



**TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU**

**THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY**

**Mühendislik
Araştırma Grubu**

Engineering Research Grant Group

**Ufak Boyda Santrifüj Pompa ve Fanların Gürültü
Seviyelerinin Uygun Ortamda Ölçülmesi ve Gürültüye
Yönelik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi**

PROJE NO: 104M405

PROF.DR. O.CAHİT ERALP
PROF.DR.MEHMET ÇALIŞKAN
DR.SONGÜL BAYRAKTAR
CİHAN KAYHAN
FATMA CEYHUN ŞAHİN
GENÇER KOÇ

ŞUBAT 2008
ANKARA

ÖZ

Makina mühendisliğinin uygulamalarında fan ile pompalar önemli bir yer oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılan fan ve pompaların performanslarına ek olarak bu cihazların aero-akustik özellikleri ve dışarıya yaydıkları gürültü düzeyleri önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ses düzeyini istenilen seviyelerde tutacak tasarımlar yapabilmeye yönelik bilgi birikimi; akışkanlar mekaniği, turbomakinalar, akustik ve mekanik titreşim konuları ile tasarım metodolojilerini biraraya getiren karmaşık bir araştırma konusu olmaktadır. Bu konuda çeşitli standartlar geliştirilmiş olup, analitik tahmin metodları ve ölçüm düzenekleri konusunda çalışmalar devam etmektedir.

Proje kapsamında aksiyel ve santrifüj pompa ve fanların gürültü seviyeleri ve akustik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma içinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında endüstri desteğiyle bu çalışmaya yönelik olarak yapılmış olan yarı-çinlamalı (semi-anechoic) oda kurulmuştur. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada inşa edilen odanın uluslar arası standartlara uygunluğu belirlenmiş, ikinci aşamada santrifüj pompaların akışkandan (su) kaynaklanan akustik özellikleri ve gürültü düzeyleri ölçülmüş ve 3. aşamada santrifüj fanların akışkandan (hava) kaynaklanan gürültü ve ses özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Bunlara paralel olarak Arçelik ile beraber yürütülen çalışmalarda, santrifüj fanlarda tasarım aşamasında gürültü düzeyini düşürücü bir metodoloji kuramsal, sayısal ve deneysel olarak geliştirilmiştir. Çalışma sonunda akışkan etkisiyle oluşan ses ve gürültü düzeyleri ve buna bağlı bir tahmin ve ölçüm metodolojisi geliştirilmiştir. Proje paralelinde yapılacak çalışmalar, bir doktora çalışması ile 2 yüksek lisans çalışması yürütülerek tamamlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖZET	vii
I. GİRİŞ	1
II. GENEL	
1. YARI-ÇINLAMALI ODA	2
Yarı Çınlamalı Oda'nın Yeterliliği	2
Birinci Doğrulama Yöntemi	7
İkinci Doğrulama Yöntemi	10
2. POMPALARIN GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ	12
Pompa Özellikleri ve Deney Düzeneği	12
Küçük Santrifüj Pompalarda Çalışma Noktasına Göre Gürültü'nün Belirlenmesi	13
Pompa Gürültüsü Deney Düzeneği	13
Ufak Boylu Santrifüj Pompalarda Gürültü Ölçümü	14
Ses Basıncı ile Akış Basıncının Kıyaslanması	19
Küçük Santrifüj Pompaların Gürültüsü'nün Bulaşık Makinası Gürültüsüne Etkisi	41
Deney Düzeneği	42
Deney Sonuçları	43
3. UFAK ELEKTRİK SÜPÜRGESİ FANLARININ GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ	48
Fan Karakteristiği Deney Düzeneği	48
Fan Karakteristiği Deney Sonuçları	52
Küçük Santrifüj Fanların Elektirik Süpürgesi Gürültüsüne Etkisi	54
Elektrik Süpürgesi Deney Düzeneği	54
Elektrik Süpürgesi Deney Sonuçları	56

4. SANTRİFÜJ FAN GÜRÜLTÜSÜ İLE İLGİLİ TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR 68

5. SONUÇLAR 70

Küçük Boy Pompalarda Tasarım Dışı Çalışma Koşullarında Gürültü Kaynaklarının Deneysel İncelenmesi 70

Elektrik Süpürgesinin Yayılımının ve Gürültü Karakteristiklerinin Belirlenmesi 71

Santrifüj Fan Gürültüsü ile İlgili Deneysel ve Teorik Çalışmalar 73

Genel 74

III.REFERANSLAR 75

EK-A

EK-B

EK-C

EK-D

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	ISO 3745'e göre Yeterlilik Koşulları	9
Tablo 2.1	Ses ve hidrolik basınç spektrumlarının ortak sıçrama frekansları.	40

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Deneylerde Kullanılan Mikrofon ve Önyükselteci	4
Şekil 1.2	Deneylerde Kullanılan Veri Toplama Bilgisayarı (Soundbook)	4
Şekil 1.3	ISO 3745 Standardında Belirlenen Ses Kaynağı Merkezi ve Mikrofon Yolları	5
Şekil 1.4	Doğrulama İşlemi Sırasında Kullanılan Mikrofon Yolları	5
Şekil 1.5	Ters Kare Yasası “Inverse Square Law” Şematik Gösterimi	7
Şekil 1.6	Hesaplama Sonuçları	9
Şekil 1.7	1. Mikrofon Yolu Üzerinde Ses Kaynağından 1 m ve 1.6 m Uzaklıktaki Ses Basıncı Düzeyleri	10
Şekil 1.8	2. Mikrofon Yolu Üzerinde Ses Kaynağından 1 m ve 1.6 m Uzaklıktaki Ses Basıncı Düzeyleri	11
Şekil 2.1	Pompa Girişindeki Su Tankı	13
Şekil 2.2	Sistem 1 İçin Oda İçinde Pompa ve Mikrofon Pozisyonları	15
Şekil 2.3	Yarı-Çınlamalı Odanın İçinde Pompa ve Ölçüm Cihazlarının Konumu	16
Şekil 2.4	İkinci Sistem için Emme Tankı ve Geri Besleme Pompası	18
Şekil 2.5	Sistem 2 İçin Oda İçinde Pompa ve Mikrofon Pozisyonları	18
Şekil 2.6	Sistem 1’de 2200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	21
Şekil 2.7	Sistem 1’de 2400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	22
Şekil 2.8	Sistem 1’de 2600 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	24
Şekil 2.9	Sistem 1’de 2800 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	25
Şekil 2.10	Sistem 1’de 3000 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	27
Şekil 2.11	Sistem 1’de 3200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	28
Şekil 2.12	Sistem 1’de 3400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	29
Şekil 2.13	Sistem 2’de 2200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	32
Şekil 2.14	Sistem 2’de 2400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	33
Şekil 2.15	Sistem 2’de 2600 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	34
Şekil 2.16	Sistem 2’de 2800 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	36
Şekil 2.17	Sistem 2’de 3000 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	37
Şekil 2.18	Sistem 2’de 3200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	38
Şekil 2.19	Sistem 2’de 3400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu	39
Şekil 2.20	Bulaşık Makinasının İç Görünümü ve Pervaneler	41
Şekil 2.21	Yarı-Çınlamalı Oda İçinde Mikrofonların Makinaya Göre Konumları	42
Şekil 2.22	Bulaşık Makinası ve İki Mikrofonun Oda İçinde Konumu	43

Şekil 2.23	Alt pervane soğuk su ile çalışırken.	44
Şekil 2.24	Alt pervane sıcak su ile çalışırken.	45
Şekil 2.25	Üst pervane soğuk su ile çalışırken.	46
Şekil 2.26	Üst pervane sıcak su ile çalışırken.	47
Şekil 3.1	Boru ve motor montajı.	48
Şekil 3.2	Akış doğrultucu ve boru üzerindeki konumu	49
Şekil 3.3	Boru içinde pitot tüpler ve çıkışları.	49
Şekil 3.4	Debi Ayar Plakaları.	50
Şekil 3.5	Fan Hızını Ayarlamak İçin Kullanılan Varyak	50
Şekil 3.6	Fan Dönüş Hızının Lazerli Takometre ile Ölçülmesi.	51
Şekil 3.7	Fan Performans Karakteristiklerinin Çıkarımı için Kullanılan Deney Düzeneği.	51
Şekil 3.8	Fan Performans Karakteristikleri	53
Şekil 3.9	Yarım Küre Üzerinde Ses Basıncı Ölçümü Yapılan Noktalar.	55
Şekil 3.10	Mikrofon ve Elektrik Süpürgesinin Konumları.	56
Şekil 3.11	Elektrik Süpürgesi Kapak, HEPA Filtresi ve Sünger ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.	57
Şekil 3.12	Elektrik Süpürgesi Kapak ve HEPA Filtresi ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.	58
Şekil 3.13	Elektrik Süpürgesi Kapak ve Sünger ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.	59
Şekil 3.14	Elektrik Süpürgesi Sadece Kapak ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.	60
Şekil 3.15	Elektrik Süpürgesi Tüm Parçalar Çıkarıldıktan Sonra Çalışırken Ses basıncı Düzeyi Spektrumu.	61
Şekil 3.16	Elektrik Süpürgesi Kapak, HEPA filtresi, Sünger ile Torbası Tam Dolu iken Çalıştırıldığında Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.	62
Şekil 3.17	Prototip ve Son Ürünün Ses Gücü Düzeylerinin Kıyaslanması	63
Şekil 3.18	a) Makina Üzerinde Kapak varken HEPA Filtresi ve Süngerin Ses Düzeyine Etkileri.	64
	b) Makina Üzerinde Kapağın Ses Düzeyine Etkisi	64
Şekil 3.19	Süpürge Torbasının Farklı Ağırlıklarda Oluşturduğu Gürültü.	65
Şekil 3.20	Ses Gücü Düzeyinin Torba İçindeki Ağırlıkla Değişimi	66
Şekil 3.21	Motor Kaplamasının Ses Basıncı Düzeyi Üzerinde Ekisi.	67

ÖZET

Makina mühendisliğinin uygulamalarında fan ile pompalar önemli bir yer oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılan fan ve pompaların performanslarına ek olarak bu cihazların aero-akustik özellikleri ve dışarıya yaydıkları gürültü düzeyleri önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ses düzeyini istenilen seviyelerde tutacak tasarımlar yapabilmeye yönelik bilgi birikimi akışkanlar mekaniği, turbomakinalar, akustik ve mekanik titreşim konuları ile tasarım metodolojilerini biraraya getiren karmaşık bir araştırma konusu olmaktadır. Bu konuda çeşitli standartlar geliştirilmiş olup, analitik tahmin metodları ve ölçüm düzenekleri konusunda çalışmalar devam etmektedir.

Proje kapsamında aksiyel ve santrifüj pompa ve fanların gürültü seviyeleri ve akustik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma dahilinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında endüstri desteğiyle bu çalışmaya yönelik olarak yapılmış olan yarı-çınlamalı (semi-anechoic) oda kullanılacaktır. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada inşa edilen odanın uluslar arası standartlara uygunluğu belirlenecek, ikinci aşamada santrifüj fanların akışkandan (hava) kaynaklanan gürültü ve ses özellikleri belirlenecektir. 3. aşamada gene santrifüj pompaların akışkandan (su) kaynaklanan akustik özellikleri ve gürültü düzeyleri belirlenecektir. Çalışma sonunda akışkan etkisiyle oluşan ses ve gürültü düzeyleri ve buna bağlı bir tahmin metodu belirlenecektir. Projeye kapsamında yapılacak çalışmalar, bir doktora çalışması ile 2 yüksek lisans çalışmasını içermektedir.

Anahtar Sözcükler

Akustik, Gürültü, Akışkan, Turbomakina, Pompa, Fan,

ABSTRACT

Fans and pumps are of great importance in Mechanical Engineering applications. In addition to the performance, aero-acoustic properties and noise generation levels of recently utilized fans and pumps become important. Designs keeping the noise in desired levels require the combination of knowledge on fluid mechanics, turbomachines, acoustics, mechanical vibration and design methodology. Standards have been developed on this subject, whereas studies on analytic prediction methods and measurement setups are continuing.

This project consists of determination of noise generation levels and acoustic properties of axial and centrifugal pumps and fans. Experimental and numerical analyses are performed in the semi-anechoic room, constructed by an industrial support, is situated in Fluid Mechanics Laboratory in Mechanical Engineering Department in Middle East Technical University. Studies can be divided into three main sections. First of which includes assessment of whether the constructed room is appropriate to the international standards. The acoustic properties and noise generation due to fluid (air) flow through centrifugal fans will be determined in the second phase. The third section includes the determination of acoustic properties and noise generation level in centrifugal pumps due to fluid (water) flow. Analytic prediction method for noise generation level due to fluid flow will be determined at the end of the studies. Studies in the scope of the project include one PhD and two M.Sc. thesis.

Keywords

Acoustic, Noise, Fluid, Turbomachine, Pump, Fan

I. GİRİŞ

Türkiyede beyaz eşya sanayii son on senede özgün ürünlere yönelmiştir. Bu süreç içinde Türk beyaz eşya sanayicileri tarafından bir çok özgün ürün geliştirilmiş ve dünya pazarlarında bir çok markalaşmış ürünle rekabet edebilir seviyeye gelmiştir. Bu ürünler içinde buzdolapları çamaşır makinaları, pişiriciler, bulaşık makinaları, kurutucular ve elektrik süpürgeleri sayılabilir. Bu ürünler şu anda çoğunlukla yurt dışı pazarlar için üretilmekte ve ülke ihracaatına katkıda bulunmaktadır. Hatta Türk üretici firmaları Avrupa'da, Rusya'da ve Çin'de satın almış oldukları veya bizzat kurmuş oldukları fabrikalarda üretim yapmaktadır. Türkiye'nin 2020'lerde bu sanayi kolunda dünya liderlerinden birisi olması beklenmektedir.

Bu sanayide dünyada söz sahibi olabilmek için özgün ürünler geliştirmek, dünya patentleri sahibi olmak, ilgili yan sanayii geliştirmek gerekmektedir. Burada miyon, daha ekonomik, daha az enerji harcayan, daha çevreci, daha güvenilir ve daha iyi performans veren makinaları özgün olarak tasarlamak ve imal etmektir. Daha sessiz çalışan makinalar, hem daha az enerji harcayan, hem daha çevreci ve hem de daha performanslı makinaları işaret etmektedir.

Bu çalışma, ODTÜ'nün, Arçelik Bulaşık Makinası İşletmesi'nin kurulduğu 1993 yılından bu güne kadar geçen süreçte beraberce yürüttüğü ürün geliştirme çalışmalarının bir uzantısıdır. Bu ortak çalışmalardan 10'a yakın tez üretilmiş , bir o kadar yayın çıkmış ve Arçelik bu çalışmalarından çok sayıda patent üretmiştir. Bu arada ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı çatısı altında sanayi ile beraber ortak ar-ge çalışmalarının yapıldığı bir beyaz eşya laboratuvarı kurulmuştur.

Beyaz eşya tasarımında ses kontrolü ve buna yönelik tasarım özgün ürün geliştirme çalışmalarından sonraki etabı oluşturmaktadır. Şu anda Arçelik, akıllı, çevreci, enerji verimi, yüksek performanslı ve sessiz makinalar tasarımıyla uğraşmaktadır.

2002 yılından bu yana, bu projenin araştırmacılarından biri yaptığı doktora tezi çalışmasını Arelikte çalışarak surdrm, ve bu tez çalışması kısmen bu projenin de bir parçasını oluşturmuştur. Bu çalışmaların bir parçası olarak ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında bir yarı ınlamasız akustik oda tasarımı ve imalatı niversite içinde yapılmıştır. Ufak boyda fan, pompa, beyaz eşya vb. Ekipmanın akustik testlerinin yapılabileceği bu oda bu proje kapsamında TÜBİTAK ve Arçelik'in katkıları ile proje personeli tara findan gerçekleştirilmiştir. Bu odanın gerçekleştirilme gayesi, hem bu proje kapsamındaki deneysel çalışmaların yapılabilmesi, ve hem de Daha ilerde yapılacak akustik ve gürültüye yönelik deneysel araştırma çalışmalarına olanak sağlamaktır.

Ses odasının tasarım, imalat ve kalibrasyon çalışmaları ile ilgili detaylı bilgi proje raporunun içinde, aydınlatıcı fotoğraflar ise eklerinde verilmiştir. Bu proje ile ilgili bir çok deneysel çalışma bu oda kullanılarak yapılmıştır.

Bu araştırmada ses,gürültü kontrolü ve bunlarla ilgili performans çalışmaları üç değişik uygulamada yapılmıştır. Bunlardan birincisi Arçelik bulaşık makinalarında kullanılan devridaim pompaları ve pompa bulaşık makinası etkileşimi, ikincisi Arçelik elektrik süpürgesi elektrik motoru, toz filitresi ve emme aparatları, üçüncüsü ise bulaşık makinalarında kullanılan kurutucu fanlarının ses ve gürültüye yönelik tasarımı ile ilgilidir. Burada birinci çalışmadan bir yüksek lisans tezi ve bir yurt içi makale; ikinci çalışmadan bir yüksek lisans tezi, üçüncü çalışmadan ise bir doktora tezi ve bir yurt dışı makale çıkmış ve yayınlanma aşamasına gelmiştir.

II.GENEL

1. YARI-ÇINLAMALI ODA

Yarı çinlamalı ya da yarı yansız oda, yüzeylerinden sadece birisinin ses yansıtma özelliğine sahip olduğu, diğer yüzeylerinin ise ses dalgalarının enerjisini yüksek oranda yutduğu test odasıdır. Bu test odasının amacı serbest alana yakın bir ortam yaratarak gürültü kaynaklarının ses gücü düzeylerini belli standartlar çerçevesinde belirleyebilmektir. ODTÜ Makina Mühendisliği Akışkanlar Laboratuvarında inşa edilen yarı yansız oda ODTÜ ve Arçelik AŞ'nin ortak olarak sürdürdüğü Beyaz Eşya Geliştirme çalışmalarında kullanılmak üzere tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu odanın yapım aşamalarını gösteren ilgili fotoğraflar, oda ile ilgili tasarım parametreleri ve temel ölçümler Ek-A'da verilmiştir.

1.1. Yarı-Çinlamalı Odanın Yeterliliği

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında, testlerde kullanılmak amacıyla yapılmış olan yarı yansız (semi-anechoic) odanın performansını sınamak amacıyla ISO 3745 standartlarına uygun testler yapılmıştır. ISO 3745 standardında belirtildiği gibi iki ayrı yöntemin uygulandığı testlerde, ses basıncı düzeylerindeki standart sapmaların kabul edilir aralıkta olup olmadığı gözlemlenmiştir.

Deneyler sırasında Brüel&Kjaer yapımı 4224 modeli ses kaynağı kullanılmıştır. HP 35665A Çift Kanallı Dinamik Sinyal Çözümleyicisi ve Brüel&Kjaer yapımı 4230 modeli ses düzeyi doğrulayıcı (kalibratör) ile kalibre edilmiş mikrofonlar aracılığıyla ölçümler tamamlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce oda içinde hiçbir ses kaynağı çalışmazken ve odanın kapısı kapalıyken, arka plan gürültüsü ölçülmüş ve 25 dBA civarında olduğu saptanmıştır. Bu düzey, ses kaynağından gelecek gürültünün yanında önemsenecek bir düzeydir.

İlk olarak oda içinde belirlenen iç içe sanal yarım kürelerin her birinin üzerinde iki tane olacak şekilde, toplam 11 noktadan ses basıncı düzeyi ölçümü alınmıştır. Ölçülen ses

basıncı düzeyleri ile aynı noktalarda standartlara uygun olarak hesaplanan ses basıncı düzeyleri arasındaki farkın, düşük frekanslarda 2,5 dB'i, 800 Hz'in üstündeki frekanslarda ise 2 dB'i geçmemesi öngörülmüştür.

Birinci yöntemde çerçevesinde ISO 3745 standardında belirlenen kriterlere göre 1/3 oktav bant aralığında ses basıncı düzeyleri ölçülmüş ve standartta verilen tabloya ve hesaplama yöntemlerine göre odanın uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

İkinci yöntemde göre, aynı yarım küreler üzerinde, yarıçap oranları 1,6/1,0 olacak şekilde seçilen iki noktadan ses basıncı düzeyleri ölçülmüştür. Bu ses basıncı düzeylerinden, alan ağırlıklandırması ile ses gücü düzeylerine geçilmiştir. İdeal durumlarda ses gücü düzeyi, çalışma koşulları değiştirilmedikçe bir ses kaynağı için sabittir. ISO 3745 standartlarında ölçümlerden elde edilecek ses gücü düzeylerinde en fazla 0,5 dB'lik bir sapma uygun kabul edilmiştir.

İlk yöntemde de 1/3 oktav bandına göre az sayıda frekansta uygunluk gözlenmiştir. Fakat ikinci yöntemle alınan değerlerden alan ağırlıklandırması ile elde edilen ses gücü düzeyleri, ses kaynağının tanımlanan güç seviyeleri ile karşılaştırıldığında 200 Hz ve daha tiz frekanslarda yarı yansımaz odanın serbest alana yakın davranmakta olduğu gözlenmiştir.

Oda içinde gürültü kaynakları üzerine yapılan deneylerde GRAS 26CA-61988 ve GRAS 26CA-61989 mikrofonları kullanılmıştır (Şekil 1.1). Ses basıncı düzeyleri, 8 kanallı diz üstü bilgisayara entegre SAMURAI yazılımı yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 1.2).

Yapılan doğrulama ve kalibrasyon çalışması sırasında deney düzeneği ISO 3745 standardında belirtildiği üzere tasarlanmış ve ölçüm sonuçları standartta belirlenen iki farklı doğrulama yöntemine göre incelenmiştir.

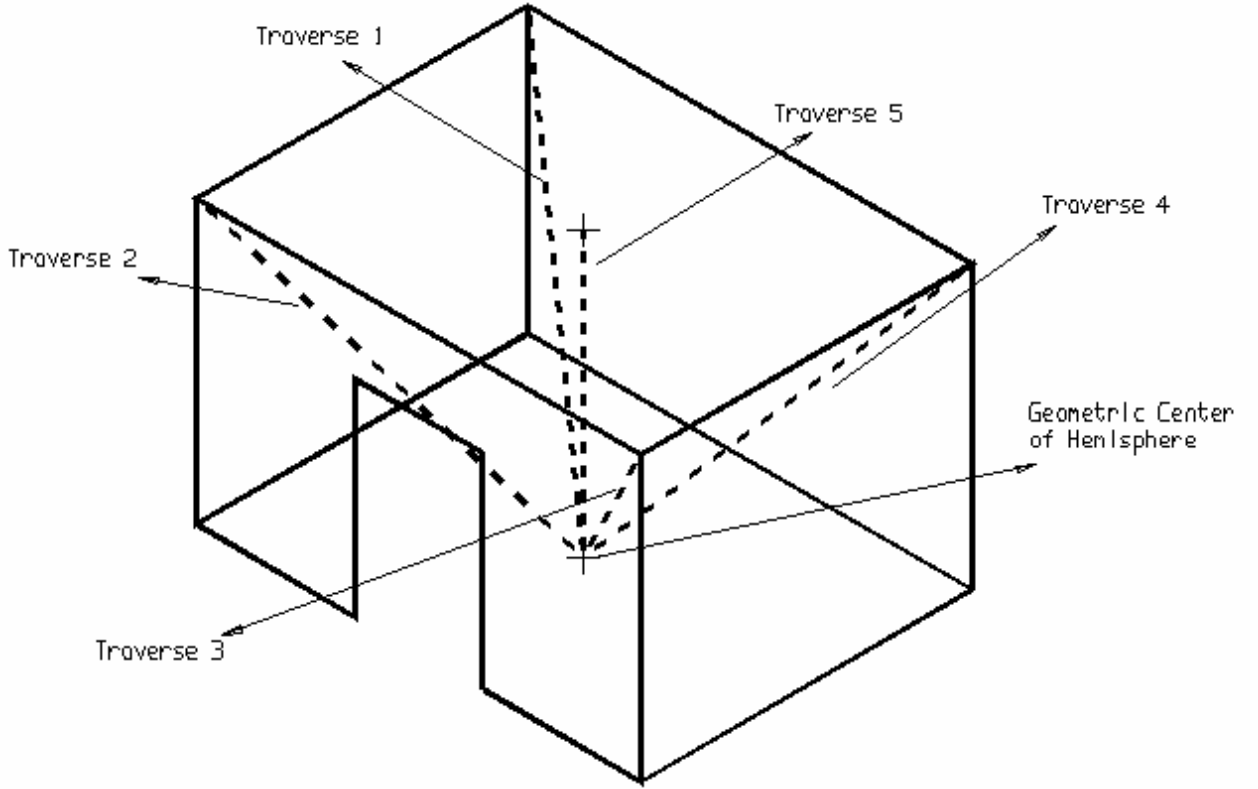
ISO 3745 standardında belirtildiği üzere odanın ortasına noktasal bir ses kaynağı yerleştirilmiş ve bu ses kaynağının çevresinde sanal ölçüm yarı-küreleri oluşturularak bu kürelerin yüzeylerine mikrofonlar yerleştirilmiştir. ISO 3745 standardında ses kaynağının noktasal ses kaynağı olması gerektiği, ses kaynağından odanın köşelerine mikrofon yolları (microphone traverse) oluşturulması gerektiği, ve her yol üzerinde değişik yarıçaplarda ses basıncı düzeyi ölçülerek ölçüm sonuçları arasında standard sapma hesaplanması gerektiği belirtilmiştir (Şekil 1.3).



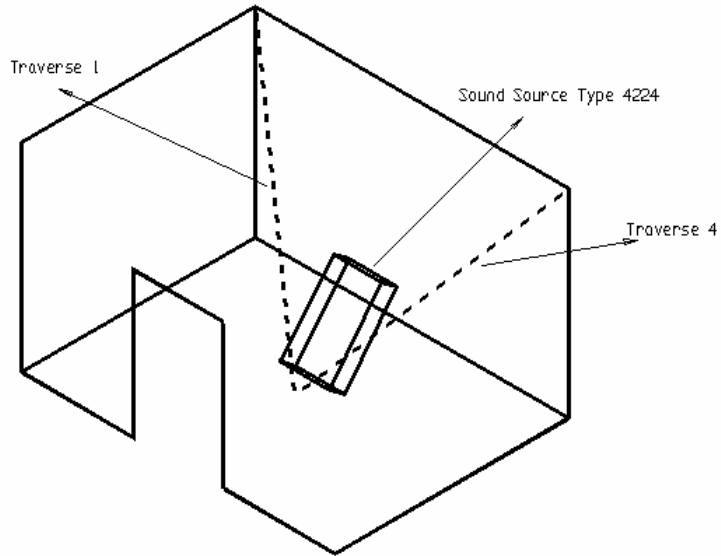
Şekil 1.1 Deneylerde Kullanılan Mikrofon ve Önyükselteci



Şekil 1.2 Deneylerde Kullanılan Veri Toplama Bilgisayarı (Soundbook)



Şekil 1.3 ISO 3745 Standardında Belirlenen Ses Kaynağı Merkezi ve Mikrofon Yolları



Şekil 1.4 Doğrulama İşlemi Sırasında Kullanılan Mikrofon Yolları

Ancak noktasal ses kaynağı yerine Şekil 1.4'de gösterilen bir düzenek kurulmuş ve 5 farklı mikrofon yolu yerine iki farklı yolda ölçümler alınmıştır

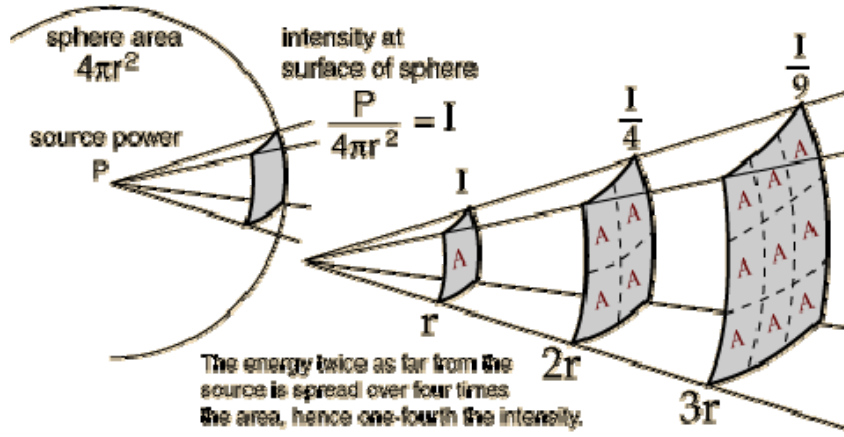
Şekil 1.4’de belirtilen mikrofon yolları üzerinde ses kaynağından 1,1.2,1.4,1.6,1.8 ve 2 m uzaklıkta ses basıncı düzeyi ölçümleri yapılmıştır.

Çalışmalar sırasında ses kaynağı olarak “Sound Source Type 4224” kullanılmıştır. Mikrofon modelleri BK 4566’dır.

Ölçüm sonuçları standarda belirlenen 2 farklı doğrulama yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

1.1.1 Birinci Doğrulama Yöntemi

İlk doğrulama yöntemi diğerine göre daha ayrıntılı ve detaylı bir hesaplama prosedürünü kapsamaktadır. İlk doğrulama yönteminde ISO 3745 standardında belirtilen her bir mikrofon yolu üzerinde ölçümler alınmış ve aradaki standard sapmalar aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. Temel olarak “Ters Kare Yasası” (Inverse Square Law) Kuralı kullanılmıştır (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5 Ters Kare Yasası “Inverse Square Law” Şematik Gösterimi

Bu hesaplama yöntemi kullanılırken aşağıda belirtilen formüllerden ve eşitliklerden faydalanılmıştır.

$$L_p(r) := 20 \log \left(\frac{a}{r - r_0} \right) \text{dB}$$

$$a := \frac{\left(\sum_{i=1}^N r_i \right)^2 - N \cdot \sum_{i=1}^N r_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N r_i \cdot \sum_{i=1}^N q_i \right) - N \cdot \sum_{i=1}^N r_i \cdot q_i}$$

$$r_0 := \left[\frac{\sum_{i=1}^N r_i \cdot \sum_{i=1}^N r_i \cdot q_i - \sum_{i=1}^N q_i \cdot \sum_{i=1}^N r_i^2}{\left(\sum_{i=1}^N r_i \cdot \sum_{i=1}^N q_i \right) - N \cdot \sum_{i=1}^N r_i \cdot q_i} \right]$$

Burada

- $q_i := 10^{-0.05 L_{pi}}$
- L_{pi} i numaralı ölçümdeki ses basıncı düzeyini;
- r_i mikrofonun küre merkezi kabul edilen ses kaynağından uzaklığını
- N her mikrofon yolundaki ölçüm noktalarının sayılarını ifade etmektedir.

Daha sonra standard sapmayı hesaplayabilmek için;

$$\Delta L_{pi} = L_{pi} - L_p(r_i)$$

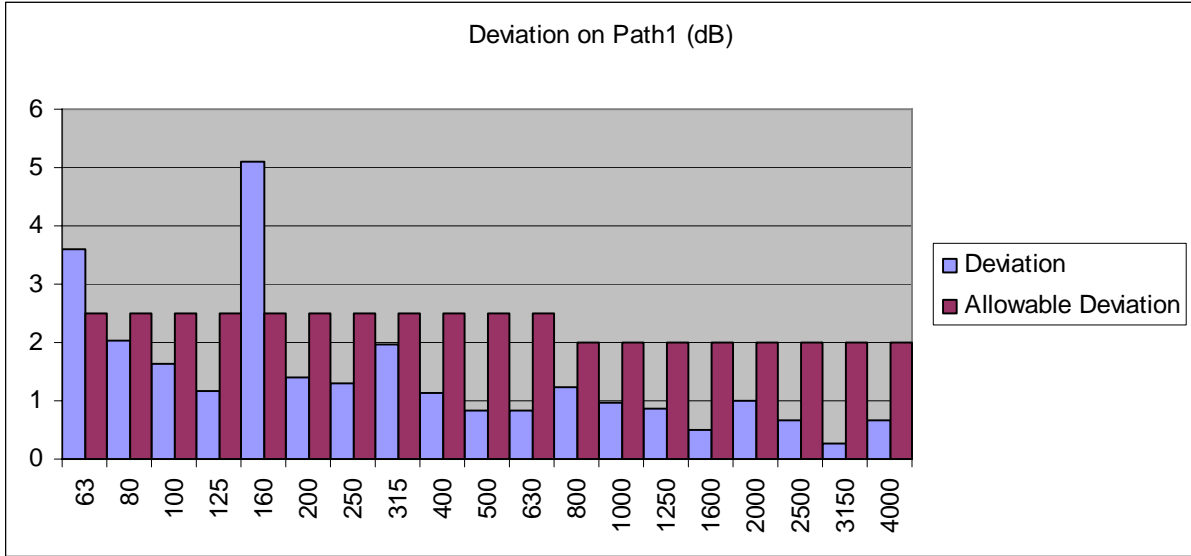
eşitliği kullanılmıştır.

Standard sapmanın ISO 3745 standardında belirtilen kriterlere uygunluk sağlaması gerekmektedir.(Tablo 1.1)

Tablo 1.1 ISO 3745'e göre Yeterlilik Koşulları (xx)

Type of test room	One-third-octave band frequency Hz	Allowable Deviations dB
Anechoic Room	<630	± 1.8
	800 to 5000	± 1.0
	>6300	± 1.5
Hemi-Anechoic Room	<630	± 2.5
	800 to 5000	± 2.0
	>6300	± 3.0

Yapılan hesaplamalardan sonra 1. Yöntem doğrulamasında aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 1.6).

