

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUZDOLAPLARINDA SES GÜCÜ DÜZEYİNİN AZALTILMASI
VE SES KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur AKAYDIN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustiği Programı

EKİM 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BUZDOLAPLARINDA SES GÜCÜ DÜZEYİNİN AZALTILMASI
VE SES KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur AKAYDIN
(503101401)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustiği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Temel BELEK

EKİM 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503101401 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Onur AKAYDIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BUZDOLAPLARINDA SES GÜCÜ DÜZEYİNİN AZALTILMASI VE SES KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. H. Temel BELEK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Haluk EROL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. A. Rüstem ASLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Eylül 2013**
Savunma Tarihi : **03 Ekim 2013**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, tecrübelerinden faydalandığım tez danışmanım İ.T.Ü. Makina Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. H. Temel BELEK'e teşekkürü borç bilirim. Çalışmaya verdikleri destek için İ.T.Ü. Makina Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Ahmet ARISOY'a, İNDESİT A.Ş. Ar-Ge Departmanı Mühendisi Necati BİLGİN'e, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Titreşim ve Akustik Laboratuvarı çalışanlarına, OTAM A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim. Tüm çalışma boyunca desteğini esirgemeyen İ.T.Ü Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi Hasan KÖRÜK'e, okul ve meslek arkadaşım Murat ALPARSLAN'a ve Pro-Plan Ltd. Şti. ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2013

Onur Akaydın
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Yöntem ve Aşamalar	6
2. GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM SEVİYELERİNİN AZALTILMASI.....	9
2.1 Titreşim Seviyelerinin Azaltılması.....	9
2.1.1 Amaç.....	9
2.1.2 Test edilen numuneler ve ölçüm düzeneği	10
2.1.3 Ölçüm sonuçları	12
2.1.3.1 NM1 için ölçüm sonuçları.....	12
2.1.3.2 NM2 için ölçüm sonuçları.....	17
2.1.3.3 NM3 için ölçüm sonuçları.....	22
2.1.3.4 NM4 için ölçüm sonuçları.....	27
2.1.4 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması	32
2.2 Alt Komponentler Üzerinde Yapılan Ölçümler	37
2.2.1 Frekans tepki fonksiyonlarının ölçümü	37
2.2.1.1 NM4'e ait kompresör-şasi grubu	37
2.2.1.2 Şasi.....	42
2.2.1.3 Kompresör üst kabuğu	43
2.2.1.4 Kompresör dış kabuğu için sönüm malzemesi seçimi	48
2.2.2 Çalışma koşullarındaki tepkilerin ölçümü	50
2.2.2.1 NM2 ve NM3'e ait fan grubunun tepkisi	50
2.2.2.2 NM4'e ait fan grubu	54
2.3 Ses Gücü ve Ses Şiddeti Ölçümleri	57
2.3.1 Kapsam	57
2.3.2 Ölçüm düzeneği.....	59
2.3.3 Ölçüm sonuçları	60
2.3.3.1 NM1'e ait sonuçlar	60
2.3.3.2 NM2'ye ait sonuçlar	64
2.3.3.3 NM3'e ait sonuçlar	69
2.3.3.4 NM4'e ait sonuçlar	74
2.3.4 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırması	80
2.3.4.1 Ses basıncına dayalı ses gücü seviyelerinin karşılaştırması.....	80
2.3.4.2 Ses şiddetine dayalı ses gücü seviyelerinin karşılaştırması	81

2.3.4.3 Buzdolaplarının farklı yüzeylerinin ses gücüne katkısı.....	83
2.4 Gürültü ve Titreşim Ölçümlerine Dayalı Sonuçlar	83
3. SES KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	87
3.1 Ses Kalitesi Ölçümleri.....	88
3.1.1 Test edilen buzdolapları ve ölçüm düzeneği	88
3.1.2 Ses kayıtlarının hazırlanması.....	90
3.1.2.1 Ses kayıtlarının metrik hesaplaması için hazırlanması.....	90
3.1.2.2 SQ4 ses kaydının özel olarak düzenlenmesi.....	91
3.2 Metrikler	96
3.2.1 Zwicker gürlüğü.....	97
3.2.2 Keskinlik.....	98
3.2.3 Kabalık	99
3.2.4 Dalgalanma şiddeti.....	100
3.2.5 Ton-gürültü oranı	100
3.2.6 Belirginlik oranı	100
3.3 Çalışmada Kullanılacak Metriklerin Belirlenmesi	100
3.4 Nesnel Test #1 Sonuçları.....	102
3.4.1 Başlangıç fazı ses kalitesi metrikleri.....	102
3.4.2 Kararlı faz ses kalitesi metrikleri	103
3.4.3 Duruş fazı ses kalitesi metrikleri.....	103
3.5 Öznel Testler.....	104
3.5.1 Öznel testlerin hazırlık aşaması	104
3.5.1.1 Test kayıtlarının hazırlık aşaması.....	104
3.5.1.2 Test ortamıyla ilgili sağlanması gereken koşullar	105
3.5.1.3 Juriyi oluşturacak tüketici profilinin belirlenme kriterleri.....	105
3.5.1.4 Juri testi için kullanılacak olan test yönteminin belirlenmesi.....	105
3.5.2 Öznel testlerin yapılması ve değerlendirilmesi.....	106
3.5.2.1 Öznel testler sırasında kullanılan ses kayıtları.....	106
3.5.2.2 Anlamsal farklılaştırma testinin uygulanması	108
3.5.2.3 Zorlanmış seçim testinin uygulanması	110
3.5.3 Öznel testler için ön hazırlık.....	110
3.5.4 Öznel testlerin sonuçları.....	113
3.5.4.1 Ana bileşenler analizi	115
3.5.5 Nesnel ve öznel verilerin ilişkilendirilmesi	120
3.6 Nesnel Test #2	123
3.7 Ses Kalitesine Dayalı Sonuçlar	123
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR.....	131
EKLER	135
ÖZGEÇMİŞ.....	149

KISALTMALAR

ABA	: Ana Bileşenler Analizi
CFD	: Computational Fluid Dynamics
FFT	: Fast Fourier Transform
FRF	: Frequency Response Function
HATS	: Head and Torso Simulator
HRTF	: Head Related Transfer Function
PCA	: Principal Components Analysis
RE	: Rahatsız Edicilik
SK	: Ses Kalitesi
SPL	: Sound Pressure Level
SQ	: Sound Quality

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Buzdolaplarına ait teknik özellikler.	11
Çizelge 2.2: Sensör etiket ve pozisyonları.	12
Çizelge 2.3: Ölçümde kullanılan ekipmanlar.	12
Çizelge 2.4: Toplam seviye analizöründe kullanılan parametreler.	12
Çizelge 2.5: FFT analizöründe kullanılan parametreler.	12
Çizelge 2.6: NM1 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri. ...	13
Çizelge 2.7: NM2 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri. ...	19
Çizelge 2.8: NM3 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri. ...	24
Çizelge 2.9: NM4 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri. ...	28
Çizelge 2.10: Ölçüm ekipmanı.	38
Çizelge 2.11: Ölçüm parametreleri.	38
Çizelge 2.12: Doğal frekanslar ve modal sönüm faktörleri.	41
Çizelge 2.13: Ölçüm parametreleri.	42
Çizelge 2.14: Şasiye ait ilk dört doğal frekans ve modal sönüm faktörleri.	43
Çizelge 2.15: Ölçüm parametreleri.	43
Çizelge 2.16: Kompresör üst kabuğunun ilk dört doğal frekansı ve modal sönüm faktörü.	44
Çizelge 2.17: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda elde edilen ilk altı doğal frekans ve modal sönüm faktörleri.	46
Çizelge 2.18: Üst kabuğa yerleştirilen A, B, C ve D sönüm elemanlarına ait sönüm oranları.	49
Çizelge 2.19: Ses basıncı ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.	59
Çizelge 2.20: Ses şiddeti ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.	60
Çizelge 2.21: NM1 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	61
Çizelge 2.22: NM2 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	65
Çizelge 2.23: NM3 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	70
Çizelge 2.24: NM4 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	75
Çizelge 2.25: Numunelerin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses basıncı metodu ile).	80
Çizelge 2.26: Ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).	81
Çizelge 2.27: Numunelerin arka yüzeylerinin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması.	82
Çizelge 2.28: Farklı yüzeylerin ses güçleri.	83
Çizelge 3.1: Ölçümler için kullanılan donanım.	90
Çizelge 3.2: Kararlı faza ait ses kayıtlarının ses kalitesi metrikleri.	101
Çizelge 3.3: Hesaplanan metriklerin korelasyon matrisi.	101
Çizelge 3.4: Başlangıç fazlarına ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1). ...	102
Çizelge 3.5: Kararlı fazlara ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).	103
Çizelge 3.6: Duruş fazlarına ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).	103
Çizelge 3.7: Anlamsal fark testinde kullanılması düşünülen sıfat çiftleri.	108

Çizelge 3.8: Kararlı Faz için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları (ilk 12 katılımcının verileri ile).	111
Çizelge 3.9: Buzdolabı kararlı faz için zorlanmış seçim testi sonuçları (ilk 12 katılımcının verileri ile).	111
Çizelge 3.10: Anlamsal fark testinde kullanılan sıfat çiftleri (sadeleştirilmiş).	113
Çizelge 3.11: Başlangıç Fazı için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.	114
Çizelge 3.12: Kararlı Faz için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.	114
Çizelge 3.13: Duruş Fazı için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.	114
Çizelge 3.14: Buzdolabı kararlı faz için zorlanmış seçim testi sonuçları (ortalama değerler).	115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Bir buzdolabının darbant gürültü frekans spektrumu.	6
Şekil 2.1: Çalışmanın birinci aşamasında kullanılan numuneler.	10
Şekil 2.2: Ölçüm eksen ve yönleri.....	11
Şekil 2.3: Sensör etiket ve pozisyonları: Şasi-kompresör grubu (solda), panel grubu (sağda).	11
Şekil 2.4: NM1 için sensör etiket ve konumları.....	13
Şekil 2.5: NM1'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.....	14
Şekil 2.6: NM1 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.	14
Şekil 2.7: NM1 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	15
Şekil 2.8: NM1 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala.....	15
Şekil 2.9: NM1 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	16
Şekil 2.10: NM1 için P2 (arka mikrofön) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).	17
Şekil 2.11: NM1 için P2 (arka mikrofön) frekans spektrumu (dBA).	17
Şekil 2.12: NM2 için sensör etiket ve konumları.....	18
Şekil 2.13: NM2'ye ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.....	18
Şekil 2.14: NM2 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.	19
Şekil 2.15: NM2 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).....	20
Şekil 2.16: NM2 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala.	20
Şekil 2.17: NM2 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	21
Şekil 2.18: NM2 için P2 (arka mikrofön) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).	22
Şekil 2.19: NM2 için P2 (arka mikrofön) frekans spektrumu (dBA).	22
Şekil 2.20: NM3 için sensör etiket ve konumları.....	23
Şekil 2.21: NM3'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.....	23
Şekil 2.22: NM3 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.	24
Şekil 2.23: NM3 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).....	25
Şekil 2.24: NM3 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).....	25
Şekil 2.25: NM3 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).....	26
Şekil 2.26: NM3 için P2 (arka mikrofön) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).	26

Şekil 2.27: NM3 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA).	27
Şekil 2.28: NM4 için sensör etiket ve konumları.	27
Şekil 2.29: NM4'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.	28
Şekil 2.30: NM4 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.	29
Şekil 2.31: NM4 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	29
Şekil 2.32: NM4 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	30
Şekil 2.33: NM4 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).	30
Şekil 2.34: NM4 için fanın açık ve kapalı durumlarında P2 (arka mikrofon) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).	31
Şekil 2.35: NM4 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA), fan AÇIK konumdayken.	31
Şekil 2.36: NM4 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA), fan KAPALI konumdayken.	32
Şekil 2.37: NM4 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumları (dBA), fanın açık ve kapalı durumlarının karşılaştırması.	32
Şekil 2.38: Toplam titreşim ivme seviyeleri karşılaştırma grafiği.	33
Şekil 2.39: Toplam titreşim hız seviyeleri karşılaştırma grafiği.	33
Şekil 2.40: Kompresör ayaklarındaki titreşim geçirgenliklerinin karşılaştırma grafiği (titreşim ivmeleri ve hızları üzerinden).	33
Şekil 2.41: Ses gücü seviyeleri (Lw) – Titreşim seviyeleri karşılaştırması: titreşim ivmesine göre (solda), titreşim hızına göre (sağda).	34
Şekil 2.42: A1 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	34
Şekil 2.43: A2 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	34
Şekil 2.44: A3 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	35
Şekil 2.45: A4 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	35
Şekil 2.46: A5 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	35
Şekil 2.47: A6 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	36
Şekil 2.48: A7 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	36
Şekil 2.49: A8 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.	36
Şekil 2.50: Buzdolaplarının önünde ve arkasında ölçülmüş toplam ses basınç seviyelerinin karşılaştırma grafiği.	37
Şekil 2.51: NM4 kompresör şasi grubunun FRF ölçümüne ait bir görüntü.	37
Şekil 2.52: Kompresör-şasi grubu FRF ölçüm noktaları ve ölçüm eksenleri.	38
Şekil 2.53: FRF ölçümünün tekrarlanabilirliği üzerine bir örnek.	38
Şekil 2.54: Yapı üzerinde ölçülen FRF'ler.	39
Şekil 2.55: Yapıya ait düşük frekanslardaki frekans cevap fonksiyonları.	39
Şekil 2.56: Kompresör X yönünde tahrik edildiğinde X yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.	40

Şekil 2.57: Kompresör Y yönünde tahrik edildiğinde Y yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.....	40
Şekil 2.58: Kompresör Z yönünde tahrik edildiğinde Z yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.....	40
Şekil 2.59: İlk beş moda ait mod şekilleri.	41
Şekil 2.60: Şasi üzerinde FRF ölçümüne ait bir fotoğraf.	42
Şekil 2.61: Şasiden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.	42
Şekil 2.62: Kompresör üst kabuğu FRF ölçüm düzeneği.	43
Şekil 2.63: Kompresör üst kabuğunda elde edilen frekans cevap fonksiyonları.	44
Şekil 2.64: Kompresör üst kabuğunda ses basıncı üzerinden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.	44
Şekil 2.65: Visko-elastik bir sönümleyici malzeme ile kaplanmış kompresör üst kabuğu.	45
Şekil 2.66: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda elde edilen frekans cevap fonksiyonları.	45
Şekil 2.67: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda ses basınçları üzerinden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.	45
Şekil 2.68: Sönümlü/sönümsüz durumlarda elde edilen FRF'lerin karşılaştırılması, logaritmik skala (üstte), lineer skala (altta).	46
Şekil 2.69: Sönümlü/sönümsüz durumlarda ses basınçları üzerinden elde edilen FRF'lerin karşılaştırılması, logaritmik skala (üstte), lineer skala (altta).	47
Şekil 2.70: Titreşimden elde edilen FRF (A/F) ile ses basıncından elde edilen FRF (P/F)'in ilk dört moddaki büyüklüklerinin karşılaştırması.	47
Şekil 2.71: Sönüm malzemeleri (solda) and üst kabuktaki sönüm elemanı yamaları (sağda).	48
Şekil 2.72: Deney düzeneği.	48
Şekil 2.73: Line-Fit metoduna ilişkin tipik bir analiz prosedürü.	49
Şekil 2.74: Ölçüm düzeneği.	50
Şekil 2.75: Titreşim sinyalinde elde edilen FRF'ler.	51
Şekil 2.76: Ses basınç sinyallerinden elde edilen FRF'ler.	51
Şekil 2.77: Fan grubunun gürültüsü ile geriplan gürültüsünün frekans spektrumu.	51
Şekil 2.78: Yerinden söküldükten sonra sanki yerindeymiş gibi temassız tutturulmuş şekilde çalıştırılan fan.	52
Şekil 2.79: Sabitlenmiş ve temassız tutturulmuş fanlara ait SPL frekans spektrumları karşılaştırması.	53
Şekil 2.80: Sabitlenmiş ve temassız tutturulmuş fanlara ait titreşim frekans spektrumları karşılaştırması.	53
Şekil 2.81: NM4 fan grubu için ölçüm düzeneği.	54
Şekil 2.82: Titreşim sinyalinde elde edilen FRF'ler.	55
Şekil 2.83: Ses basınç sinyallerinden elde edilen FRF'ler.	55
Şekil 2.84: Fan grubunun gürültüsü ile geriplan gürültüsünün frekans spektrumu.	55
Şekil 2.85: NM4 fan grubuna ait titreşim frekans spektrumu.	56
Şekil 2.86: Fan grubu gürültüsü ile yalnızca fanın gürültülerinin frekans spektrumları.	56
Şekil 2.87: Bir yansıtıcı yüzey ile yapılan ölçüme ait ölçüm yüzeyi ve mikrofon pozisyonları.	58
Şekil 2.88: Ölçüm ortamına ait genel bir görünüş.	59

Şekil 2.89: NM1'in önden, yandan ve arkadan görünüşü.	60
Şekil 2.90: NM1 kompresör bölgesinin görünüşü.	60
Şekil 2.91: NM1 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.	61
Şekil 2.92: NM1 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	62
Şekil 2.93: NM1 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.	62
Şekil 2.94: NM1 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.	63
Şekil 2.95: NM1 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).	63
Şekil 2.96: NM1 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz bandı (solda), 800 Hz bandı (sağda).	63
Şekil 2.97: NM2'nin önden, yandan ve arkadan görünüşü.	64
Şekil 2.98: NM2 kompresör bölgesinin görünüşü.	64
Şekil 2.99: NM2 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.	65
Şekil 2.100: NM2 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	66
Şekil 2.101: NM2 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.	66
Şekil 2.102: NM2 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.	67
Şekil 2.103: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).	67
Şekil 2.104: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 160 Hz (solda), 500 Hz (sağda).	68
Şekil 2.105: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz (solda), 800 Hz (sağda).	68
Şekil 2.106: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (1 kHz).	68
Şekil 2.107: NM3'ün önden, yandan ve arkadan görünüşü.	69
Şekil 2.108: NM3 kompresör bölgesinin görünüşü.	69
Şekil 2.109: NM3 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.	69
Şekil 2.110: NM3 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	70
Şekil 2.111: NM3 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.	71
Şekil 2.112: NM3 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.	71
Şekil 2.113: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).	72
Şekil 2.114: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 500 Hz (solda), 630 Hz (sağda).	72
Şekil 2.115: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 800 Hz (solda), 1 kHz (sağda).	72
Şekil 2.116: NM3 Arka yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Arka yüzey ses gücü: 42,5 dBA).	73
Şekil 2.117: NM3 Sağ yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sağ yüzey ses gücü: 40,9 dBA).	73
Şekil 2.118: NM3 Sol yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sol yüzey ses gücü: 39,6 dBA)	73
Şekil 2.119: NM3 Ön yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Ön yüzey ses gücü: 39,0 dBA).	74
Şekil 2.120: NM4'ün önden, yandan ve arkadan görünüşü.	74
Şekil 2.121: NM4 kompresör bölgesinin görünüşü.	74
Şekil 2.122: NM4 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.	75
Şekil 2.123: NM4 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.	76
Şekil 2.124: NM4 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.	76
Şekil 2.125: NM4 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.	77

Şekil 2.126: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).....	77
Şekil 2.127: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 400 Hz (solda), 500 Hz (sağda).....	78
Şekil 2.128: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz (solda), 800 Hz (sağda).....	78
Şekil 2.129: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 1 kHz (solda), 1.25 kHz (sağda).....	78
Şekil 2.130: NM4 Arka yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Arka yüzey ses gücü: 44,2 dBA).	79
Şekil 2.131: NM4 Ön yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Ön yüzey ses gücü: 40,4 dBA).	79
Şekil 2.132: NM4 Sol yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sol yüzey ses gücü: 39,0 dBA).	79
Şekil 2.133: Numunelerin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses basıncı metodu ile).	80
Şekil 2.134: Ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).....	81
Şekil 2.135: Numunelerin arka yüzeylerinin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).	82
Şekil 2.136: Farklı yüzeylerin toplam ses gücüne katkısı: NM2 (solda), NM3 (ortada), NM4 (sağda).	83
Şekil 3.1: Numunelerin önden görünüşü (sırasıyla SQ1, SQ2, SQ3, SQ4 ve SQ5).	88
Şekil 3.2: Kayıt alanından bir görünüm.	89
Şekil 3.3: Yükleme elemanları.	89
Şekil 3.4: Ses kayıtlarının ses metrikleri hesaplaması için hazırlanması.	91
Şekil 3.5: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #1.	92
Şekil 3.6: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #2.	92
Şekil 3.7: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #3.	93
Şekil 3.8: SQ4 Kararlı faz sesi düzenlemesi #1.	93
Şekil 3.9: SQ4 Kararlı faz sesi düzenlemesi #2.	94
Şekil 3.10: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #1.	94
Şekil 3.11: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #2.	95
Şekil 3.12: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #3.	95
Şekil 3.13: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #4.	96
Şekil 3.14: Eş-gürlük eğrileri.	97
Şekil 3.15: 8.5 barkta darbant gürültünün (a) frekans spektrumu, (b) frekans maskelemesiyle birlikte frekans spektrumu, (c) Zwicker gürlük spektrumu.	98
Şekil 3.16: Üç farklı örnek gürültü profili.	99
Şekil 3.17: Örnek gürültü profillerinin keskinlik ağırlıklandırılmalı durumları.	99
Şekil 3.18: HATS kullanılması durumunda Gerçek Durum / Dinletme Durumu karşılaştırması.	107
Şekil 3.19: Kulaklık Düzeltme Fonksiyonu.	107
Şekil 3.20: Anlamsal fark testi için örnek bir test föyü.	109
Şekil 3.21: Zorlanmış seçim testi için hazırlanan föy.	110
Şekil 3.22: Kararlı çalışma evresindeki buzdolabı seslerine ait sıfat korelasyon matrisi.	112
Şekil 3.23: Buzdolabının kararlı çalışma evresi için tercih miktarı (Anlamsal fark / Zorlanmış seçim).	113
Şekil 3.24: Öznel test verilerinin, başlangıç fazına ait ana bileşenlerdeki konumu.	115

Şekil 3.25: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (1). .	116
Şekil 3.26: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (2). .	117
Şekil 3.27: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (3). .	117
Şekil 3.28: Öznel test verilerinin, duruş fazına ait ana bileşenlerdeki konumu (1).	118
Şekil 3.29: Öznel test verilerinin, duruş fazına ait ana bileşenlerdeki konumu (1).	119
Şekil 3.30: Kararlı çalışma evresindeki seslere ait metriklerin kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu.	119
Şekil 3.31: Başlangıç fazı için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması	121
Şekil 3.32: Kararlı faz için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması.	122
Şekil 3.33: Duruş fazı için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması.	122
Şekil B.1: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].	144
Şekil B.2: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].	144
Şekil B.3: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].	145
Şekil B.4: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].	145
Şekil B.5: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].	145
Şekil B.6: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].	146
Şekil B.7: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].	146
Şekil B.8: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].	146
Şekil B.9: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].	147
Şekil B.10: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].	147
Şekil B.11: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].	147
Şekil B.12: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].	148

BUZDOLAPLARINDA SES GÜCÜ DÜZEYİNİN AZALTILMASI VE SES KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bir yandan insanların yaşam standartlarının giderek artması, diğer yandan da yaşam alanlarının da giderek küçülmesi; beyaz eşya pazarında "gürültü" faktörünü önemli bir kriter haline getirmiştir. Günümüzde her evde bulunan beyaz eşyalardan olan buzdolapları bu anlamda özel bir öneme sahiptir. Sürekli olarak kullanılan buzdolapları günün 24 saatinde her an çalışabilmektedir. Bu nedenle bu makinelerin akustik ve titreşim özellikleri yaşam kalitesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle gece saatlerinde ortam sessizleştğinde, buzdolabının çıkardığı gürültü oldukça rahatsız edici olabilmektedir. Diğer yandan, Avrupa Birliği'nin ve çeşitli yerel yönetimlerin makinelerin ses gücü üzerine yayımladığı yönetmelik ve direktifler bu ürünlerin çıkarabileceği gürültünün seviyelerini sınırlandırmaktadır. Tüm bu gelişmeler beyaz eşya üreticilerini, ürünlerinin gürültüsü üzerine Ar-Ge çalışmaları yapmaya zorlamaktadır.

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; farklı marka ve modeldeki çeşitli buzdolapları ve onların alt bileşenleri üzerinde çok sayıda titreşim ve ses ölçümleri yapılmış, belirli buzdolaplarının akustik ve titreşim seviyelerinin azaltılması için çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümler uygulandıktan sonra yapılan iyileştirmelerin verimliliği değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada ise; buzdolaplarının üzerinde "Ses Kalitesi" çalışması yapılmıştır. Buzdolaplarının çalışması sırasında çıkardığı sesler kaydedilmiş ve bu seslere ait çeşitli ses kalitesi metrikleri hesaplanmıştır. Ardından bu ses kayıtları, buzdolaplarının müşteri profilini temsil eden bir jüriye dinletilmiş ve ses kayıtlarına ilişkin çeşitli (uğultulu, vızıltılı, metalik, yumuşak vb. gibi) sıfatlara ilişkin sorular yöneltilmiştir. Öznel olan bu jüri testlerinin sonuçları ile, hesaplanan metriklere ait nesnel sonuçlar "Çok Boyutlu Regresyon Analizi" ile değerlendirilerek uygun bir korelasyon modeli oluşturulmuştur. Hem öznel hem de nesnel test verileri üzerinde Ana Bileşenler Analizi uygulanmış ve buzdolaplarında ses kalitesini etkileyen ana bileşenler tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sırasında elde edilen bulgular ışığında, belirli bir buzdolabı üzerinde çeşitli tasarım değişiklikleri uygulanarak yeni bir prototip imal edilmesi ve bu prototip üzerinde nesnel testlerin tekrarlanması suretiyle yapılan çalışmanın verimliliğinin irdelenmesi hedeflenmiştir.

REDUCING SOUND POWER LEVELS AND IMPROVING SOUND QUALITY OF REFRIGERATORS

SUMMARY

Vibration and acoustic behavior of domestic appliances are becoming increasingly more important as these commodities are linked with the quality of life and customer satisfaction. Furthermore, noise and vibration levels perceived by the consumer are frequently recognized as a measure of overall quality of domestic appliances. Consequently, reduction of noise and vibration levels along with the improvement of thermal efficiency of refrigerators, has become one of the a main tasks in the design stage.

This study includes two major phases. In the first phase, a benchmarking study on the refrigerator noises is conducted through a large number of vibration and acoustics measurements on the refrigerators and on their substructures. Some solutions are then applied to decrease vibration and noise levels of certain refrigerators. The measurements made on the refrigerators can be classified into four major groups:

- i. Vibration measurements are performed on all the samples on the similar locations in order to identify the main sources and the propagation paths of vibration and the system resonances. Overall vibration levels during the operating conditions are also obtained for benchmarking purposes.
- ii. Frequency Response Functions (FRFs) are measured on the support structure of the compressor system with real and modified boundary conditions in order to determine the natural frequencies, mode shapes and damping properties of the structure.
- iii. Noise contribution due to structure borne vibrations is investigated by sound pressure and vibration acceleration measurements with and without modified boundary conditions. Correlation between the vibration and sound pressure signals are investigated.
- iv. Sound power measurements on the refrigerators are made in a semi-anechoic chamber. Also intensity maps of refrigerators are generated in the semi-anechoic room and the modified laboratory environment for identification of noise sources.

In the second phase, Sound Quality analyses are performed on refrigerators. At first, sounds of the refrigerators are recorded during operating conditions. In order to obtain proper sound recordings both for sound quality analysis and playback, some frequency response functions like Head Related Transfer Function (HRTF) and Equalizer Function are obtained and applied on these recordings. By using a proper software packages, certain sound quality metrics are calculated over these recordings. Next, the sound recordings are listened by a jury who represents the

customer profile of refrigerators and a questionnaire study is made by asking them for ranking some properties of these sounds (e.g. humming, buzzing, metallic, soft, etc.). All of these adjectives are considered as candidates for a subsequent and expanded questionnaire. Some unnecessary adjectives are eliminated from the questionnaire by evaluating the correlation matrix of the pre-questionnaire results. After this point, these simplified subjective tests are applied on more participants. Both the results of these subjective tests and the results of “objective” sound quality metrics are subjected to Principal Components Analysis (PCA) in order to define the main parameters which affects sound quality of refrigerators. Then a correlation model between subjective and objective measurements generated by applying a Multi Regression Analysis. Finally, some design changes are applied on a certain sample and the objective tests are repeated on this refrigerator in order to evaluate the efficiency of the study.

As results of this study, the following design modifications and recommendations are made to improve acoustic and vibration performance refrigerators.

- Interaction of the fans with the refrigerator structure should be modified, flexible couplings should be utilized.
- Quieter fans with better aeroacoustic fan blade design should be chosen.
- As the fan noise is roughly proportional to the 5th power of the fan speed; 10 % reduction of fan speed will result in 2 dB noise reduction and 20 % reduction of fan speed will result in 5 dB noise reduction
- Compressor vibration isolation should be improved by using softer isolators to reduce vibration transmission to the support structure.
- The pads used to connect the compressor to the frame uses a locking mechanism which “short-circuit” the pad, resulting in poor isolation. Additional pads must be fitted under the locking bolt heads.
- Viscoelastic damper layers should be used to reduce vibration levels on flat surfaces.
- Rear compressor housing opening should be covered with an absorbing barrier to reduce sound emitted from the compressor compartment.
- Constrained layer damping which is more rugged and generally more effective should be employed on the upper shell of the compressor.
- Evaporator inlet piping should be modified, with a smaller diameter of approximately 3.5 mm recommended, to prevent two phase flow occurrence.
- Vertical piping should be avoided wherever possible around the evaporator inlet.
- It is recommended to develop vibro-acoustic quality assessment procedures for OEM products such as compressors and fans.

- A test stand should be developed to define acceptable sound and vibration limits for OEM products.
- It is recommended not to rigidly couple vibration generating sources to hollow structures as it causes structural and acoustical amplification of noise.
- Compressor casing material should be chosen such that the internal damping is high.
- Compressor should not be mounted at the mid-span of the support plate where the resulting system stiffness is lowest.
- Load carrying wheel supports should be shifted towards the side planes as close as possible in order to make full use of in-plane rigidity of side planes.
- Plastic water reservoirs on the compressor can be re-designed in such a way that they can be used as a damping layer hence playing a dual function.
- Even multiple number of fan blades should be avoided on fans to avoid modulation effects

1. GİRİŞ

Bu çalışma başlıca iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; farklı marka ve modeldeki çeşitli buzdolapları ve onların alt bileşenleri üzerinde çok sayıda titreşim ve ses ölçümleri yapılmış, belirli buzdolaplarının akustik ve titreşim seviyelerinin azaltılması için çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümler uygulandıktan sonra yapılan iyileştirmelerin verimliliği değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada ise; buzdolaplarının üzerinde Ses Kalitesi çalışması yapılmıştır. Buzdolaplarının çalışması sırasında çıkardığı sesler kaydedilmiş ve bu seslere ait çeşitli ses kalitesi metrikleri hesaplanmıştır. Ardından bu ses kayıtları, buzdolaplarının müşteri profilini temsil eden bir jüriye dinletilmiş ve ses kayıtlarına ilişkin çeşitli (uğultulu, vızıltılı, metalik, yumuşak vb. gibi) sıfatlara ilişkin sorular yöneltilmiştir. Hem jüri puanlamaları (öznel veriler) hem de hesaplanan metrikler (nesnel veriler) üzerinde Ana Bileşenler Analizi (ABA) uygulanmış ve buzdolaplarında ses kalitesini etkileyen ana bileşenler tespit edilmeye çalışılmıştır. Jüri testi sonuçları ile metrik değerleri arasında Çok Boyutlu Regresyon Analizi yöntemiyle uygun bir korelasyon modeli oluşturulmuştur. Ses kalitesi çalışması sırasında elde edilen bulgular ışığında, belirli buzdolapları üzerinde çeşitli tasarım değişiklikleri uygulanacak ve yeni numuneler üzerinde nesnel testlerin tekrarlanması suretiyle yapılan çalışmanın verimliliği irdelenecektir.

1.1 Tezin Amacı

Çalışmanın ana hedefleri aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışma esnasında buzdolaplarının titreşim seviyelerinin belirlenmesi
- Buzdolaplarının ses gücünün belirlenmesi
- Buzdolaplarının gürültü haritalarının oluşturulması
- Buzdolaplarının akustik ve titreşim performanslarının kıyaslanması
- Buzdolaplarının ses kalitesinin hem nesnel hem de öznel olarak kıyaslanması

- Belirli buzdolapları üzerinde daha iyi akustik ve titreşim performansı elde edebilmek için uygulanması gereken yapısal değişikliklerin belirlenmesi
- Belirlenen yapısal değişiklikler uygulandıktan sonra, kritik olan testler tekrarlanarak çalışmanın verimliliğinin değerlendirilmesi

1.2 Literatür Araştırması

Diğer beyaz eşyalara göre, buzdolapları günün her saati aralıklı olarak çalıştığı için kullanıldığı ortamın arka plan gürültüsüne bağlı olarak kullanıcıyı rahatsız eden seviyelerde, yani gürültü olarak algılanabilecek sesler oluşturabilmektedir. Ayrıca gün geçtikçe yaşam alanlarının giderek sessizleşmesi, buzdolabı seçiminde ses gücünün yanısıra ses kalitesinin de önemli bir kriter haline gelmesine neden olmuştur. Buzdolaplarında gürültü seviyesinin azaltılması ve ses kalitesinin artırılması konularında yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Jeon ve Ryu [1] yaptıkları çalışmada Kore’de yaşayan 500 apartman sakininin katılımı ile buzdolaplarındaki gürültünün rahatsız edici etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, katılımcıların 52%’sinin buzdolabı gürültüsünden şikayetçi olduğunu, 20%’sinin bu gürültülerden rahatsız olduğunu göstermiştir. 25 dBA seviyesindeki geriplan gürültüsüne sahip bir ev ortamında; eğer buzdolabı gürültüsü 30 dBA seviyesinde ise katılımcıların 70%’i bundan memnun kalırken, gürültü seviyesi 26 dBA’ya düştüğünde memnuniyet oranı 90%’a çıkmıştır. Gürültünün duyulduğu noktada ses basınç seviyesi 30 dBA olduğunda, beklenen ses gücü seviyesinin 35-40 dBA olduğu belirtilmiştir.

Lee ve diğ. [2] yaptıkları çalışmada buzdolabı seslerini farklı deneylerle analiz etmişlerdir. Bu deneylerde buzdolabı seslerinin insanlar tarafından nasıl algılandığına dair öznel testler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma için iki tane ev tipi buzdolabı seçilerek ev ortamında ve tam sessiz odada ses kayıtları yapılmıştır. Buzdolabının farklı yanlarından alınan ölçümler buzdolaplarında ana ses kaynağının kompresör olduğunu göstermiştir. Böylelikle kompresörün çalışmaya başladığı andan itibaren ölçüm kayıtları alınarak buzdolabındaki sesler çeşitli evrelere ayrılmıştır. Bu evrelerde sırasıyla kompresörün çalışmaya başlaması sırasındaki sesler, buzdolabının kararlı çalışması sırasındaki sesler ve kompresörün durduğu anda ortaya çıkan

seslerdir. Bu evrelerdeki sesler ayrı ayrı olarak öznel teste tabi tutulmuş ve analiz edilmiştir.

Lee ve diğ. [2] bu çalışmalarında, tipik bir buzdolabında oluşan seslerin frekans karakterine bakıldığında bu seslerin en fazla kompresör gürültüsünden ve hava dolaşımını sağlayan fan tarafından oluşturulduğunu belirtmektedir. Düşük frekanslarda tonal harmoniklerin yarattığı etki baskınken, yüksek frekanslarda ise hermetik kompresörün kabuğundan yayılan gürültü daha baskın olarak görülmektedir. İlk grup olarak ortaya çıkan sesler buzdolabının başladığı sırada kararsız haldeki çalışmasından ötürü ortaya çıkan gürültüyü kapsamaktadır. İkinci grup gürültü ise kararlı çalışma halindeki durumda ortaya çıkmaktadır. Üçüncü grupta yer alan buzdolabı sesleri soğutucu akışkanın akış sesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışma durumları için gürültü azaltma ya da optimize etme teknikleri farklı olarak değerlendirilmelidir. Çünkü bu durumlardaki gürültünün seviyesi ve frekans içeriği farklı olduğu için, kullanıcı tarafından farklı bir şekilde algılanabilir.

Bütün bu durumlar hesaba katıldığında, salt gürültü seviyesinin düşürülmesi tüketiciyi rahatsız eden gürültü etkisinin ortadan kaldırılması için yeterli değildir. Karşımıza çıkan önemli bir faktör de sesin kalitesidir ve buzdolabının akustik özelliklerinin iyileştirilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Jeon ve You [3] yaptıkları çalışmada buzdolabı seslerinin evreler halinde rahatsız ediciliği hakkında yapılan şikayetlerle ilgili bir değerlendirme yaparak buzdolabının kararlı haldeki çalışması sırasındaki seslerin insanları daha çok rahatsız ettiğini ortaya koymuşlardır. Seoul kentinde bir apartman dairesinde yapılan çalışmada 38 dBA üzerindeki buzdolabı seslerinin çalışmaya katılan kişilerin %50'sinden daha fazlasını rahatsız ettiğini belirtmişlerdir. Ses metrikleri olarak gürülük (loudness), keskinlik (sharpness), dalgalanma şiddeti (fluctuation strength), kabalık (roughness) ve sivrilik (prominence ratio) hesaplamaya katılmıştır. Semantik ayrıştırma testine tabi tutulan seslerle beraber sesin rahatsız ediciliği sesin gürülüğü ile bir uyum göstermektedir. Buna ek olarak sesin keskinliği ve gürülüğü ile uyum gösteren bir diğer etkeni ise sesin insanda yarattığı duygusal etkilerdir. Sesin gürültücülüğü açısından yapılan öznel test ile elde edilen metriklerin çoklu regresyon analizi ile elde edilen sonuçlarda sesin kalitesine etki eden özellikler sesin gürülüğü ve

dalgalanması dikkate alınarak %95'in üzerindeki bir güvenilirlikle tahmin edilebilmektedir.

Kang ve diğ. [4] yaptıkları çalışmada buzdolaplarında memnuniyetsizliğin sadece ses basınç seviyelerinin düşürülerek giderilemeyeceğini raporlamaktadır. Tüketiciler yapılan juri testleri sonucunda buzdolaplarında kararsız bir şekilde dalgalanan sesin kararlı durumda çalışırken çıkardığı sesle karşılaştırıldığında daha rahatsız edici olduğunu belirtmişlerdir. Juri testleri kararsız buzdolabı seslerinin karakteristiklerini sağlayan frekans, taban seviyesi, tepe seviyesi ve geçici darbe süresi gibi etmenleri göz önünde bulundurularak zahiri buzdolabı sesleri oluşturarak dinletilmesiyle yapılmıştır. Öznel test sonuçları istatistiksel analiz yoluyla değerlendirilip, ses kalitesi indeksi oluşturulmuştur. Buzdolaplarında kararsız ve dalgalanan karakteristiğe sahip gürültü için ses kalitesi indeksi sayısal bir analiz işlemi kullanılarak ses kalitesi indeksi geliştirilmiştir. Bu indeks tüketicinin buzdolabı sesi üzerindeki memnuniyet oranını temsil etmektedir. Gürültü şikayetinden kaynaklı teknik servis ziyaretlerinin oranının yıllık olarak tüketicinin gürültüden dolayı psikolojik olarak etkilendiği durumların araştırılmasıyla tahmin etmeye çalışılmıştır. Yapılan bu tahminin doğruluk oranı da %83 çıkmıştır. Ses kalitesinin, bu indeks kullanılmak suretiyle ürün geliştirme aşamalarında analiz edilerek geliştirilebildiği görülmüştür.

Kim ve diğ. [5] de yaptıkları çalışmada ses basınç seviyelerinin düşürülmesinin müşteri memnuniyetinin tatmin edilebilmesi için yeterli bir iyileştirme olmadığını ve günümüzde yapılması gerekli olan çalışmaların ekseninin az da olsa ses kalitesini iyileştirmekle alakalı olacağını belirtmiştir. Yazarlar ses kalitesi indeksinin hesaplanmasında kararsız olan impulsif etkideki başlangıç seslerinin ve kararlı olan stabil çalışma koşullarındaki kompresör seslerinin etkisinin yapay zeka ağları (ANN, Artificial Neural Network) yöntemini kullanarak incelemiştir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda aşağıdaki formülü ortaya çıkarmışlardır.

$$\text{Ses Kalitesi indeksi} = 0.4 \times \text{Başlangıç Fazı SK indeksi} + 0.6 \times \text{Çalışma Fazı SK indeksi} \quad (1.1)$$

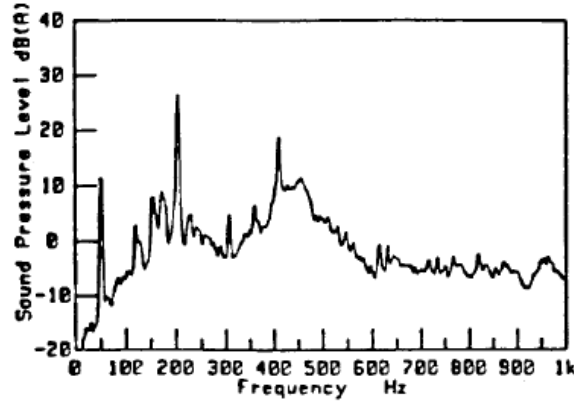
Sato ve diğ. [6] yaptıkları çalışmada buzdolabının çalışma evrelerini başlangıç ve stasyonier olmak üzere iki ana grupta toplayarak 24 farklı buzdolabından elde ettikleri sesleri öznel ve nesnel test yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Yazarlar kurulan

korelasyon modelini kullanarak ses kalitesindeki en önemli metriklerin başlangıç aşamasında gürlük ve dalgalanma, stasyonier aşamada ise gürülüğün yanısıra dalgalanmanın yerine sesin kabalığının bir önemi olduğuna işaret etmişlerdir. Yazarlar %65 oranında memnuniyet oranı başlangıç ses seviyesinin buzdolabının 1 metre uzağında 38 dBA 'nın altında olması ile sağlandığının yaptıkları öznel testlerle ortaya koymuşlardır.

Kim ve diğ. [7] buzdolaplarının soğutucu fan, kompresör fanı ve kondenser fanı gibi gürültü kaynaklarını incelemiştir. Özellikle üst sınıf buzdolaplarında; akış debisi yüksek, küçük boyutta ve düşük gürültülü fanların kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında bu amaçla; akış alanını ve akış gürültüsünü nümerik olarak analiz etmiş ve ölçülen veriler ile karşılaştırmışlardır. Akış alanı, 3 boyutlu CFD çözücü – *SC/Tetra* ile çözülmüş; gürültü kaynağı ve aeroakustik gürültü Flownoise yazılımı ile analiz edilmiştir. Baskın olan gürültü kaynaklarını kontrol altında tutmak suretiyle düşük gürültülü yeni bir eksenel fan geliştirmişlerdir.

Birçok araştırmacı fanlarda en baskın gürültü kaynağının, fan kanatlarından ve girişlerden geçen hava akımının kanatlarda yarattığı kuvvetlerdeki dalgalanma olduğunu belirtmektedir.

Takushima ve diğ. [8] buzdolaplarında fan kanat geçiş gürültüsü üzerine çalışma yapmışlardır. İnceledikleri 4 kanatlı eksenel tipte bir evaporatör fanında, laser doppler hız ölçer ile akış incelenmiş ve akışın simetrik olmadığı gözlemlenmiştir. Kanat geçiş gürültüsünün bu asimetrik akıştan kaynaklandığı üzerine tahmin ve saptamalarda bulunulmuş, daha sonra bu asimetrinin ortadan kaldırılması için tasarım önerilerinde bulunulmuştur. Önerilerin uygulanması noktasında zorluklar olduğu için tasarım bu yönde değiştirilmemiştir. Ses şiddeti yöntemiyle ana ses kaynağını incelemeleri sonucunda, gürültünün daha çok fanın ön panelindeki boşluklardan geçtiğini gözlemlenmiştir. Bu boşluklardan evaporatör ile bağlantılı olan evaporatöre doğru yönlendirecek bir kılavuz tasarlayarak, neredeyse aynı akış debisi ile birlikte gürültü seviyesinde 3 dB(A) düşüş sağlamışlardır. Çalışmalarında 3000 d/dk. ile dönen fanın 50 Hz (devir frekansı), 200 Hz (kanat geçiş frekansı) ve 400 Hz'teki harmoniği ile 500 Hz geniş tepe gürültüsü Şekil 1.1 ile görülmektedir.



Şekil 1.1: Bir buzdolabının darbant gürültü frekans spektrumu.

1.3 Yöntem ve Aşamalar

Çalışma kapsamında uygulanan işlemler şu şekilde özetlenmiştir:

- Her dört buzdolabı üzerinde benzer konumlarda olacak şekilde titreşim ölçümleri yapılmış ve titreşimin iletim patikaları ile kritik rezonans durumları belirlenmiştir. Buzdolaplarının kıyaslanması amacı ile, toplam titreşim seviyeleri karşılaştırılmıştır.
- Buzdolaplarının bazı alt parçaları üzerinde, hem buzdolabına monte edilmiş durumda hem de çıkarılmış durumda Frekans Cevap Fonksiyonları (FRF) ölçülmüş; bu parçaların doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları belirlenmiştir.
- Yapısal kaynaklı titreşimlerin gürültüye katkısı incelenmiş, titreşim ve ses basınç sinyalleri arasındaki ilişki araştırılmıştır.
- Yarı yankısız test odasında buzdolaplarının ses gücü ölçülmüştür.
- Ses şiddeti probu yardımıyla buzdolaplarından yayılan gürültünün haritası çıkarılmıştır.
- Kafa ve gövde simülatörü (HATS) yardımı ile buzdolaplarına ait ses kayıtları alınmış ve bu seslere ait ses kalitesi metrikleri hesaplanmıştır.
- Alınan ses kayıtları uygun şekilde oluşturulan bir jüriye dinletilerek, seslere ait belli başlı özellikleri puanlandırmaları istenmiştir.

- Jürinin verdiği puanlar üzerinde ABA uygulanarak ses kalitesini etkileyen faktörler ana bileşenlerine ayrılmıştır. Böylelikle hangi tip seslerin ses kalitesini hangi yönde etkilediği üzerine çıkarımlar yapılmış, test edilen buzdolaplarının bu bileşenler üzerindeki konumu belirlenmiştir.
- Jürinin verdiği puanlar ile, ses kayıtlarından hesaplanan metrikler arasında korelasyon modeli kurulmuştur.

2. GÜRÜLTÜ VE TİTREŞİM SEVİYELERİNİN AZALTILMASI

Buzdolapları üzerinde gürültü ve titreşim seviyelerinin azaltılması ile ilgili çalışmalar bu bölümde ele alınmıştır.

2.1 Titreşim Seviyelerinin Azaltılması

Titreşim kaynaklı gürültülerin seviyesinin azaltılabilmesi amacıyla uygulanan çeşitli ölçüm ve analizler bu bölümde yer almaktadır.

2.1.1 Amaç

Titreşim ölçümleri dört adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hem ana titreşim nedenlerini hem de titreşimin iletim patikalarını ve yapısal rezonansları belirleyebilmek amacıyla, her dört numunenin benzer konumlarından titreşim ölçümleri alınmıştır. Numunelerin karşılaştırılabilmesi açısından, toplam titreşim seviyeleri kıyaslanmıştır. Bu bölümün temel hedefleri şu şekilde sıralanabilir:

- Çalışma şartları altında buzdolaplarının titreşim seviyelerinin belirlenmesi
- Buzdolaplarının titreşim seviyelerinin karşılaştırılması
- Titreşimlerin frekans bileşenlerinin analizi
- Titreşim iletim patikalarının incelenmesi
- Yapısal rezonansların belirlenmesi
- Buzdolaplarının alt parçaları üzerinde titreşim biçimlerinin ve gürültü seviyelerinin belirlenmesi
- Buzdolaplarının çalışma şartlarında ön ve arka taraflarında oluşan ses basınç seviyelerinin kıyaslanması
- Titreşim seviyelerinin azaltılması için yöntemlerin araştırılması
- Titreşim (ve dolayısıyla gürültü) seviyelerinin azaltılması için uygulanabilecek tasarım değişikliklerinin belirlenmesi.

2.1.2 Test edilen numuneler ve ölçüm düzeneği

Çalışmanın bu aşamasında, ikisi aynı marka olmak üzere toplamda dört farklı modelde buzdolabı incelenmiştir. Bu buzdolaplarının dış görünüşü Şekil 2.1 ile gösterilmiştir. Buzdolaplarına ait özet teknik bilgiler Çizelge 2.1’de yer almaktadır.



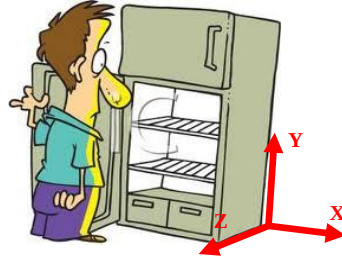
Şekil 2.1: Çalışmanın birinci aşamasında kullanılan numuneler.

Bu bölüm boyunca yapılan ölçümlerin yönleri Şekil 2.2 ile verilmiştir. Titreşim ölçümleri her buzdolabının sekiz adet kritik noktasında, buzdolapları 24 saat boyunca çalıştırılıp rejim haline girdikten sonra yapılmıştır. Ses basınç seviyeleri; buzdolabının arka kısmında yerden 30 cm, buzdolabından ise 50 cm. uzaklıkta ölçülmüştür. Buzdolabının ön kısmında ise buzdolabına 100 cm. ve yerden 100 cm.

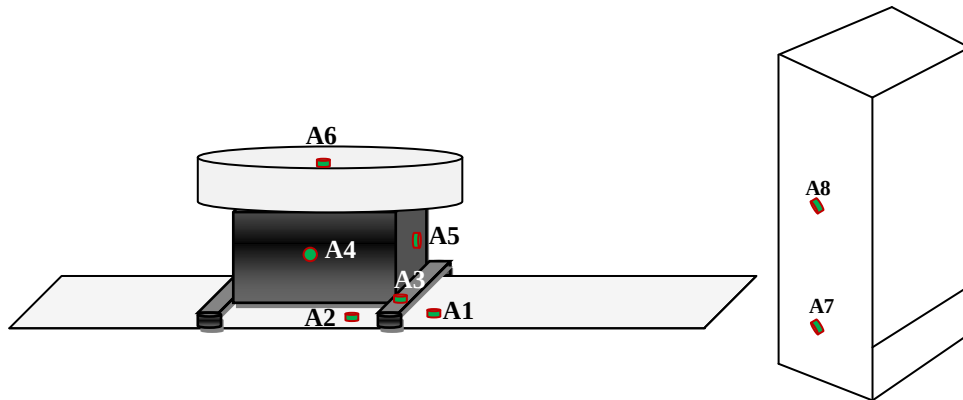
yükseklikte ölçülmüştür. Ölçüm noktaları Şekil 2.3 ile gösterilmiş, ayrıca Çizelge 2.2 ile detaylandırılmıştır. Kullanılan ölçüm ekipmanına ait bilgiler Çizelge 2.3 ile verilmiştir. Ölçümler Brüel & Kjaer - Pulse Labshop [9] ile yapılmış, daha sonra ölçüm zaman sinyalleri Pulse Reflex [10] yazılımı ile analiz edilmiştir. FFT analizi ve toplam seviye analizi için kullanılan ölçüm parametreleri Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Buzdolaplarına ait teknik özellikler.

	NM1	NM2	NM3	NM4
Dizayn	Çift kapılı, No-Frost	Çift kapılı, No-Frost	Çift kapılı, No-Frost	Çift kapılı, No-Frost
Model	2488 CNG A+++	NMTL 1928 FW	NMTL 1928 FW	-
Seri Numarası	11-100844-12	112010015- 81699340100	112010013- 81699340100	-
Voltaj	220V-240V	220V-240V	230V	220V-240V
Akım	0.6 A	-	-	-
Güç	120 W	-	-	-
Çalışma frekansı	50 Hz	50 Hz	53 - 143 Hz	50 Hz
Dondurucu Sıcaklığı	-22°C	-22°C	-22°C	-22°C
Soğutucu Sıcaklığı	4°C	4°C	4°C	4°C
Boyutlar (Y x G x D)	1.9 x 0.7 x 0.7	1.9 x 0.7 x 0.7	1.9 x 0.7 x 0.7	1.9 x 0.7 x 0.7
Yüzey Alanı [m²]	22.28	22.28	22.28	22.28



Şekil 2.2: Ölçüm eksen ve yönleri.



Şekil 2.3: Sensör etiket ve pozisyonları: Şasi-kompresör grubu (solda), panel grubu (sağda).

Çizelge 2.2: Sensör etiket ve pozisyonları.

Sensör Etiketi	Pozisyon	Ölçüm Yönü
A1	Şasi (komp. ayağı)	Y
A2	Şasi (orta nokta)	Y
A3	Kompresör ayağı	Y
A4	Kompresör (dikey)	Z
A5	Kompresör (yatay)	X
A6	Kompresör (düşey)	Y
A7	Panel (alt bölge)	X
A8	Panel (orta bölge)	X
P1	Buzdolabının arkası	
P2	Buzdolabının önü	

Çizelge 2.3: Ölçümde kullanılan ekipmanlar.

Çok kanallı analizör	Brüel & Kjær	3560-D
İvmeölçer (8 adet)	Brüel & Kjær	4507 B
Mikrofon (2 adet)	Brüel & Kjær	4189-A-21
İvmeölçer kalibratörü	Brüel & Kjær	4294
Akustik kalibratör	Brüel & Kjær	4231

Çizelge 2.4: Toplam seviye analizöründe kullanılan parametreler.

Frekans aralığı [Hz]	1 Hz – 12.8 kHz
Ortalama	Exponential
Anlık Ortalama Süresi [s]	1/4
Tau [s]	1/8 (fast)
Tetikleme aralığı [s]	0.1

Çizelge 2.5: FFT analizöründe kullanılan parametreler.

Frekans aralığı [Hz]	1 Hz – 12.8 kHz
Frekans çözünürlüğü [Hz]	1
Ortalama	Linear
Pencere	Hanning
Overlap	%66,7

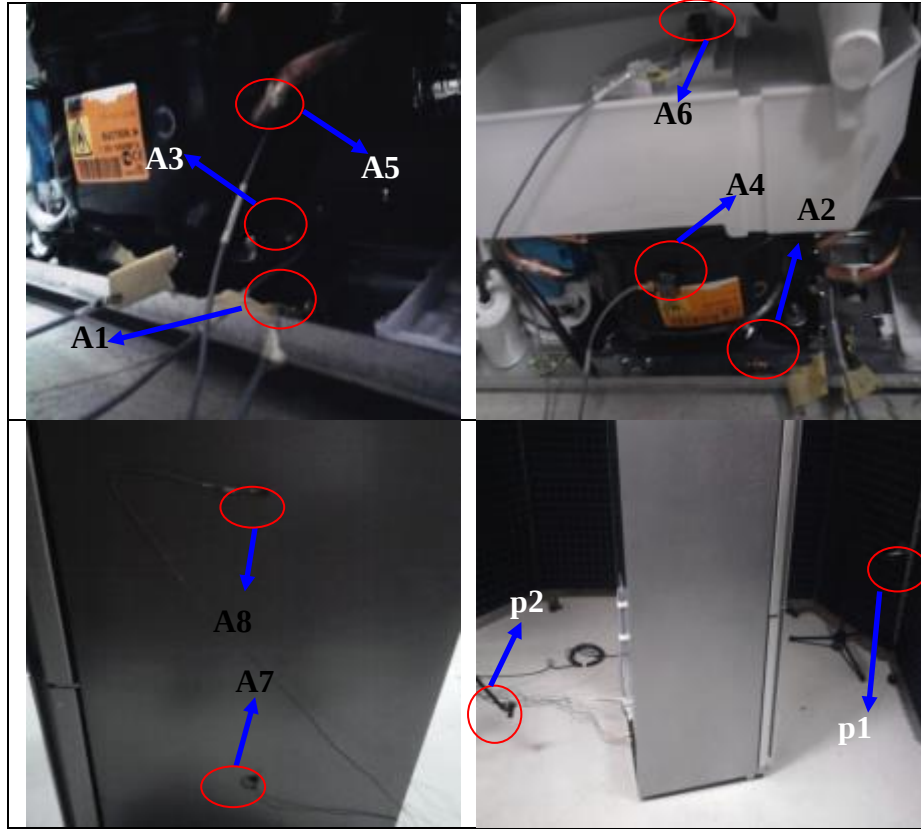
2.1.3 Ölçüm sonuçları

Yapılan ölçümlere ilişkin sonuçlar bu bölümde yer almaktadır. Budan böyle test edilen buzdolapları (numuneler) NM1, NM2, NM3 ve NM4 şeklinde anılacaktır.

2.1.3.1 NM1 için ölçüm sonuçları

NM1 için geçerli olan sensör etiket ve konumları Şekil 2.4 ile verilmiştir. Zamana bağlı toplam titreşim ve toplam gürültü seviyeleri Şekil 2.5 ile verilmiştir. Ölçüm

boyunca alınan ortalama toplam titreşim seviyeleri, titreşim hızı ve ivmesi olarak Çizelge 2.6 ve Şekil 2.6 ile gösterilmiştir.



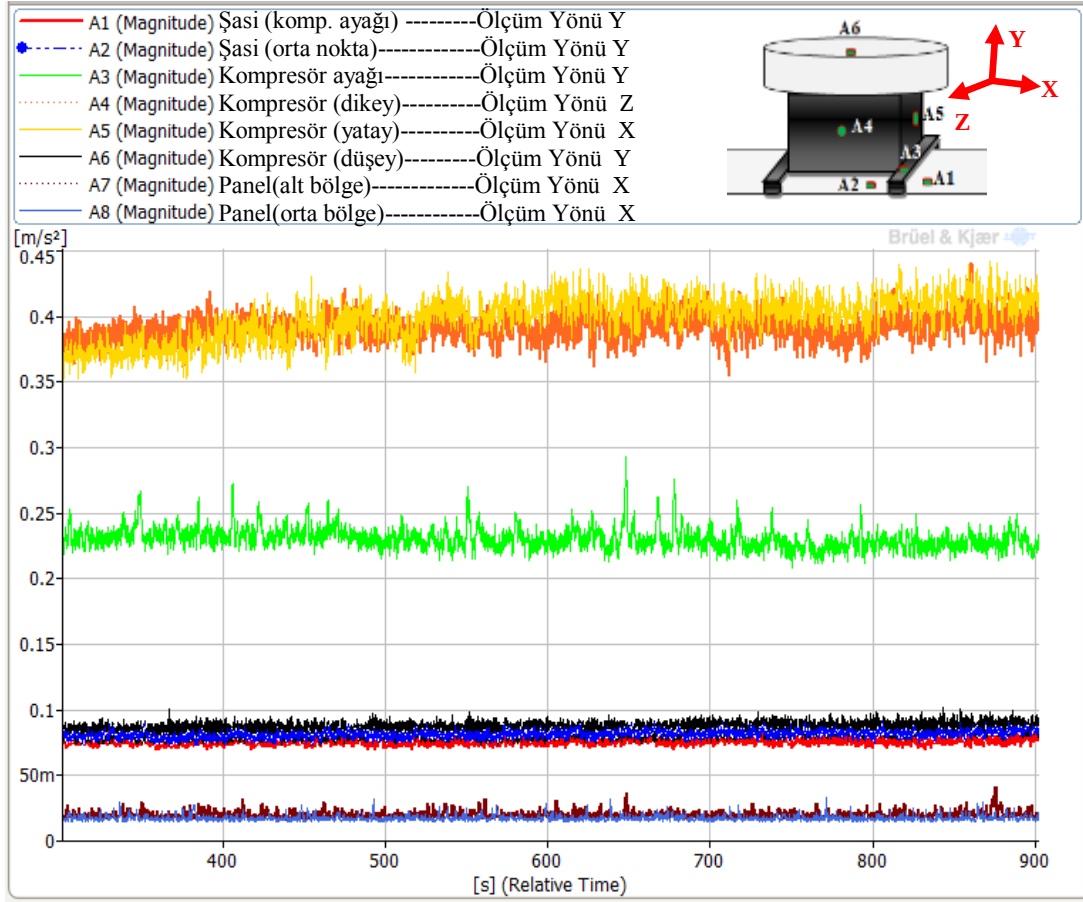
Şekil 2.4: NM1 için sensör etiket ve konumları.

Çizelge 2.6: NM1 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri.

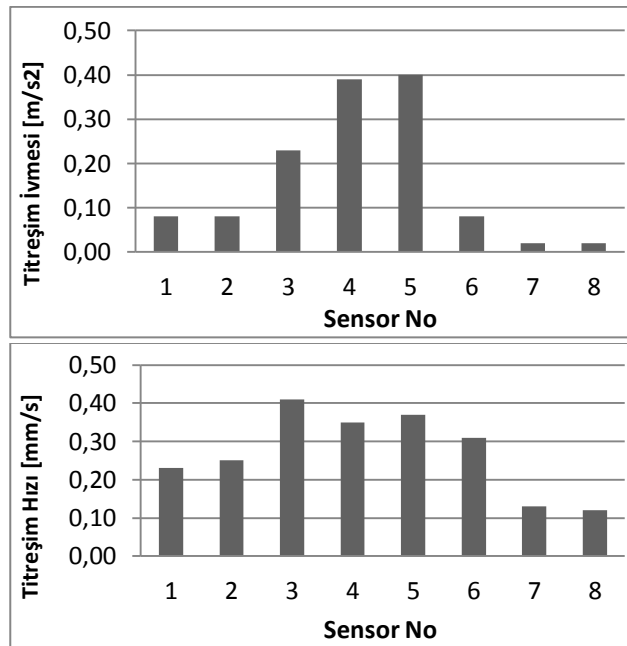
Sensör	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Konum	Şasi (komp. ayağı)	Şasi (orta nokta)	Kompresör ayağı	Kompresör (dikey)	Kompresör (yatay)	Kompresör (düşey)	Panel (alt bölge)	Panel (orta bölge)
Ölçüm Yönü	Y	Y	Y	Z	X	Y	X	X
İvme [m/s ²]	0.08	0.08	0.23	0.39	0.4	0.08	0.02	0.02
Hız [mm/s]	0.23	0.25	0.41	0.35	0.37	0.31	0.13	0.12

NM1 için toplam titreşim seviyelerinin 0.5 m/s^2 ve 0.5 mm/s 'den küçük olduğu görülmektedir. Kompresörden şasiye titreşim geçirgenliği (A1'in A3'e bölümü ile) titreşim ivmesi için 0.35, titreşim hızı için 0.56 bulunmuştur. Bu oran, titreşim izolatörlerinin etkinliğini göstermektedir. Düşük geçirgenlik oranı, izolatörün daha etkin çalıştığı anlamına gelir. Buzdolabının diğer bölgelerine göre, yan panellerindeki titreşim düzeylerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Buradan şu sonuç çıkarılabilir; kompresör kaynaklı titreşim, yüzey alanı büyük olan sac

panellere büyük miktarda iletilmemekte ve bu nedenle toplam ses gücüne katkı azalmaktadır. Ayrıca A7 ve A8'e ait titreşim seviyeleri beklenileceği üzere birbirine yakındır.

