri 0,05'den yüksek olduğu için (Anlamlılık F>0,05) Regresyon Denklemi de istatistiksel olarak anlamlı sayılmamaktadır (Çizelge 3.20).

**Çizelge 3.21:** ANC açık (**28,6°**) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>						
Çoklu R	0,65554					
R Kare	0,429733					
Ayarlı R Kare	0,287166					
Standart Hata	4,207268					
Gözlem	6					

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	53,35559	53,35559	3,014252	0,158
Fark	4	70,80441	17,7011		
Toplam	5	124,16			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-31,3862	4,074022	-7,70398	<b>0,002**</b>	-42,6975	-20,0749
ANC kapalı (dB)	0,331463	0,190917	1,73616	0,158	-0,19861	0,861534

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

Çizelge 3.21'e göre; ANC aktif ve 28,6° faz derecesindeyken kesişim katsayısı anlamlı düzeyde olsa da ( $p < 0,01$ ), regresyon modelinin anlamlılık değeri 0,05'den yüksek olduğu için (Anlamlılık  $F > 0,05$ ) Regresyon Denklemi de istatistiksel olarak anlamlı sayılmamaktadır (Çizelge 3.21).

**Çizelge 3.22:** ANC açık (28,7°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,585954
R Kare	0,343342
Ayarlı R Kare	0,179177
Standart Hata	5,187366
Gözlem	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	56,27828	56,27828	2,091448	0,222
Fark	4	107,6351	26,90876		
Toplam	5	163,9133			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-31,5462	5,02308	-6,28025	<b>0,003**</b>	-45,4925	-17,5999
ANC kapalı (dB)	0,34042	0,235392	1,446184	0,222	-0,31313	0,993974

\*:  $p < 0,05$     \*\*:  $p < 0,01$

Çizelge 3.22'ye göre; ANC aktif ve 28,7° faz derecesindeyken kesişim katsayısı anlamlı düzeyde olsa da ( $p < 0,01$ ), regresyon modelinin anlamlılık değeri 0,05'den yüksek olduğu için (Anlamlılık  $F > 0,05$ ) Regresyon Denklemi de istatistiksel olarak anlamlı sayılmamaktadır (Çizelge 3.22).

**Çizelge 3.23:** ANC açık (28,8°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,580507
R Kare	0,336989
Ayarlı R Kare	0,171236
Standart Hata	5,428222
Gözlem	6

**Çizelge 3.3: Devamı**

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	59,90594	59,90594	2,033081	0,227
Fark	4	117,8624	29,4656		
Toplam	5	177,7683			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-30,9205	5,256309	-5,88256	<b>0,004**</b>	-45,5144	-16,3267
ANC kapalı (dB)	0,351221	0,246322	1,425861	0,227	-0,33268	1,035119

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01

Çizelge 3.23'e göre; ANC aktif ve 28,8° faz derecesindeyken kesişim katsayısı anlamlı düzeyde olsa da (p<0,01), regresyon modelinin anlamlılık değeri 0,05'den yüksek olduğu için (Anlamlılık F>0,05) Regresyon Denklemi de istatistiksel olarak anlamlı sayılmamaktadır (Çizelge 3.23).

**Çizelge 3.24: ANC açık (28,9°) iken gürültü büyüklüğünün (dB) ANC kapalı iken gürültü büyüklüğü (dB) yardımıyla tahmin edilmesi (Regresyon Analizi)**

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,689204
R Kare	0,475002
Ayarlı R Kare	0,343753
Standart Hata	4,809511
Gözlem	6

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	83,71443	83,71443	3,619083	0,130
Fark	4	92,52557	23,13139		
Toplam	5	176,24			

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>
Kesişim	-29,5661	4,657192	-6,34848	<b>0,003**</b>	-42,4965	-16,6357
ANC kapalı (dB)	0,415188	0,218246	1,902389	0,130	-0,19076	1,021136

\*: p<0,05    \*\*: p<0,01



(aktif) iken hesaplanan Regresyon denklemleri istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $p>0,05$ ).