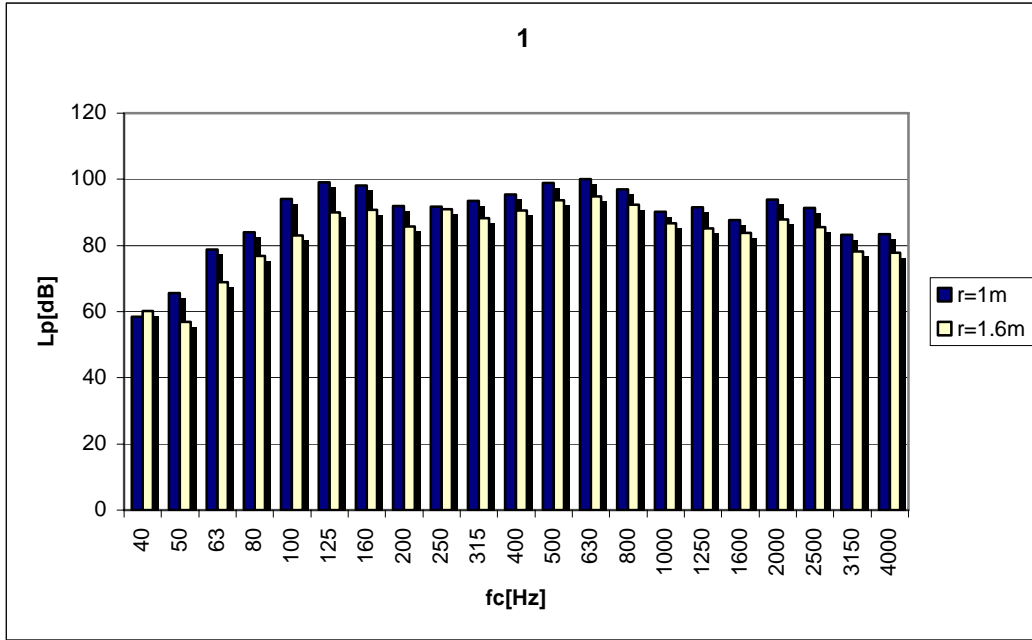


Şekil 1.6 Hesaplama Sonuçları

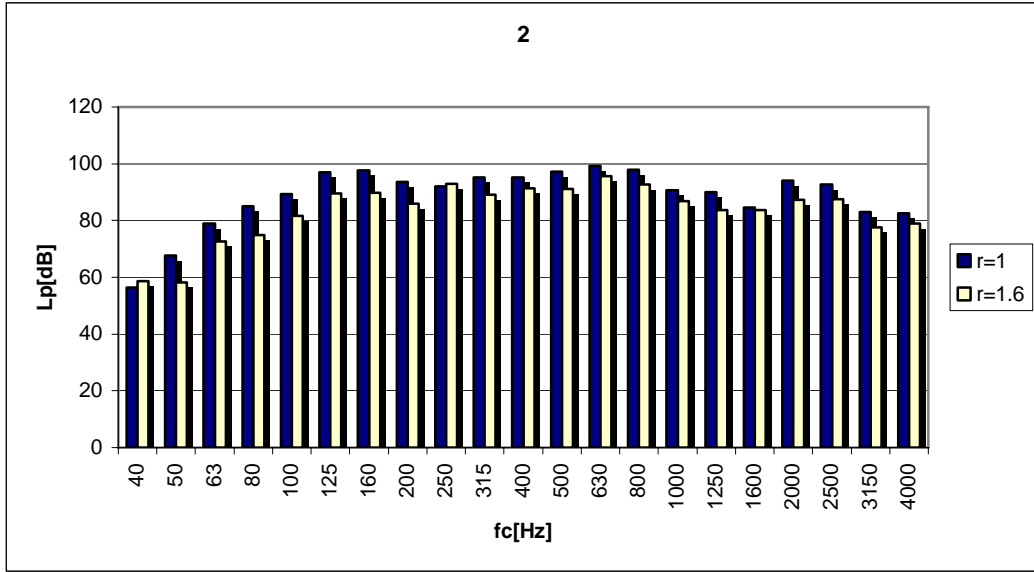
Şekil 1.6'da gösterildiği üzere Arçelik desteği ile inşa edilen yarı- yansızlı oda (semi-anechoic room) 200 Hz üzerinde doğru ölçüm sonuçları verebilmektedir.

1.1.2 İkinci Doğrulama Yöntemi:

İkinci doğrulama yönteminde ses basıncı ölçümleri sadece iki mikrofon yolu üzerinde, iki noktadan gerçekleştirilmiştir. Bu iki noktanın ses kaynağı etrafında oluşturacakları yarım kürelerin alan oranı en az 2 olmalıdır. Bu amaçla her iki mikrofon yolu üzerinde de ilki ses kaynağından 1 m, ikincisi 1.6 m uzaklıkta noktalar seçilmiş ve ses basıncı düzeyleri 1/3 oktav bandında kaydedilmiştir. Ses basıncı düzeylerin kıyaslamak amacıyla çizilmiş grafikler Şekil 1.7 ve 1.8’de görülmektedir. 200 Hz’in altındaki frekanslarda daha yüksek ve değişken olduğu görülen bu fark, 200 Hz’den yüksek tüm frekanslar için hemen hemen aynı kalmıştır.



Şekil 1.7 1. Mikrofon Yolu Üzerinde Ses Kaynağından 1 m ve 1.6 m Uzaklıktaki Ses Basıncı Düzeyleri



Şekil 1.8 2.Mikrofon Yolu Üzerinde Ses Kaynağından 1 m ve 1.6 m Uzaklıktaki Ses Basıncı Düzeyleri

2. UFAK POMPALARIN GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ufak santrifüj pompaların gürültü karakteristikleri belirlenirken mevcut bir örnek pompa seçilmiş ve söz konusu pompa ile ilgili ölçümler hem işlev gördüğü makina dışında hem de işlev gördüğü makina içinde yapılmıştır. Ölçümler sonucunda pompa üzerindeki gürültüyü etkileyen parametreler incelenmiştir.

Arçelik marka bulaşık makinasına ait santrifüj pompanın akustik imzası yarı yankısız oda içinde yapılan deney çalışmaları ile elde edilmiştir. Pompa 2200 d/d ile 3400 d/d arasında yedi ayrı hızda çalışabilmektedir. Yedi kanatlı ve tek kademeli bu pompanın, akustik testlerden önce tüm hızlarda karakteristiği belirlenmiştir.

2.1. Pompa Özellikleri ve Deney Düzenegi

Pompa Performans Deneyleeri hem Arçelik Bulaşık Makinası Fabrikasının Ürün Geliştirme Laboratuvarında ve hem de ODTÜ Makina Mühendisliğı Bölümü Akışkanlar Mekaniğı Laboratuvarında, geometrik yüksekliğı 20 cm'yi geçmeyen ve sürtünmeler haricindeki tek kaybı pompa çıkış borusunun en sonunda bulunan sürgülü vana olan bir düzenek ile gerçekleştirilmiştir.

Pompanın elektrik motoruna sabit güç sağlamak amacıyla 230 voltta sabitlenmiş bir varyak kullanılmıştır. Varyak ile pompa arasına bağlanmış olan bir Wattmetre ile pompanın çektiğı güç ölçülmüştür ve verim eğrilerinin elde edilmesinde bu değerler referans alınmıştır. Debi, 10 saniye boyunca boşalan suyun biriktirilip tartılması ile ölçülmüş ve vananın her konumu için beş defa tekrarlamıştır. Debi haricindeki değişkenler için de gözlenebilen sapmaya göre en az üç değer okunmuştur. Bir kontrol kutusuna bağlanan pompanın yedi değişik hızda karakteristik grafikleri çıkarılmıştır. Ölçülen tüm pompa karakteristikleri Ek-B'de verilmiştir. Bu karakteristikler pompaların ARÇELİK'te ölçülmüş olan karakteristikleri ile uyum içindedir.

2.2. Küçük Santrifüj Pompalarda Çalışma Noktasına Göre Gürültü'nün Belirlenmesi

2.2.1. Pompa Gürültüsü Deney Düzenegi

Pompa yarı yankısız odaya, ses izolasyon malzemesi ile kaplanmış bir ayak üzerinde yerleştirilmiştir. Su giriş ve çıkış tankları ise oda dışında tutulmuştur. Deneylerde kullanılan büyük su tankı Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu tankın su yüzey alanı $5m^2$ 'dir. Bunun için küçük pompalarda su seviyesinin değişmeyeceği ve dalgalanmayacağı söylenebilir.

Borulamada çoğunlukla metal borular kullanılmış ve oda içinde tabana döşenmiştir. Böylece tabanın ses yansıtma özelliği bozulmadan su odanın ortasına kadar getirilebilmiştir. Oda tabanında durmayan pompaya doğru yükselen borular için ise spiral hortum kullanılmış, hem pompa yüksekliğini kolayca değiştirme imkânı elde edilmiş hem de metale göre ses soğurma katsayısı çok yüksek bir malzeme kullanılmıştır. Böyle uzun boru ve sürtünme katsayısı yüksek hortumların kullanıldığı, birden fazla dirsek ve bağlantı elemanı içeren bir sistemde geometrik yükseklik, 5,5m-ss'nun üzerinde akış veremeyen küçük pompayı zorlayacaktır. Bu yüzden deneylerde geometrik yüksekliğin pozitif olmaması tercih edilmiştir.



Şekil 2.1 Pompa Girişindeki Su Tankı

2.2.2 Ufak Boylu Santrifüj Pompalarda Gürültü Ölçümü

Deneylerde ses düzeyleri, aralarında 90° olacak şekilde belirlenmiş dört noktadan alınmıştır. Tüm noktalarda, 2200 d/d'dan başlayıp 3400 d/d'ya kadar yedi ayrı hız için, tam kapalı vana pozisyonundan tam açık vana pozisyonuna kadar çeşitli debilerde 30'ar saniye süresince ses ölçümü alınmıştır.

Pompa karakteristiklerini elde etmek amacıyla yapılan deneylere benzer bir yol izlenerek; debi, pompadan çıkan suyun belirli bir hacmi doldurma süresi ölçülerek, giriş ve çıkış basınçları da cıvalı manometre ve basınç sensörü ile ölçülmüştür. Aynı zamanda pompanın çektiği elektrik gücü yine bir güç ölçer (wattmetre) ile ölçülmüştür. Bu ölçümlerin yeterince güvenilir olması için her biri dörder kez tekrarlanmıştır.

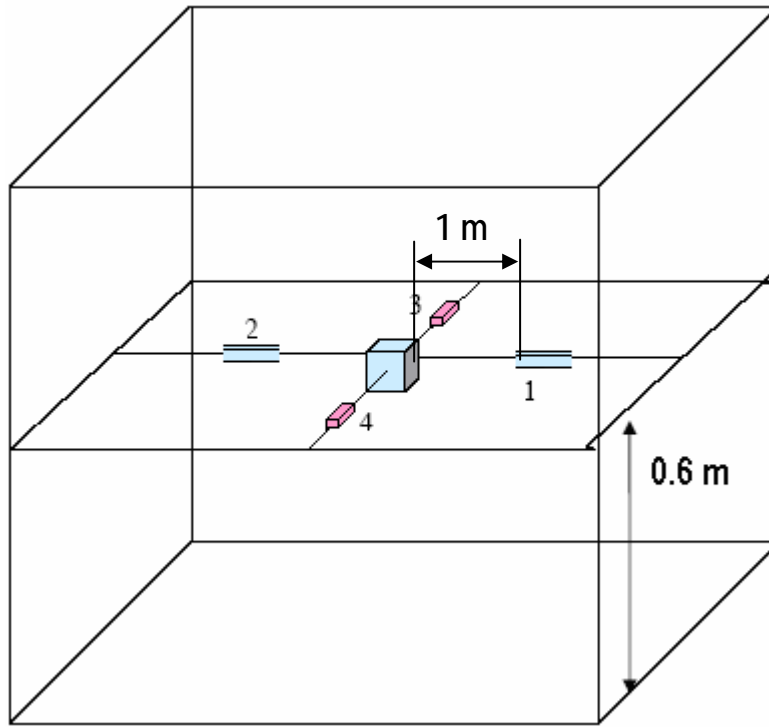
Deneyler, sistem karakteristiğinin etkilerinin daha kesin belirlenebilmesi için, giriş ve çıkış tankları arasında değişik kot farkları için tekrarlanmıştır.

2.2.2.a. Sistem 1: Sıfır Geometrik Yükseklik

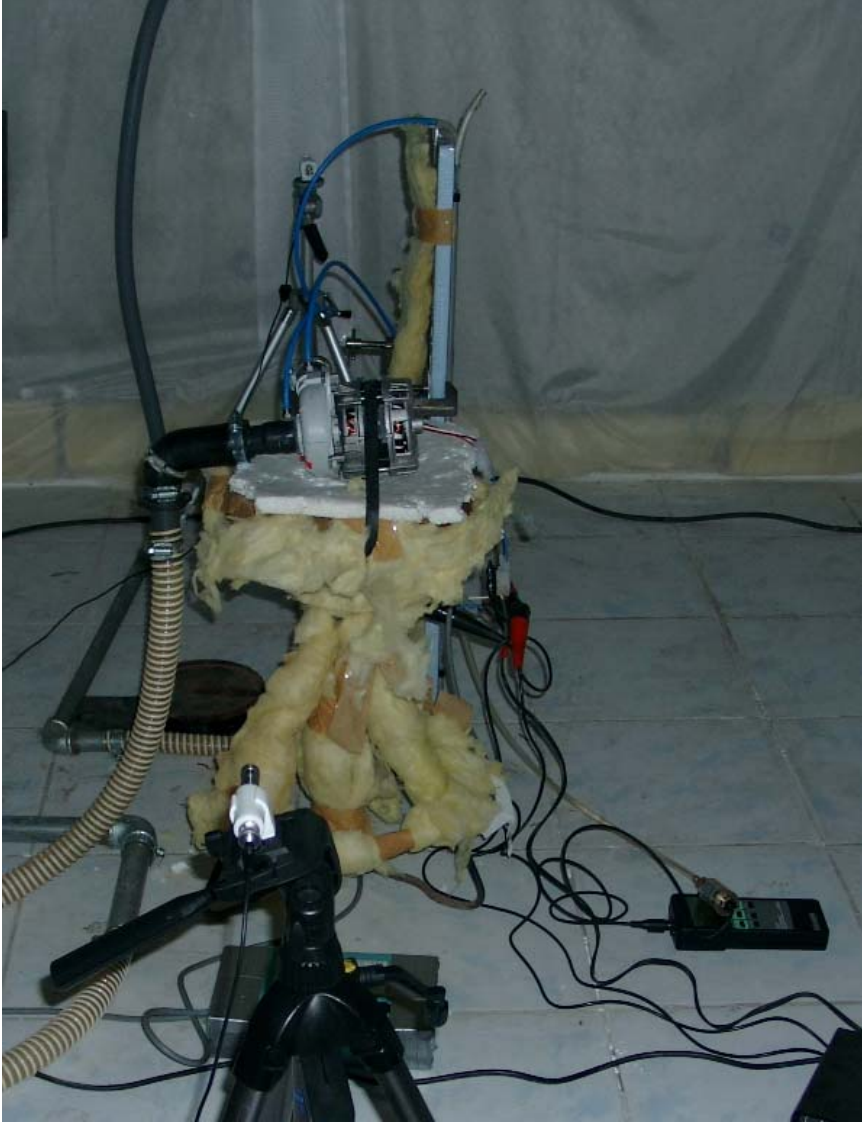
Pompa, odanın ortasına, sistem karakteristiğinde geometrik yükseklik sıfır olacak şekilde 60 cm yüksekliğe, ses izolasyon malzemesi ile kaplanmış bir ayak üzerine yerleştirilmiştir. Pompa, suyu oda dışındaki geniş bir tanktan alıp yine aynı tanka boşaltmaktadır. İki adet mikrofonla toplam dört ayrı noktadan alınacak ses ölçümü için seçilen noktalar; Şekil 2.2'de de gösterildiği gibi, pompadan birer metre uzaklıkta, oda duvarlarına paralel çizgiler üzerindedir.

Bu noktalarda, tüm pompa hızları için, tam kapalı vana pozisyonundan tam açık vana pozisyonuna kadar, 1 ya da 2 cm-cıva'lık çıkış basınç farkları gözetilerek ses ölçümü alınmıştır. Mikrofonlar; önce birinci mikrofon motora, ikinci mikrofon pompaya bakacak şekilde; sonra bu konumdan 90° çevrilerek, yine karşılıklı ve motor ile pompanın yan yüzlerine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 2.3'te 4 numaralı mikrofon ile pompa yarı yankısız odanın içinde görülmektedir.

Ses ölçümleri esnasında alınan debi, basınç ve güç değerleri incelendiğinde, geometrik yükseklik sıfır olmasına rağmen akustik ölçüm odasının dışındaki su tankından odanın ortasındaki pompaya kadar giden ve gelen borulardaki sürtünmenin, pompanın yüksek debilerde çalışmasına müsaade etmediği görülmüştür. Buna ek olarak, ses basıncı grafikleri incelendiğinde, kanat geçiş frekansı başka gürültülerce maskelenmiş, hatta odanın düzgün sonuç verdiği bilinen frekanslarda bile yüksek genlikte pek çok ses izgesi gözlemlenmiştir. Bu ses düzeyi grafikleri pompa girişinden kaynaklanan düzensiz akışkan hareketlerinin işaretidir. Pompa giriş borusunda, kontrollü olarak takip edilip deney verilerine katılmasa da, zaman zaman deneylerin gidişatını aksatan küçük girdaplar da, girişteki basıncın düşük olduğunun bir göstergesidir. Bu sisteme ait deney sonuçları 2.2.3.a bölümünde verilmiştir.



Şekil 2.2 Sistem 1 İçin Oda İçinde Pompa ve Mikrofon Pozisyonları



Şekil 2.3 Yarı-Çınlamalı Odanın İçinde Pompa ve Ölçüm Cihazlarının Konumu

2.2.2.b. Sistem 2: Negatif Geometrik Yükseklik

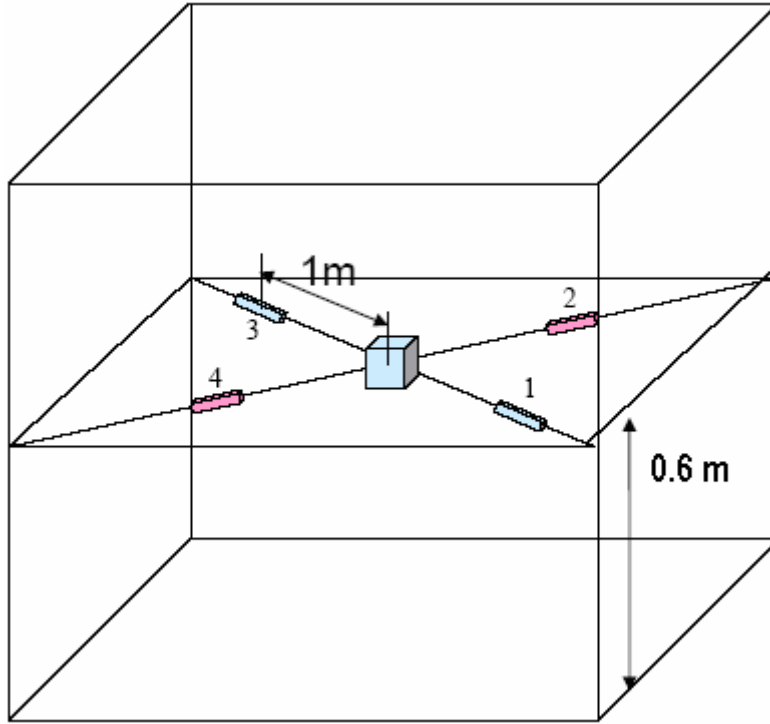
Pompada kavitasyon ihtimalini ortadan kaldırmak amacıyla, deneyler -2 m geometrik yüksekliğe sahip (pompa girişinde +2m-ss statik manometrik yükseklik) bir sistemde tekrarlanmıştır. Çıkış tankı önceki sistemdeki gibidir fakat giriş tankı bundan 2 m yukarıdadır ve mecburen daha küçük boyutlara sahiptir. Devri-daim ortadan kalktığı için emme tankının sürekli olarak beslenmesi gerekmektedir. Emme tankı, basma tankına kıyasla çok küçük bir alana sahip olduğu için 30 saniyelik deneyler sırasında bile tanktaki su yüksekliği değişmektedir. Bunu önlemek için basma tankından emme tankına suyu taşımak üzere ikinci bir pompa kullanılmıştır. Giriş tankında su seviyesinin sabit kalacağından emin olmak için belli seviyenin üstündeki suyun yeniden çıkış tankına akması sağlanmıştır. Giriş tankının son hali Şekil 2.4'te verilmiştir.

İkinci sistem için deneyler tekrarlanırken, mikrofon pozisyonlarında da iyileştirmeye gidilmek istenmiştir. Oda, sağır noktalardan kaçınmak için kare değil dikdörtgen prizmadır. Bu ise mikrofonların 1-2 pozisyonunda yeterli alan sağladığı halde 3-4 pozisyonunda yutulmayıcı duvarlara mikrofonların çok yaklaşmasına sebep olmuş, frekans spektrum'u grafiklerinde gözle görülür farklar oluşturmuştur. Bu kez mikrofonlar, Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi, köşegen çizgileri üzerinde birbirine bakacak şekilde yerleştirilmiştir.

Bu sistemde ses ölçümleri ilk sistemdeki kadar sık alınmamıştır. Daha rahat takip imkânı sunacağı düşünülerek vana tam kapalıyken, vana tam açıkken ve yarım debi için ölçümler alınmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar 2.2.3.b bölümünde verilmiştir.



Şekil 2.4 İkinci Sistem için Emme Tankı ve Geri Besleme Pompası



Şekil 2.5 Sistem 2 İçin Oda İçinde Pompa ve Mikrofon Pozisyonları

2.2.3 Ses Basıncı ile Akış Basıncının Kıyaslanması

Sistem 2 üzerinde deneyler tekrarlanmış, bu kez giriş ve çıkış basınçlarından zamana bağlı veriler de toplanmıştır. FGP-XPM5 minyatür basınç duyargaları pompanın giriş ve çıkışına monte edilmiş, bu duyarların çıkış voltajları, mikrofon çıktıları gibi Samurai programında analiz edilmiştir.

Zamana bağlı basınç verilerini mikrofon verileri ile karşılaştırmak amacıyla hızlı, zamana bağlı basınç kayıtları alınmış ve bunların FFT (Hızlı Fourier Transformasyonu) ile frekans düzleminde incelenmiştir. Veri toplama bilgisayarına çok hızlı bilgi gönderebilen basınç duyargalara uyum sağlayabilmesi açısından mikrofon verileri de sıklaştırılmış, frekans spektrumları önceki deney sonuçlarından daha hassas çizilmiştir. Bunun getirisi, kanat geçme frekansı ve bunun harmoniklerinin çok daha kolay ayırt edilmesi olmuştur.

Zamana bağlı basınç verilerini elde etmek amacıyla tekrarlanan bu deneylere ait sonuç grafikleri 2.2.3.c bölümünde verilmiştir.

2.2.3.a. Ses Basıncı ile Akış Basıncının Kıyaslanması

Spektrumların daha hassas çizilmesi sayesinde kanat geçme frekansı ve harmonikleri tüm hızlara ait grafiklerde gözlenebilmektedir. Buna karşılık kanat geçiş frekansları ile tanımlanması güç başka frekanslarda da sıçrama noktaları belirginleşmiştir. Bu sıçramaların büyük çoğunluğu hidrolik basınç spektrum grafiklerinde de gözlenmiştir.

Sıçrama noktalarında, bu frekansların kanat geçiş frekansı ile oranlarına bakıldığında, yedi hız için de tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak; sistem karakteristiğinde yapılan değişikliklerin pompa gürültüsünü çok etkilemediği, fakat pompa dönüş hızının ses verilerindeki pik frekansları ile takip edilebildiği görülmüştür. Giriş ve çıkış basınçlarında zamana bağlı olarak, motor dönme hızı ve harmoniklerinde görülen sıçrama noktaları, akışın pompa dönüşünden etkilendiğinin kanıtıdır.

2.2.3.a. Sistem 1'e Ait Pompa Gürültü Sonuçları

2200 d/d Pompa devrinde

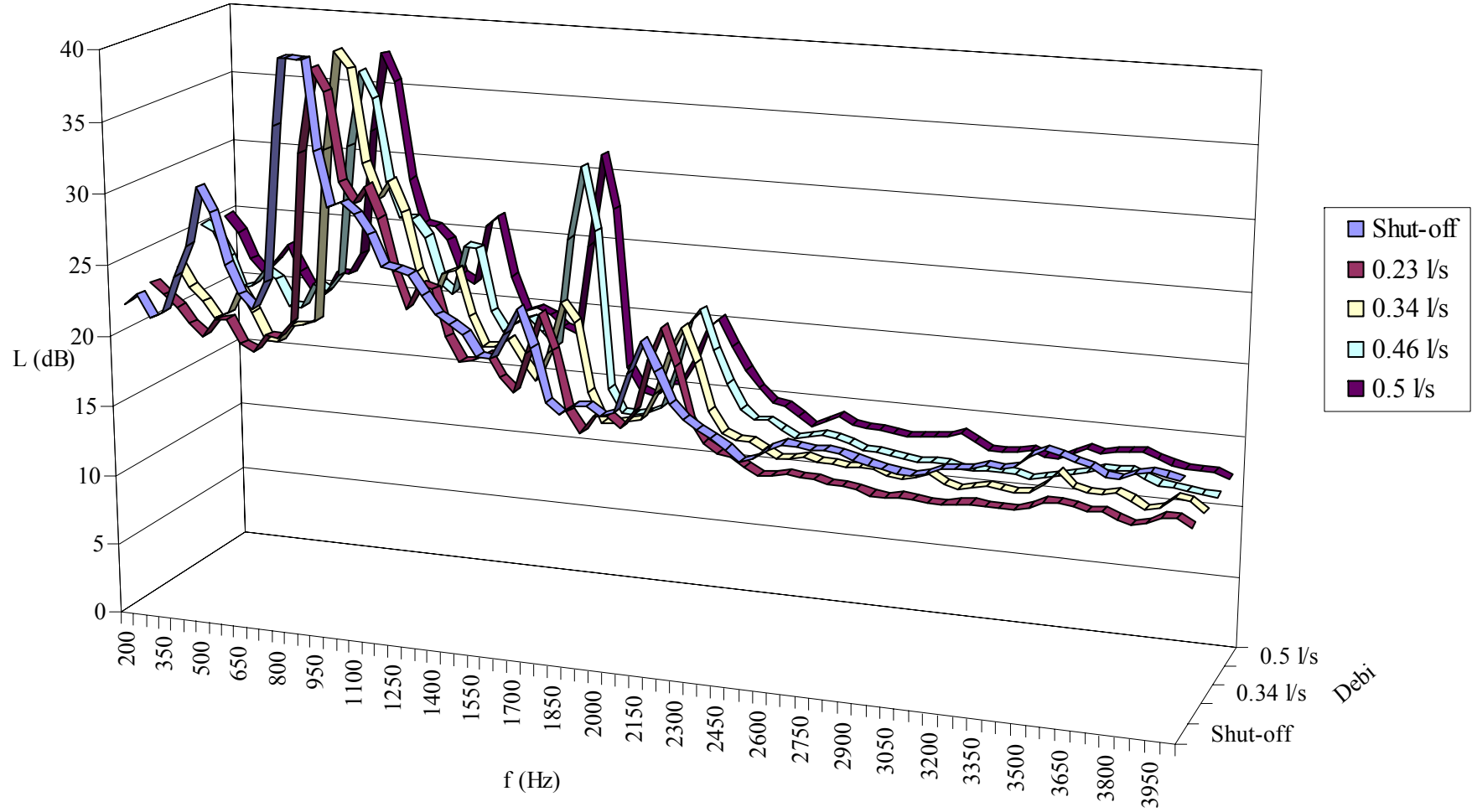
254 Hz olan kanat geçme frekansı spektrum üzerinde 250 Hz ve katlarında beklenmektedir. Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi, özellikle tam kapalı vana ölçümlerinde kanat geçiş frekansının ikinci harmoniği 500 Hz'de bir sıçrama noktasıdır. Spektrumda kanat geçiş frekansının 3,5 katına denk gelen 900 Hz'de de tüm akış hızları için pik gözlenmektedir. Tam kapalı vana için bunun genliği yaklaşık 42 dB'dir. Akış debisi arttığıdaysa, akış hızından bağımsız, ortalama 5 dB düşmüştür. Kapalı vana spektrumunda bir sıçrama görülmeyen fakat genliği açık vanalara göre daha yüksek olan 1350 Hz'de açık vanalarda debi arttıkça genliğin de arttığı gözlenmiştir. Kanat geçiş frekansını 7. harmoniği olan 1750 Hz'de tüm koşullar için sıçrama gözlenmiştir. Özellikle debinin verim üzerindeki etkisinin azalmaya başladığı akış hızlarında 1750 Hz spektrumda çok dikkat çekici bir düzeye ulaşmıştır.

Yedi kanatlı pompanın kanat geçiş frekansının tam katı olmadığı halde 2200 Hz'de de yüksek genlikler gözlenmiştir. Buna bağlı olarak 1100 Hz'de de debiye bağlı olduğu söylenemeyecek, tam olarak maskelenmemiş yüksek genlikler olduğu dikkat çekmiştir. Bunlar, pompaya bakan mikrofondan çok motora bakan mikrofondan gelen ses basıncı değerleridir. Dolayısıyla debiden bağımsız, dönme hızının baskın olması beklenen bir sonuçtur.

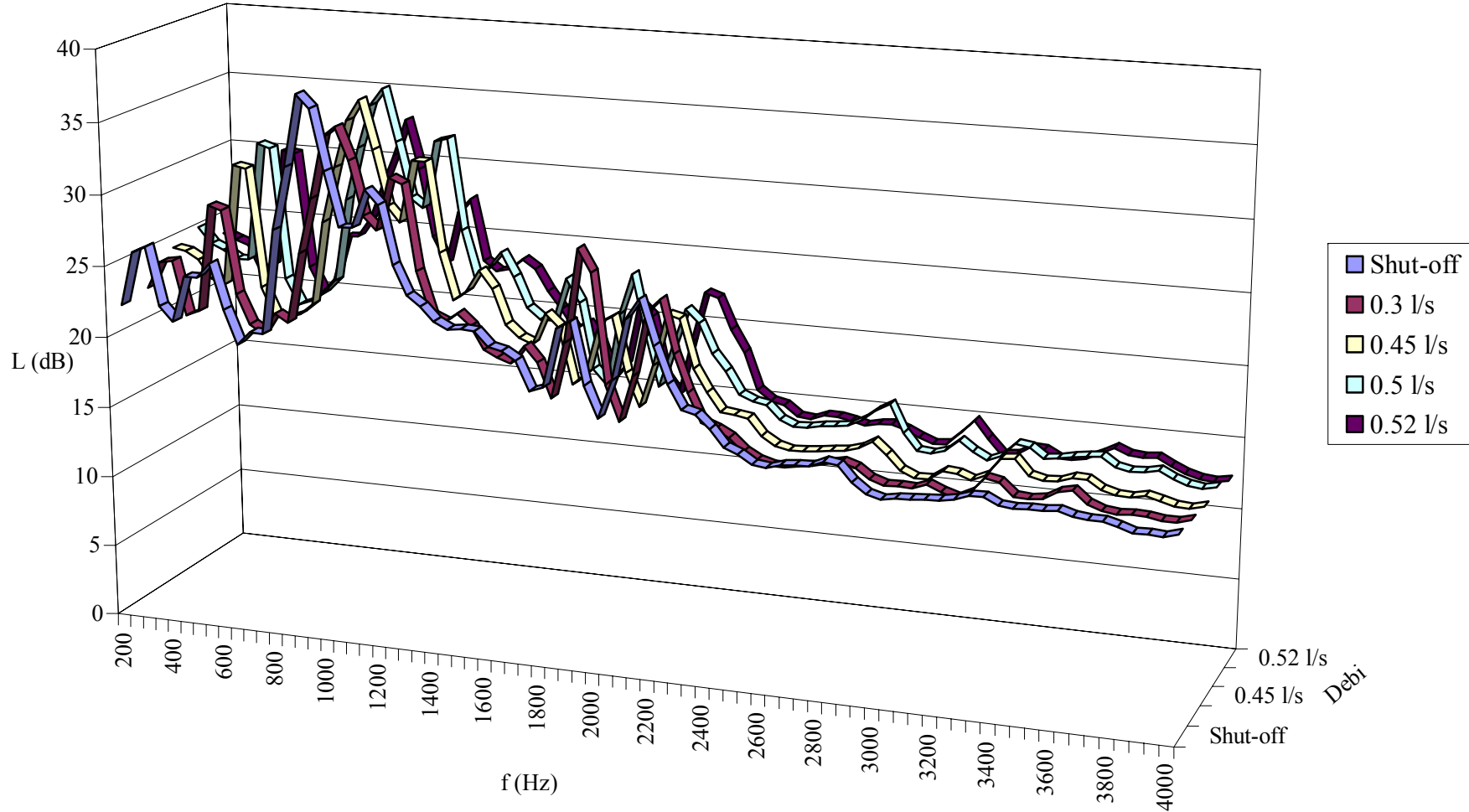
2400 d/d Pompa devrinde

2400 D/D'da çalışan pompanın ortalama ses spektrumu Şekil 2.7'de verilmiştir. Kanat geçiş frekansının iki katı olan 554 Hz'de beklenen pik, spektrum grafiklerinde 550 Hz'de görülmüştür. Kanat geçiş frekansının 3,5 katı olan 969 Hz'den kaynaklanabilecek sıçrama noktası spektrumda 950 Hz'de görülmektedir. Kanat geçiş frekansının beşinci harmoniğine yakın görülen 1450 Hz'de özellikle pompa veriminin artmaya başladığı debilerde sıçrama noktası gözlenmiştir. 1450 Hz'i takip eden 1700 Hz'de de, genliği akış hızıyla artıp 0.52 l/s'de düşen bir sıçrama gözlenmiştir. Yedinci harmonik sayılabilecek 1950 Hz'de de tüm koşullarda sıçrama noktaları gözlenmektedir.