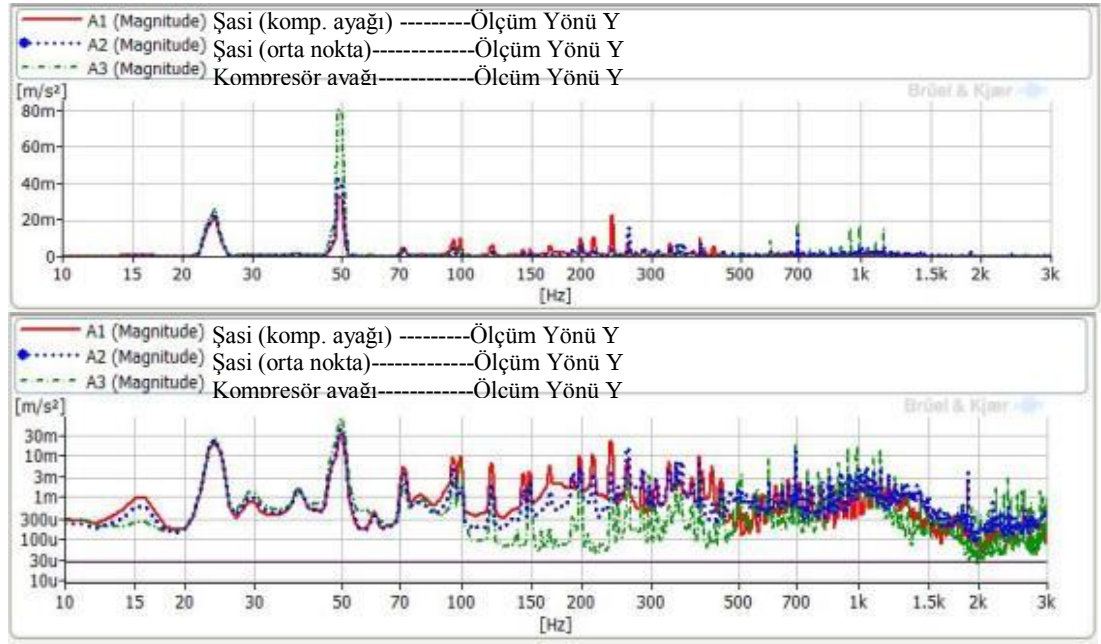


Şekil 2.5: NM1'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.



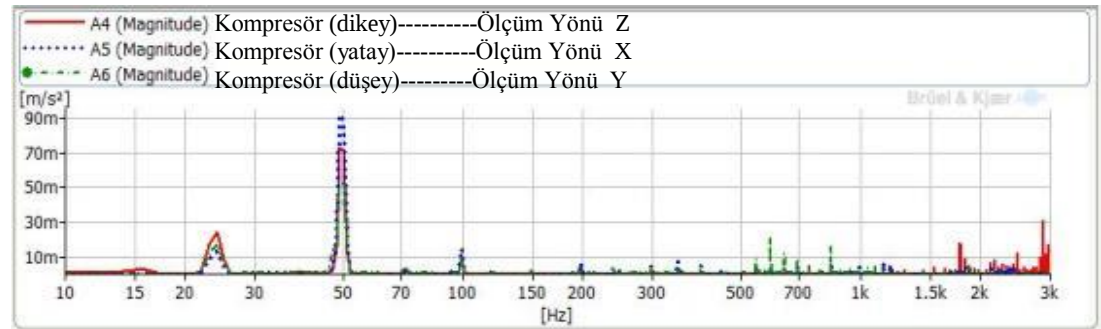
Şekil 2.6: NM1 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.

Tüm sinyaller için FFT spektrumları Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 ile lineer ve logaritmik skalalarda gösterilmiştir. A1-A6 sensörleri için titreşim tepe değerleri 50 Hz’de iken, A7 ve A8 sensörleri için 24 Hz’de tepe görülmüştür. 24 Hz’deki bu titreşimlerin fan balanssızlığından kaynaklı titreşimlerin panellere iletilmesi nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Bunların yanında 2x24, 4x24, 8x24 Hz frekanslarında gözle görülür derecede ve 3x24, 5x24, 7x24 Hz frekanslarında biraz daha etkisiz olmak üzere tepeler görülmüştür. Bu frekanslar fan balanssızlığından kaynaklı titreşimin harmonikleridir.

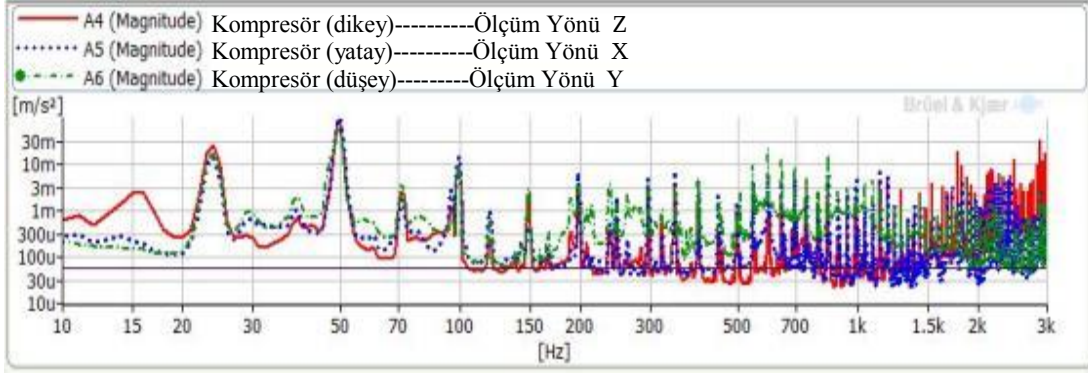


Şekil 2.7: NM1 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

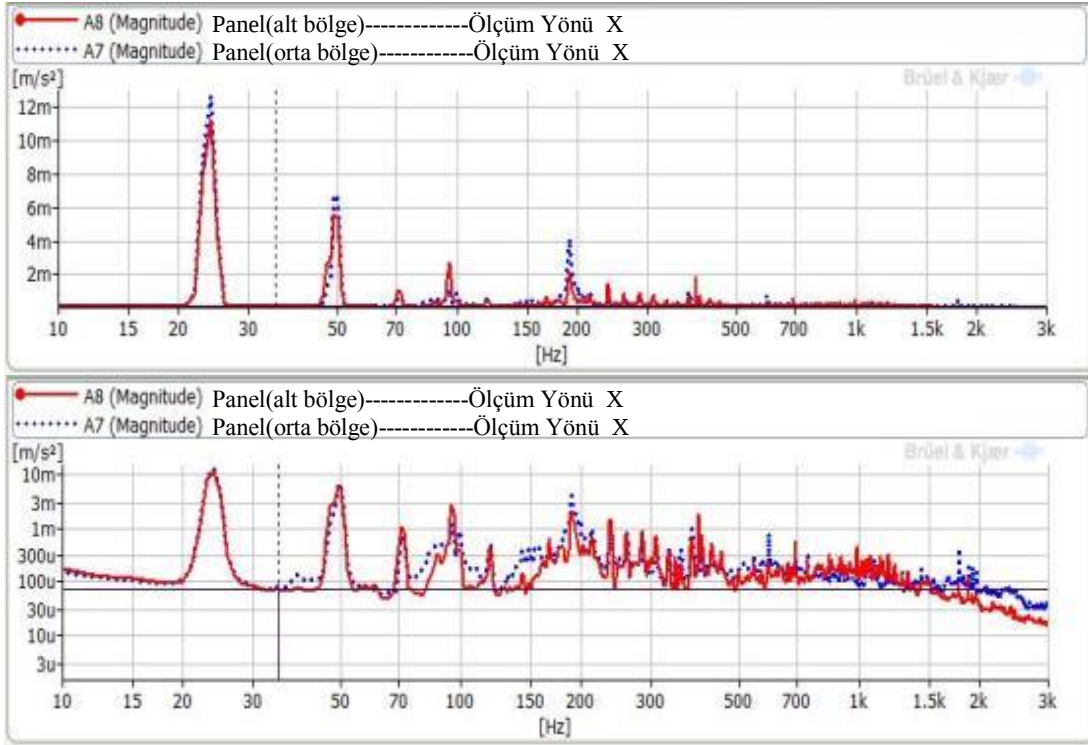
Bunun yanında, 15 Hz civarlarındaki ufak tepeler ve bazı düşük frekanslı tepelerin kompresör-şasi grubunun doğal frekansları olması mantıklı görünmektedir. Kompresörden yayılan bu titreşimlerin ihmal edilebilir derecede iletildiği görülmektedir.



Şekil 2.8: NM1 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala.

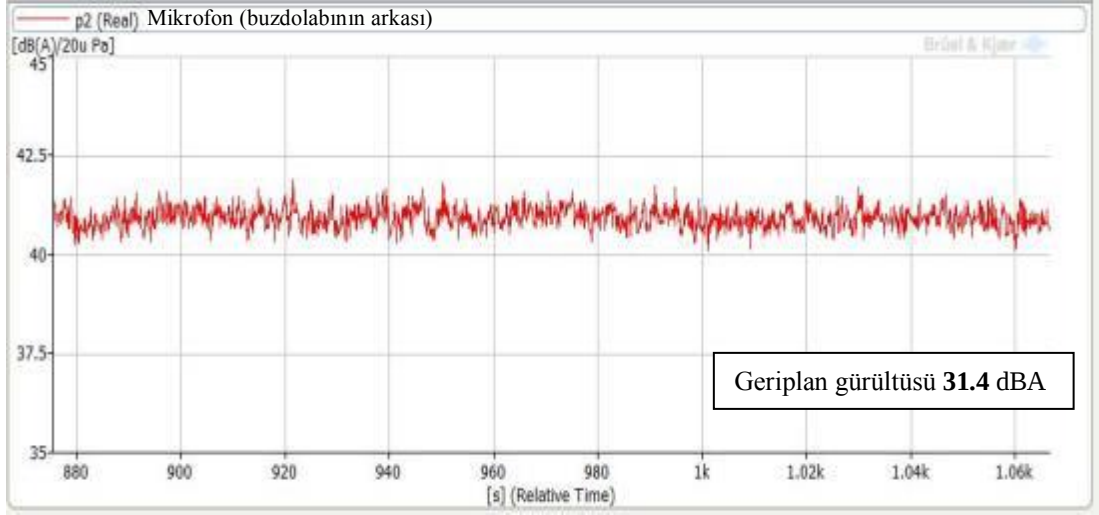


Şekil 2.8 (devam): NM1 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, logaritmik skala.

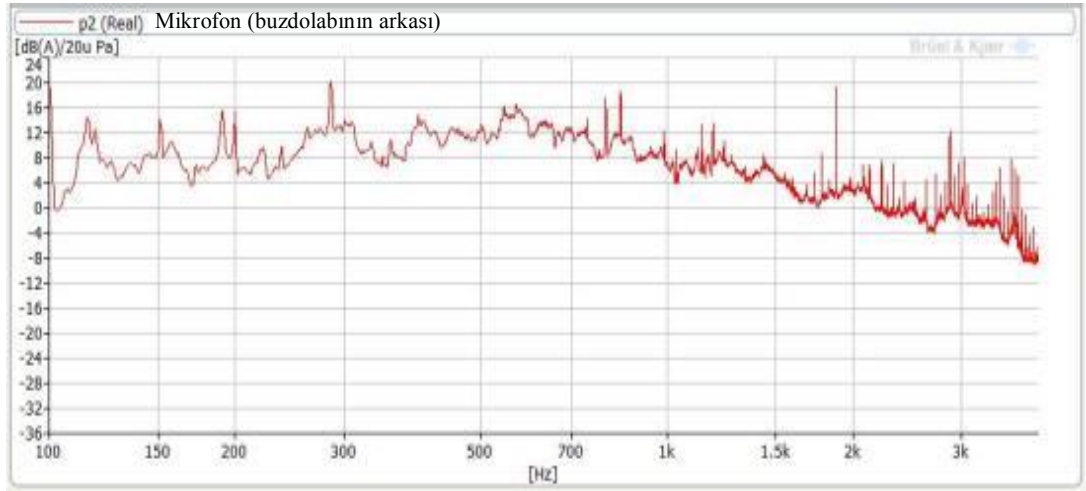


Şekil 2.9: NM1 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

Buzdolabının arkasında ölçülen ses basınç seviyesi (SPL)'nin zamana bağlı değişimi Şekil 2.10 ile verilmiştir. Geriplan gürültüsü 31.4 dBA iken, toplam ortalama SPL 40.9 dBA ölçülmüştür. Düzeltilmiş SPL böylece 40.4 dBA hesaplanmıştır. Ölçülen ses basıncının frekans spektrumu Şekil 2.11 ile verilmiştir. Görüleceği üzere, 50 Hz ve 24 Hz'in harmoniklerinde çeşitli tepeler bulunmaktadır (kompresör kaynaklı 3x50 Hz, 4x50 Hz vb. ile fan kaynaklı 5x24 Hz, 6x24 Hz, 8x24 Hz, 12x24 Hz vb. gibi).



Şekil 2.10: NM1 için P2 (arka mikrofon) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).

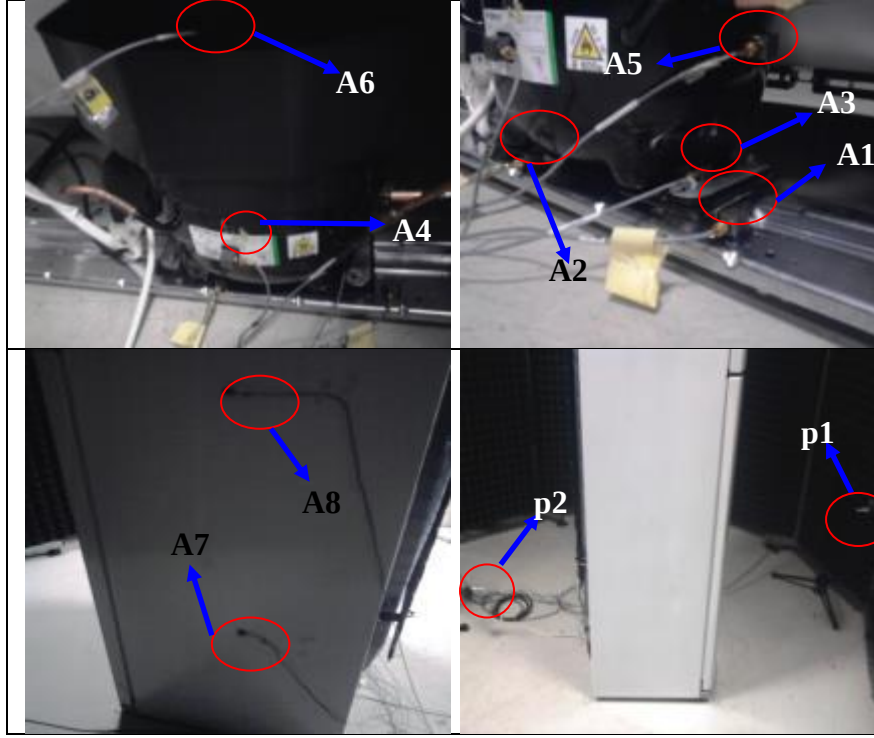


Şekil 2.11: NM1 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA).

Genel olarak, NM1 üzerinde yapılmış ölçümlerde düşük titreşim ve gürültü seviyeleri elde edilmiştir. Bu seviyelerin zamana bağlı hemen hemen hiç değişmediği görülmüştür. NM1'e ait fanın oldukça sessiz olduğu gözlemlenmiştir.

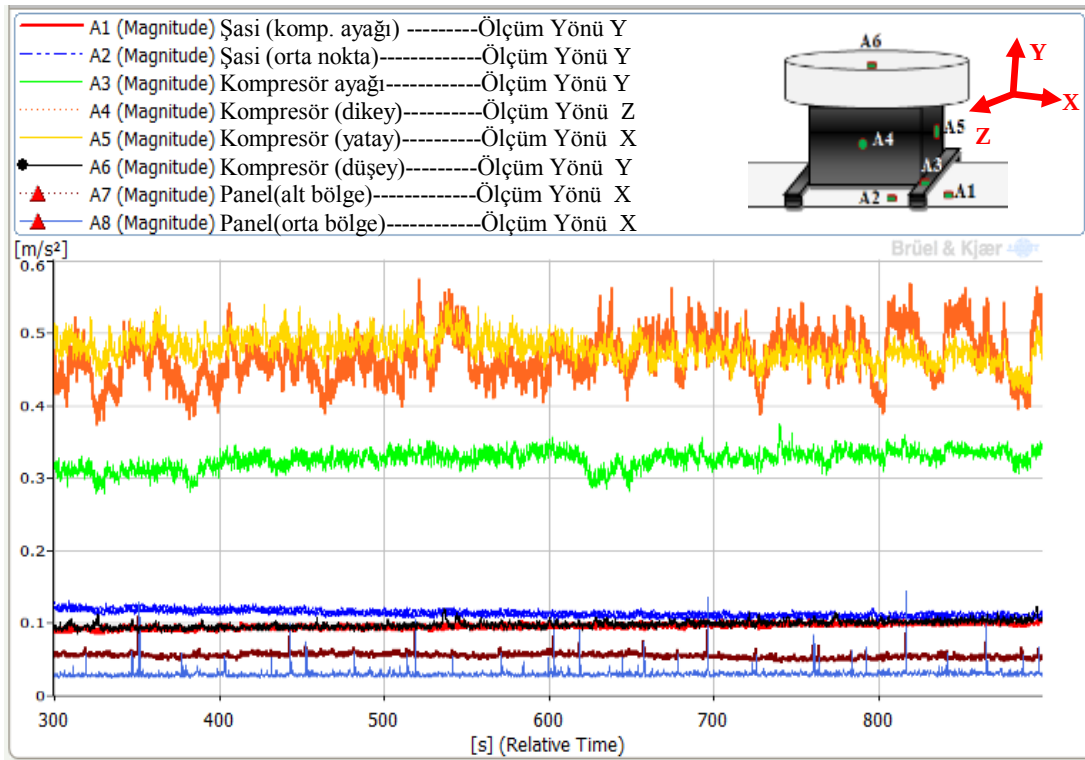
2.1.3.2 NM2 için ölçüm sonuçları

NM2 için geçerli olan sensör etiket ve konumları Şekil 2.12 ile verilmiştir. Zamana bağlı toplam titreşim ve toplam gürültü seviyeleri Şekil 2.13 ile verilmiştir. Ölçüm boyunca alınan ortalama toplam titreşim seviyeleri, titreşim hızı ve ivmesi olarak Çizelge 2.7 ve Şekil 2.13 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.12: NM2 için sensör etiket ve konumları.

NM2 için toplam en büyük titreşim seviyeleri 0.5 m/s^2 ve 0.6 mm/s ölçülmüştür. Kompresörden şasiye titreşim geçirgenliği (A1'in A3'e bölümü ile) titreşim ivmesi için 0.30, titreşim hızı için 0.54 bulunmuştur.



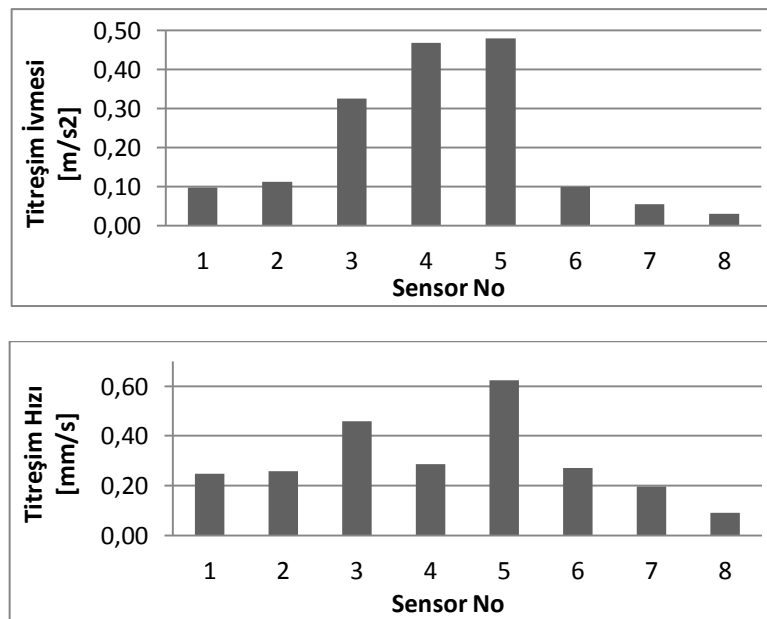
Şekil 2.13: NM2'ye ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.

Çizelge 2.7: NM2 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri.

Sensör	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Konum	Şasi (komp. ayağı)	Şasi (orta nokta)	Kompresör ayağı	Kompresör (dikey)	Kompresör (yatay)	Kompresör (düşey)	Panel (alt bölge)	Panel (orta bölge)
Ölçüm Yönü	Y	Y	Y	Z	X	Y	X	X
İvme [m/s^2]	0.10	0.11	0.33	0.47	0.48	0.10	0.06	0.03
Hız [mm/s]	0.25	0.26	0.46	0.29	0.62	0.27	0.20	0.09

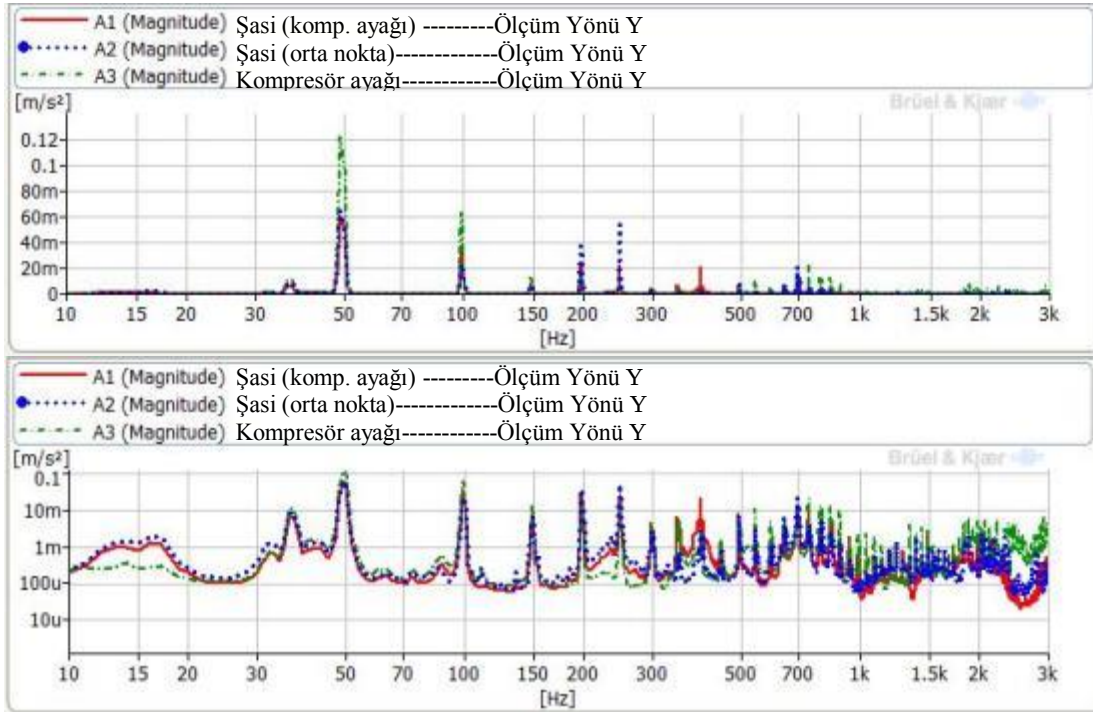
Titreşim geçirgenlik oranları, kompresörün ayaklarında kullanılan titreşim izolatörlerinin etkin olduğunu göstermektedir. A7 sensöründen elde edilen titreşim ivme ve hız seviyeleri, A8'in yaklaşık iki katıdır. NM1 ile kıyaslandığında bu değerler birbirine yakındır. Fakat kompresör şasi grubundan panele iletilen titreşimin daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 2.13 incelendiğinde, titreşim seviyelerinde zamana bağlı dalgalanmalar NM1'e kıyasla daha geniş bir dinamik aralığı kapsamaktadır. Buradan NM1'in NM2'ye kıyasla (özellikle kompresörünün) daha stabil çalıştığı sonucu çıkarılabilir. Bunun üstesinden gelinebilmesi için kompresör içindeki krank-biyel mekanizmasının yarattığı atalet kuvvetlerinin uygun bir şekilde dengelenecek şekilde tasarlanması gerekir. A7 ve A8 sensörleri incelendiğinde ise, sürekli olarak bir darbe şeklinde tepeler oluştuğu görülmektedir. Bu titreşim deseninin A7 ve A8'in ikisinde de görülmesine karşın, A8'de daha yüksek tepe değerlere ulaşmıştır. Fana daha yakın olan A8 sensörü olduğu için, bu tepelerin fan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

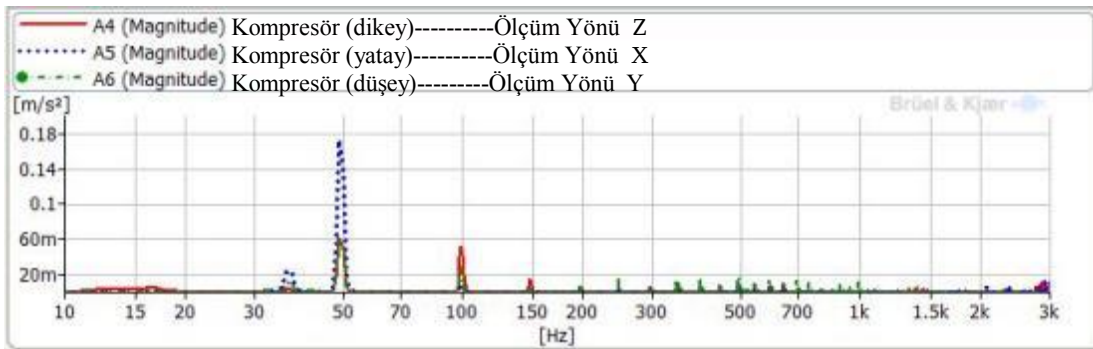


Şekil 2.14: NM2 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.

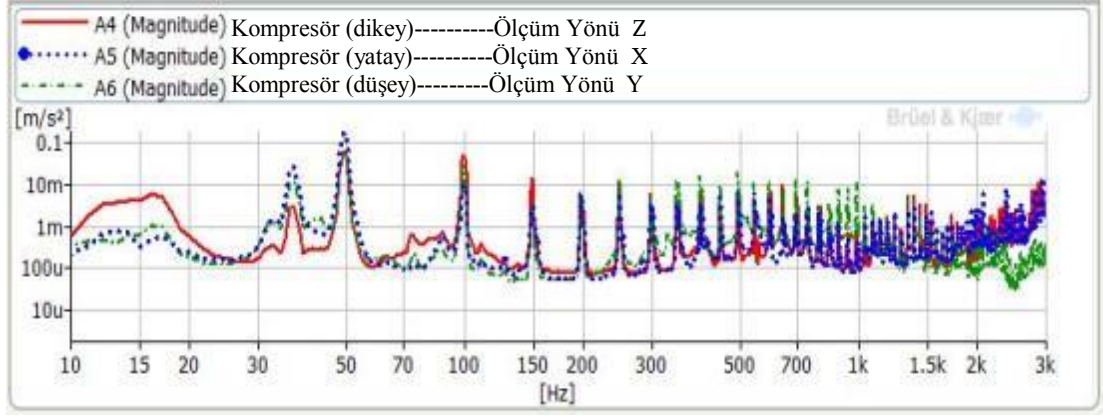
Tüm sinyaller için FFT spektrumları Şekil 2.15, Şekil 2.16 ve Şekil 2.17 ile lineer ve logaritmik skalalarda gösterilmiştir. A1-A6 sensörleri için titreşim tepe değerleri 50 Hz’de iken, A7 ve A8 sensörleri için 37 Hz’de tepe görülmüştür. 37 Hz’deki bu titreşimlerin fan balanssızlığından kaynaklı titreşimlerin panellere iletilmesi nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Bunların yanında 2x37, 3x37, 4x37, 5x37 Hz frekanslarında da tepeler görülmüştür. Bu frekanslar fan balanssızlığından kaynaklı titreşimin harmonikleridir. Ancak genel olarak baskın bileşenin kompresörden kaynaklı 50 Hz olduğu görülmüştür. Kompresörün daha etkin bir titreşim kaynağı olduğu sonucu çıkarılmıştır. 14 ve 17 Hz civarlarındaki ufak tepelerin ise kompresör-şasi grubunun doğal frekansları olduğu tahmin edilmektedir.



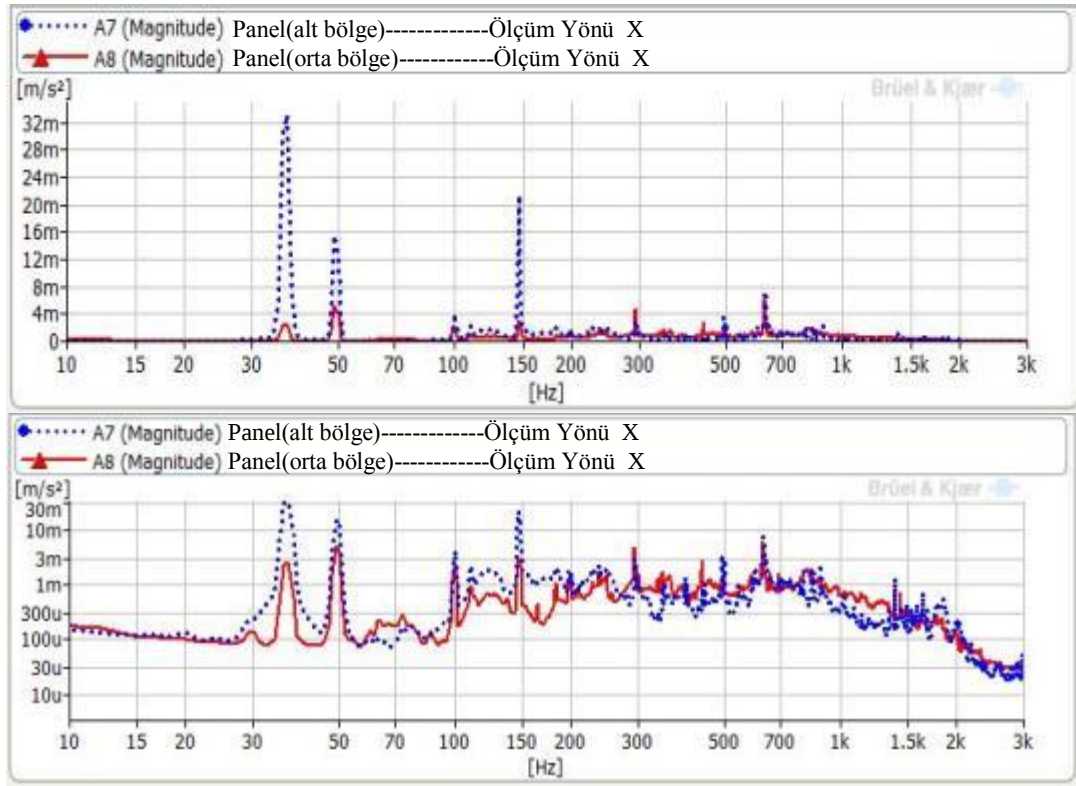
Şekil 2.15: NM2 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).



Şekil 2.16: NM2 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala.

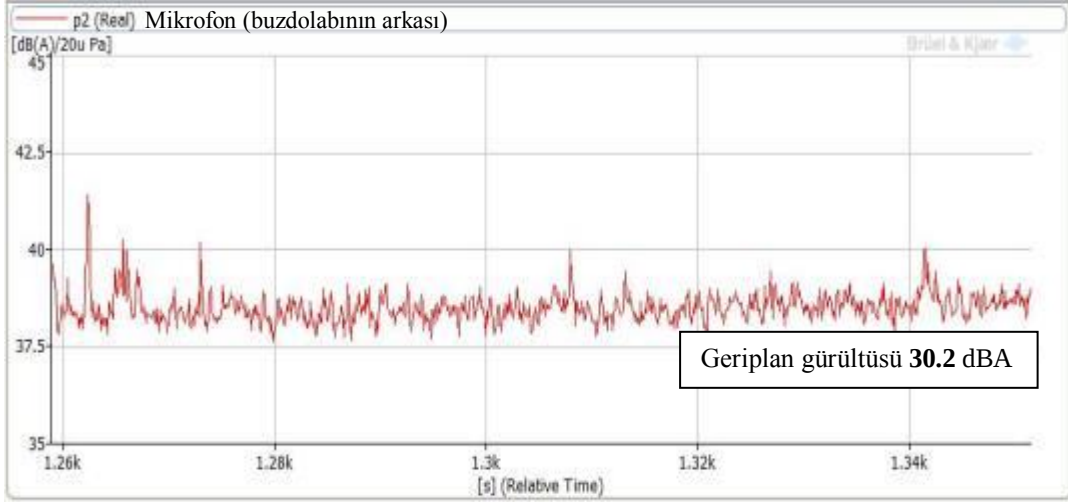


Şekil 2.16 (devam): NM2 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, logaritmik skala.



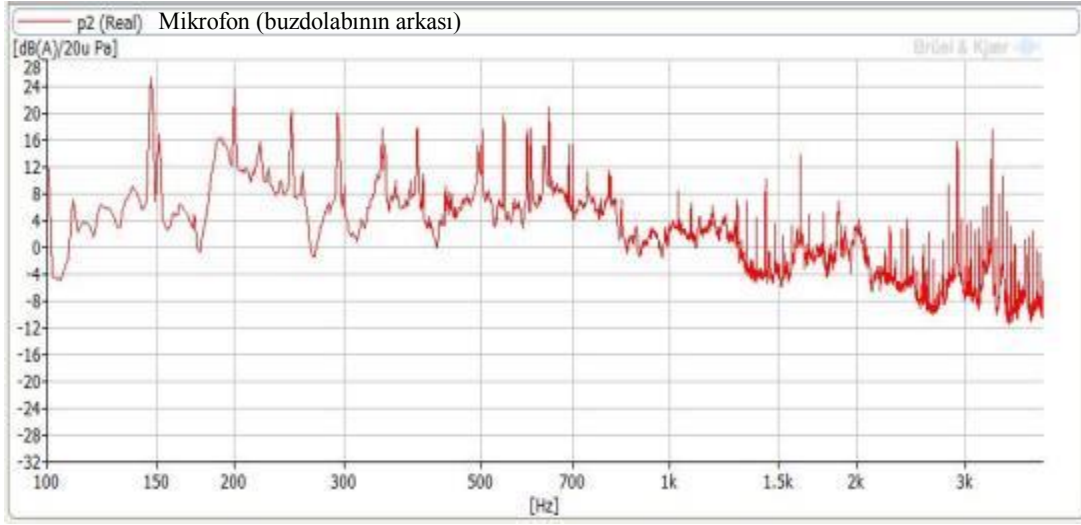
Şekil 2.17: NM2 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

Buzdolabının arkasında ölçülen ses basınç seviyesi (SPL)'nin zamana bağlı değişimi Şekil 2.18 ile verilmiştir. Geriplan gürültüsü 30.2 dBA iken, toplam ortalama SPL 38.5 dBA ölçülmüştür. Düzeltilmiş SPL böylece 37.8 dBA hesaplanmıştır.



Şekil 2.18: NM2 için P2 (arka mikrofon) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).

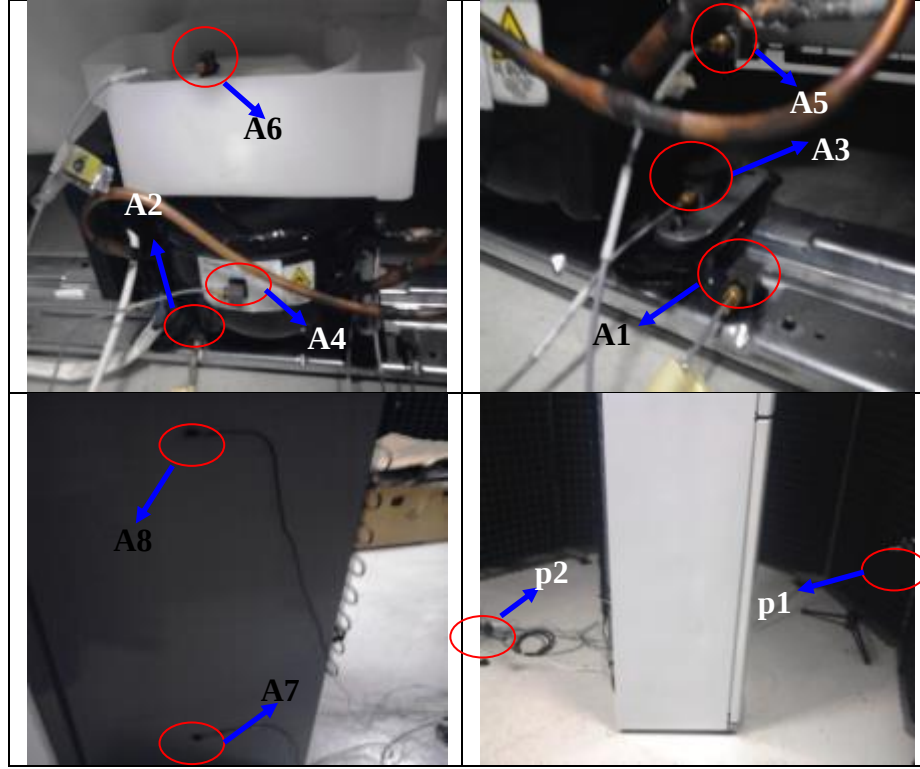
Ölçülen ses basıncının frekans spektrumu Şekil 2.19 ile verilmiştir. Görüleceği üzere, 50 Hz ve 37 Hz'in harmoniklerinde çeşitli tepeler bulunmaktadır (kompresör kaynaklı 3x50 Hz, 4x50 Hz vb. ile fan kaynaklı 3x37 Hz, 4x37 Hz, 5x37 Hz, 6x37 Hz vb. gibi). 4x37 ve 8x37 Hz'deki tepelerin baskın olması dikkat çekicidir.



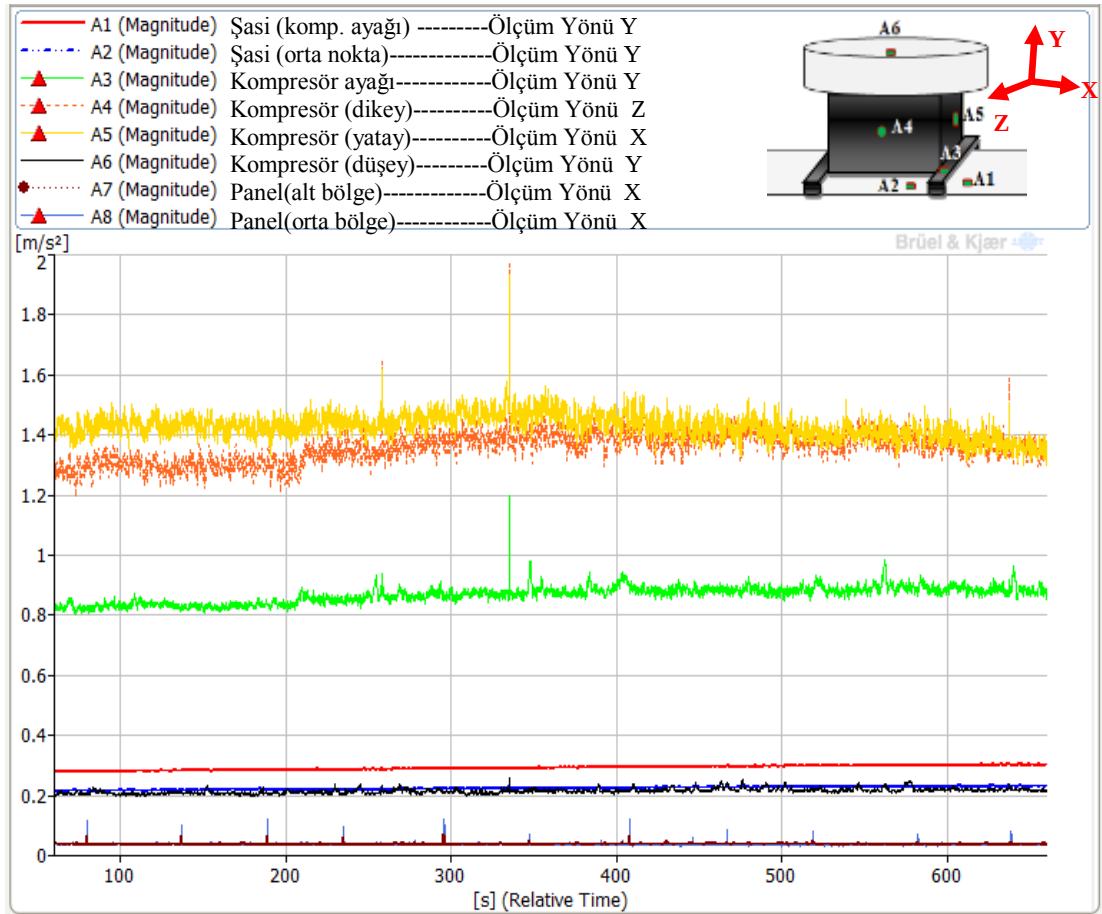
Şekil 2.19: NM2 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA).

2.1.3.3 NM3 için ölçüm sonuçları

NM3 için geçerli olan sensör etiket ve konumları Şekil 2.20 ile verilmiştir. Zamana bağlı toplam titreşim seviyeleri Şekil 2.21 ile verilmiştir. Ölçüm boyunca alınan ortalama toplam titreşim seviyeleri, titreşim hızı ve ivmesi olarak Çizelge 2.8 ve Şekil 2.22 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.20: NM3 için sensör etiket ve konumları.

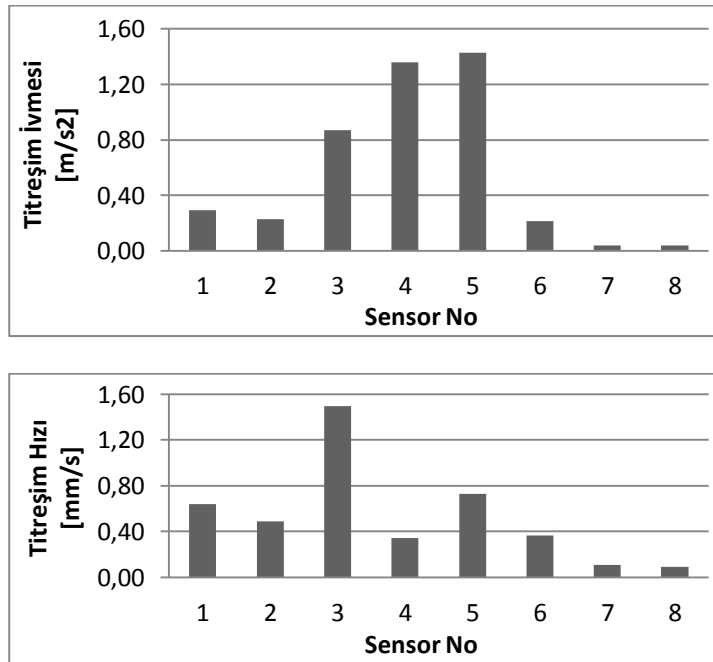


Şekil 2.21: NM3'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.

Çizelge 2.8: NM3 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri.

Sensör	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Konum	Şasi (komp. ayağı)	Şasi (orta nokta)	Kompresör ayağı	Kompresör (dikey)	Kompresör (yatay)	Kompresör (düşey)	Panel (alt bölge)	Panel (orta bölge)
Ölçüm Yönü	Y	Y	Y	Z	X	Y	X	X
İvme [m/s ²]	0.29	0.23	0.87	1.36	1.43	0.22	0.04	0.04
Hız [mm/s]	0.64	0.49	1.50	0.34	0.73	0.37	0.11	0.09

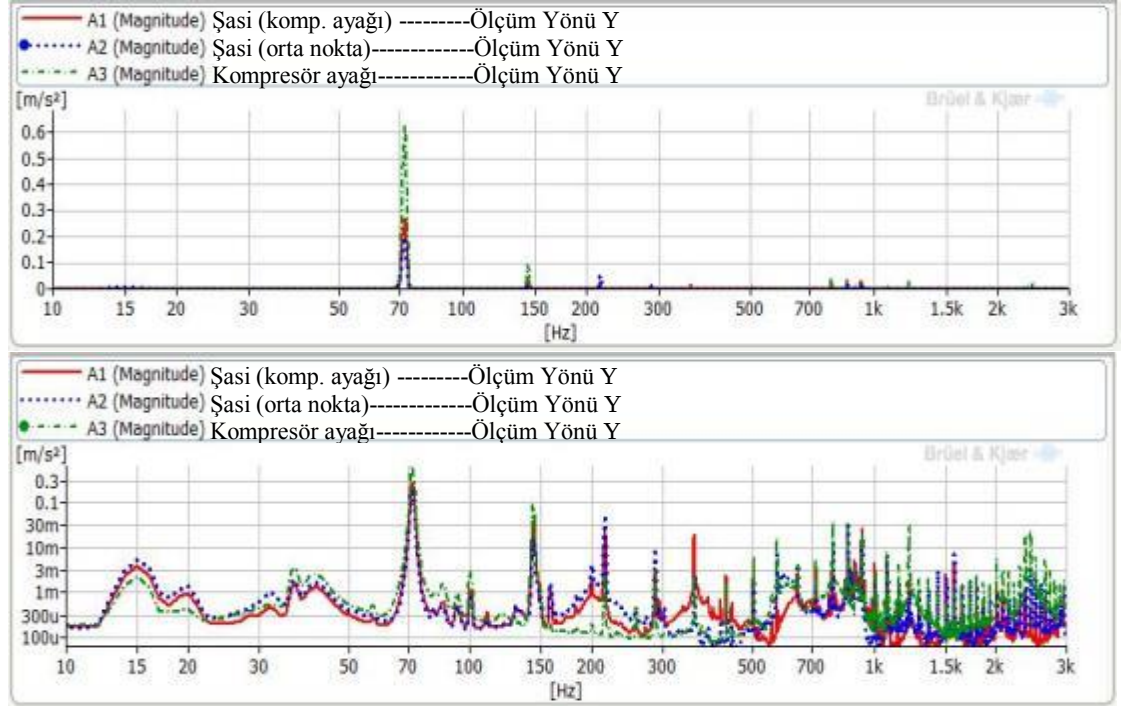
NM3 için en büyük titreşim seviyeleri 1.4 m/s² ve 1.5 mm/s ölçülmüştür. Kompresörden şasiye titreşim geçirgenliği (A1'in A3'e bölümü ile) titreşim ivmesi için 0.33, titreşim hızı için 0.43 bulunmuştur. Titreşim geçirgenlik oranlarına bakıldığında, kompresörün ayaklarında kullanılan titreşim izolatörlerinin etkin olduğu görülmektedir. A7 sensöründe elde edilen titreşim ivme ve hız seviyeleri, A8 ile hemen hemen aynıdır. NM1 ile kıyaslandığında bu değerler birbirine yakındır. Fakat kompresör şasi grubundan panele iletilen titreşimin daha fazla olduğu görülmektedir.



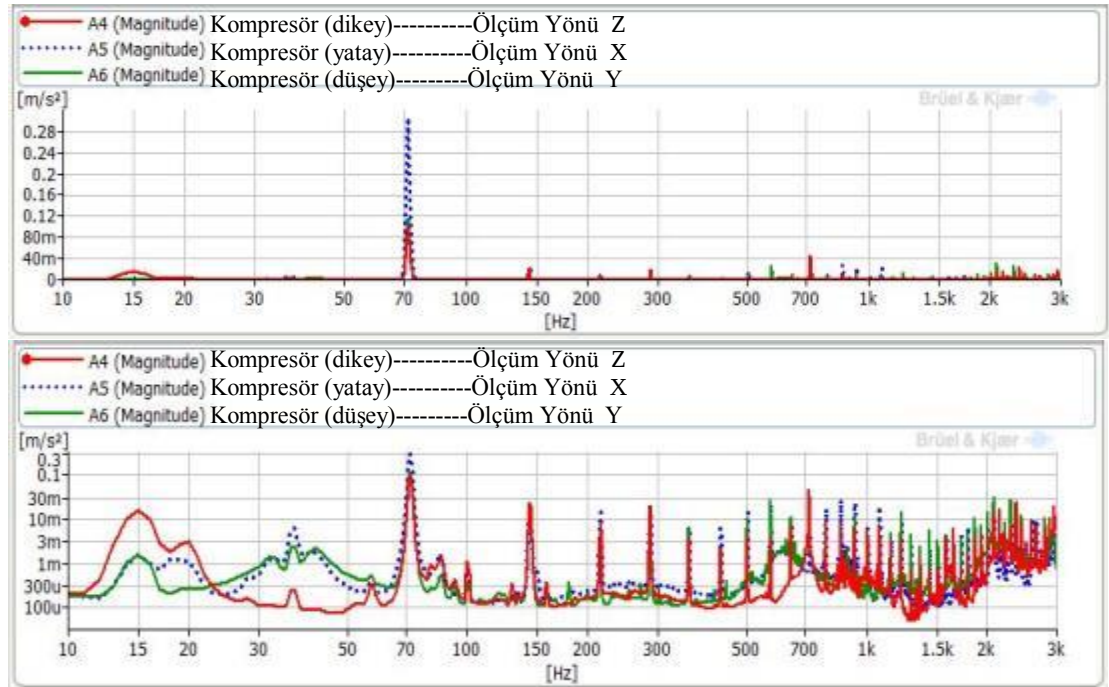
Şekil 2.22: NM3 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.

Tüm sinyaller için FFT spektrumları Şekil 2.23, Şekil 2.24 ve Şekil 2.25 ile lineer ve logaritmik skalalarda gösterilmiştir. A1-A8 sensörleri için titreşim tepe değerlerinin 72 Hz'de olduğu görülmüştür. Bütün veriler incelendiğinde 36 Hz, 1x72 Hz, 2x72

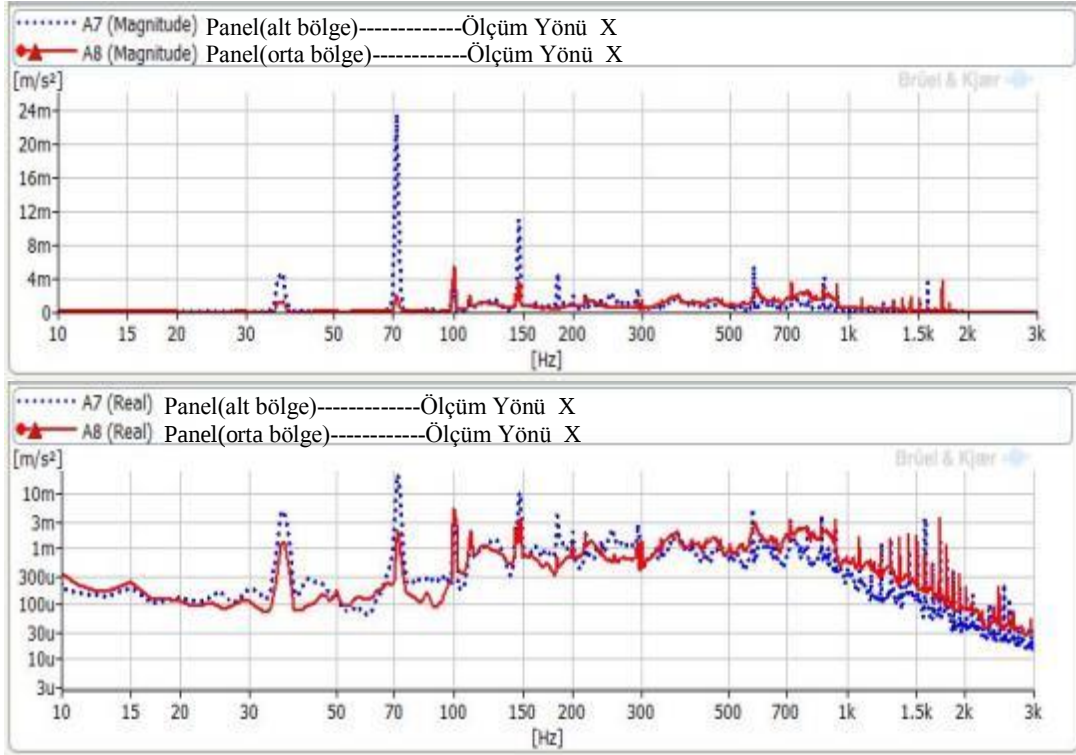
Hz, 3x72 Hz, 4x72 Hz vb. harmoniklerinde baskın tepeler olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca 432 Hz, 576 Hz, 720 Hz vb. frekanslarda da baskın tepeler vardır. 15 ila 20 Hz civarlarındaki ufak tepelerin ise kompresör-şasi grubunun doğal frekansları olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2.23: NM3 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

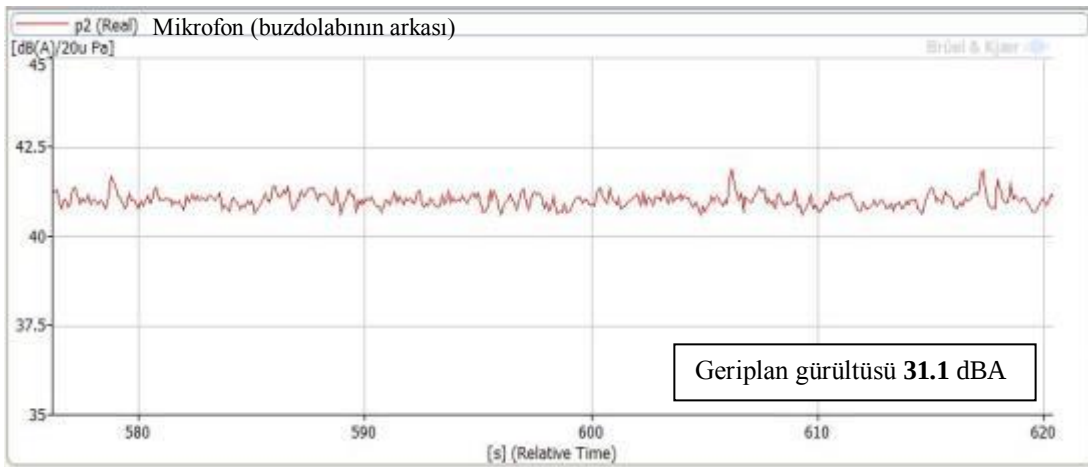


Şekil 2.24: NM3 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

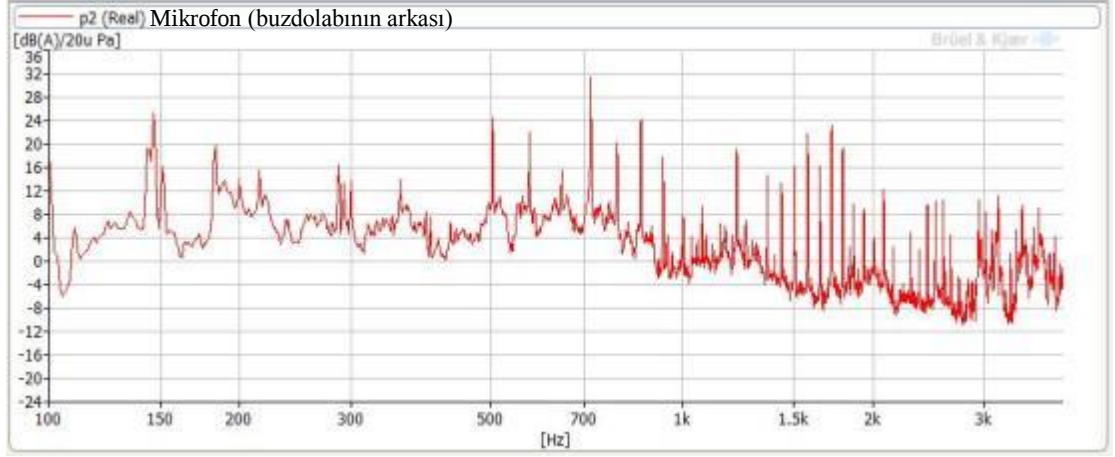


Şekil 2.25: NM3 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, linear skala (üstte), logaritmik skala (altta).

Buzdolabının arkasında ölçülen ses basınç seviyesi (SPL)'nin zamana bağlı değişimi Şekil 2.26 ile verilmiştir. Geriplan düzeltmesi uygulanmış SPL 41.0 dBA olarak ölçülmüştür. Ölçülen ses basıncının frekans spektrumu Şekil 2.27 ile verilmiştir. Spektrumdan görüleceği gibi, 36 Hz'in harmoniklerinde baskın tepeler bulunmaktadır. 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz gibi frekanslarda ise daha küçük tepeler mevcuttur.



Şekil 2.26: NM3 için P2 (arka mikrofön) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).

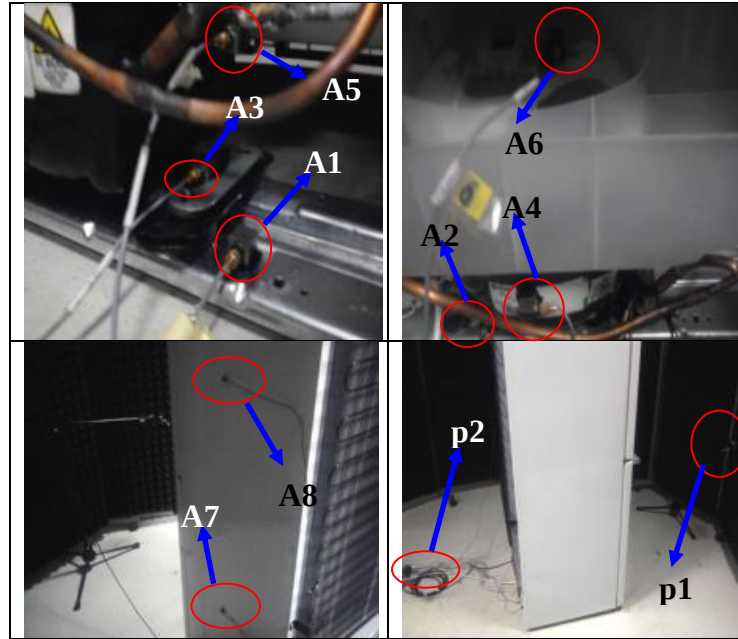


Şekil 2.27: NM3 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA).

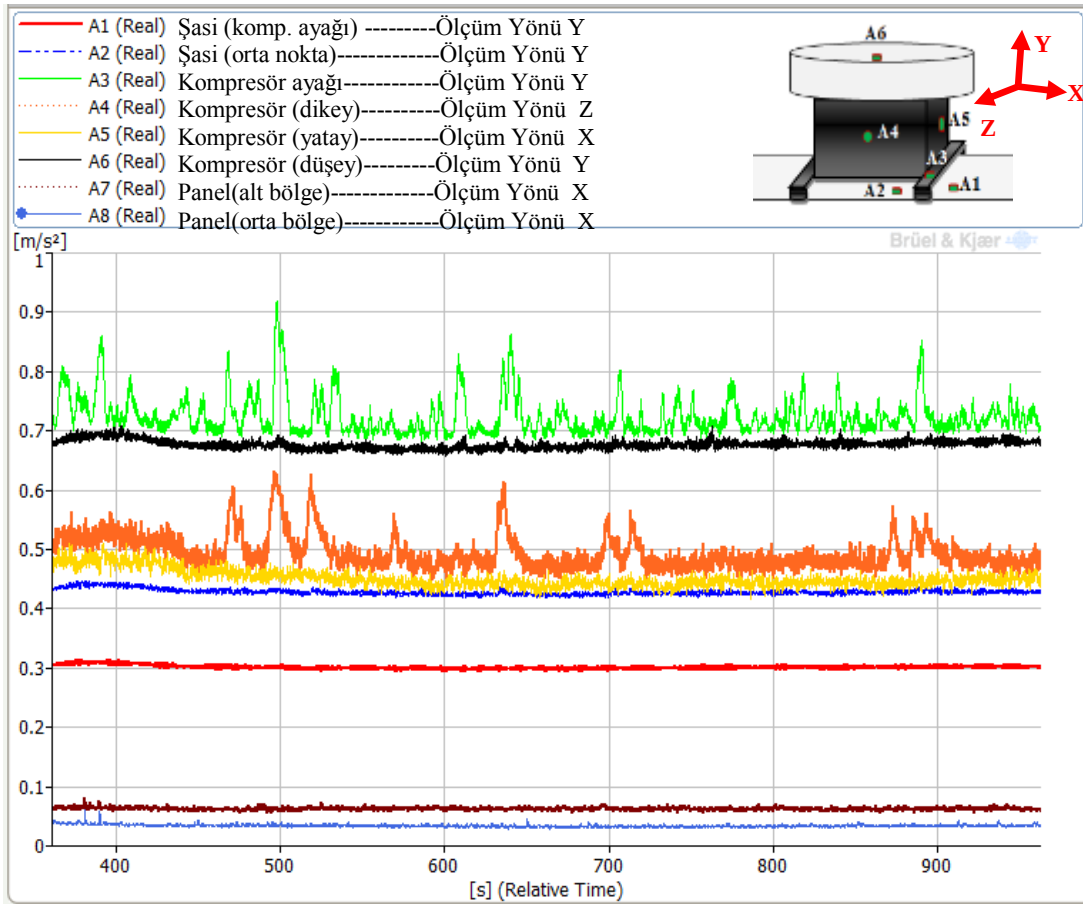
NM3'ün NM1 ve NM2'ye göre daha yüksek titreşim ve gürültü seviyelerine sahip olduğu görülmüştür. Kompresör titreşimlerinin oldukça yüksek olduğu ve 36 Hz ve harmoniklerinde yüksek tepe değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Kompresörün çalışma frekansı olan 72 Hz, hem titreşim hem ses sinyallerinde kendini etkin bir şekilde göstermiştir.

2.1.3.4 NM4 için ölçüm sonuçları

NM4 için geçerli olan sensör etiket ve konumları Şekil 2.28 ile verilmiştir. Zamana bağlı toplam titreşim seviyeleri Şekil 2.29 ile verilmiştir. Ölçüm boyunca alınan ortalama toplam titreşim seviyeleri, titreşim hızı ve ivmesi olarak Çizelge 2.9 ve Şekil 2.30 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.28: NM4 için sensör etiket ve konumları.

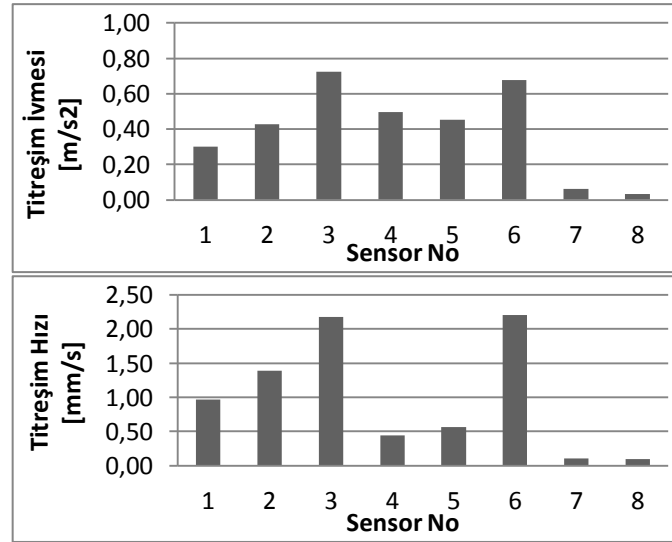


Şekil 2.29: NM4'e ait zamana bağlı toplam titreşim ivme seviyesi.

Çizelge 2.9: NM4 için toplam ortalama titreşim ivmesi ve titreşim hızı seviyeleri.