Dolayısıyla incelenen frekansların tamamı için ANC'li en düşük toplam ve ortalama gürültü elde edilen  $28,3-28,9^\circ$  faz aralığı içinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) bir regresyon denklemi tahmin edilebilen  $28,3^\circ$  ve  $28,4^\circ$  faz dereceleri bulunmaktadır. Bunlar arasından en düşük toplam ve ortalama gürültü veren ANC'li faz derecesinin  $28,3^\circ$  olması nedeniyle, ANC'siz değerlerden ANC'li değerlerin tahmin edilmesinde Denklem 3.1'deki regresyon denkleminin kullanılması uygun olacaktır:

ANC konusunda FIR Filtre yönteminin kullanılması yeni ve/veya bilinmeyen bir yöntem değildir. Ancak literatürdeki birçok çalışmada (Bai ve diğ., 2019; Chen ve diğ., 2017; Ratnam ve Ramaiah, 2013; Venkata ve diğ., 2018) bu filtreleme yöntemi hazırlanan elektronik devreler ile analog veya dijital olarak gerçekleştirilmektedir. Araştırmamızda ise kullanılan basit bir eklenti programı ile basitçe ve görmek suretiyle FIR filtre işlemi gerçekleştirilmiştir. Yani bu araştırma, maksimum gürültü düşürme sağlayabilmede FIR filtrenin bir yazılım yardımıyla uygulanmış olması yönüyle literatüre katkıda bulunmaktadır.

Literatürdeki ANC çalışmaları çoğunlukla (Bai ve diğ., 2019; Chen ve diğ., 2017; Ratnam ve Ramaiah, 2013; Venkata ve diğ., 2018; Zeng ve Callafon, 2003) normal ANC prensibinin ileri besleme, geri besleme veya ikisinin senteziyle kullanıldığı çalışmalardır. Bu çalışmada ise kanal içerisindeki gürültü sesi referans mikrofonuyla alınarak ve işlenerek ileri bir noktadan kanalın içerisine verilmekte, yani önceki sinyalle ileri beslenmektedir. Bu yönüyle araştırmamız ANC yönteminin literatürde bu konuda yapılan çalışmaların çoğundan farklı bir yaklaşımla uygulanması ancak daha doğru ve net ses sinyali ölçülmesi ve işlenmesi yönleriyle literatüre katkıda bulunmaktadır.

Havalandırma kanal gürültüleri üzerinde yapılmış olan sınırlı sayıdaki akademik ANC çalışmalarında, havalandırma kanalı olarak genellikle ahşap (Bai ve diğ., 2019; Ratnam ve Ramaiah, 2013; Venkata ve diğ., 2018) veya PVC (Chen ve diğ., 2017) konstrüksiyon kullanıldığı ve bu durumun gerek konstrüksiyon kalınlığı gerekse pratikte yaygın kullanıma yeterince uygun olmaması sebebiyle yetersiz olduğu düşünülmektedir. Boru içerisine yerleştirilmiş fan kullanılan çalışmalar olsa da PVC

(Chen ve diğ., 2017) veya farklı konstrüksiyonlar (Zeng ve Callafon, 2003) kullandıkları görülmüştür. Dolayısıyla araştırmamızda, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, gerçek kullanıma uygun olması açısından, günümüz havalandırma sistemlerinde yaygın olarak tercih edilen galvaniz sacdan üretilmiş gerçek havalandırma kanalı kullanılması, literatürdeki bu eksikliği gidermektedir.