Motor hızına bağlı olarak 2400 Hz ve 1200Hz'de sıçrama olup olmadığına bakıldığında, 1200 Hz'de debiyle artıp 0.52 l/s'de düşen bir sıçrama gözlenmiş, buna karşılık 2400 Hz'de beklenen sıçrama 2200 Hz'de görülmüştür.



Şekil 2.6 Sistem 1' de 2200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.7 Sistem 1’de 2400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu

Spektrumda, kapalı vana ile çalıştırılan pompanın ses basıncı düzeyinde bazı sıçramalar açık vana düzeylerine göre yüksek çıkmıştır. Bunun dışında, vana açıldıkça ses düzeyi arttığı halde, pompanın tasarım noktasına çok yakın olan 0.52 l/s akış hızında bu seviye düşmüştür.

2600 d/d Pompa devrinde

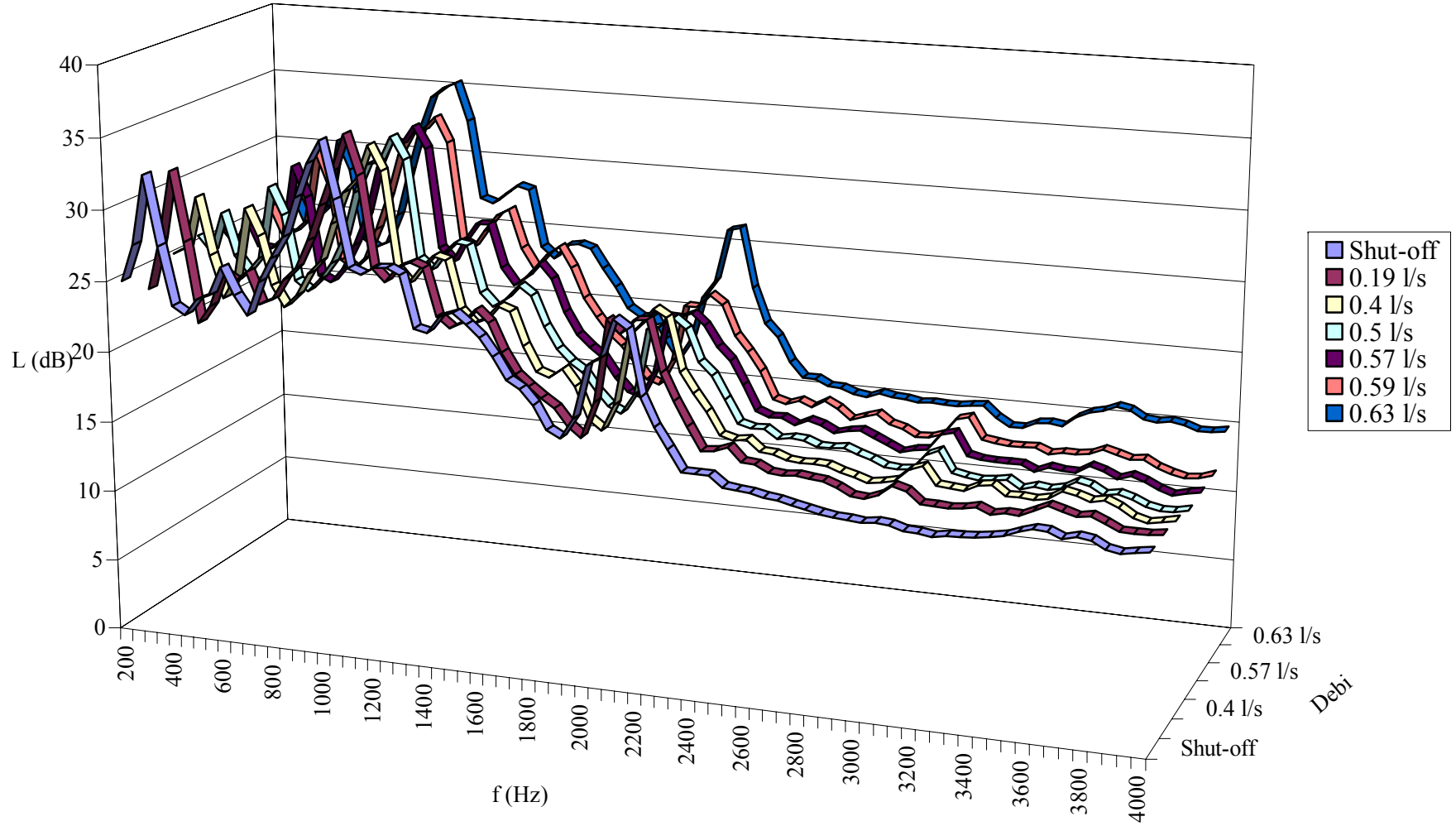
300 Hz ve 600 Hz'de beklenen kanat geçiş frekansı ve ikinci harmoniği, Şekil 2.8'de 300'de Hz artan debiyle azalan ve 600 Hz'de artan debiyle artan genliklere sahip sıçramalar olarak kendini göstermektedir. Kanat geçiş frekansının 3,5 katı olan 1050 Hz'de sıçramalar gözlenmektedir. Kanat geçiş frekansının 5 katı, 1500 Hz'de ve 7 katı 2100 Hz'de beklenen sıçramalar da spektrum üzerinde görülmüştür.

2600 Hz spektrum üzerinde görülmesi de 1300 Hz rahatça gözlenmektedir. Ayrıca 1050 Hz'in üçüncü harmoniği olan 3150 Hz'de hala sönümlenmemiş yükselteler görülmektedir.

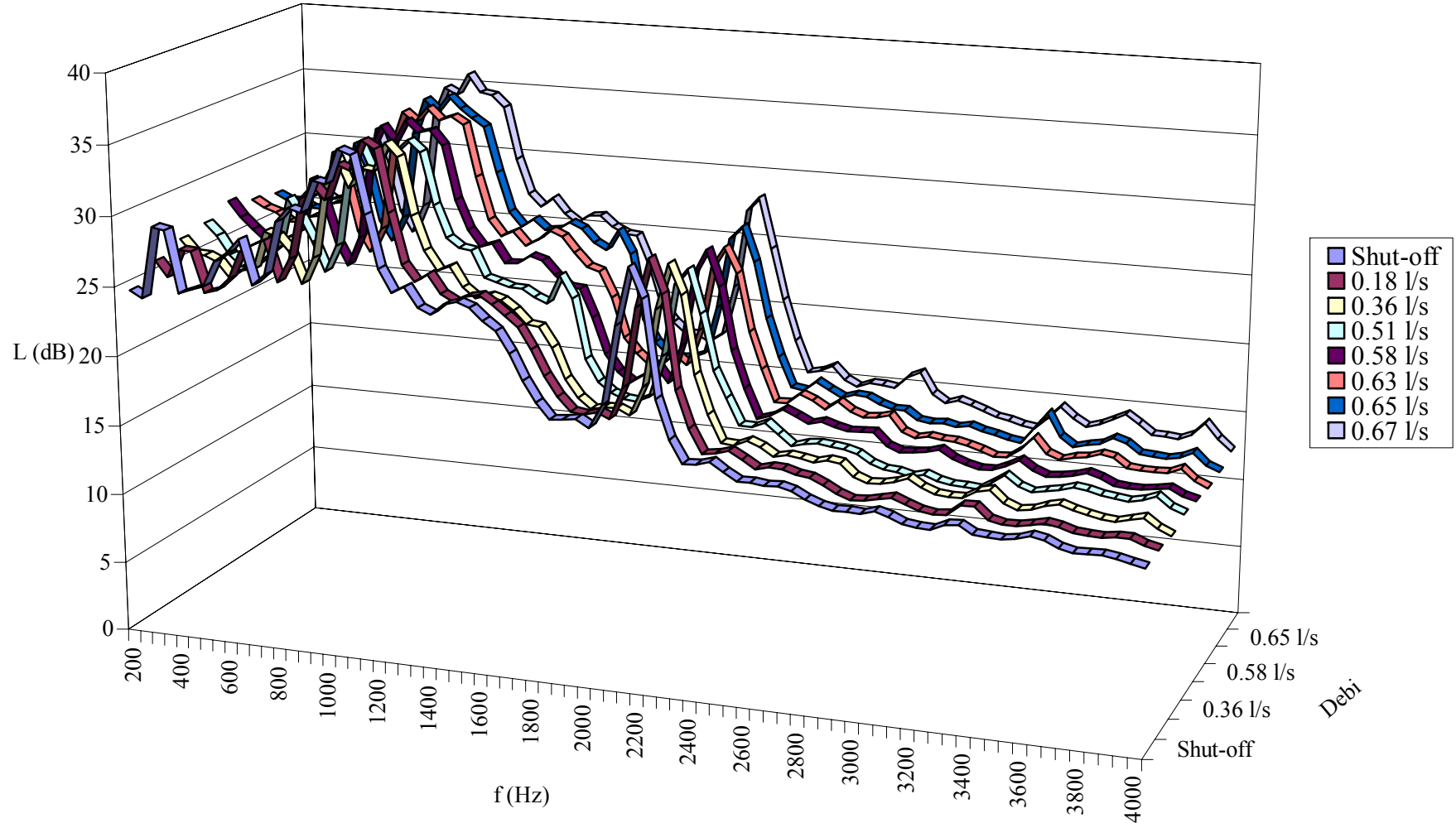
2800 d/d Pompa sevrinde

2800 D/D için dört ayrı mikrofondan alınmış ses basıncı düzeyi verileri önceki üç hıza ait veriler kadar tutarlı görünmese de, bunlara ait ortalama ses spektrumu Şekil 2.9'daki gibidir. 324 Hz olması gereken kanat geçiş frekansı spektrum üzerinde 300 Hz ile 350 Hz arasında kapalı vana ve 0.18 l/s akış hızları için görülmektedir. Kanat geçiş frekansının ikinci harmoniği tüm akış hızları için gözlenebilmektedir. 1100 Hz ile 1150 Hz arasında görülebilecek 3,5 katı, 900 Hz ile 1150 Hz arasındaki yüksek seviyede sinyal değerleri yüzünden maskelenmiştir. Fakat bunun ikinci harmoniği, kanat geçiş frekansının 7 katı kabul edilebilecek 2200 Hz'de ciddi sıçramalar vardır. Üçüncü harmoniği 3400 Hz'de de henüz sönümlenmemiş sıçramalar gözlenmektedir.

2800 Hz bazı yüksek debilerde çok zayıf gözlenirse de 1400 Hz, 2250 Hz'de bulunması gereken kanat geçiş frekansının 7.harmoniği gibi, 50 Hz'lik bir hatayla 1350 Hz'de gözlenebilmektedir.



Şekil 2.8 Sistem 1' de 2600 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.9 Sistem 1’de 2800 D/D, Ortalama Ses Spektrumu

3000 d/d Pompa devrinde

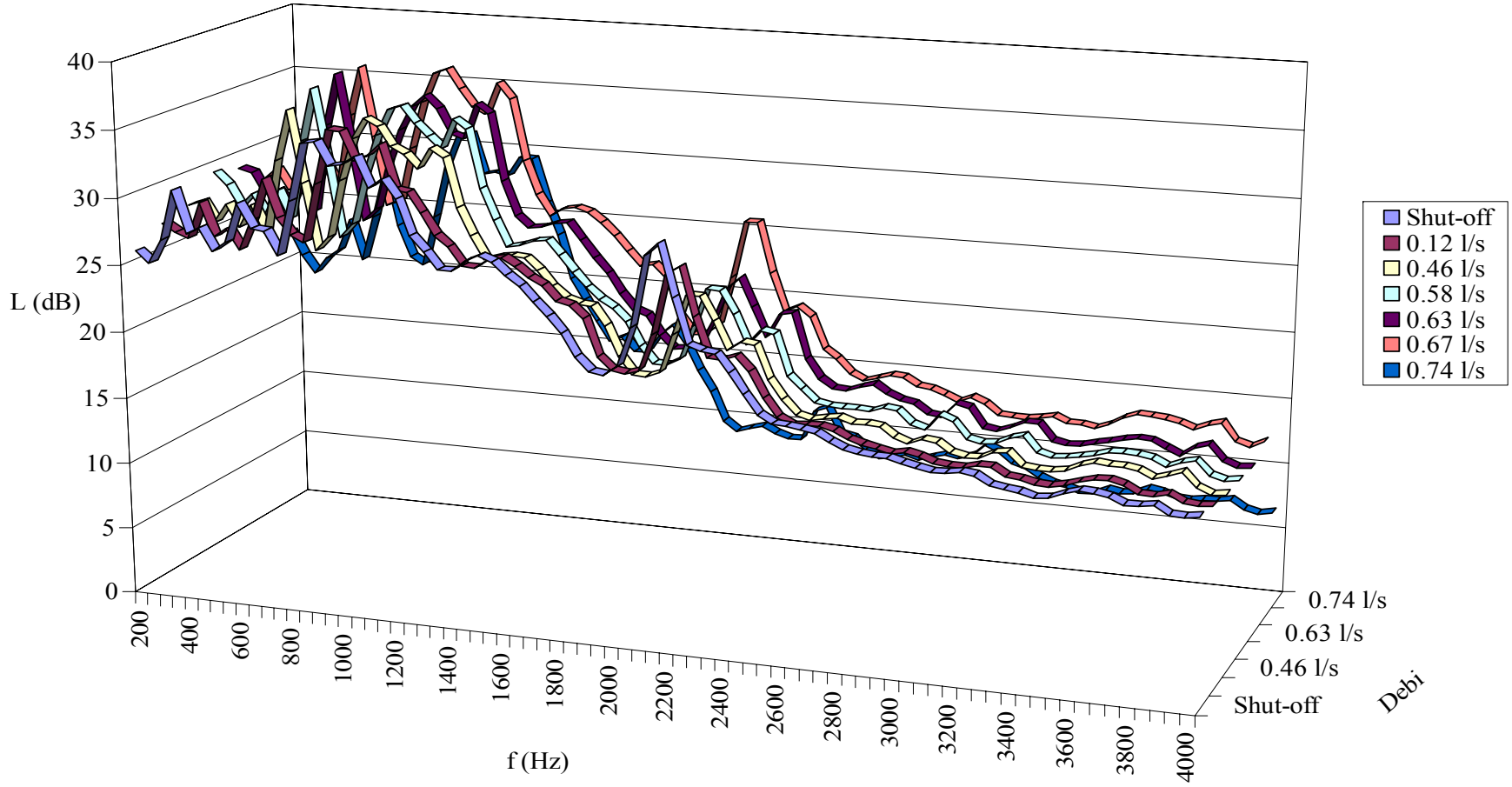
3000 D/D'da çalışan pompanın ortalama ses spektrumu Şekil 2.10'da verilmiştir. Kanat geçiş frekansı olan 350 Hz yüksek debilerde kaybolursa da, özellikle kapalı vana spektrumunda rahatça gözlenmektedir. 600 Hz'de tüm akış hızlarında sıçramalar gözlenmektedir. 900 Hz ile 1250 Hz arasındaki yüksek genlik, kanat geçiş frekansının 3,5 katındaki sıçramayı maskeleymiştir. 2150 Hz ve 2350 Hz'de görülen sıçramalar, kanat geçiş frekansının 6. ve 7. harmoniklerinin 50 Hz hatalı sonuçları olabilir.

3000 Hz'de genlikte az miktarda yükselme vardır. Aynı şekilde 1500 Hz de spektrum üzerinde ayırt edilebilmektedir.

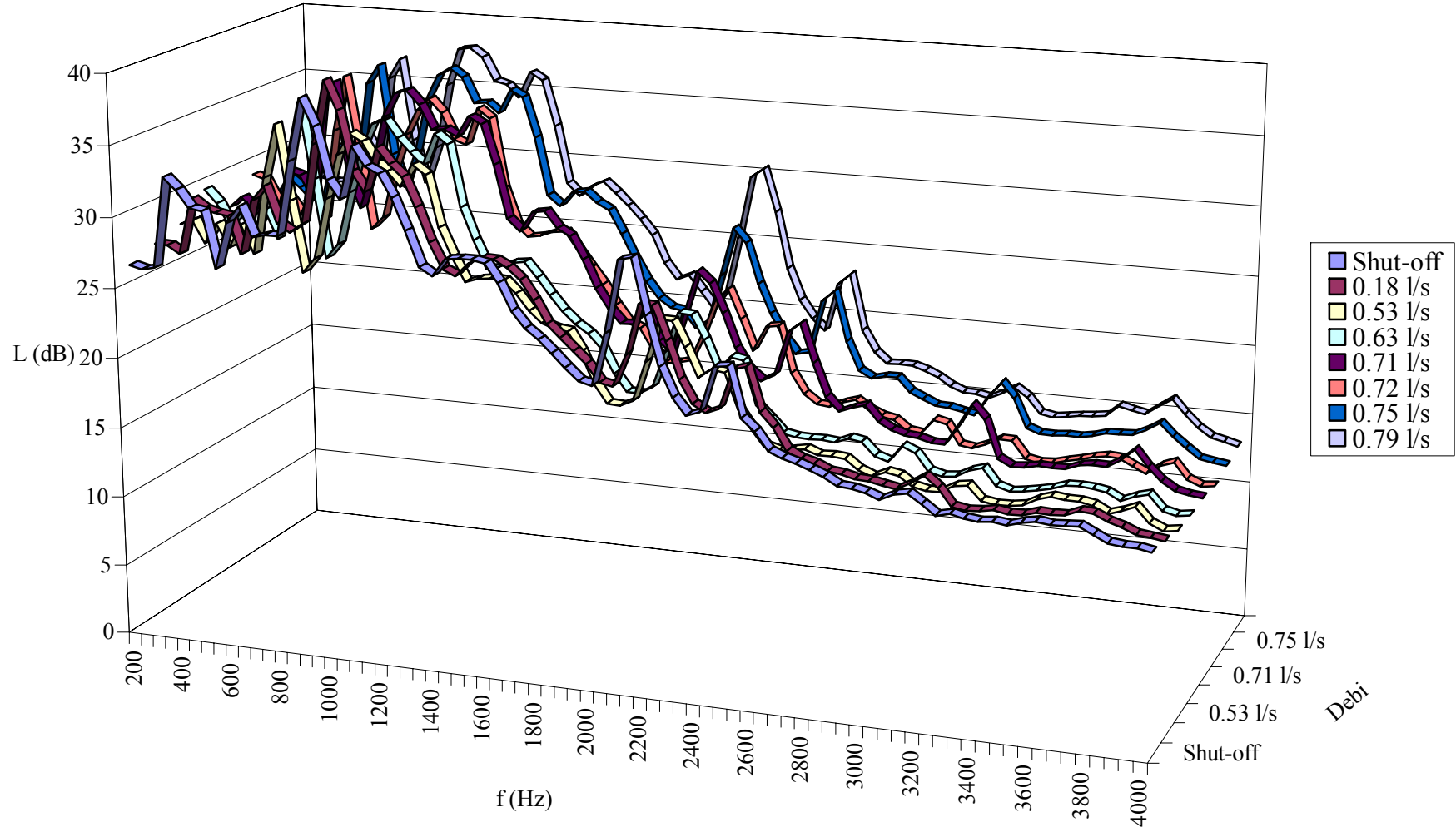
3200 d/d Pompa devrinde

371 Hz olan kanat geçiş frekansı Şekil 2.11'deki spektrumda 350 Hz'de görülmektedir. 650 Hz ve 950 Hz'de devam eden, bundan sonra da yaklaşık 300 Hz'lik aralıklarla yerleşmiş sıçramalar 1800 Hz'de kaybolmaktadır. 2150 Hz'de debi ile ilişkilendirilemeyen bir sıçrama vardır.

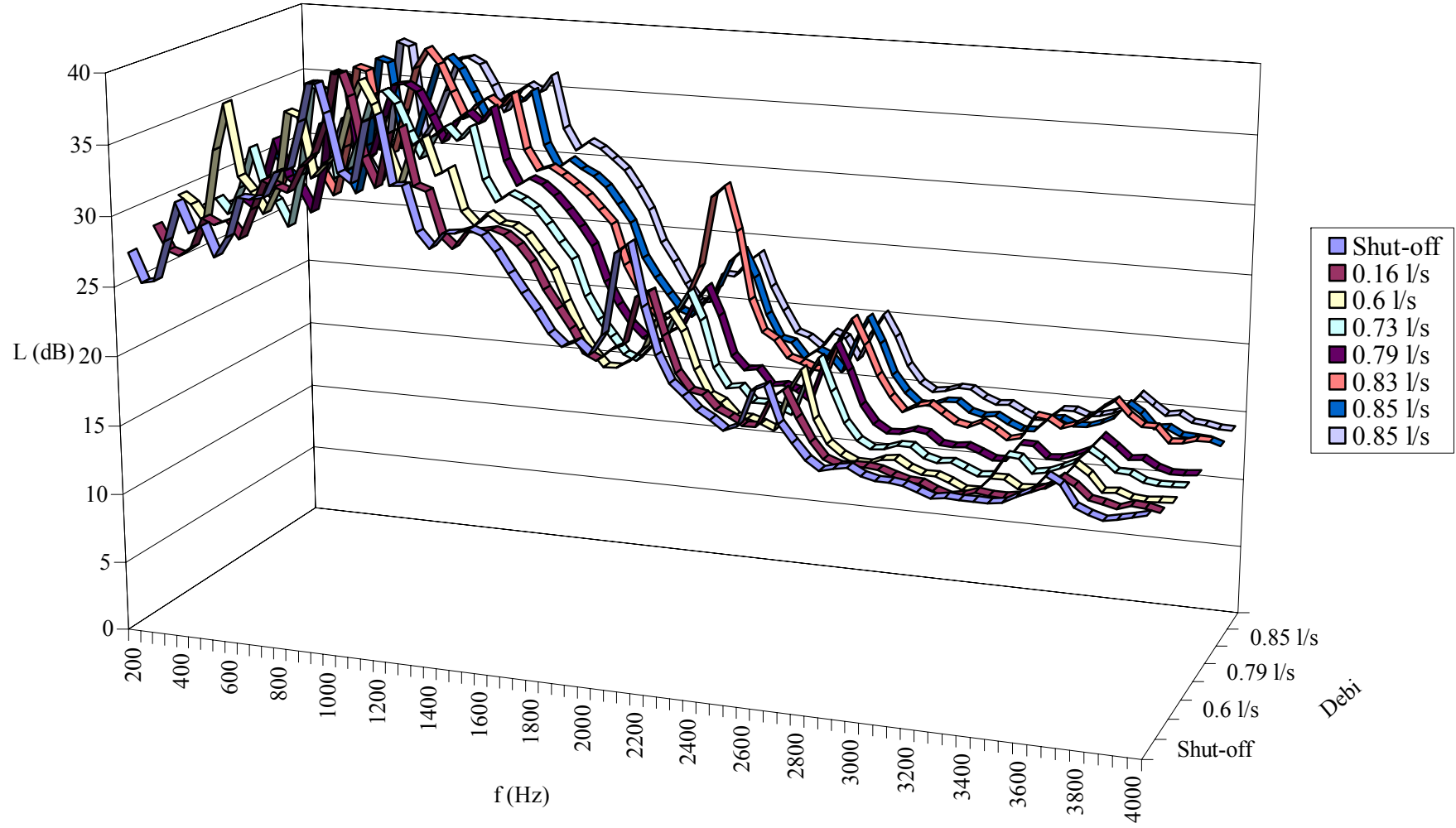
350 Hz'den başlayıp 300 Hz aralıklarla devam eden sıçramalar, 1250 Hz olması beklenen noktada kimi debilerde 1150 Hz'e kadar düşmüştür. Aynı şekilde bu frekansın iki katında gözlenebilecek sıçramalar kimi debiler için 2350 Hz iken kimisi için 2500 Hz'dir. Bunun sebebi 2. Geliştirme Raporu'nda da değinildiği gibi, pompanın yüksek dönme hızlarında dönüş devrinin sık sık inip çıkmasıdır.



Şekil 2.10 Sistem 1’de 3000 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.11 Sistem 1’de 3200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.12 Sistem 1'de 3400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu

3400 d/d Pompa devrinde

394 Hz olan kanat geçiş frekansı Şekil 2.12’de 400 Hz’de görölmektedir. Düşük debilerde 950 Hz’deki sıçramanın maskeleydiği 700 Hz, pompanın tasarım noktasına yaklaşırken 37 dB’e çıkmaktadır. Kanat geçiş frekansının dördüncü harmoniği olan 1200 Hz debi düşük olduğu sürece 1300 Hz’deki sıçramayı maskelemekte fakat yüksek debilerde 1300 Hz daha baskın gelmektedir. Kanat geçiş frekansının 3,5 katının biraz üstünde olan 1450 Hz’de sıçramanın genliğı akış hızı arttıkça artmakta ve akış tamamen kesildiğinde de aniden yüksek bir değere ulaşmaktadır. 2150 Hz ve 2650 Hz’de sıçramalar vardır. 3400 Hz’de 3700 Hz’de de henüz sönümlenmemiş sıçramalar vardır.

Ses ölçümleri esnasında alınan debi, basınç ve güç değerleri karakteristik grafikleri üzerinde işaretlendiğinde; geometrik yükseklik sıfır olmasına rağmen akustik ölçüm odasının dışındaki su tankından odanın ortasındaki pompaya kadar giden ve gelen borulardaki sürtünmenin, pompanın yüksek debilerde çalışmasına müsaade etmediğı görölmüştür. Buna ek olarak, ses basıncı grafikleri incelendiğinde, ses düzeyi çok düşük olan pompanın kanat geçme frekansı veya bunun ikinci harmoniği tüm pompa hızları için spektrumlarda görölebilmektedir.

Ses ölçümlerinden anlamlı sonuçlara varılamayan 3200 d/d dışındaki hızların spektrumlarında, zaman zaman başka gürültülerle bir arada olsa da kanat geçiş frekansının 3,5 katında sıçramalar gözlenmiştir. 2200 d/d – 3000 d/d arasındaki hızlarda kanat geçiş frekansının 7. harmoniğinde de gözlenmiş, bazı hızlar içinse 5. harmonik veya 10,5 katında da sıçramalar görölmüştür.

3200 d/d ve 3400 d/d dışındaki pompa hızlarında, motorun hızına bağılı olarak dönel hızın yarısına tekabül eden frekansda ($\frac{d/d}{2}$) sıçramalar görölmüştür. Bazı hızlarda ise dönel hız frekansındaki sıçramalar de henüz sönümlenmemiştir.

Sıçramaların genlikleri ile debi arasında sağlıklı bir ilişki bulunamamıştır. Bazı durumlarda kapalı vana ses düzeyi en yüksek sonucu vermiş, ancak vana açıldığında değer birden düşmüş ve akış hızıyla tekrar yükselmiştir. Aynı grafik üstünde kimi frekanslardaki basınç değerlerinin artan debi ile arttığı kimisinin ise azaldığı gözlenmiştir. Bazı değerler ise tamamen debiden bağımsız olarak değişmiştir.

Bunların dışında, herhangi bir sebebe bağlanamayan sıçramalar tüm spektrumlarda mevcuttur. Bunlar zaman zaman frekans bandında geniş bir yer tutup, varlığı bilinen sıçramaları da maskeleymiştir. Bu ses düzeyi grafikleri pompanın kavitasyona girmiş olabileceğine işarettir. Pompa giriş borusunda, kontrollü olarak takip edilip deney verilerine katılmasa da, zaman zaman deneylerin gidişatını aksatan küçük girdaplar da, girişteki basıncın düşük olduğunun bir göstergesidir.

2.2.3.b.Sistem 2'ye Ait Pompa Gürültü Sonuçları

2200 d/d Pompa devrinde

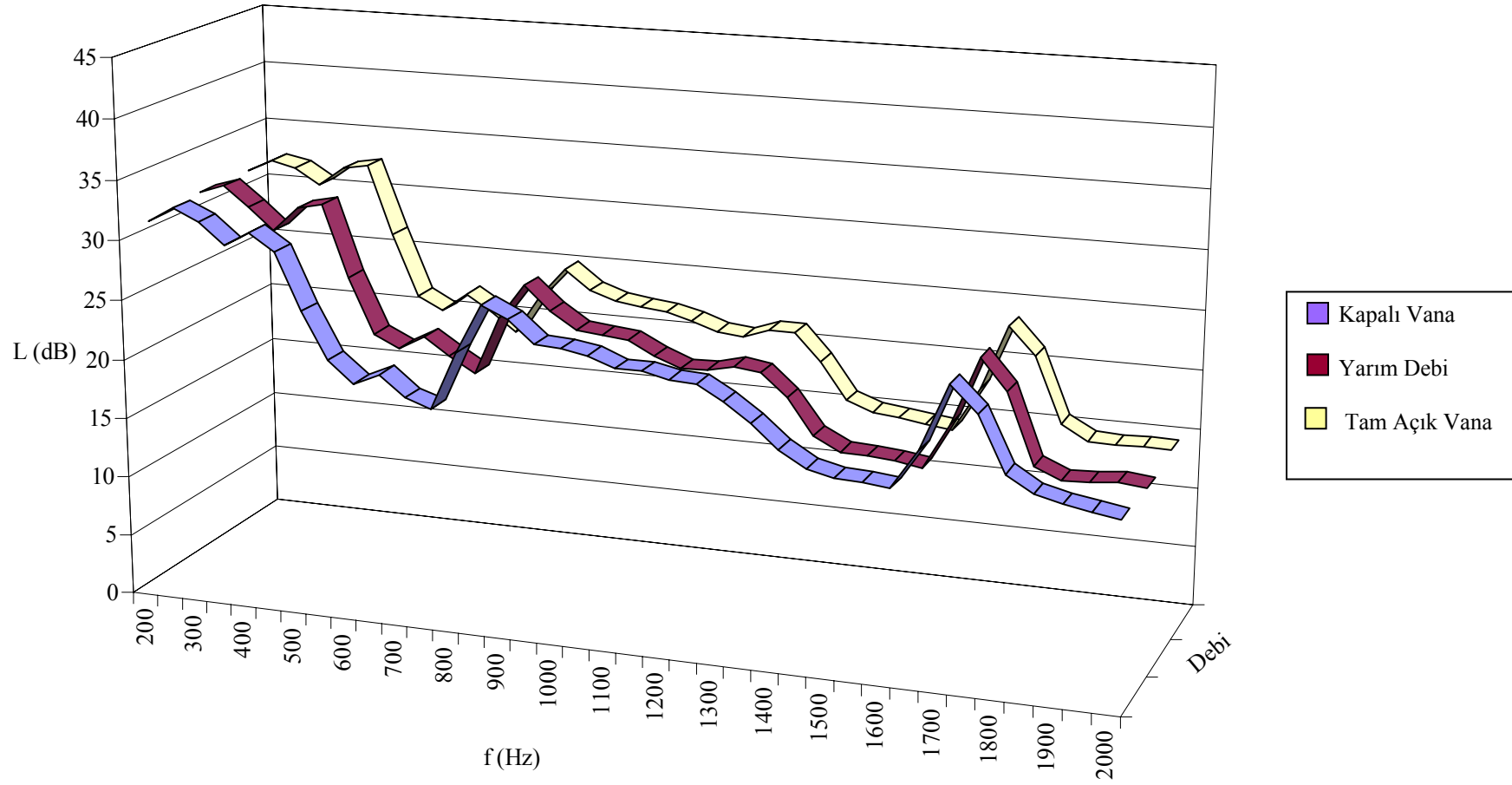
Ortalama ses spektrumu Şekil 2.13'te verilmiş olan 2200 d/d için kanat geçiş frekansına bağlı olarak bu frekansın 2. harmoniği, bunun 3,5 katı ve 7. harmoniği, ± 50 Hz'lik farklarla bu sistemde de gözlenmiştir. Bazı debilerde 1300 Hz'de sıçramalar vardır. Motor gürültüsüne bağlı bir sıçrama görülmemiştir. Bu sistemde, önceki sistemden farklı olarak 250 Hz'de kanat geçiş frekansı görülmüş ve 2. harmoniği olarak kabul edilebilecek 450 Hz'i 250 Hz farkla takip eden 700 Hz'de de bir sıçrama görülmüştür.