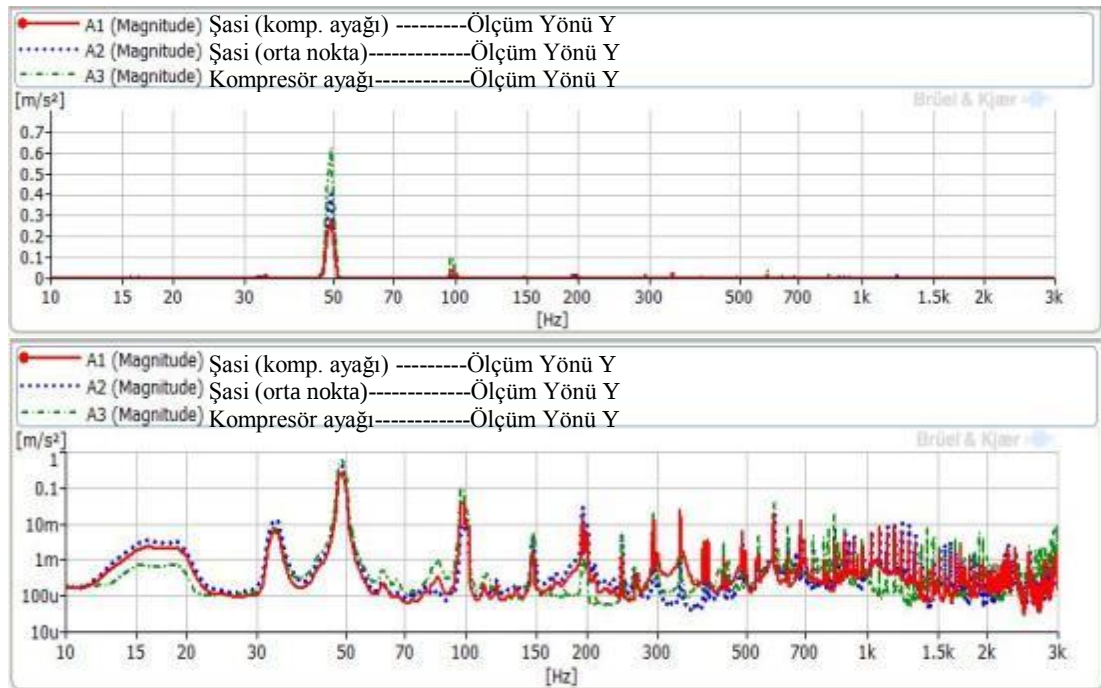
Sensör	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Konum	Şasi (komp. ayağı)	Şasi (orta nokta)	Kompresör ayağı	Kompresör (dikey)	Kompresör (yatay)	Kompresör (düşey)	Panel (alt bölge)	Panel (orta bölge)
Ölçüm Yönü	Y	Y	Y	Z	X	Y	X	X
İvme [m/s^2]	0.30	0.43	0.72	0.49	0.45	0.68	0.06	0.03
Hız [mm/s]	0.97	1.39	2.18	0.44	0.57	2.21	0.10	0.09

NM3 için en yüksek titreşim seviyeleri 0.7 m/s^2 ve 2.2 mm/s olarak ölçülmüştür. Kompresörden şasiye titreşim geçirgenliği - A1'in A3'e bölümü ile- titreşim ivmesi için 0.42, titreşim hızı için 0.44 bulunmuştur. Titreşim geçirgenlik oranlarına bakıldığında, kompresörün ayaklarında kullanılan titreşim izolatörlerinin etkin olduğu görülmektedir. A3 ve A6 konumlarındaki (kompresör üzerindeki) titreşimler yüksektir. Ayrıca diğer numunelerle kıyaslandığında A1 ve A2 (şasi üzerindeki) titreşimleri daha yüksektir.

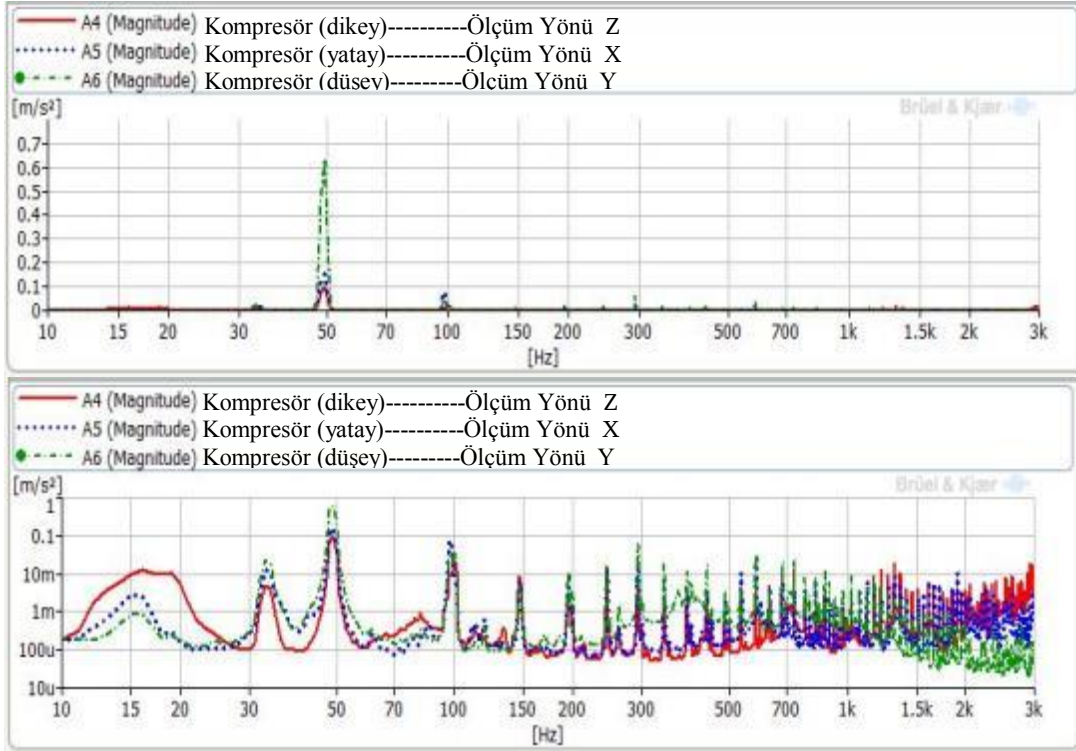


Şekil 2.30: NM4 için toplam titreşim ivme (üstte) ve hız (altta) seviyeleri.

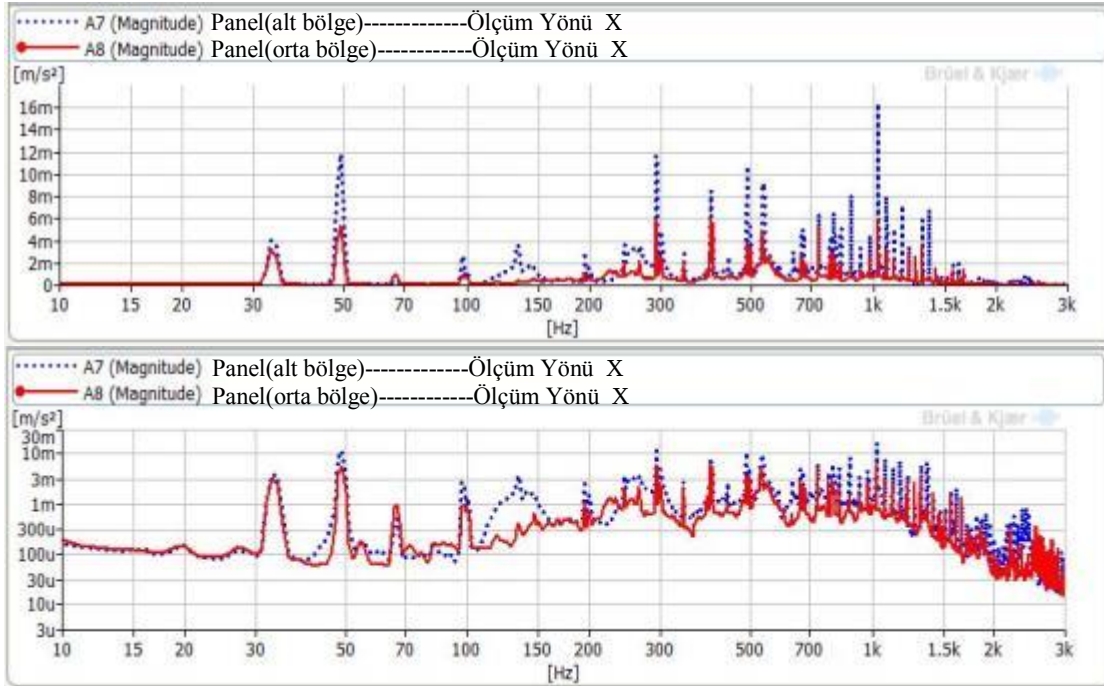
Tüm sinyaller için FFT spektrumları Şekil 2.31, Şekil 2.32 ve Şekil 2.33 ile lineer ve logaritmik skalalarda gösterilmiştir. A1-A8 sensörleri için titreşim tepe değerlerinin kompresör kaynaklı 50 Hz'de olduğu görülmüştür. A7 ve A8 sensörlerinde 1024 Hz'de oldukça yüksek tepe değeri vardır. 50 Hz ve harmonikleri, hem kompresör grubunda hem de yan panellerde oldukça baskındır. Diğer yandan 33 Hz, 2x33 Hz, 3x33 Hz, 4x33 Hz, 6x33, 8x33 Hz vb. harmoniklerinde A7 ve A8 sensörlerinde tepeler görülmüştür. 17 ve 19 Hz civarlarındaki ufak tepelerin ise kompresör-şasi grubunun doğal frekansları olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 2.31: NM4 - A1, A2 ve A3 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).



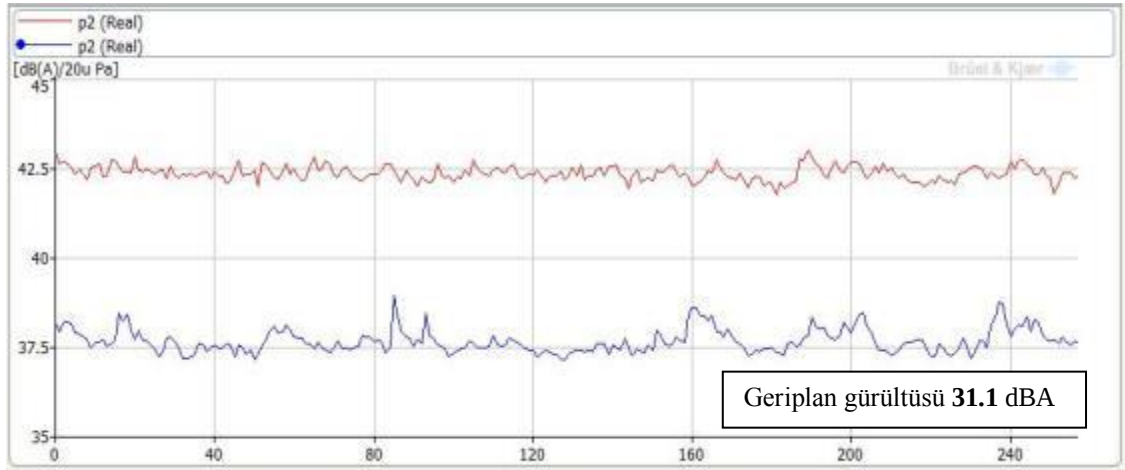
Şekil 2.32: NM4 - A4, A5 ve A6 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).



Şekil 2.33: NM4 - A7 ve A8 sensörleri için titreşim ivme frekans spektrumu, lineer skala (üstte), logaritmik skala (altta).

Ölçümler sırasında NM4'ün fanı belirli periyotlarda durma konumuna geçmiştir. Fan sesinin oldukça baskın olduğu gözlemlenmiştir. Fan sesinin toplam ses gücüne ne denli katkıda bulunduğunu tespit edebilmek için fan çalışır ve çalışmaz durumlarda

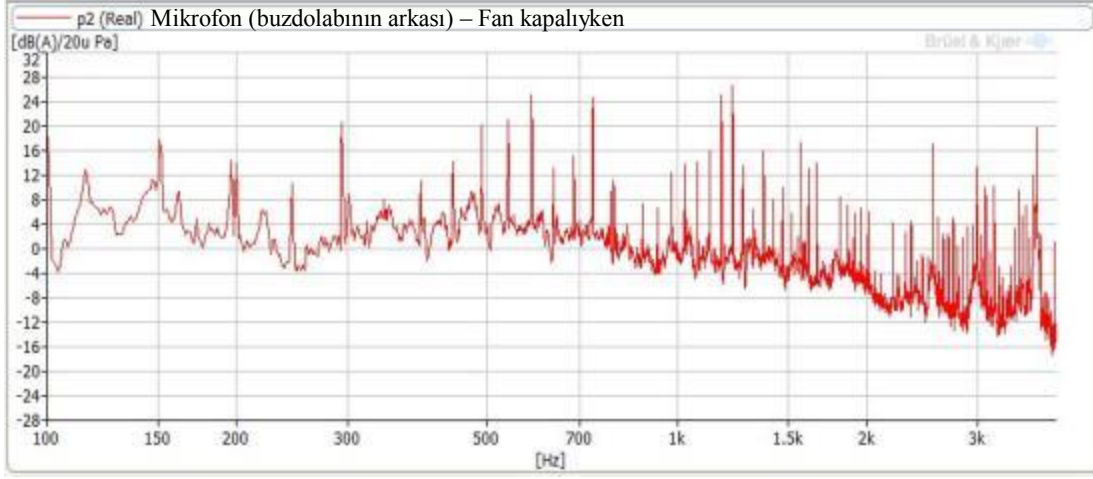
ölçümler yapılmıştır. Buzdolabının arkasında ölçülen ses basınç seviyesi (SPL)’nin zamana bağlı değişimi, fanın hem açık hem kapalı durumları için Şekil 2.34 ile verilmiştir. Ortalama SPL, fan açık durumda iken 42.1 dBA fan kapalı durumda iken 36.5 dBA ölçülmüştür. Fanın açık ve kapalı olduğu durumlar arasındaki SPL farkı 5.6 dBA’dır. Fanın açık/kapalı durumları için elde edilen ses basıncı frekans spektrumları Şekil 2.35, Şekil 2.36 ve Şekil 2.37 ile gösterilmiştir. Görüleceği üzere 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz vb. frekanslarda fanın her iki durumunda da tepeler mevcuttur. Fan açık konumda olduğunda ise $4 \times 33 = 132$ Hz, $8 \times 33 = 264$ Hz vb. harmoniklerinde tepeler ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.37’ye göre fanın çalışması yüksek frekanslarda (1.5 kHz’e kadar) gürültüye katkı koymaktadır.



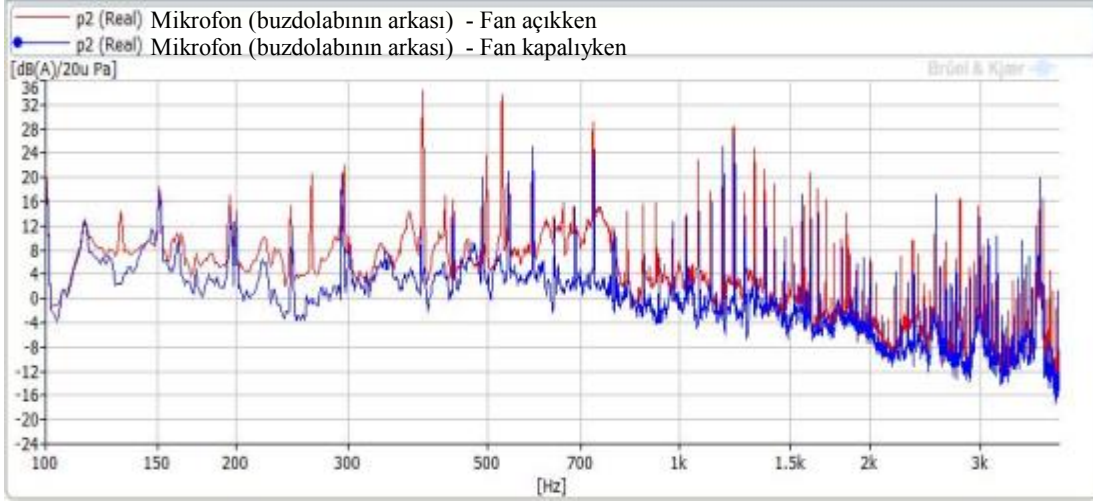
Şekil 2.34: NM4 için fanın açık ve kapalı durumlarında P2 (arka mikrofona) zamana bağlı toplam ses seviyesi (dBA).



Şekil 2.35: NM4 için P2 (arka mikrofona) frekans spektrumu (dBA), fan AÇIK konumdayken.



Şekil 2.36: NM4 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumu (dBA), fan KAPALI konumdayken.

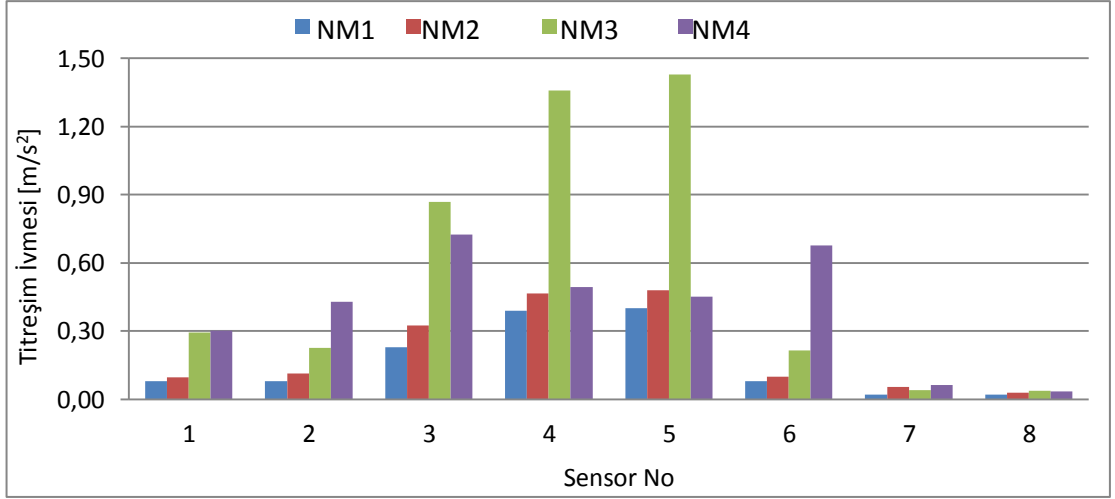


Şekil 2.37: NM4 için P2 (arka mikrofon) frekans spektrumları (dBA), fanın açık ve kapalı durumlarının karşılaştırması.

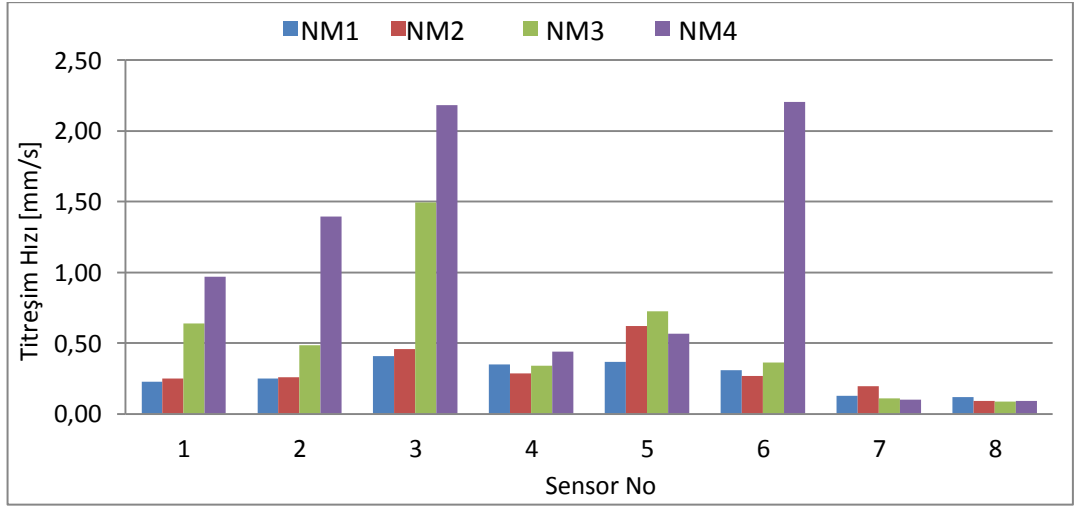
NM4'ün, diğer üç numuneye göre daha yüksek gürültü ve titreşim düzeylerinde çalıştığı tespit edilmiştir. Özellikle kompresör titreşimleri oldukça yüksektir. Diğer yandan, çalışma esnasında numuneden çıkartı sesleri geldiği görülmüş, bu durumun defrost aşamasındaki termal genleşmelerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ancak bu çıkartılar “anlık” olarak değerlendirilebilecek, zamansal olarak çok kısa süreye sahip sesler oldukları için toplam ortalama ses gücüne katkıları zayıf olmaktadır.

2.1.4 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

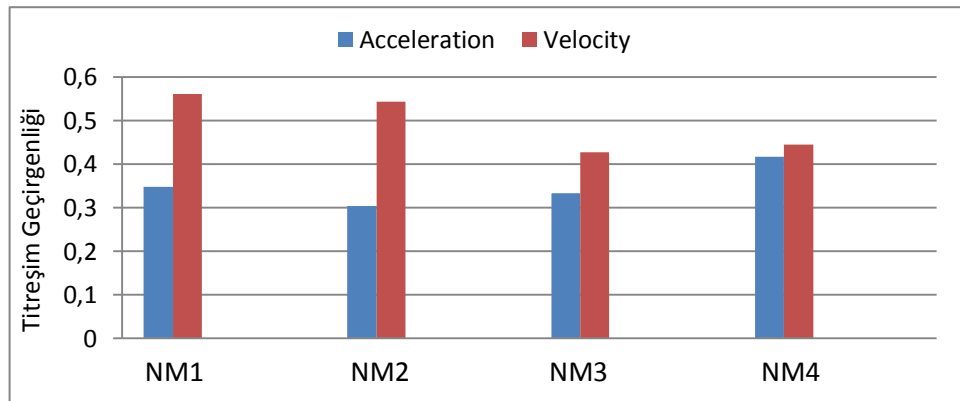
Her dört buzdolabına ait toplam titreşim seviyeleri, spektrumları ve titreşim/gürültü seviye ilişkileri bu bölümde karşılaştırılmıştır. Toplam titreşim seviyeleri karşılaştırmaları Şekil 2.38, Şekil 2.39 ve Şekil 2.40 ile verilmiştir.



Şekil 2.38: Toplam titreşim ivme seviyeleri karşılaştırma grafiği.

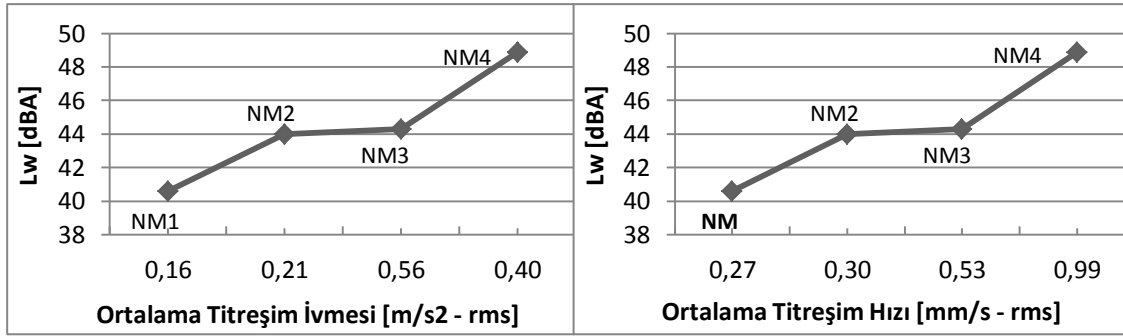


Şekil 2.39: Toplam titreşim hız seviyeleri karşılaştırma grafiği.



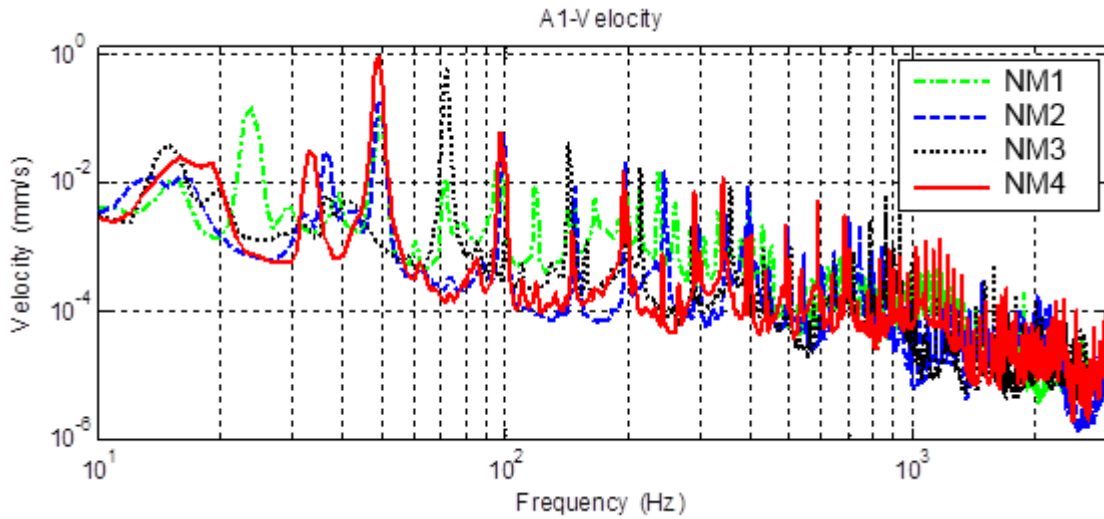
Şekil 2.40: Kompresör ayaklarındaki titreşim geçirgenliklerinin karşılaştırma grafiği (titreşim ivmeleri ve hızları üzerinden).

Daha sonra Bölüm 2.3'te ele alınacak olan ses gücü ölçümlerinin sonuçları ile, titreşimin bu ses gücü seviyeleri ile ne derece ilişkili olduğu Şekil 2.41 ile gösterilmiştir.

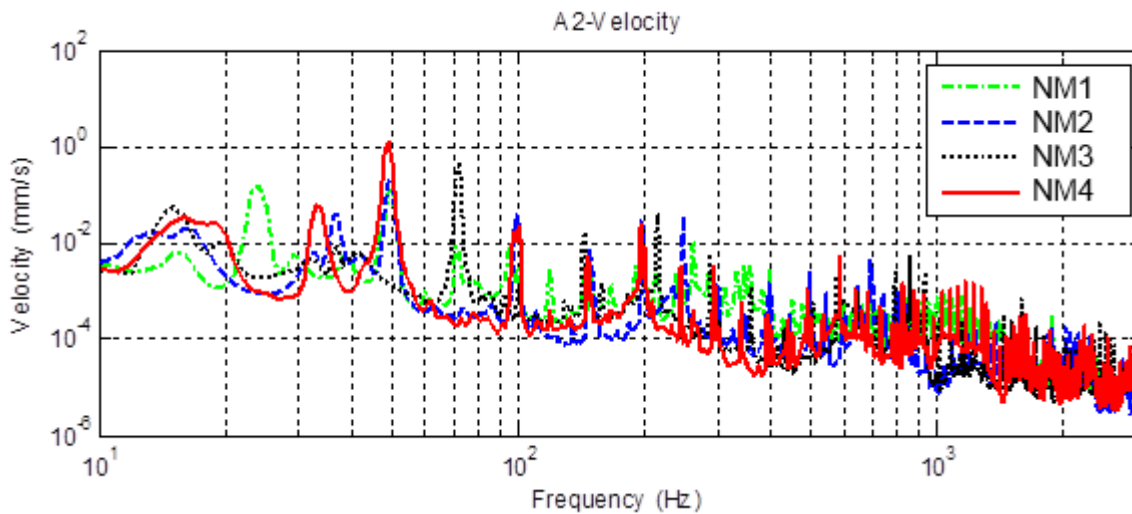


Şekil 2.41: Ses gücü seviyeleri (Lw) – Titreşim seviyeleri karşılaştırması: titreşim ivmesine göre (solda), titreşim hızına göre (sağda).

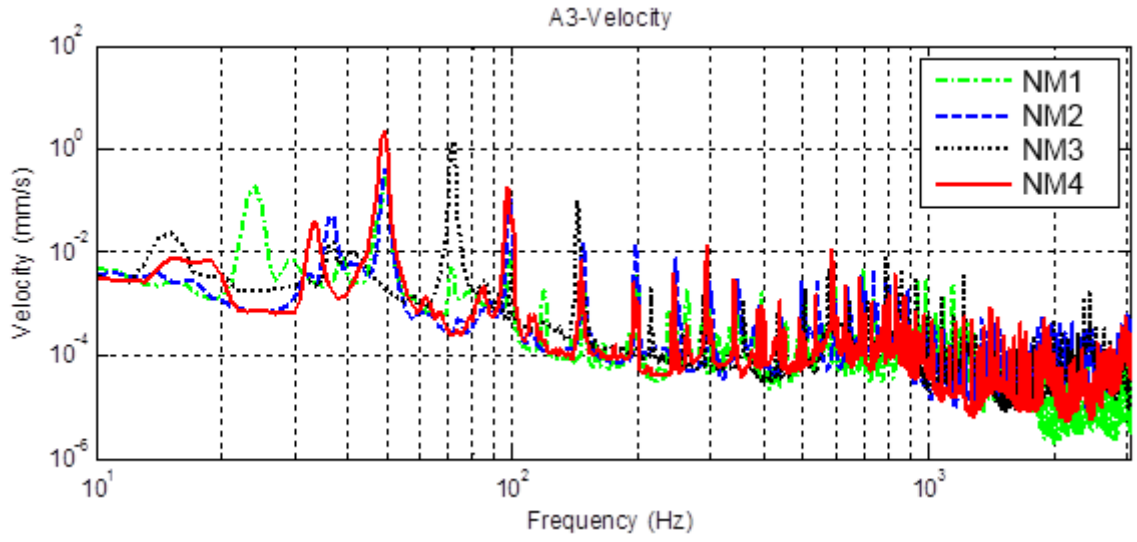
Şekil 2.42 ila Şekil 2.49 grafikleri, titreşim frekans spektrumlarının karşılaştırılması amacıyla her sensör konumu için ayrı ayrı oluşturulmuştur.



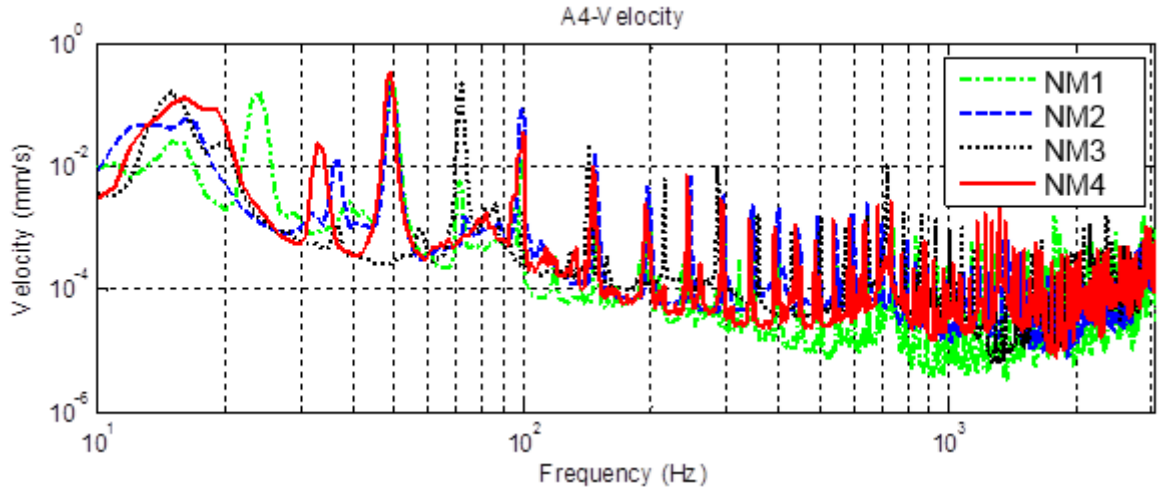
Şekil 2.42: A1 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



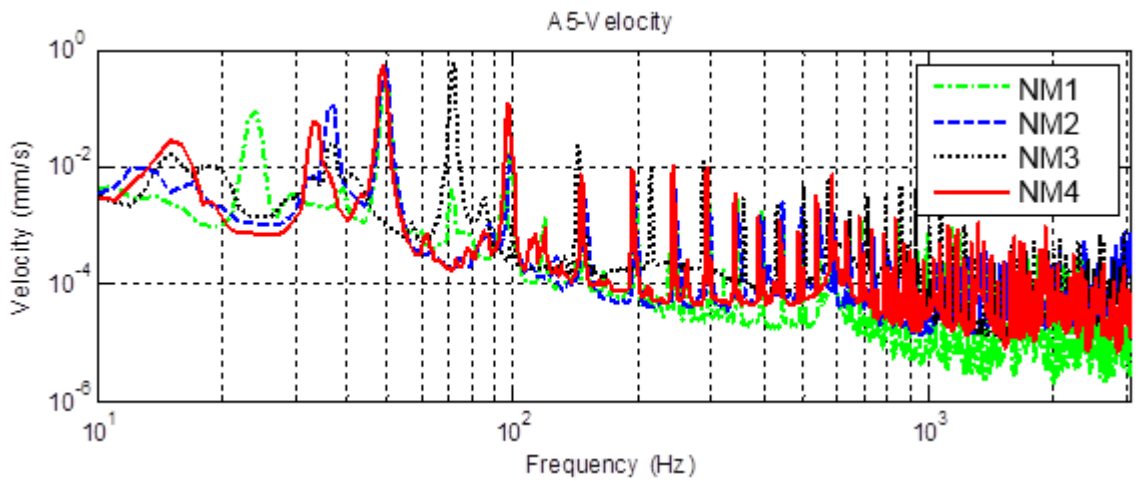
Şekil 2.43: A2 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



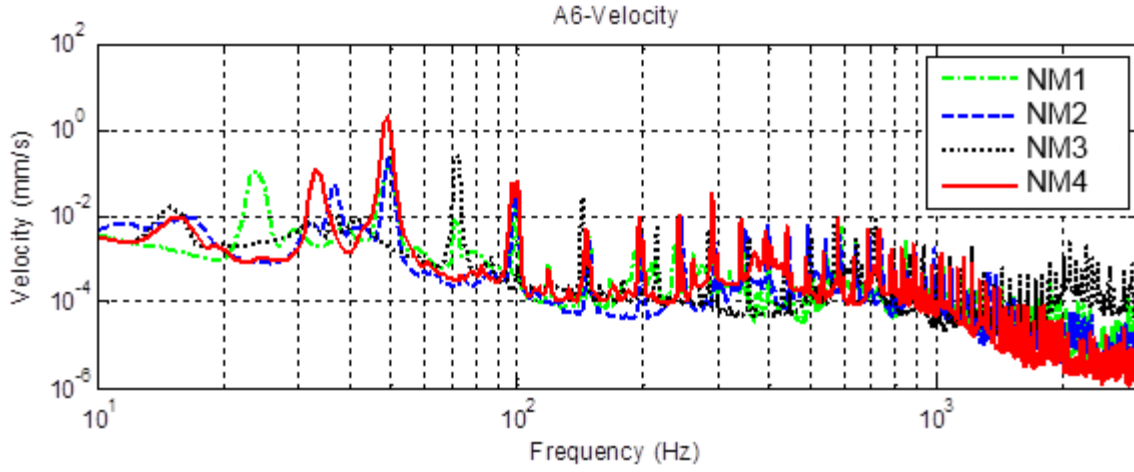
Şekil 2.44: A3 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



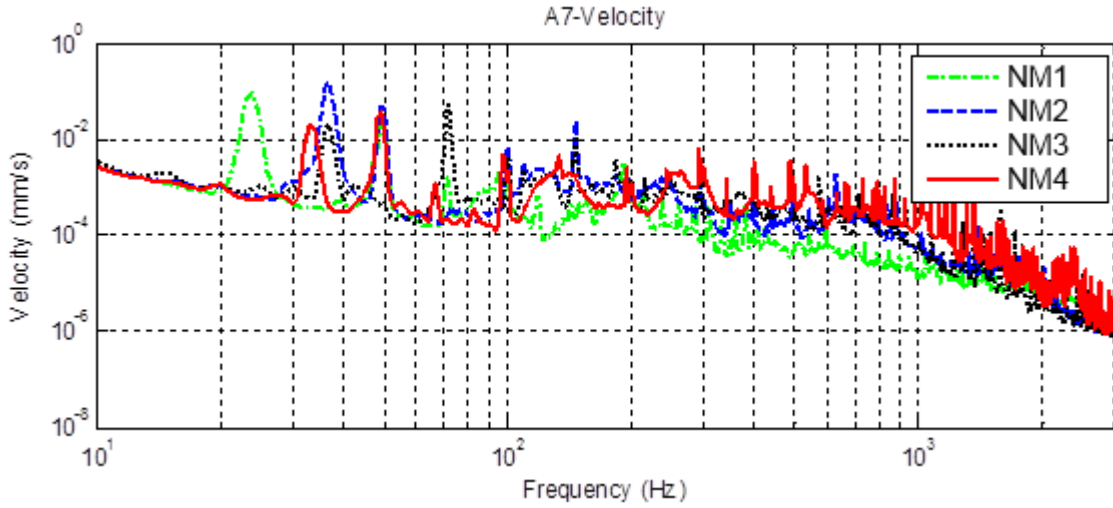
Şekil 2.45: A4 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



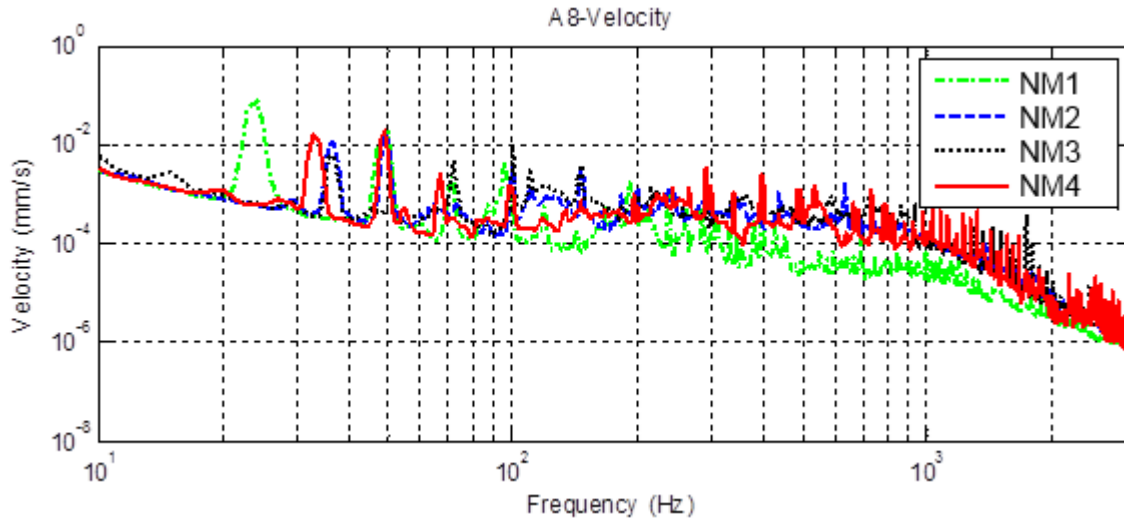
Şekil 2.46: A5 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.47: A6 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.

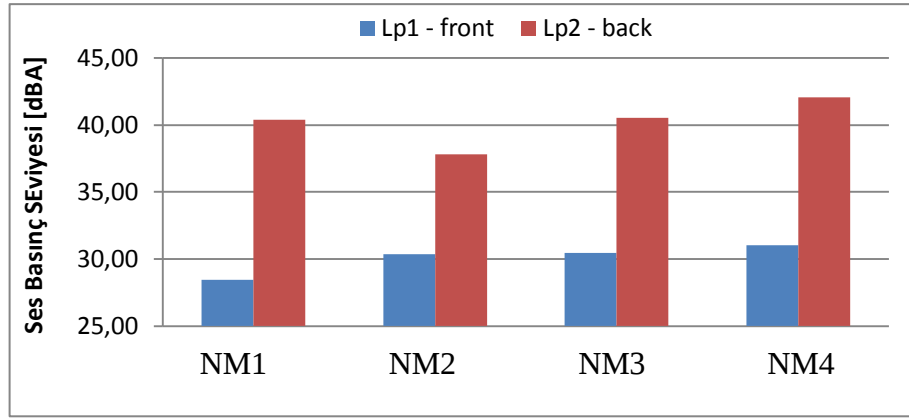


Şekil 2.48: A7 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.49: A8 sensör konumunda titreşim hızı spektrumlarının karşılaştırma grafiği.

Buzdolaplarının önünde (P1) ve arkasında (P2) konumlandırılmış mikrofonlardan ölçülen toplam SPL değerleri Şekil 2.50 ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.50: Buzdolaplarının önünde ve arkasında ölçülmüş toplam ses basınç seviyelerinin karşılaştırma grafiği.

2.2 Alt Komponentler Üzerinde Yapılan Ölçümler

Bu bölümde buzdolaplarının bazı alt komponentleri üzerinde FRF (Frekans Cevap Fonksiyonu) ölçümleri yapılmıştır.

2.2.1 Frekans tepki fonksiyonlarının ölçümü

FRF ölçümleri ilk olarak NM4'e ait şasi üzerinde, gerçek sınır koşulları altında (buzdolabına monte şekilde) yapılmış ve doğal frekansları, mod şekilleri ve ilgili sönüm oranları belirlenmiştir. NM2, NM3 ve NM4'ün hepsinde aynı şasi kullanılmaktadır. Bu şasilerin bir tanesi üzerinde serbest sınır koşulları altında bu FRF ölçümleri tekrarlanmıştır. Diğer yandan, NM4 buzdolabının kompresörünün üst kabuğunda da FRF ölçümleri yapılarak kabuğun modal yapısı belirlenmiştir [11; 12]. Kabuğun üzerine piyasadan temin edilen birkaç sönümleyici malzeme yapıştırılarak, uygulanan sönümün verimliliği değerlendirilmiştir.

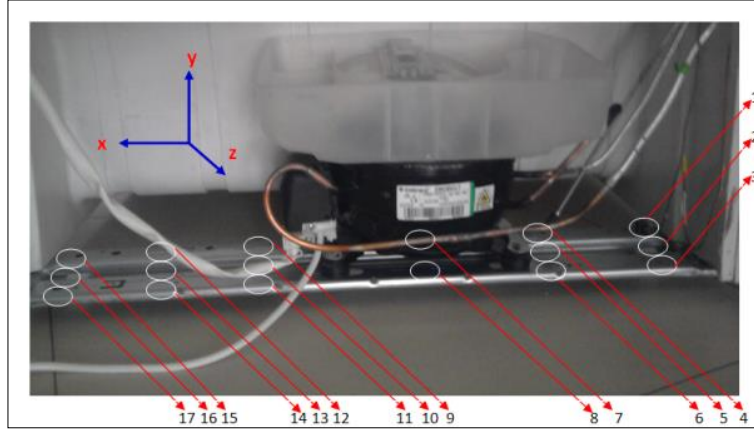
2.2.1.1 NM4'e ait kompresör-şasi grubu

Ölçümün yapılış şekline ait bir görünüş Şekil 2.51 ile verilmiştir.



Şekil 2.51: NM4 kompresör şasi grubunun FRF ölçümüne ait bir görüntü.

Ölçüm noktaları ve yönleri Şekil 2.52’de görülmektedir.



Şekil 2.52: Kompresör-şasi grubu FRF ölçüm noktaları ve ölçüm eksenleri.

Yapı, şekilde görülen 12. noktadan çekiçle tahrik edilmiş ve yapının cevabı 17 noktadan ivmeölçerlerle eşzamanlı olarak ölçülmüştür.

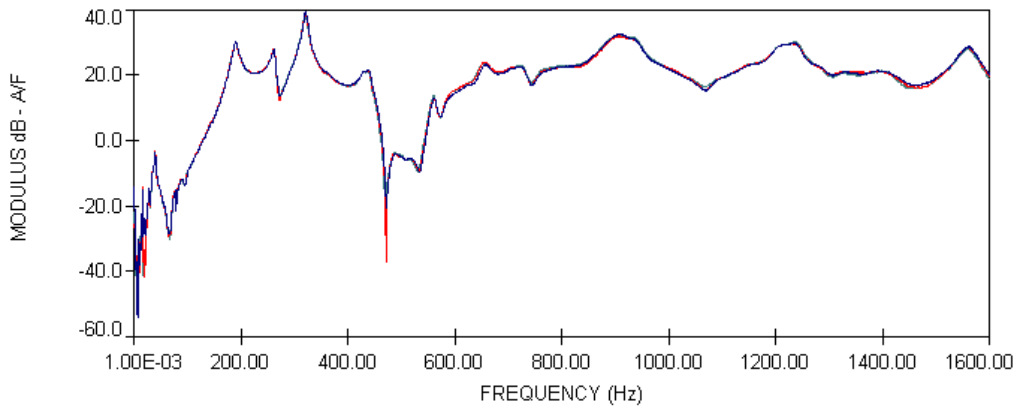
Ölçüm ekipmanına ve ölçüm parametrelerine ait bilgiler Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11’de yer almaktadır.

Çizelge 2.10: Ölçüm ekipmanı.

Çok kanallı analizör	Brüel & Kjaer	3560-D
İvmeölçer	Brüel & Kjaer	4507 B
Modal çekiç	Endevco	2302-10
İvmeölçer kalibratörü	Brüel & Kjaer	4294

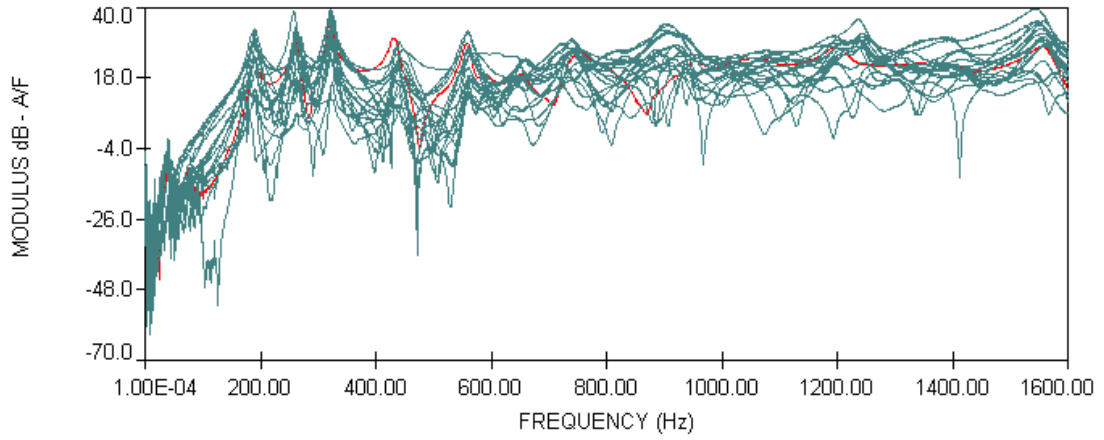
Çizelge 2.11: Ölçüm parametreleri.

Frkans aralığı [Hz]	1-1600
Ölçüm periyodu [s]	1.0
Frekans çözünürlüğü [Hz]	1.0
Spektrum ortalama sayısı	3



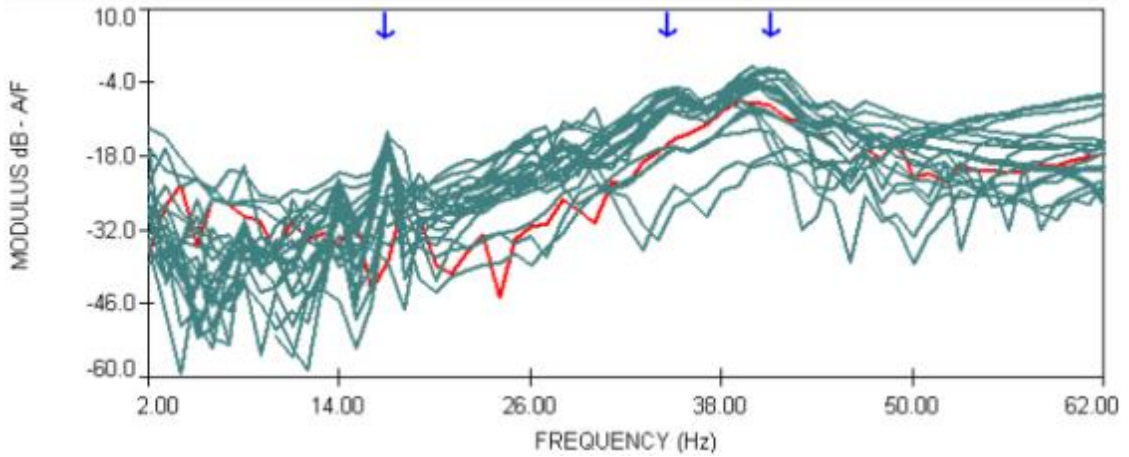
Şekil 2.53: FRF ölçümünün tekrarlanabilirliği üzerine bir örnek.

Testin tekrarlanabilirliğinin kontrol edilmesi amacıyla; 12. noktadan tahrik ve 4. noktadan cevap şeklinde alınan FRF ölçümlerinin grafiği Şekil 2.53 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.54: Yapı üzerinde ölçülen FRF'ler.

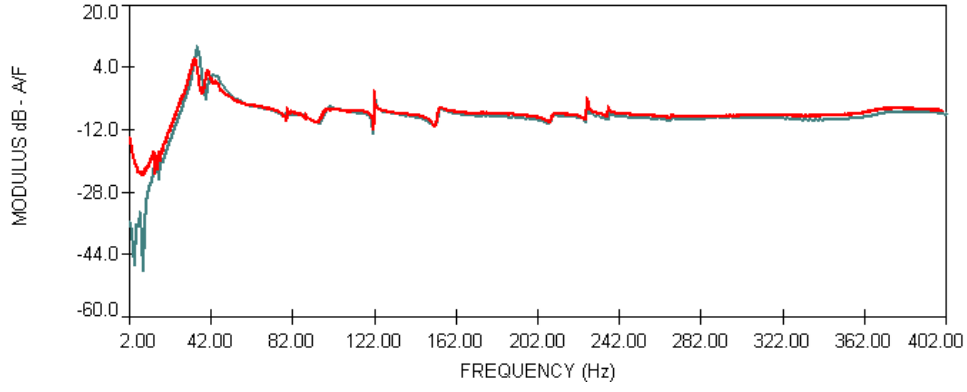
Şekil 2.54'te görülen yapıya ait FRF'lerin düşük frekanstaki değerlerini daha rahat görebilmek amacıyla 62 Hz'e kadar olan bölgeye yakınlaştırılmış hali Şekil 2.55 ile verilmiştir.



Şekil 2.55: Yapıya ait düşük frekanslardaki frekans cevap fonksiyonları.

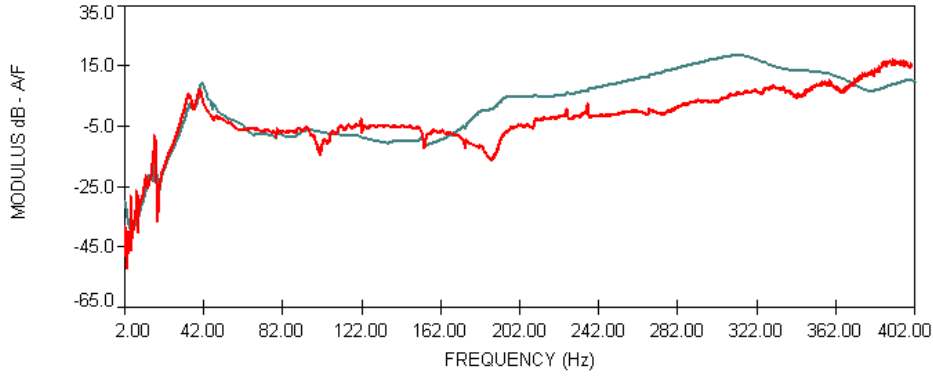
Bu frekans cevap fonksiyonlarının, şasinin yan panellere montajlı olduğu ve kompresörün de şasinin üzerinde bulunduğu durumda ölçüldüğü hatırlanırsa; kompresör ve bileşenlerine ait alt sistemlerin modal özelliklerinin de bu grafiklere yansması ihtimal dahilindedir. Dolayısıyla bu FRF'lerde kompresöre ait doğal frekanslar da mevcut olabilir. Bu doğrultuda düşük frekanslardaki tepkilerin daha iyi incelenmesi için yukarıdakilere ilave olarak aşağıdaki testler yapılmıştır.

- Kompresör grubu X ekseninde tahrik edilerek yine X ekseninde şasi grubundan elde edilen sinyaller ile FRF ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.56: Kompresör X yönünde tahrik edildiğinde X yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.

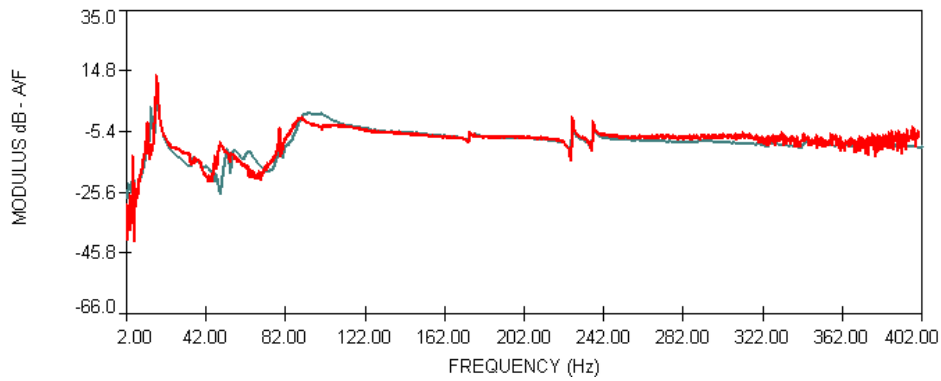
- Kompresör grubu Y ekseninde tahrik edilerek yine Y ekseninde şasi grubundan elde edilen sinyaller ile FRF ölçümü yapılmıştır.



Şekil 2.57: Kompresör Y yönünde tahrik edildiğinde Y yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.

Şekil 2.57 ile kompresörün veya alt parçalarının Y yönünde (yukarı aşağı) hareketinden kaynaklanan 40 Hz civarındaki doğal frekansı görülmektedir.

- Kompresör grubu Z ekseninde tahrik edilerek yine Z ekseninde şasi grubundan elde edilen sinyaller ile FRF ölçümü yapılmıştır.



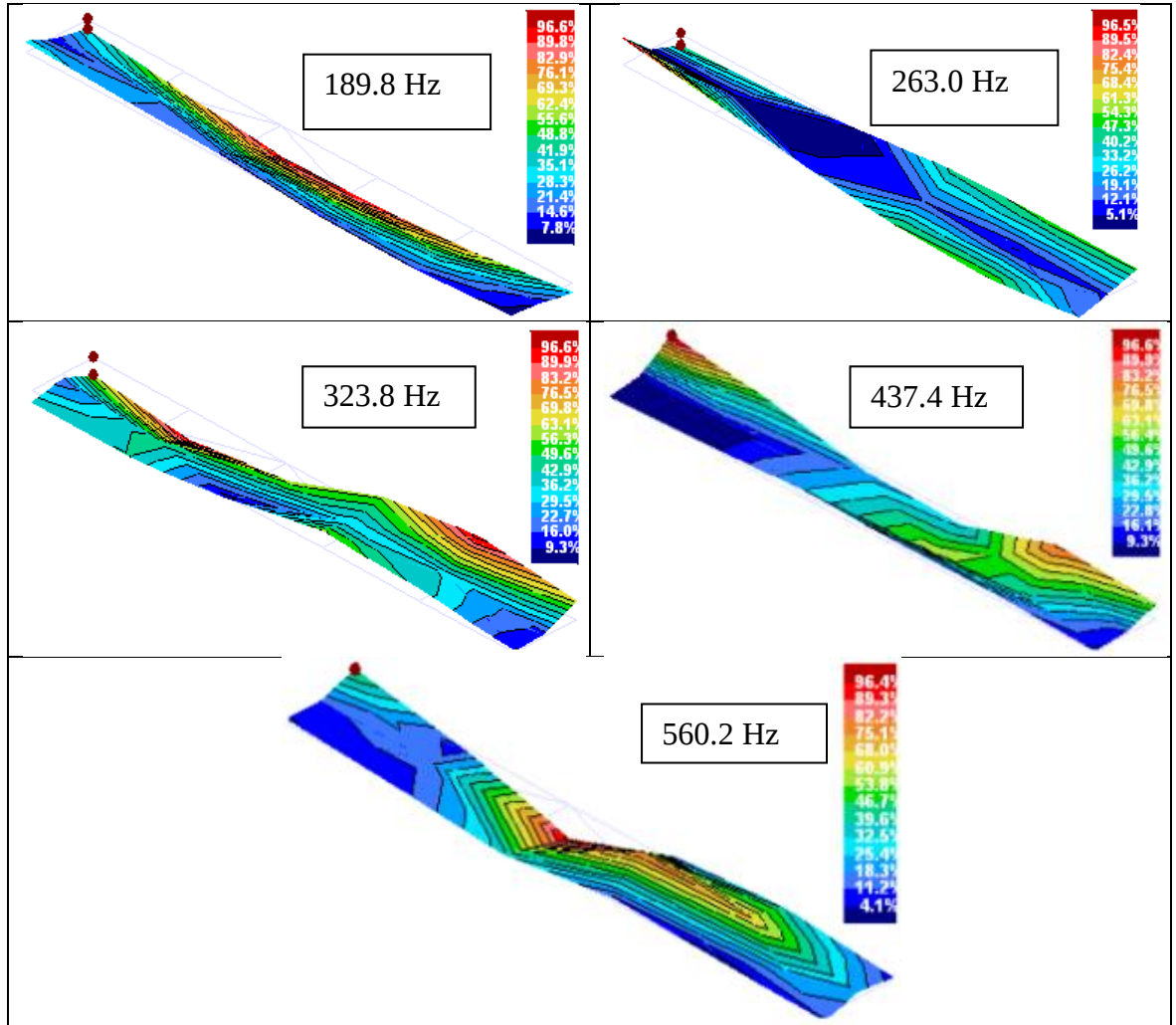
Şekil 2.58: Kompresör Z yönünde tahrik edildiğinde Z yönünden alınan cevaplarla elde edilen iki FRF.

Şekil 2.58'de ise 17.1 Hz'deki kompresör kaynaklı doğal frekans görülmektedir. Kompresörün Z ekseninde (ileri geri) hareketiyle şasiyi burmaya zorlayan modu ise kabaca 4.8 Hz olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.12: Doğal frekanslar ve modal sönüm faktörleri.

Mod Sırası	f [Hz]	η [%]
1	17.1	3.3
2	35.1	6.8
3	40.0	7.2
4	189.8	5.7
5	263.0	3.1
6	323.8	2.6
7	437.4	3.8
8	560.2	2.5

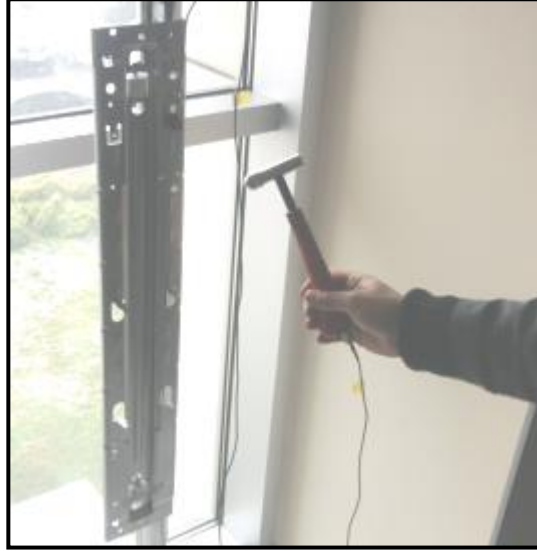
Şasinin kompresör kafa vurma hareketleri ile doğrudan ilişkili ilk üç moddan sonraki ilk beş moda ait mod biçimleri Şekil 2.59 ile gösterilmiştir.



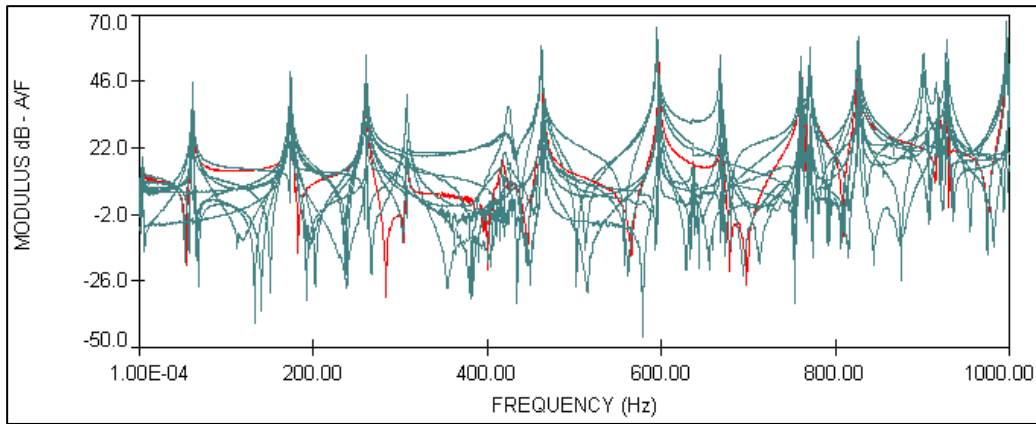
Şekil 2.59: İlk beş moda ait mod şekilleri.

2.2.1.2 Şasi

NM4'e ait şasinin doğal frekanslarını, mod biçimlerini ve sönüm oranlarını belirlemek üzere yapı üzerinde FRF ölçümleri yapılmıştır. Yapı, 20 cm uzunluğunda bir ip ile asılarak serbest sınır şartı taklit edilmiştir. Deneyin yapılışına ait bir görüntü Şekil 2.60 ile, ölçüm parametreleri ise Çizelge 2.13 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.60: Şasi üzerinde FRF ölçümüne ait bir fotoğraf.



Şekil 2.61: Şasiden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.

Çizelge 2.13: Ölçüm parametreleri.

Frekans aralığı [Hz]	1-1000
Ölçüm periyodu [s]	6.4
Frekans çözünürlüğü [Hz]	0.1563
Spektrum ortalama sayısı	3

Yapıdan elde edilen doğal frekanslar ve modal sönüm faktörleri Çizelge 2.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.14: Şasiye ait ilk dört doğal frekans ve modal sönüm faktörleri.

Mod	f [Hz]	η [%]
1	61.1	0.81
2	173.8	0.30
3	260.9	0.21
4	307.4	0.24

2.2.1.3 Kompresör üst kabuğu

Daha önceki bölümlerde, buzdolabının çeşitli konumlarından alınan titreşim ve gürültü spektrumları elde edilmiştir. Bu spektrumlar kompresör çalışma frekansı ve harmoniklerindeki bileşenleri beklediği üzere fazlasıyla içeriyordu. Kompresör kaynaklı bu gürültü bileşenlerinin havaya (ve dolayısıyla kullanıcıya) yayılmasında katkısı bulunan yüzeylerden biri de kompresörün üst kabuğudur. Bu amaçla NM4'e ait kompresörün üst kabuğu üzerinde FRF ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler, yapının sönüm elemanlı ve sönüm elemansız durumları için ayrı ayrı yapılmış, kullanılan sönüm elemanlarının verimliliği değerlendirilmiştir.

Ölçüme ait deney düzeneği Şekil 2.62 ile, ölçüm parametreleri ise Çizelge 2.15 ile verilmiştir.



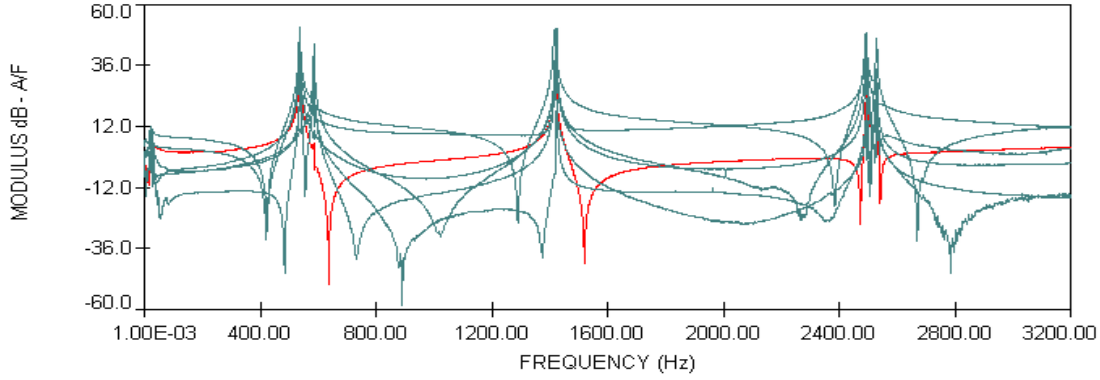
Şekil 2.62: Kompresör üst kabuğu FRF ölçüm düzeneği.

Çizelge 2.15: Ölçüm parametreleri.