Literatürde yer alan çalışmaların tamamına yakınında (Bai ve diğ., 2019; Chen ve diğ., 2017; Ratnam ve Ramaiah, 2013), önceden kaydedilmiş farklı frekanslardaki sesler hoparlör vasıtasıyla havalandırma kanalı içerisine bir ucundan gönderilmiş diğer ucundan ölçülmüştür. Ayrıca ters gürültüyü kanala vermek için kullanılan hoparlörler ya sıradan özellikteki hoparlörlerdir veya hoparlörlere ilişkin teknik bilgi verilmemiştir. Havalandırma sistemlerinde gürültü kaynağı olarak hoparlör tarafından kanal içerisine önceden kaydedilmiş fan gürültü sesi veriliyor olması sebebiyle, bu gibi durumlarda elde edilen sonuçların hatalı olacağı düşünülmektedir (Mingsian ve diğ., 2006). Buna karşılık araştırmamızda kalibre edilmiş, stüdyolarda kullanılan yüksek düzeyde ses doğruluğuna sahip referans monitör kullanılmıştır. Yani ortama verilmiş olunan tüm sesler frekans analizinde da tamamen aynıdır. Literatürdeki diğer araştırmalarda (Bai ve diğ., 2019; Venkata ve diğ., 2018) kullanılan sıradan hoparlörlerin Hi-Fi özelliği nedeniyle ortama daha şişirilmiş yani daha abartılı sesler vermiş olması muhtemeldir ki bu da ANC'deki gürültü düşürme başarısını azaltmaktadır. Yine, araştırmamızda fan motorunun yaratmış olduğu hava basıncı sonucu oluşan gerçek gürültünün ve kanal konstrüksiyonu üzerinde yarattığı rezonans ile birlikte total gürültünün testleri yapılmıştır. Test mikrofonu, literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi doğrudan kanal çıkışına değil kanal çıkışında 35cm yukarıda konumlandırılmıştır. Çünkü mikrofonun doğrudan kanal çıkışına konulması durumunda kanaldan gelen hava basıncı mikrofonda ses patlamalarına yol açmaktadır. Dolayısıyla 35cm yukarıda konumlandırma ile bu olumsuzluğun önüne geçilebilmektedir. Bu bakımdan araştırmamızda, literatürdeki çalışmalardan (Ratnam ve Ramaiah, 2013) farklı olarak, gerçek kullanıma uygun olması açısından gürültü kaynağı olarak da gerçek fan motoru kullanılması, test mikrofonunun tam olarak kanal çıkışına değil de biraz daha yukarıda konumlandırılarak kullanılması literatürdeki bu eksikliği gidermekle birlikte gerek galvaniz kanal kullanılması gerekse gürültü kaynağı olarak da gerçek fan motoru kullanılmasının, havalandırma sistemindeki bas karakterli gürültünün Aktif Gürültü Kontrolü yöntemiyle 16-500Hz

arasında incelenen tüm frekanslarda 25-35° arasında faz kaydırma ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) azaltılabildiğini göstermiştir. Özellikle, gerçek fan gürültüsünün havalandırma kanalı içerisinde ölçümü yapılırken, hava akımı ve fan motorunun kanal konstrüksiyon malzemesi üzerinde yaratmış olduğu etki ile birlikte değerlendirilmesinin gürültü azaltmada doğru ve etkili sonuçlar almak açısından oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda (Bai ve diğ., 2019; Chen ve diğ., 2017; Ratnam ve Ramaiah, 2013; Venkata ve diğ., 2018) genelde daha dar response aralığına sahip mems ve condenser mikrofonlar kullanıldığı görülmüştür. Bu durum ANC başarısını olumsuz etkilemektedir. Çünkü alınan sinyal doğru olmadığında işlenerek tekrar ortama verilen sinyal de doğru olmamakta, bu durumda gürültü azaltma başarısı azalmaktadır. Bu araştırmada ise insan kulağının duyabileceği tüm frekans bandını (20Hz-20kHz) kapsayan response aralığına sahip 48V Cardioid mikrofonlar kullanılmıştır. Bu sayede 16-500Hz arasında incelenen tüm frekanslarda 28,7° sağa faz kaydırma ile ortalama 18,7 dB anlamlı düzeyde ( $p<0,01$ ) gürültü azaltımı sağlanabilmesinin yanı sıra bu gürültü azaltma miktarının 125hz'de 29,7 dB gibi en yüksek başarıya ulaştığı gözlemlenmiştir. Dineen ve diğ. (1996) mikrofonlar ve hoparlörlerin kullanıldığı ANC sistemi ile 63, 125 ve 250 Hz frekanslarda 20dB'e kadar, 31 Hz'de ise 10dB'e kadar gürültü azaltımı sağlanabildiğini göstermişlerdir ki araştırmamızda ANC yöntemiyle 28,7° faz derecesinde elde edilen 62, 125 ve 250 Hz frekanslarda 29,7 dB'e kadar, 31 Hz'de ise 20,2dB'e kadarki gürültü azaltım büyüklüğü (dB) değerlerinden daha düşüktür. Bai ve diğ'nin (2019) ahşap bir havalandırma kanalında iki kanallı ileri beslemeli ANC sistemini FXLMS algoritması ile kullandıkları araştırmalarında 100–3000 Hz frekans aralığında 5–20 dB arası gürültü azaltımı sağlanabilmiş olup araştırmamızda elde edilen değerlerden (5,1-29,7 dB) daha düşüktür. Bu farklılık, Bai ve diğ'nin (2019) araştırmasında ahşap konstrüksiyon kullanılmasından, gürültü sesinin gerçek fan motorundan alınması yerine hoparlör vasıtasıyla havalandırma kanalı içerisine verilmesinden, mikrofonun doğrudan kanal çıkışına yerleştirilmesinden, sıradan hoparlörler kullanılmasından, Cardioid mikrofonların kullanılmamasından ve ANC sisteminin farklı algoritma (FXLMS algoritması) ile kullanılmasından kaynaklanmış olabilir. Ratnam ve Ramaiah'ın (2013) bir havalandırma kanalında bilgisayar destekli olarak sağlanan periyodik gürültüyü ileri beslemeli ANC yönteminde FXLMS algoritması kullanarak