2400 d/d Pompa devrinde

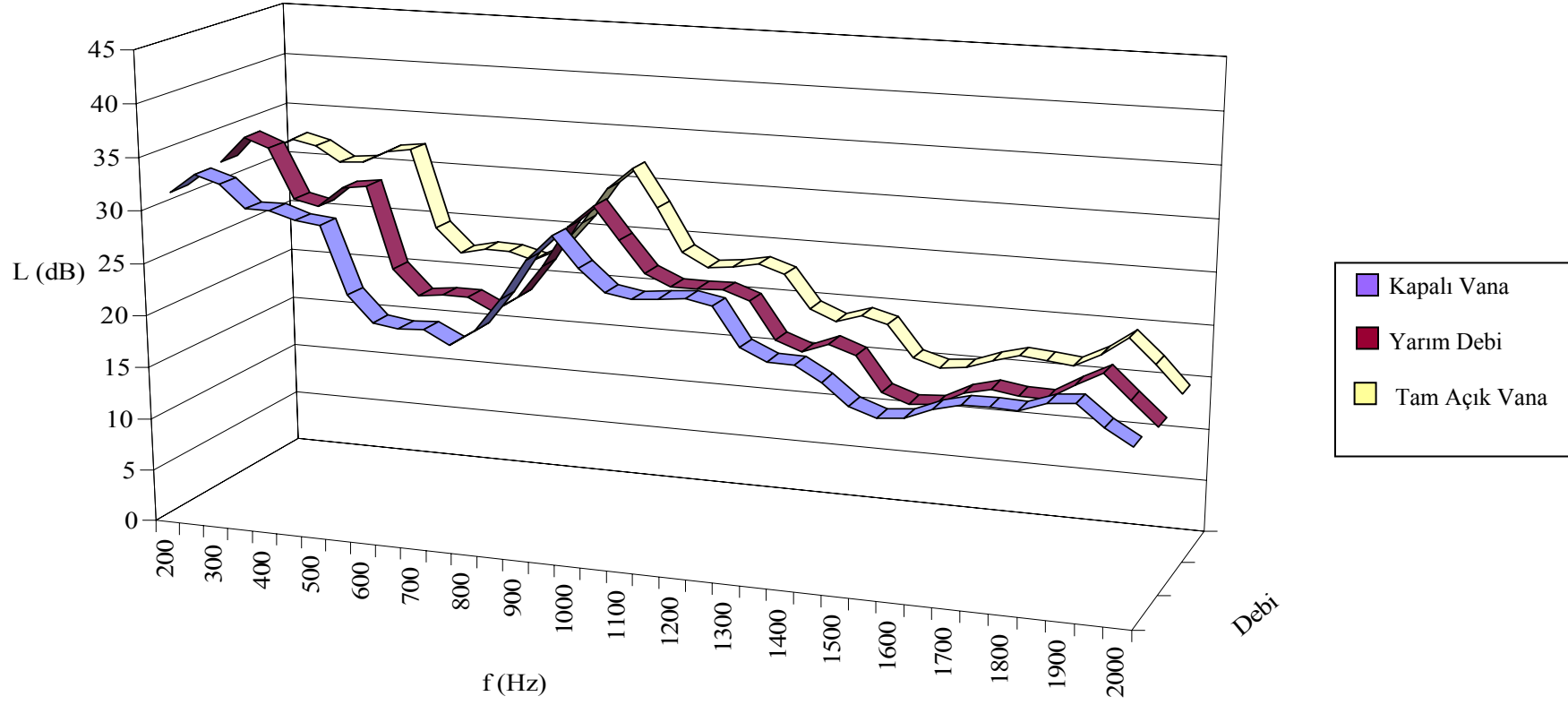
Önceki sistemde görülmeyen kanat geçiş frekansı olan 278 Hz, Şekil 1.14'te 300 Hz'de görülmektedir. Kanat geçiş frekansının 2. harmoniğine denk gelen 550 Hz'de yarım ve tam debilerde sıçramalar vardır. Kanat geçiş frekansının 3,5 katında artan debi ile genliği artan bir sıçrama vardır. Kanat geçiş frekansının 5. harmoniği olan 1400 Hz'de ve 7. harmoniği sayılabilecek 1900 Hz'de yine sıçramalar vardır. 1200 Hz'de görülen sıçrama, önceki sistemde olduğu gibi motor gürültüsüne bağlanabilir.

2600 d/d Pompa devrinde

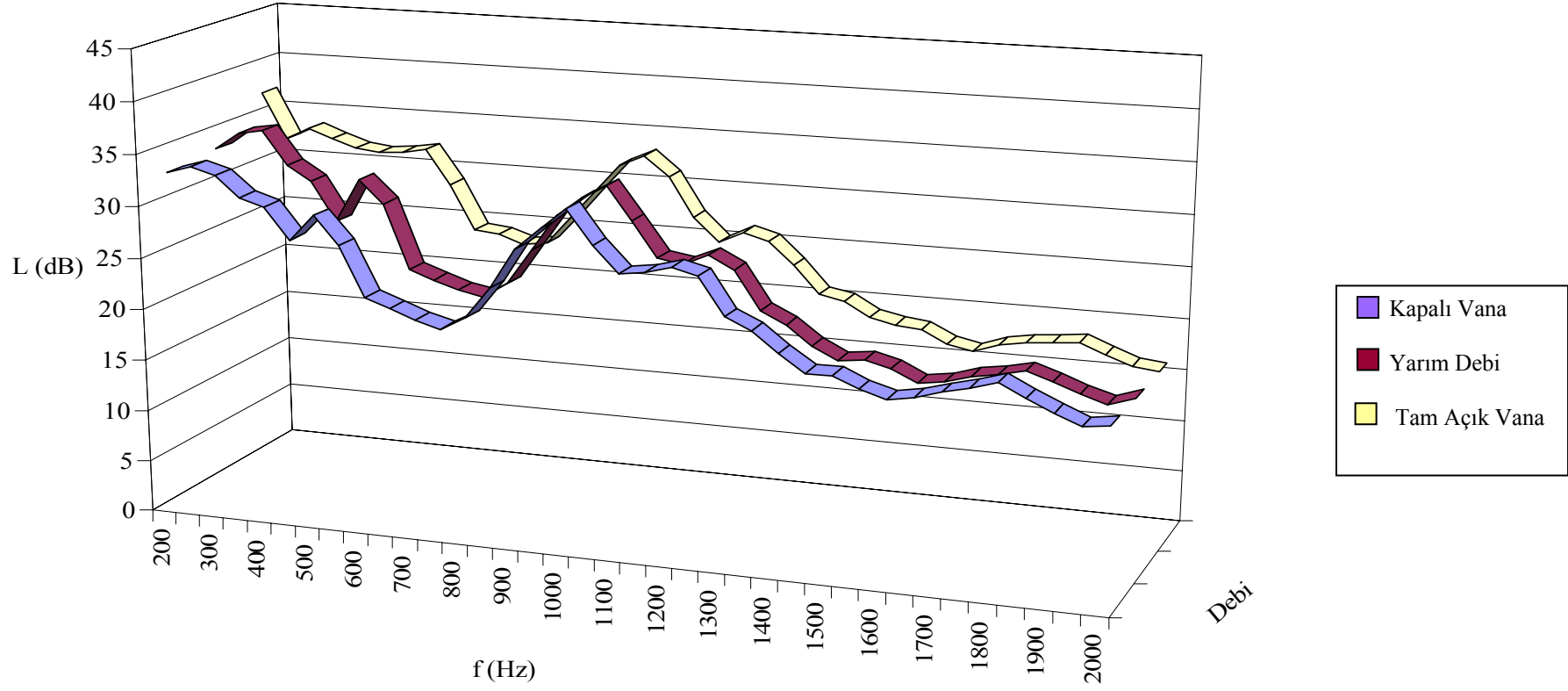
Bu sistemde de kanat geçiş frekansı ikinci harmoniğiyle beraber Şekil 2.15'te görülmektedir. 1000 Hz'de artan debiyle genliği artan sıçramalar vardır. Bunlar kanat geçiş frekansının 3,5 katından 50 Hz sapmaktadır. Diğer sistemdeki gibi kanat geçiş frekansının 5. ve 7. harmonikleri gözlenememiş, 4. ve 6. harmonikleri görülmüştür. Bunların yanında motor hızı ile ilişkilendirilebilecek bir frekans yoktur.



Şekil 2.13 Sistem 2' de 2200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.14 Sistem 2’de 2400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.15 Sistem 2’de 2600 D/D, Ortalama Ses Spektrumu

2800 d/d Pompa devrinde (zzzzzzz)

Şekil 2.16'da 2800 d/d'da çalışan pompanın kanat geçiş frekansı, 2. 3. ve 5. harmonikleri ± 50 Hz hatalarla görülmektedir. Spektrumda motor hızına bağlı bir frekansta sıçrama yoktur. Genlikler akış hızı arttıkça artmıştır.

3000 d/d Pompa devrinde (zzzzzzz)

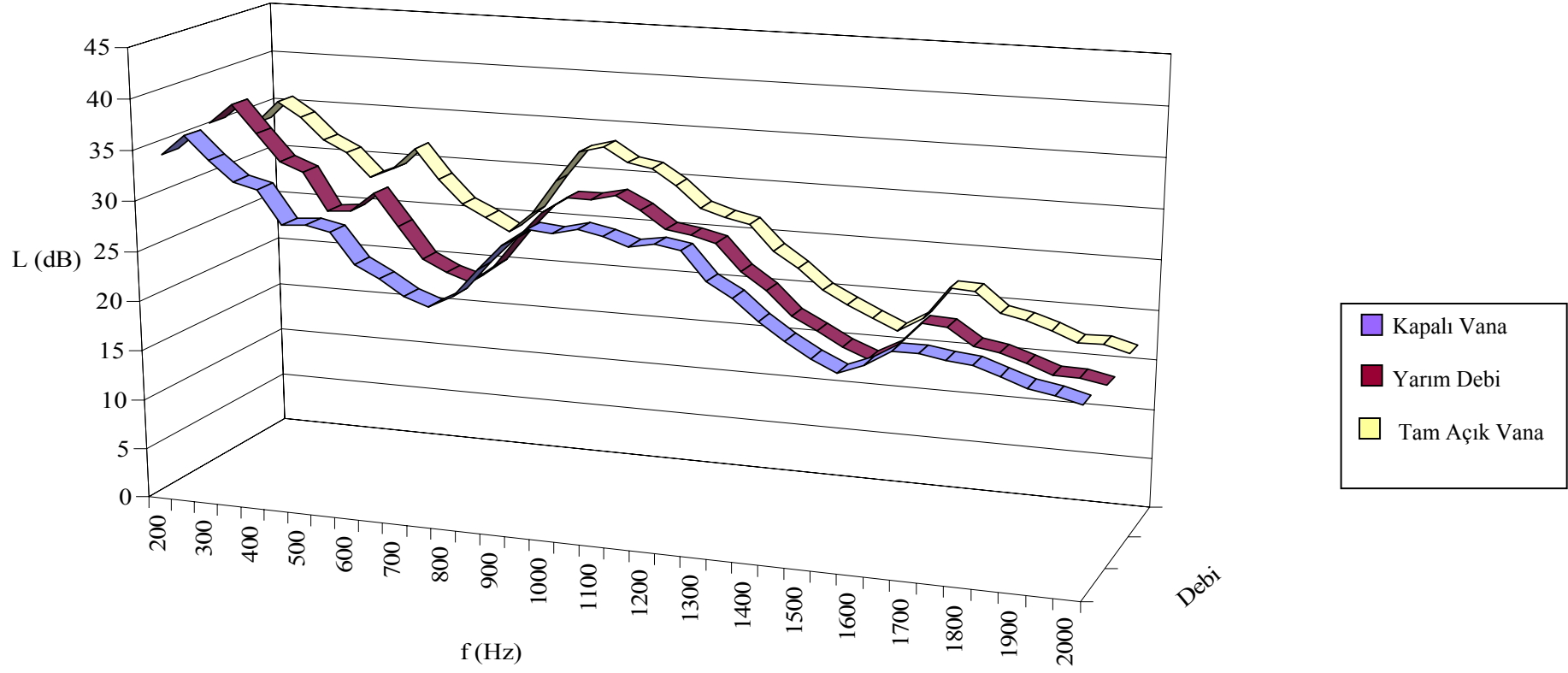
Önceki sistemde olduğu gibi bu sistemde de tam açık vanaya ait spektrumda belli olmayan kanat geçiş frekansı Şekil 2.17'de düşük hızlar için görülmektedir. 600 Hz'de görülen sıçrama tüm akış hızları için bu sistemde de görülmüştür. Bu sistemde de 1000 Hz'de bir sıçrama vardır fakat bu kez, en azından düşük debiler için, 1200 Hz'de kanat geçiş frekansının 3,5 katı maskelenmemiştir. Kanat geçiş frekansının 5. harmoniği debiye göre 50 Hz'lik hatalar gösterse de bu sistemde gözlenebilmektedir. Motor gürültüsüne bağlı olabileceği düşünülen tek sıçrama 1000 Hz'dedir.

3200 d/d Pompa devrinde (zzzzzzz)

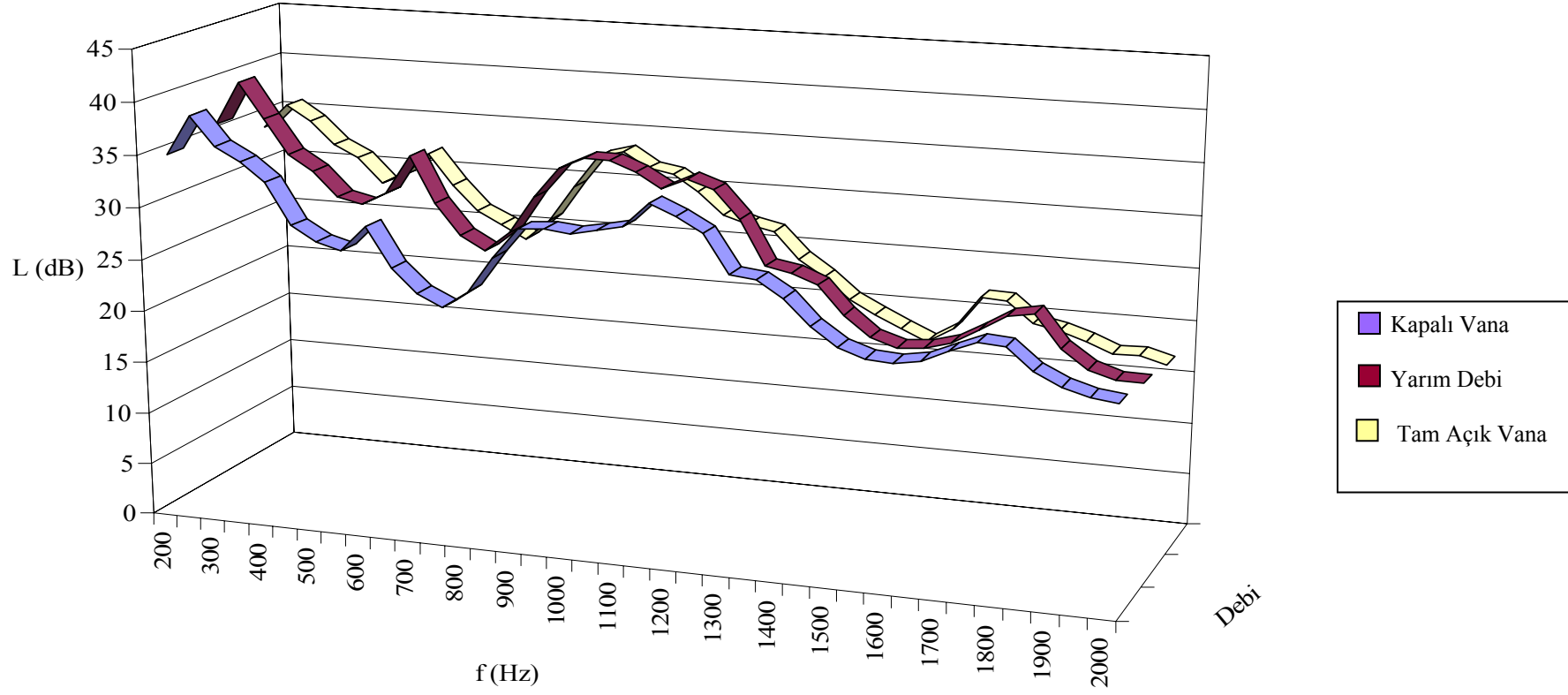
Şekil 2.18'de kanat geçiş frekansı debiye göre çok farklı sonuçlar vermektedir. Fakat 650 Hz'den başlayıp 300 Hz'lik aralıklarla birbirini takip eden sıçramalar bu spektrumda da vardır. 1500 Hz ve 1900 Hz'de de sıçramalar gözlenmiştir. Bunlar kanat geçiş frekansının sırasıyla 4. ve 5. harmonikleridir.

3400 d/d Pompa devrinde (zzzzzzz)

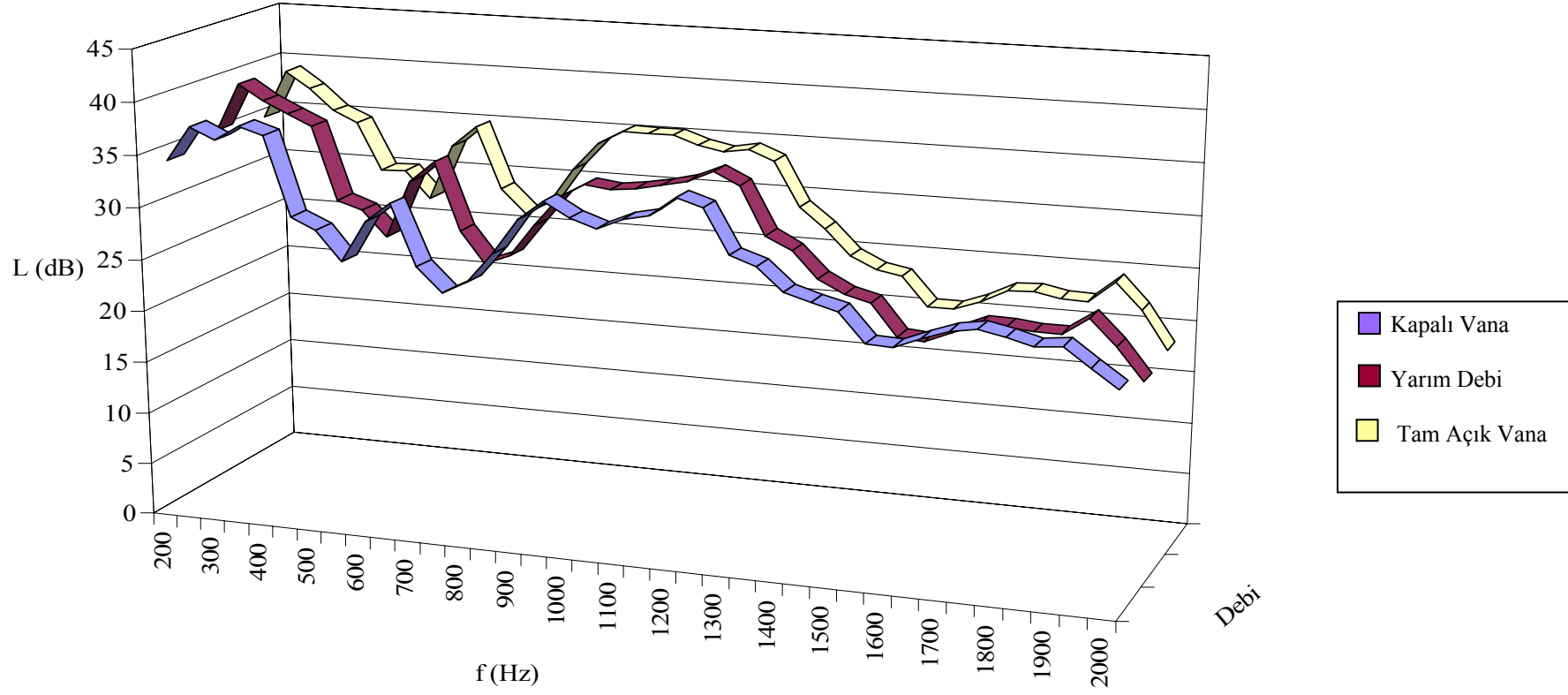
Şekil 2.19'da 400 Hz'de kanat geçiş frekansı gözlenmiştir. 700Hz'deki sıçrama bu kez tüm debiler için gözlenmiştir. 1000 Hz ve kanat geçiş frekansının 4.harmoniği olan 1200 Hz'deki sıçramaların de artan debiyle genliklerinin arttığı görülmüştür. Önceki sistemde görülen diğer sıçramalar bu sistemde yoktur fakat dönme hızının yarısı olan 1700 Hz bu sistemde belli olmaktadır.



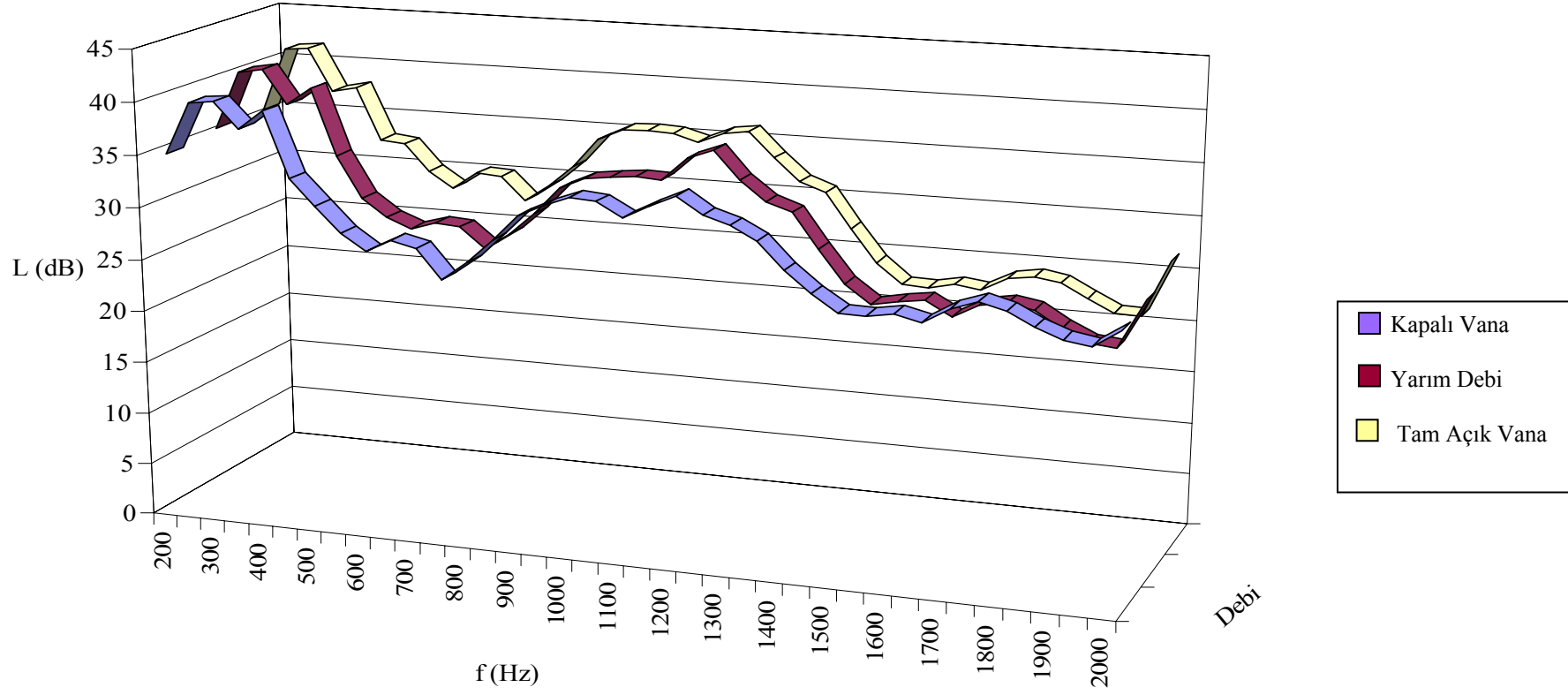
Şekil 2.16 Sistem 2’de 2800 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.17 Sistem 2’de 3000 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.18 Sistem 2’de 3200 D/D, Ortalama Ses Spektrumu



Şekil 2.19 Sistem 2’de 3400 D/D, Ortalama Ses Spektrumu

Bu sistem için elde edilen ses basıncı spektrumlarında da kanat geçiş frekansları gözlenmiştir. Ayrıca 3000 d/d ve altındaki hızlarda kanat geçiş frekansının 3,5 katı dahil, yedinci harmoniğine kadar, frekanslarda sıçramalar olabileceği gözlenmiştir. Özellikle 2400 d/d–2800 d/d arasında, spektrumlarda tanımlanamayan hiçbir frekansta sıçrama yoktur. Motora ait bir gürültü kabul edilen dönme frekansı veya bunun bölenleri olan frekanslar bu sistemde çok nadir gözlenmiştir. Bu mikrofonların hiç birinin motora karşıdan bakmamasının beklenen bir sonucudur. 3200 d/d'daki farklı frekanslar bu sistemde de kaybolmamıştır.

İki sistemin de sonuçları karşılaştırıldığında; çok düşük düzeylerde gürültü yapan pompanın kanat geçiş frekansı, bunun 3,5 katı, 7. harmoniği ve mil dönme hızının yarısı çoğunlukla gözlenmiştir. Spektrumlarda görülen ve pompanın hızıyla, kanat sayısı ile herhangi bir ilişkisi bulunmayan frekanslardaki sıçramalar, pompanın tasarım noktasından uzakta, düşük giriş basıncı altında çalışmasına bağlanmıştır. Bunu ortadan kaldırmak amacıyla yükseğe alınan emme tankı ile giriş basıncı artırılmış ayrıca mikrofon konumlarında da iyileştirmeye gidilmiş; pompa haricindeki gürültü kaynağı olan motora doğrudan bakan bir mikrofon kalmamıştır. Bu durumda dönme frekansı ve bölenlerindeki frekanslar ile kanat geçiş frekansının katı olmayan frekanslar elenmiş, fakat artan debi ile ses düzeylerinin herhangi bir ilişkisi olmadığı gözlenmiştir.

Bu deneyler sonucunda, ses ve hidrolik basınç spektrumlarında ortak gözlenen sıçramalar kanat geçiş frekansı ile normalize edilerek Tablo 2.1'de verilmiştir. Kanat geçiş frekansı tüm pompa hızları için gözlemlendiğinden tabloda ayrıca belirtilmemiştir.

Tablo 2.1 Ses ve Hidrolik Bbasınç Spektrumlarının Ortak Sıçrama Frekansları.

Pompa Hızı (d/d)	Normalize Sıçrama Frekansları (f / kanat geçiş frekansı)							
2175		2	3.5		5.3			7
2375		2	3.5	4.3				7 8
2570		2	3.5	4.3	5			7 10.5
2770		2	2.7	3.56				7 10.5
2965	1.73		2.6	3.6	4.33		6	7
3160	1.76		2.71	3.39	4.2	5.15	5.82	6.64
3365			3.5	3.7	4		5.47	7

2.3. Küçük Santrifüj Pompaların Gürültüsü'nün Bulaşık Makinası Gürültüsüne Etkisi

Küçük santrifüj pompa gürültü karakteristiği ile ilgili çalışma kapsamında, ilgili pompa gürültü karakteristikleri bulaşık makinası içinde faaliyet halinde incelenmiştir.

Öncelikle Bulaşık makinasının alt ve üst pervanelerinin ses karakteristiği belirlenmiştir.. Bu belirleme kapsamında pompanın gürültüsünün bulaşık makinesinde mevcut diğer komponentler tarafından yayılan gürültüden ayrılması gerekmektedir. Bulaşık makinası içindeki en önemli ses kaynaklarından birini pervaneler teşkil etmektedir.

Pervaneler Şekil 2.20'de görülmektedir. Bu pervaneler aynı anda değil sırayla çalışmaktadır. Deneyler esnasında bu sıralama bir düğme kontrolü ile sağlanmıştır. Pervanelerden kaynaklanacak gürültüde dönme hızı ve su sıcaklığının etkisi aranmıştır.



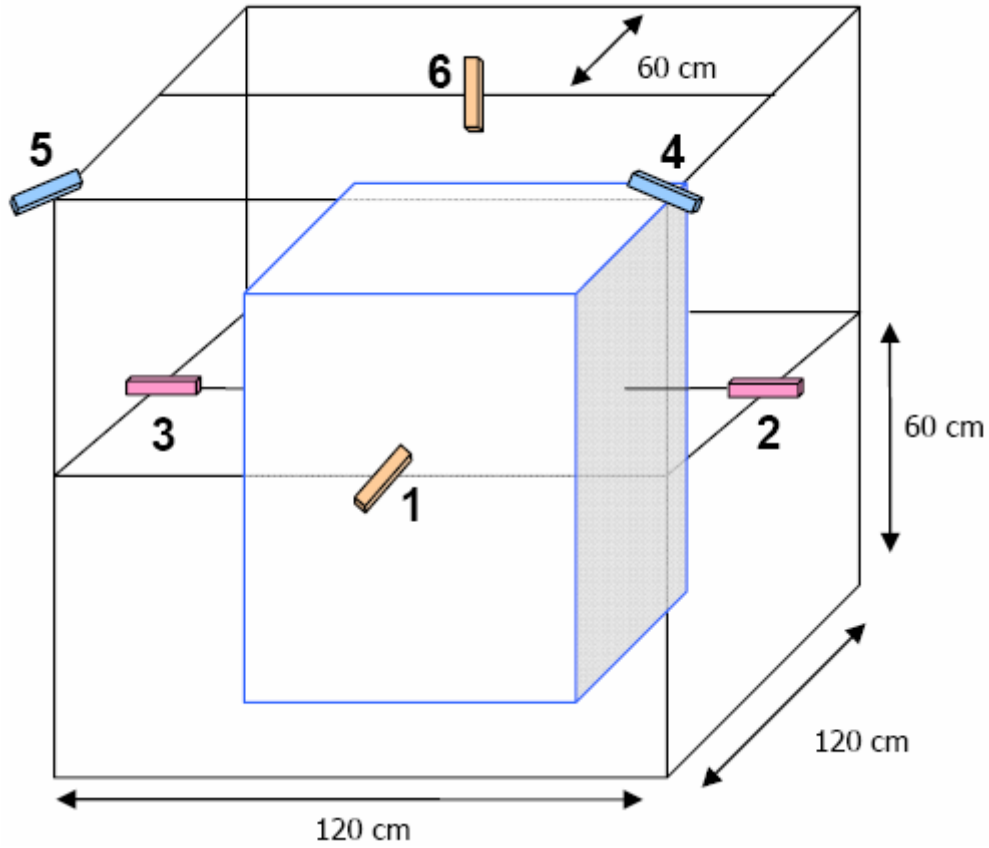
Şekil 2.20 Bulaşık Makinasının İç Görünümü ve Pervaneler

a. Alt Pervane

b. Üst Pervane

2.3.1. Deney Düzenegi

Pervanelerin gürültüsünü belirlemek amacıyla yapılan deneyler için bulaşık makinası tüm parçalarıyla beraber test odasına yerleştirilmiştir. ODTÜ Akışkanlar Mekanigi Laboratuvarındaki ses odasında, Arçelik Ürün Geliştirme Laboratuvarlarında uygulanan yöntemin aynısı uygulanmış ve 6 mikrofon ile bulaşık makinası Şekil 2.21'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 2.21 Yarı-Çınlamalı Oda İçinde Mikrofonların Makinaya Göre Konumları

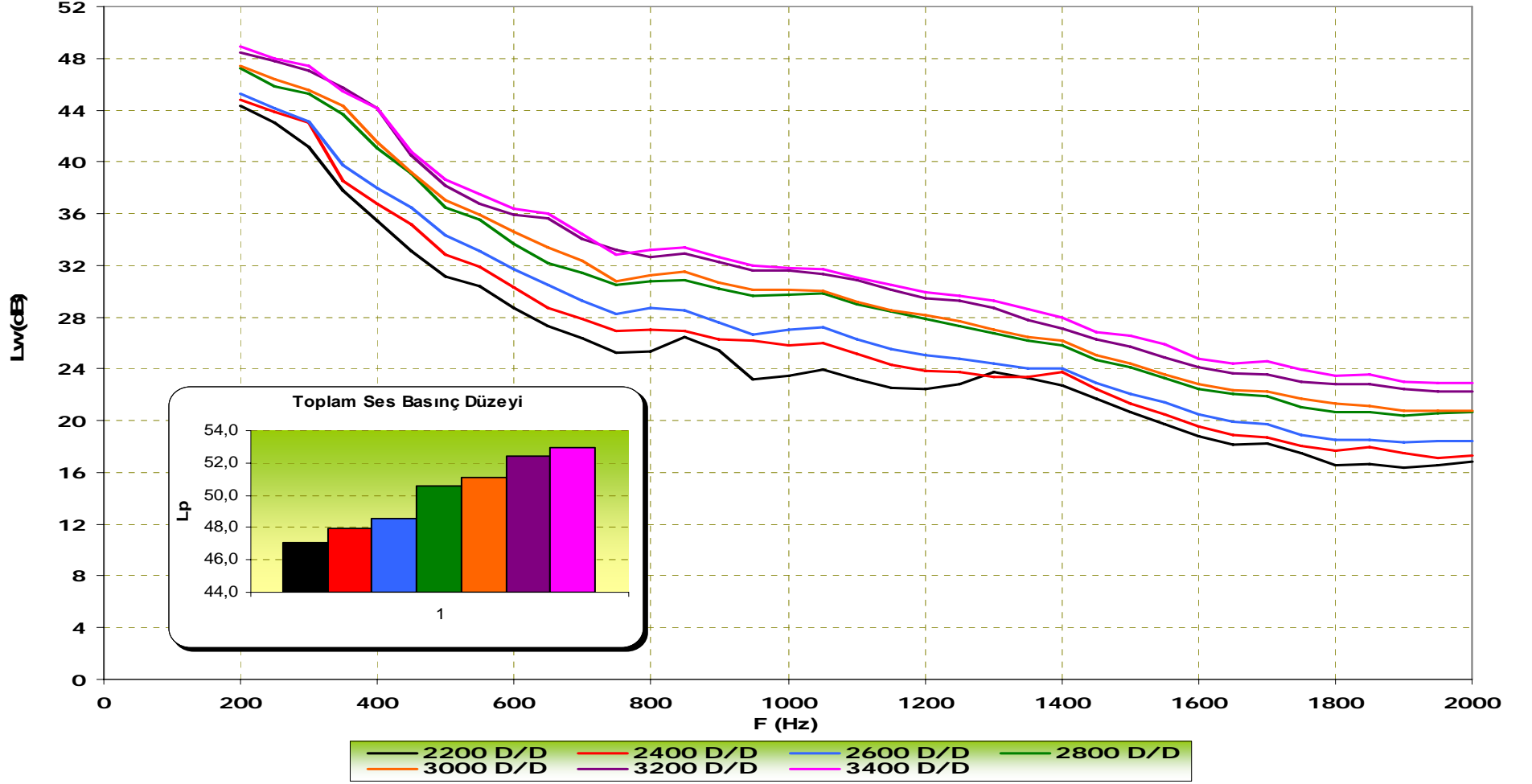
Test edilen makina ankastre olduğu için mutfak tezgâhının yerini tutmak üzere sunta ile kaplanmış ve odanın bir duvarına yaslanmıştır. Makinanın oda içindeki konumu ve mikrofon pozisyonlarının ikisi Şekil 2.22'de görölmektedir. Pervaneden çıkan suyun makina içinde yaratacağı gürültü ölçüleceğı için bulaşık makinası standartlara uygun doldurulmuştur. Önceki deneylerde olduğu gibi pompa farklı hızlarda çalıştırılmış ve makinanın sesi, hem soğuk su ile çalışırken hem sıcak su ile çalışırken pompanın tüm hızları için ölçülmüştür.