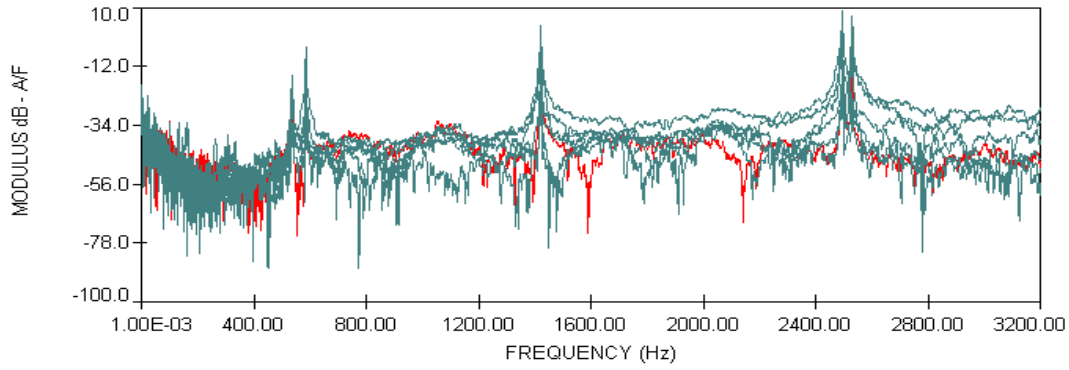
Frekans aralığı [Hz]	1-3200
Ölçüm periyodu [s]	1
Frekans çözünürlüğü [Hz]	1
Spektrum ortalama sayısı	3

Kompresör 10 cm uzunluğunda ip ile asılarak, neredeyse serbest sınır şartları sağlanmıştır. Yapı, bir modal çekiç ile tahrik edilerek, yapının üzerindeki bir

ivmeölçer ve yapıya 50 cm. uzaklıktaki bir mikrofondan titreşim ve gürültü sinyalleri ölçülmüştür. Modal çekicin, yapının çeşitli yerlerinde gezdirilerek elde edilen FRF'ler Şekil 2.63 ve Şekil 2.64 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.63: Kompresör üst kabuğunda elde edilen frekans cevap fonksiyonları.



Şekil 2.64: Kompresör üst kabuğunda ses basıncı üzerinden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.

Frekans cevap fonksiyonlarına bakıldığında yapılabilecek ilk gözlemlerden biri, doğal frekanslardaki tepelerin oldukça keskin olmasıdır. Burada not olarak, Şekil 2.63'te görülen çok düşük frekanslardaki ilk modun katı cisim hareket modunu gösterdiğini belirtmekte fayda vardır. Diğer yandan, mikrofona tabanlı FRF ile ivmeölçer tabanlı FRF oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

İlk 6 mod için doğal frekans ve sönüm faktörleri Çizelge 2.16 ile gösterilmiştir

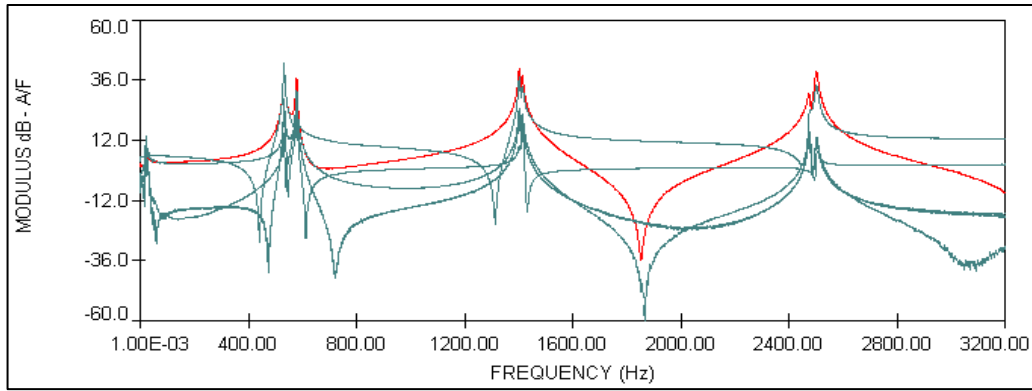
Çizelge 2.16: Kompresör üst kabuğunun ilk dört doğal frekansı ve modal sönüm faktörü.

Mod	f [Hz]	η [%]
1	537.5	0.33
2	585.7	0.28
3	1420.2	0.13
4	1425.1	0.14
5	2492.9	0.13
6	2529.0	0.10

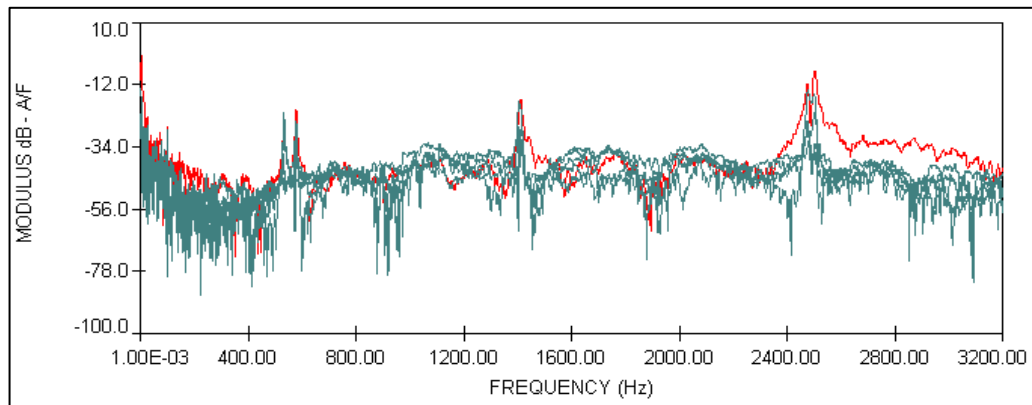
FRF testleri, kompresör dış kabuğuna sönüm elemanı uygulanarak tekrarlanmıştır. Kullanılan sönüm malzemesi 5x20 cm boyutlarında, 1.5 mm kalınlığındadır. İvmeölçer ve mikrofon tabanlı elde edilen FRF'ler Şekil 2.65 ve Şekil 2.66 ile sırasıyla verilmiştir. Şekil 2.65'teki FRF'lerin modal analizi sonucunda elde edilen ilk 6 doğal frekans ve sönüm faktörleri ise Çizelge 2.17 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.65: Visko-elastik bir sönümleyici malzeme ile kaplanmış kompresör üst kabuğu.



Şekil 2.66: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda elde edilen frekans cevap fonksiyonları.



Şekil 2.67: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda ses basınçları üzerinden elde edilen frekans cevap fonksiyonları.

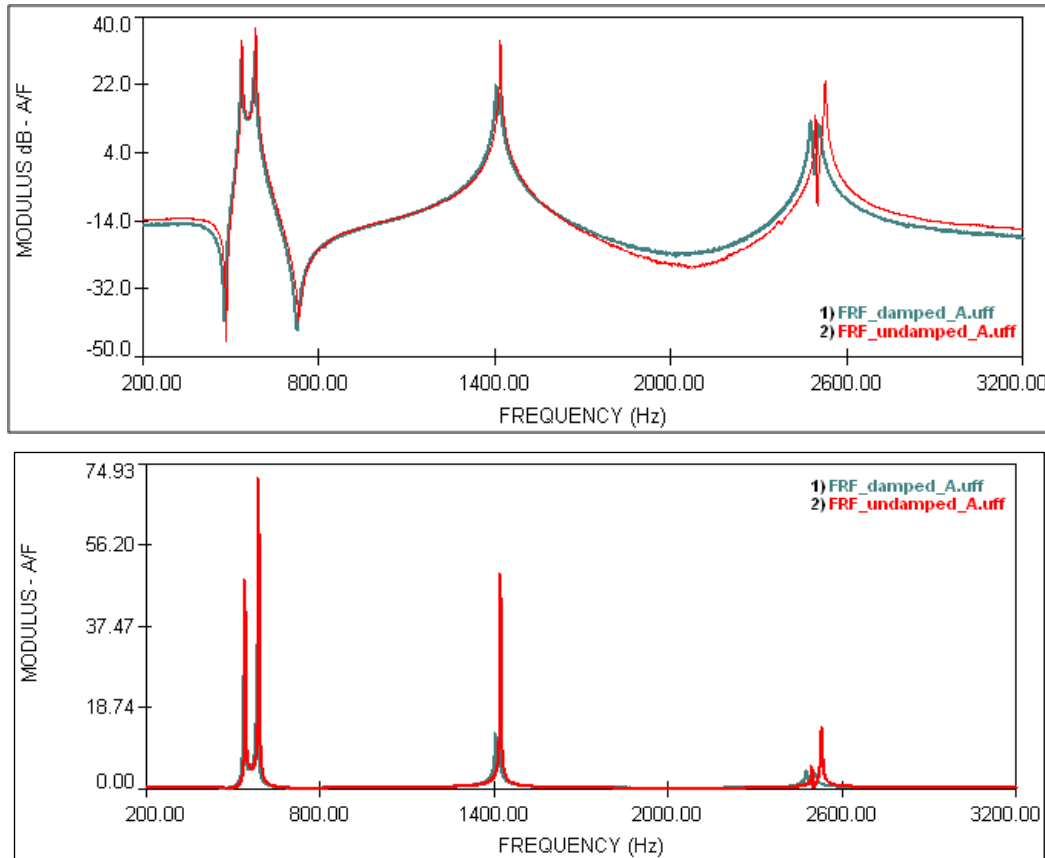
Yukarıdaki frekans cevap fonksiyonlarına göre, sönüm elemanı olmadan yapılan teste kıyasla tepelerin biraz daha yumuşak olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.17: Visko-elastik malzeme yerleştirilmiş kompresör üst kabuğunda elde edilen ilk altı doğal frekans ve modal sönüm faktörleri.

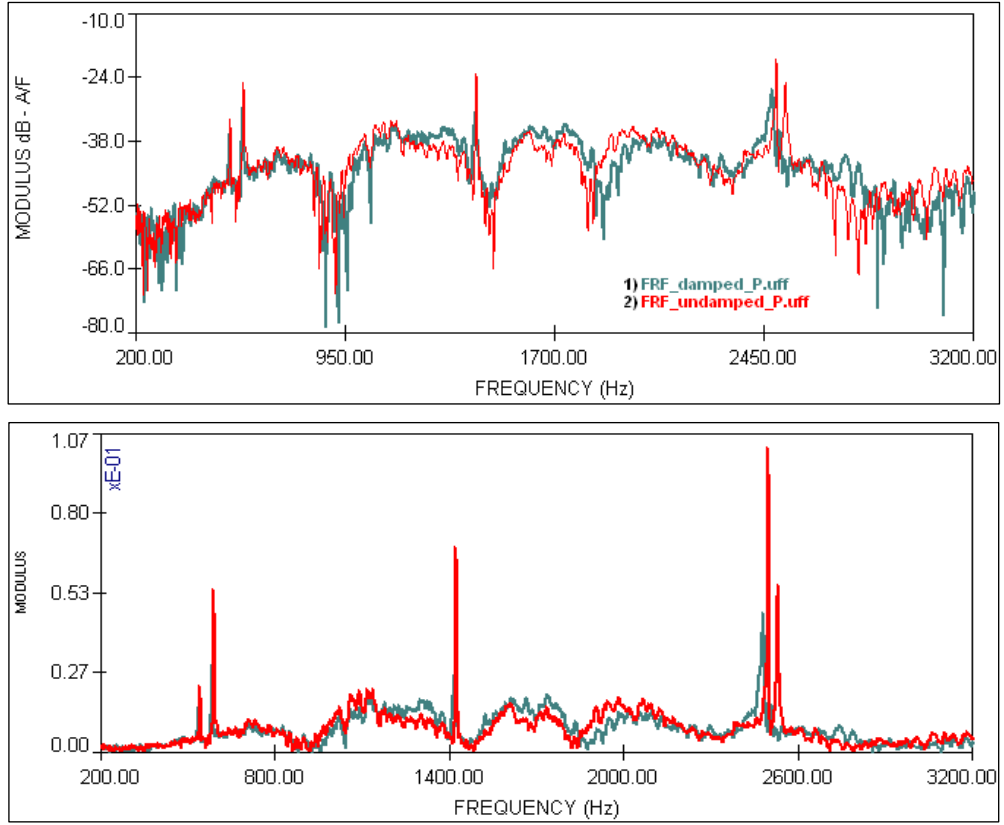
Mod	f [Hz]	η [%]
1	532.1	0.59
2	578.3	0.58
3	1403.0	0.40
4	1413.3	0.55
5	2475.9	0.35
6	2502.3	0.38

Çizelge 2.17'deki sönüm elemanı uygulanmış yapıya ait sönüm oranları, sönüm elemanı uygulanmamış yapınının yaklaşık 2-3 katıdır.

Sönümlü ve sönümsüz durumlar için, öylesine bir noktada elde edilen FRF'lerin karşılaştırma grafiği Şekil 2.68 ve Şekil 2.69 ile verilmiştir. Bu grafikler, sönüm elemanı uygulamasının titreşim ve dolayısıyla ses seviyelerini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

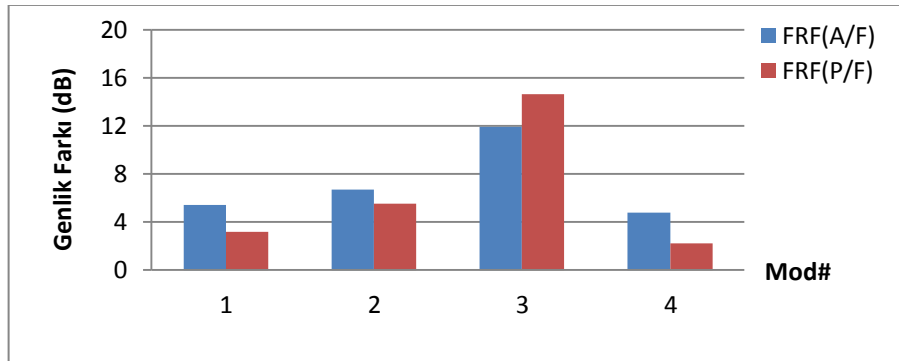


Şekil 2.68: Sönümlü/sönümsüz durumlarda elde edilen FRF'lerin karşılaştırılması, logaritmik skala (üstte), lineer skala (altta).



Şekil 2.69: Sönümlü/sönümsüz durumlarda ses basınçları üzerinden elde edilen FRF'lerin karşılaştırılması, logaritmik skala (üstte), lineer skala (altta).

Sönümlü durum ile sönümsüz durum arasındaki genlik farklarının, modlara göre ayrıştırılmış grafiği Şekil 2.70'te gösterilmiştir. Burada örneğin mikrofon tabanlı FRF'lerin 3. modunda, sönümlü ve sönümsüz durumlarda 15 dB'lik bir fark elde edilmiştir. Aynı modun ivmeölçer ile alınan FRF'inde ise 12 dB'lik bir düşüş sağlanmıştır.



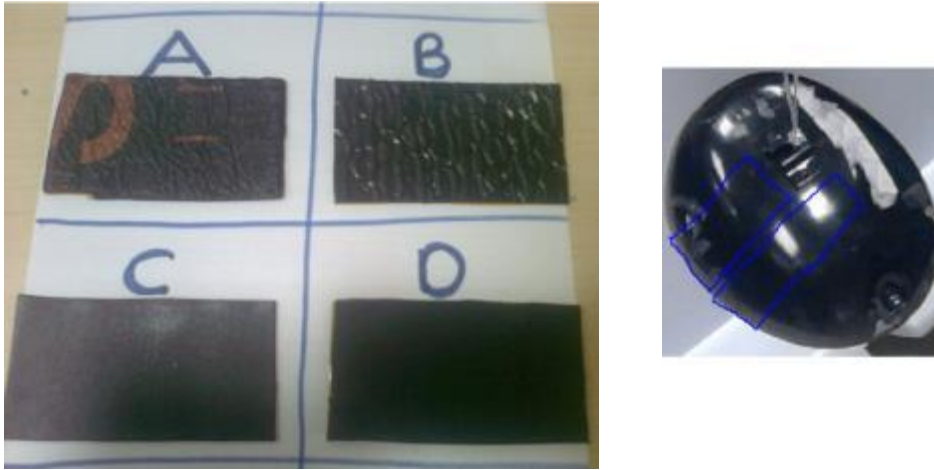
Şekil 2.70: Titreşimden elde edilen FRF (A/F) ile ses basıncından elde edilen FRF (P/F)'in ilk dört moddaki büyüklüklerinin karşılaştırması.

Bu basit deney, buzdolaplarının kompresör dış kabuklarında –güvenlik ve verim kriterleri de göz önünde bulundurularak- sönüm elemanı kullanılmasının faydalı olduğunu göstermektedir. Ancak bu uygulamanın en fazla doğal frekansa yakın

bölgelerde faydalı olacağı; ayrıca elde edilecek sönüm seviyelerinin frekansa ve sönüm malzemesinin uygulanış şekline bağlı olarak değişeceği unutulmamalıdır [13; 14].

2.2.1.4 Kompresör dış kabuğu için sönüm malzemesi seçimi

Kompresör üst kabuğuna yerleştirmek için uygun bir sönüm malzemesi seçebilmek amacıyla, dört farklı sönüm elemanı kompresör dış kabuğu üzerine yerleştirilmiş ve FRF testleri uygulanmıştır (Şekil 2.71 ve Şekil 2.72). Sönüm malzemeleri A, B, C ve D olarak adlandırılmıştır. Kalınlıkları sırasıyla 2.5, 1.8, 1.7 ve 3.2 mm olarak ölçülmüştür. Sönüm elemanları kompresör kabuğunun üzerine 50 x 80 mm ve 40 x 110 mm olmak üzere iki yama şeklinde yapıştırılarak uygulanmıştır.

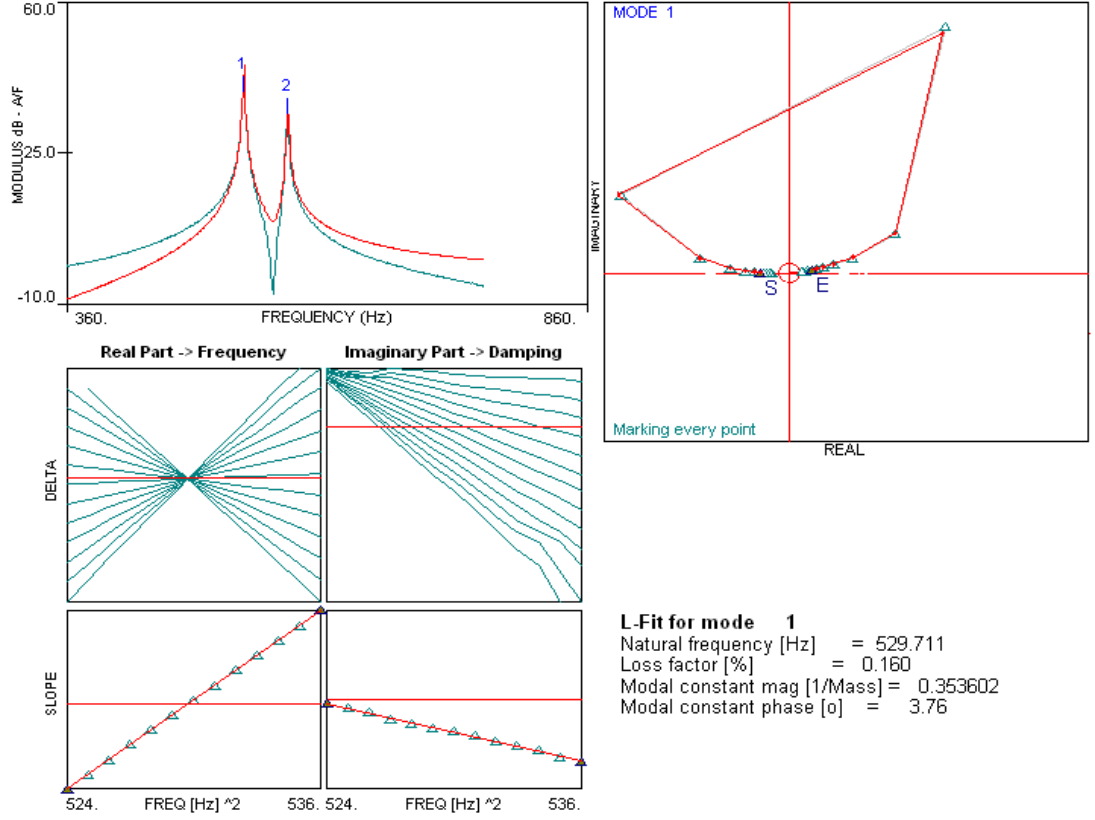


Şekil 2.71: Sönüm malzemeleri (solda) and üst kabuktaki sönüm elemanı yamaları (sağda).



Şekil 2.72: Deney düzeneği.

Ölçüm sonucunda elde edilen FRF'ler Line-fit metodu ile analiz edilerek sönüm oranları elde edilmiştir. Line-fit metodunun tipik bir uygulama örneği Şekil 2.73 ile verilmiştir.



Şekil 2.73: Line-Fit metodune ilişkin tipik bir analiz prosedürü.

Benzer şekilde yapılan analizlerin sonucunda elde edilen sönüm oranları Çizelge 2.18 ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, A en verimsiz sönüm malzemesi olmuş, en verimli sönüm malzemesinin ise aynı zamanda en kalın olan D malzemesi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2.18: Üst kabuğa yerleştirilen A, B, C ve D sönüm elemanlarına ait sönüm oranları.

A		B		C		D	
f (Hz)	η (%)	f (Hz)	η (%)	f (Hz)	η (%)	f (Hz)	η (%)
529.7	0.16	531.4	0.32	530.1	0.47	523.6	1.5
571.4	0.17	574.1	0.42	570.8	0.45	556.3	2.2
1390.6	0.27	1389.9	0.29	1386.0	0.92	1357.6	3.2
1396.7	0.27	1397.8	0.24	1396.2	0.65	1410.9	2.4
2449.8	0.33	2461.2	0.32	2455.2	0.46	2443.2	2.2
2472.5	0.33	2481.7	0.33	2475.2	0.37	2502	2.8
Ort:	0.25	0.32		0.55		2.4	

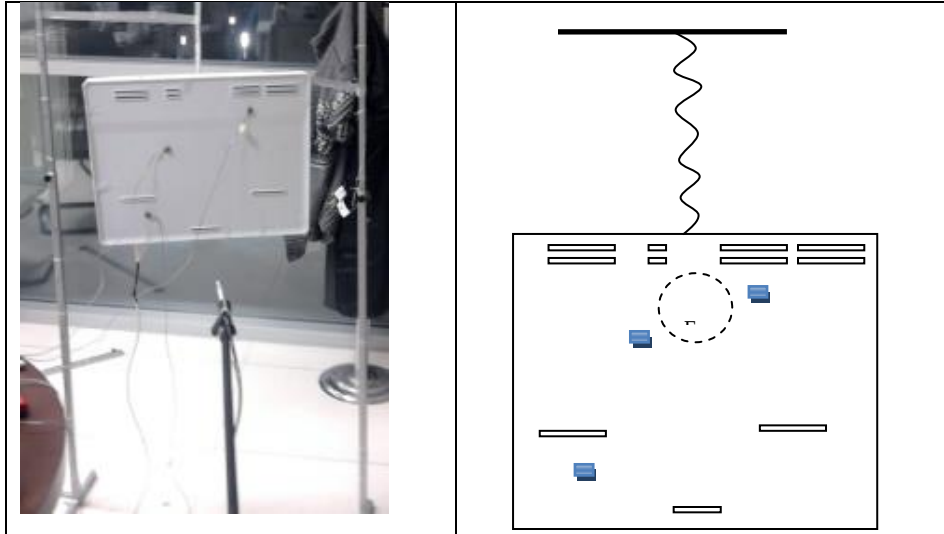
Bu deney sırasında kullanılan malzemeler klasik tipte visko-elastik sönüm malzemeleridir. Kısıtlanmış katmanlı (constraint layer damping) şeklindeki sönüm malzemeleri kullanılarak sönümleme konusundaki verimin arttırılması düşünülebilir.

2.2.2 Çalışma koşullarındaki tepkilerin ölçümü

NM2, NM3 ve NM4’e ait bazı alt komponentlerin montajsız durumda tek başına çalışırken verdiği tepkiler ölçülerek, sistemin tepkilerinin daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

2.2.2.1 NM2 ve NM3’e ait fan grubunun tepkisi

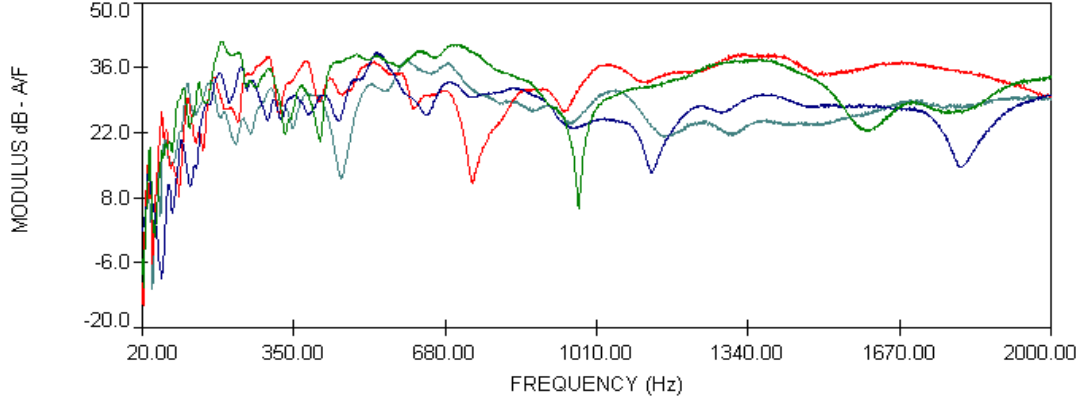
Bu bölümde NM2 ve NM3’e ait fan grubunun serbest sınır şartlarındaki titreşim ve gürültüsü ölçülmüştür. Bu fan 4 kanatlı ve radyal tiptedir. Bu amaçla Şekil 2.74’te görüldüğü gibi fan grubunun üç noktasına ivmeölçer yerleştirilmiş ve 50 cm mesafeye bir mikrofon konumlandırılmıştır. Bu deney düzeneği kullanılarak aşağıdaki ölçümler gerçekleştirilmiştir.



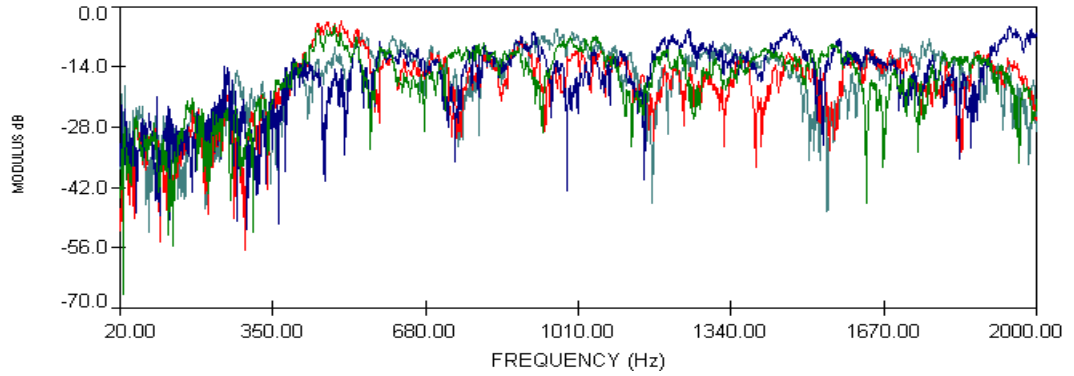
Şekil 2.74: Ölçüm düzeneği.

- a) Birinci adımda, hem mikrofon hem ivmeölçer sinyalleri kullanılarak yapıya ait FRF’ler elde edilmiştir. Yapı modal çekiç ile ivmeölçerlerin ölçüm doğrultusunda olacak şekilde birçok noktadan tahrik edilmiş, ivmeölçerler ve mikrofondan alınan cevap analiz edilmiştir. Elde edilen FRF’ler Şekil 2.75 ve Şekil 2.76 ile sırasıyla ivmeölçer ve mikrofon sinyalleri için gösterilmiştir. Grafiklere göre ilk göze çarpan sonuçlar, eğrilerdeki tepelerin oldukça yumuşak olması, yani yapıya ait sönümün yeterliliği olmuştur. Diğer yandan,

frekans spektrumunun geneline göre çok baskın karakterde olmamakla birlikte 31 Hz, 36 Hz, 42 Hz, 52 Hz, 62 Hz, 73 Hz, 97 Hz, 110 Hz, 118 Hz, 144 Hz, 170 Hz, 196 Hz, 235 Hz, 257 Hz, 300 Hz, 335 Hz, 375 Hz, 425 Hz, 485 Hz, 532 Hz, vd. gibi doğal frekanslar tespit edilmiştir.

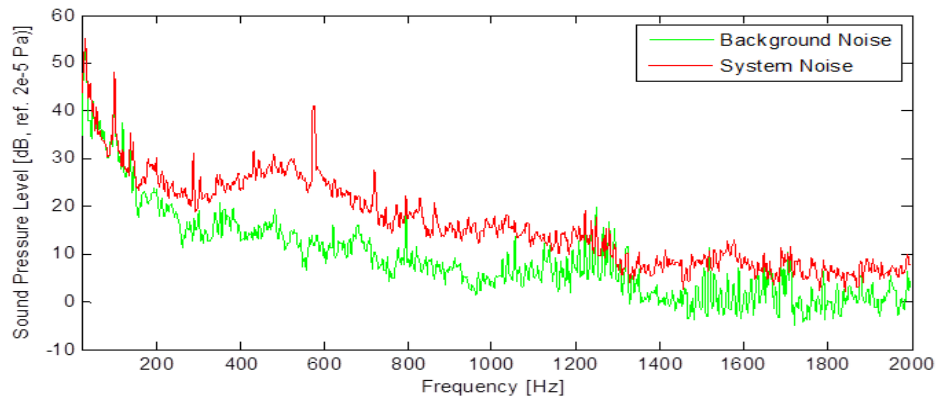


Şekil 2.75: Titreşim sinyalinin elde edilen FRF'ler.



Şekil 2.76: Ses basınç sinyallerinden elde edilen FRF'ler.

- b) İkinci adımda, fan grubunun elektrik ile beslenerek çalışma şartlarında çıkardığı gürültünün karakteristiği incelenmiştir. Aynı deney düzeneği kullanılarak, 20 – 2000 Hz aralığında geriplan gürültüsü ile çalışma gürültüsü ölçümleri yapılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 2.77).



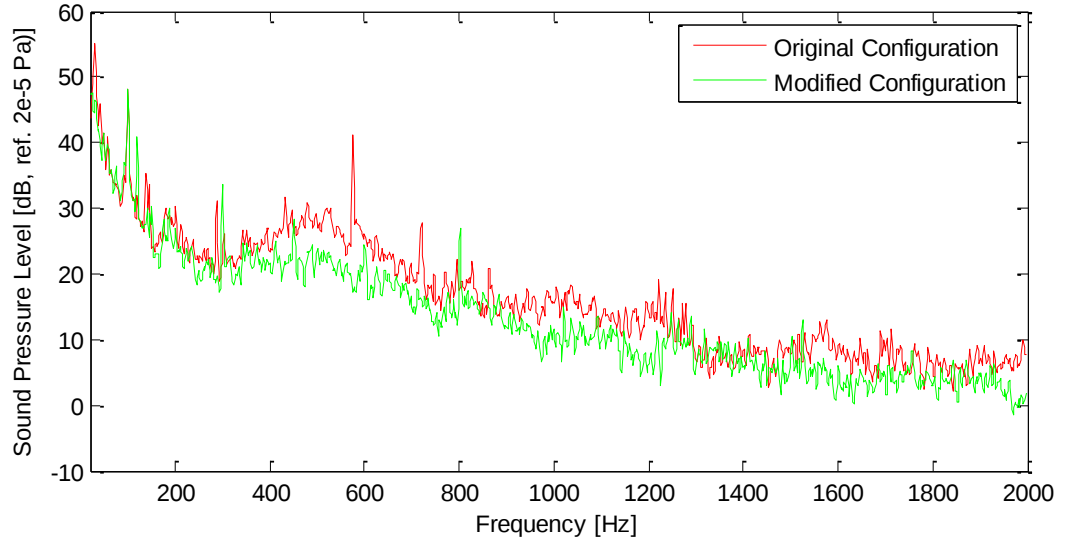
Şekil 2.77: Fan grubunun gürültüsü ile geriplan gürültüsünün frekans spektrumu.

Şekil 2.77’de görüldüğü üzere, özellikle 100 ila 1000 Hz aralığında fanın gürültüsü geriplan gürültüsünden oldukça yüksektir. Bu durum, ölçüm sonuçlarını bu aralıkta yorumlayabileceğimiz anlamına gelir. Bu aralıkta 144 Hz, 288 Hz, 432 Hz, 576 Hz ve 720 Hz frekanslarında baskın tepeler görülmektedir. 144 Hz ve harmoniklerindeki bu sinyaller fanın dönüşünden kaynaklanmaktadır. 138 Hz, 180 Hz, 200 Hz, 304 Hz, 480 Hz ve 530 Hz gibi frekanslarda görülen yerel tepeler ise; birinci aşamada da yaklaşık olarak tespit edilen, yapıya ait doğal frekansların yansımasıdır. Bu durum, fanın çalışması sırasında hem kanat geçişinden ve balanssızlığından kaynaklı hem de gövdesinin doğal frekanslarını tahrik ettiğinin açık bir örneğidir. Sonuçlar arasından, geriplan gürültüsünde de mevcut olan frekans bileşenleri çıkarılmıştır.

- c) Üçüncü adımda ise, fanın gövdeye oturduğu yüzeydeki titreşim yalıtımının ve fanın içinde bulunduğu kavitenin gürültüye olan etkisi incelenmiştir. Öncelikle fan yatak ve kanatları fanın gövdesinden ayrılmış ve neredeyse montajlı haline yakın bir konumda, gövdeye temassız bir şekilde havada tutulmuştur (Şekil 2.78). Daha sonra fan elektrik ile beslenerek, ikinci adımdaki ölçümler tekrarlanmıştır. Fanın gövdeye montajlı ve ayrılmış biçimleri için elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 2.79 ile verilmiştir.



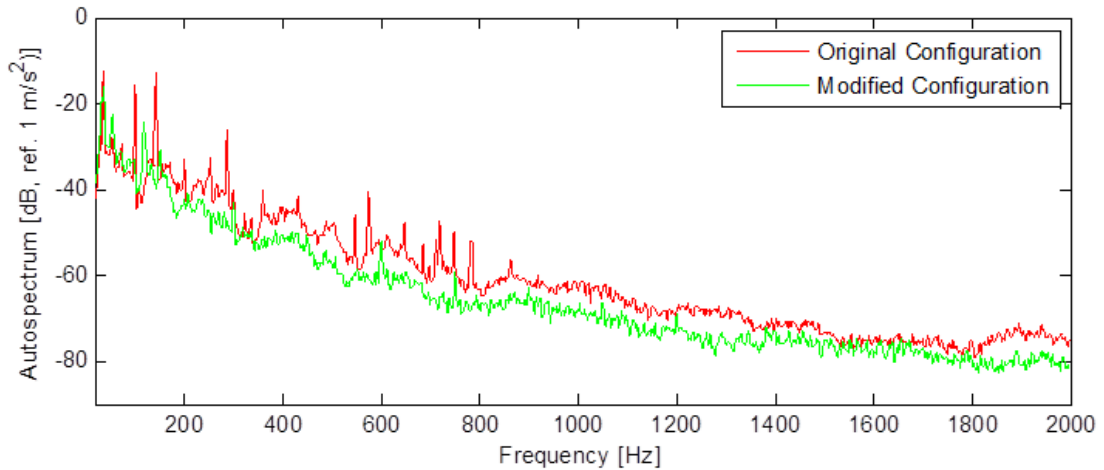
Şekil 2.78: Yerinden söküldükten sonra sanki yerindeymiş gibi temassız tutturulmuş şekilde çalıştırılan fan.



Şekil 2.79: Sabitlenmiş ve temassız tutturulmuş fanlara ait SPL frekans spektrumları karşılaştırması.

Şekil 2.79’da, temassız tutturulmuş (sınır şartları serbestleştirilmiş) olan konfigürasyonun daha az gürültü yarattığı görülmektedir. Ayrıca ikinci adımda bahsedilen 144 Hz, 288 Hz, 432 Hz, 576 Hz ve 720 Hz harmoniklerinin genliğinin temassız tutulmuş konfigürasyonda azaldığı görülmüştür. Bu durum, fanın gövdeye rijit bağlantısının yapısal doğuşlu gürültüye neden olduğunu açıkça göstermektedir.

Sabitlenmiş fan ile temassız tutulmuş konfigürasyonun karşılaştırması Şekil 2.80 ile titreşim cinsinden verilmiştir.



Şekil 2.80: Sabitlenmiş ve temassız tutturulmuş fanlara ait titreşim frekans spektrumları karşılaştırması.

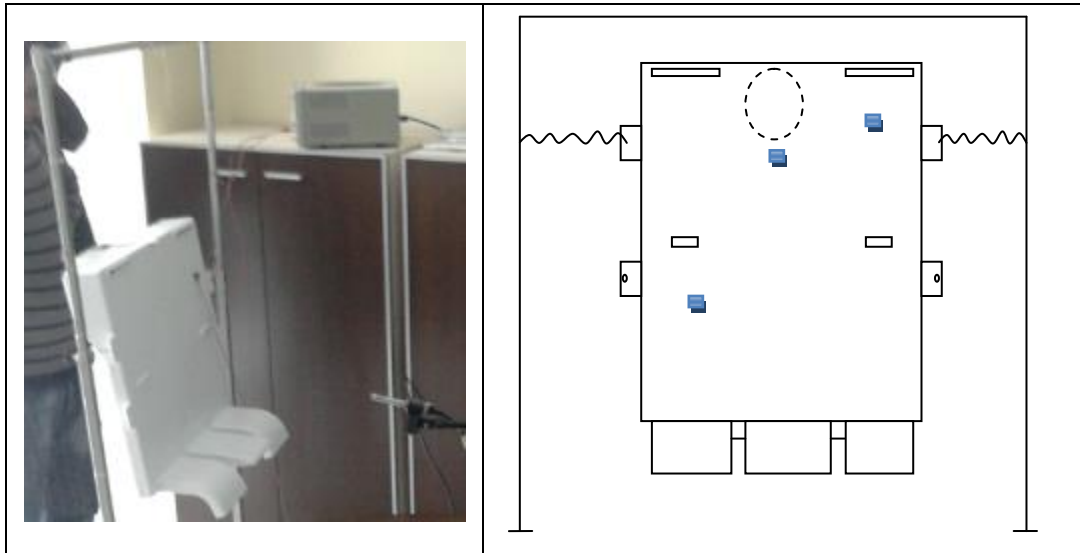
Mikrofon verisinde olduğu gibi titreşim verileri için de 144 Hz, 288 Hz, 432 Hz, 576 Hz ve 720 Hz’deki titreşim genliklerinin azaldığı Şekil 2.80’de açıkça görülmektedir.

Bu deney, fanın gövdeye mümkün olduğunca esnek bir şekilde bağlanması gerektiği sonucunu göstermiştir.

Diğer yandan, fanın içine yerleştirildiği kavitenin şeklinin de fan gürültüsü üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. İncelenen fan grubunda “kutu” şeklinde bir hacim söz konusudur. Bu tip dikdörtgenler prizması şeklindeki hacimler, “kavite rezonansları” olarak adlandırılan rezonans frekanslarına sahiptir. Bu hacmin içindeki hava molekülleri, bir yandan fanın kanatlarının yarattığı basınç dalgalanmaları nedeniyle, diğer yandan da yüzeylerin titreşimi nedeniyle doğal frekanslarında rezonansa girme eğilimindedir. Bu hacmin büyüklük ve şeklinin gürültü üzerine etkilerinin incelenmesi, farklı bir çalışma konusu olabilir. Yine de bu kavite rezonanslarının tahrik edilmemesi amacıyla fan ile gövde arasındaki bağlantının mümkün olduğunca esnek yapılarak, titreşimin kavite yüzeylerine ilerlemesinin engellenmesi amaçlanmalıdır.

2.2.2.2 NM4’e ait fan grubu

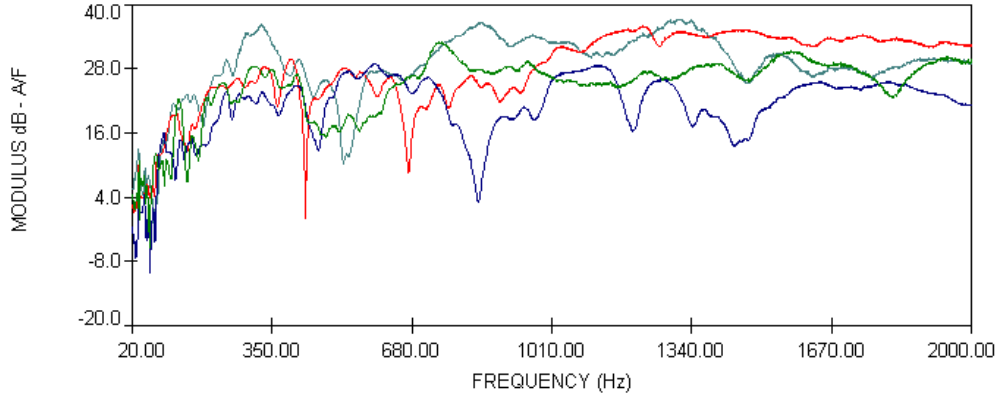
Bir önceki bölümde anlatılan deneylerin aynısı bu kez NM3’e ait fan grubu üzerinde tekrarlanmıştır. Ölçüm düzeneği Şekil 2.81’de görülmektedir. Deney yine aşağıdaki belirtilen şekilde üç aşamadan oluşmaktadır.



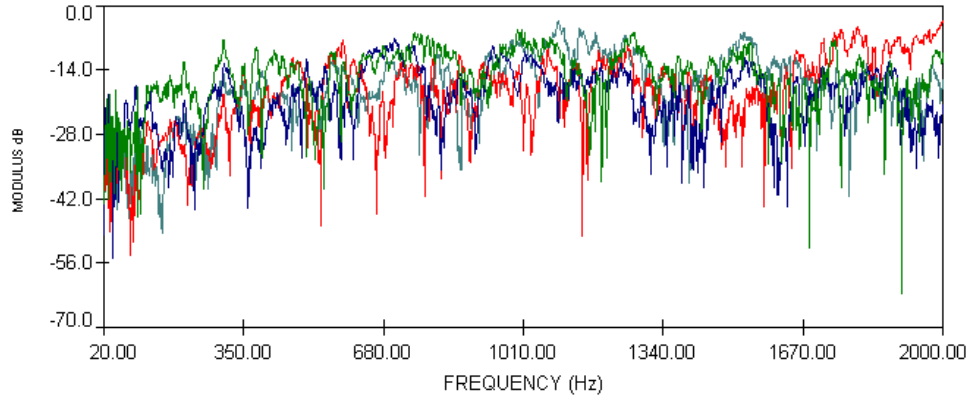
Şekil 2.81: NM4 fan grubu için ölçüm düzeneği.

- a) Birinci adımda, hem mikrofon hem ivmeölçer sinyalleri kullanılarak elde edilen FRF’ler Şekil 2.82 ve Şekil 2.83 ile sırasıyla ivmeölçer ve mikrofon sinyalleri için gösterilmiştir. Frekans spektrumlarında çok baskın karakterde olmamakla birlikte 34 Hz, 37 Hz, 49 Hz, 55 Hz, 59 Hz, 68 Hz, 84 Hz, 97 Hz,

105 Hz, 118 Hz, 158 Hz, 180 Hz, 210 Hz, 242 Hz, 286 Hz, 304 Hz, 326 Hz, 336 Hz, 377 Hz, 396 Hz, 518 Hz, vd. gibi doğal frekanslar tespit edilmiştir.

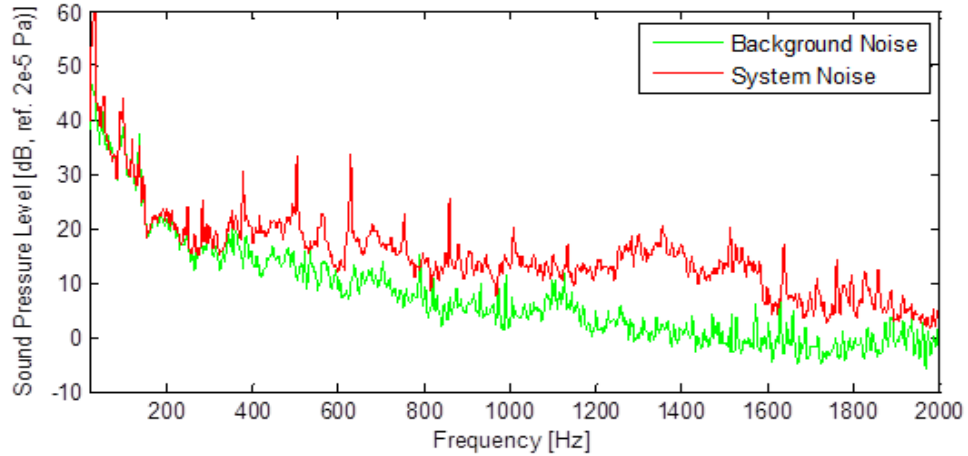


Şekil 2.82: Titreşim sinyalinden elde edilen FRF'ler.



Şekil 2.83: Ses basınç sinyallerinden elde edilen FRF'ler.

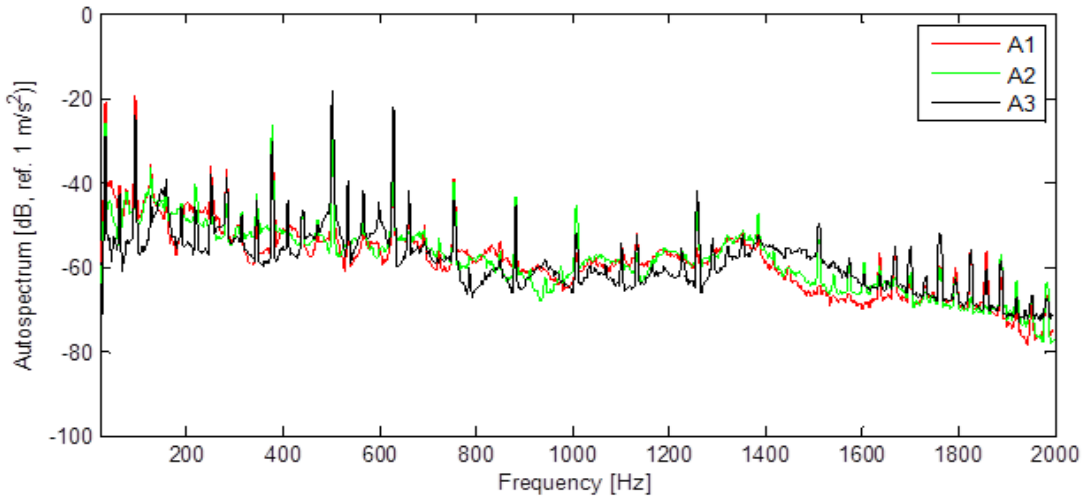
- b) İkinci adımda yine aynı deney düzeneği kullanılarak fan grubunun elektrik ile beslenerek çalışma şartlarında çıkardığı gürültünün karakteristiği incelenmiştir. Geriplan gürültüsü ile çalışma gürültüsü ölçümlerinin karşılaştırma grafiği Şekil 2.84 ile gösterilmiştir.



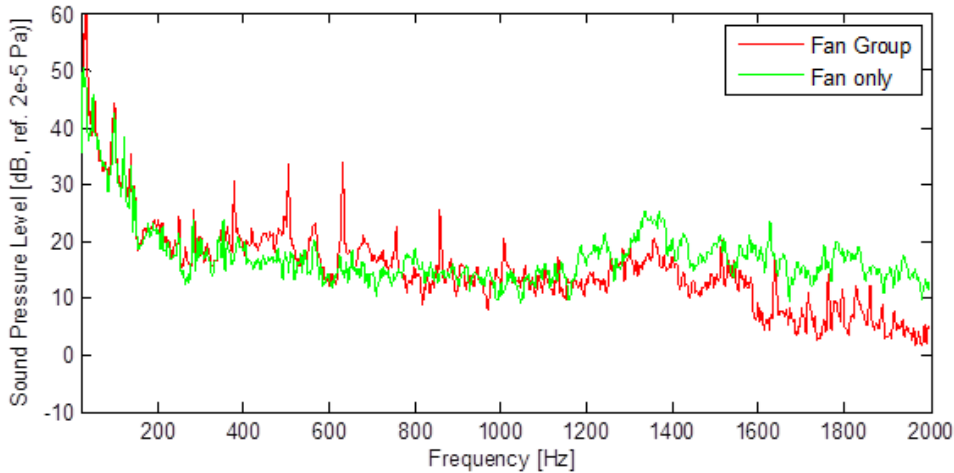
Şekil 2.84: Fan grubunun gürültüsü ile geriplan gürültüsünün frekans spektrumu.

Şekil 2.84'te özellikle 300 Hz'den yüksek frekanslarda fanın gürültüsü geriplan gürültüsünden oldukça yüksek olup değerlendirilebilir niteliktedir. Bir önceki deney ile aynı geriplan gürültü karakteristiğinin olduğu varsayılırsa, bu durum NM4'teki fanın NM3'e göre düşük frekanslarda daha iyi performans gösterdiğini kabaca gösterebilir (sessiz olan frekans aralığının daha geniş olmasından dolayı). Orta ve yüksek frekans bölgesinde ise 250 Hz, 284 Hz, 378 Hz, 504 Hz, 566 Hz, 630 Hz, 678 Hz, 756 Hz, 858 Hz, 882 Hz, 1008 Hz, vd. frekanslarda baskın tepeler görülmektedir. Burada 504, 756, 1008 Hz gibi harmoniklerin fanın dönüşünden, diğer frekansların ise yapısal doğuşlu rezonanslardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

NM4 fan grubunun demonte çalışma şartlarında ölçülen titreşim spektrumu ise Şekil 2.85 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.85: NM4 fan grubuna ait titreşim frekans spektrumu.



Şekil 2.86: Fan grubu gürültüsü ile yalnızca fanın gürültülerinin frekans spektrumları.

- c) Üçüncü adımda ise yine fan yatak ve kanat grubu fanın gövdesinden ayrılmış ve montajlı haline yakın bir konumda, gövdeye temassız bir şekilde havada tutulmuştur. Şekil 2.86'daki karşılaştırma grafiğinden; düşük frekanslarda temaslı ve temassız durumlarda fark olmamasından hareketle fan kanatlarının, içinde bulunduğu hacmi özellikle düşük frekanslarda tahrik ettiği yorumu yapılabilir. 1100 Hz ve üzerindeki yüksek frekans bölgesinde temaslı kombinasyonun daha düşük seviyelere sahip olması ise, yüksek frekanslarda yapısal sönümün daha etkili olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuçlar, fanın yarattığı hava akışının gövdeyi tahrik ederek yapısal doğuşlu gürültüye neden olduğunu işaret etmektedir.

2.3 Ses Gücü ve Ses Şiddeti Ölçümleri

Çalışmanın “titreşim ve gürültü seviyelerinin azaltılması” konulu bu ilk aşamasında, buzdolaplarının ses gücünün belirlenmesi amacıyla ses basıncı ve ses şiddeti tabanlı bir dizi ölçüm yapılmıştır. Ayrıca buzdolaplarına ait gürültü haritaları çıkartılarak, gürültü kaynaklarının tespiti ve toplam ses gücüne katkısı irdelenmiştir.

2.3.1 Kapsam

Buzdolaplarından çıkan ve çevresine yayılan gürültünün miktarı, en doğru biçimde “ses gücü” ile ifade edilebilmektedir. Bu bölümde, yarı-yankısız bir test odasında buzdolaplarının ses gücü ölçümünün uygulanması anlatılacaktır. Bu amaçla aşağıdaki uluslararası standartlar göz önünde bulundurulmuştur.

IEC 60704-1: *Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise (Part 1: General requirements)*, [15].

IEC 60704-2-14: *Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise (Part 2-14: Particular requirements for refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers)*, [16].

ISO 3744: *Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure: Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane*, [17].

Ses gücü seviyeleri, ses kaynağının çevresinde oluşturulan hayali bir yüzey üzerinde alınan ortalama ses basınç seviyeleri ile, bu hayali yüzeyin yüzey alanının aşağıdaki eşitliklerde yerlerine konulması yardımıyla hesaplanmaktadır.

ISO 3744 standardına göre, toplam ses gücü seviyesi Denklem (2.1) ile hesaplanır.

$$L_W = \overline{L_{pf}} + 10 \log \left(\frac{S}{S_0} \right) dB \quad (2.1)$$

Burada;

S hayali ölçüm yüzeyinin m^2 cinsinden alanı, $S_0 = 1 m^2$ ve $\overline{L_{pf}}$ A-ağırlıklı toplam ses basıncıdır. $\overline{L_{pf}}$ şu şekilde tanımlanır:

$$\overline{L_{pf}} = \overline{L'_p} - K_1 - K_2 \quad (2.2)$$

Burada K_1 geriplan gürültüsü düzeltme katsayısı olup, Denklem (2.3)'teki gibi hesaplanır.

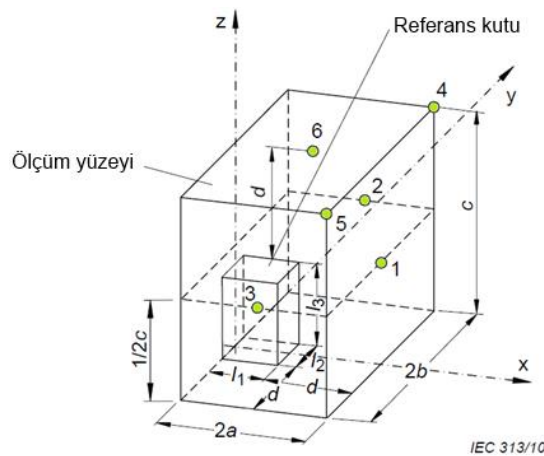
$$K_1 = -10 \log(1 - 10^{-0,1\Delta L}) dB \quad (2.3)$$

K_2 ise ölçüm ortamına ait özel bir düzeltme katsayısıdır. Ölçüm yüzeyi üzerindeki ses basınç seviyelerinin logaritmik ortalaması $\overline{L'_p}$ şu şekilde tanımlanır:

$$\overline{L'_p} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L'_{pi}} \right] dB \quad (2.4)$$

Burada L'_{pi} , i^{inci} mikrofona pozisyonunda ölçülmüş zaman ortalamalı ses basınç seviyesidir. Ayrıca bu çalışma kapsamında yapılan ölçümlerde; K_1 ve K_2 düzeltme katsayıları, düşük geriplan gürültüsü ve ölçüm odasının yeterli olduğunu gösterir akreditasyon belgelerinden dolayı sıfır olarak hesaba katılmıştır.

Hayali ölçüm yüzeyi ile mikrofona pozisyonları Şekil 2.87'de gösterilmiştir.



Şekil 2.87: Bir yansıtıcı yüzey ile yapılan ölçüme ait ölçüm yüzeyi ve mikrofona pozisyonları.

Ses gücü ölçümlerinin yanısıra, İ.T.Ü. Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda aynı buzdolaplarına ses şiddeti ölçümü de yapılmıştır. Bu ölçümün ana hedefi buzdolaplarının sahip olduğu gürültü kaynaklarının daha detaylı bir şekilde belirlenmesi ve bu kaynaklar arasında sıralama yapılmasıdır.

Ölçüm yöntemlerinin farklılığından kaynaklı olarak, ses şiddeti ve ses basıncı temelli olarak ayrı ayrı elde edilen ses gücü seviyelerinin eser miktarda farklılık göstermesi doğal bir sonuçtur. Bunun nedenlerinden en önemlisi; ses basıncı temelli ölçümde buzdolabının bütün komponentlerinin eş zamanlı olarak ölçülürken, ses şiddeti ölçümlerinde ise yüzeylerin sıra sıra ölçülmesi nedeniyle ölçüm verilerinin eş zamanlı olmamasıdır. Çalışma kapsamında ses şiddeti ölçümlerinin asıl amacı, kaynaklar arasında bir önem sırası elde etmektir.

2.3.2 Ölçüm düzeneği

Ölçümler İ.T.Ü-OTAM Yarı-Yankısız Odası'nda yapılmıştır. Oda, ISO 3745 standartlarına göre Class 1 şartlarını yerine getirmektedir. 11x6x4.5 metre boyutlarında ve 100 Hz alt kesme frekansına sahiptir. Odaya ait genel bir görünüş Şekil 2.88 ile verilmiştir.



Şekil 2.88: Ölçüm ortamına ait genel bir görünüş.

Ölçüm ekipmanlarına ilişkin bilgiler ile Çizelge 2.19 ve Çizelge 2.20 ile verilmiştir.

Çizelge 2.19: Ses basıncı ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.

Açıklama	Marka	Tip
Pulse Labshop 16.1 Time Recorder	Brüel & Kjær	7708
Pulse Reflex 16.1 – Analysis Software	Brüel & Kjær	8700
Multi-channel Analyzer	Brüel & Kjær	3560-D
Mikrofon (6 adet)	Brüel & Kjær	4189-A-21
Akustik Kalibrator	Brüel & Kjær	4231

Çizelge 2.20: Ses şiddeti ölçümleri için kullanılan ekipmanlar.

Açıklama	Marka	Tip	S/N
Pulse Sound Power 16.1 –Software	Brüel & Kjær	7799	-
Multi-channel Analyzer	Brüel & Kjær	3560-D	-
Sound Intensity Probe Kit	Brüel & Kjær	3595	2195223
Akustik Kalibrator	Brüel & Kjær	4231	2376669

2.3.3 Ölçüm sonuçları

2.3.3.1 NM1’e ait sonuçlar

Şekil 2.89 ve Şekil 2.90’da buzdolabına ait çeşitli görünüşler bulunmaktadır.

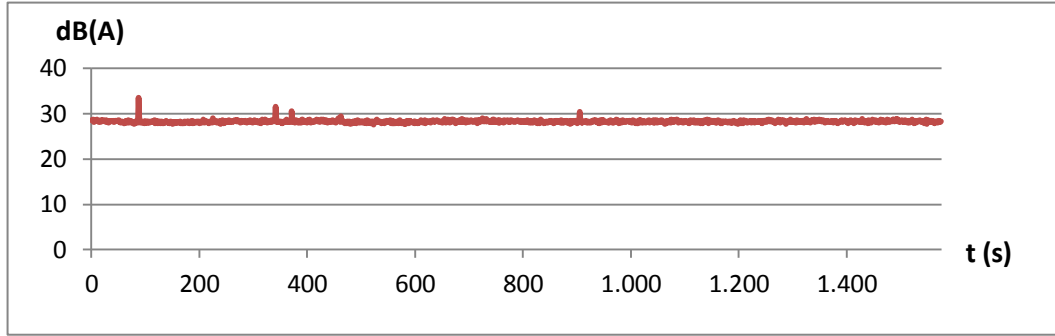


Şekil 2.89: NM1’in önden, yandan ve arkadan görünüşü.



Şekil 2.90: NM1 kompresör bölgesinin görünüşü.

Numunenin çalışma çevrimini kabaca izleyebilmek adına, 1 nolu mikrofon pozisyonundaki ses basıncının zamana bağlı değişimi Şekil 2.91 ile verilmiştir.

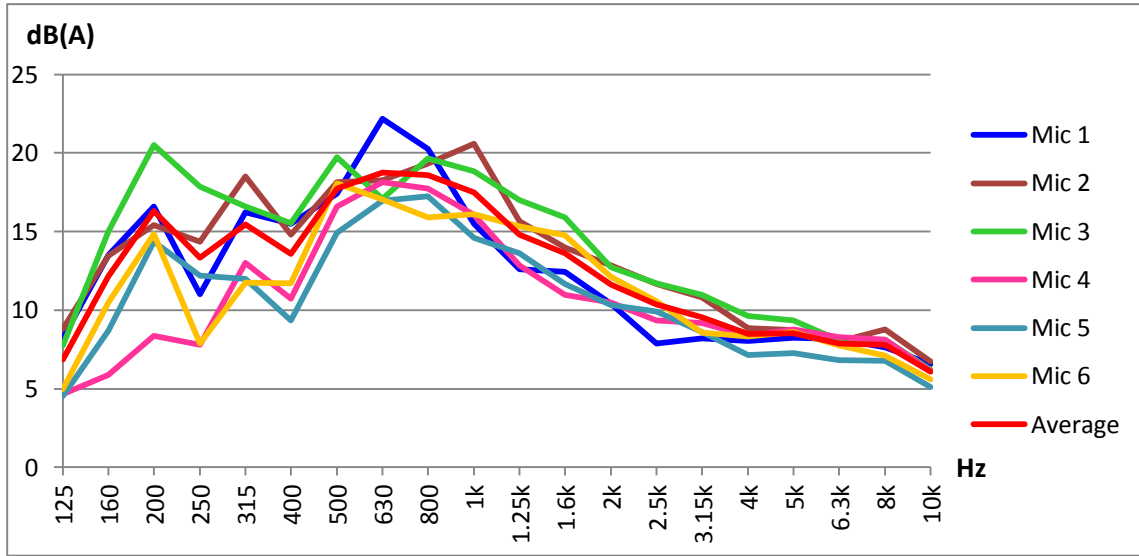


Şekil 2.91: NM1 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.

A-ağırlıklı ses seviyelerinin 1/3 oktav bant frekans spektrumu, her bir mikrofon için Çizelge 2.21 ve Şekil 2.92 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.21: NM1 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

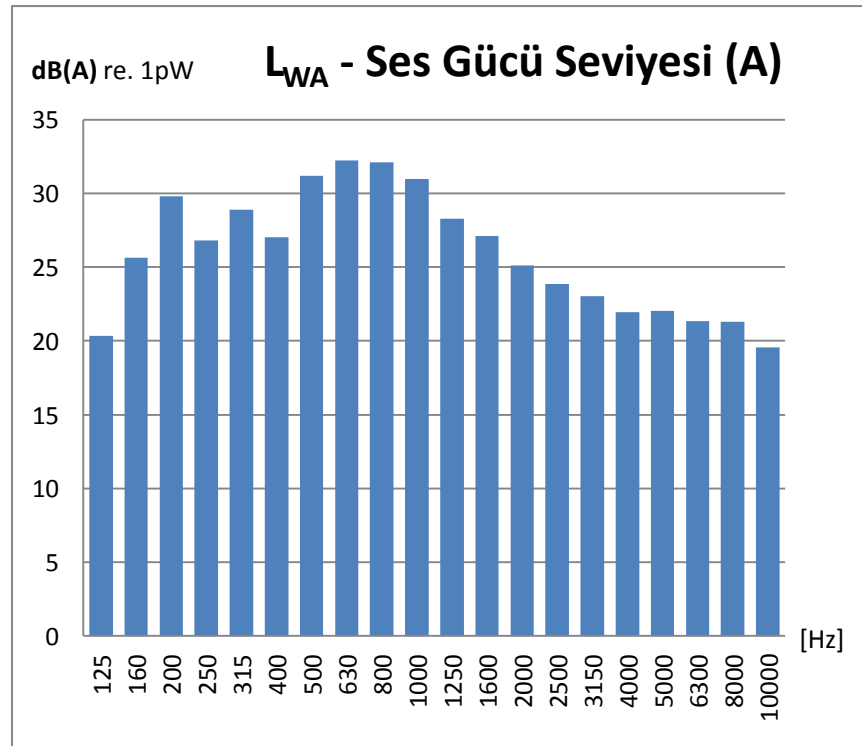
Frekans [Hz]	dB(A) Mik 1	dB(A) Mik 2	dB(A) Mik 3	dB(A) Mik 4	dB(A) Mik 5	dB(A) Mik 6	dB(A) Ortalama
125	8,23	8,83	7,76	4,65	4,53	4,97	6,87
160	13,52	13,45	14,99	5,89	8,67	10,47	12,16
200	16,59	15,43	20,50	8,38	14,33	14,83	16,32
250	11,00	14,37	17,84	7,79	12,18	7,87	13,34
315	16,23	18,53	16,60	13,02	11,98	11,73	15,43
400	15,48	14,79	15,55	10,72	9,34	11,68	13,57
500	17,40	18,14	19,74	16,59	14,91	18,07	17,72
630	22,19	18,26	17,07	18,14	16,96	17,06	18,74
800	20,25	19,32	19,67	17,73	17,23	15,91	18,61
1000	15,50	20,57	18,85	16,05	14,60	16,11	17,48
1250	12,60	15,64	17,01	12,86	13,61	15,34	14,81
1600	12,43	14,01	15,91	10,98	11,67	14,75	13,64
2000	10,40	12,84	12,74	10,46	10,32	12,12	11,62
2500	7,86	11,66	11,69	9,34	9,89	10,57	10,37
3150	8,21	10,81	10,97	9,19	8,62	8,56	9,54
4000	8,04	8,87	9,64	8,35	7,16	8,34	8,47
5000	8,25	8,73	9,33	8,78	7,28	8,61	8,54
6300	8,16	7,99	8,08	8,28	6,79	7,75	7,87
8000	7,65	8,79	8,11	8,13	6,77	7,11	7,81
10000	6,58	6,73	6,22	6,12	5,11	5,61	6,10
Toplam	27,90	28,24	28,90	25,48	25,18	26,05	27,2



Şekil 2.92: NM1 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

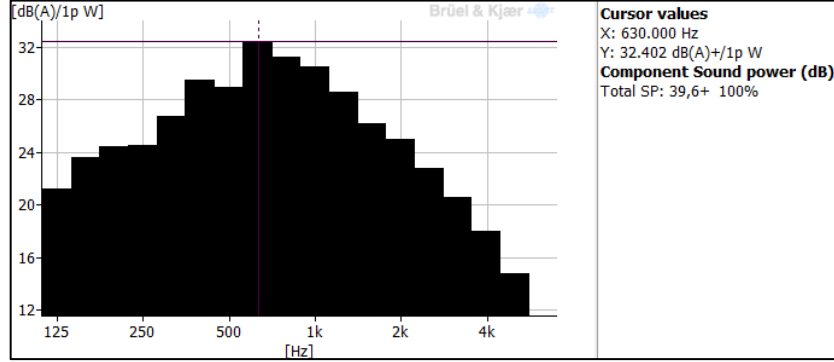
Hesaplanan A-ağırlıklı ses gücü seviyesine ait 1/3 oktav bant spektrumu Şekil 2.93 ile gösterilmiştir.