azaltmaya çalıştıkları araştırmalarında ANC sistemiyle 63hz-1Khz arasındaki frekanslarda gürültünün 5-45 dB arasında azaltılabildiği gösterilmiştir. Bizim araştırmamızda ise 16-500Hz arasındaki frekanslarda 28,7° sağa faz kaydırma ile 5,1-29,7 dB aralığında değişen gürültü azaltımı sağlanabilmiş olup bu yönüyle Ratnam ve Ramaiah'ın (2013) araştırmasında elde edilen maksimum değerin altındadır. Diğer yandan araştırmamızda, elde edilen gürültü azaltımının 16-500Hz frekans aralığında ortalama 18,7 dB büyüklükle anlamlı düzeyde ( $p<0,01$ ) olduğu saptanmışken Ratnam ve Ramaiah'ın (2013) araştırmasında anlamlılık analizi yapılmadığından elde edilen anlamlı düzeydeki gürültü azaltma başarisının karşılaştırılabilmesi mümkün olamamaktadır. Chen ve diğer.'nin (2017) aktif gürültü kontrol (ANC) teknikleri kullanarak havalandırma kanal gürültüsünü azaltmaya çalıştıkları araştırmalarında ANC sistemiyle 20dB'e kadar gürültü azaltımı sağlanabilmiş olup araştırmamızda elde edilen maksimum gürültü azaltımı değerinden (29,7 dB) daha düşüktür. Bu farklılık Chen ve diğer.'nin (2017) çalışmasında ANC başarisını olumsuz etkileyen daha dar response aralığına sahip mems mikrofonlar ve de ahşap konstrüksüyon kullanılmasından kaynaklanabilir. Venkata ve diğer.'nin (2018) bir havalandırma fanı tarafından üretilen tonal (periyodik) gürültüyü ve geniş bant gürültüsünü azaltmak için elektronik devreler şeklinde geliştirilen taşınabilir analog aktif gürültü kontrol sistemi kullandıkları çalışmalarında 63-1000hz arası frekanslarda 2,9-15,2 dB aralığında değişen bir gürültü azaltımı sağlanmış olup en yüksek gürültü azaltımının 125 Hz'de gerçekleştiği tespit edilmiştir. Araştırmamızda da en yüksek gürültü azaltımı 125 Hz'de gerçekleşmiş olup Venkata ve diğer.'nin (2018) çalışmalarında elde edilen bulguyla desteklenmektedir. Ancak araştırmamızda elde edilen gürültü azaltımı (5,1-29,7 dB) Venkata ve diğer.'nin (2018) çalışmasındaki değerlerin yaklaşık iki katı daha başarılıdır. Bu farklılık Venkata ve diğer.'nin (2018) çalışmasında sıradan hoparlörler kullanılmasından, ahşap konstrüksüyon, eklenti programsız normal ANC prensibi ve elektronik devreli analog sistem kullanılmasından kaynaklanmış olabilir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gürültü desibel grafikleri ve frekans analizleri, aynı zamanda kulakla tespit edilen reel sonuçlar ile birlikte, galvaniz havalandırma kanallarında bas karakterli gürültü ve uğultu sesinin, Sound Edit ve eklenti programlarının yardımıyla gerçekleştirilen Aktif Gürültü Kontrolü yöntemiyle 16-500Hz arasında incelenen tüm frekanslarda 25-35° arasında değişen faz kaydırma ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) 9,9-18,7 dB kadar azaltılabildiği; yine 16-500Hz arasında incelenen tüm frekanslarda **28,7° sağa faz kaydırma ile ortalama 18,7 dB anlamlı düzeyde ( $p<0,01$ ) gürültü azaltımı sağlanabildiği** gözlemlenmiştir. İncelenen tüm frekanslarda ortalama ve toplamda en yüksek gürültü azaltımı sağlanan ANC'li **28,7° sağa faz kaydırma ile 5,1-29,7 dB aralığında değişen gürültü azaltımı** (16 hz'de 18,0 dB, 31hz'de 20,2 dB, 62 hz'de 17,9 dB, 125 hz'de 29,7 dB, 250 hz'de 21,8 dB ve 500 hz'de 5,1 dB) **sağlanabilmektedir**. Dolayısıyla araştırmamızda **gürültü azaltma miktarının 28,7° sağa faz kaydırma ile 125hz'de 29,7 dB gibi en yüksek başarıya ulaştığı** gözlemlenmiştir.