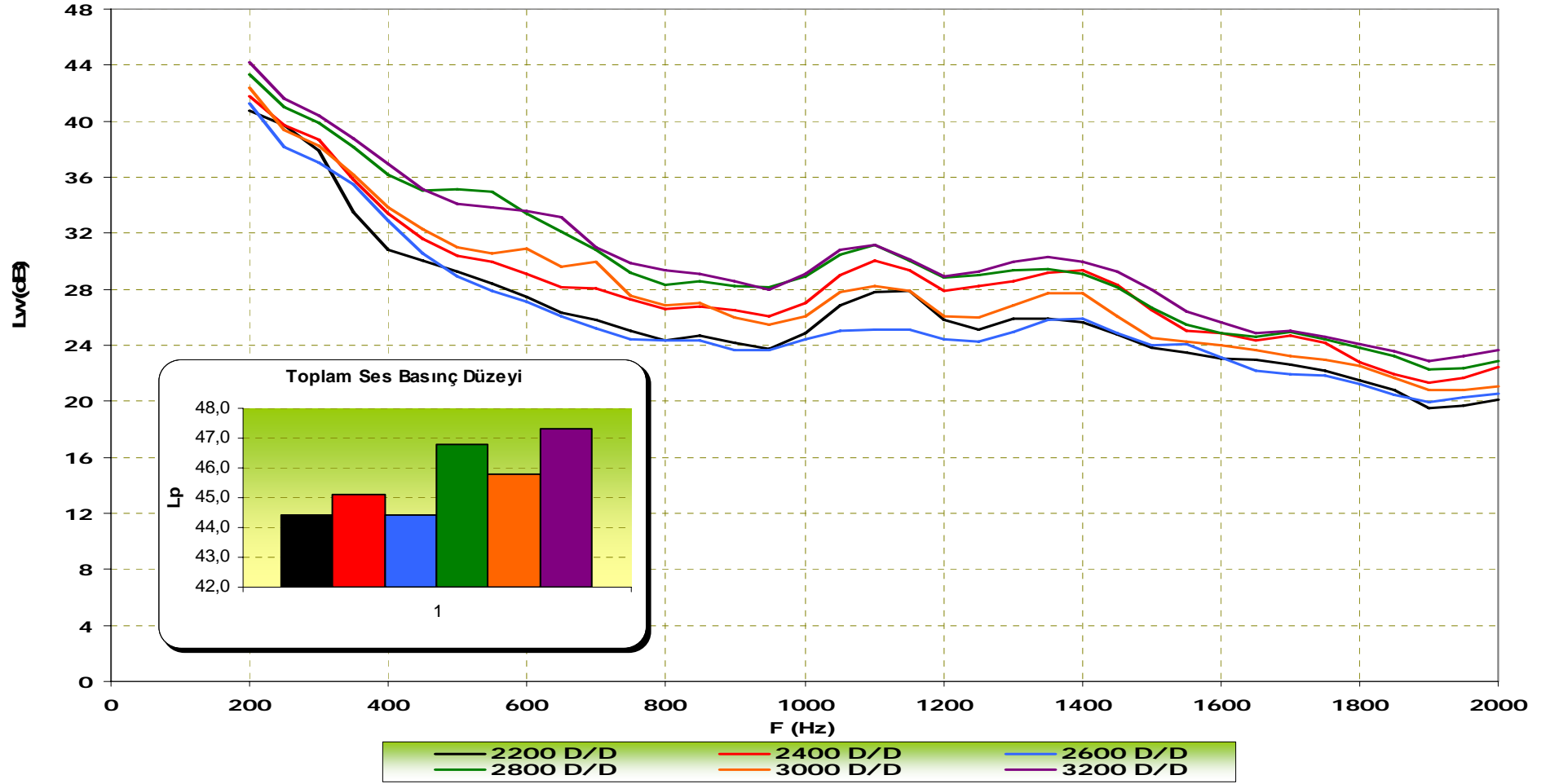
Şekil 2.22 Bulaşık Makinası ve İki Mikrofonun Oda İçinde Konumu

2.3.2. Deney Sonuçları

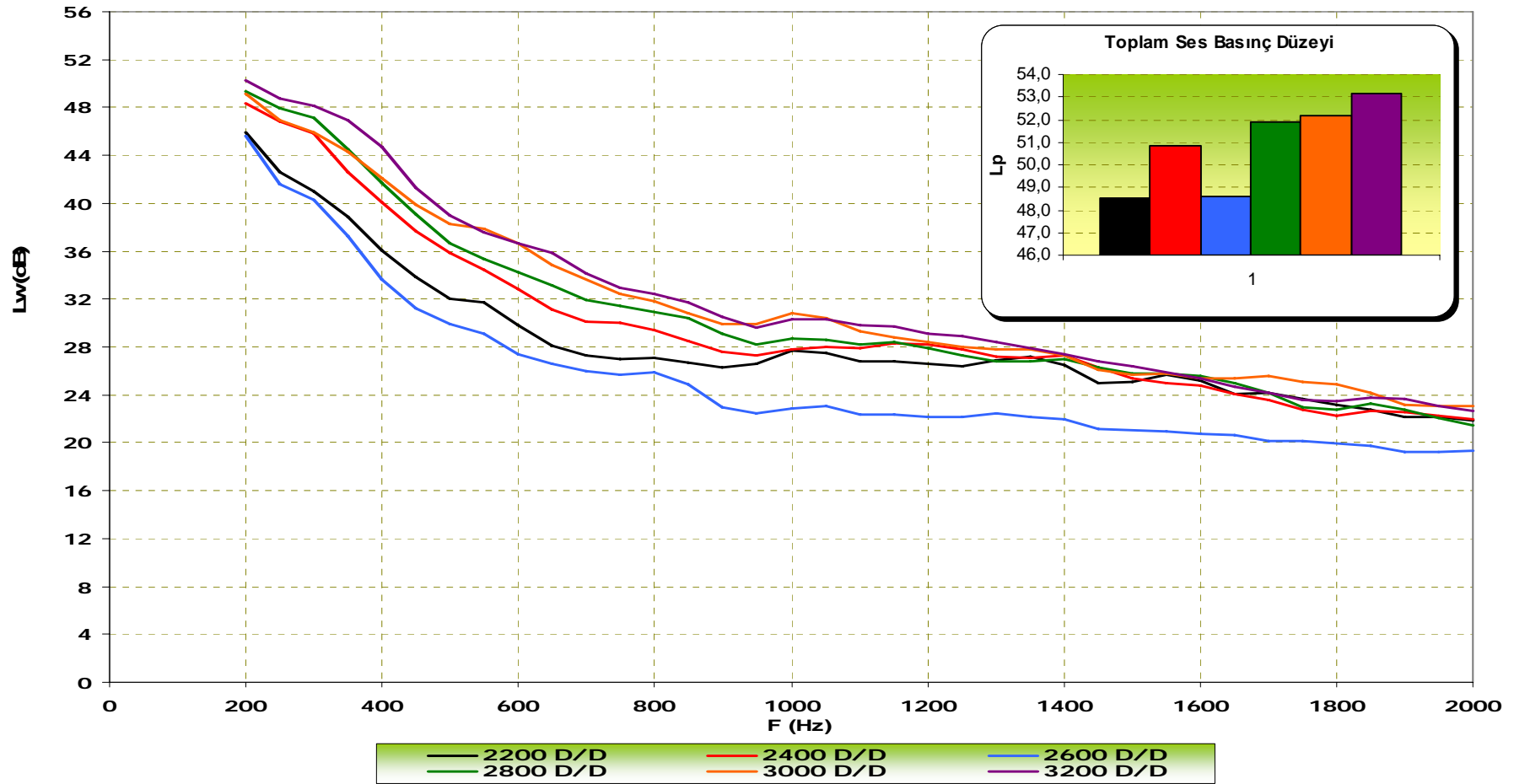
Pervanelerin hızları ile ses gücü düzeyleri beklendiği gibi doğru orantılıdır. Yüksek frekanstaki seslerin daha kolay yutulmasından dolayı frekans yükseldikçe makina dışından alınan ses düzeyleri de düşmüştür. Makinanın sıcak su ile çalışması da ses düzeyini etkilemiştir. Sıcak su ile çalıştırılan makinanın daha sessiz çalıştığı Şekil 2.24 ve Şekil 2.26'da verilen grafiklerin Şekil 2.23 ve Şekil 2.25'te verilen grafiklerle karşılaştırılması ile anlaşılabilir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 2.23-2.26'da verilmiştir.



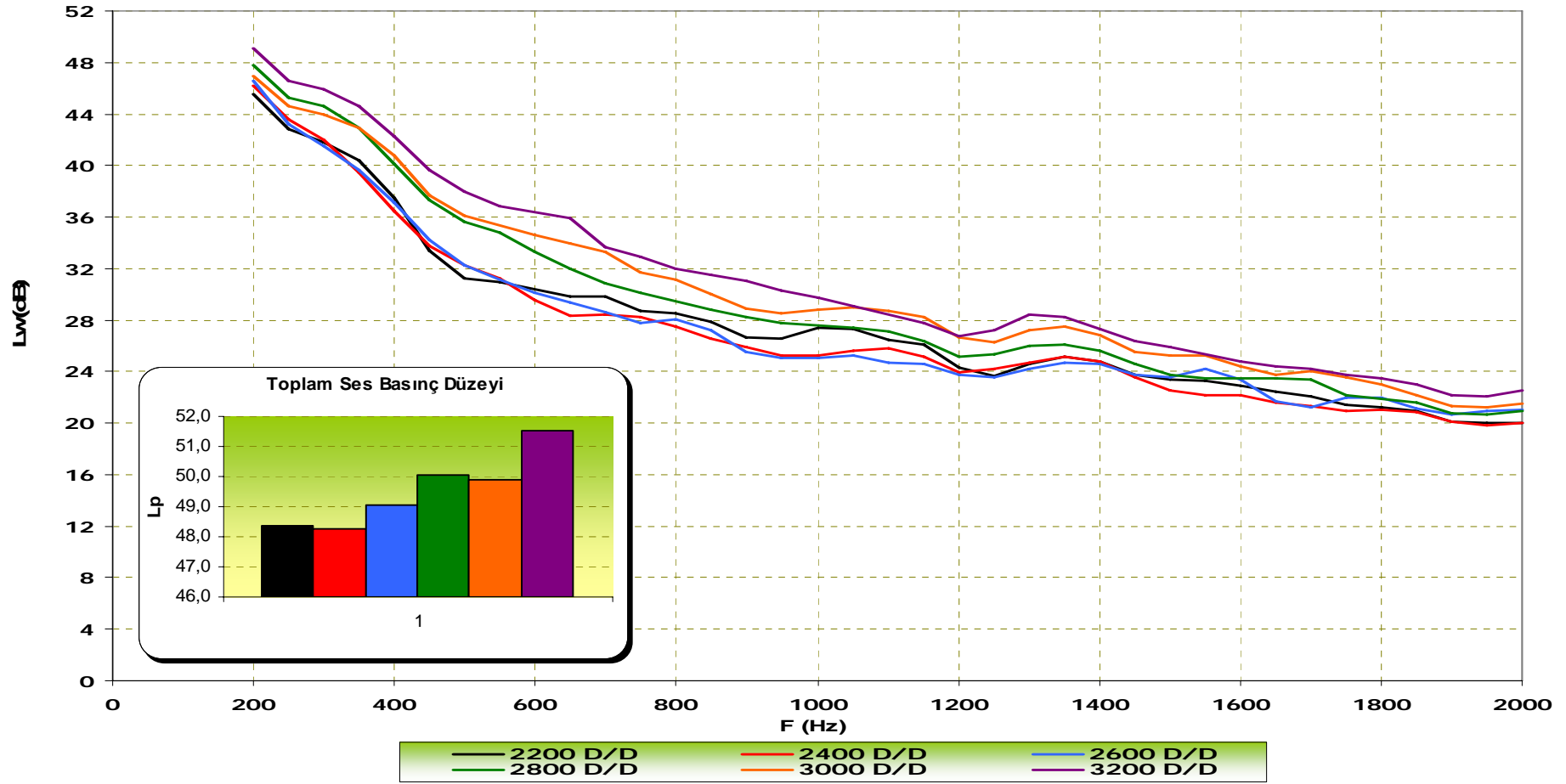
Şekil 2.23 Alt pervane soğuk su ile çalışırken.



Şekil 2.24 Alt pervane sıcak su ile çalışırken.



Şekil 2.25 Üst pervane soğuk su ile çalışırken.



Şekil 2.26 Üst pervane sıcak su ile çalışırken.

3. UFAK ELEKTRİK SÜPÜRGESİ FANLARININ GÜRÜLTÜ KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Yarı-Çınlamalı oda içinde, Arçelik'e ait elektrik süpürgesinin gürültüsü ölçülmüştür. Elektrik süpürgesinin gürültü karakteristiği çıkarılmadan önce, bu gürültünün asıl kaynağı olan süpürge fanına ait karakteristik eğrisini elde etmek amacıyla bir dizi test yapılmıştır.

Elektrik süpürgelerinde çok miktarda hava çekilmesindense havanın daha kuvvetli çekilmesi önemlidir. Bu sebeple santrifüj fan kullanılmaktadır. Fan karakteristiği elde etmek amacıyla yapılan testlerde AMCA 210-75 standardına uyulmuştur.

3.1 Fan Karakteristiği Deney Düzenegi

Fan karakteristikleri AMCA 210-75 standardı temel alınarak belirlenmiştir. Elektrik süpürgesi motor-fan montajına uygun olanı seçilmiş ve düzenek kurulmuştur. Bu düzenek kurulurken izlenen adımlar şöyledir:

1. Çapı 128 mm olan motor ve fan, Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, dış çapı 126 mm, et kalınlığı 3 mm ve uzunluğu 1.3 m olan bir borunun ağzına monte edilmiştir.



Şekil 3.1 Boru ve motor montajı.

2. 1.3 m uzunluğundaki borunun, standartlarda belirtilen noktasına akış doğrultucu-vorteks kırıcı elemanlar yerleştirilmiştir. Akış doğrultucuların kalınlığı 2mm, uzunlukları ise 60 mm'dir. Bunları yerleştirebilmek için önce boru ortadan ikiye kesilmiş, daha sonra tekrar birleştirilmiştir. Akış doğrultucu ve bunun boru kesilerek yerleştirildiği kısım, Şekil 3.2'de görülmektedir.



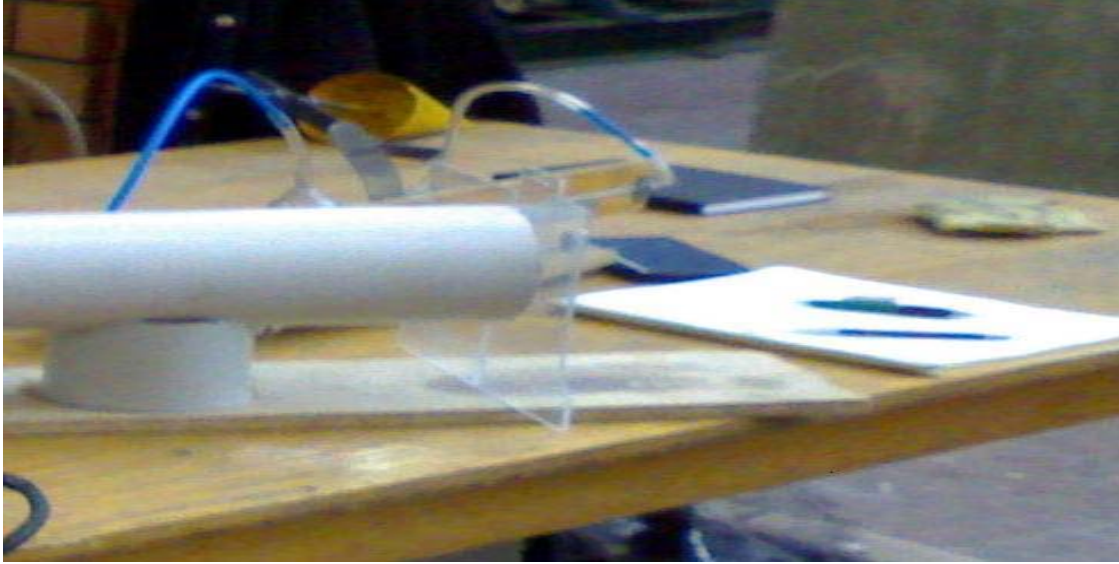
Şekil 3.2 Akış doğrultucu ve boru üzerindeki konumu

3. Aritmetik ortalaması kesitteki ortalama basıncı verecek şekilde 8 adet pitot tüp kullanılmıştır. Pitot tüpler merkeze göre simetrik olarak yerleştirilmiştir. Bunlar ortak bir çıkıştan tek bir manometreye bağlanmıştır. Pitot tüplerin boru içindeki konumları ve çıkış uçları Şekil 3.3'te görülmektedir. Çıkış uçları gibi statik uçlar da bir manometreye bağlanmıştır. Toplam basınç, içinde su bulunan bir manometre ile ölçülmüş; dinamik basınç ise içinde alkol bulunan eğik manometreden basınç farklarının ölçülmesi ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.3 Boru içinde pitot tüpler ve çıkışları.

4. Havanın debisini ayarlamak için borunun girişine plakalar yerleştirilmiştir. Bunlar Şekil 3.4'te görülmektedir. Akış olmadığı durumda en ufak bir hava girişi fanın çalışma koşulunu etkilemektedir. Bu plakalar hassas koşullarda debi ayarlamasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.4 Debi Ayar Plakaları.

5. Deneyler sırasında fan hızını sabit tutmak amacıyla variakla voltaj ayarı yapılmış ve hız takometre ile kontrol edilmiştir. Bunlara ait resimler sırasıyla Şekil 3.5 ve 3.6'da verilmiştir..

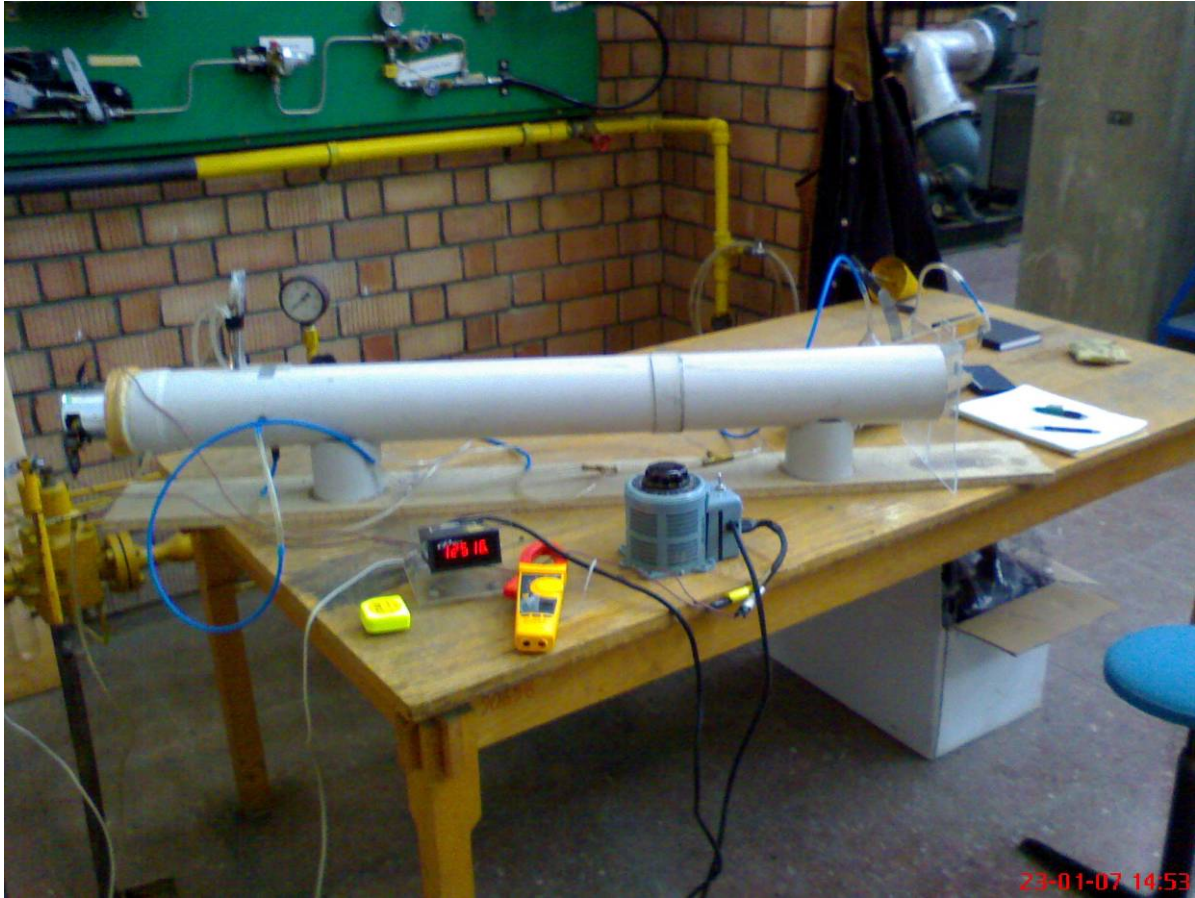


Şekil 3.5 Fan Hızını Ayarlamak İçin Kullanılan Varyak



Şekil 3.6 Fan Dönüş Hızının Lazerli Takometre ile Ölçülmesi.

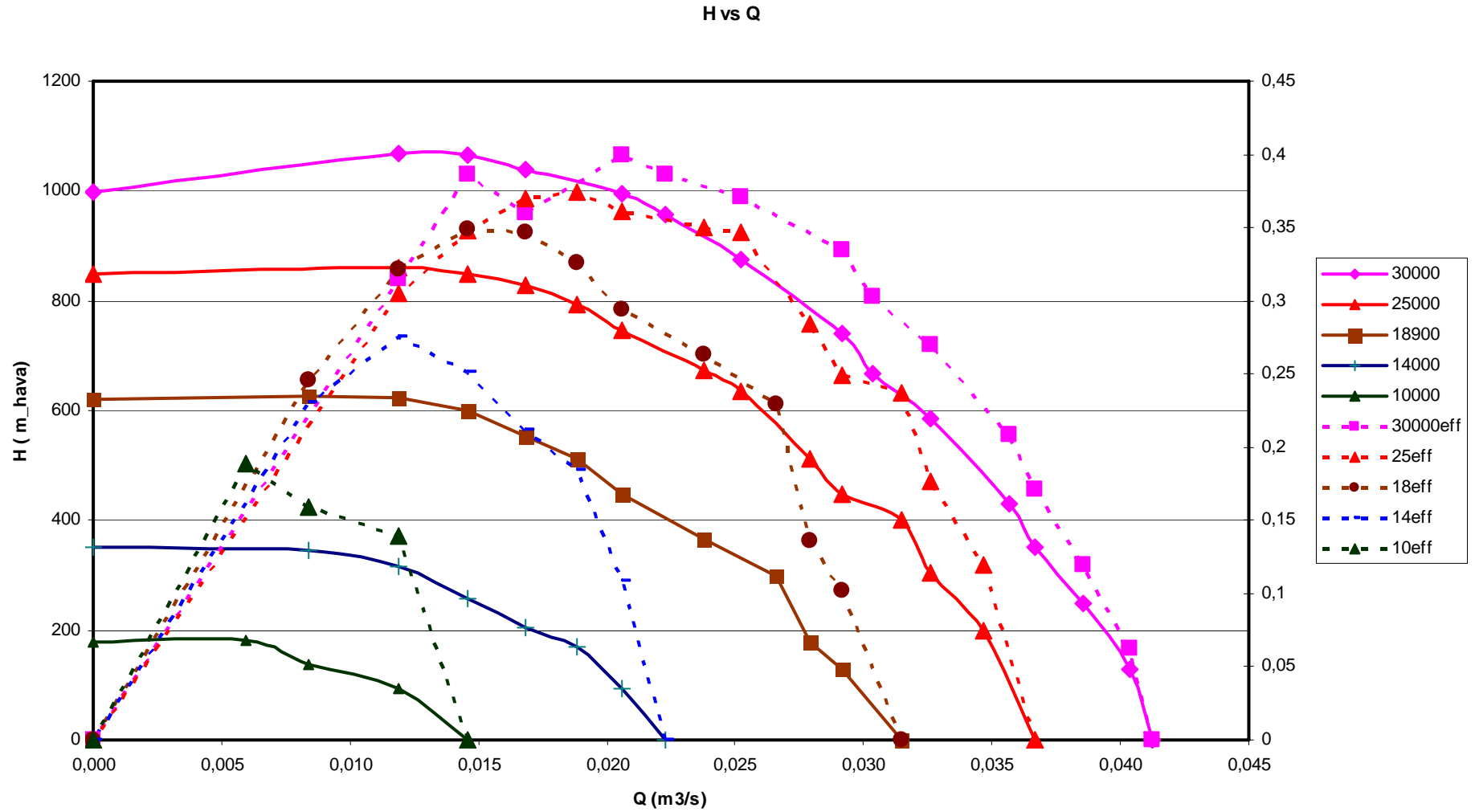
Deney düzeneğinin son hali Şekil 3.7’de verilmiştir. Düzeneğe ait teknik çizimler Ek D’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Fan Performans Karakteristiklerinin Çıkarımı için Kullanılan Deney Düzeneği.

3.2 Fan Karakteristiği Deney Sonuçları

Deneylere, fan çıkışının tam açık olduğu konumdan başlanmış, motorun çektiği akım, çalıştığı voltaj aralığı ve manometrelerdeki fark kaydedilmiştir. Eğik manometrede 1 mm'lik farklarla hava hızı sıfır olana kadar aynı değişkenler kaydedilerek fan karakteristiği için gerekli veriler elde edilmiştir. Deneyler 5 ayrı fan hızı için tekrar edilmiştir. Bu hızlar; 10000 d/d, 14000 d/d, 18900 d/d, 25000 d/d, 30000 d/d. dir Tüm hızlara ait karakteristik eğrileri şekil 3.8'de verilmektedir.



Şekil 3.8 Fan Performans Karakteristikleri

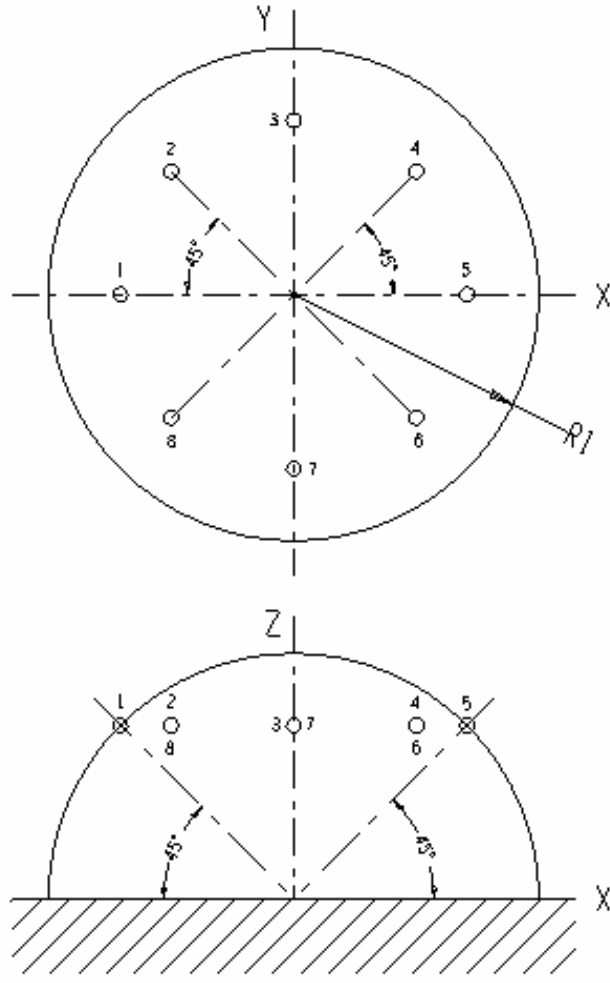
3.3 Küçük Santrifüj Fanların Gürültüsü'nün Elektrik Süpürgesi Gürültüsüne Etkisi

Önceki deneylerle karakteristik eğrileri elde edilen radyal fan Arçelik elektrik süpürgesinde kullanılmaktadır. Fanın tek başına yaratacağı gürültünün ölçülmesi yerine, çalışma ortamı olan elektrik süpürgesi içindeki gürültüsünü ölçmek, yapılacak değişikliklerin kıyaslanması açısından da daha sağlıklı sonuçlar vermesi beklenmektedir. Fan giriş ve çıkışında yapılacak değişiklikler de, elektrik süpürgesi üzerindeki malzemelerin değiştirilmesi ile sağlanmış ve böylece kullanım esnasında bu malzemelerin fana göre konumları da göz önünde bulundurularak gerçekçi ses ölçümleri yapılmıştır.

Rayda fanın kullanıldığı elektrik süpürgesi yarı-çınlamalı oda içinde test edilmiştir. Elektrik süpürgesinin gürültüsü üzerine deneyler, prototip-son ürün, kapak-HEPA filtresi-sünger, motor kaplaması, torba doluluğu etkilerinin karşılaştırılması için 13 farklı şartta tekrarlanmıştır.