Frekans [Hz]	L_{WA} dB(A)
125	20,3
160	25,6
200	29,8
250	26,8
315	28,9
400	27,0
500	31,2
630	32,2
800	32,1
1000	31,0
1250	28,3
1600	27,1
2000	25,1
2500	23,8
3150	23,0
4000	21,9
5000	22,0
6300	21,3
8000	21,3
10000	19,6
Toplam	40,6

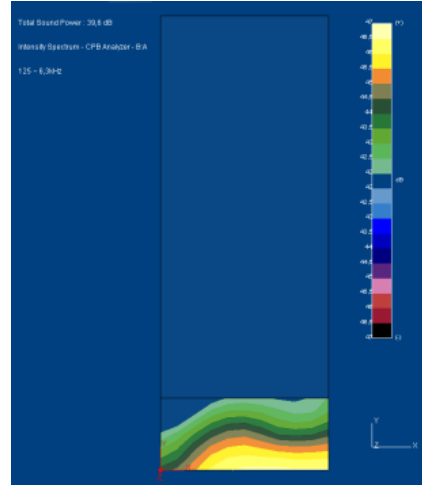


Şekil 2.93: NM1 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.

NM1 için, arka yüzeyin ses gücüne katkısının hesaplanması için ses şiddeti probu ile ölçüm yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.94 ile Şekil 2.95'te gösterilmiştir.

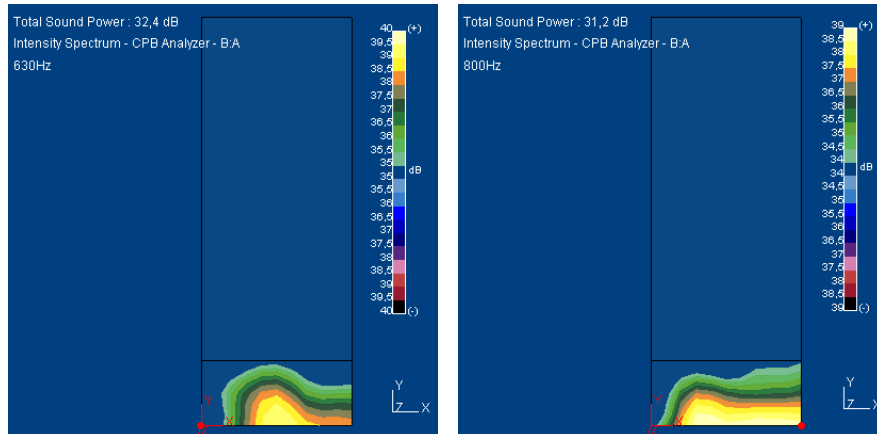


Şekil 2.94: NM1 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.



Şekil 2.95: NM1 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).

Ses şiddeti ölçümüne dayalı toplam ses gücü seviyesi 39.6 dBA olarak hesaplanmıştır. NM1'e ait yalnızca bazı tepe frekanslara özgü ses gücü haritaları Şekil 2.96 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.96: NM1 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz bandı (solda), 800 Hz bandı (sağda).

Hem ses gücü hem de ses şiddeti ölçülerinde tepe değerleri 630 Hz ve 800 Hz frekanslarında görülmüştür. Şekil 2.7 ila Şekil 2.9'daki A1-A6 ivmeölçerlerindeki titreşim seviyeleri incelenirse, her iki frekansın da kompresör üst kabuğunun titreşimlerinden kaynaklandığı şeklinde yorum yapılabilir.

Diğer yandan, ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü ölçümü ile ses basıncına dayalı ses gücü ölçümü birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir (39.6 dBA / 40.6 dBA).

2.3.3.2 NM2'ye ait sonuçlar

Şekil 2.97 ve Şekil 2.98'de buzdolabına ait çeşitli görüşler bulunmaktadır.

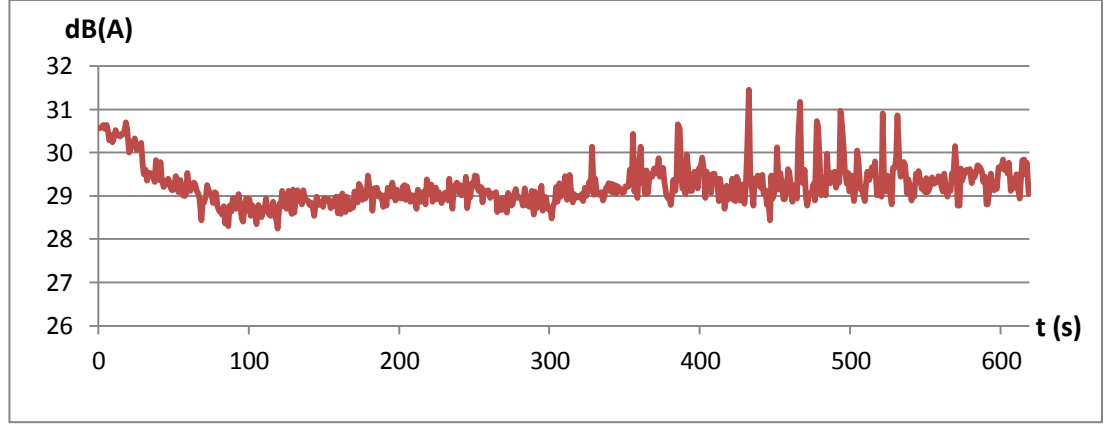


Şekil 2.97 : NM2'nin önden, yandan ve arkadan görünüşü.



Şekil 2.98: NM2 kompresör bölgesinin görünüşü.

1 nolu mikrofona pozisyonundaki ses basıncının zamana bağlı değişimi Şekil 2.99 ile verilmiştir. Ölçümün 355, 385, 432, 466, 477, 493, 531 ve 569'uncu saniyelerinde ortaya çıkan tepeler esas olarak fanın tonal gürültüsünden kaynaklandığı, ses kaydının kulakla dinlenilmesi yoluyla gözlemlenmiştir.

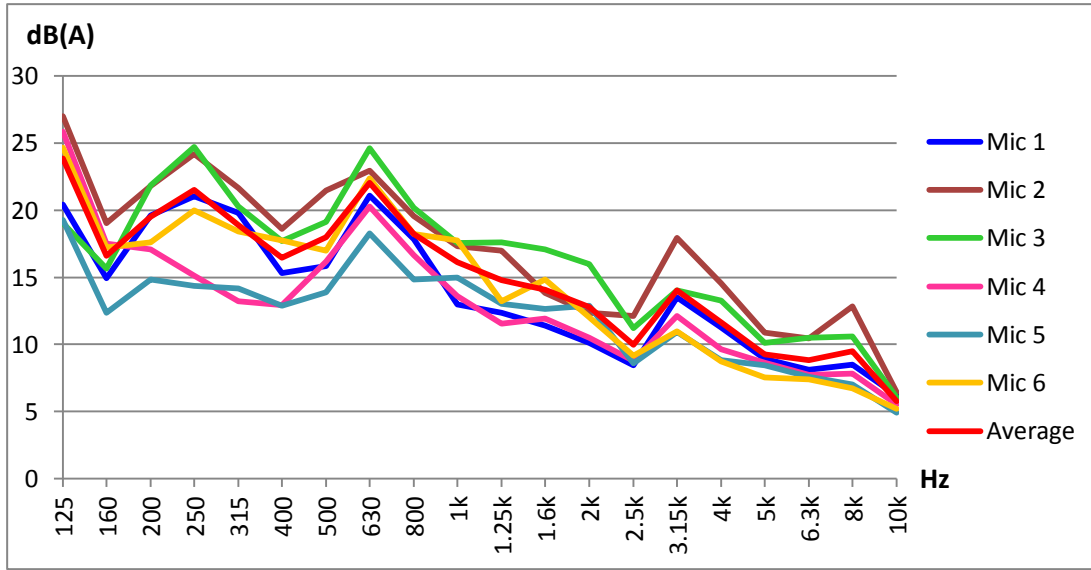


Şekil 2.99: NM2 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.

A-ağırlıklı ses seviyelerinin 1/3 oktav bant frekans spektrumu, her bir mikrofona için Çizelge 2.22 ve Şekil 2.100 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.22: NM2 için her mikrofona pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

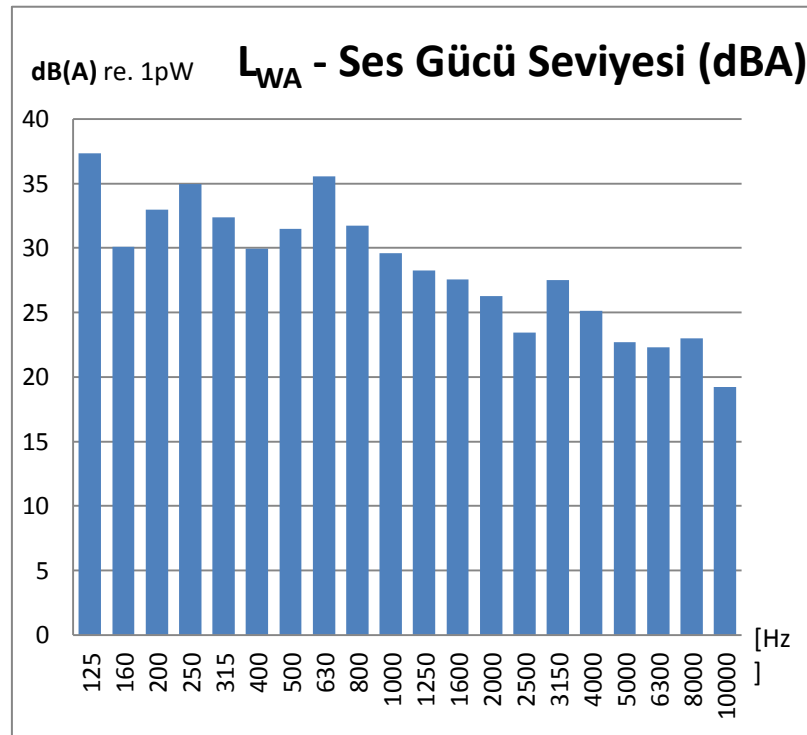
Frekans [Hz]	dB(A) Mik 1	dB(A) Mik 2	dB(A) Mik 3	dB(A) Mik 4	dB(A) Mik 5	dB(A) Mik 6	dB(A) Ortalama
125	20,44	26,99	19,05	25,87	19,26	24,66	23,85
160	14,93	19,06	15,64	17,52	12,34	17,24	16,61
200	19,62	21,80	21,84	17,09	14,82	17,61	19,50
250	21,07	24,19	24,73	15,14	14,37	20,00	21,50
315	19,78	21,67	20,26	13,21	14,16	18,41	18,89
400	15,32	18,62	17,70	12,95	12,91	17,76	16,44
500	15,85	21,49	19,15	16,16	13,87	16,97	17,98
630	21,11	22,93	24,63	20,27	18,29	22,36	22,05
800	17,86	19,58	20,19	16,65	14,83	18,22	18,23
1000	12,98	17,33	17,56	13,59	14,98	17,76	16,11
1250	12,33	17,01	17,61	11,55	13,02	13,20	14,78
1600	11,41	13,82	17,06	11,91	12,63	14,85	14,07
2000	10,11	12,35	15,98	10,50	12,88	12,04	12,77
2500	8,43	12,14	11,21	8,78	8,61	9,16	9,97
3150	13,48	17,96	14,02	12,14	10,92	10,96	14,02
4000	11,28	14,53	13,28	9,64	8,82	8,71	11,63
5000	8,94	10,89	10,10	8,64	8,46	7,55	9,24
6300	8,13	10,43	10,47	7,70	7,59	7,39	8,83
8000	8,49	12,85	10,61	7,81	7,01	6,74	9,51
10000	6,20	6,43	6,04	5,52	4,93	5,19	5,75
Toplam	29,29	32,88	31,80	29,45	26,67	30,39	30,5



Şekil 2.100: NM2 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

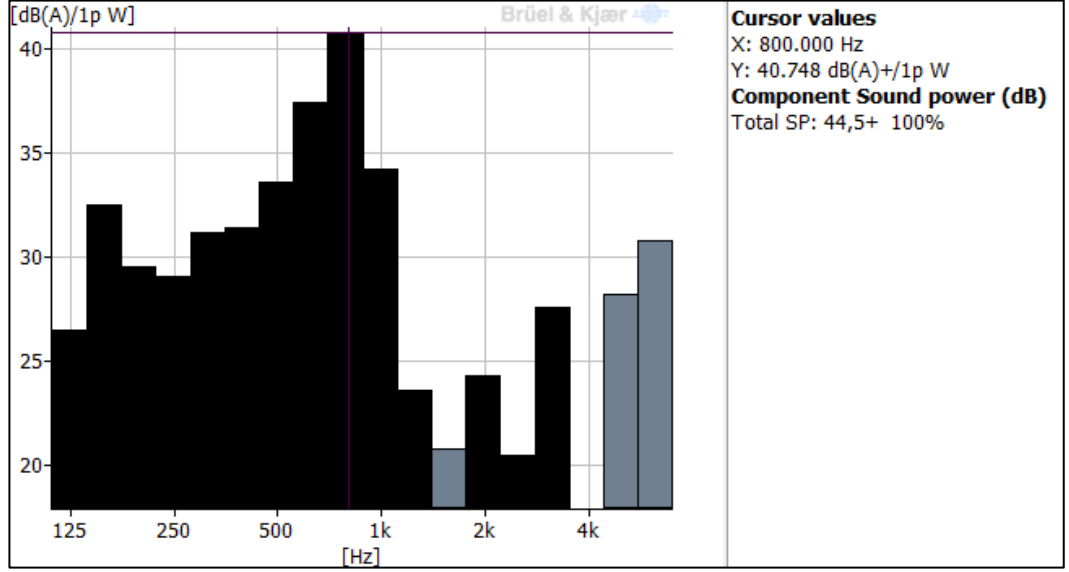
Hesaplanan A-ağırlıklı ses gücü seviyesine ait 1/3 oktav bant spektrumu Şekil 2.101 ile gösterilmiştir.

Frekans [Hz]	L _{WA} dB(A)
125	37,3
160	30,1
200	33,0
250	35,0
315	32,4
400	29,9
500	31,5
630	35,5
800	31,7
1000	29,6
1250	28,3
1600	27,5
2000	26,3
2500	23,4
3150	27,5
4000	25,1
5000	22,7
6300	22,3
8000	23,0
10000	19,2
Toplam	44,0



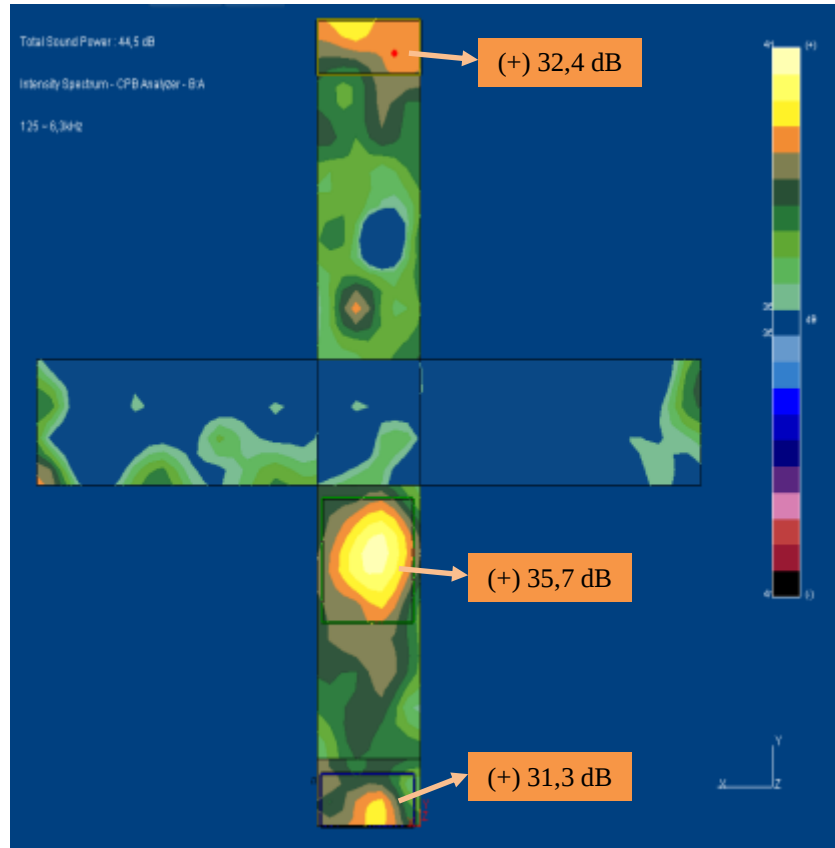
Şekil 2.101: NM2 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.

NM2 için tüm yüzeylerin ses gücüne katkısının hesaplanması amacıyla ses şiddeti probu ile ölçüm yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.102 ve Şekil 2.103 ile gösterilmiştir.



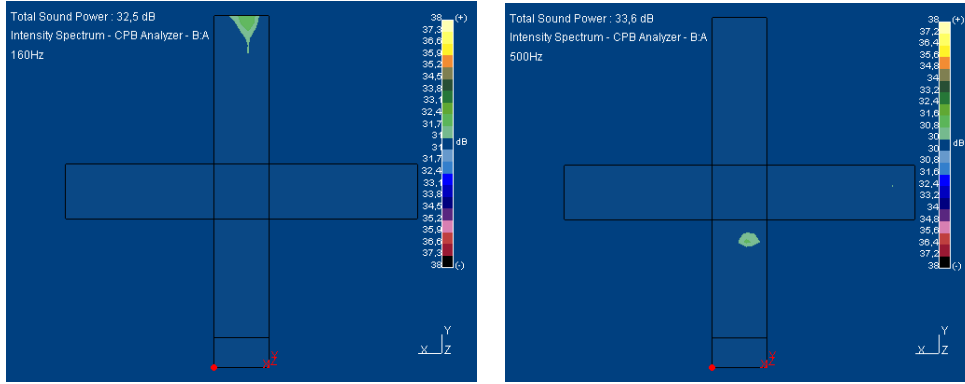
Şekil 2.102: NM2 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.

Ses şiddeti tabanlı ses gücü ölçümü sonucunda toplam ses gücü 44.5 dBA olarak elde edilmiştir.

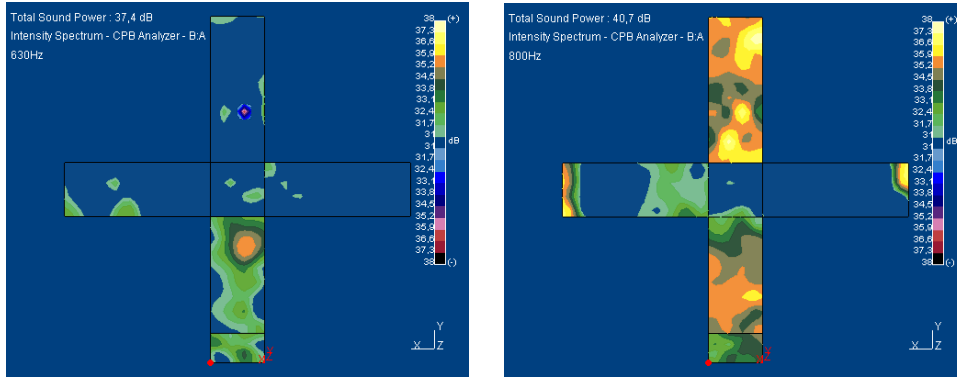


Şekil 2.103: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).

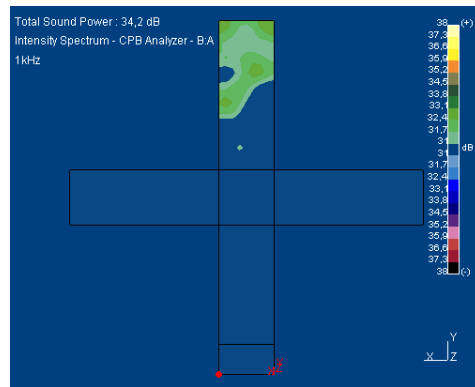
NM2'ye ait yalnızca bazı tepe frekanslara özgü ses gücü haritaları Şekil 2.104 ile Şekil 2.106 arasında gösterilmiştir.



Şekil 2.104: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 160 Hz (solda), 500 Hz (sağda).



Şekil 2.105: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz (solda), 800 Hz (sağda).



Şekil 2.106: NM2 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (1 kHz).

Daha önce elde edilen Şekil 2.79'a göre bu buzdolabında kullanılan fana ait baskın frekanslar 576 Hz ve 720 Hz olarak görünmektedir. Ses şiddeti ölçümlerinde de bunun yansıması olarak 630 Hz ve 800 Hz bantlarında tepe değerler görülmüştür.

2.3.3.3 NM3'e ait sonuçlar

Şekil 2.107 ve Şekil 2.108'de buzdolabına ait çeşitli görünüşler bulunmaktadır.

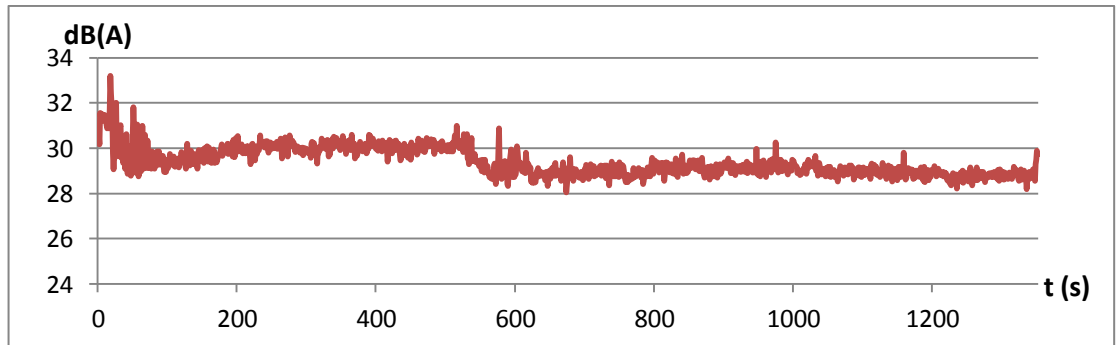


Şekil 2.107: NM3'ün önden, yandan ve arkadan görünüşü.



Şekil 2.108: NM3 kompresör bölgesinin görünüşü.

1 nolu mikrofön pozisyonundaki ses basıncının zamana bağılı değışimi Şekil 2.109 ile verilmiştir. 520'inci saniyede ses seviyesinin azalmasının nedeni, ses kaydının kabaca dinlenmesi yoluyla anlaşılamamıştır.

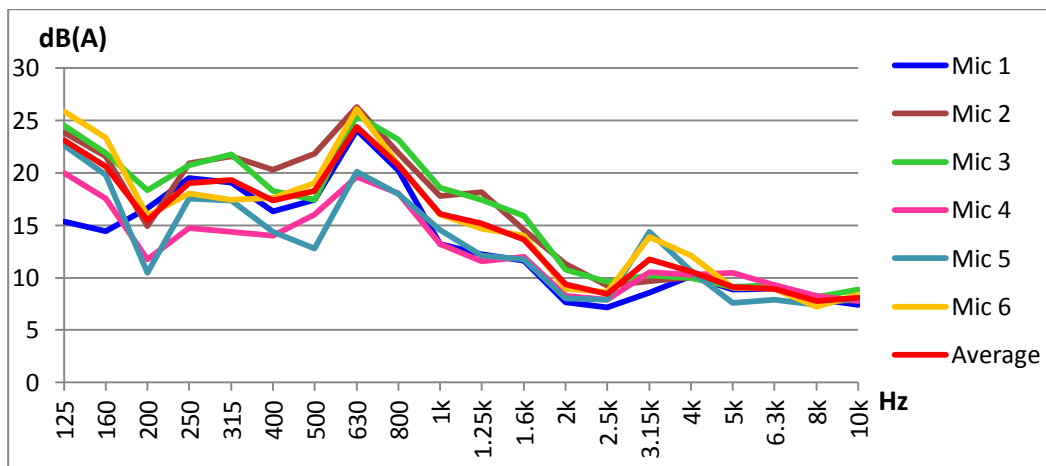


Şekil 2.109: NM3 için 1 nolu mikrofonda zamana bağılı SPL değıerleri.

A-ağırlıklı ses seviyelerinin 1/3 oktav bant frekans spektrumu, her bir mikrofon için Çizelge 2.23 ve Şekil 2.110 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.23: NM3 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

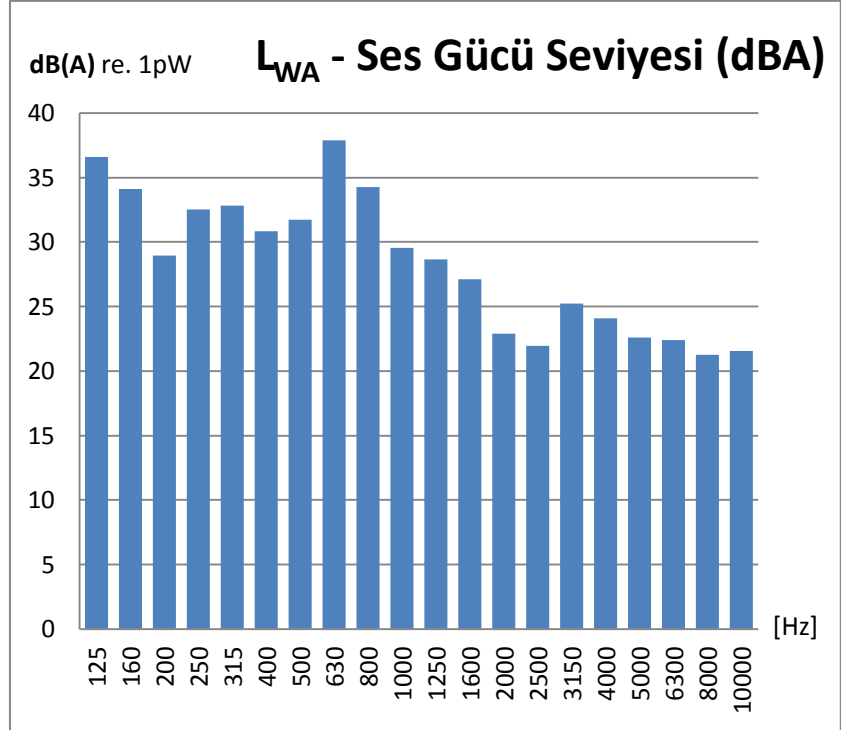
Frekans [Hz]	dB(A) Mik 1	dB(A) Mik 2	dB(A) Mik 3	dB(A) Mik 4	dB(A) Mik 5	dB(A) Mik 6	dB(A) Ortalama
125	15,35	23,85	24,51	20,00	22,64	25,85	23,11
160	14,45	21,57	21,91	17,56	19,79	23,34	20,63
200	16,66	14,94	18,33	11,77	10,45	15,88	15,45
250	19,51	20,93	20,74	14,73	17,56	18,02	19,05
315	19,06	21,61	21,78	14,35	17,40	17,46	19,33
400	16,36	20,32	18,26	14,04	14,35	17,61	17,38
500	17,44	21,85	17,44	16,04	12,82	19,03	18,27
630	24,12	26,32	25,50	19,61	20,11	26,13	24,38
800	20,27	21,88	23,16	18,04	17,96	20,82	20,76
1000	13,21	17,80	18,60	13,19	14,54	16,05	16,08
1250	12,25	18,17	17,44	11,56	12,12	14,66	15,18
1600	11,62	14,58	15,93	12,01	11,76	13,99	13,63
2000	7,68	11,35	10,75	8,26	8,01	8,93	9,40
2500	7,17	9,22	9,60	7,91	7,87	8,62	8,48
3150	8,59	9,69	10,21	10,54	14,35	13,86	11,76
4000	10,15	10,03	9,99	10,29	10,64	12,14	10,61
5000	8,86	9,05	9,13	10,49	7,59	9,04	9,11
6300	8,91	8,98	9,29	9,30	7,92	8,94	8,91
8000	7,97	7,75	8,12	8,28	7,39	7,20	7,80
10000	7,40	7,81	8,91	7,79	8,05	8,36	8,08
Toplam	29,29	32,44	32,30	27,54	28,74	32,05	30,8



Şekil 2.110: NM3 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

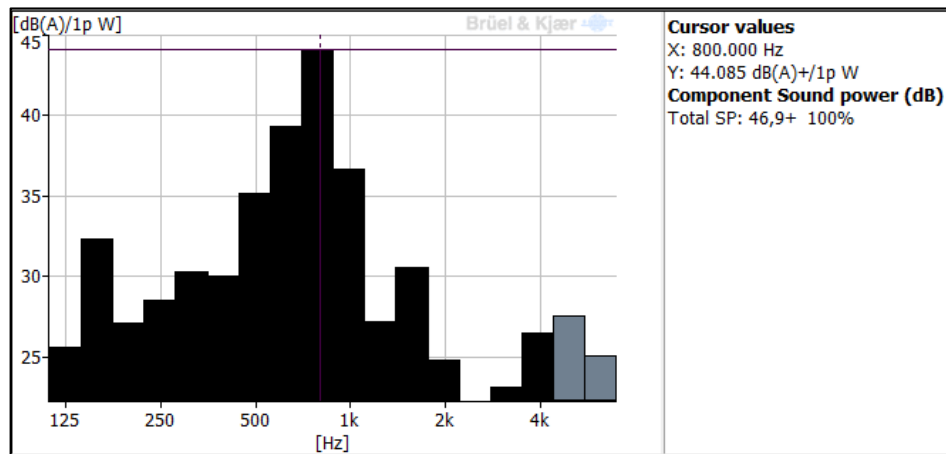
Hesaplanan A-ağırlıklı ses gücü seviyesine ait 1/3 oktav bant spektrumu Şekil 2.111 ile gösterilmiştir.

Frekans [Hz]	L _{WA} dB(A)
125	36,6
160	34,1
200	28,9
250	32,5
315	32,8
400	30,9
500	31,8
630	37,9
800	34,2
1000	29,6
1250	28,7
1600	27,1
2000	22,9
2500	22,0
3150	25,2
4000	24,1
5000	22,6
6300	22,4
8000	21,3
10000	21,6
Toplam	44,3



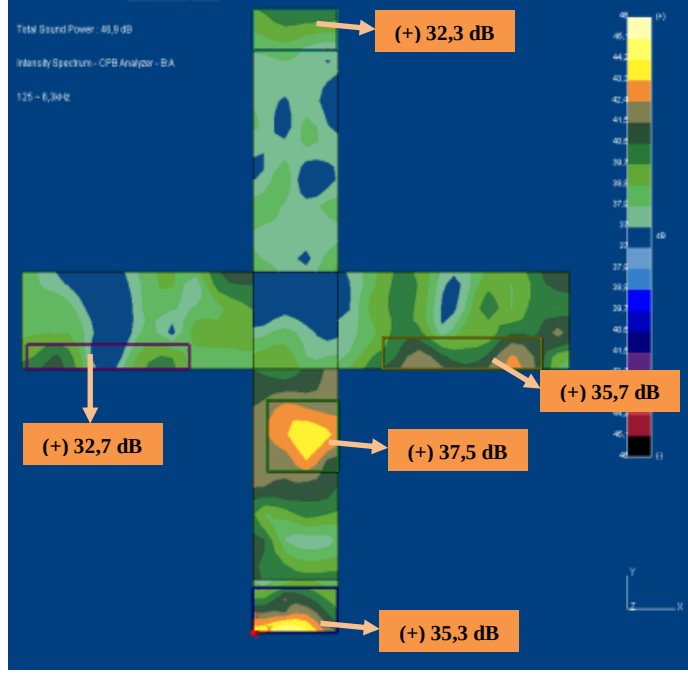
Şekil 2.111: NM3 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.

NM3 için de tüm yüzeylerin ses gücüne katkısının hesaplanması amacıyla ses şiddeti probu ile ölçüm yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.102 ve Şekil 2.103 ile gösterilmiştir.



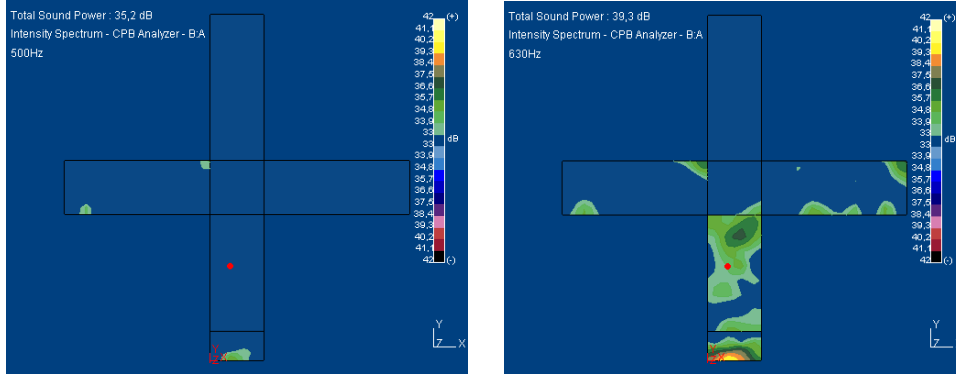
Şekil 2.112: NM3 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.

Ses şiddeti tabanlı ses gücü ölçümü sonucunda toplam ses gücü 46.9 dBA olarak elde edilmiştir.

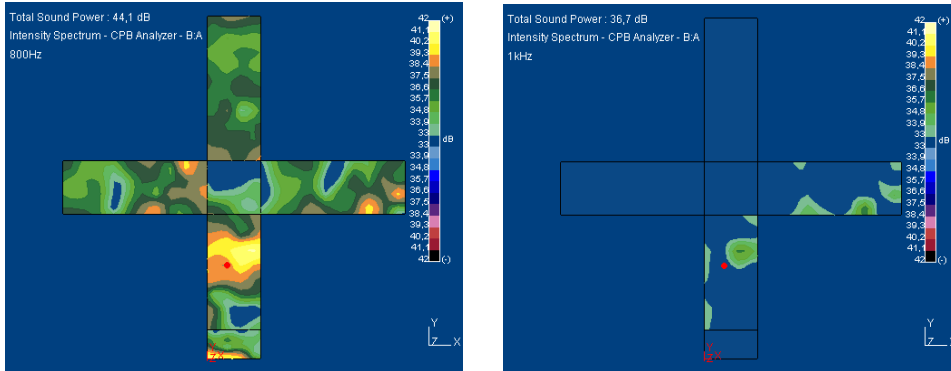


Şekil 2.113: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).

NM3'e ait bazı kritik frekanslara özgü ses gücü haritaları Şekil 2.114 ve Şekil 2.115 ile gösterilmiştir.

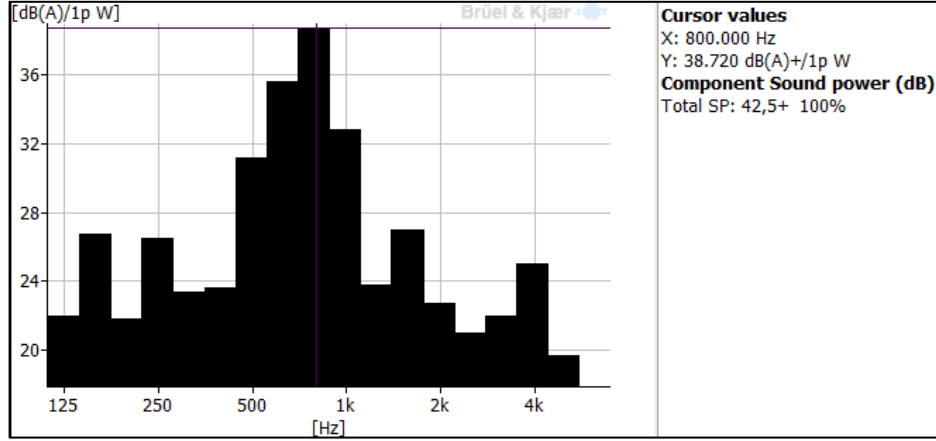


Şekil 2.114: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 500 Hz (solda), 630 Hz (sağda).

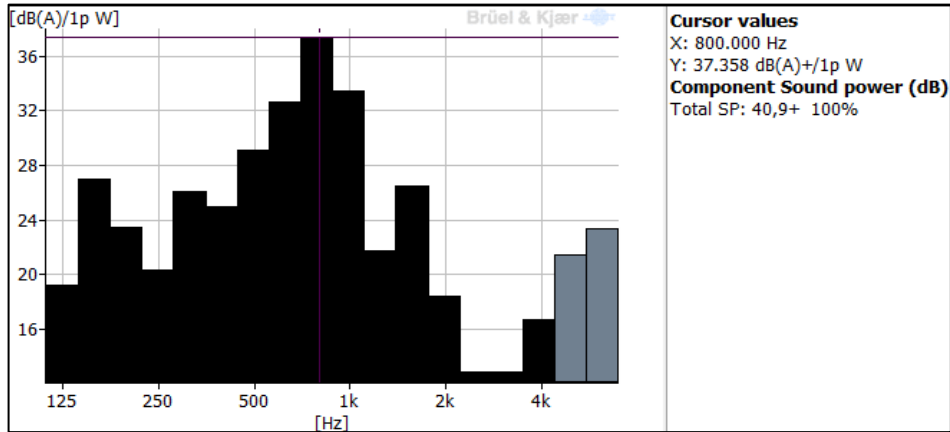


Şekil 2.115: NM3 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 800 Hz (solda), 1 kHz (sağda).

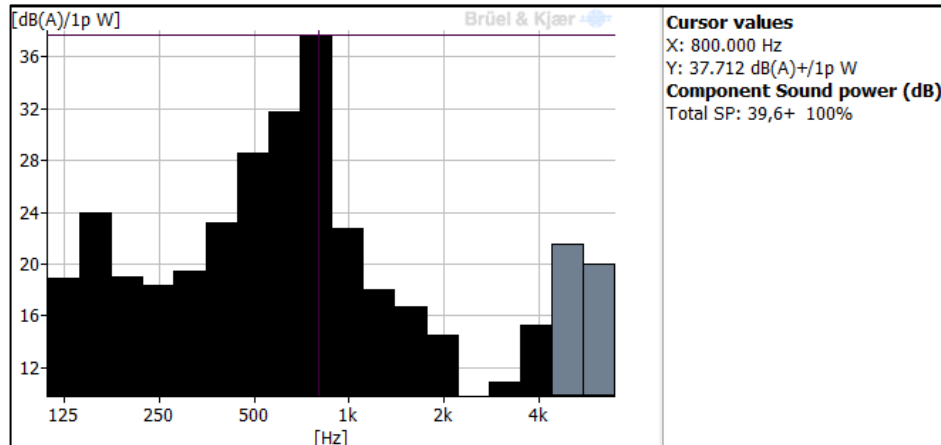
Ses gücüne en çok katkıda bulunan yüzeylere ait ses gücü spektrumları ile bu yüzeylerin tek başına toplam ses güçleri Şekil 2.116 ile Şekil 2.119 arasında gösterilmiştir.



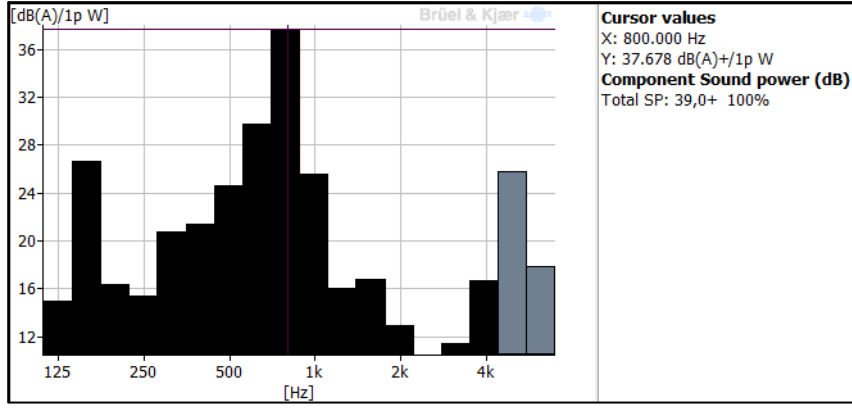
Şekil 2.116: NM3 Arka yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Arka yüzey ses gücü: 42,5 dBA).



Şekil 2.117: NM3 Sağ yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sağ yüzey ses gücü: 40,9 dBA).



Şekil 2.118: NM3 Sol yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sol yüzey ses gücü: 39,6 dBA)



Şekil 2.119: NM3 Ön yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Ön yüzey ses gücü: 39,0 dBA).

2.3.3.4 NM4'e ait sonuçlar

Şekil 2.120 ve Şekil 2.121'de buzdolabına ait çeşitli görünüşler bulunmaktadır.

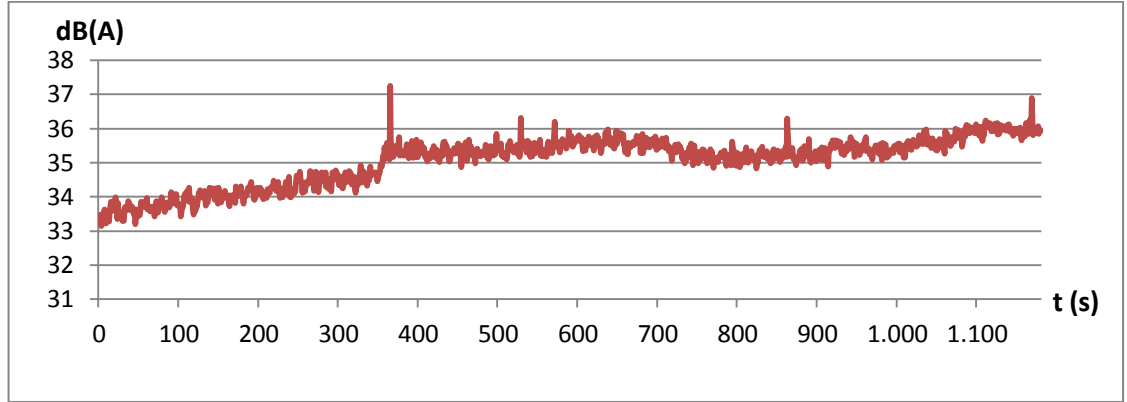


Şekil 2.120: NM4'ün önden, yandan ve arkadan görünüşü.



Şekil 2.121: NM4 kompresör bölgesinin görünüşü.

1 nolu mikrofon pozisyonundaki ses basıncının zamana bağlı değişimi Şekil 2.122 ile verilmiştir. Ses kayıtları dinlenildiğinde, 365’inci saniyede fanın çalışmaya başladığı görülmüştür. Bu nedenle yapılan analizde 365inci saniyeden sonrası baz alınmıştır.

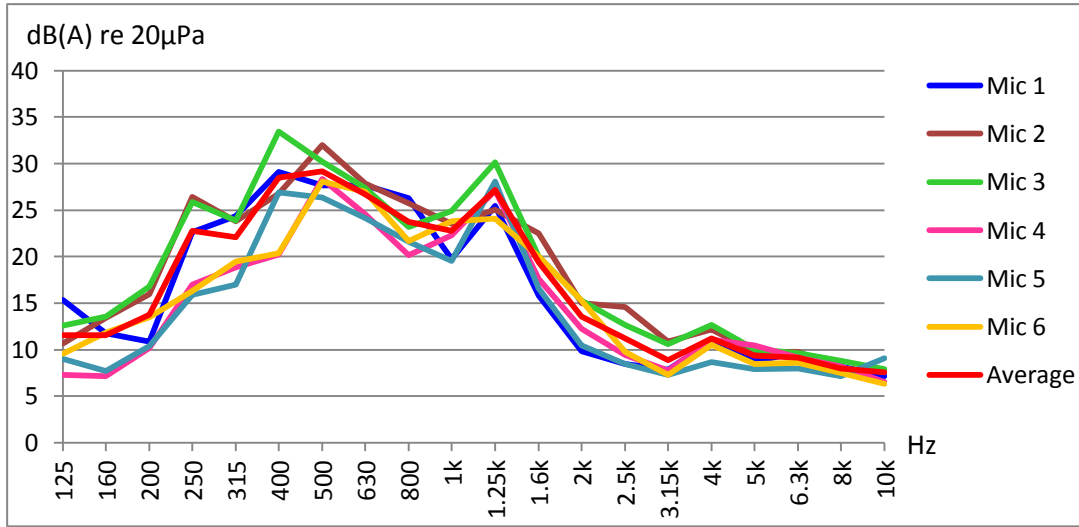


Şekil 2.122: NM4 için 1 nolu mikrofonda zamana bağlı SPL değerleri.

A-ağırlıklı ses seviyelerinin 1/3 oktav bant frekans spektrumu, her bir mikrofon için Çizelge 2.24 ve Şekil 2.123 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.24: NM4 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

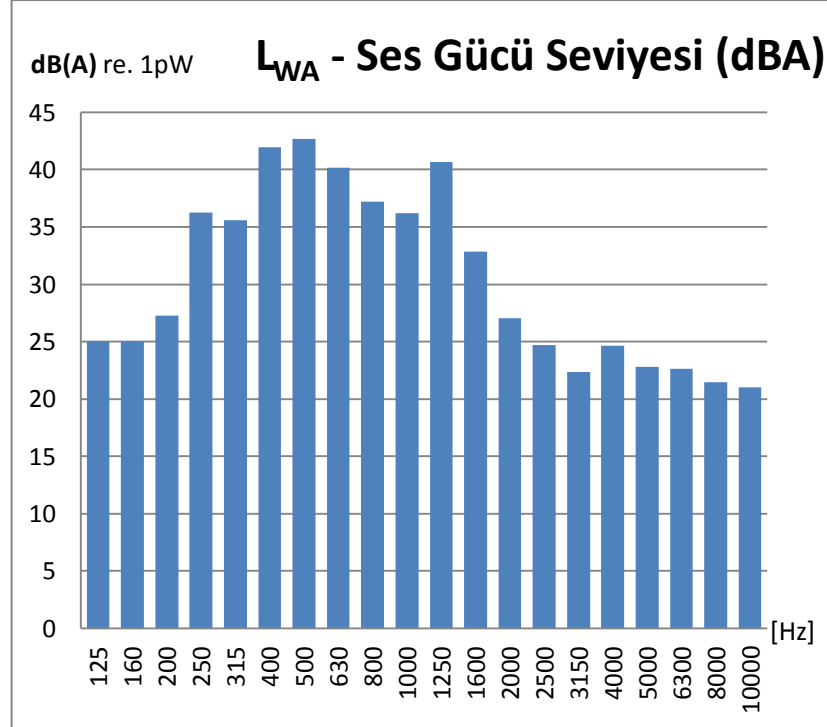
Frekans [Hz]	dB(A) Mik 1	dB(A) Mik 2	dB(A) Mik 3	dB(A) Mik 4	dB(A) Mik 5	dB(A) Mik 6	dB(A) Ortalama
125	15,35	10,65	12,56	7,26	9,02	9,55	11,58
160	11,73	13,38	13,58	7,16	7,68	11,86	11,56
200	10,85	15,98	16,82	10,14	10,36	13,46	13,78
250	22,64	26,41	25,85	16,96	15,91	16,28	22,78
315	24,38	23,82	23,88	18,82	16,98	19,44	22,10
400	29,08	26,74	33,47	20,25	26,89	20,34	28,46
500	27,66	32,02	30,19	28,38	26,34	28,05	29,19
630	27,69	27,84	27,41	24,57	24,16	27,00	26,68
800	26,30	25,76	23,22	20,18	21,61	21,64	23,70
1000	19,71	23,56	24,90	22,27	19,51	23,83	22,75
1250	25,45	25,05	30,17	27,14	28,07	24,07	27,17
1600	15,84	22,53	20,04	17,61	16,57	20,02	19,40
2000	9,86	14,99	15,24	12,24	10,42	15,27	13,56
2500	8,44	14,57	12,67	9,39	8,43	9,77	11,21
3150	7,85	10,86	10,56	7,75	7,26	7,29	8,87
4000	10,92	12,19	12,66	11,08	8,65	10,53	11,18
5000	8,75	9,73	10,07	10,45	7,87	8,45	9,32
6300	9,68	9,74	9,60	9,17	7,94	8,60	9,17
8000	8,18	7,93	8,79	8,15	7,16	7,48	7,98
10000	7,18	7,72	7,93	6,51	9,08	6,33	7,56
Toplam	35,41	36,67	38,00	33,33	33,56	33,52	35,5



Şekil 2.123: NM4 için her mikrofon pozisyonunda ölçülen SPL değerleri.

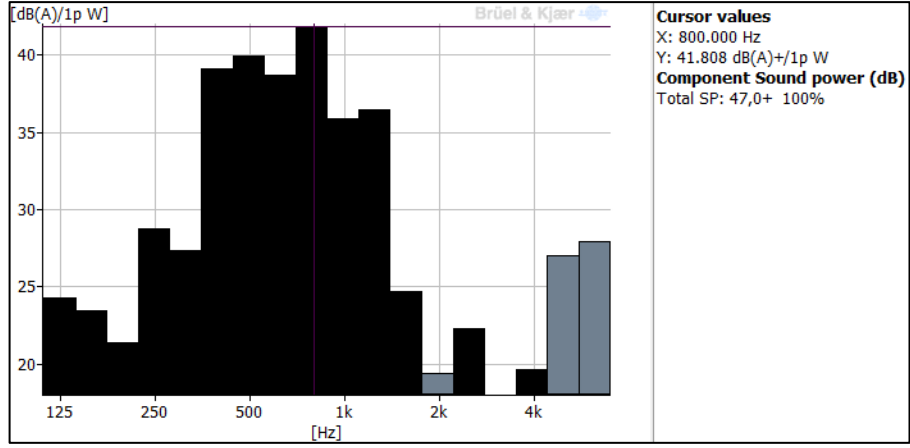
Hesaplanan A-ağırlıklı ses gücü seviyesine ait 1/3 oktav bant spektrumu Şekil 2.124 ile gösterilmiştir.

Frekans [Hz]	L _{WA} dB(A)
125	25,1
160	25,0
200	27,3
250	36,3
315	35,6
400	41,9
500	42,7
630	40,2
800	37,2
1000	36,2
1250	40,6
1600	32,9
2000	27,0
2500	24,7
3150	22,4
4000	24,7
5000	22,8
6300	22,7
8000	21,5
10000	21,0
Toplam	48,9

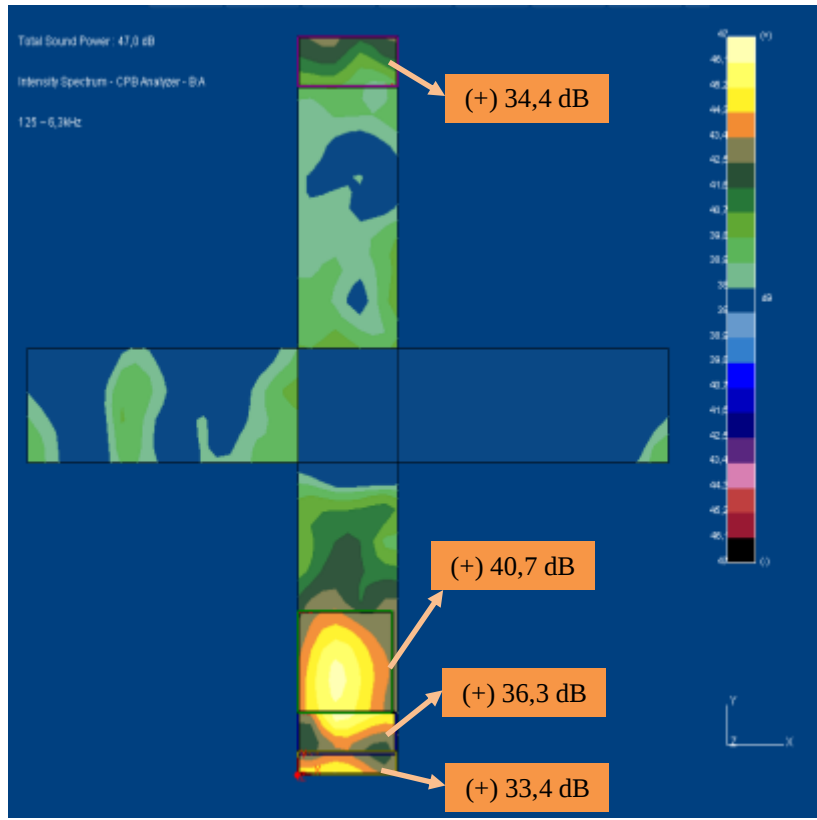


Şekil 2.124: NM4 için 1/3 oktav bandında A-ağırlıklı ses gücü seviyeleri.

NM4 için de tüm yüzeylerin ses gücüne katkısının hesaplanması amacıyla ses şiddeti probu ile ölçüm yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.125 ve Şekil 2.126 ile gösterilmiştir.



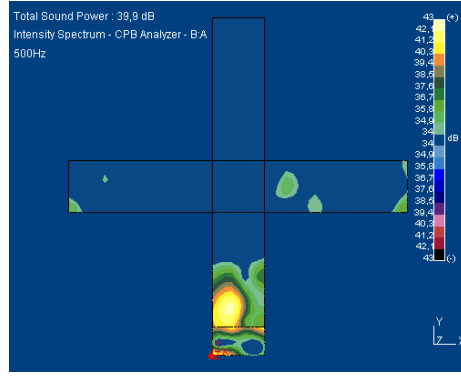
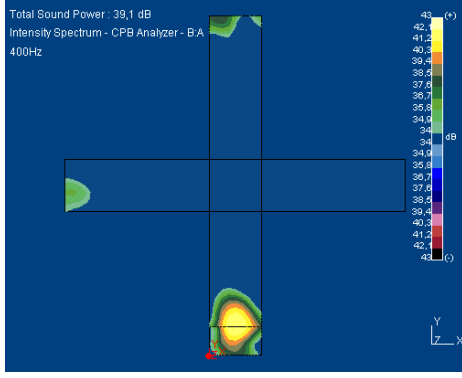
Şekil 2.125: NM4 için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu.



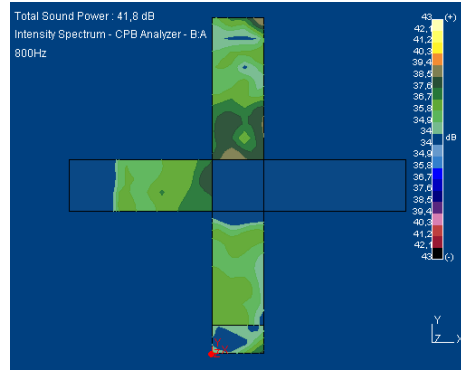
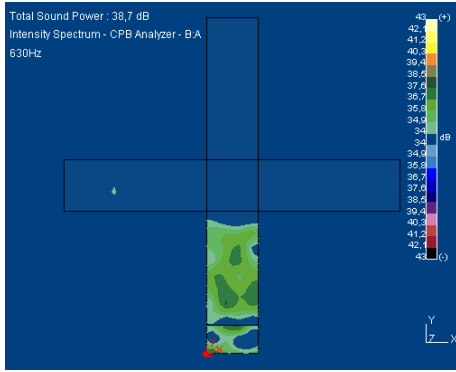
Şekil 2.126: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası (toplam seviye).

Ses şiddeti tabanlı ses gücü ölçümü sonucunda toplam ses gücü 47.0 dBA olarak elde edilmiştir. Ses basıncı tabanlı hesaplanan değer ise Şekil 2.124'ten görüleceği üzere 48.9 dBA olarak hesaplanmıştır. Hatırlanacağı üzere, bu değerlerin farklılığının nedenleri konusunda giriş kısmında çeşitli yorumlar yapılmış idi.

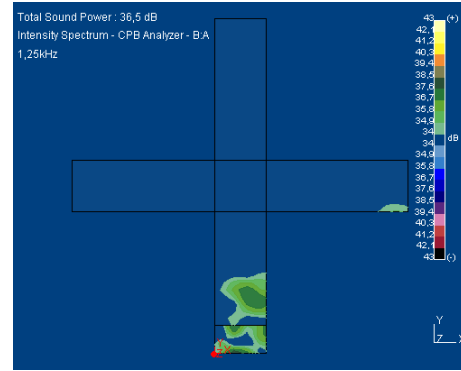
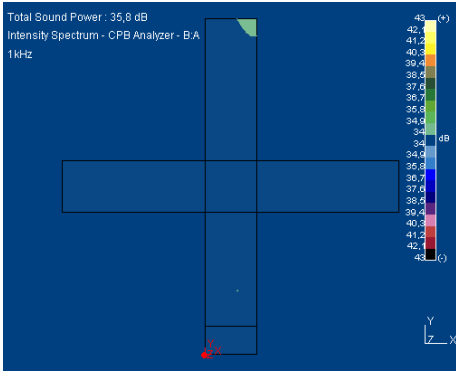
NM4'e ait bazı kritik frekanslara özgü ses gücü haritaları Şekil 2.127 ile Şekil 2.129 arasında gösterilmiştir.



Şekil 2.127: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 400 Hz (solda), 500 Hz (sağda).

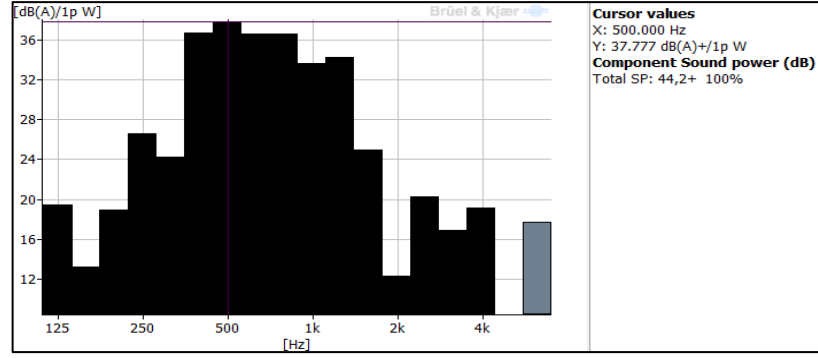


Şekil 2.128: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 630 Hz (solda), 800 Hz (sağda).

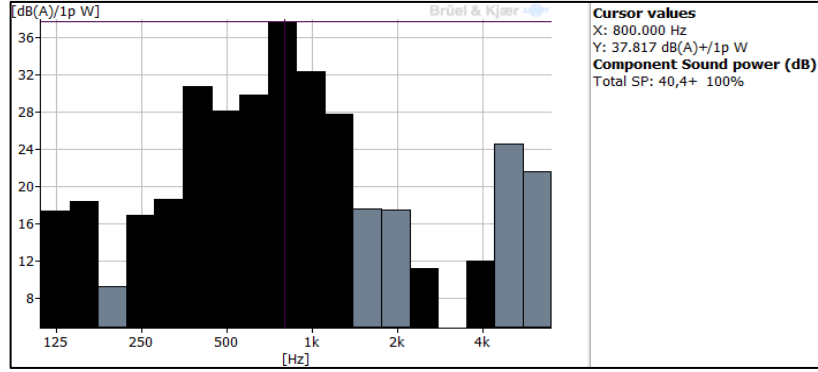


Şekil 2.129: NM4 için ses şiddeti ölçümüne dayalı ses gücü haritası: 1 kHz (solda), 1.25 kHz (sağda).

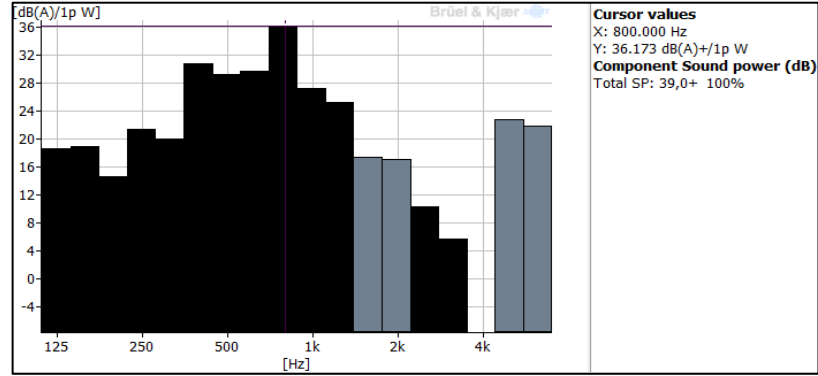
Ses gücüne en çok katkıda bulunan yüzeylere ait ses gücü spektrumları ile bu yüzeylerin tek başına toplam ses güçleri Şekil 2.130 ile Şekil 2.132 arasında gösterilmiştir.



Şekil 2.130: NM4 Arka yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Arka yüzey ses gücü: 44,2 dBA).



Şekil 2.131: NM4 Ön yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Ön yüzey ses gücü: 40,4 dBA).



Şekil 2.132: NM4 Sol yüzeyi için ses şiddeti probu ile elde edilmiş ses gücü spektrumu (Sol yüzey ses gücü: 39,0 dBA).

Toplam ses gücüne en çok katkısı bulunan frekansların 400 ve 500 Hz bantlarında olduğu açıkça görülmektedir. Benzer şekilde, fanda da baskın frekansların arasında 378 ve 504 Hz olduğu, Bölüm 2.2.2.2’de daha önce belirlenmişti.

NM4’e ait fanın periyodik olarak durup tekrar başlaması, fan devre dışı kaldığında toplam ses gücünü ölçebilmek açısından kolaylık sağlamıştır. Toplam ses gücü hesapları, ses kayıtlarında fanın kapalı olduğu bölüm analiz edilerek tekrarlandığında yaklaşık 1.5 dBA daha düşük sonuç elde edilmiştir.

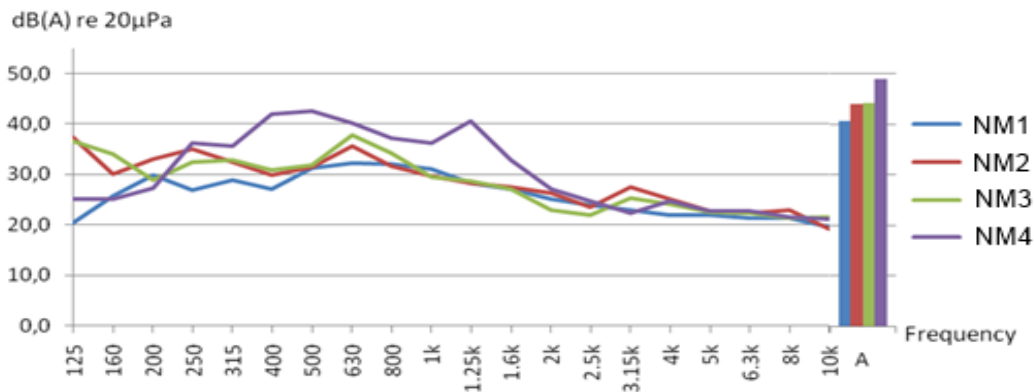
2.3.4 Ölçüm sonuçlarının karşılaştırması

2.3.4.1 Ses basıncına dayalı ses gücü seviyelerinin karşılaştırması

Yarı-yankısız test odasında yapılan, ses basıncına dayalı ses gücü ölçümlerinin sonuçlarının karşılaştırma çizelgesi ve grafiği Çizelge 2.25 ve Şekil 2.133 ile verilmiştir.