Bu deneysel çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, gerçek kullanıma uygun olması açısından, günümüz havalandırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan galvaniz kanal ve gürültü kaynağı olarak da gerçek fan motoru kullanılmıştır. Çalışmanın önemli farklarından bir diğeri de ANC sisteminin, farklı amaçlar için üretilen yazılım programlar tarafından havalandırma kanalı içinde fan gürültüsünün faz ayarının dijital ve kademeli olarak ayarlanabiliyor olmasıdır. Bu şekilde farklı ölçülerdeki havalandırma kanallarına da rahatlıkla uygulanabileceği düşünülmektedir.

Daha geniş donanım desteği ve teknik yatırım ile tek bir bilgisayar sistemi ile birden çok havalandırma kanalı üzerinde ANC sisteminin mümkün olabileceği, bu sistemin ileriki aşamalarda yapay zekâ için uygun hale getirilebileceği, bu sayede bu araştırmada maksimum gürültü azaltımı için tek bir havalandırma sistemi için istatistiksel analizlerle anlamlı düzeyde tespit edilerek manuel ayarlanan faz kaydırma derecesinin yapay zekâlı algoritma tarafından çoklu havalandırma

sistemleri için anında tespit edilerek uygulanmasının mümkün olabileceği düşünölmektedir.



## KAYNAKLAR

- Ahmed, SF, Azim, CF & Memon, AR** 2011, Minimization of the excessive noise for broad-band active noise feed-forward control system, *International Journal of Academic Research*.
- Akhtar, MT, Abe, M & Kawamata, M** 2007, 'Noise power scheduling in active noise control systems with online secondary path modeling', *IEICE Electronics Express*, vol. 4, no. 2, pp. 66–71.
- Alexopoulos EC** 2010, Introduction to Multivariate Regression Analysis. *Hippokratia* vol. 14, no. Suppl 1, pp. 23–28.
- Araújo Alves, J, Neto Paiva, F, Torres Silva, L & Remoaldo, P** 2020, 'Low-Frequency Noise and Its Main Effects on Human Health - A Review of the Literature between 2016 and 2019', *Applied Sciences*, vol. 10, no. 15, p.5205.
- Ataş, A, Şahin, E, Belgin, E & Aktürk, N** 1995, 'Effects of Industrial Noise on Hearing Thresholds', *5th. Ergonomics Congress*, İstanbul.
- Bai, MR, Chen, H, Yang, L & Huang, S** 2019, *Active Control Of Noise In A Duct Using The Sparsely Coded Time-Domain Underdetermined Multichannel Inverse Filter*, Department of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University, 101, Section 2, Kuang-Fu Road, Hsinchu 30013
- Bayrak, H & Akgül, F** 2013, Effect of Coefficients of Regression Model on Performance Prediction Curves. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)* vol. 5, no. 1, pp. 32-39.
- Barron, RF** 2003, *Industrial Noise Control and Acoustic*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Bilir, N** 2003, *İş Sağlığı ve Güvenliği Temel Bilgiler*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Basım Evi.
- Boultifat, CNE** 2019, 'Contrôle acoustique actif du bruit dans une cavité fermée', PhD thesis, L'université Bretagne Loire, France.
- Brüel & Kjaer** 1998, *Basic Frequency Analysis of Sound*, BA 7660-06. Denmark: Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S,.
- Bugliarello, G, Alexandre, A, Barnes, J & Wakstein, C** 1976, *The Impact of Noise Pollution*, New York: Pergamon Press.
- Cha, S-G, Troshin, AG & Kim D-H** 2011, 'Active Noise Control Barrier for Acoustic Hardware System Design', *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 60 no. 12, pp. 2368-2373.
- Chen, K-C, Chang, C-Y & Kuo, SM** 2017, 'Active noise control in a duct to cancel broadband noise'. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237, 012015.