3.4 Deney Düzenegi

Gürültü deneyleri için ISO 3745 Standardına uyulmuştur. ISO 3745 Standardına göre yarı-çınlamalı odanın yansıtma yüzeyinin (tabanının) ortasına yerleştirilen ses kaynağının etrafında 1 m yarıçapında bir yarım küre üzerinde 20 ayrı noktadan ses basıncı verisi toplanmıştır. Deneylerde ses basıncı ölçümleri için sadece 2 mikrofon kullanılmış, tekrarları azaltmak amacıyla, elektrik süpürgesi etrafında 1 m yarı çapındaki bir yarım kürenin üzerinde 8 noktadan 30 saniye boyunca ses basıncı ölçümü alınmıştır. Bu noktalar Şekil 3.9'da görülmektedir. Oda içinde mikrofon konumlarını değiştirmek yerine, elektrik süpürgesi mikrofonlara göre dört farklı açıda yerleştirilmiş ve toplam sekiz ayrı noktadan veri toplanmıştır. Oda içinde mikrofonların elektrik süpürgesine göre konumları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Yarım Küre Üzerinde Ses Basıncı Ölçümü Yapılan Noktalar.



a) $Açıl = 0^\circ$

b) $Açıl = 45^\circ$



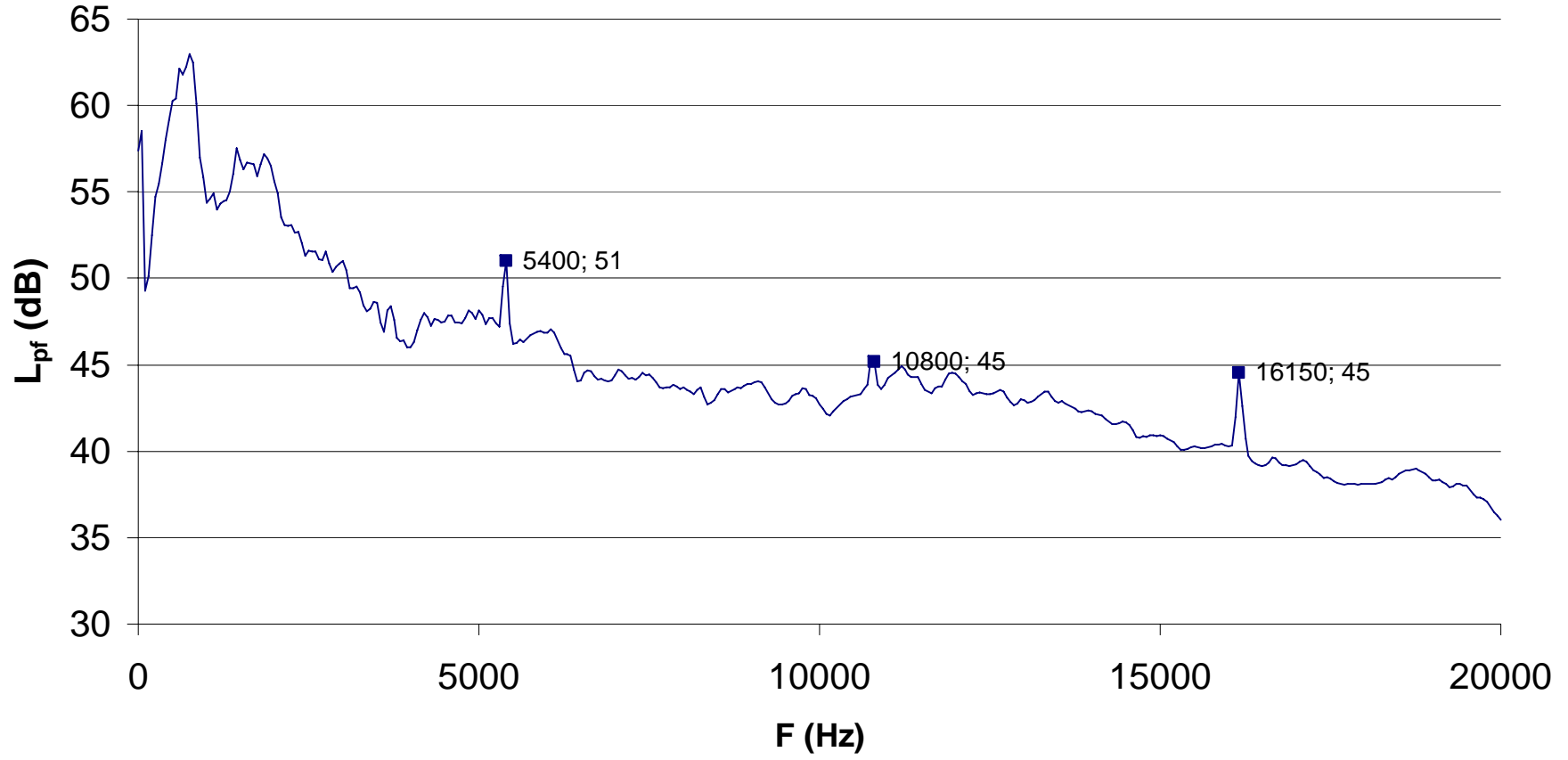
c) $Açıl = 90^\circ$

d) $Açıl = 135^\circ$

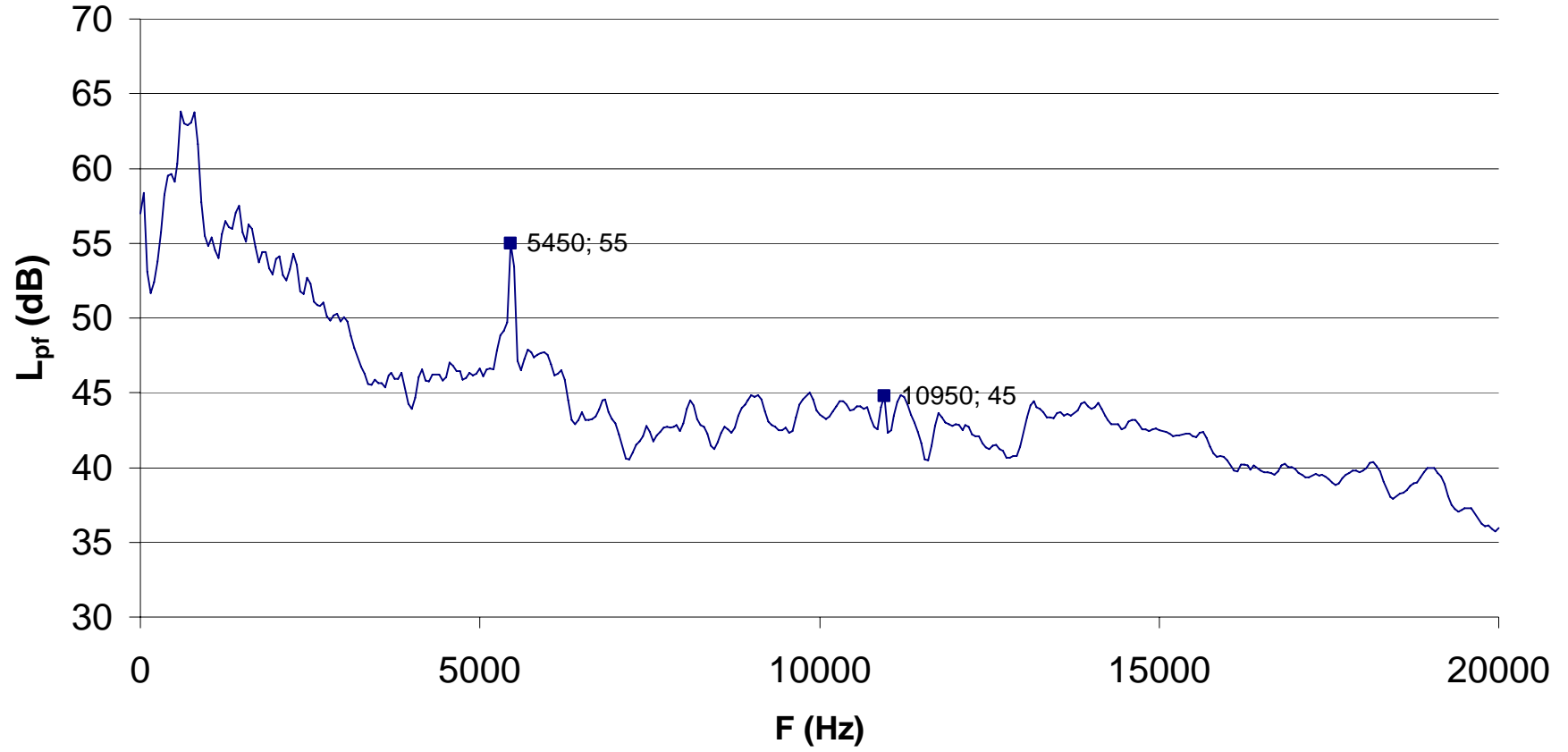
Şekil 3.10 Mikrofon ve Elektrik SüpürGESİNİN Konumları.

3.4 Elektrik SüpürGESİ Gürültüsü Deney Sonuçları

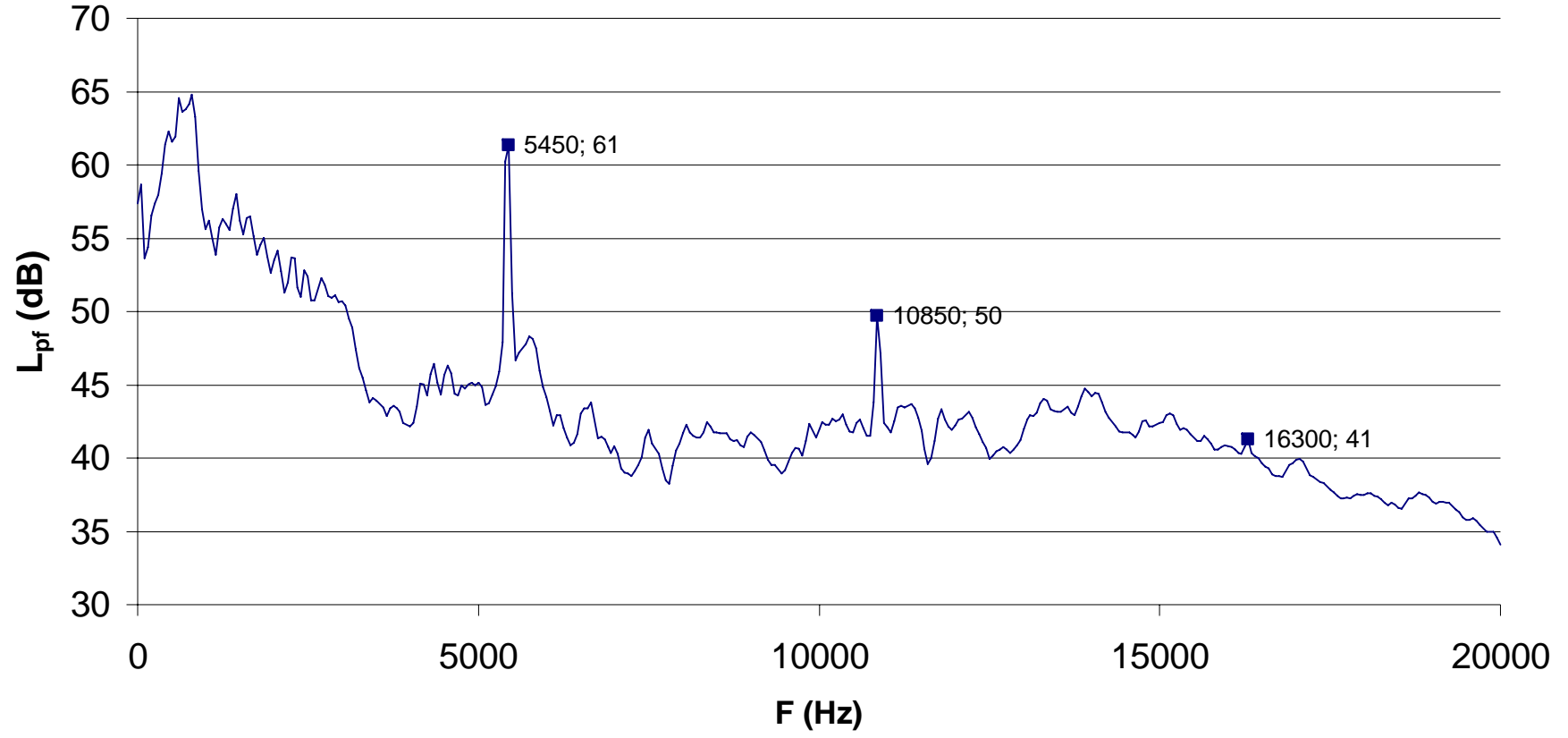
Tüm deneylerin spektrumlarında kanat geçme frekansı 5400 Hz ile ikinci, üçüncü harmonikleri görülmektedir. Elektrik süpürGESİNİN farklı çalışma koşulları için ses spektrum grafikleri Şekil 3.11-3.16'da verilmiştir.. Ek E'dedir.



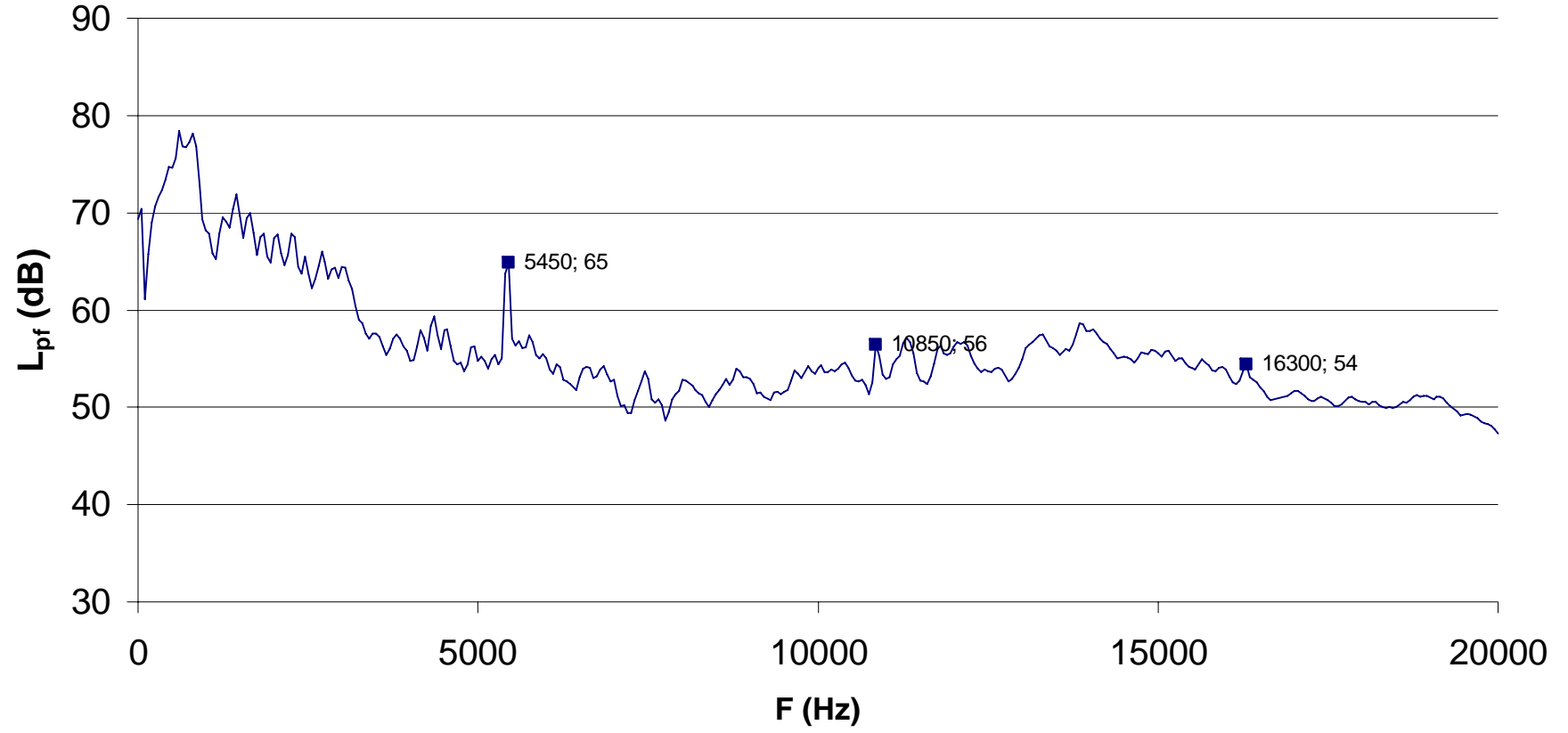
Şekil 3.11 Elektrik Süpürgesi Kapak, HEPA Filtresi ve Sünger ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.



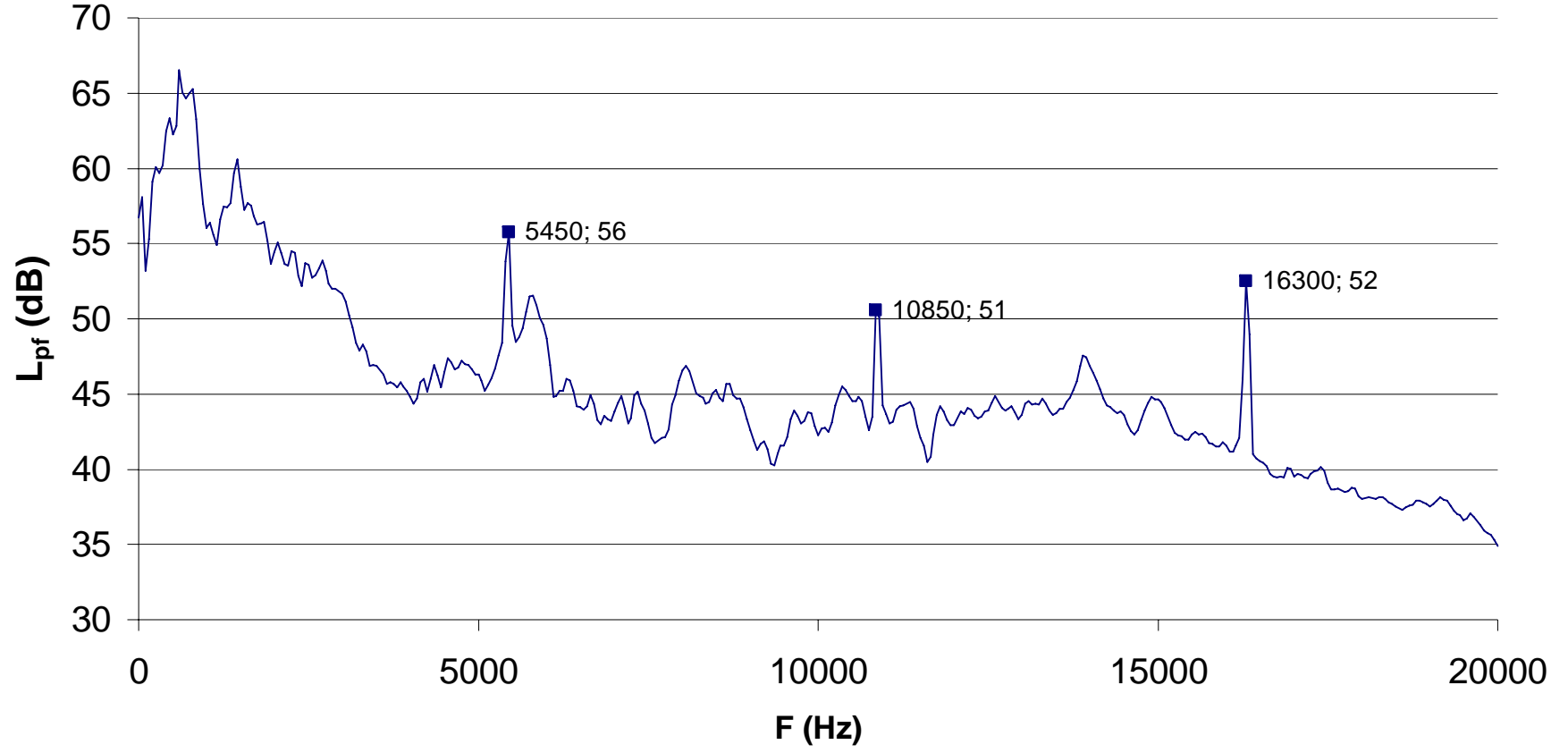
Şekil 3.12 Elektrik Süpürgesi Kapak ve HEPA Filtresi ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.



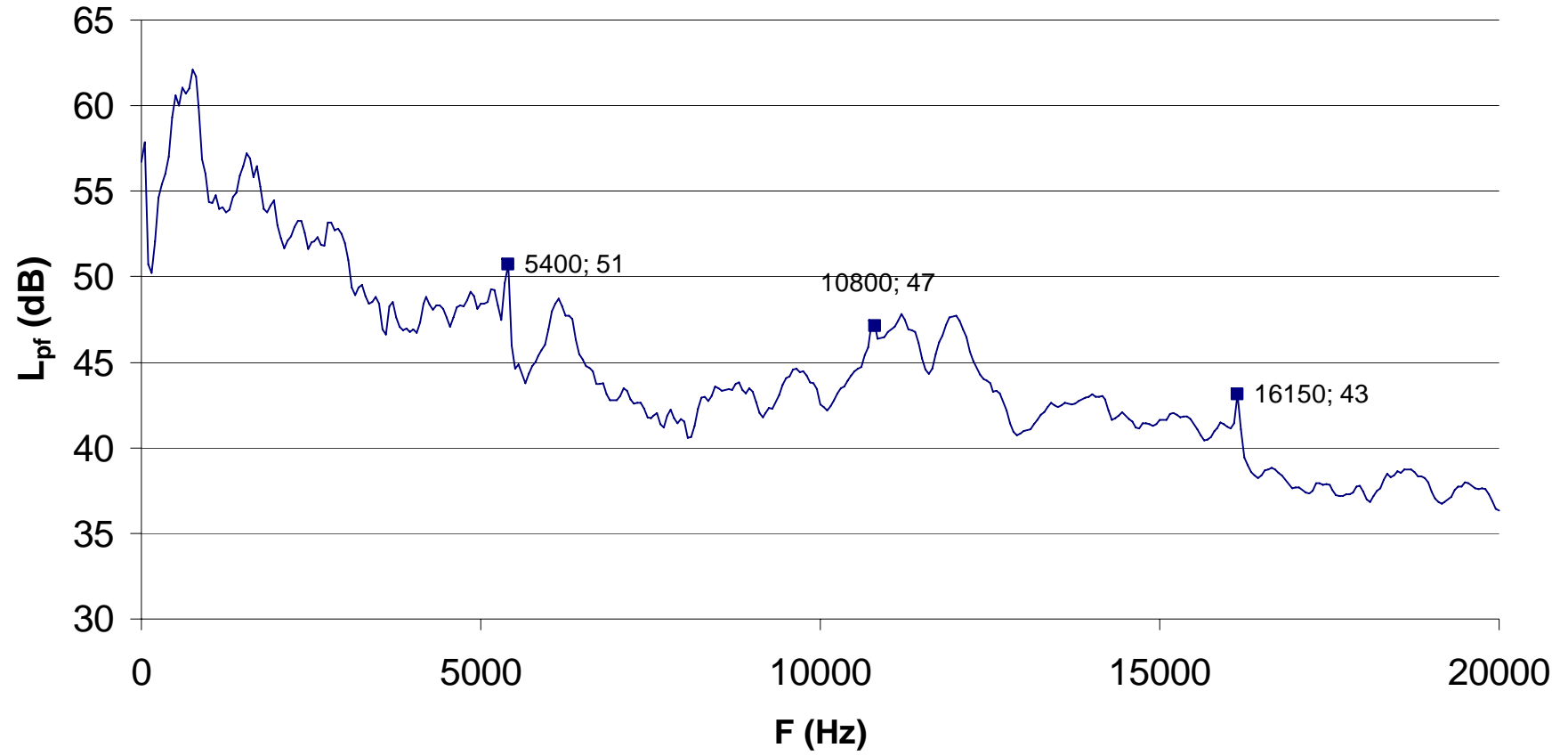
Şekil 3.13 Elektrik Süpürgesi Kapak ve Sünger ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.



Şekil 3.14 Elektrik Süpürgesi Sadece Kapak ile Çalışırken Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.

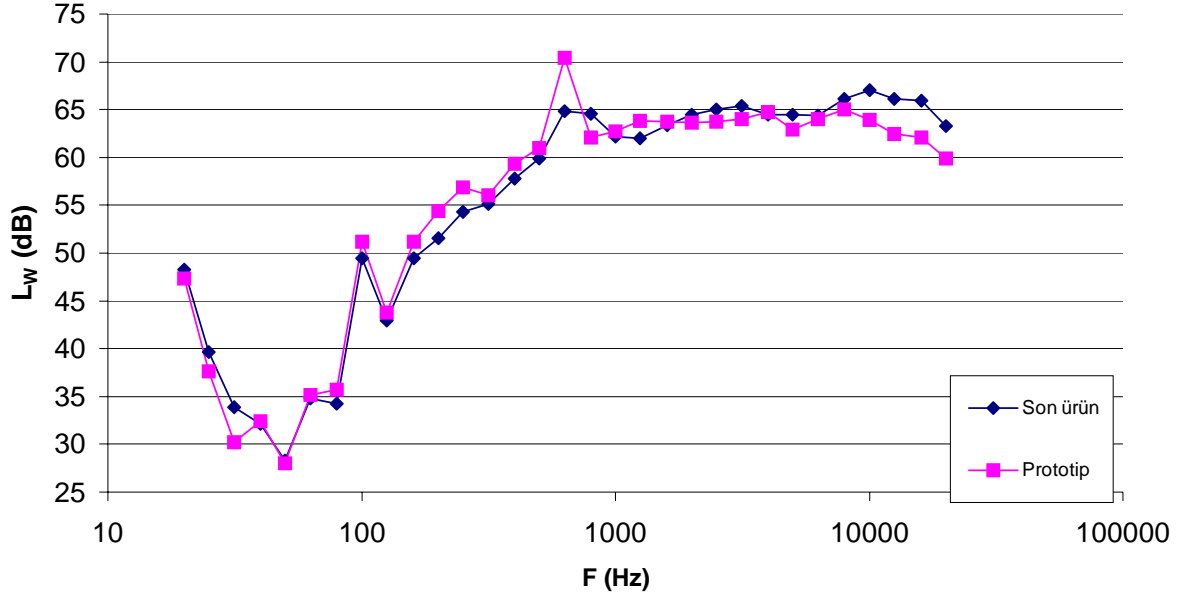


Şekil 3.15 Elektrik Süpürgesi Tüm Parçalar Çıkarıldıktan Sonra Çalışırken Ses basıncı Düzeyi Spektrumu.



Şekil 3.16 Elektrik Süpürgesi Kapak, HEPA filtresi, Sünger ile Torbası Tam Dolu iken Çalıştırıldığında Ses Basıncı Düzeyi Spektrumu.

Prototip süpürge'nin gürültü seviyesi yüksek frekanslarda son ürün'den daha düşük çıkmıştır. Bu, Şekil 3.12'de görülmektedir. Bunun sebebi prototipte daha küçük bir motor kullanılmasıdır.

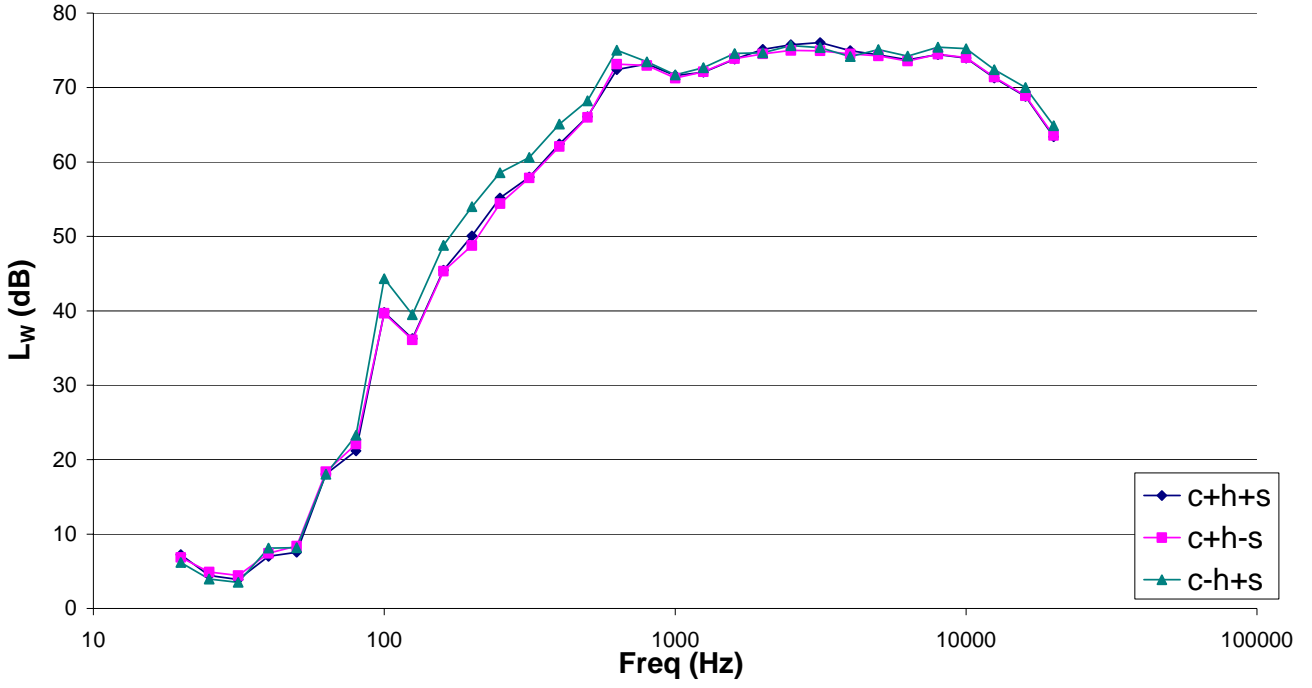


$L_{WA}(\text{son ürün})$	85,66
$L_{WA}(\text{prototip})$	85,41

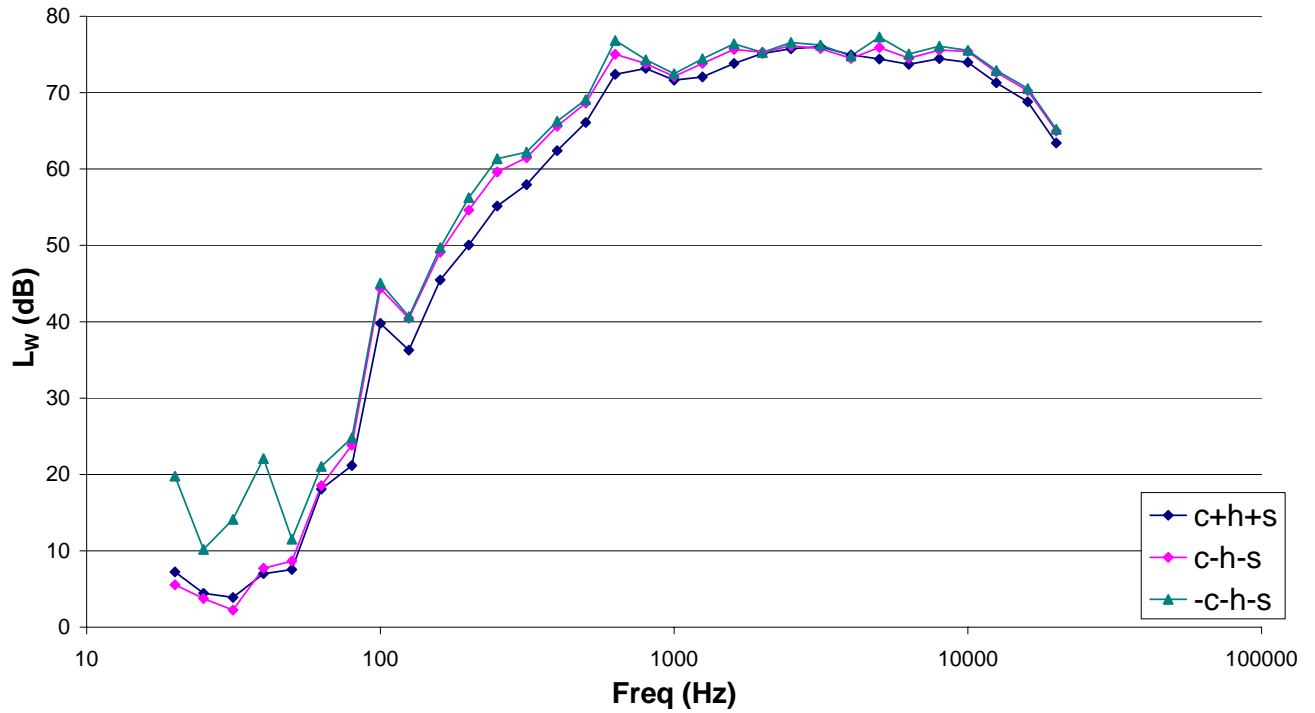
Şekil 3.17 Prototip ve Son Ürünün Ses Gücü Düzeylerinin Kıyaslanması

Motorun arkasında bulunan sünger çıkartıldığında motorun çalışması rahatladığı için gürültüsü azalmıştır. Fakat HEPA filtresinin çıkarılması aynı sonucu vermemiştir. Şekil 3.13'teki grafiklerde elektrikli süpürge'nin arkasındaki kapak (c), HEPA filtresi (h) ve siyah süngerin (s) 5 değişik durumundaki ses bilgisi sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Grafik isimlerindeki “+” o parçanın olduğunu, “-” ise olmadığını göstermektedir.

$L_{WA}(c+h+s)$	85,66
$L_{WA}(c+h-s)$	85,40
$L_{WA}(c-h+s)$	86,16
$L_{WA}(c-h-s)$	86,61
$L_{WA}(-c-h-s)$	87,22



a) Makina Üzerinde Kapak varken HEPA Filtresi ve Süngerin Ses Düzeyine Etkileri.

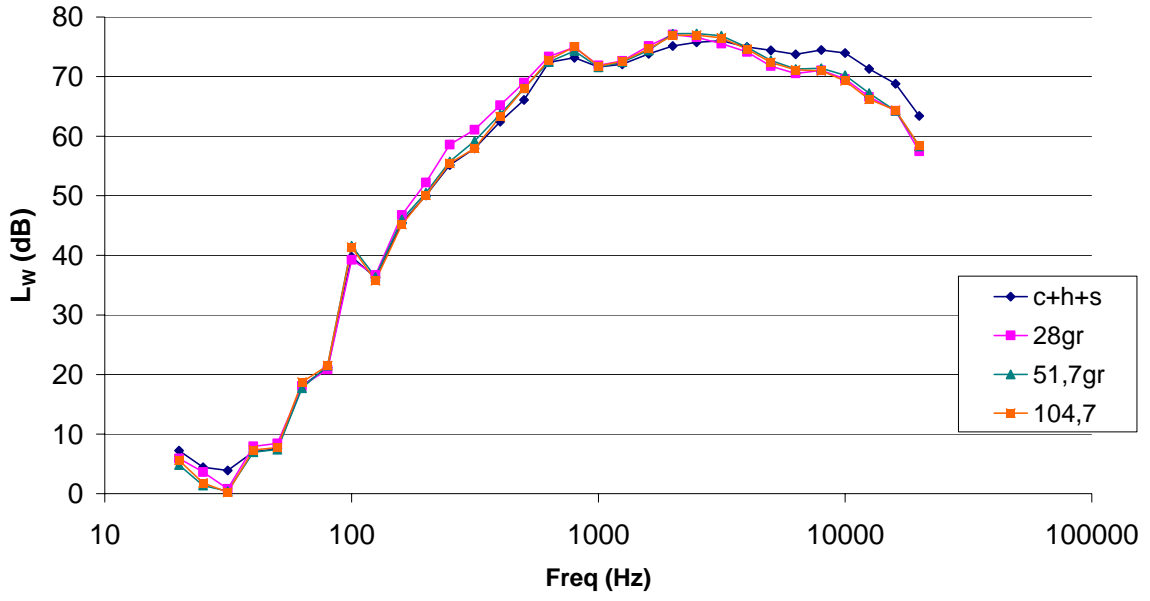


b) Makina Üzerinde Kapağın Ses Düzeyine Etkisi.

Şekil 3.18 Elektrik Süpürgesinin Arkasındaki Kapak(c), HEPA Filtresi(h) ve Siyah Süngerin(s) Değişik Durumlarda Ses Düzeyine Etkileri.