Çizelge 2.25: Numunelerin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses basıncı metodu ile).

Frekans [Hz]	NM1	NM2	NM3	NM4
125	20,3	37,3	36,6	25,1
160	25,6	30,1	34,1	25,0
200	29,8	33,0	28,9	27,3
250	26,8	35,0	32,5	36,3
315	28,9	32,4	32,8	35,6
400	27,0	29,9	30,9	41,9
500	31,2	31,5	31,8	42,7
630	32,2	35,5	37,9	40,2
800	32,1	31,7	34,2	37,2
1000	31,0	29,6	29,6	36,2
1250	28,3	28,3	28,7	40,6
1600	27,1	27,5	27,1	32,9
2000	25,1	26,3	22,9	27,0
2500	23,8	23,4	22,0	24,7
3150	23,0	27,5	25,2	22,4
4000	21,9	25,1	24,1	24,7
5000	22,0	22,7	22,6	22,8
6300	21,3	22,3	22,4	22,7
8000	21,3	23,0	21,3	21,5
10000	19,6	19,2	21,6	21,0
Toplam (dBA)	40,6	44,0	44,3	48,9



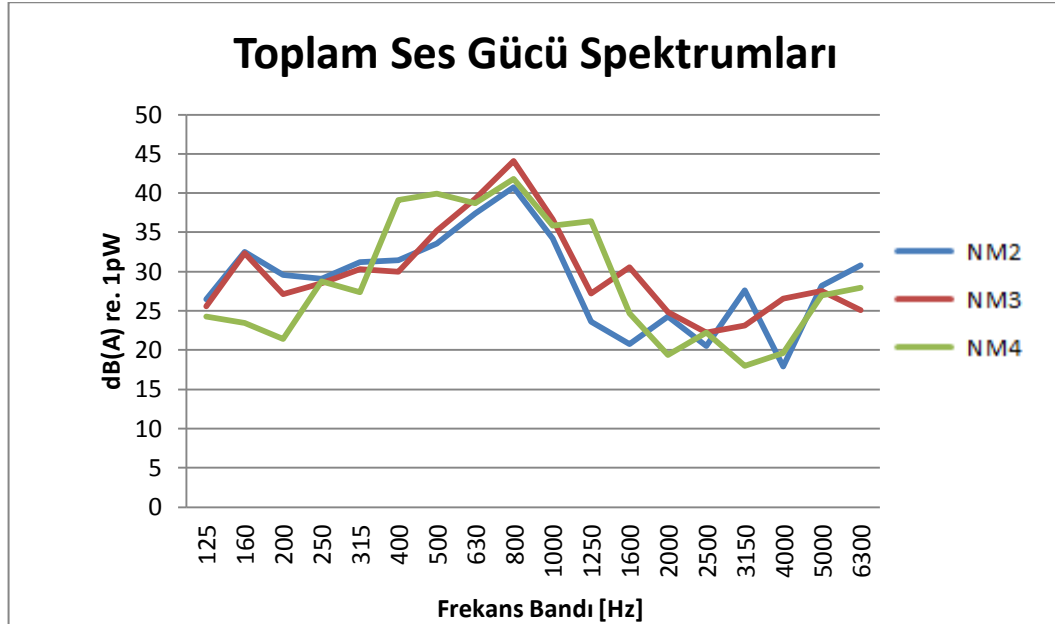
Şekil 2.133: Numunelerin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses basıncı metodu ile).

2.3.4.2 Ses şiddetine dayalı ses gücü seviyelerinin karşılaştırması

Ses şiddetine dayalı ses gücü ölçümlerinin sonuçlarının karşılaştırma çizelgesi ve grafiği Çizelge 2.26 ve Şekil 2.134 ile verilmiştir.

Çizelge 2.26: Ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).

Frekans Bandı [Hz]	SES GÜCÜ SEVİYESİ - dB(A)		
	NM2	NM3	NM4
125	26,50	25,58	24,30
160	32,50	32,35	23,49
200	29,56	27,11	21,39
250	29,09	28,49	28,80
315	31,19	30,28	27,37
400	31,41	30,00	39,08
500	33,58	35,18	39,91
630	37,40	39,29	38,70
800	40,75	44,09	41,81
1000	34,21	36,65	35,85
1250	23,64	27,22	36,46
1600	20,77	30,59	24,71
2000	24,29	24,81	19,41
2500	20,50	22,24	22,27
3150	27,62	23,14	18,00
4000	17,91	26,54	19,65
5000	28,22	27,57	26,99
6300	30,77	25,09	27,91

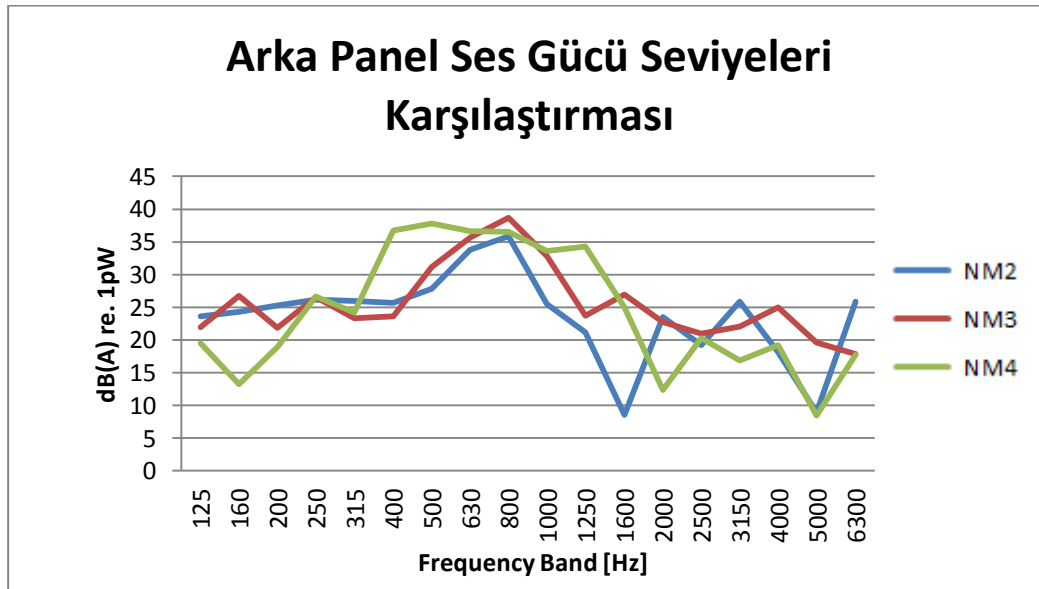


Şekil 2.134: Ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).

Buzdolaplarının hepsinde de arka yüzeyin toplam ses gücüne katkısı en fazla olduğu için, numunelerin yalnızca arka yüzeylerinin ses güçlerinin karşılaştırmasına ait çizelge ve grafik Çizelge 2.27 ve Şekil 2.135 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.27: Numunelerin arka yüzeylerinin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması.

Frekans Bandı [Hz]	Arka Panel Ses Gücü Seviyeleri dB(A)		
	NM2	NM3	NM4
125	23,66	21,94	19,47
160	24,33	26,76	13,21
200	25,29	21,84	18,89
250	26,13	26,53	26,61
315	25,97	23,34	24,20
400	25,68	23,61	36,70
500	27,83	31,20	37,78
630	33,81	35,65	36,60
800	35,82	38,72	36,54
1000	25,45	32,81	33,64
1250	21,20	23,75	34,24
1600	8,54	26,99	24,95
2000	23,51	22,73	12,33
2500	19,19	20,97	20,27
3150	25,91	22,01	16,87
4000	18,11	25,00	19,18
5000	8,93	19,63	8,43
6300	25,89	17,86	17,70



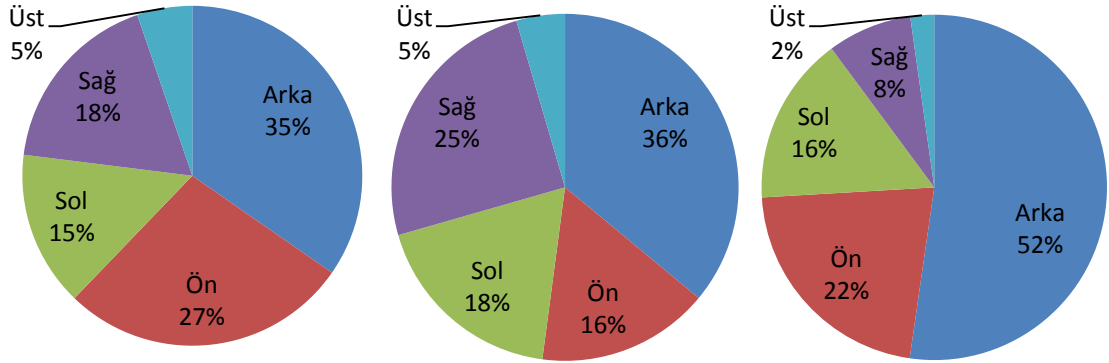
Şekil 2.135: Numunelerin arka yüzeylerinin ses gücü seviyelerinin karşılaştırması (ses şiddeti metodu ile).

2.3.4.3 Buzdolaplarının farklı yüzeylerinin ses gücüne katkısı

Buzdolaplarının her yüzeyinin başlı başına ses güçleri ile, bu yüzeylerin toplam ses gücüne ne kadar katkıda bulunduğu ilişkin grafikler ise ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.28: Farklı yüzeylerin ses güçleri.

Yüzey	Yüzeylere göre ses gücü seviyeleri dB(A)		
	NM2	NM3	NM4
Arka	39,90	42,50	44,20
Ön	38,90	39,00	40,40
Sol	36,20	39,60	39,00
Sağ	37,00	40,90	36,00
Üst	31,70	33,50	30,50
TOPLAM	44,50	46,90	47,00



Şekil 2.136: Farklı yüzeylerin toplam ses gücüne katkısı: NM2 (solda), NM3 (ortada), NM4 (sağda).

2.4 Gürültü ve Titreşim Ölçümlerine Dayalı Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, dört adet buzdolabı üzerinde çok sayıda titreşim ve gürültü ölçümleri alınarak numuneler arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Çalışma sonunda iyileştirilmesi hedeflenen NM2, NM3 ve NM4 buzdolapları için aşağıda listelenen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Genel olarak en düşük titreşim seviyeleri NM1’de, en yüksek titreşim seviyeleri ise NM4’te elde edilmiştir. NM4’ün şasisindeki titreşim hızı benzer ürünlere göre oldukça yüksektir ($v=1.4$ mm/s rms).
- ISO 3744 standardına göre ölçülen ses gücü seviyeleri NM1, NM2, NM3 ve NM4 için sırasıyla 40.6, 44.0, 44.3 ve 48.9 dBA olarak elde edilmiştir. Ses

şiddeti yöntemi ile elde edilen ses gücü değerleri de benzer sonuçlar vermiştir.

- Titreşim sinyallerinin frekans spektrumları; NM1, NM2 ve NM4'te ana frekans bileşeninin 50 Hz, NM3'te ise 72 Hz olduğunu göstermiştir.
- Numunelerdeki kompresör tipleri tek silindirli ve pistonu yatay ekseninde hareket eden tiptedir. Bu durum, yanal atalet kuvvetleri doğurmaktadır. Bu tipteki mekanizmalar yapısı gereği balanssızlığa sahiptirler ve yalnızca dönel kütlelerin karşılığına dengeleme kütlelerinin ilavesi ile bu atalet kuvvetlerinin üstesinden gelmek mümkün olur. Açıkça görülmektedir ki test edilen numunelerde böyle bir dengeleme uygulanmamıştır. Beyaz eşya üreticilerinin bunu dikkate almaları faydalı olacaktır.
- NM4'e ait fanın, ürünün toplam gürültüsüne önemli miktarda katkısı bulunmaktadır. Fan gürültüsü özellikle 1500 Hz'in alt bölgelerinde etkindir. Fanın kapalı olduğu durumda, ürünün ses gücü seviyesi yaklaşık 1.5 dBA azalmaktadır. Fan gürültüsü kulakla da rahatlıkla duyulabilmektedir. Bu nedenle fanın tasarımında ve gövdeye montaj tasarımında izolasyon uygulanacak şekilde değişikliğe gidilmelidir.
- Her ne kadar ses gücü ölçümlerinde toplam seviyeye çok fazla katkısı bulunmasa da (0.2 dB'den az), NM4'ten çıkan –termal genleşme ve sıkışma kaynaklı- çıtırtılar, ürünün sesi üzerinde rahatsız edici bir unsur teşkil etmektedir.
- Çalışma şartlarında benzer konumlardan alınan titreşim ölçümleri incelendiğinde, titreşim seviyelerinin NM1, NM2, NM3 ve NM4 sırası ile giderek arttığı görülmüştür. Ses gücü seviyelerinin de bu sıra ile artması, ürünlerde titreşimin gürültü üzerinde etkili olduğunun bir başka kanıtıdır.
- Tüm buzdolapları için, buzdolaplarının üst panellerinin toplam ses gücüne katkısı 5%'ten az ölçülmüştür. Özellikle NM1 numunesi için toplam ses gücünün neredeyse tamamı arka panelden kaynaklanmaktadır ($L_{w, \text{ arka}} = 39.6$ dBA ve $L_{w, \text{ toplam}} = 40.6$ dBA). Fakat NM4 numunesine bakıldığında, ses gücünün 52%'sinin arka panelden, 22%'sinin ise ön panelden yayıldığı tespit edilmiştir. NM2 için de ön ve arka paneller ses gücüne katkısı yüksek olan

panellerdir. NM3'te ise arka ve sağ panellerin ses gücüne daha çok katkıda bulunduğu görülmüştür.

- NM4'e ait sönüm malzemesi kullanılmamış (orijinal) kompresör ile st kapağında sönüm malzemesi kullanılmış kompresör arasındaki titreşim ve gürültü seviyelerinin önemli miktarda fazla oluşu, NM4 buzdolabında sönüm malzemesi kullanılmasının etkili olacağını göstermiştir.
- NM4 buzdolabındaki fanın, içinde bulunduğu kaviteyi tahrik ederek gövdenin rezonans frekanslarını tahrik ettiği tespit edilmiştir.
- NM2 ve NM3 buzdolaplarında, fanın gövdeye rijit olarak monte edilmesinin bir sonucu olarak fan gürültüsünün etkin olduğu görülmüştür. Bu modellerde fan ile gövde arasında mümkün olduğuunca esnek bir montaj biçimi kullanılması uygun olacaktır.

3. SES KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Çalışmanın bu aşamasında, beş buzdolabı üzerinden ses kalitesi ölçümler yapılacak ve sonuçlar değerlendirilecektir. Bu beş buzdolabı, çalışmanın ilk aşamada kullanılan NM1'i, bir adet farklı marka bir buzdolabını ve diğer buzdolaplarının modifiye edilmiş versiyonlarını içermektedir.

Bu çalışmanın temel amaçları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Ses kalitesinin rakip ürünler ile kıyaslanması
- Beş adet ürün üzerinde yapılan çalışmalar ile öznel ve nesnel ses kalitesi parametrelerinin belirlenmesi ve tasarım aşamasında kullanılmak üzere bir korelasyon modelinin kurulması
- Ses kalitesini etkileyen fiziksel tasarım unsurlarının araştırılması
- Son olarak da bu unsurların uygulanması sonucu ürün ses kalitesinin iyileştirilmesidir.

Ses kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılacak ölçümler için iş akış şeması aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- i. Gerçeğe uygun nesnel (objektif) kayıt alınabilmesine olanak sağlayan Baş ve Gövde Simulatörü (**Head And Torso Simulator, HATS**) kullanılarak buzdolabından çalışma esnasında yayılan sesler uygun bir ortamda kayıt edilecektir.
- ii. Gerçeğe olabildiğince yakın olan bu kayıtlar incelenerek buzdolabının çalışma evrelerine göre ayrıştırılmış “örnek ses kayıtları” oluşturulacaktır. Bu ses kayıtları kullanılarak bir ses kalitesi yazılımı yardımı ile nesnel “ses metrikleri” hesaplanacaktır.
- iii. Örnek ses kayıtları, buzdolaplarının müşteri profilini temsil eden bir jüriye dinletilecek ve ses kayıtlarına ilişkin çeşitli sorular yöneltilerek bu sesleri

tarif edebilecek belli başlı sıfatların (uğultulu, vızıltılı, metalik, yumuşak vb. gibi) jüri üyelerince algılanma dereceleri puanlandırılacaktır.

- iv. Öznel (subjektif) testlerin değerlendirilmesinden sonra ortaya çıkan sonuçlar ile, yapılan ölçümlerin sonucunda elde edilen nesnel (objektif) metrikler çok boyutlu regresyon analizi ile değerlendirilerek uygun bir korelasyon modeli oluşturulacaktır.
- v. Bütün olarak sonuçlar değerlendirilecek ve bu değerlendirmeler üzerinden bir dizi öneri sunulacaktır.
- vi. Sunulan öneriler doğrultusunda yapılan tasarım değişiklikleri sonucunda geliştirilen yeni numuneler üzerinde nesnel testler tekrarlanacak ve yapılan değişikliklerin verimliliği irdelenecektir.

3.1 Ses Kalitesi Ölçümleri

3.1.1 Test edilen buzdolapları ve ölçüm düzeneği

Buzdolaplarının ses kalitesi ölçümlerinin yapılması için isimleri aşağıdaki şekilde adlandırılan beş adet numune mevcuttur. Bu numunelerin önden görünüşleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Numuneler bundan sonra yukarıda işaret edildiği gibi SQ1, SQ2, vb. şeklinde anılacaktır.



Şekil 3.1: Numunelerin önden görünüşü (sırasıyla SQ1, SQ2, SQ3, SQ4 ve SQ5).

Yukarıdaki numunelere ek olarak, ses kalitesi çalışmasında kullanılmak üzere bir adet "yapay" ses kaydı daha oluşturularak bu ses kaydına SQ6 ismi verilmiştir. Bu ses kaydı, SQ4 kodlu EGE CB 70/30 numunesine ait ses kaydı üzerinde çeşitli

düzeltilmeler yapılarak elde edilmiş olup, yapılan düzeltilmeler daha sonra Bölüm 3.1.2.2'de detaylıca anlatılmıştır. SQ6 numunesine ait ses kaydı, hem nesnel testlerin toplam değerleri için hem de öznel testlerin tamamı için diğer numunelerle birlikte analiz edilmiştir.

Ses kalitesi için yapılacak ölçümlerin kayıtları Baş ve Gövde Simülatörü (**Head And Torso Simulator, HATS**) kullanılarak yapılmıştır. İnsanların algıladığı ses üzerinde; kulak yolu, kulak kepçesi, baş ve gövde kısımlarının hepsinin ortak etkileşimlerinin etkisi mevcuttur. Bu etkiler “kafa ile ilişkili transfer fonksiyonları” **HRTF (Head Related Transfer Functions)** olarak adlandırılmaktadır [18]. Kullanılan bu ekipman sayesinde, sesin “yönelimsel” olan bu etkileri de ortalama bir insanı temsil/taklit edebilecek şekilde göz önünde bulundurulmuştur. Ses kayıtları Prof. Dr. Osman Feyzi Genceli Isı Tekniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Kayıt alanından bir görünüm Şekil 3.2'de verilmiştir. Kullanılan HATS ekipmanına ait mikrofonları ile numuneler arasındaki yatay uzaklık 1 metre ve mikrofonların yerden yüksekliği ise 130 cm'dir. Ölçümler esnasında buzdolabının içine tuğla ve kiremit benzeri yapı elemanları konularak buzdolabının yaşam şartları altındaki gibi yüklü halde çalışması sağlanmıştır. Dolapların sıcaklık ayarları dondurucu bölmesi için -22°C 'ye ve soğutucu bölmesi için ise 4°C 'ye ayarlanmıştır. Elemanlarla ilgili görseller Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kayıt alanından bir görünüm.



Şekil 3.3: Yükleme elemanları.

Test sırasında kullanılan donanım ve yazılımlarla ilgili bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Ölçümler için kullanılan donanım.

Çok Kanallı Analizör	Brüel & Kjør	3560-D
İvmeölçer (1 tane)	Brüel & Kjør	4507 B
Head and Torso Simulator (HATS)	Brüel & Kjør	4100 (4189-A-002 iki mikrofon)
Pulse LABSHOP	Brüel & Kjør	Version 17.1.0
Pulse REFLEX	Brüel & Kjør	Version 17.1.0
Pulse Sound Quality Software	Brüel & Kjør	7698
Pulse Jury Test	Brüel & Kjør	
Pulse Psychoacoustic Test Bench	Brüel & Kjør	

HATS ile yapılan ölçümlerde, PULSE Labshop programının kayıt aracı olan "Time Recorder" kullanılarak ölçümlerin daha sonra dinlenip işlenebilmesine uygun bir şekilde kayıt alınması sağlanmıştır. Kayıtlar PULSE Reflex programı kullanılarak tekrar analiz edilmektedir. Bunlara ek olarak yapılacak olan juri testleri için ise PULSE Sound Quality yazılımının juri testleri ile ilgili olan kısmı kullanılarak dinletilen sesler juri tarafından değerlendirilecektir.

3.1.2 Ses kayıtlarının hazırlanması

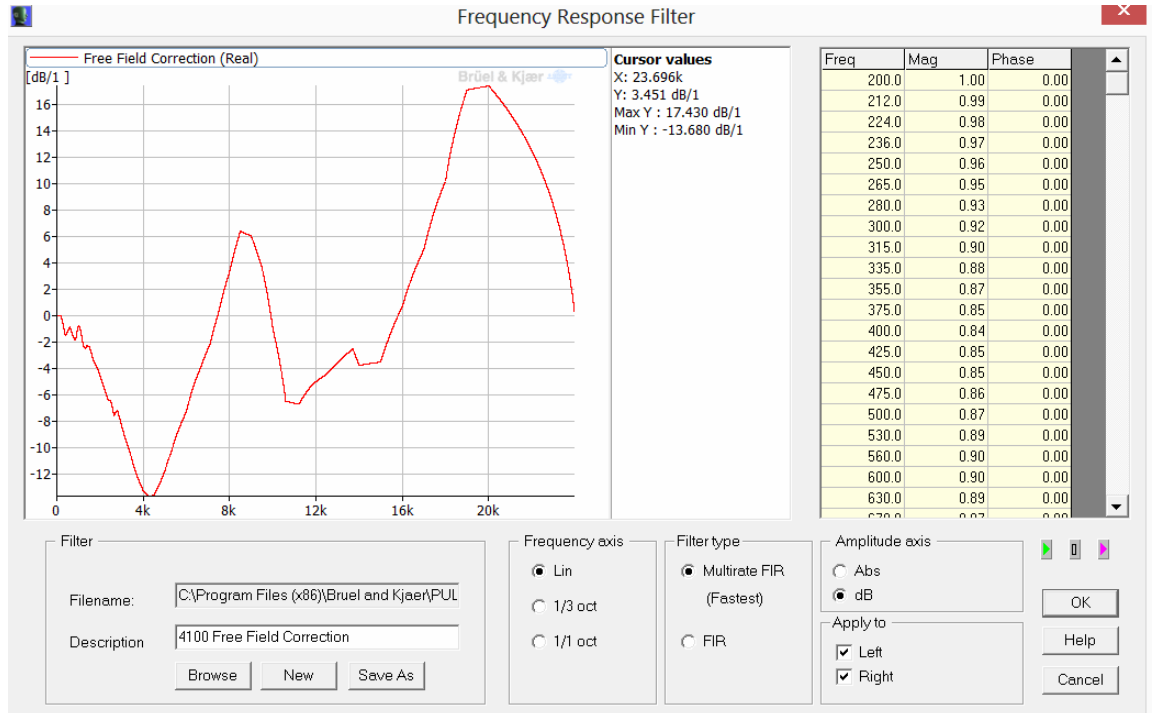
Ses kalitesi çalışmalarında, gerek metriklerin hesaplanması gerekse kayıtların dinletilmesi (playback) aşamalarında doğru ve uygun ses kayıtlarının yapılması çok önemlidir. Bunun yanında, ses kalitesinin artırılması hedeflenen buzdolaplarından biri olan SQ4 buzdolabı üzerinde sesin kulağa daha hoş gelmesi amacıyla uygulanan yapay düzenlemeler ile yeni bir SQ6 sesi elde edilmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda, ses kayıtları üzerinde çeşitli düzenlemeler yapılmıştır.

3.1.2.1 Ses kayıtlarının metrik hesaplaması için hazırlanması

Çalışma kapsamında ses kayıtları HATS ile alındığı için; bu ses kayıtları üzerinde ortalama bir insanın kafa, gövde ve kulak kepçesinden kaynaklanacak olan ortalama bir frekans cevabının etkileri de gömülüdür. Ancak, ses kalitesi metriklerinin doğru hesaplanabilmesi için bütün ses kayıtlarına, bu frekans cevabının tersi şeklinde elde edilen bir frekans düzeltme filtresi uygulanmalıdır [18]. Ölçüm ortamının yutucu elemanlarla çevrili olması ve numunenin tam olarak HATS karşısında (0 derece pozisyonunda) bulunması da göz önünde bulundurularak, HATS üreticisi Brüel &

Kjær firmasının Şekil 3.4'teki gibi sağladığı frekansa bağlı düzeltme katsayısı olan serbest alan tepki fonksiyonu (Free Field Response) verisi kullanılmıştır [19].

Dinletme aşamasında ise jüriye dinletilen ses kayıtlarının ortamdaki gerçek sesleri mümkün olduğunca doğru temsil edebilmesi gereklidir. Bu amaçla kaydedilen sesler üzerinde; kulaklık ve ses kartının neden olduğu frekans tepkisinin düz (flat) hale getirilmesi, yani frekans düzeltme filtresinin de uygulanması gerekmektedir. Gerçek ortamdaki dinleme ile ses kayıtlarını dinlenmesi hallerini karşılaştırmalı olarak görselleştiren bir şema ise daha sonraki bölümlerde Şekil 3.18'de verilmiştir.

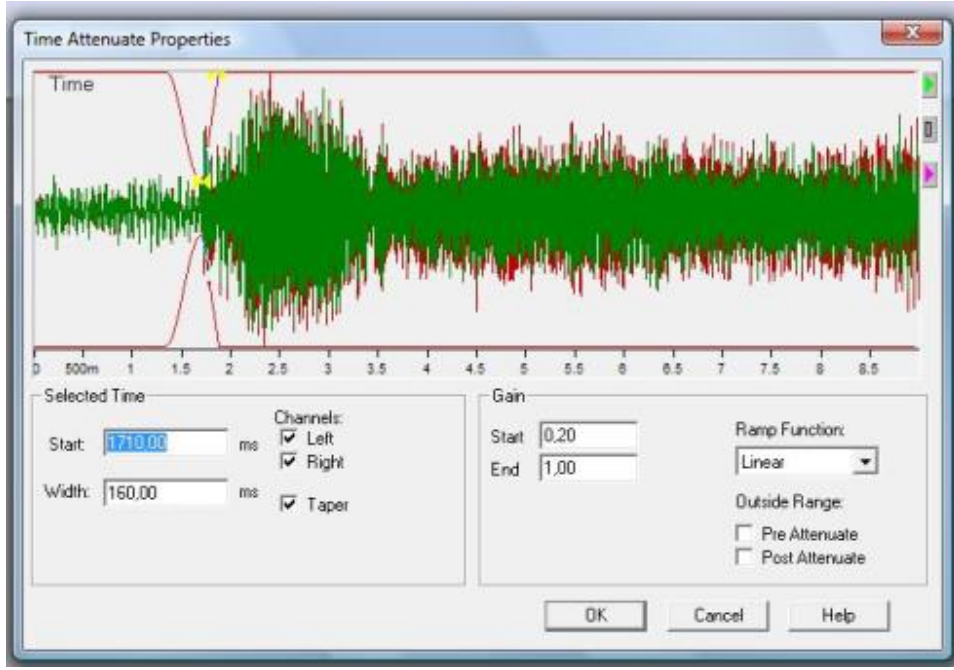


Şekil 3.4: Ses kayıtlarının ses metrikleri hesaplaması için hazırlanması.

3.1.2.2 SQ4 ses kaydının özel olarak düzenlenmesi

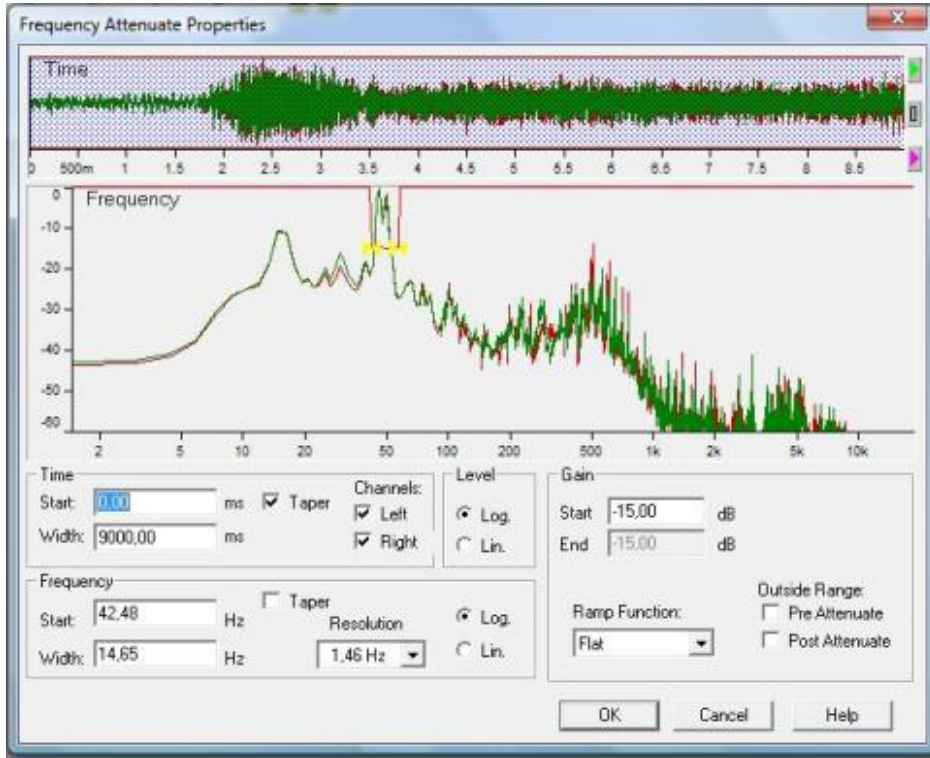
Ses kayıtları alınan 5 adet buzdolabından birisi olan SQ4 buzdolabının sesi, B&K PULSE Sound Quality [20] yazılımı yardımıyla düzenlenerek yapay bir ses elde edilmiş ve bu ses analizlere dahil edilmiştir. Yapılan düzenlemeler, mümkün olduğunca buzdolabı üzerinde uygulanabilecek çeşitli tasarım iyileştirmelerinin yansması olan düzenlemeler olarak seçilmiştir.

SQ4 başlangıç aşamasında kompresörün devreye girdiği anda yüksek seviyede darbe sesi olduğu gözlemlenmiştir. Bu darbe sesinin bastırılmasına ilişkin düzenleme Şekil 3.5'te görülmektedir.

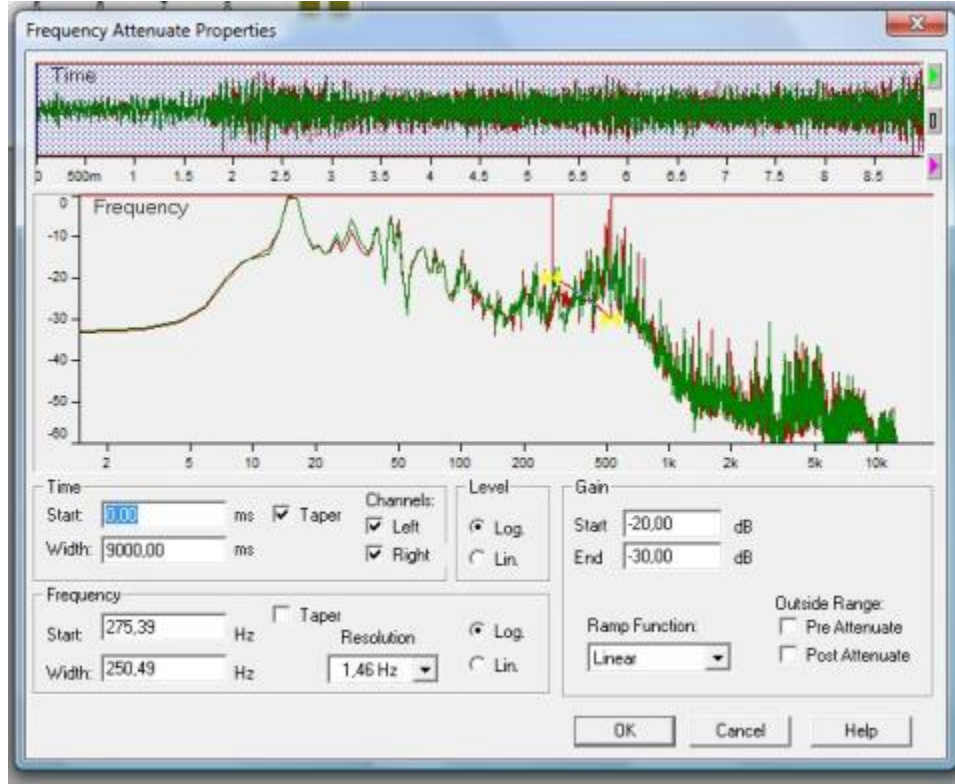


Şekil 3.5: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #1.

SQ4 başlangıç aşamasında kompresör devreye girdikten hemen sonra 50 Hz'lik kompresör kaynaklı frekans bileşeni; yaklaşık 1.5 sn. sonra da 275 - 525 Hz aralığında frekansı giderek yükselen fan sesi kaynaklı frekans bileşeni tespit edilmiştir. Bu frekansların bastırılmasına ilişkin detaylar Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 ile belirtilmiştir.

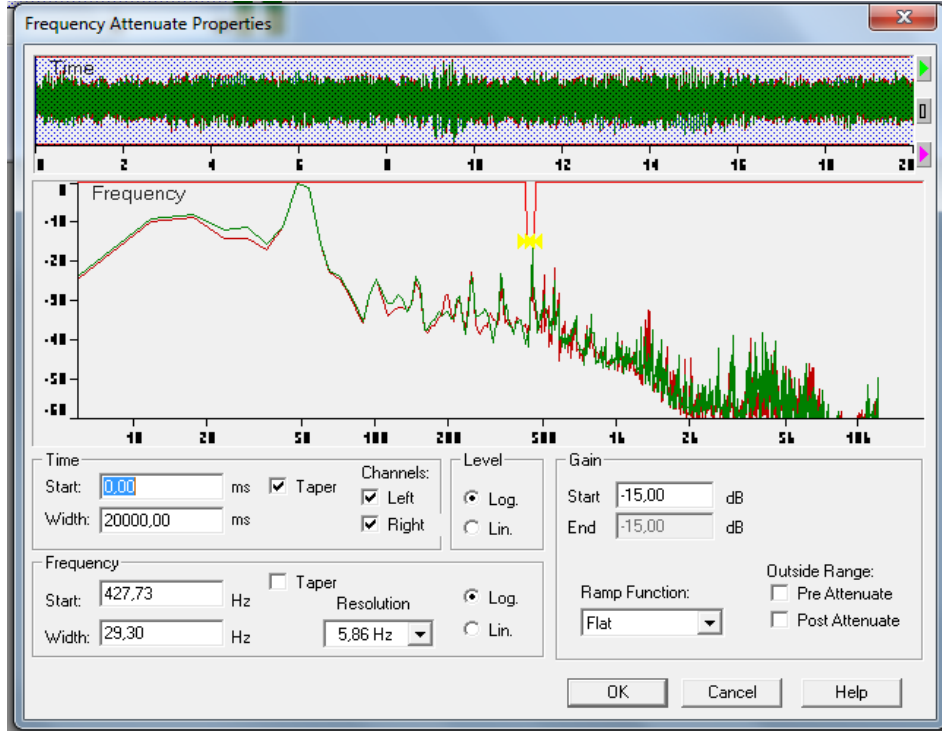


Şekil 3.6: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #2.

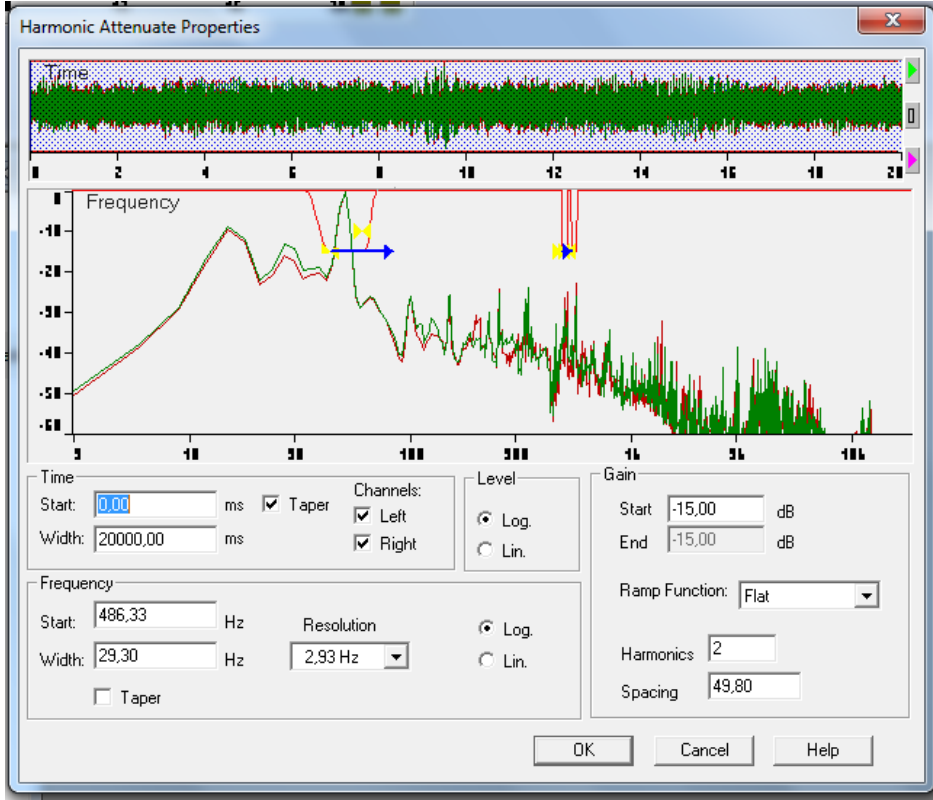


Şekil 3.7: SQ4 Başlangıç sesi düzenlemesi #3.

SQ4 kararlı faz sesinde yüksek görülen çeşitli frekans tepe bileşenleri bastırılmıştır (50 Hz kompresör bileşeni ve 500-550 Hz civarlarındaki fan bileşeni). Bu düzenlemeye ilişkin detaylar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 ile gösterilmiştir.

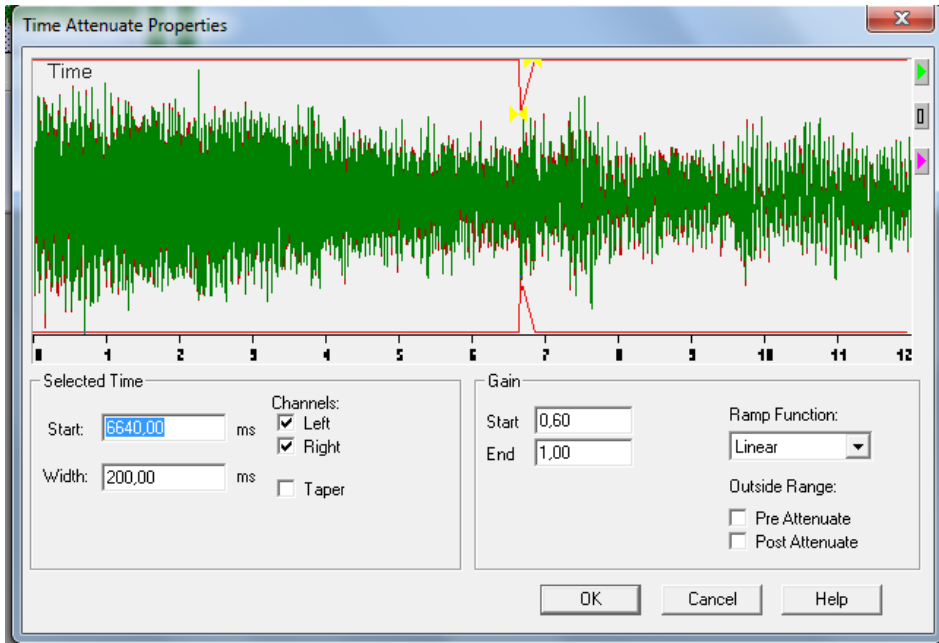


Şekil 3.8: SQ4 Kararlı faz sesi düzenlemesi #1.



Şekil 3.9: SQ4 Kararlı faz sesi düzenlemesi #2.

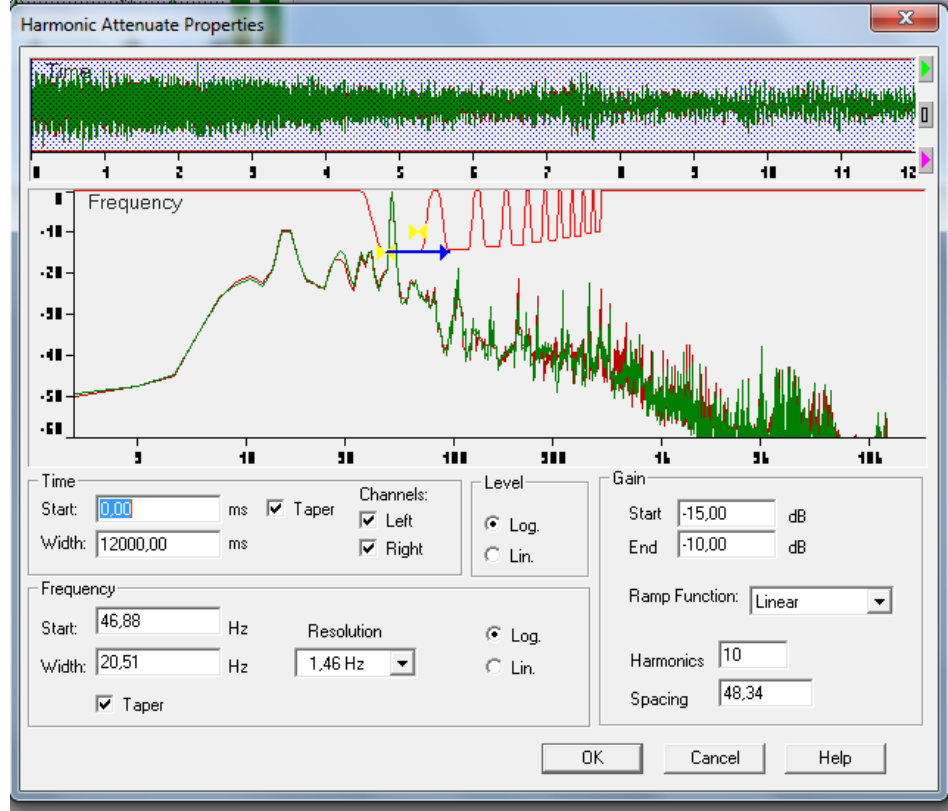
SQ4 duruş fazı sesinde ise kompresörün durduğu anda yüksek seviyede darbe sesi mevcuttur. Bu darbe sesi Şekil 3.10'da görüldüğü gibi azaltılmıştır.



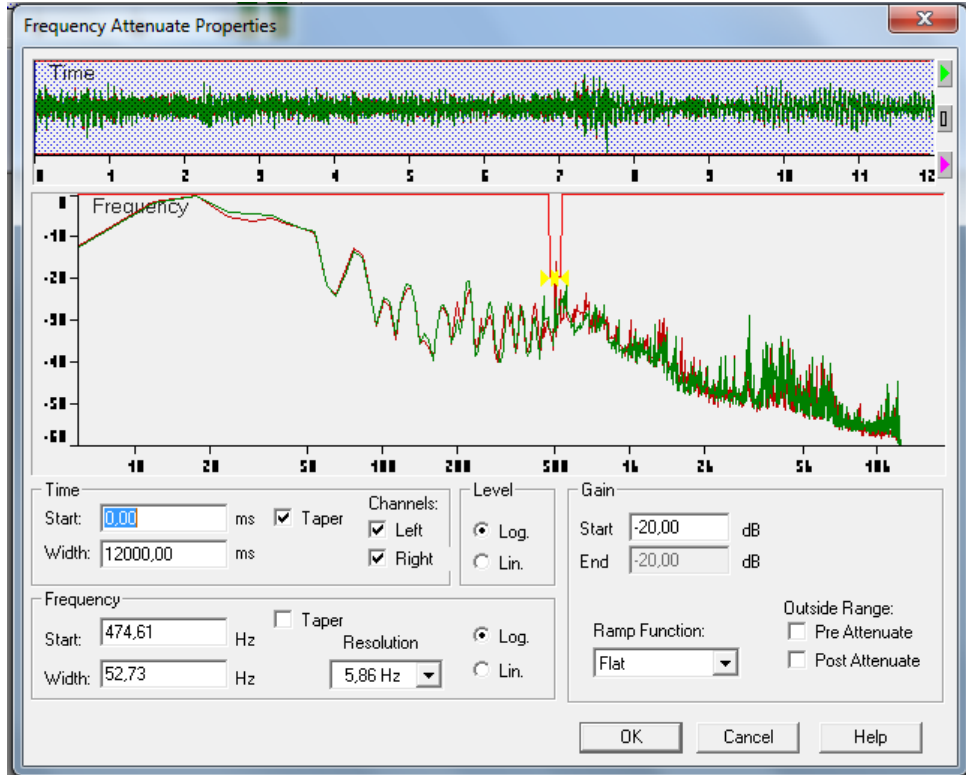
Şekil 3.10: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #1.

Yine SQ4 duruş fazında çeşitli frekansların bastırılması işlemi uygulanmıştır. Bu frekanslar, kompresörden kaynaklanan 50 Hz ve harmonikleri ile fandan

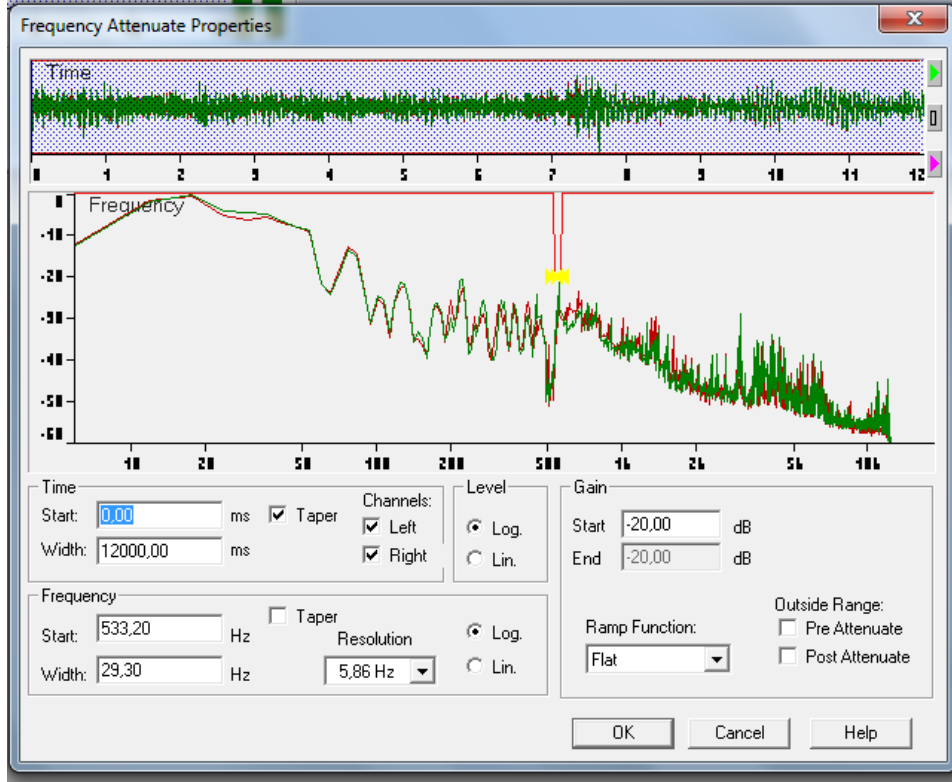
kaynaklanan 500-550 Hz civarındaki bileşenlerdir. Düzenlemeye ait detaylar Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.11: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #2.



Şekil 3.12: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #3.



Şekil 3.13: SQ4 Duruş fazı ses düzenlemesi #4.

3.2 Metrikler

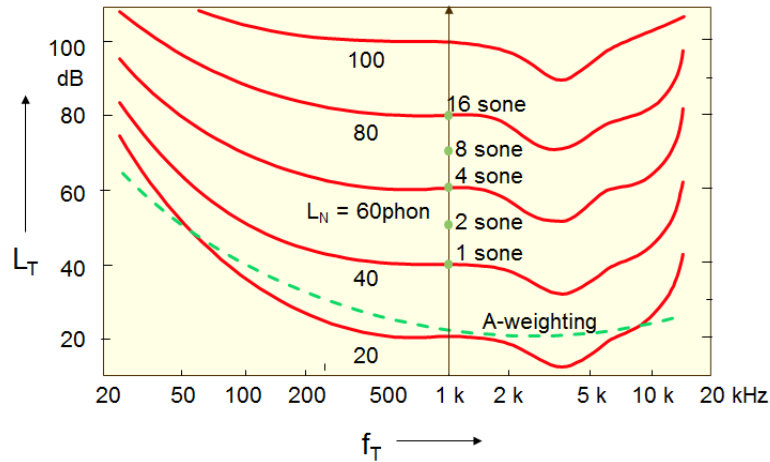
Bir ses sinyalinin nesnel olarak tanımlamak için genellikle sinyalin RMS (kareseel ortalama) değeriinden türetilmiş dB(A) ve bunun frekans bileşeni çözümlemeleri (örn. FFT ve oktav bant analizleri) kullanılmaktadır. Ancak bu parametreler, sesin fiziksel olarak büyüklüğünü temsil etmekle birlikte, insan tarafından nasıl algılandığı konusunda bazı unsurları hesaba katmamaktadır. İnsanın duyma sistemi, frekans seçiciliğine sahip ve doğrusal olmayan bir karaktere sahiptir [21]. Bu doğrusalsızlıklar, hem frekans düzleminde hem de zamana bağlı (temporal) olarak gerçekleşmekle birlikte, “frekans maskelemesi” ve “temporal maskeleme” olarak adlandırılmaktadır. Ses kalitesi metrikleri, işte bu frekansa ve zamana bağlı doğrusalsızlıkları da hesaba katan çeşitli algoritmalar yardımıyla elde edilen büyüklüklerdir. Günümüzde ses kalitesi çalışmalarında kullanılan oldukça fazla sayıda metrik mevcuttur. Bu metriklerin hesaplanma algoritmaları oldukça karmaşıktır. Bazı metrikler standartlaşmış olmakla birlikte, bilim insanları her geçen gün yeni algoritmaları geliştirmekte ve yeni metrikler tasarlamaktadır. Ses kalitesi çalışmalarında günümüzde kullanılan belli başlı metrikler şu şekildedir:

- Zwicker Gürlüğü
- Dalgalanma Kuvveti
- Kabalık
- Keskinlik
- Ton-Gürültü Oranı
- Belirginlik Oranı
- Tonalite

Metrikler, doğrusal veya logaritmik frekans eksenlerinden ziyade “Bark” adı verilen daha özel bir frekans eksenini kullanılarak tarif edilmektedir. Bark eksenine; kabaca 0-500 Hz aralığında doğrusal eksen ile, 500 – 15.500 Hz aralığında ise logaritmik eksen ile doğru orantılı olan, 0 – 24 Bark aralığında ölçeklendirilen özel tanımlanmış bantlardan oluşmaktadır. Bu bantların, insanın duyma mekanizmasındaki “belirli filtre grupları ile algılama” mekanizmasını daha iyi temsil ettiği düşünülmektedir [22].

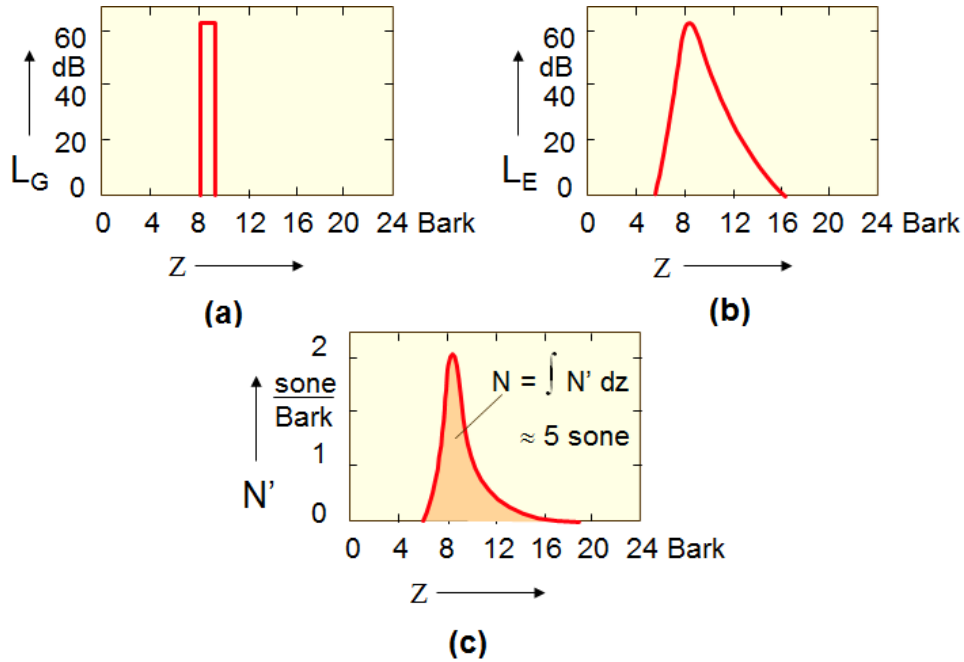
3.2.1 Zwicker gürlüğü

Gürlük, phon veya sone birimi ile tanımlanan ve sesin A-ağırlıklı seviyesi ile doğru orantılı bir parametredir. Şekil 3.14 ile gürlük algısının frekans ve seviyeye bağlı değişimini gösteren eş-gürlük eğrileri gösterilmiştir. Gürlüğün sone değeri, phon değeri 10 dB arttıkça ikiye katlanmaktadır. Referans olarak 40 phon eğrisi, 1 sone eğrisi ile eşleştirilmiştir. Sone değeri 2 katına çıktığında, insanın algıladığı gürlüğün de iki katına çıktığı yaklaşımı ile; phon birimine ilave olarak ayrı bir sone birimi tanımlanmıştır [22].



Şekil 3.14: Eş-gürlük eğrileri.

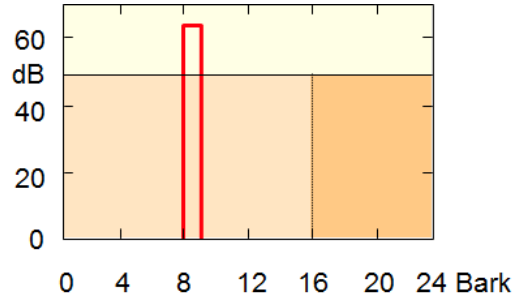
Zwicker gürlüğünde ise farklı olarak; Hz ölçeği yerine Bark ölçeği kullanılmaktadır. Ayrıca insanın frekans ve temporal maskeleme etkilerini de hesaba katmaktadır. Şekil 3.15 (a)'da 1 kHz (8.5 Bark) frekansında darbant bir gürültünün, klasik bir ses seviyesi ölçer cihazdan okunduğu grafik görülmektedir. Şekil 3.15 (b)'de ise, aynı gürültünün tipik bir insan tarafından nasıl algılandığı görülmektedir. Darbant gürültü sütunundaki enerjinin yan bantlara dağılmasının nedeni, darbant gürültünün “maskeleme” özelliğinden kaynaklanmaktadır. Örnekte 8.5 bark'taki darbant gürültü, kendi etrafındaki bantlarda da etkili olmuş ve bu frekanslarda bir maskeleme yaratmıştır. Şekil 3.15 (c) grafiğinde ise birim bark bandı başına düşen sone değerleri olarak tanımlanan “ağırlıklandırılmış özgül gürlük” grafiği görülmektedir. Algılanan gürlük seviyesi, eğrinin altında kalan alan ile doğru orantılıdır.



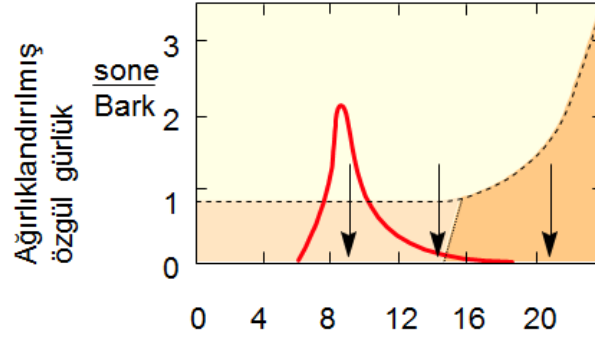
Şekil 3.15: 8.5 barkta darbant gürültünün (a) frekans spektrumu, (b) frekans maskelemesiyle birlikte frekans spektrumu, (c) Zwicker gürlük spektrumu.

3.2.2 Keskinlik

Keskinlik, sesin ton rengini ifade etmek amacıyla kullanılan bir metriktir. Sesin yüksek frekans bileşenlerinin miktarı ne kadar fazlaysa keskinlik değeri de o kadar yüksektir.



Şekil 3.16: Üç farklı örnek gürültü profili.



Şekil 3.17: Örnek gürültü profillerinin keskinlik ağırlıklandırılmış durumları.

Şekil 3.16'da üç farklı gürültü profili bulunmaktadır: 1 kHz (8.5 bark) frekansında darbant gürültü, 0-24 bark aralığında bir genişbant gürültü ve 16-24 bark aralığında yüksek geçiren filtreden geçmiş genişbant gürültü. Şekil 3.17'de ise bir önceki şekilde bulunan üç gürültü profilinin, yüksek frekanslarda artış eğilimi gösteren özel bir spektral ağırlıklandırma uygulanmış hali görülmektedir. Bu ağırlıklandırılmış sinyallerin ağırlık merkezleri oklarla gösterilmiştir. Okların bark skalasındaki değeri, keskinlik değeri ile doğru orantılıdır.

Keskinlik *acum* birimiyle ifade edilmektedir. Referans olarak; 1 kHz merkez frekansında, 1 Bark bant genişliğindeki 60 dB ses seviyeli gürültünün keskinlik değeri 1 acum olmaktadır.

3.2.3 Kabalık

Kabalık, sesin 70 Hz civarı frekanslardaki genlik ve frekans modülasyonlarının bir ölçüsüdür. *Asper* birimiyle ifade edilmektedir. Referans olarak; 1 kHz frekanslı 60 dB genlikli, 70 Hz'de 100% genlik modülasyonlu bir sinyalin kabalığı 1 asper olarak belirlenmiştir. Kararlı olmayan sesler için elde edilebilen zamana bağlı gürültü seviyeleri üzerinden hesaplanmaktadır.

3.2.4 Dalgalanma şiddeti

Dalgalanma şiddeti, sesin 4 Hz civarındaki frekans ve genlik modülasyonlarının bir ölçüsüdür. *Vacil* birimiyle ifade edilmektedir. Referans olarak; 1 kHz frekanslı, 60 dB genlikli, 4 Hz’de 100% genlik modülasyonlu bir sinyalin özgül dalgalanma şiddeti 1 vacil şeklindedir.

3.2.5 Ton-gürültü oranı

Ses içerisindeki tonal bileşenlerin ne derece baskın olduğunun bir ölçüsüdür. Önce sinyalin FFT spektrumundaki tepe değeri elde edilir. Bu tepe değerin konumu merkezlenecek şekildeki 1 bark genişliğindeki bandın ortalama değeri hesaplanır. Tepe değerinin, etrafındaki bandın ortalama değerine bölünmesi ile ton-gürültü değeri elde edilir. Genellikle dB cinsinden ifade edilmektedir. Hesaplama algoritmasında FFT analizinin kullanılması, bu metriğin hesaplanmasında gürlük metriğinin baz alınmadığı şeklinde yorumlanabilir [22].

3.2.6 Belirginlik oranı

Ton-gürültü oranı ile aynı amaçla kullanılmaktadır ve benzer şekilde yine FFT tabanlı bir hesaplama yöntemine sahiptir. Genellikle dB cinsinden ifade edilmektedir. Ton-gürültü oranından farklı olarak belirginlik oranında, bir banttaki toplam enerjinin yan bantlardaki enerjilere oranı hesaplanmaktadır.

3.3 Çalışmada Kullanılacak Metriklerin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılacak metriklerin belirlenmesi amacıyla, bir önceki bölümde kısaca tarif edilen metrikler buzdolaplarının kararlı fazına ait 6 ses kaydı üzerinde hesaplanmış ve Çizelge 3.2’deki sonuçlar elde edilmiştir. Metrikler hesaplanırken, binaural (çift kulaklı) değerler hariç diğer tüm değerler, sağ kulak ve sol kulak verilerinin aritmetik ortalaması şeklinde hesaplanmıştır.

Metrikler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını incelemek amacıyla, bu veriler arasında bir korelasyon matrisi hesaplanmış ve Çizelge 3.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.2: Kararlı faza ait ses kayıtlarının ses kalitesi metrikleri.

Metrik	Birim	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,060	1,479	1,274	1,571	1,940	1,203
Dalgalanma Kuvveti (DIN 45631:1989 Free)	vacil	0,803	0,400	0,534	0,476	0,860	0,489
Kabalık (DIN 45631/A1:2010 Free)	asper	1,438	1,290	1,383	1,343	1,570	1,471
Aures Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,691	1,031	1,065	0,650	0,707	0,710
Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13)	dB	2,777	9,152	1,760	3,548	1,318	1,671
Belirginlik Oranı (ANSI S1.13)	dB	1,967	8,675	86,090	8,408	16,605	2,682
Tonalite (Terhardt, 1982)	-	0,139	0,382	0,129	0,223	0,066	0,140
Zwicker Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,721	1,066	1,120	0,748	0,804	0,797
Maks. Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,253	1,837	1,497	1,724	2,147	1,340

Çizelge 3.3: Hesaplanan metriklerin korelasyon matrisi.

	Binaural Gürlük	Dalga- lanma	Kabalık	Aures Kesk.	Ton/ Gürültü	Belir- ginlik	Tona- lite	Zwicker Kesk.	Maks. Gürlük
Binaural Gürlük	1	0,9	-0,03	-0,48	-0,19	-0,4	-0,26	-0,55	0,98
Dalga- lanma	0,9	1	0,08	-0,68	-0,41	-0,36	-0,49	-0,68	0,81
Kabalık	-0,03	0,08	1	-0,28	0,58	-0,65	0,54	-0,22	0,01
Aures Kesk.	-0,48	-0,68	-0,28	1	0,53	0,67	0,44	0,99	-0,3
Ton/ Gürültü	-0,19	-0,41	0,58	0,53	1	-0,2	0,95	0,5	0
Belir- ginlik	-0,4	-0,36	-0,65	0,67	-0,2	1	-0,24	0,71	-0,36
Tona- lite	-0,26	-0,49	0,54	0,44	0,95	-0,24	1	0,4	-0,1
Zwicker Kesk.	-0,55	-0,68	-0,22	0,99	0,5	0,71	0,4	1	-0,38
Maks. Gürlük	0,98	0,81	0,01	-0,3	0	-0,36	-0,1	-0,38	1

Çizelge 3.3'teki korelasyon matrisine göre, Aures Keskinliği ile Zwicker keskinliği $r = 0,99$ olacak şekilde korelasyon içindedir. Aynı şekilde Maksimum Binaural

Gürlük ile Binaural Gürlük; Tonalite ile de Ton/Gürültü Oranı korelasyon göstermektedir. Korelasyon katsayısı yüksek bu metrik çiftlerinden istenilen bir tanesi, çalışmayı sadeleştirmek amacıyla hesaplamalardan çıkarılabilir. Fakat çalışmanın sonraki aşamalarından biri olan çok değişkenli regresyon analizinde, tüm metriklerin hesapta yer alması sakıncalı olmadığından metriklerin tamamının veri olarak kullanılması tercih edilmiştir.