- Çınar, İ** 2005, 'Madencilikte Gürültü Analizi, Modellenmesi ve Haritalanması', Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Çırpan, M** 2016, 'Risk Değerlendirmesi; Bir Üniversite Uygulaması', Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.
- ÇYGM, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.** Alındığı tarih: 13 Mart 2021,
- Dawson, GF** 2018, Chapter 11 - The Probability Connection. In *Easy Interpretation of Biostatistics* (pp. 97-106), Alındığı tarih: 22.09.2021,
- Demir, S** 2012, 'Kahramanmaraş İli Mobilya Üretim Tesislerindeki Gürültü Düzeyi', Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Dineen, SH, Gelin, LJ & Wise, S** 1996, Noise Control in Buildings Without Exposed Fiberglass, *Canadian Acoustics*, vol. 24, no. 3, p. 8.
- Elbistanlıoğlu, B** 1988, Gürültü Etkileri ve Alınması Gereken Önlemler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, cilt 29, sayı 346, ss. 33-36.
- Fişne, A** 2008, 'Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarında Gürültü Koşullarının İncelenmesi, Etkilenme Düzeylerinin İstatistiksel Analizi ve Risk Değerlendirmesi', Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ganguli, SK & Guha Deb, S** 2021, Board composition, ownership structure and firm performance: New Indian evidence, *Int J Discl Gov* no. 18, pp. 256–268
- Güler, Ç & Çobanoğlu, Z** 1994, 'Gürültü'. *Çevre Sağlığı Temel Dizisi*, Ankara, 19, s. 25.
- Hansen, CH** 2001, 'Fundamentals of Acoustics, in Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control' (Goelzer, B., Hansen, C.H., Sehrndt, G.A., Eds.) *Publication Series from the Federal Institute for Occupational Safety and Health*, Document published on behalf of the World Health Organization-Dortmund, Berlin. pp. 23-52.
- HİSAM İş sağlığı ve güvenliği meslek hastalıkları uygulama ve araştırma merkezi.** Alındığı tarih: 18.03.2021,
- Karaltı, A** 2017, 'İstanbul'daki İki Özel Tıbbi Laboratuvar Çalışanlarının Biyolojik Risk Etmenlerine Karşı Algı Düzeylerinin Belirlenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kavraz, M** 2006, 'Mekarlarda Gürültü Kaynağı ile Alıcı Arasına Yerleştirilen Engellerle Gürültü Kontrolü Üzerine Bir Çalışma', Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Koç, C** 1997, 'İşyerinde Gürültü', Uluslararası Çalışma Örgütü, Ankara.
- Köstekçi, F & Taşgetiren, S** 1995, Gürültü Kirliliğinin Önlenmesi Açısından Aktif Kontrol, *Ekoloji Çevre Dergisi*, ss. 16-17.
- Limb, MJ** 1997, 'Ventilation and Accoustics - An Annotated Bibliography', *AIVC*.