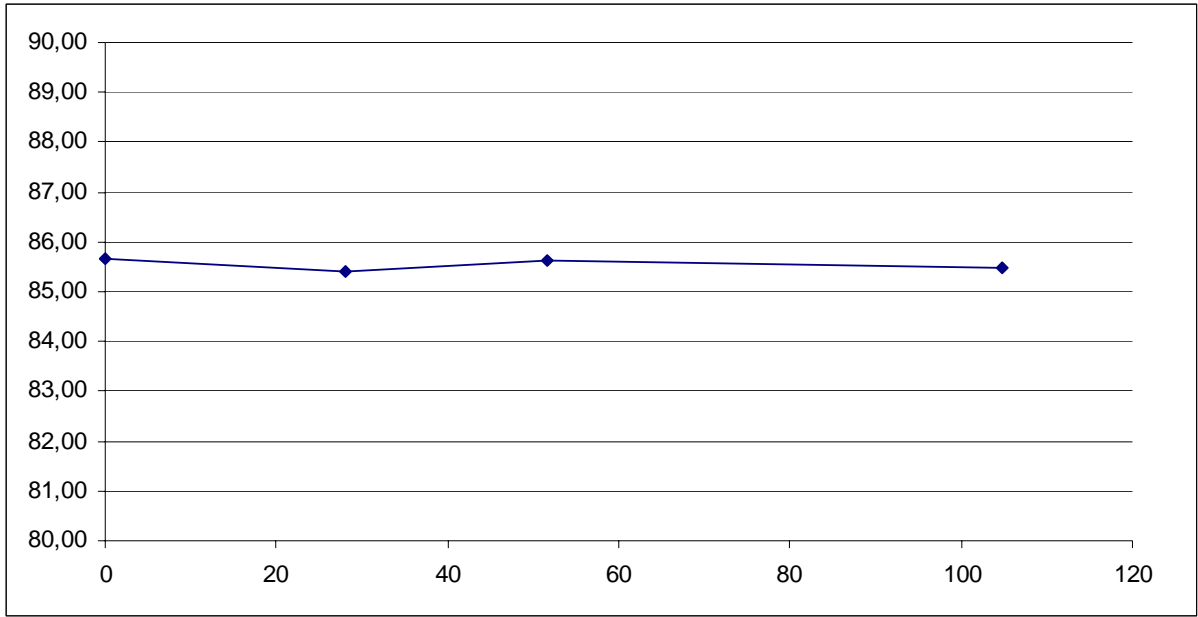
Süpürge üzerinde yapılan ses deneylerinden biri de, toz torbasını değişik ağırlıklardaki malzemeye doldurularak elektrik süpürgesi çalışırken ses gücü düzeylerinin

karşılaştırılmasıdır. Süpürge torbası talaşla doldurulmuştur fakat, talaş torbanın gözeneklerini tıkamadığı için bunun deneysel bir getirisi olmamıştır. Bu deneylerden elde edilen ses gücü spektrumları Şekil 3.14'teki grafikte verilmiştir. Toplam ses gücü düzeyinin torba içindeki ağırlıkla değişimi ise Şekil 3.15'teki grafikte görülmektedir.



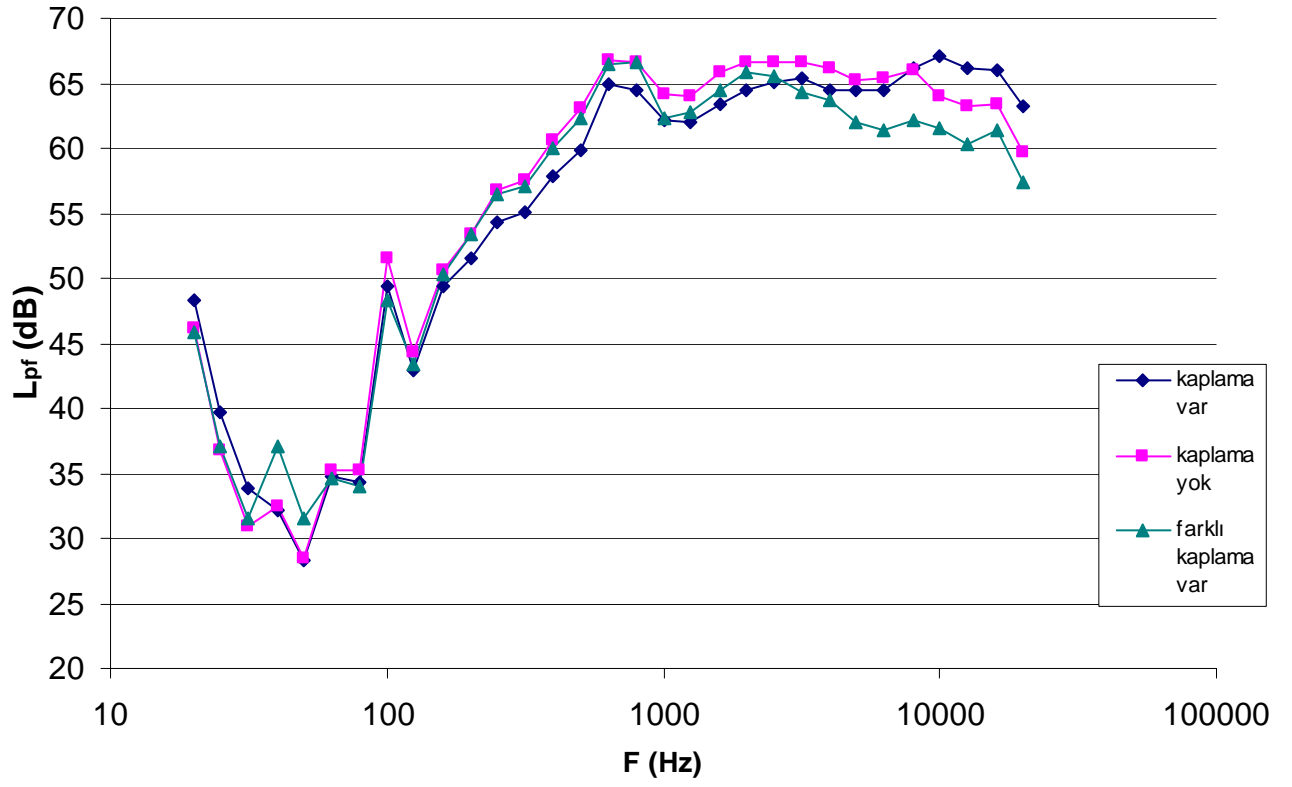
$L_{WA}(c+h+s)$	85,66
$L_{WA}(28gr)$	85,40
$L_{WA}(51,7gr)$	85,61
$L_{WA}(104,7)$	85,49

Şekil 3.19 Süpürge Torbasının Farklı Ağırlıklarda Oluşturduğu Gürültü.



Şekil 3.20 Ses Gücü Düzeyinin Torba İçindeki Ağırlıkla Değişimi

Motoru kaplayan tekstil malzemesi çıkarıldığında, bu malzemenin 5000 Hz'e kadar olan sesin yutulmasında etkili olduğu görülmüştür. Motor, çıkışında bulunan sünger ile kaplandığında ise 5000 Hz'in üzerindeki gürültünün etkin olarak yutulduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Bu iki malzemenin bir arada kullanılması motora ait ses gücü düzeyinin düşürülmesinde etkili sonuç verecektir.



L_{WA} (kaplama var)	85,66
L_{WA} (kaplama yok)	86,88
L_{WA} (farklı kaplama var)	85,21

Şekil 3.21 Motor Kaplamasının Ses Basıncı Düzeyi Üzerinde Ekisi.

4. SANTRİFÜJ FAN GÜRÜLTÜSÜ İLE İLGİLİ TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın amacı beyaz eşyada kullanılan santrifüj fanların ses gücü düzeyini tahmin etmeye yarayan bir metod oluşturmaktır. Kullanılacak metod “Aero- Acoustic Analogy (AAA)” temel alınarak oluşturulmuştur. Çalışma öncelikle Bulaşık makinalarında kullanılan kurutma fanlarının gürültü düzeyini düşürme ihtiyacından kaynaklanmıştır. Daha önce yapmış olan ters mühendislik ve tamamen deneysel çalışmalardan kaynaklanan bilgi birikimi ile yapılacak fan tasarımı yerine, Daha sistematik bir metodoloji oluşturmak bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Çalışmanın başlangıç noktası CFD metodu kullanarak geometrisi tarif edilen veya konvansiyonel tasarım metodları ile geometrisi belirlenmiş bir santrifüj fanın akış analizinin yapılmasıdır. Bu metodla, CFD analizlerinden alınan basınç ve hızın zamana bağlı dağılımına bağlı olarak gürültünün kaynaklandığı odaklar ve mekanizmalar tanımlanmıştır. Ayrıca belirlenen noktalardaki gürültü düzeyi ile ilgili tahminler yapılabilmektedir. Tahmin metodunun güvenilirliği yapılan deneysel verilerle kontrol edilmiş ve tatmin edici sonuçlar alınmıştır.

Daha önce “ISO 5136: 2003, Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices – In-duct method”, “ISO 5801: 1997, Industrial fans – Performance testing using standardized airways” standartlarına uygun olarak kurulması planlanan deney düzeneği, modelleme ve ölçümlerde deney düzeneğinin seçiminden kaynaklanacak hata payının yüksek olması nedeniyle değiştirilmiştir. Yeni düzenek çınlamasız (anechoic) bir ses ölçüm odası ve AMCA standartlarına uygun bir fan karakteristiği ölçüm düzeneğinden oluşmuştur. Çalışmada fan ve salyangoz kaynaklı gürültünün modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada, fan tasarım parametrelerinin fan gürültüsü üzerindeki etkisi teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Teorik çalışmada, hava akışı kaynaklı gürültüleri tahmin etmek için hesaplamalı aero-akustik metodu kullanılmıştır. Bu metod akış çözücü ile dalga denklemi çözücüsünün ortak kullanımından oluşmaktadır. Durağan olmayan akışın analizi URANS metoduyla FLUENT kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra zamana bağlı veriler LMS Sysnoise programına aktararak akustik yayılım çözülmüştür. Teorik çalışmaların doğrulanması ve

değişik tasarım alternatiflerinin fan gürültüsü üzerindeki etkisi deneysel olarak çalışılmıştır. Ses basıncı ve ses şiddeti ölçümleri Arçelik A.Ş. Ar-Ge tam yansız ses odasında yapılmıştır. Doğrulama deneyleri sayısal simülasyon ile deneysel verilerin uyumlu olduğunu göstermektedir. Fan tasarımında yapılan değişikliklerin ses yayılımı üzerindeki etkisinin incelendiği deneysel çalışmalar sonucunda fanın gürültü seviyesini azaltacak bilgiler edinilmiştir.

Bu çalışmalarla ilgili detaylar ve sonuçlar, raporun sonunda EK-D'de verilmiş olan makalede ve EK-C'de özeti verilmiş olan doktora tez çalışmasında yer almaktadır.

5. SONUÇLAR

5.1 Küçük Boy Pompalarda Tasarım Dışı Çalışma Koşullarında Gürültü Kaynaklarının Deneysel İncelenmesi

Bu çalışmada deneyler iki aşamada ve iki ayrı deney düzeneğinde yürütülmüştür. İlk deney düzeneğinde pompa gürültüsü iki farklı dönme hızında, farklı çalışma noktalarında ölçülmüştür. İkinci düzenekte, önceki deneyler tekrar edilmiş ve pompa giriş-çıkışındaki hidrolik basınç verileri de kaydedilmiştir. Ses basıncı ve hidrolik basınçlar tasarım noktasında ve yarı yüklü çalışmada karşılaştırılmıştır. Deneyler sırasında arka plan gürültüsü kabul edilebilir bir düzeyde tutulmuştur.

Pompanın tasarım dışı noktada çalışması ses odaklı olarak incelenmiştir. Pompa iki farklı düzenekte çalıştırılmıştır. İkinci düzenekte pompa giriş ve çıkışında zamana bağlı basınç ölçümü ses basıncı ile beraber ölçülmüştür ve basınçlar arasında çapraz doğrulama (cross-correlation) yapılmıştır. FFT çevirimi ve çapraz doğrulama analizi SAMURAI yazılımı ile yapılmıştır. FFT için Hanning window kullanılmış, çapraz doğrulama için de doğrusal yineleme ile ortalama hesaplanmıştır. Frekanslar kanat geçme frekansı ile normalize edilmiş, ses ve basınç spektrumları tüm deney setleri için karşılaştırılmıştır.

Pompa Çark Gürültüsü

Dört mikrofonun ses basınç ortalaması hesaplanmıştır. İki pompa hızı için de kanat geçiş frekansı gözlenmiştir. Kanat geçiş frekansının 3,5 katı ve harmoniklerindeki sıçramalar çoğu çalışma koşulunda tespit edilmiştir. Baskın sıçrama frekansları Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Pompa giriş ve çıkış basınç spektrumlarında birbirini, mil dönme hızının iki katı farkla takip eden basınç sıçramaları vardır. Pompa içinde, çarkın arkasında üç adet sabit kanat vardır. Bunlardan kaynaklanması beklenen sıçramalar, kanat geçiş frekansının 3/7 katındadır.

Eşevre spektrumları Şekil 4.1’de verilmiştir. Kanat geçiş frekansı ile normalize edilmiş frekanslar Tablo 4.2’de listelenmiştir. Mil dönme hızı kanat geçiş frekansının 1/7 katındadır. Kanat geçiş frekansının 3/7 katında beklenen sıçrama pompa çıkış frekansında

gözenmiştir. Pompa giriş ve çıkış basıncında kanat geçiş hızının 6/7 katı ve harmoniklerinde pik vardır. Sonuçlar Tablo 4.2’de sunulmuş, harmonikler yıldız ile işaretlenmiştir.

Rulman Gürültüsü

Motor gürültüsü pompa ile karşılaştırıldığında düşüktür. Fakat pompa gürültü spektrumunda kanat geçiş frekansının 1,7 katı, 3,5 katı ve mil dönme frekansının 24 katına denk gelen sıçramalar motordan kaynaklanmaktadır.

Pompanın kanat geçiş frekansı ile rulmanların bilye geçiş frekansı birbirine eşittir. 608Z rulmanının hasar titreşim frekansları verilen bilye çapı ve delik - dış bilezik çaplarının ortalaması ile hesaplanmıştır. Bu rulman için hasar titreşim frekanslarının kanat geçiş frekansına oranları; $f_o = 0.368$, $f_i = 0.632$, $f_{bd} = 0.502$ ve kafes dönme frekansının kanat geçiş frekansına oranı; $f_c = 0.0525$ dir.

Pompa Gürültüsünün azaltılmasına yönelik çıkarımlar

DeneySEL çalışmaların sonuçlarından çıkarılan ve yukarıda özetlenen baskın frekansların, pompa tasarımında kesinlikle göz önünde bulundurulması, ve tasarımılanan pompanın ya bir sonraki bölümde satrifüj fan’a uygulandığı şekliyle sayısal bir analizle değerlendirilmesi ve icabında tasarım değişikliklerine gidilerek baskın frekansların etkilerinin düşürülmesi gereklidir. Tabii ki bunu takip eden prototip çalışmasında gürültü denetlerinin tekrarı ve icabında bunlara dayanarak tekrar bazı tasarım düzeltmelerine gidilmesi faydalı olacaktır.

5.2 Elektrik SüpürGESİNİN Gürültü YayıNımının ve Akustik Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Motorun arkasında bulunan sünger çıkartıldığında motorun çalışması rahatladığı için gürültüsü azalmıştır. Fakat HEPA filtresinin çıkarılması aynı sonucu vermemiştir. Şekil 3.13’teki grafiklerde elektrikli süpürGENİN arkasındaki kapak (c), HEPA filtresi (h) ve siyah süngerin (s) 5 değişik durumundaki ses bilgisi sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Grafik isimlerindeki “+” o parçanın olduğunu, “-” ise olmadığını göstermektedir.

Süpürge üzerinde yapılan ses deneylerinden biri de, toz torbasını değişik yoğunluklardaki malzemeyle doldurulup elektrik süpürgesi çalışırken ses gücü düzeylerinin karşılaştırılmasıdır. Süpürge torbası talaşla doldurulmuştur fakat, talaş torbanın gözeneklerini tıkamadığı için bunun deneysel bir getirisi olmamıştır. Bu deneylerden elde edilen ses gücü spektrumları Şekil 3.14'teki grafikte verilmiştir. Toplam ses gücü düzeyinin torba içindeki yoğunlukla değişimi ise Şekil 3.15'teki sunulmuştur.

Ayrıca elektrik süpürgesi içindeki yalıtım materyalleri değiştirilerek farklı yutma katsayısı olan yalıtım materyali ile ses deneyleri tekrarlanmıştır. Sonuç olarak elektrik süpürgesindeki hava kaynaklı gürültünün hava yollarında ve süpürge motorunda kullanılan yalıtım materyallerinden çok elektrik süpürgesi kasasının rezonansına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre kanat geçiş frekansı ve katlarının rezonans yani baskın gürültüye sebep olduğu gözlemlenmiştir.

5.3 Santrifüj Fan Gürültüsü ile İlgili Teorik ve Deneysel Çalışmalar

Çalışmanın amacı beyaz eşyada kullanılan santrifüj fanların ses gücü düzeyini tahmin etmeye yarayan bir metod oluşturmaktır. Kullanılacak metod Aero- Acoustic Analogy (AAA) temel alınarak oluşturulacaktır. Çalışmanın başlangıç noktası CFD metodu kullanarak akış analizinin yapılmasıdır. CFD analizinden alınan basınç ve hızın zamana bağlı dağılımına bağlı olarak ses kaynakların yeri tanımlanacaktır ve buna göre gürültü düzeyi tahmin edilecektir. Tahmin metodunun güvenilirliği deneysel verilerle kontrol edilecektir.

Daha önce ‘ISO 5136: 2003, Acoustics - Determination of sound power radiated into a duct by fans and other air-moving devices – In-duct method’, ‘ISO 5801: 1997, Industrial fans – Performance testing using standardized airways’ standartlarına uygun olarak kurulması planlanan deney düzeneği modelleme ve ölçümlerde deney düzeneğinin seçiminden kaynaklanacak hata payının yüksek olması nedeniyle değiştirilmeye karar verilmiştir. Yeni düzenek anechoic bir ses ölçüm odası ve AMCA standartlarına uygun bir fan karakteristiği ölçüm düzeneği olacaktır. Çalışmada fan ve casing kaynaklı gürültünün modellenmesi üzerinde yoğunlaşılacaktır.

Bu raporda, çalışmanın özeti ile birlikte analizde kullanılacak türbülanslı akış modelinin, şimdiye kadar üzerinde çalışılan deney düzeneğinin ve kullanılacak ölçüm metodunun olumsuz tarafları ve karar değişikliğinin nedenleri anlatılmaktadır.

5.4 Genel

TÜBİTAK 104M405 projesinde, genel olarak, ufak boyda santrifüj pompa ve fanların gürültü seviyelerinin uygun ortamda ölçülmesi ve gürültüye yönelik tasarım parametrelerinin belirlenmesi yönünde yapılan iki deneysel ve bir kuramsal, sayısal ve deneysel çalışmayı içermektedir.

Proje kapsamında aksiyel ve santrifüj pompa ve fanların gürültü seviyeleri ve akustik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma içinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında endüstri desteğiyle bu çalışmaya yönelik olarak yapılmış olan yarı-çınlamalı (semi-anechoic) oda kurulmuştur. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada inşa edilen odanın uluslararası standartlara uygunluğu belirlenmiş, ikinci aşamada santrifüj pompaların akışkandan (su) kaynaklanan akustik özellikleri ve gürültü düzeyleri ölçülmüş ve 3. aşamada santrifüj fanların akışkandan (hava) kaynaklanan gürültü ve ses özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Bunlara paralel olarak Arçelik ile beraber yürütülen çalışmalarda, santrifüj fanlarda tasarım aşamasında gürültü düzeyini düşürücü bir metodoloji kuramsal, sayısal ve deneysel olarak geliştirilmiştir. Çalışma sonunda akışkan etkisiyle oluşan ses ve gürültü düzeyleri ve buna bağlı bir tahmin ve ölçüm metodolojisi geliştirilmiştir. Proje paralelinde yapılacak çalışmalar, bir doktora çalışması ile 2 yüksek lisans çalışması yürütülerek tamamlanmıştır.

EK A

**ODA İLE İLGİLİ BOYUTLAR; TASARIM
PARAMETRELERİ VE TEMEL ÖLÇÜMLER**



a



b



c



d



e



f



h



i



j



k



l



m

Şekil A1. Yarı-Çınlamalı Odanın Yapım Aşamalarını Gösteren Fotoğraflar.

Tablo A-1 Oda Yeterlilik Deneyleri Ölçüm Sonuçları (1.Traverse)

Frequency	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Q1	q2	q3	q4	q5	q6
63	78,82	74,89	75,35	68,86	67,48	65,57	0,000115	0,00018	0,000171	0,000361	0,000423	0,000527
80	83,99	78,22	79,32	76,87	75,45	73,36	6,32E-05	0,000123	0,000108	0,000143	0,000169	0,000215
100	94	88,06	85,66	83	79,13	79,25	2E-05	3,95E-05	5,21E-05	7,08E-05	0,000111	0,000109
125	99	93,1	92	89,98	86,87	86,65	1,12E-05	2,21E-05	2,51E-05	3,17E-05	4,53E-05	4,65E-05
160	98,13	95,81	91,57	90,96	86,06	84,07	1,24E-05	1,62E-05	2,64E-05	2,83E-05	4,98E-05	6,26E-05
200	91,99	88,16	86,71	85,93	84,35	85,26	2,51E-05	3,91E-05	4,62E-05	5,05E-05	6,06E-05	5,46E-05
250	91,69	91,96	90,3	90,3	91,56	89,46	2,6E-05	2,52E-05	3,05E-05	3,05E-05	2,64E-05	3,37E-05
315	93,49	90,82	88,93	88,2	89,87	90,58	2,12E-05	2,88E-05	3,58E-05	3,89E-05	3,21E-05	2,96E-05
400	95,47	93,9	93,82	90,64	90,52	91,1	1,68E-05	2,02E-05	2,04E-05	2,94E-05	2,98E-05	2,79E-05
500	98,91	95,72	95,72	93,65	92,3	93,25	1,13E-05	1,64E-05	1,64E-05	2,08E-05	2,43E-05	2,18E-05
630	99,97	97,32	96	94,77	94,92	93,31	1E-05	1,36E-05	1,58E-05	1,83E-05	1,79E-05	2,16E-05
800	96,97	94,9	93,99	92,27	93,8	92,55	1,42E-05	1,8E-05	2E-05	2,44E-05	2,04E-05	2,36E-05
1000	90,1	87,81	86	86,68	84,77	85,1	3,13E-05	4,07E-05	5,01E-05	4,63E-05	5,77E-05	5,56E-05
1250	91,62	88	86,78	85,16	83,92	83,96	2,62E-05	3,98E-05	4,58E-05	5,52E-05	6,37E-05	6,34E-05
1600	87,66	85,56	84,9	83,78	81,75	81,78	4,14E-05	5,27E-05	5,69E-05	6,47E-05	8,18E-05	8,15E-05
2000	93,79	91	89,14	87,78	87,3	87,6	2,04E-05	2,82E-05	3,49E-05	4,08E-05	4,32E-05	4,17E-05
2500	91,42	88,89	86,51	85,57	84,72	84,41	2,69E-05	3,59E-05	4,73E-05	5,27E-05	5,81E-05	6,02E-05
3150	83,21	81,25	79,8	78,26	77,51	77	6,91E-05	8,66E-05	0,000102	0,000122	0,000133	0,000141
4000	83,39	80,23	79,36	77,85	77,33	76,23	6,77E-05	9,74E-05	0,000108	0,000128	0,000136	0,000154

Tablo A-1 Devamı

Frequency	Σq	$\Sigma r \cdot q$	A	r_0	Lp(1)	Lp(2)	Lp(3)	Lp(4)	Lp(5)	Lp(6)
63	0,001775	0,002908	2214,44	0,82811	82,20025	75,49698	71,75902	69,15417	67,15293	66,30227
80	0,000821	0,001303	7125,904	0,508186	83,22079	80,25702	78,05132	76,29383	74,8328	74,18518
100	0,000402	0,00066	9580,449	0,841512	95,6278	88,53823	84,68744	82,02874	79,99599	79,134
125	0,000182	0,000294	25726,21	0,702917	98,74997	94,27895	91,34183	89,15087	87,40273	86,64503
160	0,000196	0,000323	18798,87	0,870264	103,2214	95,1193	91,00144	88,21932	86,11544	85,22811
200	0,000276	0,00043	29319,7	0,134038	90,59321	88,78835	87,29477	86,02073	84,90989	84,40356
250	0,000172	0,000259	165511,6	-3,27347	91,76095	91,36368	90,98378	90,6198	90,27047	90,10093
315	0,000186	0,000282	107318,3	-1,84865	91,5207	90,93133	90,37942	89,8605	89,37084	89,13598
400	0,000144	0,000223	68278,93	-0,16018	95,39526	94,01383	92,82226	91,77461	90,83983	90,40765
500	0,000111	0,000172	79108,07	0,02162	98,15426	96,53871	95,17704	94,00018	92,96392	92,48875
630	9,73E-05	0,000151	89640,27	0,029554	99,31063	97,68303	96,31282	95,1296	94,08841	93,61116
800	0,00012	0,000184	110244,6	-0,73045	96,08399	95,134	94,27774	93,49837	92,78321	92,44656
1000	0,000282	0,000434	37926,57	-0,29763	89,31587	88,07079	86,98202	86,01465	85,1443	84,73979
1250	0,000294	0,000462	24105,72	0,301585	90,76013	88,57286	86,82707	85,37413	84,12976	83,56861
1600	0,000379	0,00059	21964,95	0,096081	87,71201	85,97586	84,52959	83,29012	82,20563	81,71026
2000	0,000209	0,000325	40492,48	0,071431	92,7912	91,09693	89,67981	88,46179	87,39375	86,90526
2500	0,000281	0,000439	27020,41	0,217999	90,76969	88,7916	87,18148	85,82367	84,6497	84,11731
3150	0,000655	0,00102	12459,07	0,12392	83,05884	81,27283	79,79216	78,52752	77,42382	76,92047
4000	0,000691	0,001078	11469,51	0,16216	82,72767	80,86829	79,3376	78,03668	76,90547	76,3907

TABLO A-1 Devamı

frequency	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Lp(1)	Lp(2)	Lp(3)	Lp(4)	Lp(5)	Lp(6)
63	78,82	74,89	75,35	68,86	67,48	65,57	82,20025	75,49698	71,75902	69,15417	67,15293	66,30227
80	83,99	78,22	79,32	76,87	75,45	73,36	83,22079	80,25702	78,05132	76,29383	74,8328	74,18518
100	94	88,06	85,66	83	79,13	79,25	95,6278	88,53823	84,68744	82,02874	79,99599	79,134
125	99	93,1	92	89,98	86,87	86,65	98,74997	94,27895	91,34183	89,15087	87,40273	86,64503
160	98,13	95,81	91,57	90,96	86,06	84,07	103,2214	95,1193	91,00144	88,21932	86,11544	85,22811
200	91,99	88,16	86,71	85,93	84,35	85,26	90,59321	88,78835	87,29477	86,02073	84,90989	84,40356
250	91,69	91,96	90,3	90,3	91,56	89,46	91,76095	91,36368	90,98378	90,6198	90,27047	90,10093
315	93,49	90,82	88,93	88,2	89,87	90,58	91,5207	90,93133	90,37942	89,8605	89,37084	89,13598
400	95,47	93,9	93,82	90,64	90,52	91,1	95,39526	94,01383	92,82226	91,77461	90,83983	90,40765
500	98,91	95,72	95,72	93,65	92,3	93,25	98,15426	96,53871	95,17704	94,00018	92,96392	92,48875
630	99,97	97,32	96	94,77	94,92	93,31	99,31063	97,68303	96,31282	95,1296	94,08841	93,61116
800	96,97	94,9	93,99	92,27	93,8	92,55	96,08399	95,134	94,27774	93,49837	92,78321	92,44656
1000	90,1	87,81	86	86,68	84,77	85,1	89,31587	88,07079	86,98202	86,01465	85,1443	84,73979
1250	91,62	88	86,78	85,16	83,92	83,96	90,76013	88,57286	86,82707	85,37413	84,12976	83,56861
1600	87,66	85,56	84,9	83,78	81,75	81,78	87,71201	85,97586	84,52959	83,29012	82,20563	81,71026
2000	93,79	91	89,14	87,78	87,3	87,6	92,7912	91,09693	89,67981	88,46179	87,39375	86,90526
2500	91,42	88,89	86,51	85,57	84,72	84,41	90,76969	88,7916	87,18148	85,82367	84,6497	84,11731
3150	83,21	81,25	79,8	78,26	77,51	77	83,05884	81,27283	79,79216	78,52752	77,42382	76,92047
4000	83,39	80,23	79,36	77,85	77,33	76,23	82,72767	80,86829	79,3376	78,03668	76,90547	76,3907

TABLO A-1.Devamı

frequency	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	$\Delta 5$	$\Delta 6$
63	-3,38025	-0,60698	3,590976	-0,29417	0,327066	-0,73227
80	0,769211	-2,03702	1,268682	0,57617	0,617197	-0,82518
100	-1,6278	-0,47823	0,972557	0,971255	-0,86599	0,116
125	0,250027	-1,17895	0,658168	0,829132	-0,53273	0,004966
160	-5,09141	0,690699	0,568559	2,740684	-0,05544	-1,15811
200	1,396791	-0,62835	-0,58477	-0,09073	-0,55989	0,856439
250	-0,07095	0,596323	-0,68378	-0,3198	1,289534	-0,64093
315	1,9693	-0,11133	-1,44942	-1,6605	0,499164	1,444018
400	0,07474	-0,11383	0,997735	-1,13461	-0,31983	0,69235
500	0,755737	-0,81871	0,542965	-0,35018	-0,66392	0,761254
630	0,659367	-0,36303	-0,31282	-0,3596	0,831592	-0,30116
800	0,886009	-0,234	-0,28774	-1,22837	1,016791	0,103437
1000	0,784134	-0,26079	-0,98202	0,665351	-0,3743	0,360212
1250	0,859867	-0,57286	-0,04707	-0,21413	-0,20976	0,391388
1600	-0,05201	-0,41586	0,370407	0,489884	-0,45563	0,069735
2000	0,998795	-0,09693	-0,53981	-0,68179	-0,09375	0,694739
2500	0,650309	0,098402	-0,67148	-0,25367	0,070298	0,292687
3150	0,151156	-0,02283	0,00784	-0,26752	0,086178	0,079534
4000	0,662327	-0,63829	0,022395	-0,18668	0,424535	-0,1607

Deviations from the inverse square law (Path 1)

Tablo A-2 Oda Yeterlilik Deneyleri Ölçüm Sonuçları (2.Traverse)

frequency	P7	P8	P9	P10	P11	q7	q8	q9	q10	q11
63	66,67	72,61	72,2	78,12	79	0,000464	0,000234	0,000245	0,000124	0,000112
80	71	74,85	76,44	81,82	84,98	0,000282	0,000181	0,000151	8,11E-05	5,64E-05
100	78,96	81,76	84	88,77	89,3	0,000113	8,17E-05	6,31E-05	3,64E-05	3,43E-05
125	87,47	89,62	92,45	93,92	97	4,23E-05	3,3E-05	2,39E-05	2,01E-05	1,41E-05
160	85,93	89,87	93,2	94	97,64	5,05E-05	3,21E-05	2,19E-05	2E-05	1,31E-05
200	85,2	85,95	87,85	89,86	93,67	5,5E-05	5,04E-05	4,05E-05	3,21E-05	2,07E-05
250	91,41	92,99	92,25	90,36	91,99	2,69E-05	2,24E-05	2,44E-05	3,03E-05	2,51E-05
315	90,92	89	89,27	91,48	95,11	2,84E-05	3,55E-05	3,44E-05	2,67E-05	1,76E-05
400	89,7	91,4	93,38	94,76	95,19	3,27E-05	2,69E-05	2,14E-05	1,83E-05	1,74E-05
500	91,56	91,2	94,7	95,11	97,11	2,64E-05	2,75E-05	1,84E-05	1,76E-05	1,39E-05
630	93,55	95,64	96,24	96,93	99,22	2,1E-05	1,65E-05	1,54E-05	1,42E-05	1,09E-05
800	91,3	92,64	93,13	95,43	97,87	2,72E-05	2,33E-05	2,21E-05	1,69E-05	1,28E-05
1000	84,81	86,74	87	87,38	90,78	5,75E-05	4,6E-05	4,47E-05	4,28E-05	2,89E-05
1250	86,6	83,63	86,3	88,36	90,05	4,68E-05	6,58E-05	4,84E-05	3,82E-05	3,14E-05
1600	83,9	83,64	83,83	84,57	84,67	6,38E-05	6,58E-05	6,43E-05	5,91E-05	5,84E-05
2000	85,82	87,26	88,39	91,46	94,14	5,12E-05	4,34E-05	3,81E-05	2,67E-05	1,96E-05
2500	84,83	87,43	88,78	90,96	92,77	5,73E-05	4,25E-05	3,64E-05	2,83E-05	2,3E-05
3150	76,28	77,69	78,57	80,72	82,98	0,000153	0,00013	0,000118	9,2E-05	7,1E-05
4000	76,04	79	78,91	81,24	82,5	0,000158	0,000112	0,000113	8,67E-05	7,5E-05