3.4 Nesnel Test #1 Sonuçları

Çalışma kapsamında alınan birinci grup ses kayıtlarına ait ses kalitesi metrikleri aşağıda yer almaktadır.

3.4.1 Başlangıç fazı ses kalitesi metrikleri

SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 ve SQ6 numunelerinin başlangıç fazlarına ait skaler metriklerin karşılaştırması Çizelge 3.4 ile verilmiştir. Metriklerin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri Ek B1’de verilmiştir.

Çizelge 3.4: Başlangıç fazlarına ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).

Metrik	Birim	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,010	1,340	1,000	1,340	1,480	1,120
Dalgalanma Kuvveti (DIN 45631:1989 Free)	vacil	1,220	1,030	0,600	0,980	0,690	0,680
Kabalık (DIN 45631/A1:2010 Free)	asper	1,860	1,410	1,390	1,600	1,860	1,360
Aures Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,980	0,890	1,160	0,960	0,700	0,830
Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13)	dB	0,000	0,670	2,250	0,430	1,710	2,860
Belirginlik Oranı (ANSI S1.13)	dB	16,190	20,330	4,580	4,760	11,200	22,400
Tonalite (Terhardt, 1982)	-	0,142	0,170	0,099	0,201	0,079	0,237
Zwicker Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,959	0,955	1,225	0,998	0,831	0,925
Maks. Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,743	2,787	2,085	2,942	1,531	1,753

3.4.2 Kararlı faz ses kalitesi metrikleri

SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 ve SQ6 numunelerinin kararlı fazlarına ait skaler metriklerin karşılaştırması Çizelge 3.5 ile verilmiştir. Metriklerin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri Ek B2’de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Kararlı fazlara ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).

Metrik	Birim	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,060	1,479	1,274	1,571	1,940	1,203
Dalgalanma Kuvveti (DIN 45631:1989 Free)	vacil	0,803	0,400	0,534	0,476	0,860	0,489
Kabalık (DIN 45631/A1:2010 Free)	asper	1,438	1,290	1,383	1,343	1,570	1,471
Aures Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,691	1,031	1,065	0,650	0,707	0,710
Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13)	dB	2,777	9,152	1,760	3,548	1,318	1,671
Belirginlik Oranı (ANSI S1.13)	dB	1,967	8,675	86,090	8,408	16,605	2,682
Tonalite (Terhardt, 1982)	-	0,139	0,382	0,129	0,223	0,066	0,140
Zwicker Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,721	1,066	1,120	0,748	0,804	0,797
Maks. Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,253	1,837	1,497	1,724	2,147	1,340

3.4.3 Duruş fazı ses kalitesi metrikleri

SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 ve SQ6 numunelerinin duruş fazlarına ait skaler metriklerin karşılaştırması Çizelge 3.6 ile verilmiştir. Metriklerin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri Ek B3’te verilmiştir.

Çizelge 3.6: Duruş fazlarına ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).

Metrik	Birim	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	1,640	1,410	1,470	1,410	1,660	0,850
Dalgalanma Kuvveti (DIN 45631:1989 Free)	vacil	0,990	0,970	0,840	0,940	1,010	0,570

Çizelge 3.6 (devam): Duruş fazlarına ait toplam ortalama ses kalitesi metrikleri (#1).

Metrik	Birim	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Kabalık (DIN 45631/A1:2010 Free)	asper	2,160	1,500	1,450	1,610	2,270	1,200
Aures Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,740	0,930	0,890	0,670	0,680	0,860
Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13)	dB	0,180	4,730	0,600	1,620	0,000	0,040
Belirginlik Oranı (ANSI S1.13)	dB	0,170	18,180	22,560	17,980	16,300	4,990
Tonalite (Terhardt, 1982)	-	0,123	0,266	0,132	0,178	0,064	0,110
Zwicker Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)	acum	0,782	0,993	0,971	0,769	0,789	0,989
Maks. Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)	sone	2,988	3,404	2,589	2,738	1,786	2,225

3.5 Öznel Testler

Öznel testler olarak adlandırdığımız testler, HATS ile alınmış olan ses kayıtlarının tüketici profiline uygun olarak belirlenmiş bir jüriye aktif gürültü kontrollü kulaklık yardımıyla dinletme ve ürünün çıkardığı seslerle yakından alakalı sıfat çiftleriyle seslerin niteliğini belirleme şeklinde uygulanan anket çalışmalarıdır.

3.5.1 Öznel testlerin hazırlık aşaması

3.5.1.1 Test kayıtlarının hazırlık aşaması

Daha önce de bahsedildiği gibi kullanılacak olan dinletme elemanımız aktif gürültü kontrollü bir kulaklıktır. Aktif gürültü kontrollü kulaklık kullanımının getirdiği avantaj, test yapılan ortamın arka plan gürültüsünü bir miktar azaltmaktır.

Bölüm 3.1.2 'de belirtilen ses kayıtlarının hazırlanması için çok titiz bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Kulaklıkla yapılacak olan dinletmede, belirtilen ölçüm mesafelerinde duran bir insanın kulaklıksız dinlediği sesle kulak takarak dinlediği kaydın birbirine çok yakın olması gerekmektedir. 3.5.2.1'de bahsedilen kulaklık düzeltme fonksiyonu ile düzeltme yapıldıktan sonra bilgisayar yoluyla ses kartı üzerinden dinletilen kaydın ses basınç seviyeleri ile düzeltmeden önceki kaydın ses basınç seviyelerinin eşitlenmesi ve kaydedilen ile tekrar dinletilen ses kayıtlarının

frekans karakterlerinin birbirine yakın olması gerekmektedir. Juri testlerine hazırlık aşamasında hayati öneme sahip ses düzenleme işleminin, öznel test sonuçlarının hassasiyetine büyük bir etkisi vardır.

3.5.1.2 Test ortamıyla ilgili sağlanması gereken koşullar

Her ne kadar ses kayıtları aktif gürültü kontrollü bir kulaklıkla dinletilecekse de test ortamının arka plan gürültüsünün de test sonuçlarını önemli bir ölçüde etkileyeceği aşıkardır. Dinletilecek olan sesler buzdolabı seslerinin ortalama ses basınç seviyesi yaklaşık 35 dBA'dır. Sesin dinletileceği ortamın arka plan gürültüsünün de –genel bir kural olarak- en az 10 dB altında, yani maksimum 25 dBA seviyesinde olması tavsiye edilmektedir. Test sırasında katılımcının konsantrasyonunun bozulmasına neden olacak unsurlar ortadan kaldırılmalıdır [23]. Testin yapılacağı odanın sıcaklığının ve bağıl nem oranının kişinin huzurunu bozacak seviyelerde olmaması gerekmektedir. Testten önce soruları cevaplandıracak olan kişinin konforu ile ilgili bilgi almak için sorular sorulmalıdır. Rahatsız edici bir durumu varsa giderilmelidir. Testin yapılacağı odanın duvarlarının ve kullanılacak olan mobilyaların renklerinin doğal olması tercih edilmektedir. Odanın ışıklandırılmasının makul derecede olması gerekmektedir.

3.5.1.3 Juriyi oluşturacak tüketici profilinin belirlenme kriterleri

Juriyi oluşturan kişilerin, ürünün tüketici profilini temsil etmesi gerekmektedir [24]. Ses kayıtları juriye sunulmadan önce juriyi oluşturacak tüketici profilinin belirlenmiş olması gerekmektedir. Öncelikli olarak juriyi oluşturacak tüketici kitlesinin herhangi bir duyma kaybı veya duyma sorunu yaşamamaları gerekmektedir. Yine ürünü kullanan kitlenin ortalama yaşı, cinsiyeti, ekonomik durumu ve ürünle geçirdikleri zaman da önemli bir kriterdir. Bu etkenler göz önünde bulundurularak bir seçim yapılmalıdır.

3.5.1.4 Juri testi için kullanılacak olan test yönteminin belirlenmesi

Literatür araştırması sonucunda yapılan testler genel olarak iki türlü olduğu görülmüştür. Bu testlerden biri anlamsal farklandırma diğeri ise zorlanmış seçim testleridir [24].

Anlamsal farklandırma testlerinde birbirinin zıttı ya da değili olan sıfat çiftleri arasında 1'den 5'e ya da 1'den 7'ye kadar bir derecelendirme yapılarak dinletilen sese

göre dinleyiciden bir değerlendirme yapması istenir [25]. Testin dinleyiciyi fazla bunaltmadan optimum bir sürede bitirilmesi için kullanılacak sıfat çifti sayısı optimize edilmelidir. Sıfat çifti sayısı dinletilecek olan örneklerin sayısına bağlı olarak arttırılabilir veya azaltılabilir. 6 adet buzdolabının her 3 fazı için ortalama 8 saniyelik ses kayıtlarının katılımcıya dinletilerek 12 sıfat çifti için soruları cevaplandırması, arada hiç zaman kaybedilmeksizin yaklaşık 30 dk. sürecektir. Bu sürenin üzerine bir de Zorlanmış Seçim testi ilave olacaktır. Testin çok uzun sürmemesi ve jürinin konsantrasyonunun bozulmaması için bu gibi değerlendirmeler yapılmalıdır.

Bahsedilen sıfat çiftlerine ek olarak aynı test başlığı altında dinletilen seslerin “rahatsız ediciliği” 1'den 7'ye kadar yapılan bir değerlendirme ile ortaya koyularak, çoklu regresyon analizi yardımıyla sese etki eden metriklerin etki ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

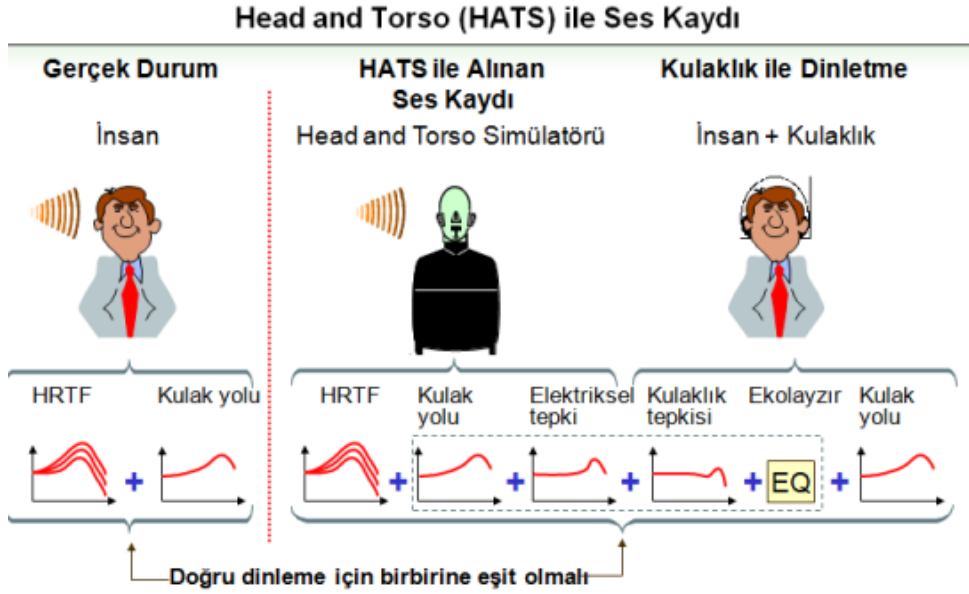
Zorlanmış seçim testleri ise, evrelere ayrılmış ses örneklerinin ikili gruplar halinde dinlettirilerek hangi sesin daha çok tercih edileceğini araştırmaktadır. Test sırasında, tercih edilen ses 1 tercih edilmeyen ses ise 0 puan alır ve böylece numuneler arasında bağlı bir Tercih Etme puanlaması yapılmış olur. Dinletilecek olan çiftlerin adedi ise örnek sayısına bağlı olarak ve dinletilecek seslerin evrelendirmesine bağlı olarak değişmektedir.

3.5.2 Öznel testlerin yapılması ve değerlendirilmesi

3.5.2.1 Öznel testler sırasında kullanılan ses kayıtları

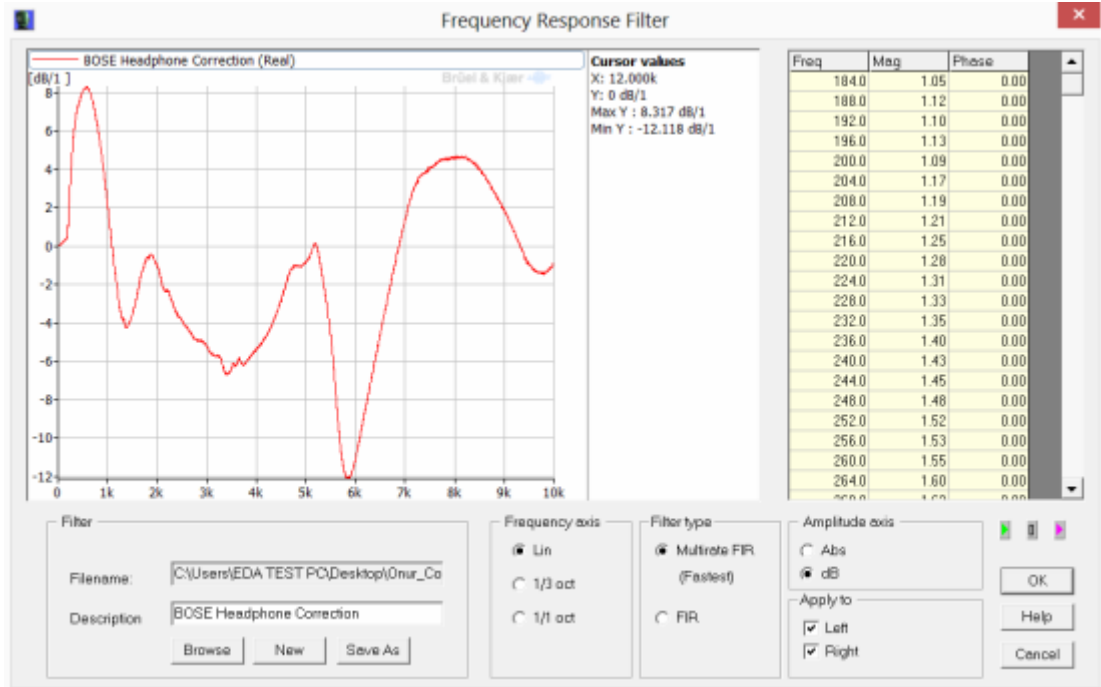
Nesnel testlerin analizi sırasında kullanılan, 1'i sanal diğer 5'i gerçek toplam 6 adet ses bu kez öznel teste tabi tutulmak amacıyla çeşitli ön hazırlıklara tabi tutulmuştur.

Jüriye dinletilen ses kayıtlarının, ortamdaki gerçek sesleri mümkün olduğunca iyi temsil edebilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kaydedilen sesler üzerinde; kulaklık ve ses kartının neden olduğu düz (flat) olmayan frekans tepkisinin düz hale getirilmesi, yani frekans düzeltme filtresi uygulanması gerekmektedir. Gerçek ortamdaki dinleme ile ses kayıtlarını dinleme durumlarının karşılaştırmalı şeması Şekil 3.18 ile verilmiştir.



Şekil 3.18: HATS kullanılması durumunda Gerçek Durum / Dinletme Durumu karşılaştırması.

Jüri tesleri sırasında *Bose QuietComfort 15* marka aktif gürültü kontrolüne sahip kulaklık kullanılacaktır. Kulaklık ve ses kartı üreticilerinin sunmuş olduğu frekans tepkisi verilerinin yanısıra, ölçüm ortamında yönsüz (omnidirectional) ses kaynağından elde edilen “pembe gürültü” yardımıyla yapılan frekans tepkisi ölçümleri birlikte kullanılarak bir **Kulaklık Düzeltme Fonksiyonu** oluşturulmuştur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Kulaklık Düzeltme Fonksiyonu.

Kulaklık düzeltme fonksiyonu ile filtrelenerek kaydedilmiş “*.wav” uzantılı ses dosyaları, Brüel & Kjaer Jury Test programı kullanılarak jüriye dinletilmiştir. Program, alınan ses kayıtlarına ilişkin kalibrasyon bilgisini otomatik olarak okumakta ve ses kayıtlarının doğru seviyede oynatılması işlemini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bu ses kayıtları daha önceden tanımlanmış “oynatma listeleri” yardımıyla istenilen sırayla çalınabilmekte ve oynatılan sesler arasında belirli sürede boşluklar bırakılabilmektedir.

3.5.2.2 Anlamsal farklandırma testinin uygulanması

Daha önce tanımlanmış olan her üç çalışma evresi (başlangıç fazı, kararlı faz ve bitiş fazı) için, 6 adet buzdolabına ait toplamda 18 adet ses kaydı bulunmaktadır. Jüriden bu ses kayıtlarını, her faz için ayrı ayrı belirlenen sıfat grupları açısından 1’den 7’ye kadar puanlandırmaları istenmiştir. Sıfatlar arasında, aslında hemen hemen aynı şeyi ifade eden farklı kelime çiftleri de bulunmaktadır (Kaliteli / Kalitesiz çifti ile Tercih Ederim / Tercih Etmem çifti gibi). Çalışma evrelerine göre belirlenen sıfat grupları Çizelge 3.7 ile belirtilmiştir.

Çizelge 3.7: Anlamsal fark testinde kullanılması düşünülen sıfat çiftleri.

BAŞLANGIÇ FAZI		KARARLI FAZ		DURUŞ FAZI	
Güçlü	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Güçlü	Zayıf
Gür	Gür Değil	Gür	Gür Değil	Gür	Gür Değil
Metalik	Metalik Değil	Metalik	Metalik Değil	Metalik	Metalik Değil
Parlak	Sönük	Cırtlak	Boğuk	Parlak	Sönük
Düzenli	Düzensiz	Parlak	Sönük	Düzenli	Düzensiz
Darbeli	Darbeli Değil	Düzenli	Düzensiz	Darbeli	Darbeli Değil
Kaba	Yumuşak	Darbeli	Darbeli Değil	Kaba	Yumuşak
Uğultulu	Uğultulu Değil	Durağan	Değişken	Uğultulu	Uğultulu Değil
Vızıltılı	Vızıltılı Değil	Kaba	Yumuşak	Vızıltılı	Vızıltılı Değil
Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil	Uğultulu	Uğultulu Değil	Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil
Vınlamalı	Vınlamalı Değil	Vızıltılı	Vızıltılı Değil	Fokurtulu	Fokurtulu Değil
Kaliteli	Kalitesiz	Hırıltılı	Hırıltılı Değil	Vınlamalı	Vınlamalı Değil
Tercih Ederim	Tercih Etmem	Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil	Kaliteli	Kalitesiz
		Vınlamalı	Vınlamalı Değil	Tercih Ederim	Tercih Etmem
		Kaliteli	Kalitesiz		
		Tercih Ederim	Tercih Etmem		

3.5.2.3 Zorlanmış seçim testinin uygulanması

6 adet numunenin kararlı fazlarına ait ses kayıtları üzerinden zorlanmış seçim testleri uygulanması amacıyla, jüriye $6(6 - 1)/2 = 15$ adet ses çifti dinletilmiş ve bu ses çiftlerinden hangisini tercih ettikleri sorulmuştur. Bu amaçla hazırlanan test föyü Şekil 3.21 ile gösterilmiştir.

Adı / Soyadı:

Jüri Numarası:

Hangi Sesi Tercih Edersiniz?				
Ses Çifti Numarası:				
1	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
2	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
3	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
4	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
5	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
6	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
7	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
8	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
9	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
10	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
11	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
12	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
13	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
14	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2
15	Kayıt 1	☐	☐	Kayıt 2

Şekil 3.21: Zorlanmış seçim testi için hazırlanan föy.

3.5.3 Öznel testler için ön hazırlık

Anlamsal fark ve zorlanmış seçim test föyleri ilk aşamada 12 kişiden oluşan bir jüri tarafından notlandırılmıştır. Anlamsal fark testleri yaklaşık olarak 1 saat, zorlanmış seçim testleri ise yaklaşık 15 dakika sürmüştür. Bu 12 kişilik gruptan elde edilen veriler yardımıyla, testin gidişatı konusunda kabataslak bir fikir sahibi olmak suretiyle yaklaşık bir sonuç elde edilmiştir. Böylelikle anlamsal fark testlerinde hangi

sıfatların daha işlevsel olduğu belirlenmiş ve gereksiz görülen sıfatlar test föylerinden çıkarılarak, çalışma toplamda 24 kişi içerecek şekilde genişletilmiştir.

Çizelge 3.8, 12 kişi ile yapılan anlamsal fark testlerinin kararlı faz için elde edilen sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.8: Kararlı Faz için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları (ilk 12 katılımcının verileri ile).

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Güçlü	5,22	3,89	3,22	4,33	4,89	3,00
Darbeli	3,89	4,56	2,78	4,11	3,56	2,33
Metalik	3,22	5,44	4,56	3,89	2,67	2,56
Kaliteli	3,89	1,89	3,89	4,11	3,56	5,89
Parlak	3,78	5,33	4,44	3,78	3,78	2,56
Düzenli	4,33	3,11	4,78	3,89	4,22	5,56
Gür	5,78	3,78	3,33	4,56	5,00	2,78
Kaba	5,44	4,11	3,56	4,33	5,78	3,00
Tercih	3,67	2,00	4,22	3,56	3,22	5,67
Vınlamalı	4,44	3,44	3,67	4,22	4,44	3,00
Tıkırtılı	3,11	5,67	3,00	2,78	3,33	2,44
Vızıltılı	3,56	5,78	3,78	4,33	3,78	3,11
Uğultulu	5,78	3,22	3,22	4,33	5,78	3,56
Cırtlak	2,56	6,11	4,22	3,44	2,56	2,56
Durağan	5,33	3,00	4,56	4,44	4,22	5,89
Hırıltılı	4,44	4,44	2,56	4,11	4,22	3,33

Çizelge 3.9 ise ilk 12 katılımcının zorlanmış seçim testlerinde vermiş oldukları bağlı puanların ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 3.9: Buzdolabı kararlı faz için zorlanmış seçim testi sonuçları (ilk 12 katılımcının verileri ile).

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
PUAN	0,51	0,22	0,58	0,42	0,36	0,91

Kararlı çalışma evresi için anlamsal fark testinde 16 tane sıfat çifti kullanılmış idi. Bu sıfat çiftlerinden bazıları birbirlerinin zıt anlamlılarından, bazıları ise olumsuz çekimlerinden (örn. Metalik / Metalik Değil) oluşturulmuştur. Bu aşamada elde edilen verinin güvenilirliğini kontrol etmek ve aynı zamanda özdeş anlamlara karşılık gelebilecek çiftlerin sadece tek bir çiftinin kullanılarak verinin daha kolay işlenebilmesi için bir ön hazırlık yapılmıştır. Bu hazırlık, Şekil 3.22'daki korelasyon matrisi kullanılarak yapılmıştır (Pearson, r).

	Güçlü	Darbeli	Metalik	Kaliteli	Parlak	Düzenli	Gür	Kaba	Tercih	Vınlamalı	Tıkırtılı	Vızıltılı	Uğultulu	Cırtlak	Durağan	Hırıltılı
Güçlü	1,00	0,62	-0,23	-0,35	0,11	-0,46	0,99	0,96	-0,50	0,91	0,08	0,05	0,90	-0,31	-0,13	0,77
Darbeli	0,62	1,00	0,51	-0,81	0,66	-0,96	0,58	0,53	-0,91	0,48	0,68	0,79	0,23	0,48	-0,72	0,81
Metalik	-0,23	0,51	1,00	-0,74	0,90	-0,67	-0,22	-0,26	-0,63	-0,21	0,73	0,84	-0,61	0,96	-0,76	-0,02
Kaliteli	-0,35	-0,81	-0,74	1,00	-0,95	0,92	-0,31	-0,39	0,97	-0,26	-0,89	-0,87	0,02	-0,75	0,93	-0,47
Parlak	0,11	0,66	0,90	-0,95	1,00	-0,82	0,10	0,15	-0,86	0,10	0,84	0,86	-0,27	0,87	-0,90	0,20
Düzenli	-0,46	-0,96	-0,67	0,92	-0,82	1,00	-0,40	-0,42	0,97	-0,35	-0,80	-0,91	-0,05	-0,67	0,89	-0,67
Gür	0,99	0,58	-0,22	-0,31	0,10	-0,40	1,00	0,93	-0,45	0,93	0,00	-0,01	0,89	-0,34	-0,06	0,70
Kaba	0,96	0,53	-0,26	-0,39	0,15	-0,42	0,93	1,00	-0,52	0,91	0,11	0,03	0,91	-0,31	-0,20	0,68
Tercih	-0,50	-0,91	-0,63	0,97	-0,86	0,97	-0,45	-0,52	1,00	-0,40	-0,83	-0,86	-0,13	-0,64	0,90	-0,64
Vınlamalı	0,91	0,48	-0,21	-0,26	0,10	-0,35	0,93	0,91	-0,40	1,00	-0,14	-0,07	0,85	-0,37	-0,10	0,49
Tıkırtılı	0,08	0,68	0,73	-0,89	0,84	-0,80	0,00	0,11	-0,83	-0,14	1,00	0,91	-0,27	0,85	-0,86	0,46
Vızıltılı	0,05	0,79	0,84	-0,87	0,86	-0,91	-0,01	0,03	-0,86	-0,07	0,91	1,00	-0,36	0,90	-0,92	0,44
Uğultulu	0,90	0,23	-0,61	0,02	-0,27	-0,05	0,89	0,91	-0,13	0,85	-0,27	-0,36	1,00	-0,67	0,22	0,57
Cırtlak	-0,31	0,48	0,96	-0,75	0,87	-0,67	-0,34	-0,31	-0,64	-0,37	0,85	0,90	-0,67	1,00	-0,82	0,03
Durağan	-0,13	-0,72	-0,76	0,93	-0,90	0,89	-0,06	-0,20	0,90	-0,10	-0,86	-0,92	0,22	-0,82	1,00	-0,35
Hırıltılı	0,77	0,81	-0,02	-0,47	0,20	-0,67	0,70	0,68	-0,64	0,49	0,46	0,44	0,57	0,03	-0,35	1,00

Şekil 3.22: Kararlı çalışma evresindeki buzdolabı seslerine ait sıfat korelasyon matrisi.

Şekil 3.22'a göre Tercih ve Kaliteli kelimeleri $r=0.97$ korelasyon katsayısı ile birbirlerinin özdeşi konumundadır. Buna ek olarak Düzenli ve Durağan arasındaki korelasyon katsayısı da yüksektir. Benzer şekilde Parlak / Cırtlak / Metalik sıfatları da birbirleriyle yüksek korelasyon göstermiştir.

Verileri azaltma yoluna gitmek amacıyla ilk aşamada aralarındaki korelasyon katsayısı değeri 0.85'in üzerindeki kelime çiftlerinden biri seçilerek veri sayısı azaltılabilir. Örneğin bu gruplar Tercih-Kalite, Düzenli-Durağan, Kaba-Güçlü, Cırtlak-Metalik çiftleridir. Veri azaltma yoluna gitmek için bu çiftlerden biri kullanılarak temel bileşen analizi için bir ön hazırlık yapılmış olur. Bu şekilde veri kalabalığı, veri karışıklığı ve zaman kaybı önlenmiş olur. Bu doğrultuda aşağıdaki kelime çiftleri, bundan sonraki jüri testlerinde kullanılmamak amacıyla çıkarılmıştır:

- **Darbeli / Darbeli Değil:** Düzenli / Düzensiz çiftiyle özdeş ($r = -0.96$)
- **Gür / Gür Değil:** Güçlü / Güçlü Değil çiftiyle özdeş ($r = 0.99$)
- **Kaliteli / Kalitesiz:** Tercih Ederim / Tercih Etmem çiftiyle özdeş ($r = 0.97$)
- **Uğultulu / Uğultulu Değil:** Kaba / Yumuşak çiftiyle özdeş ($r = 0.91$)
- **Cırtlak / Boğuk:** Parlak / Sönük çiftiyle özdeş ($r = 0.87$)
- **Durağan / Değişken:** Düzenli / Düzensiz çiftiyle özdeş ($r = -0.89$)
- **Metalik / Metalik Değil:** Parlak / Sönük çiftiyle özdeş ($r = 0.90$)
- **Vınlamalı / Vınlamalı Değil:** Kaba / Yumuşak çiftiyle özdeş ($r = 0.91$)

Böylece bundan sonraki anlamsal fark testlerinde kullanılacak sıfat çiftleri Çizelge 3.10'da gösterildiği gibi seçilmiştir.

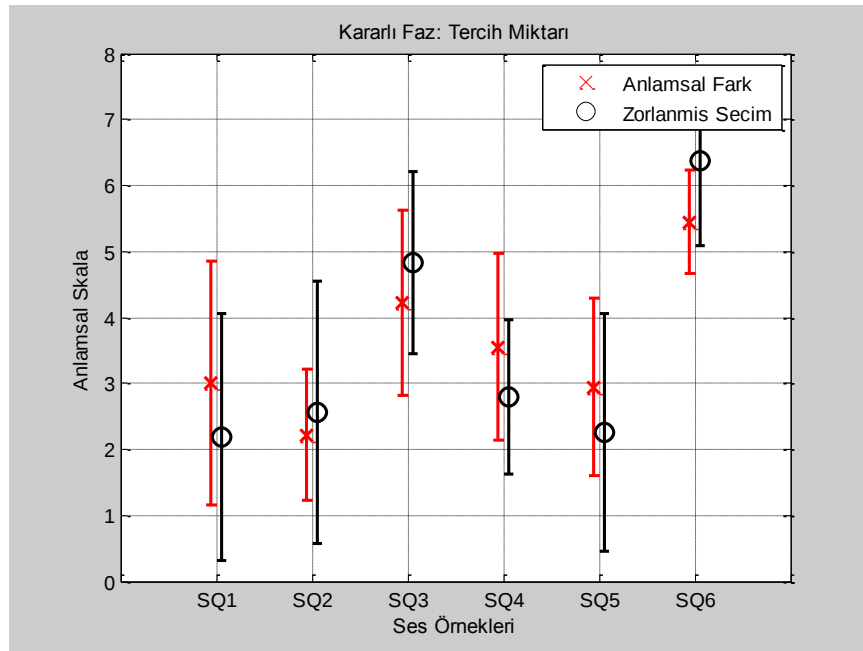
Çizelge 3.10: Anlamsal fark testinde kullanılan sıfat çiftleri (sadeleştirilmiş).

BAŞLANGIÇ FAZİ		KARARLI FAZ		DURUŞ FAZİ	
Güçlü	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Güçlü	Zayıf
Parlak	Sönük	Parlak	Sönük	Parlak	Sönük
Düzenli	Düzensiz	Düzenli	Düzensiz	Düzenli	Düzensiz
Kaba	Yumuşak	Kaba	Yumuşak	Kaba	Yumuşak
Tercih Ederim	Tercih Etmem	Tercih Ederim	Tercih Etmem	Tercih Ederim	Tercih Etmem
Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil	Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil	Tıkırtılı	Tıkırtılı Değil
Vızıldılı	Vızıldılı Değil	Vızıldılı	Vızıldılı Değil	Vızıldılı	Vızıldılı Değil
		Hırıltılı	Hırıltılı Değil	Fokurtulu	Fokurtulu Değil

Anlamsal fark testindeki en kritik kelime çiftinin *Tercih ederim / Tercih etmem* çifti olduğu aşikardır. Bu testin sonuçları daha sonra nesnel ve öznel verilerin ilişkilendirilmesi amacıyla yapılan çoklu lineer regresyon analizinde kullanılacaktır.

3.5.4 Öznel testlerin sonuçları

Şekil 3.23'te, numunelerin kararlı çalışma evresindeki seslere ait anlamsal fark testi ile zorlanmış seçim testinin sonuçları birlikte verilmiştir. X imleci ile zorlanmış seçim testindeki tercih miktarlarının ortalamaları belirtilirken, imlecin alt ve üst sınırları boyunca uzanan düz bir çizgi ile standart sapması ifade edilmiştir.



Şekil 3.23: Buzdolabının kararlı çalışma evresi için tercih miktarı (Anlamsal fark / Zorlanmış seçim).

Şekil 3.23'e göre, iki farklı test metodu ile elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu iki testin ortalama değerlerinin arasındaki korelasyon katsayısı $r = 0.93$ olup güvenilirlik seviyesi oldukça yüksektir.

Anlamsal fark testleri sonucunda tüm sıfatlar için elde edilen ortalama puanlar Çizelge 3.11, Çizelge 3-12 ve Çizelge 3.13 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.11: Başlangıç Fazı için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Güçlü	6,17	4,06	3,39	5,33	2,56	3,33
Parlak	5,56	3,94	3,61	4,89	2,50	3,61
Düzenli	4,00	4,06	4,72	3,39	5,39	4,50
Kaba	6,17	4,22	3,56	5,33	2,39	3,17
Tercih	1,89	2,94	3,94	2,28	5,22	4,44
Tıkırtılı	5,50	4,50	3,67	5,06	2,28	3,44
Vızıltılı	4,72	5,44	4,28	5,00	3,00	4,28

Çizelge 3.12: Kararlı Faz için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Güçlü	5,44	4,28	3,50	4,56	4,94	3,17
Parlak	4,61	5,17	3,83	3,83	4,17	2,72
Düzenli	4,67	3,67	3,78	3,78	4,39	4,22
Kaba	5,72	4,33	3,44	4,22	5,28	2,94
Tercih	3,00	2,22	4,22	3,56	2,94	5,44
Tıkırtılı	3,61	4,89	3,06	3,22	3,83	2,78
Vızıltılı	3,94	5,89	4,33	4,67	3,78	3,44
Hırıltılı	5,06	4,94	3,28	4,50	4,83	3,67

Çizelge 3.13: Duruş Fazı için anlamsal fark testi ortalama jüri sonuçları.

	SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
Güçlü	5,17	4,89	3,56	3,83	2,83	2,22
Parlak	4,56	5,22	3,61	3,50	1,94	2,56
Düzenli	4,72	2,89	3,72	3,00	5,94	4,28
Kaba	4,89	5,00	3,39	3,67	2,11	2,50
Tercih	4,22	2,11	3,89	2,89	6,56	4,72
Tıkırtılı	3,89	5,89	4,72	5,78	1,44	4,61
Vızıltılı	3,17	4,61	3,50	3,94	2,06	2,78
Fokurtulu	3,06	4,94	3,94	4,22	2,11	3,11

Zorlanmış seçim testinin tablo halindeki ortalama sonuçları ise Çizelge 3.14 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.14: Buzdolabı kararlı faz için zorlanmış seçim testi sonuçları (ortalama değerler).

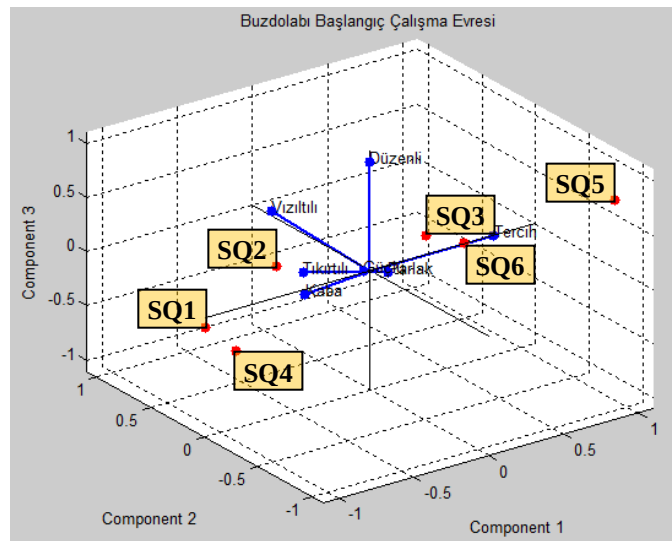
SQ1	SQ2	SQ3	SQ4	SQ5	SQ6
2,18	2,57	4,82	2,80	2,26	6,38

3.5.4.1 Ana bileşenler analizi

Ana bileşenler analizinin amacı, birbirlerine lineer bağımlı olabilecek bir grup değişkenin (gözlemlerin) bağımlılık yapısını ortadan kaldırarak lineer bağımsız birkaç değişken grubuna, yani **ana bileşenlerine** dönüştürmektir [26]. Böylece, birbirleri arasındaki korelasyonların yüksek olması şartı aranmaksızın, yapılan gözlemlerin (jüri puanları veya metriklerin) belirli gruplar (ana bileşenler) altında toplanması, bu gruptaki önem derecelerinin hesaplanan temel bileşen katsayı matrisiyle ortaya konulması mümkün olmaktadır.

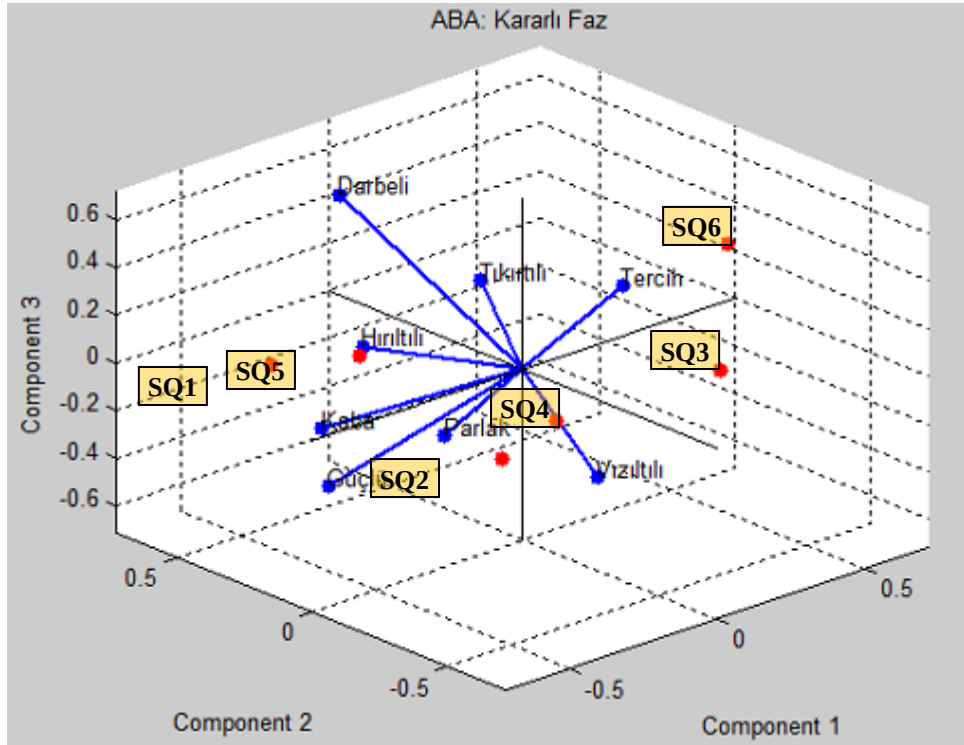
ABA ile birbiri ile korelasyon gösteren metriklerde veya ses kalitesine etkisi olmayan metriklerde bir azaltma yoluna gidilerek sistem basitleştirilecektir. Aynı zamanda, biplot grafik kullanmak ve kelimelere ait doğrultu vektörlerine bakmak suretiyle, yapılan bu gözlemlerin ana bileşenlere ne kadar yakın ve uzak olduğu tespit edilerek sistem daha açık bir şekilde yorumlanacaktır. Buna ek olarak her bir sese ait olan ana bileşen skoru bu grafik üzerinde çizdirilerek, beğenilen ya da beğenilmeyen seslere ait kelimelerin veya kelime gruplarının belirlenmesi sağlanacaktır.

Bu çalışmada ABA, Matlab® yazılımının **princomp** komutu kullanılarak yapılmıştır. Analiz amacıyla yazılan kod Ek A ile verilmiştir.



Şekil 3.24: Öznel test verilerinin, başlangıç fazına ait ana bileşenlerdeki konumu.

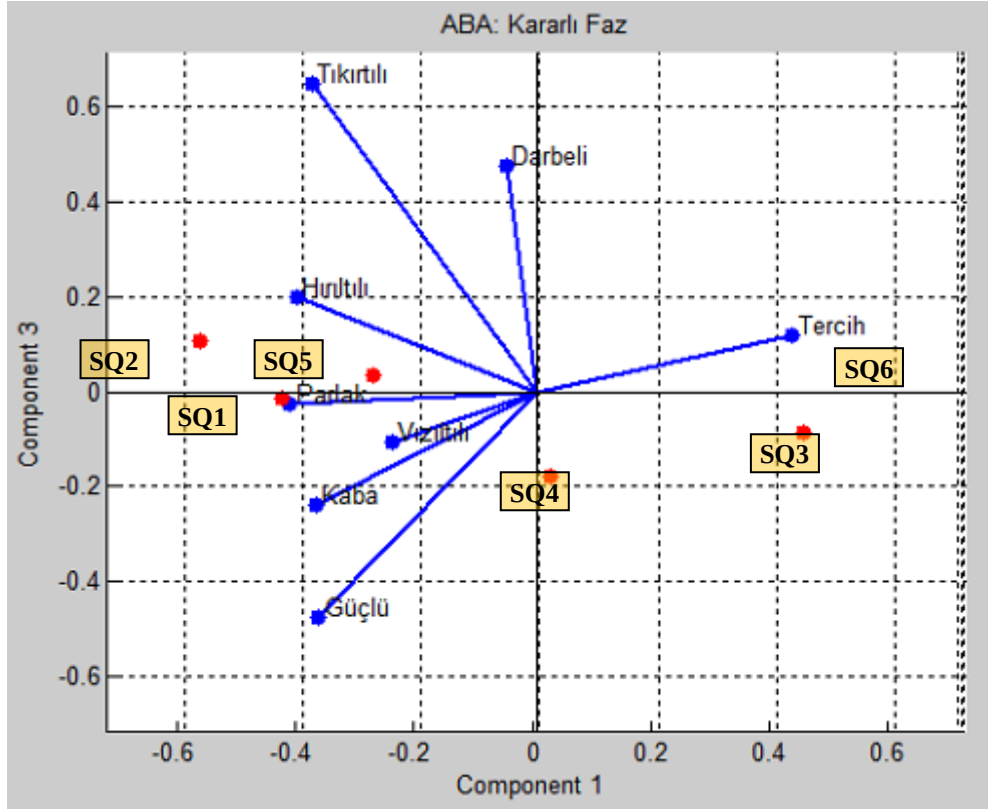
Şekil 3.24'ye göre Tıkırtılı ve Kaba sıfat grupları ile Tercih sıfatı aynı bileşen içinde birbirine ters konumlanmıştır. Buradan, buzdolaplarında başlangıç aşamasında tıkırtılı ve kaba bir sesin tercih edilmediği sonucu çıkarılabilir. Vızıltılı ve Düzenli kelime grupları ise iki ayrı bileşende ortogonal olacak şekilde konumlanmıştır. Buradan, başlangıç aşamasında sesin Vızıltılı veya Düzenli olup olmadığının Tercih üzerine bir etkisi olmadığı çıkarımı yapılabilir. Tercih'in konumlandığı bileşen ekseninde SQ5'in ağırlığının en fazla, SQ1 ve SQ4'ün ağırlığının ise en az olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, öznel test sonuçları ile uyumludur.



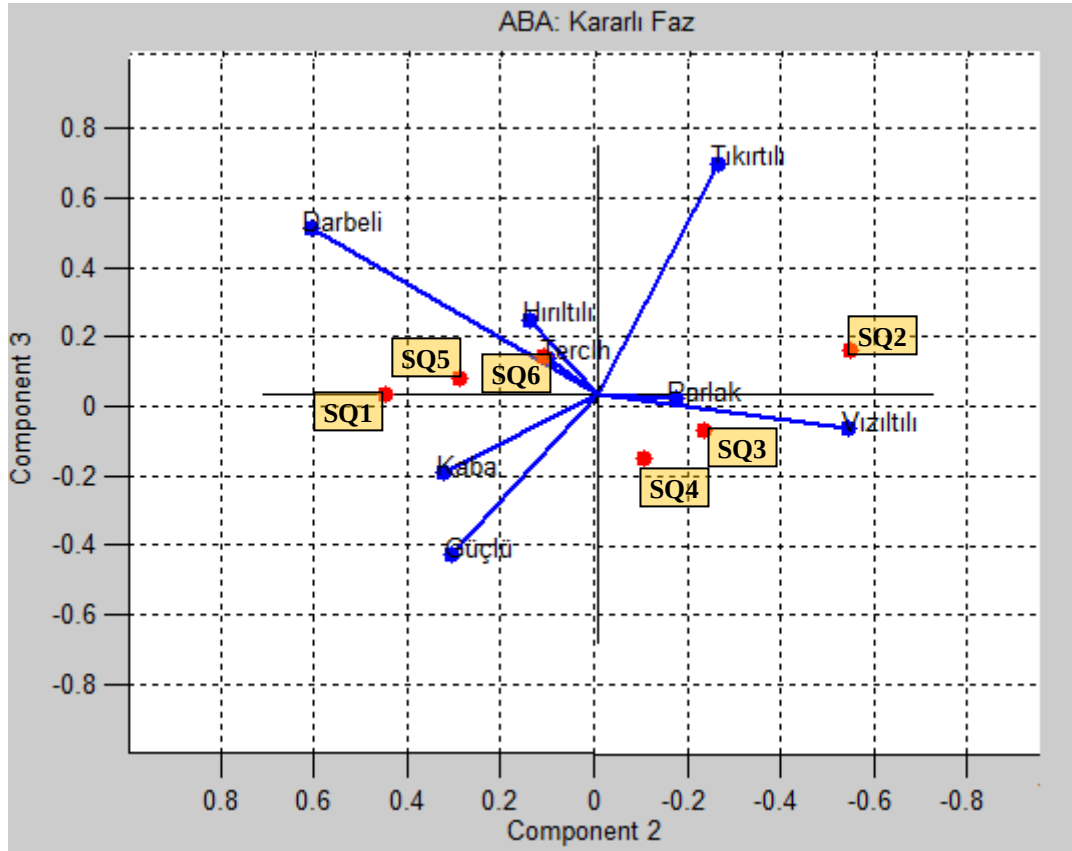
Şekil 3.25: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (1).

Şekil 3.25'de ise buzdolabının kararlı fazı için bütün sıfatların *Tercih* sıfatının karşısında konumlandığı görülmektedir. Şeklin daha iyi okunabilmesi için aynı grafiğe farklı açılardan bakmakta yarar vardır.

Şekil 3.26'e göre *Güçlü*, *Kaba*, *Parlak*, *Hırıltılı*, *Tıkırtılı* ve *Vızıltılı* olan seslerin tercih edilmediği söylenebilir. *Darbeli* olarak algılanan seslerin ise jürinin tercihinin önemli ölçüde değiştirmedeği görülmektedir. SQ6 ve SQ3 buzdolaplarının *Tercih* vektöründeki izdüşümünün en fazla, SQ1 ve SQ2'nin ise en az olması; anlamsal fark testlerinin sonuçlarına göre de beklenen bir durumdur.

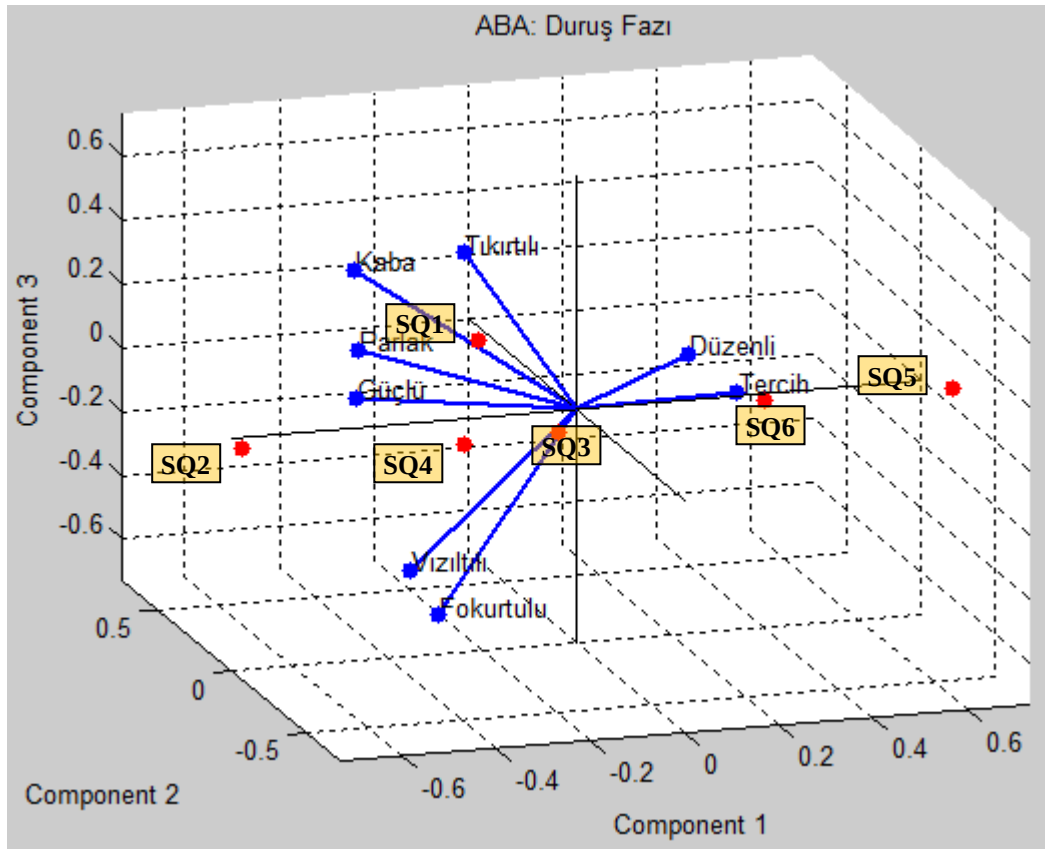


Şekil 3.26: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (2).



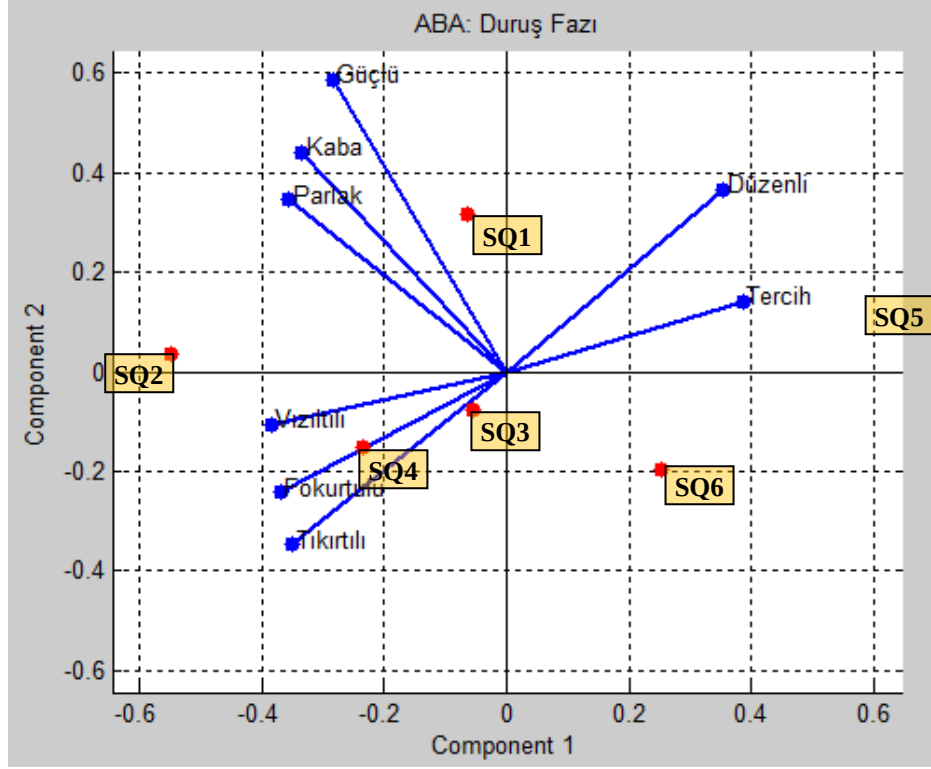
Şekil 3.27: Öznel test verilerinin, kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu (3).

İkinci ve üçüncü bileşenlere bakıldığında ise Şekil 3.27'e göre *Güçlü* ve *Kaba* seslerin aynı doğrultuda, *Tıkırtılı* sesin karşı yönünde konumlandığı görülmektedir. Bu durum, *Kaba* ve *Güçlü* olan buzdolaplarının *Tıkırtılı* olarak nitelendirilmediği anlamına gelir. Ancak bu durum yalnızca bu 6 adet numune için geçerli olabilir ve genel bir eğilimi yansıtamaz. Zira *Tercih* sıfatı ile diğer sıfatlar arasında neden-sonuç ilişkisi kurulabilir fakat diğer sıfatların kendi içlerinde neden-sonuç ilişkisi yakalamak mümkün değildir. Önceki şekillerde de olduğu gibi, grafiğe bu eksenlerden bakıldığında da *Darbeli* olan seslerin tercihe çok fazla etkisinin bulunmadığı gözlemlenmiştir.



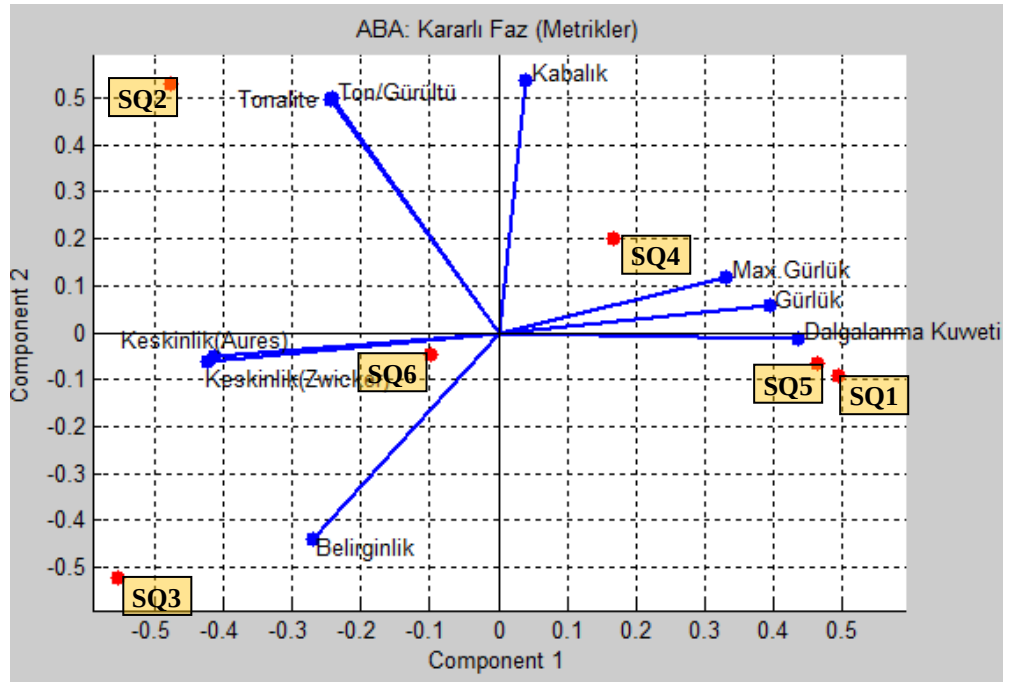
Şekil 3.28: Öznel test verilerinin, duruş fazına ait ana bileşenlerdeki konumu (1).

Şekil 3.28'ya göre duruş fazında *Düzenli* sesler tercih edilmiş; *Güçlü*, *Kaba*, *Parlak*, *Tıkırtılı*, *Vızılı* ve *Fokurtulu* sesler tercih edilmemiştir. SQ5 ve SQ6 buzdolaplarının en çok tercih edilen, SQ2 ve SQ4'ün ise en az tercih edilen buzdolapları olması, öznel testlerin sonuçları ile de uyum göstermektedir.



Şekil 3.29: Öznel test verilerinin, duruş fazına ait ana bileşenlerdeki konumu (1).

Şekil 3.28'nin yalnızca birinci ve ikinci bileşenlerine bakıldığı Şekil 3.29'ye göre; *Düzenli* olmayan seslerin *Vızıltılı*, *Fokurtulu* ve *Tıkırtılı* olarak değerlendirildiği, *Güçlülük*, *Parlaklık* ve *Kabalık*ın ise *Düzenlilik* ile çok fazla bağlantısının bulunmadığı görülmektedir.



Şekil 3.30: Kararlı çalışma evresindeki seslere ait metriklerin kararlı faza ait ana bileşenlerdeki konumu.

Şekil 3.30’de bu kez metrik değerleri üzerinden ABA uygulanmıştır. Beklendiği üzere, zaten birbirine yakın sonuç veren *Aures keskinliği / Zwicker keskinliği* çifti ile *tonalite / ton/gürültü oranı* çiftleri bu grafikte de hemen hemen aynı vektörlere sahip olmuşlardır. *Binaural Zwicker gürlüğü* ve gürülüğün maksimum değeri ise, *dalgalanma kuvveti* ile aynı yönde, *keskinlik* ile ise ters yönde konumlanmıştır.

3.5.5 Nesnel ve öznel verilerin ilişkilendirilmesi

Çalışmanın bu safhasında *Tercih Miktarı* ile çeşitli metriklerin ilişkilendirilmesi amacıyla **Çoklu Lineer Regresyon** modeli kurulacaktır. Bu sayede, yalnızca "hesaplanabilir" metriklerin özel bir denklemde yerine konulması ile hesaplanan *Ses Kalitesi İndeksi*'ne ait katsayılar oluşturulacak, böylelikle daha sonra yapılacak olan ses kalitesi çalışmalarında jüri testine ihtiyaç duyulmayacaktır.

Çoklu lineer regresyon analizi için Matlab® yazılımının **regress** komutu kullanılmıştır. Bu amaçla yazılan kod Ek A ile verilmiştir.

0 bölümünde de teyit edildiği üzere, jüri testleri sonucunda elde edilen puanlamalar arasından *Kaliteli / Kalitesiz*'e ait puanlar ile *Tercih Ederim / Tercih Etmem* için verilen puanlar arasında yüksek korelasyon görülmüştü. Buradan hareketle, *Tercih*'e ait puanlamaların toplam ses kalitesini iyi bir şekilde temsil ettiği çıkarımı yapılabilir. Ancak daha önceki bölümlerde (özellikle ABA sonuçlarında) ses kalitesi metrikleri ile *Tercih* puanları genellikle arasında ters orantılı bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu nedenle regresyon modelini *Tercih* puanları yerine *Tercih Etmeme* puanları ile kurmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Hatırlanacağı üzere, anlamsal fark testlerinin skalası 1’den 7’ye birer birer artmaktaydı. Bu noktada, doğrusal regresyon modelinde kullanılmak üzere yeni bir *Tercih Etmeme* sıfatı tanımlayalım. *Tercih* sıfatına verilen her puanı ayrı ayrı 8’den çıkarmak suretiyle (skorlar bir nevi tersine çevrilerek) *Tercih Etmeme* puanları elde edilmiş olur.

Buzdolabının her üç fazına ait *Tercih Etmeme* puanları oluşturulduktan sonra, bu puanlar ile metrikler ayrı ayrı regresyon analizine tabi tutulmuş ve buzdolabının farklı çalışma biçimleri için Rahatsız Edicilik İndeksleri (RE) oluşturulmuştur.

Başlangıç fazı için oluşturulan aşağıdaki regresyon modeli $r^2 = 0.93$ güvenilirlik seviyesinde elde edilmiştir.

$$RE_{başlangıç} = 1.48(X_1) + 0.27(X_2) + 1.32(X_3) \quad (3.1)$$

X_1 : Dalgalanma Kuvveti (DIN 45631:1989 Free)

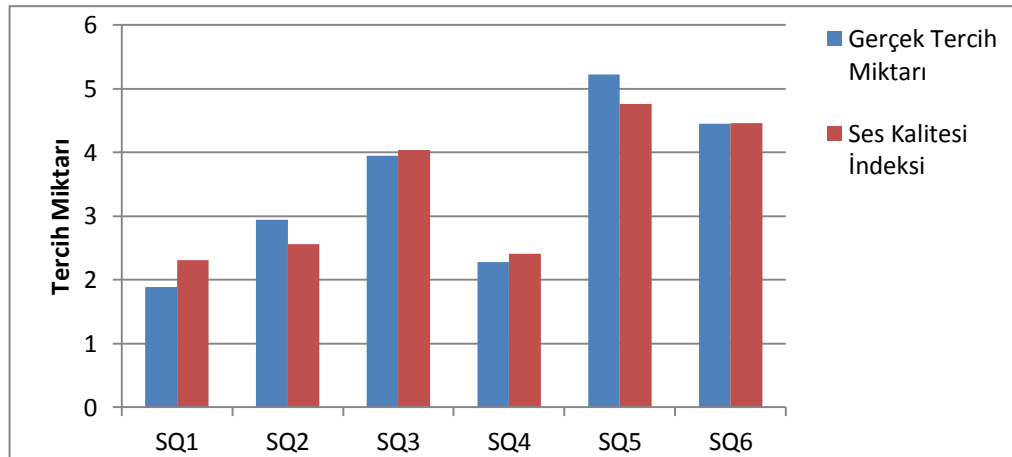
X_2 : Aures Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)

X_3 : Maksimum Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)

Bu aşama için Ses Kalitesi İndeksi (SK) ise yine RE'nin 8'den çıkarılması ile skala dönüşümü yapmak suretiyle bulunabilir.

$$SK_{başlangıç} = 8 - 1.48(X_1) - 0.27(X_2) - 1.32(X_3) \quad (3.2)$$

$SK_{başlangıç}$ indeksi ile elde edilen tahmini tercih miktarları ile, anlamsal fark testiyle elde edilen gerçek tercih miktarlarının karşılaştırması Şekil 3.31 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.31 : Başlangıç fazı için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması

Benzer şekilde kararlı faz için oluşturulan aşağıdaki regresyon modeli $r^2 = 0.89$ güvenilirlik seviyesinde elde edilmiştir.

$$RE_{kararlı} = 2.04(X_1) + 0.24(X_2) + 0.46(X_3) \quad (3.3)$$

X_1 : Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)

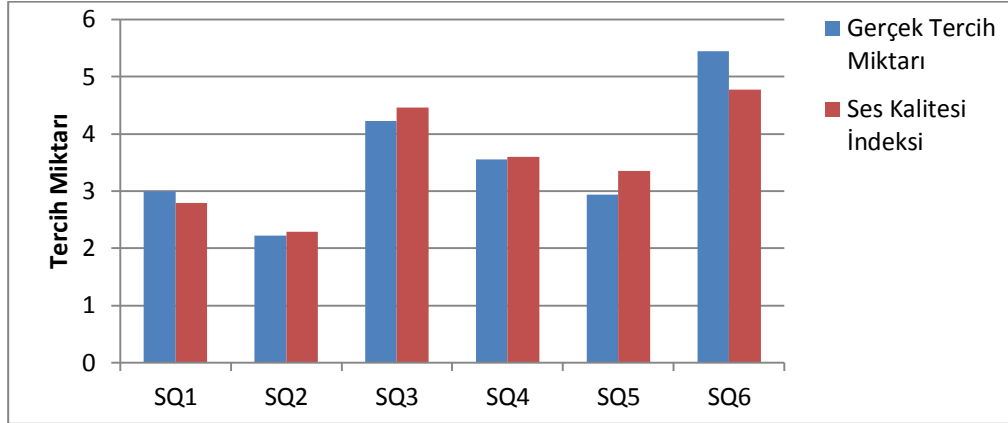
X_2 : Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13) [dB]

X_3 : Zwicker Keskinliği (DIN 45631/A1:2010 Free)

RE'nin skala dönüşümü ile kararlı faz için SK indeksi bulunur.

$$SK_{kararlı} = 8 - 2.04(X_1) - 0.24(X_2) - 0.46(X_3) \quad (3.4)$$

$SK_{kararlı}$ indeksi ile elde edilen tahmini tercih miktarları ile, anlamsal fark testinde elde edilen gerçek tercih miktarlarının karşılaştırması Şekil 3.32 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.32: Kararlı faz için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması.