- Lin, JH, Tang, ST, Han, WR, Chuang, CY, Liu, PT & Young, ST** 2006, 'Evaluation of Speech Intelligibility for Feedback Adaptive Active Noise Cancellation Headset', *Intl. Conf. on Biomedical and Pharmaceutical Engineering*.
- Liu, C-S, Young, L-H, Yu, T-Y, Bao, B-Y & Chang, T-Y** 2016, Occupational Noise Frequencies and the Incidence of Hypertension in a Retrospective Cohort Study, *American Journal of Epidemiology*, vol. 184, no. 2, pp. 120–128.
- Madhu** 2020, T-Test (Statistical methods). In MLIS semester II (paper – 201) Research Methodology Topic, Guest Faculty, Dept. of library & Information Science, Patna University. Alındığı tarih: 22.09.2021,
- Maraş, EE** 2016, 'İmar Planlarının Hazırlanmasında Karayolu Trafik Gürültüsünün Etkileri', I. *Uluslararası Şehir Çevre ve Sağlık Kongresi*, Kıbrıs.
- Narang, N., Sharma, NK & Vig, R** 2013, 'Active Noise Control Using Intrinsic Mode Function Technique', *5th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*.
- Öktem, R** 2017, *İş sağlığı ve güvenliği ders notları*, Alındığı tarih: 22 Mart 2021,
- Pan, J, Paurobally, R & Qiu, X** 2015, 'Active noise control in workplaces', *Acoustics Australia*, pp. 1-6.
- Pedersen, CS, Møller, H & Waye, KP** 2008, A Detailed Study of Low-Frequency Noise Complaints. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol. 27, no. 1, pp. 1–33.
- Sabuncu, H** 1998, 'Fiziksel Etkilere Bağlı Meslek Hastalıkları', İşyeri Hekimliği Ders Notları, Ankara: Türk Tabipler Birliği Yayını, ss. 207-226.
- Schust, M** 2004, 'Effects of low frequency noise up to 100 Hz', *Noise Health*, vol. 6, no. 23, pp. 73-85.
- Stephen AS & Mark PM** 2003, 'Noise Pollution: Non-Auditory Effects on Health', *British Medical Bulletin*, 68.
- Streeter, AD, Ray, LR & Collier, RD** 2004, 'Hybrid Feedforward-Feedback Active Noise Control', *Proceeding of the 2004 American Control Conference*.
- Szumski K & Pawelczyk M** 2016, Vibration Measurements For Active Noise Control In A HVAC System With A Passive Absorbers, *Solid State Phenomena Submitted: 2015-12-05 ISSN: 1662-9779*, vol. 248, pp. 49-56, Switzerland: Trans Tech Publications.
- Şahin, E** 2003, 'Noise Control Techniques - A Case Study', *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*
- Trinity College Dublin** 2016, Descriptive Statistics I, *The University of Dublin*, Alındığı tarih: 22.09.2021,
- Vatansever, Ç** 2014, 'Risk Değerlendirmede Yeni Bir Boyut, Psikososyal Tehlike ve Riskler', *Çalışma ve Toplum Dergisi*, ss. 117-138.
- Venkata RT & Seetha Ramaiah, P** 2018, 'Development of Active Noise Control (ANC) System for an Acoustic Duct', *Visakhapatnam-India: Vibration*

Studies Division Naval Science & Technological Laboratory, DRDO,  
Ministry of Defence.

**Walker, ED, Brammer, A, Cherniack, MG, Laden, F & Cavallari, JM** 2016, 'Cardiovascular and stress responses to short-term noise exposures - A panel study in healthy males', *Environmental Research*, vol. 150, pp. 391–397.

**Zeng, J & Callafon, RD** 2003, 'Feedforward noise cancellation in an airduct using generalized FIR filter estimation', *42nd IEEE International Conference on Decision and Control* (IEEE Cat. No.03CH37475), pp. 6392-6397.



## ÖZGEÇMİŞ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2001, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2017, İstanbul Gedik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Üretim Müdürü (2019) – Good Night Kid
- İSG Uzmanı (2018) – İGA (İstanbul 3. Hava Limanı Şantiyesi)
- İSG Uzmanı (2017) – İstanbul Gedik Üniversitesi
- İSG Uzmanı (2016) – Muratex Textile Machinery. Ltd.Co.
- Müşteri İlişkileri Direktörü (2014) – Taxi Creative Solutions
- Sound Engineer (2006) – Jinglebank

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Özkan T., Yağımlı M., 2020. Aktif Gürültü Kontrolü (ANC) Sisteminde Gürültü ile Ters Gürültü Arasındaki Mesafenin Sistem Başarısına Etkisi, *ISITES2020 (8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science)*, October 23-25, 2020 Bursa, Turkey.