Duruş fazı için oluşturulan aşağıdaki regresyon modeli ise (3.5) denklemi ile verilmiştir. Denklem, $r^2 = 0.90$ güvenilirlik seviyesinde elde edilmiştir.

$$RE_{duruş} = 1.34(X_1) + 1.35(X_2) \quad (3.5)$$

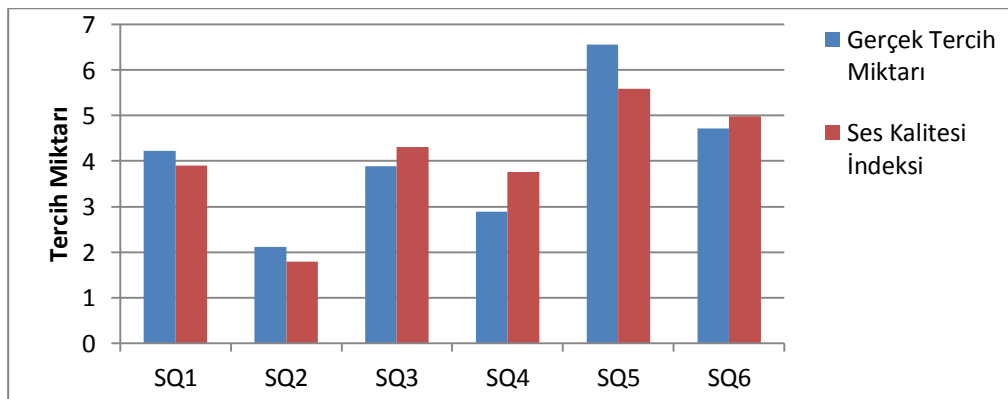
X_1 : Ton-Gürültü Oranı (ANSI S1.13) [dB]

X_2 : Maksimum Binaural Zwicker Gürlüğü (DIN 45631/A1:2010)

Yine RE üzerinde skala dönüşümü uygulanarak SK indeksi bulunur.

$$SK_{duruş} = 8 - 1.34(X_1) - 1.35(X_2) \quad (3.6)$$

$SK_{duruş}$ indeksi ile elde edilen tahmini tercih miktarları ile, anlamsal fark testiyle elde edilen gerçek tercih miktarlarının karşılaştırması Şekil 3.33 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.33: Duruş fazı için Ses kalitesi indeksi / Gerçek tercih miktarları karşılaştırması.

3.6 Nesnel Test #2

Bir önceki bölümde uygulanan öznel testlerde, SQ4 kodlu buzdolabından türetilmiş SQ6 kodlu sanal ses kaydı SQ4'e kıyasla bütün sonuçlar için daha yüksek puan almış idi. Özellikle kararlı faz için, SQ6 kodlu numune diğer numuneler arasında en çok tercih edilen buzdolabı idi.

Çalışmanın bu aşamasında SQ4 kodlu buzdolabının üretici firmasına, Bölüm 4. SONUÇ VE ÖNERİLER'de sıralanan öneriler arasından 3.1.2.2'deki ses düzenlemelerine karşılık gelen tasarım değişiklikleri önerilmiştir. Bu yüksek lisans tezinin son teslim tarihinden önce, bu önerilerin uygulanma aşamasında olduğu prototipin imalatı tamamlanamamıştır. Prototip imalatının tamamlanmasının ardından Bölüm 3.1'de tarif edilen testler SQ7 kodlu bu yeni buzdolabı üzerinde tekrarlanabilir ve Bölüm 3.5.5 'te elde edilen SK indeksleri ile tasarım değişikliklerinin ses kalitesi üzerindeki verimliliği değerlendirilebilir hale gelecektir.

3.7 Ses Kalitesine Dayalı Sonuçlar

Giriş kısmında da belirtildiği gibi, çalışmanın bu aşamasının kapsamı özetle 1) Nesnel ve öznel testlerin uygulanması, 2) Bu testlerin sonuçlarının birleştirilmesi, 3) Ürünlerde yapılan iyileştirmelerin ardından nesnel testlerin tekrarlanarak öznel verilerin tahmin edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Nesnel ölçümlerin ilk değerlendirilmesinde duruş ve başlangıç aşamalarında farklı buzdolaplarında ses kalitesi metriklerinde çok büyük farklılıkların görülmediği ancak kararlı çalışmada farklılıkların çıktığı yönündedir.

Başlangıç aşamasında; hesaplanan gürlük değerlerinde SQ1'in en yüksek, SQ3 ve SQ6'nın ise en düşük gürliğe sahip olduğu görülmektedir SQ2-4-5 ise birbirlerine yakın gürlük değerleri sergilemiştir. Dalgalanma kuvveti açısından SQ1 yüksek, SQ2-4 ortalama, SQ3-5-6 ise düşük değerlere sahiptir. Kabalık sıralamasında ise SQ5-1 aynı derecede yüksek, SQ2-3-4-6 ise benzer değerlere sahiptir. Keskinlikte ise SQ3 ön sıradadır; SQ5 en düşük olmakla birlikte SQ1-2-4-5-6 benzer değerler sergilemektedir. Ton gürültü oranında ise SQ3-SQ5-SQ6'nın diğerlerine nazaran daha çok ton bileşeni içerdiği görülmüştür. Gürlüğün maksimum değerlerinde en yüksek değeri SQ4, en düşük değerleri ise SQ5-SQ6 sergilemiştir.

Kararlı çalışma evresinde; hesaplanan gürlük değerlerinde SQ1-5'in yüksek, SQ2-4'ün benzer ve SQ3-6'nın düşük değerler taşıdığı gözlenmiştir. Dalgalanma kuvveti hesapları SQ1-5'in daha yüksek, SQ2-3-4-6 değerlerinin benzer fakat daha düşük olduğunu göstermektedir. Kabalık değerleri incelendiğinde ise SQ5 en yüksek SQ2 en düşüktür. SQ1-3-4-6 değerleri ise benzer olup arada kalmaktadır. Keskinlik değerine bakılacak olursa SQ2-3 en yüksek, SQ1-4-5-6 benzer seviyede düşüktür. Ton/Gürültü oranı değerleri sonuçları bakımından oldukça ilginçtir. Burada SQ2 dolabındaki tonal gürültü bariz biçimde diğerlerinden çok daha yüksektir, daha sonra SQ4-1 ve düşük grupta ise benzer değerler ile SQ3-5-6 dolapları yer almaktadır. Kararlı çalışma fazında maksimum gürlük değerleri binaural gürlük değerleriyle korelasyon içindedir.

Duruş esnasındaki kayıtlar incelendiğinde; gürlük değerlerindeki sıralama SQ1-5 benzer yüksek, SQ2-3-4 benzer seviyede, SQ6 ise en düşüktür. Dalgalanma kuvveti sıralaması ise SQ1-2-3-4-5 benzer seviyede, SQ6 ise düşüktür. Kabalık değerlerine bakıldığında SQ1-5 yüksek, SQ2-3-4 orta grupta ve SQ6 ise daha düşüktür. Keskinlik değerlerinde ise sırasıyla SQ2-3-6 yüksek, SQ1-5-4 ise benzer daha düşüktür. Ton/Gürültü oranında ise SQ2 yüksek, SQ4 orta ve SQ1-3-5-6 ise düşük değerlere sahiptir. Maksimum gürlük değerlerinde en yüksek iki değer sırasıyla SQ2-1, benzer seviyede SQ3-4-6 ve en düşük değer ise SQ5 olmuştur.

Öznel testlerin uygulanması ve analizi başlıca üç etapta tamamlanmaktadır. İlk etap, 10-12 kişilik bir jüri üzerinde ses kalitesi çalışması yapılarak çalışma modelinin oluşturulması ve mümkün olduğunca sadeleştirilip otomatize edilmesi işlemlerini içermektedir. İkinci etap ise ilk etapta oluşturulan model kullanılarak fakat bu sefer daha fazla sayıda katılımcıdan oluşan öznel testler uygulayarak sonuçların doğruluk seviyesinin yükseltilmesinden ibarettir. Üçüncü etap ise, buzdolaplarında yapılan çeşitli yapısal iyileştirmelerin hemen ardından ses kalitesi metriklerinin hesaplanması ve yapılan iyileştirmelerin ses kalitesi yönünden verimliliğini daha önce oluşturulmuş olan regresyon modelinin kullanılarak değerlendirilmesi süreçlerini içermektedir.

Şekil 3.23 ile görüleceği gibi, öznel testler sırasında en beğenilen ses daha sonradan düzenlenerek dinletiyeye sunulan yapay SQ6 sesi olmuştur. Tercih miktarı en az olan sesler ise SQ1 ve SQ2 sesleridir.

Jüriden puanlandırmaları istenen sıfatların kendi içindeki korelasyon modelinde, "özdeş" sıfatlar arasında yüksek korelasyon görülmüştür. Bu durum, yapılan jüri testlerinde jürinin dikkatli ve tutarlı oylama yaptıklarının bir göstergesidir.

Jürinin "Tercih" sonuçlarını, yalnızca ses kalitesi metrikleri ile tahmin edebilmek amacıyla oluşturulan çoklu lineer regresyon modellerinde de minimum $r^2=0.89$ güvenilirlikte bir regresyon modeli üretilmiştir. Bu regresyon modellerinde; başlangıç aşaması için Dalgalanma Kuvveti, Keskinlik ve Maksimum Gürlük SK indeksine negatif yönde katkı sunmaktadır. Darbeli yapıdaki seslerin Dalgalanma Kuvveti ve Maksimum Zwicker Gürlüğü değerlerinin daha yüksek çıkacağı dikkate alındığında, başlangıç fazında darbeli seslerin tercih edilmemesi durumu SK indeksine de yansımıştır. Kararlı faz içinse sırasıyla Gürlük, Keskinlik ve Ton/gürültü Oranı metrikleri SK indeksini düşürücü etkiye sahiptirler. Duruş fazında da başlangıç fazına benzer şekilde Maksimum Gürlük metriği SK indeksinde yerini almış, farklı olarak Ton/gürültü oranı da SK indeksini düşüren diğer bir etken olmuştur.

SQ4 kodlu seslerin çeşitli filtre ve manipülasyonlar uygulanarak düzenlenmiş şekilleri olan SQ6 seslerinin ise bariz bir farkla daha fazla tercih edildiği gözlemlenmiştir. SQ4 buzdolabında bulunan, başlangıç ve duruş evresinde görülen yüksek darbesel seslerin azaltılması, bu evrelerde ses kalitesinin artmasına yardımcı olacaktır. Tüm evrelerde belirgin şekilde görülen 50 Hz ve harmoniklerinden oluşan kompresör kaynaklı gürültünün de, kompresör-şasi arasındaki titreşim geçirgenliğinin azaltılması ve/veya titreşim seviyesi az olan bir kompresör seçimi yolları izlenerek spektrum içindeki baskınlığı azaltılabilir ve böylece ses kalitesi arttırılabilir. Buzdolabının kararlı fazı için elde edilen Ses Kalitesi İndeksi'nde yerini alarak önemini hissettiren Ton-Gürültü Oranı metriği de, SQ4 için 3.548, SQ6 için 1.671 olarak elde edilmiştir. SQ4'teki fan kaynaklı frekans bileşenlerinin bastırılması, bu buzdolabının daha tercih edilir olmasını sağlamıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda, her iki aşamaya ait veriler ortak olarak ele alındığında; buzdolaplarının ses gücünün azaltılması ve ses kalitesinin arttırılması, diğer bir deyişle buzdolaplarının akustik performansının iyileştirilmesi amacıyla göz önünde bulundurulması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Buzdolaplarında kompresör üst kabuğu üzerine uygun bir sönüm malzemesi uygulanarak, kompresör kaynaklı titreşimlerin seviyesinin azaltması yoluna gidilmelidir.
- Fanın ses gücü üzerinde önemli derecede etkin olduğu buzdolaplarında, fanın gövdeye rijit olarak monte edilmemesine dikkat edilmelidir. Fan ile gövde arasında mümkün olduğunca esnek bir montaj biçimi önerilmektedir.
- Fanlar, içinde bulunduğu kaviteyi tahrik etmek suretiyle rezonansa sokabilmektedir. Bu gibi durumlarda fan kanat geçiş frekansının, kavitenin doğal frekanslarından uzaklaştırılması gerekmektedir.
- Aynı akış performansını daha sessiz şekilde sağlayabilen fan kanat tasarımları tercih edilmelidir.
- Ampirik bir gözlem olarak, fan gürültü seviyeleri fan hızının 5inci mertebesi ile doğru orantılıdır. Bu durum; fan hızındaki 10%'luk bir düşüşün fan gürültüsünde 2 dB seviyesinde, 20%'lik bir düşüşün yaklaşık 5 dB seviyesinde bir azalma sağlayacağı anlamına gelmektedir.
- Kompresör ile şasi arasındaki titreşim geçirgenliğinin azaltılması için, daha yumuşak titreşim izolatörleri tercih edilmelidir.
- Kompresör-şasi bağlantılarında, bağlantı detayının mekanik olarak “kısa devre” yapmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Örneğin kompresör ile şasi arasındaki bir somun-civata bağlantısı –her ne kadar arada titreşim izolatörü olsa dahi- titreşimin bu elemanlar üzerinden iletilmesine neden olacaktır.

- Daha geniş yüzey alanına sahip elemanların titreşimi, yapı/hava etkileşiminin daha fazla olmasından dolayı daha fazla gürültüye neden olmaktadır. Buzdolaplarındaki düz ve geniş alana sahip sac parçalar üzerinde titreşim seviyesini azaltmak için viskoelastik sönüm elemanları kullanılmalıdır.
- Kompresörden doğrudan yayılan gürültüyü azaltmak için, kompresörün bulunduğu hacim dıştan ses kesici, içten ses yutucu malzemeler ile yalıtılmalıdır.
- Buzdolabının soğutma çevrimine ait evaporatör giriş borusunun çift fazlı akışa müsaade etmeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında, bu amaçla daha dar boruların (yaklaşık 3.5 mm çapında) kullanılması önerilmektedir.
- Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, soğutucu akışkanın geçtiği boruların mümkün olduğunca yatay olarak konumlandırılması önerilmektedir.
- Buzdolabı üreticilerinin, kompresör ve fan gibi alt komponentler üzerinde kalite kontrol uygulamaları yapmaları önerilmektedir. Bu amaçla, alt tedarikçilerden elde edilen bu komponentlerin sahip olabileceği gürültü ve titreşim limit değerleri belirlenmelidir.
- Kompresörün dış kabuğunun malzemesi, iç sönümü mümkün olduğunca yüksek malzemelerden seçilmelidir.
- Kompresör, şasinin tam ortasına yerleştirilmemelidir. Şasinin orta noktası rijitliğinin en zayıf olduğu, modal yoğunluğunun en yoğun olduğu noktadır.
- Buzdolabının ağırlığını taşıyan tekerlekler, yan panellerin düzlemsel rijitliğinden mümkün olduğunca faydalanmak için yan panellere olabildiğince yakın konumlandırılmalıdır.
- Kompresör üzerindeki su kabının, aynı zamanda bir sönüm elemanı olarak da kullanılması şeklinde çift fonksiyonlu olarak tasarlanması üzerine farklı bir çalışma yapılabilir.
- Kullanılan fanlarda, modülasyon etkilerinin görülmemesi için çift sayıdaki kanat sayılarından kaçınılmalıdır.

- Buzdolaplarında gürültü ve titreşim seviyesini azaltan önlemlerin çoğu, aynı zamanda gürlük ve buna bağlı olarak hesaplanan kabalık, keskinlik gibi ses kalitesi metriklerini de olumlu seviyelere getirmek suretiyle ses kalitesini de arttırmaktadır.
- Buzdolabının başlangıç aşamasında tüketiciler tıkırtılı ve kaba olarak nitelendirdikleri sesleri tercih etmeme eğilimindedir. Kararlı çalışma aşamasında ise kaba, güçlü, parlar, vızıltılı, fokurtulu ve tıkırtılı olarak nitelendirdikleri sesleri daha az tercih etmişlerdir. Duruş aşamasında da benzer şekilde kaba, güçlü, parlak, vızıltılı, fokurtulu ve tıkırtılı sesler tercih edilmemiş, tercih edilen seslerin ise özellikle düzenli olan sesler olduğu görülmüştür.
- Çalışmada kullanılan buzdolapları için, başlangıç aşamasında Dalgalanma Kuvveti, Keskinlik ve Maksimum Gürlük metriklerinin; kararlı çalışma aşamasında Gürlük, Ton/Gürültü Oranı ve Keskinlik metriklerinin; Duruş aşamasında ise Ton/Gürültü Oranı ve Maksimum Gürlük metriklerinin ses kalitesi ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Üreticiler ürünleri üzerinde ses kalitesi çalışması yaparak, tüketicilerin beğenilerini metrikler üzerinden tahmin edebilen bir regresyon modeli oluşturmalı ve ürettikleri yeni ürünleri bu model üzerinden belirli periyotlarla değerlendirmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Jeon, J. Y. ve Ryu, J. K.** (2006). Allowable noise levels of residential noises. *Proceedings of 35th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2006* içinde (s. 4907). Honolulu, Hawaii, Amerika Birleşik Devletleri.
- [2] **Lee, C., Cho, Y., Baek, B., Lee, S., Hwang, D. ve Jo, K.** (2005). Analyses of refrigerator noises. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2005 ISIE 2005* içinde (C. 3, ss. 1179–1184). Dubrovnik, Croatia.
- [3] **Jeon, J. Y., You, J. ve Chang, H. Y.** (2007). Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments. *Applied Acoustics*, 68(10), 1118–1134. doi:10.1016/j.apacoust.2006.06.005
- [4] **Kang, M. J., Kim, J. D., Han, J. S., Kim, H. S. ve Lee, M. R.** (2010). Noise qualification index for refrigerator aligned with consumers. *Proceedings of 39th International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2010* içinde (s. 2643). Lisbon, Portekiz.
- [5] **Kim, S., Lee, E., Kim, J., Kim, J., Lee, D. ve Oh, J.** (2006). Development of sound quality evaluation technique for a refrigerator under household usage. *Proceedings of 35th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2006* içinde (s. 703). Honolulu, Hawaii, Amerika Birleşik Devletleri.
- [6] **Sato, S., You, J. ve Jeon, J.** (2007). Sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments with relation to psychoacoustical and autocorrelation function parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(1), 314–325. doi:10.1121/1.2739440
- [7] **Kim, W., Jeon, W.-H., Cho, J.-H., Shin, D.-S. ve Kim, H.** (2006). Numerical study on the noise generation of the axial flow fan in a refrigerator. *Proceedings of 35th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2006* içinde (s. 119). Honolulu, Hawaii, Amerika Birleşik Devletleri.
- [8] **Takushima, A., Shinobu, Y., Tanaka, S., Eguchi, M. ve Matsuki, K.** (1992). Fan noise reduction of household refrigerator. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(2), 287–292. doi:10.1109/28.126731
- [9] **Brüel & Kjaer.** (2013). Pulse Labshop Measurement Software. Danimarka.

- [10] **Brüel & Kjaer.** (2013). Pulse Reflex Post-processing Software. Danimarka.
- [11] **Imperial Collage Dynamic Section.** (2009). ICATS: Imperial College Testing Analysis and Software. Londra, İngiltere.
- [12] **Ewins, D. J.** (2000). *Modal testing: theory, practice, and application* (2. bs.). İngiltere.
- [13] **Koruk, H. ve Sanliturk, K. Y.** (2012). Identification and removal of adverse effects of non-contact electromagnetic excitation in Oberst Beam Test Method. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 30, 274–295.
- [14] **Nashif, A. D., Jones, D. I. ve Henderson, J. P.** (1985). *Vibration Damping*. New York: Wiley.
- [15] Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise (Part 1: General requirements). Pub. L. No. IEC 60704-1 (2010).
- [16] Household and similar electrical appliances – Test code for the determination of airborne acoustical noise (Part 2-14: Particular requirements for refrigerators, frozen-food storage cabinets and food freezers). Pub. L. No. IEC 60704-2-14 (2007).
- [17] Acoustics: Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure -- Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. Pub. L. No. ISO 3744 (2010).
- [18] **Brüel & Kjaer.** (2010). Sound Quality: Equalisation and Calibration, Educational Powerpoint Slide. Danimarka.
- [19] **Brüel & Kjaer.** (2009). Type 4100 Sound Quality Head And Torso Simulator User Manual. Danimarka.
- [20] **Brüel & Kjaer.** (2013). PULSE Sound Quality Software. Danimarka.
- [21] **Fastl, H. ve Zwicker, E.** (2007). *Psychoacoustics: Facts and Models* (s. 475). Springer.
- [22] **Brüel & Kjaer.** (2010). Sound Quality: Psychoacoustics: A Qualitative Description, Educational Powerpoint Slide. Danimarka.
- [23] **Baars, E., Lenzi, A. ve Nunes, R. A. S.** (2002). Sound Quality Of Hermetic Compressors And Refrigerators. *International Compressor Engineering Conference* içinde . West Lafayette, Indiana, Amerika Birleşik Devletleri: Purdue University, School of Mechanical Engineering. <http://docs.lib.purdue.edu/icec/1541> adresinden erişildi.
- [24] **Orhon, B. E.** (2009). *Çamaşır Makinalarında Ses Kalitesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [25] **Jay, G. C.** (2007). Sound/Vibration Quality Engineering: Part 1 – Introduction and the SVQ Engineering Process. *SOUND AND VIBRATION*.
[http://www.soundanswers.net/Tech_Papers/S%26V Mag - Sound Vibration Quality Engineering.pdf](http://www.soundanswers.net/Tech_Papers/S%26V%20Mag%20-%20Sound%20Vibration%20Quality%20Engineering.pdf) adresinden erişildi.
- [26] **Süzülmüş, S.** (2005). *Faktör Analizi Modellerinin Belirlenebilirliği ve Genelleştirilmiş İnverslerin Kullanımı*. Çukurova Üniversitesi.
- [27] **Lyon, R. H.** (2000), *Designing for Product Sound Quality*, Dekker Mechanical Engineering.

EKLER

EK A1: Ses kalitesi analizlerinde kullanılan Matlab® kodu.

EK A2: Ses kalitesi analizlerinde kullanılan Matlab® kodunun, çoklu lineer regresyon analizi için alt küme tanımlama alt fonksiyonu.

EK B1: Başlangıç fazına ait ses kalitesi metriklerinin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri.

EK B2: Kararlı faza ait ses kalitesi metriklerinin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri.

EK B3: Duruş fazına ait ses kalitesi metriklerinin Bark eksenindeki grafiksel gösterimleri.

EK A1

```
% Juri Puanlarının Anlamsal Testleri ve Zorlanmış Testleri İçin
% Kullanılacak Olan Matlab Fonksiyon Dosyası
clc
clear all
close all
TercihSutunu = 5; %Tercih sıfatının sıfatlar arasındaki sırası
(Excel)
Jurinumber = 18; %Jüri Testi Katılımcı Sayısı

for i=1:Jurinumber % Excel dosyasından anlamsal
farklandırma için % jüri verilerinin alınması
[JStart.(['J',num2str(i)]) JStart.Adj] =xlsread...
('JuriPuanlar_Refined.xlsx', ['J',num2str(i)], 'B5:H11');
[JStationary.(['J',num2str(i)]) JStationary.Adj] =xlsread...
('JuriPuanlar_Refined.xlsx', ['J',num2str(i)], 'B14:I20');
[JFinish.(['J',num2str(i)]) JFinish.Adj]=xlsread...
('JuriPuanlar_Refined.xlsx', ['J',num2str(i)], 'B23:I29');
end
for i=1:Jurinumber % Excel dosyasından zorlanmış seçim için
% jüri verilerinin alınması

JTercihStationaryZS(i,:)=xlsread('JuriPuanlar_Z_Refined.xlsx', ['JZ',
...
num2str(i)], 'B22:G22');
end

%Tercih verilerinin ayrı bir değişkene "matris formunda" atanması
%Aşağıdaki TercihSutunu numarası "tercih" sütununu ifade ediyor
%Aşağıdaki JuriNumber (döngü sayısı), jüri sayısıdır
%Matrislerde (örn. JTercihStart) satırlar jüri noyu, sütunlar
numune(SQ#)
%noyu ifade ediyor
for i=1:Jurinumber
JTercihStart(i,:)=JStart.(['J',num2str(i)]) (:,TercihSutunu);

JTercihStationary(i,:)=JStationary.(['J',num2str(i)]) (:,TercihSutunu
);
JTercihFinish(i,:)=JFinish.(['J',num2str(i)]) (:,TercihSutunu);
end

%----- Ortalama ve standart sapma grafikleri BAŞLANGIÇ -----%
xPositions = 1:6;
figure(1)
errorbar(mean(JTercihStart),std(JTercihStart), 'Xr', 'MarkerSize',10,.
..
'LineWidth',2)
set(gca, 'XTickLabel', {' ' ; 'SQ1'; 'SQ2'; 'SQ3'; 'SQ4'; 'SQ5'; 'SQ6'; ' ' })
grid on
xlabel('Numune')
ylabel('Anlamsal Skala')
title('Başlangıç Fazı: Tercih Miktarı (Anlamsal Fark)')
figure(2)
errorbar(mean(JTercihFinish),std(JTercihFinish), 'xr', 'MarkerSize',10
, ...
'LineWidth',2)
```

```

set(gca,'XTickLabel',{' ' ;'SQ1';'SQ2';'SQ3';'SQ4';'SQ5';'SQ6';' '})
grid on
xlabel('Numune')
ylabel('Anlamsal Skala')
title('Duruş Fazı: Tercih Miktarı (Anlamsal Fark)')
grid on
figure(3)
errorbar(xPositions-
0.05,mean(JTercihStationary),std(JTercihStationary),...
'xr','MarkerSize',10,'LineWidth',2)
hold on
errorbar(xPositions +0.05,mean(JTercihStationaryZS)*7,...
std(JTercihStationaryZS)*7,'ok','MarkerSize',10,'LineWidth',2)
set(gca,'XTickLabel',{' ' ;'SQ1';'SQ2';'SQ3';'SQ4';'SQ5';'SQ6';' '})
legend('Anlamsal Fark','Zorlanmış Seçim')
xlabel('Ses Örnekleri')
ylabel('Anlamsal Skala')
title('Kararlı Faz: Tercih Miktarı')
grid on
%----- Ortalama ve standart sapma grafikleri BİTİŞ -----%

% Anlamsal fark ile zorlanmış seçim test sonucu ortalamalarının
birbiri
% arasındaki korelasyonu:
% JStationaryCORR_ZS_AF: korelasyon katsayısı
% JStationaryP_ZS_AF: p-value <0.05 olmalı
[JStationaryCORR_ZS_AF JStationaryP_ZS_AF]=corr...
(mean(JTercihStationaryZS)',mean(JTercihStationary)');

for i=1:6 % 6 adet numune var
    for j=1:Jurinumber % Jurinumber adet jüri var
        % Her numune için puanları kendi SQ# değişkeni altında
        % toplama:
        JStart.(['SQ',num2str(i)])(j,:)
=JStart.(['J',num2str(j)])(i,:);
        JStationary.(['SQ',num2str(i)])(j,:) =...
        JStationary.(['J',num2str(j)])(i,:);
        JFinish.(['SQ',num2str(i)])(j,:)
=JFinish.(['J',num2str(j)])(i,:);
        % SQ# matrisinin satırları jüri numarasını, sütunları ise
        % sıfatı belirtiyor.
    end
    JStartmean(i,:)=mean(JStart.(['SQ',num2str(i)]));
    JStationarymean(i,:)=mean(JStationary.(['SQ',num2str(i)]));
    JFinishmean(i,:)=mean(JFinish.(['SQ',num2str(i)]));
    % Bu matrislerin satırı numune numarasını, sütunu sıfatı
    belirtiyor
end

%Mean matrisi üzerinde korelasyon yapıyoruz. Amacı, birbiriyle
%korelasyon gösteren sıfatlar var mı? sorusuna cevap vermek. Jüri,
%birbirinden farklı sıfatlar için aynı doğrultuda mı cevap vermiş?
[JStartCORR,JStartPval] = corr(JStartmean);
[JStationaryCORR,JStationaryPval]=corr( JStationarymean);
[JFinishCORR,JFinishPval]=corr( JFinishmean);

%METRİK'lerin Excel dosyasından alınması
JStartMetric=(xlsread('Metrik_Refined.xlsx','Start','C2:H10'))';
JStationaryMetric=(xlsread('Metrik_Refined.xlsx','Stationary','C2:H1
0'))';
JFinishMetric=(xlsread('Metrik_Refined.xlsx','Stop','C2:H10'))';

```

```

%Sıfatlar ve Numunelerin etiketleri
JMetricAdj={'Gürlük' 'Dalgalanma Kuvveti' 'Kabalık' 'Keskinlik'...
    'Ton/Gürültü'};
JMetricAdj_Stationary={'Gürlük' 'Dalgalanma Kuvveti' 'Kabalık'...
    'Keskinlik(Aures)' 'Ton/Gürültü' 'Belirginlik' 'Tonalite'...
    'Keskinlik(Zwicker)' 'Max.Gürlük' };
JMetricAdj=JMetricAdj_Stationary
SQLabels={'SQ1' 'SQ2' 'SQ3' 'SQ4' 'SQ5' 'SQ6'} ;

%Metrikler ile Jüri sonuçları arasında korelasyon:
[JStartMetCORR,JStartMetPval]=corr(JStartmean,JStartMetric);
[JStationaryMetCORR,JStationaryMetPval]=corr(JStationarymean,...
    JStationaryMetric);
[JFinishMetCORR,JFinishMetPval]=corr(JFinishmean,JFinishMetric);

%ANA BİLEŞENLER ANALİZİ

% Her bir sıfat için, numunelerin aldığı ortalama değerlerden,
ortalama
% değerlerin ortalama değerinin çıkarılıp, ortalama değerlerin
standart
% sapmasına bölümü (zscore(JStartmean) de kullanılabilirdi.)
for i=1:size(JStartmean,2)
    JStartmeanUV(:,i)=(JStartmean(:,i)-mean(JStartmean(:,i)))/...
        (std(JStartmean(:,i)));
end;
for i=1:size(JStationarymean,2)
    JStationarymeanUV(:,i)=(JStationarymean(:,i)...
        -mean(JStationarymean(:,i)))/(std(JStationarymean(:,i)));
end
for i=1:size(JFinishmean,2)
    JFinishmeanUV(:,i)=(JFinishmean(:,i)-mean(JFinishmean(:,i)))/...
        (std(JFinishmean(:,i)));
end
%----- Normalizasyon bitiş

[JStartPC,JStartScore,JStartLatent,JStarttsquare]=princomp...
    (JStartmeanUV , 'econ');
[JStationaryPC,JStationaryScore,JStationaryLatent,JStationarytsquare
]=...
    princomp(JStationarymeanUV, 'econ');
[JFinishPC,JFinishScore,JFinishLatent,JFinishtsquare]=...
    princomp(JFinishmeanUV, 'econ');

CumulativeStart=cumsum(var(JStartScore))./sum...
    (var(JStartScore)); % "kaç parametre yüzde kaç
açıklıyor?"
CumulativeStationary=cumsum(var(JStationaryScore))./sum...
    (var(JStationaryScore));
CumulativeFinish=cumsum(var(JFinishScore))./sum(var(JFinishScore));

%Rotating Factors
JStartPC_RF=rotatefactors(JStartPC);
JStationaryPC_RF=rotatefactors(JStationaryPC, 'Method', 'promax');
JFinishPC_RF=rotatefactors(JFinishPC);
JStartScore_RF=JStartmeanUV*JStartPC_RF;
JStationaryScore_RF=JStationarymeanUV*JStationaryPC_RF;
JFinishScore_RF=JFinishmeanUV*JFinishPC_RF;

```

```

CumulativeStart_RF=cumsum(var(JStartScore_RF))./sum(var(JStartScore_
RF));
CumulativeStationary_RF=cumsum(var(JStationaryScore_RF))./sum...
    (var(JStationaryScore_RF));
CumulativeFinish_RF=cumsum(var(JFinishScore_RF))./sum...
    (var(JFinishScore_RF));
JStartLatent_RF=var(JStartScore_RF);
JStationaryLatent_RF=var(JStartScore_RF);
JFinishLatent_RF=var(JStartScore_RF);

% Jüri Testleri için ABA sonuçlarının grafikleri
% Not: Rotating seçeneğinin çıkarılması için _RF ekleri
çıkartılabilir
% 2-boyutlu grafikler görmek için 1:3 yerine 1:2 2:3 veya [1,3]
% yapılabilir
figure(6)
biplot(JStartPC_RF(:,1:3), 'LineWidth',2, 'scores',JStartScore_RF(:,1:
3), ...
    'MarkerSize',20, 'varlabels',JStart.Adj, 'obslabels',SQLabels)
title('ABA: Başlangıç Fazı')
datacursormode on

figure(7)
biplot(JStationaryPC(:,1:3), 'scores',JStationaryScore(:,1:3), ...
    'varlabels',JStationary.Adj, 'obslabels',SQLabels, 'LineWidth',2, ...
    'MarkerSize',20)
title('ABA: Kararlı Faz')
datacursormode on

figure(8)
biplot(JFinishPC(:,1:3), 'scores',JFinishScore(:,1:3), 'varlabels',...
    JFinish.Adj, 'obslabels',SQLabels, 'LineWidth',2, 'MarkerSize',20)
title('ABA: Duruş Fazı')
datacursormode on

% ANA BİLEŞENLER ANALİZİ (METRIKLER İCİN)

% Her bir Metrik için, numunelerin aldığı ortalama değerlerden,
ortalama
% değerlerin ortalama değerinin çıkarılıp, ortalama değerlerin
standart
% sapmasına bölümü (zscore(JStartMetric) de kullanılabilirdi.)
for i=1:size(JStartMetric,2)
    JStartMetricUV(:,i)=(JStartMetric(:,i)-
mean(JStartMetric(:,i)))...
        /(std(JStartMetric(:,i)));
end;
for i=1:size(JStationaryMetric,2)
    JStationaryMetricUV(:,i)=(JStationaryMetric(:,i)...
        -
mean(JStationaryMetric(:,i)))/(std(JStationaryMetric(:,i)));
end
for i=1:size(JFinishMetric,2)
    JFinishMetricUV(:,i)=(JFinishMetric(:,i)-
mean(JFinishMetric(:,i)))/...
        (std(JFinishMetric(:,i)));
end
%----- Normalizasyon bitiş

```

```

[MetricStartPC, MetricStartScore, MetricStartLatent, MetricStarttsquare
]...
    =princomp(JStartMetricUV, 'econ');
[MetricStationaryPC, MetricStationaryScore, MetricStationaryLatent, ...
    MetricStationarytsquare]=princomp(JStationaryMetricUV, 'econ');
[MetricFinishPC, MetricFinishScore, MetricFinishLatent, ...
    MetricFinishtsquare]=princomp(JFinishMetricUV, 'econ');

% "kaç parametre yüzde kaç açıklıyor?"
CumulativeStartMetric=cumsum(var(MetricStartScore))./sum...
    (var(MetricStartScore));
CumulativeStationaryMetric=cumsum(var(MetricStationaryScore))./sum...
    (var(MetricStationaryScore));
CumulativeFinishMetric=cumsum(var(MetricFinishScore))./sum...
    (var(MetricFinishScore));

% Rotating Factors
MetricStartPC_RF=rotatefactors(MetricStartPC);
MetricStationaryPC_RF=rotatefactors(MetricStationaryPC);
MetricFinishPC_RF=rotatefactors(MetricFinishPC);
MetricStartScore_RF=JStartMetricUV*MetricStartPC_RF;
MetricStationaryScore_RF=JStationaryMetricUV*MetricStationaryPC_RF;
MetricFinishScore_RF=JFinishMetricUV*MetricFinishPC_RF;

CumulativeStartMetric_RF=cumsum(var(MetricStartScore_RF))./sum...
    (var(MetricStartScore_RF));
CumulativeStationaryMetric_RF=cumsum(var(MetricStationaryScore_RF)).
    /sum...
    (var(MetricStationaryScore_RF));
CumulativeFinishMetric_RF=cumsum(var(MetricFinishScore_RF))./sum...
    (var(MetricFinishScore_RF));
MetricStartLatentMetric_RF=var(MetricStartScore_RF);
MetricStationaryLatentMetric_RF=var(MetricStartScore_RF);
MetricFinishLatentMetric_RF=var(MetricStartScore_RF);

% Metrikler için ABA sonuçlarının grafikleri
% Rotating'i çıkarmak için _RF ekleri çıkarılabilir
% 2-boyutlu grafikler görmek için 1:3 yerine 1:2 2:3 veya [1,3]
yapılmalı
figure(9)
biplot(MetricStartPC(:,1:3), 'scores', MetricStartScore(:,1:3), ...
    'varlabels', JMetricAdj, 'obslabls', SQLabls, 'LineWidth', ...
    2, 'MarkerSize', 20)
title('ABA: Başlangıç Fazı (Metrikler)')
figure(10)
biplot(MetricStationaryPC(:,1:3), 'scores', MetricStationaryScore(:,1:
3), ...

'varlabels', JMetricAdj_Stationary, 'obslabls', SQLabls, 'LineWidth', ..
..
    2, 'MarkerSize', 20)
title('ABA: Kararlı Faz (Metrikler)')
figure(11)
biplot(MetricFinishPC(:,1:3), 'scores', MetricFinishScore(:,1:3), ...
    'varlabels', JMetricAdj, 'obslabls', SQLabls, 'LineWidth', 2, ...
    'MarkerSize', 20)
title('ABA: Duruş Fazı (Metrikler)')

% Çoklu Lineer Regresyon

```

```

% Hangi metrikler kullanılacak? Aday alt kümeleri:
create_subset

for i=1:length(Subset)

    %Başlangıç
    [JStartRegCoeff, JJStartRegCoeffint, JStartRegResid, ...
        JStartRegResidint, JStartRegFstats]=regress((8-mean...
        (JTercihStart))',JStartMetric(:,Subset{i}),0.05);
    % R^2 değerleri (her subset için):
    JStartR2(i)=JStartRegFstats(1);
    % F istatistik değerleri (her subset için):
    JStartFstValue(i)=JStartRegFstats(2);
    % p-value değerleri (her subset için):
    JStartFstPValue(i)=JStartRegFstats(3);
    % Hata varyansı (her subset için):
    JStartEOVar(i)=JStartRegFstats(4);
    % Regresyon katsayıları (her subset için):
    JStartBetaCoeff{i}=JStartRegCoeff;
    % Residuals/artıklar (her subset için):
    JStartResid{i}=JStartRegResid;

    %Kararlı
    [JFinishRegCoeff, JJFinishRegCoeffint,JFinishRegResid,...
        JFinishRegResidint, JFinishRegFstats]=regress((8-
mean(JTercihFinish))',JFinishMetric(:,Subset{i}),0.05);
    % R^2 değerleri (her subset için):
    JFinishR2(i)=JFinishRegFstats(1);
    % F istatistik değerleri (her subset için):
    JFinishFstValue(i)=JFinishRegFstats(2);
    % p-value değerleri (her subset için):
    JFinishFstPValue(i)=JFinishRegFstats(3);
    % Hata varyansı (her subset için):
    JFinishEOVar(i)=JFinishRegFstats(4);
    % Regresyon katsayıları (her subset için):
    JFinishBetaCoeff{i}=JFinishRegCoeff;
    % Residuals/artıklar (her subset için):
    JFinishResid{i}=JFinishRegResid;
end

for i=1:length(Subset)

    %Stationary
    [JStationaryRegCoeff JJStationaryRegCoeffint,JStationaryRegResid
JStationaryRegResidint JStationaryRegFstats]=regress((8-
mean(JTercihStationary))',JStationaryMetric(:,Subset{i}),0.05);
    % R^2 değerleri (her subset için)
    JStationaryR2(i)=JStationaryRegFstats(1);
    % F istatistik değerleri (her subset için)
    JStationaryFstValue(i)=JStationaryRegFstats(2);
    % p-value değerleri (her subset için)
    JStationaryFstPValue(i)=JStationaryRegFstats(3);
    % Hata varyansı (her subset için)
    JStationaryEOVar(i)=JStationaryRegFstats(4);
    % Regresyon katsayıları (her subset için)
    JStationaryBetaCoeff{i}=JStationaryRegCoeff;
    % Residuals/artıklar (her subset için)
    JStationaryResid{i}=JStationaryRegResid;
end

```

```

    %Paired Comparison
    [JTercihStationaryZSRegCoeff,
JJTercihStationaryZSRegCoeffint,...
    JTercihStationaryZSRegResid,
JTercihStationaryZSRegResidint,...
    JTercihStationaryZSRegFstats]=regress((8-mean...
    (JTercihStationary))',JStationaryMetric(:,Subset{i}),0.05);
    % R^2 değerleri (her subset için)
    JTercihStationaryZSR2(i)=JTercihStationaryZSRegFstats(1);
    % F istatistik değerleri (her subset için)
    JTercihStationaryZSFstValue(i)=JTercihStationaryZSRegFstats(2);
    % p-value değerleri (her subset için)
    JTercihStationaryZSFstPValue(i)=JTercihStationaryZSRegFstats(3);
    % Hata varyansı (her subset için)
    JTercihStationaryZSEOWar(i)=JTercihStationaryZSRegFstats(4);
    % Regresyon katsayıları (her subset için)
    JTercihStationaryZSBetaCoeff{i}=JTercihStationaryZSRegCoeff;
    % Residuals/artıklar (her subset için)
    JTercihStationaryZSResid{i}=JTercihStationaryZSRegResid;
End

```

EK A2

% Hangi metrikler kullanılacak? Aday alt kümeleri:

```

clear Subset

for i=1:9
    Subset{i}=i;
end
for a=1:9
    for b=1:9
        if a<b
            Subset{1+length(Subset)}=[a b];
        else
            continue
        end
    end
end
for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            if a<b && b<c
                Subset{1+length(Subset)}=[a b c];
            else
                continue
            end
        end
    end
end
for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            for d=1:9
                if a<b && b<c && c<d
                    Subset{1+length(Subset)}=[a b c d];
                else
                    continue
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            for d=1:9
                for e=1:9
                    if a<b && b<c && c<d && d<e
                        Subset{1+length(Subset)}=[a b c d e];
                    else
                        continue
                    end
                end
            end
        end
    end
end

for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            for d=1:9
                for e=1:9
                    for f=1:9
                        if a<b && b<c && c<d && d<e && e<f
                            Subset{1+length(Subset)}=[a b c d e f];
                        else
                            continue
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            for d=1:9
                for e=1:9
                    for f=1:9
                        for g=1:9
                            if a<b && b<c && c<d && d<e && e<f && f<g
                                Subset{1+length(Subset)}=[a b c d e f g];
                            else
                                continue
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

for a=1:9
    for b=1:9
        for c=1:9
            for d=1:9

```

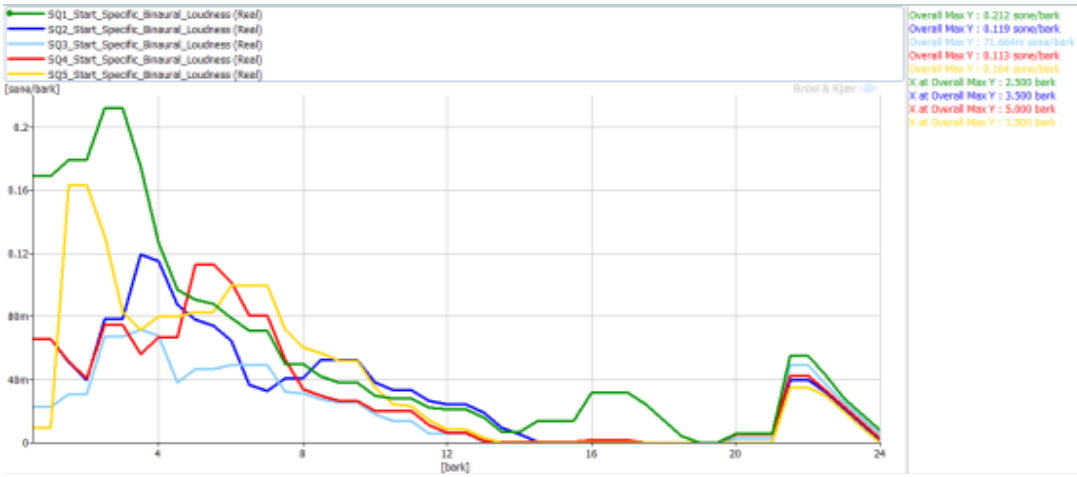
```

for e=1:9
    for f=1:9
        for g=1:9
            for h=1:9
                if a<b && b<c && c<d && d<e && e<f && f<g && g<h
                    Subset{1+length(Subset)}=[a b c d e f g h];
                else
                    continue
                end
            end
        end
    end
end

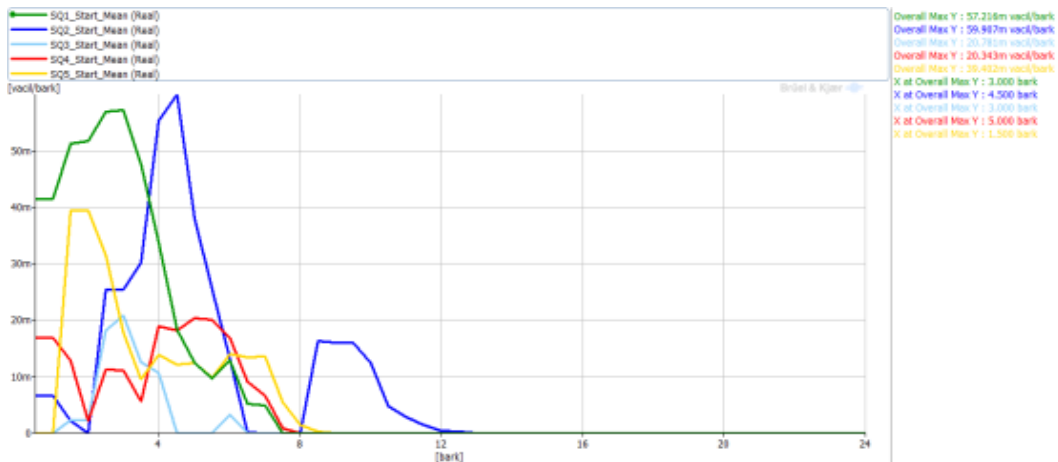
Subset{1+length(Subset)}=[1 2 3 4 5 6 7 8 9];

```

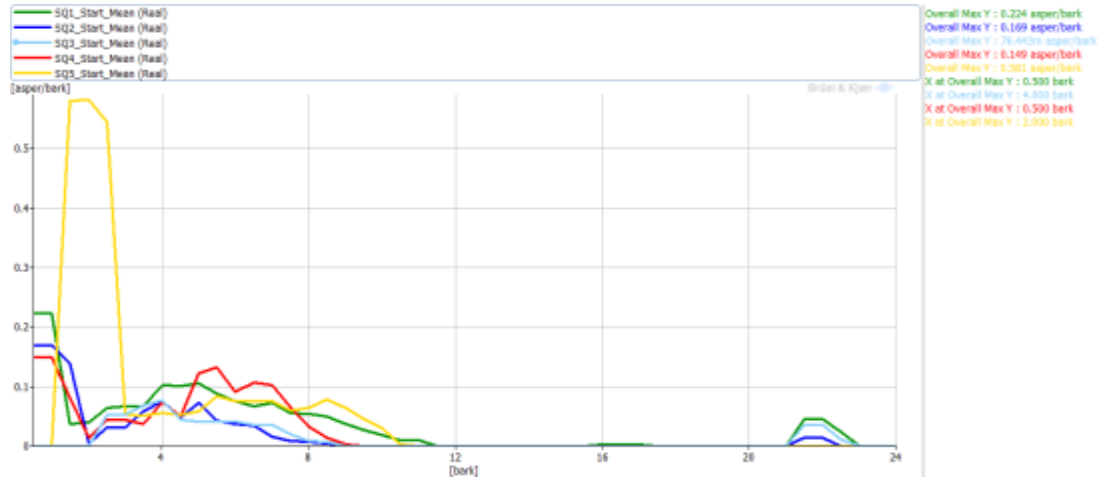
EK B1



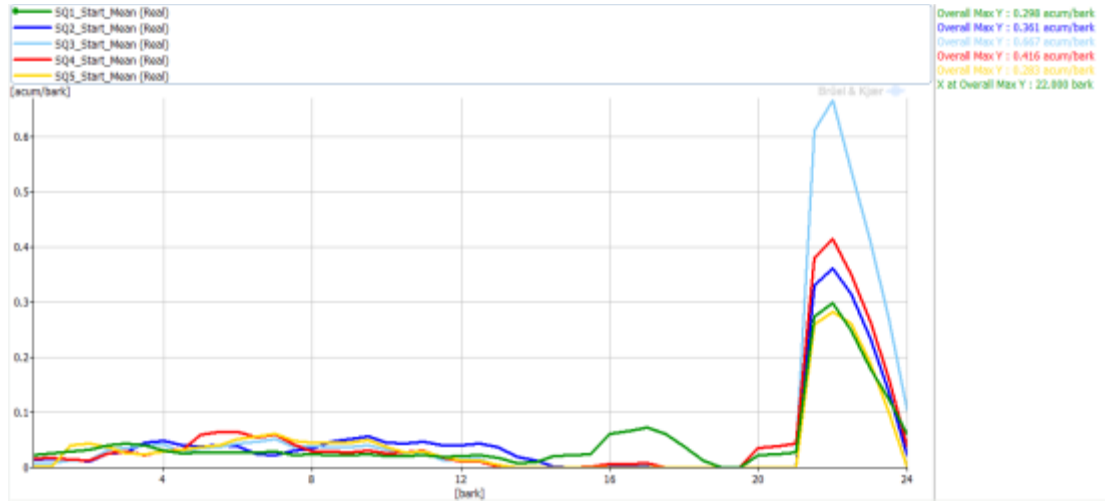
Şekil B.1 Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].



Şekil B.2: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].

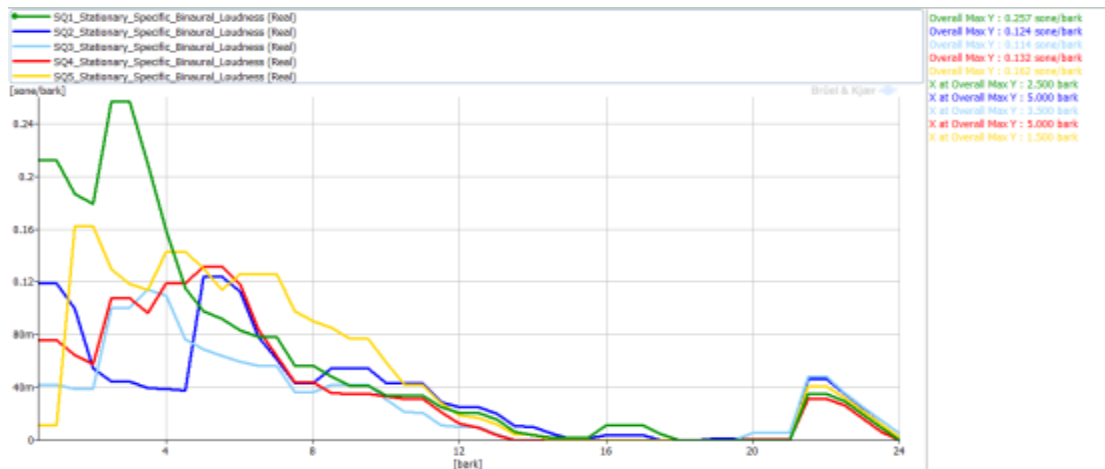


Şekil B.3: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].

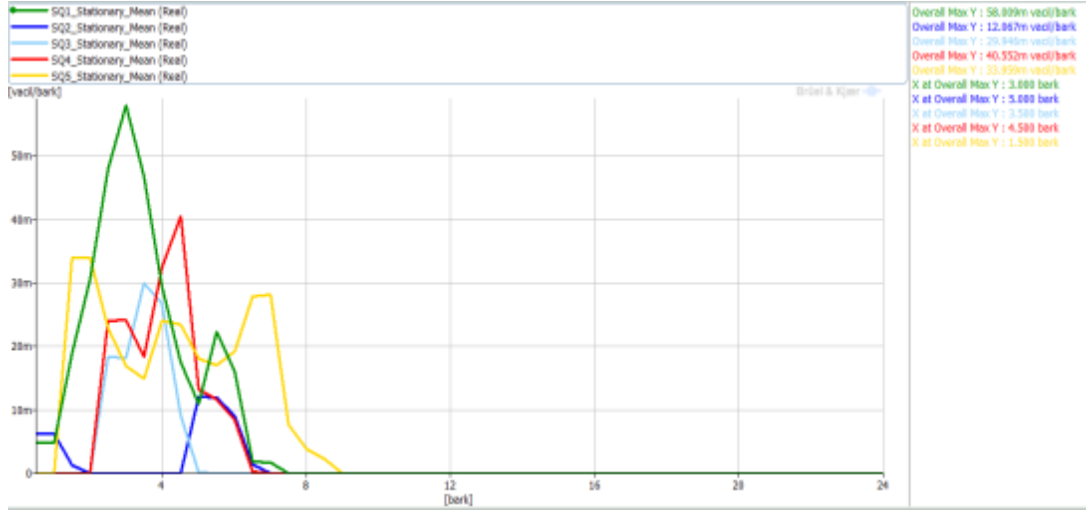


Şekil B.4: Başlangıç fazları karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].

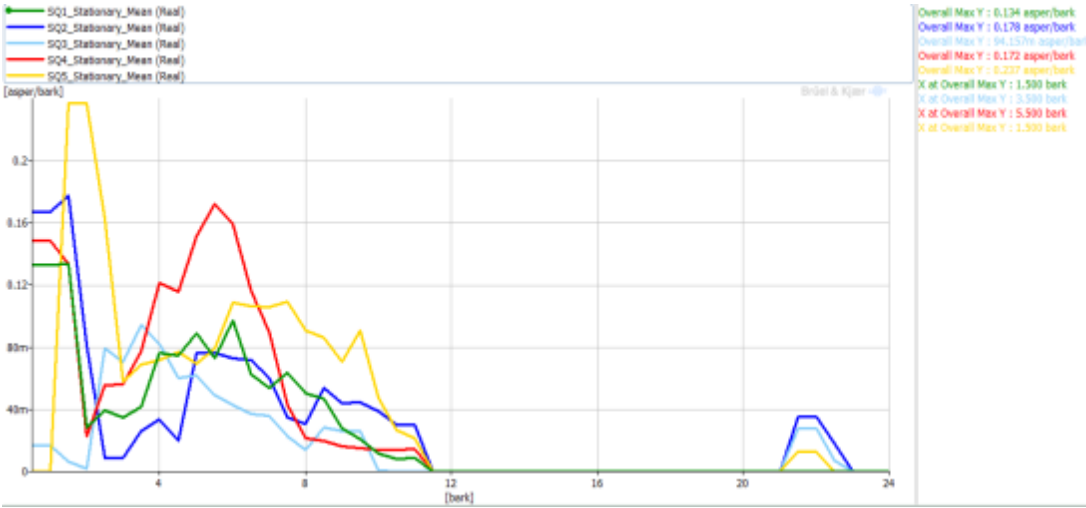
EK B2



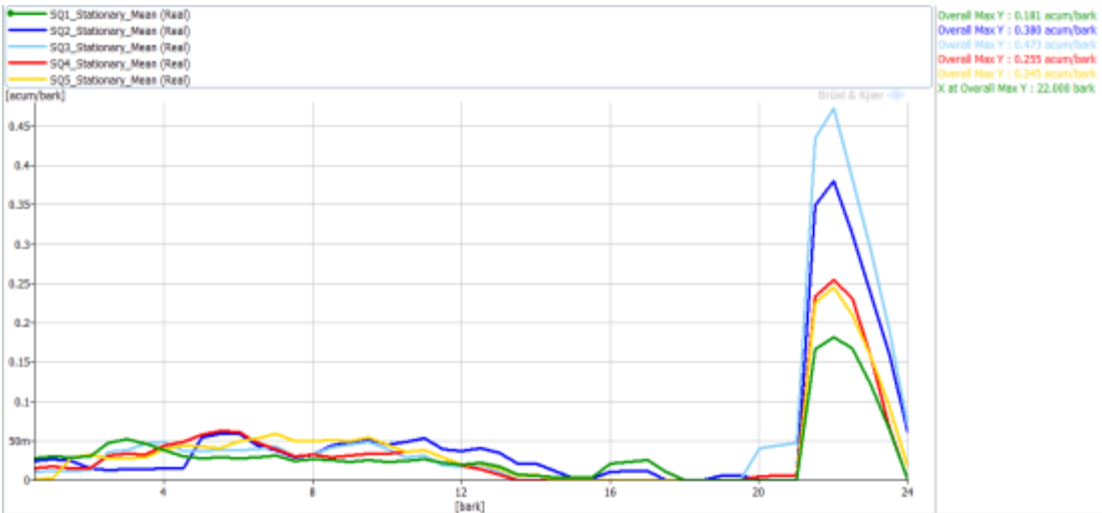
Şekil B.5: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].



Şekil B.6: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].

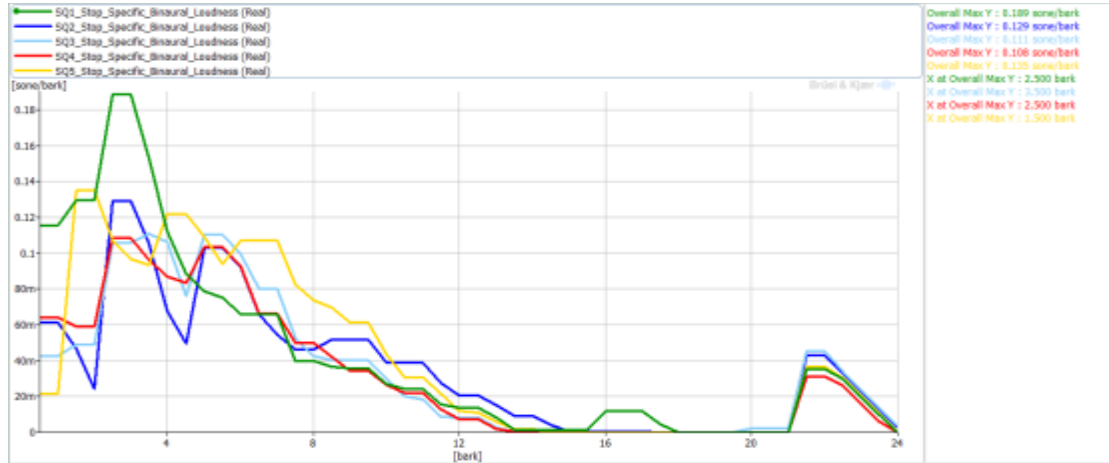


Şekil B.7: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].

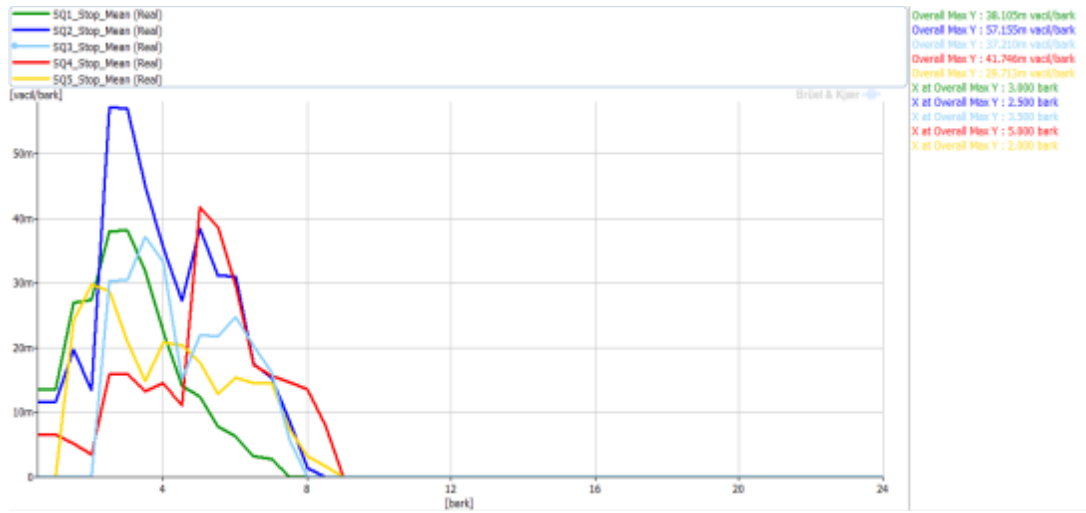


Şekil B.8: Kararlı fazlar karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].

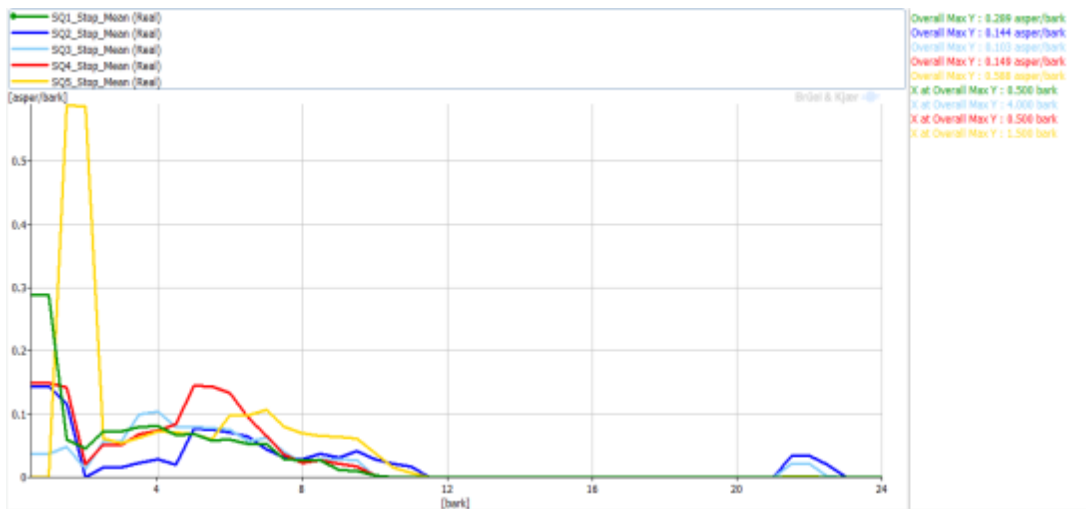
EK B3



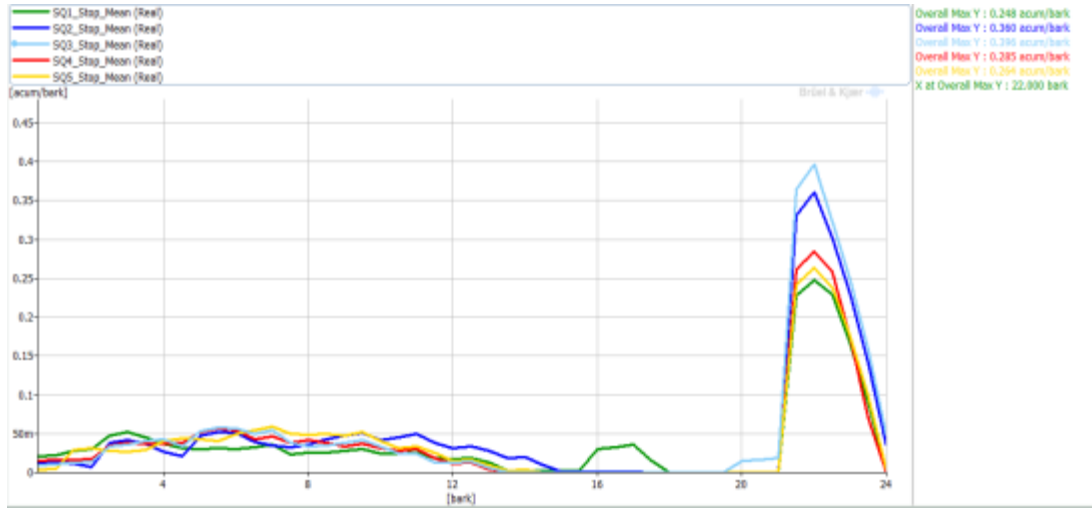
Şekil B.9: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Binaural Zwicker Gürlüğü [Sone/bark vs. Bark].



Şekil B.10: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Dalgalanma Kuvveti [Vacil/bark vs. Bark].



Şekil B.11: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Kabalık [Asper/bark vs. Bark].



Şekil B.12: Duruş fazları karşılaştırması #1: Spesifik Aures Keskinliği [Acum/bark vs. Bark].

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Onur Akaydin
Doğum Yeri ve Tarihi: MUŞ / 01.06.1987
Adres: Gürsel Mh. Akman Sk. No:7/4, Kağıthane / İSTANBUL
E-Posta: onur.akaydin@gmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği
Mesleki Deneyim: Pro-Plan Proje Mühendislik Ltd. Şti. (2010)