Tablo A-2 Devami

frequency	Σq	Σr^*q	A	r_0	Lp(7)	Lp(8)	Lp(9)	Lp(10)	Lp(11)
63	0,00118	0,001815	2458,374	0,819838	67,987	69,96926	72,54197	76,21357	82,69967
80	0,000751	0,001161	3631,224	0,854674	71,68943	73,75414	76,46794	80,43648	87,9542
100	0,000328	0,0005	9895,565	0,750487	79,48905	81,32541	83,65705	86,85397	91,96695
125	0,000133	0,000201	28868,33	0,629413	87,84036	89,46775	91,472	94,082	97,83063
160	0,000138	0,00021	23001,32	0,767114	86,954	88,82334	91,20854	94,50757	99,89217
200	0,000199	0,000296	23060,31	0,483453	84,86858	86,29976	88,01421	90,15241	92,99511
250	0,000129	0,00018	-449160	13,00543	92,05946	91,90579	91,7548	91,60639	91,46047
315	0,000143	0,000206	65393,76	-0,46436	89,21181	90,01501	90,90012	91,88577	92,99776
400	0,000117	0,000171	50882,26	0,211824	90,11336	91,28244	92,63372	94,23465	96,19887
500	0,000104	0,000152	57247,18	0,210624	91,13055	92,29869	93,6487	95,24786	97,20941
630	7,81E-05	0,000114	89174,35	0,006572	93,93112	94,95815	96,12311	97,46887	99,06207
800	0,000102	0,00015	56646,73	0,24079	91,20541	92,39777	93,78026	95,42523	97,45626
1000	0,00022	0,00032	33106,37	-0,05559	85,0286	86,01919	87,13747	88,42129	89,92835
1250	0,000231	0,000335	34298,48	-0,18231	84,76206	85,68582	86,71965	87,89337	89,25085
1600	0,000311	0,00044	114240,4	-5,71569	83,63702	83,87129	84,11206	84,35969	84,61459
2000	0,000179	0,000266	25097,19	0,501793	85,72563	87,17882	88,92498	91,11282	94,04431
2500	0,000188	0,000279	24121,89	0,495189	85,33727	86,78247	88,51707	90,68677	93,58565
3150	0,000565	0,000831	9831,407	0,28939	76,26927	77,50285	78,94108	80,66567	82,81969
4000	0,000545	0,000801	10468,51	0,258892	76,64104	77,84843	79,25117	80,92491	83,00007

TABLO A-32Devami

frequency	P7	P8	P9	P10	P11	Lp(7)	Lp(8)	Lp(9)	Lp(10)	Lp(11)
63	66,67	72,61	72,2	78,12	79	67,987	69,96926	72,54197	76,21357	82,69967
80	71	74,85	76,44	81,82	84,98	71,68943	73,75414	76,46794	80,43648	87,9542
100	78,96	81,76	84	88,77	89,3	79,48905	81,32541	83,65705	86,85397	91,96695
125	87,47	89,62	92,45	93,92	97	87,84036	89,46775	91,472	94,082	97,83063
160	85,93	89,87	93,2	94	97,64	86,954	88,82334	91,20854	94,50757	99,89217
200	85,2	85,95	87,85	89,86	93,67	84,86858	86,29976	88,01421	90,15241	92,99511
250	91,41	92,99	92,25	90,36	91,99	92,05946	91,90579	91,7548	91,60639	91,46047
315	90,92	89	89,27	91,48	95,11	89,21181	90,01501	90,90012	91,88577	92,99776
400	89,7	91,4	93,38	94,76	95,19	90,11336	91,28244	92,63372	94,23465	96,19887
500	91,56	91,2	94,7	95,11	97,11	91,13055	92,29869	93,6487	95,24786	97,20941
630	93,55	95,64	96,24	96,93	99,22	93,93112	94,95815	96,12311	97,46887	99,06207
800	91,3	92,64	93,13	95,43	97,87	91,20541	92,39777	93,78026	95,42523	97,45626
1000	84,81	86,74	87	87,38	90,78	85,0286	86,01919	87,13747	88,42129	89,92835
1250	86,6	83,63	86,3	88,36	90,05	84,76206	85,68582	86,71965	87,89337	89,25085
1600	83,9	83,64	83,83	84,57	84,67	83,63702	83,87129	84,11206	84,35969	84,61459
2000	85,82	87,26	88,39	91,46	94,14	85,72563	87,17882	88,92498	91,11282	94,04431
2500	84,83	87,43	88,78	90,96	92,77	85,33727	86,78247	88,51707	90,68677	93,58565
3150	76,28	77,69	78,57	80,72	82,98	76,26927	77,50285	78,94108	80,66567	82,81969
4000	76,04	79	78,91	81,24	82,5	76,64104	77,84843	79,25117	80,92491	83,00007

Tablo A-2 Devami

frequency	$\Delta 7$	$\Delta 8$	$\Delta 9$	$\Delta 10$	$\Delta 11$
63	-1,317	2,640742	-0,34197	1,906426	-3,69967
80	-0,68943	1,095864	-0,02794	1,383523	-2,9742
100	-0,52905	0,434589	0,342946	1,916034	-2,66695
125	-0,37036	0,152253	0,977997	-0,162	-0,83063
160	-1,024	1,046662	1,991462	-0,50757	-2,25217
200	0,331424	-0,34976	-0,16421	-0,29241	0,674891
250	-0,64946	1,084205	0,495197	-1,24639	0,529527
315	1,708191	-1,01501	-1,63012	-0,40577	2,112243
400	-0,41336	0,11756	0,746285	0,525355	-1,00887
500	0,429449	-1,09869	1,051299	-0,13786	-0,09941
630	-0,38112	0,681852	0,116894	-0,53887	0,157932
800	0,094594	0,242233	-0,65026	0,004775	0,413738
1000	-0,2186	0,720809	-0,13747	-1,04129	0,851649
1250	1,837944	-2,05582	-0,41965	0,466626	0,799147
1600	0,262979	-0,23129	-0,28206	0,210311	0,055414
2000	0,094375	0,08118	-0,53498	0,347179	0,095691
2500	-0,50727	0,647535	0,262933	0,273229	-0,81565
3150	0,010732	0,187155	-0,37108	0,054333	0,16031
4000	-0,60104	1,151574	-0,34117	0,315088	-0,50007

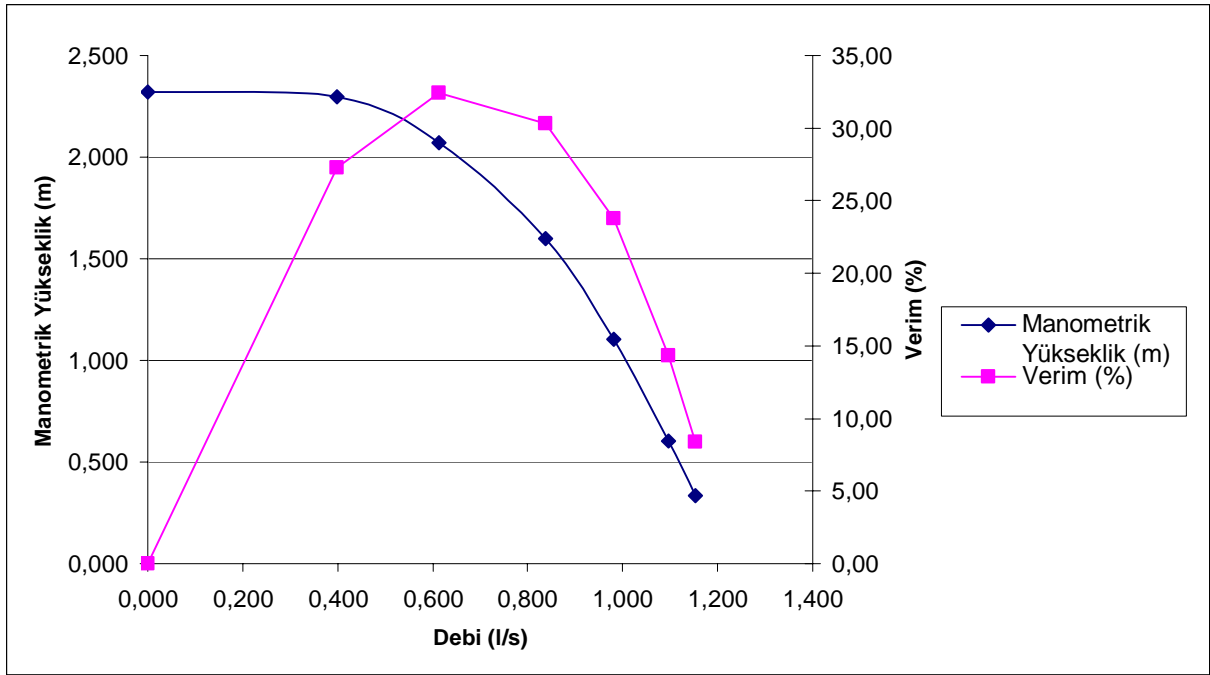
Tablo A-2 Devami

frequency	BΔ1	BΔ2	BΔ3	BΔ4	BΔ5	BΔ6	BΔ7	BΔ8	BΔ9	BΔ10	BΔ11
63	24,72	20,79	21,25	14,76	13,38	11,47	12,57	18,51	18,1	24,02	24,9
80	22,48	16,71	17,81	15,36	13,94	11,85	9,49	13,34	14,93	20,31	23,47
100	42,09	36,15	33,75	31,09	27,22	27,34	27,05	29,85	32,09	36,86	37,39
125	44,77	38,87	37,77	35,75	32,64	32,42	33,24	35,39	38,22	39,69	42,77
160	39,82	37,5	33,26	32,65	27,75	25,76	27,62	31,56	34,89	35,69	39,33
200	41,16	37,33	35,88	35,1	33,52	34,43	34,37	35,12	37,02	39,03	42,84
250	37,32	37,59	35,93	35,93	37,19	35,09	37,04	38,62	37,88	35,99	37,62
315	33,34	30,67	28,78	28,05	29,72	30,43	30,77	28,85	29,12	31,33	34,96
400	43,89	42,32	42,24	39,06	38,94	39,52	38,12	39,82	41,8	43,18	43,61
500	44,41	41,22	41,22	39,15	37,8	38,75	37,06	36,7	40,2	40,61	42,61
630	40,97	38,32	37	35,77	35,92	34,31	34,55	36,64	37,24	37,93	40,22
800	44,6	42,53	41,62	39,9	41,43	40,18	38,93	40,27	40,76	43,06	45,5
1000	35,47	33,18	31,37	32,05	30,14	30,47	30,18	32,11	32,37	32,75	36,15
1250	31,55	27,93	26,71	25,09	23,85	23,89	26,53	23,56	26,23	28,29	29,98
1600	34,17	32,07	31,41	30,29	28,26	28,29	30,41	30,15	30,34	31,08	31,18
2000	39,46	36,67	34,81	33,45	32,97	33,27	31,49	32,93	34,06	37,13	39,81
2500	31,1	28,57	26,19	25,25	24,4	24,09	24,51	27,11	28,46	30,64	32,45
3150	28,11	26,15	24,7	23,16	22,41	21,9	21,18	22,59	23,47	25,62	27,88
4000	28,53	25,37	24,5	22,99	22,47	21,37	21,18	24,14	24,05	26,38	27,64

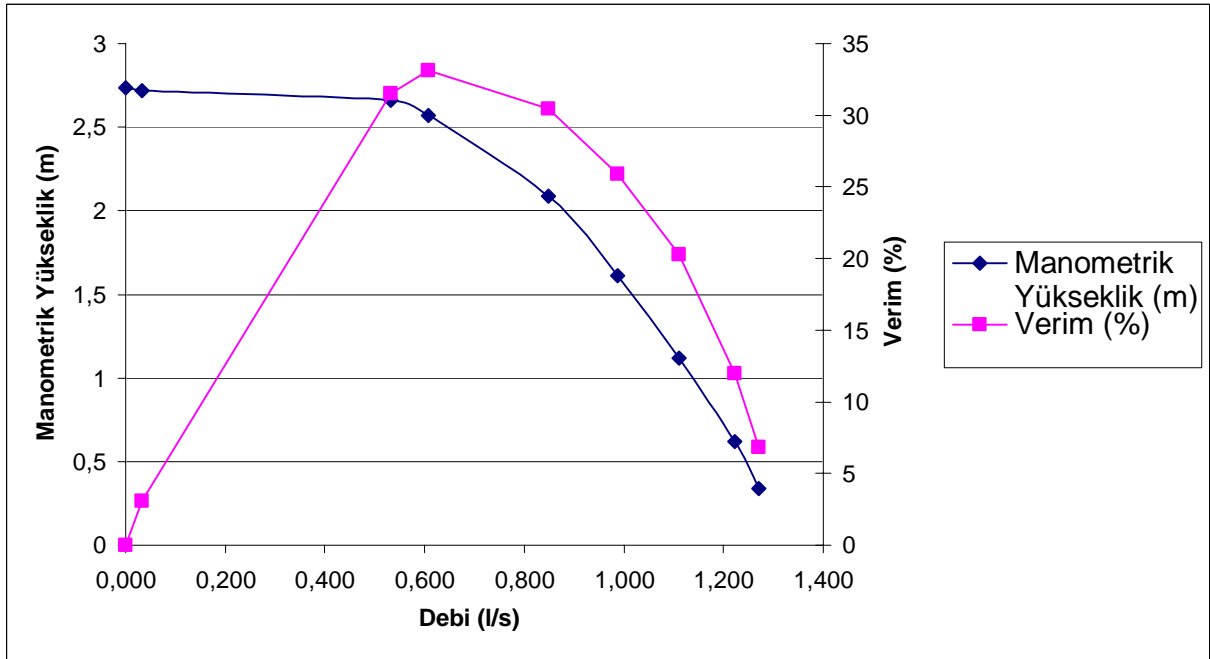
Ek B

UFAK BOYLU POMPA ÖLÇÜM SONUÇLARI

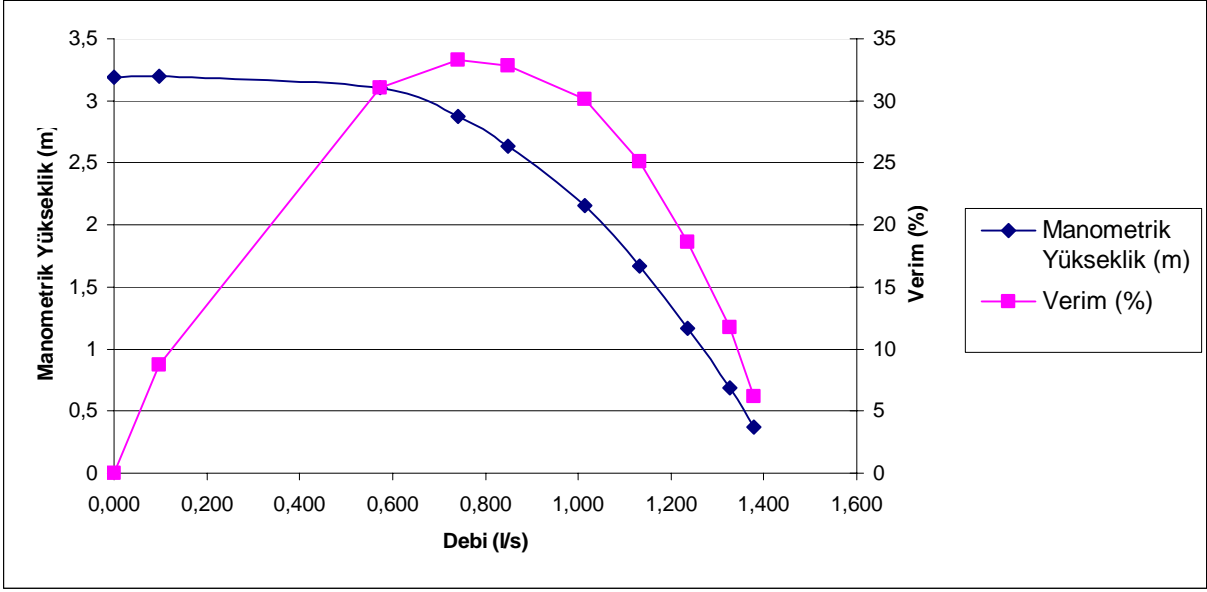
Pompa Karakteristik eğrileri



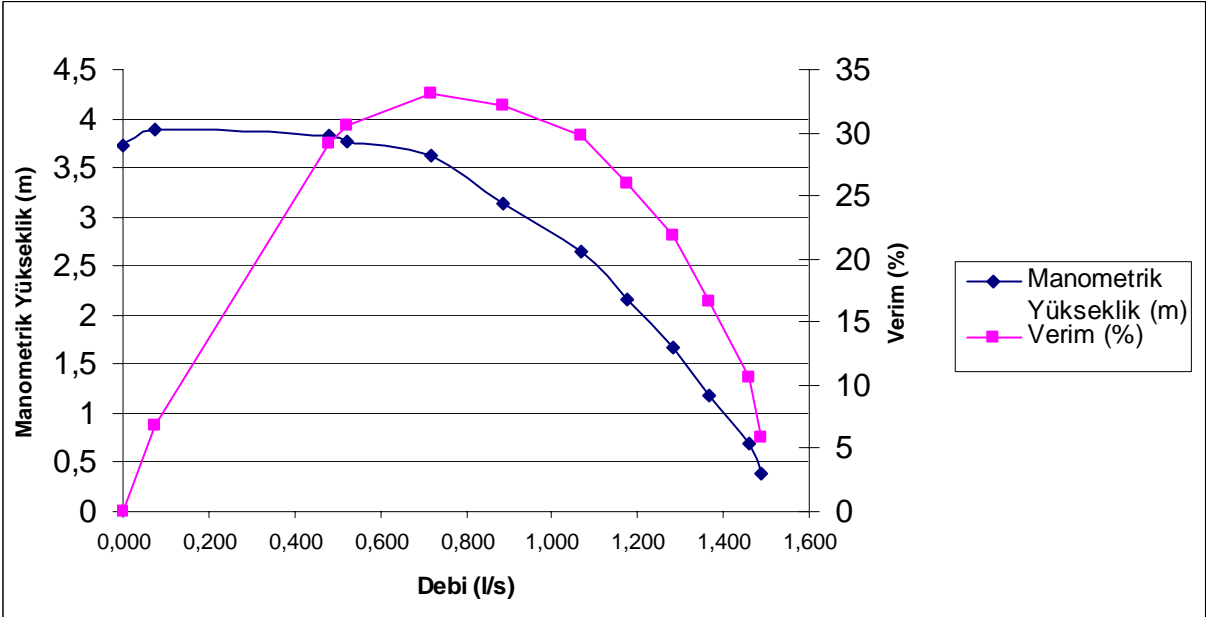
Şekil B.1. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 2200 D/D'da karakteristik grafiği.



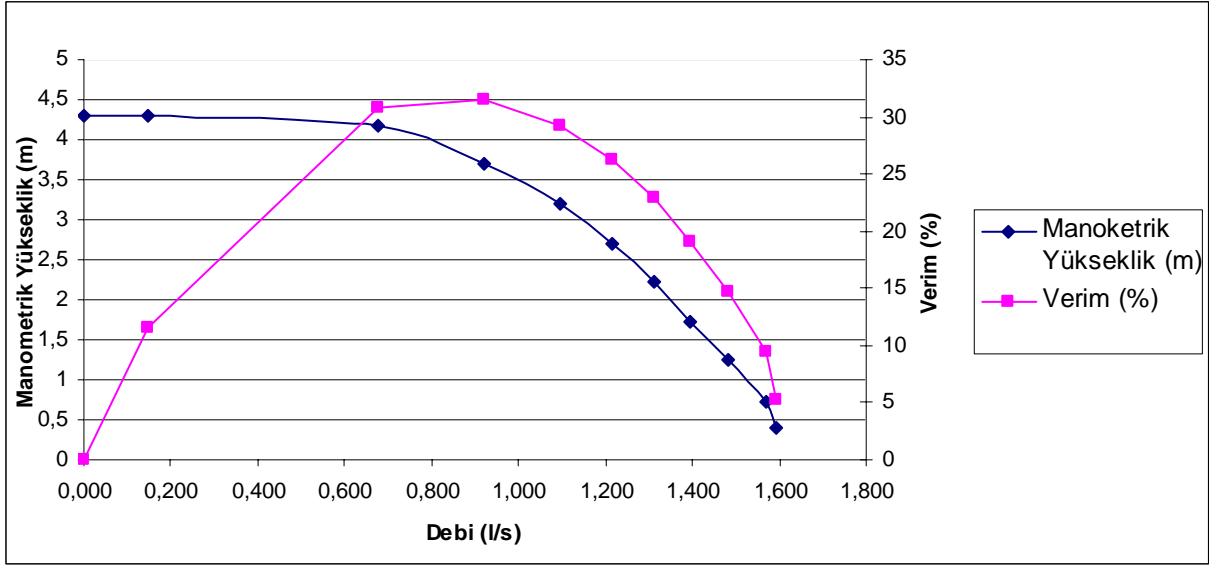
Şekil B.2. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 2400 D/D'da karakteristik grafiği.



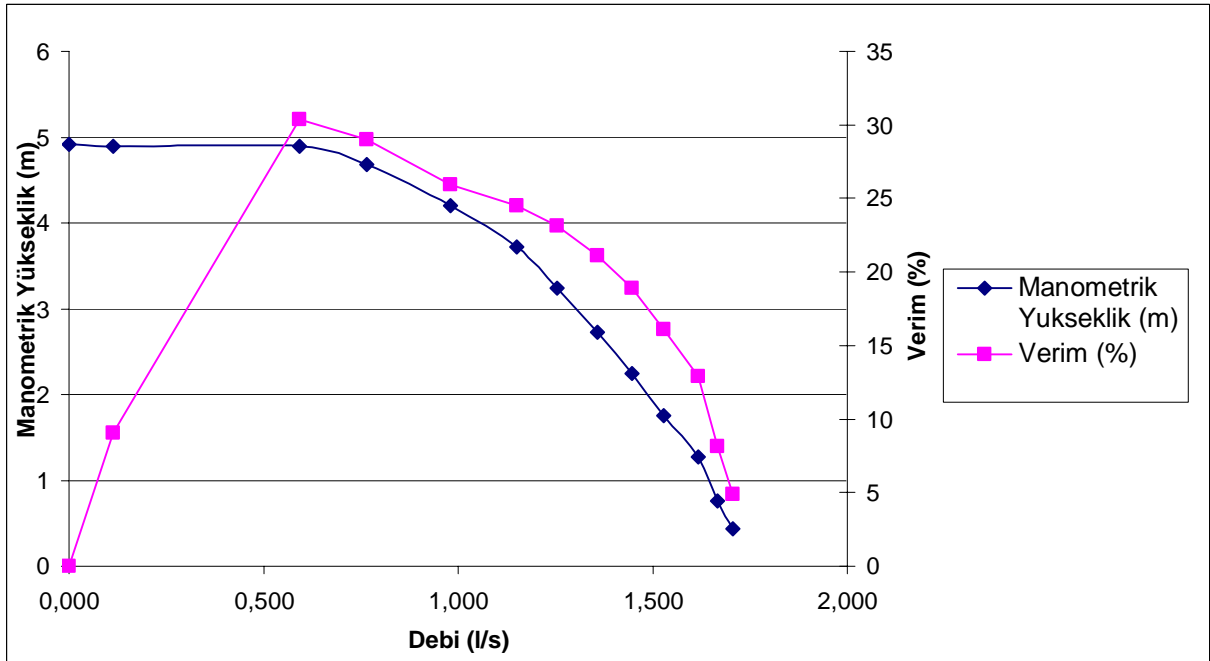
Şekil B.3. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 2600 D/D'da karakteristik grafiği.



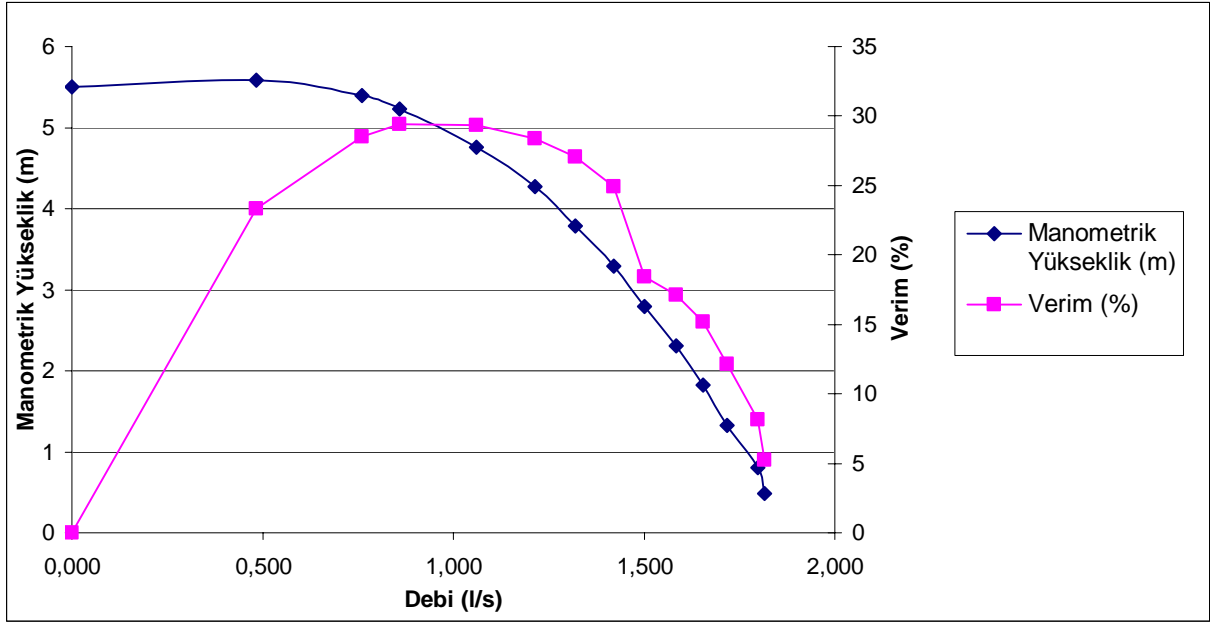
Şekil B.4. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 2800 D/D'da karakteristik grafiği.



Şekil B.5. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 3000 D/D'da karakteristik grafiği.



Şekil B.6. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 3200 D/D'da karakteristik grafiği.



Şekil B.7. Arçelik Bulaşık Makinası Pompasının 3400 D/D'da karakteristik grafiği.

EK C
BU ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ OLARAK YAPILMIŞ
OLAN TEZ ÇALIŞMALARININ ÖZETLERİ

1. **BAYRAKTAR, S., Theoretical and Experimental Investigation on Centrifugal Fans with Special Interest on Fan Noise, Ph.D Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, Dec. 2006.**

ÖZ

SANTRİFÜJ FAN GÜRÜLTÜSÜ İLE İLGİLİ TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bayraktar Songül
Doktora, Makina Mühendisliği Bölümü
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. O. Cahit Eralp
Ortak Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mehmet Çalışkan

Aralık, 2006, 123 sayfa.

Bu çalışmada, fan tasarım parametrelerinin fan gürültüsü üzerindeki etkisi teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Teorik çalışmada, hava akışı kaynaklı gürültü tahmin etmek için hesaplamalı aero-akustik metodu kullanılmıştır. Bu metodun çözümüne ila dalga denklemi çözücüsünün ortak kullanımından oluşmaktadır. Durağan olmayan akışın analizi URANS metoduyla FLUENT kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra zamana bağlı veriler LMS Sysnoise programına aktararak akustik yayılım çözülmüştür. Teorik çalışmaların doğrulanması ve değişik tasarım alternatiflerinin fan gürültüsü üzerindeki etkisi deneysel olarak çalışılmıştır. Ses basıncı ve ses şiddeti ölçümleri Arçelik A.Ş. Ar-Ge tam yansız ses odasında yapılmıştır. Doğrulama deneyleri sayısal simülasyon ile deneysel verilerin uyumlu olduğunu göstermektedir. Fan tasarımında yapılan değişikliklerin ses yayılımı üzerindeki etkisinin incelendiği deneysel çalışmalar sonucunda fanın gürültü seviyesini azaltacak bilgiler edinilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, hesaplamalı Akış Akustiği, Aeroakustik Anoloji, Santrifüj Fan, Sınır Eleman Yöntemi.

2. **ŞAHİN, F. C., An Experimental Study on Off-design Performance and Noise in Small Pumps, M.Sc Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, June 2007.**

ÖZ

UFAK BOY POMPALARDA TASARIM DIŞI PERFORMANS VE GÜRÜLTÜ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Şahin, Fatma Ceyhun

Yüksek Lisans, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. O. Cahit Eralp

Haziran 2007, 160 sayfa

Bu tez çalışması pompaların tasarım şartlarında ve tasarım dışı şartlarda çalışma gürültüleri üzerine yapılmıştır. Küçük boyda pompalar yarı yankısız bir odaya yerleştirilmiş, değişik sistem koşullarında ve değişik dönme hızlarında çalıştırılmıştır. Pompa çalışma verileri, ses verileri ve zamana bağlı basınç verileri kaydedilip Soundbook SAMURAI yazılımı ile işlenmiştir. Deneyler göstermiştir ki sistem karakteristiği veya pompa boyutu pompanın gürültüsü üzerinde etkili değildir. Pompa karakteristiği ses spektrumlarında kanat geçme frekansı ile orantılı frekanslardaki sıçramalarla fark edilmektedir. Pompa giriş ve çıkış basıncındaki değişimlerse mil dönme frekansının katlarında gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Santrifuj pompa, Ses Spektrumu, Gürültü, Basınç Değişimi.

3. **KAYHAN, C., Noise Measurement and Determining Acoustical Characteristics of a Vacuum Cleaner, M.Sc. Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, March 2008. (submitted to the Jury on 27 Feb. 2008)**

ÖZ

ELEKTRİK SÜPÜRGESİNİN GÜRÜLTÜ YAYILIMININ VE AKUSTİK KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kayhan, Cihan

Yüksek Lisans, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. O. Cahit Eralp

Ocak 2007, 50 Sayfa

Akışkanlar mekaniği alanında çok kullanılan santrifüj fanlardan yayılan gürültü gün geçtikçe ihtiyaç olan güç ve gerekli kanat çapları gözönüne alındığında daha ciddi problemlere yol açmaktadır. 1960 yılından bu yana sistematik çalışmalar yapılmasına rağmen henüz tam bir metodoloji kurulamamıştır.

Bu çalışmada fan karakteristiriği ve bu fanın ses ölçümü yarı yansımali bir odada yapılmıştır.. Fan karakteristği AMCA standardı 210-75'e gore belirlenmiştir. Ses ölçümlerinin yapıldığı yarı yansımali oda ISO 3745 standardına gore hazırlanmıştır. Fan karakteristği basitçe standartlarda öngöröldüğü üzere fan verimi, motor montajı ve motorun voltaj ve akımı ile motor parçasının güç harcamasını hesaplayarak belirlenmiştir. Gürültü ölçümleri iki mikrofon kullanılarak Panasonic Sound book Analizörü kullanılarak yapılmıştır. Elektrikli süpürge ses ölçümleri için bir çok değişik pozisyonda ve konfigürasyonda ölçümler alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Süpürgesi, Santrifüj Fan, Gürültü, Akusitik, Deneysel Kıyaslama

EK D

BU ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ OLARAK HAZIRLANMIŐ VE YAYINA SUNULMUŞ OLAN OLAN MAKALELER

**1. BAYRAKTAR, S., ÇALIŞKAN, M., ERALP, O. C., BAYRAKTAR S.,
ÇALIŞKAN M., ERALP O.C., "Flow Induced Noise Prediction of Centrifiugal Fans by
Aero-acoustical Analogy, (Yayınlanmak üzere sunuldu, Şubat2008, Journal of Applied
Acoustics).**

**2. ŐAHİN,. F. C., ERALP, O. C., ÇALIŐKAN, M., Kűçük Boy Pompalarda Tasarım
DıŐı ÇalıŐma KoŐullarında Gűrűltű Kaynaklarının Deneysel olarak İncelenmesi, Őubat
2008, MATİM, ODTű, Ankara, (Yayınlanmak üzere yollanmıŐtır.)**

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: 104M405
Proje Başlığı: Ufak Boyda Santrifüj Pompa ve Fanların Gürültü Seviyelerinin Uygun Ortamda Ölçülmesi ve Gürültüye Yönelik Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof.Dr.O.Cahit ERALP Proje Yürütücüsü Yardımcı Araştırmacılar : Prof.Dr.Mehmet Çalışkan (Danışman), Cihan Kayhan, Fatma Ceyhun Şahin, Gençer Koç, Songül Bayraktar (ARÇELİK)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü ODTÜ/ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: ARÇELİK A.Ş.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2005 – 31.12.2007
Öz (en çok 70 kelime) <p>Makina mühendisliğinin uygulamalarında fan ile pompalar önemli bir yer oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılan fan ve pompaların performanslarına ek olarak bu cihazların aero-akustik özellikleri ve dışarıya yaydıkları gürültü düzeyleri önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Ses düzeyini istenilen seviyelerde tutacak tasarımlar yapabilmeye yönelik bilgi birikimi; akışkanlar mekaniği, turbomakinalar, akustik ve mekanik titreşim konuları ile tasarım metodolojilerini bir araya getiren karmaşık bir araştırma konusu olmaktadır. Bu konuda çeşitli standartlar geliştirilmiş olup, analitik tahmin metodları ve ölçüm düzenekleri konusunda çalışmalar devam etmektedir.</p> <p>Proje kapsamında aksiyel ve santrifüj pompa ve fanların gürültü seviyeleri ve akustik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma içinde Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında endüstri desteğiyle bu çalışmaya yönelik olarak yapılmış olan yarı-çınlamalı (semi-anechoic) oda kurulmuştur. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada inşa edilen odanın uluslararası standartlara uygunluğu belirlenmiş, ikinci aşamada santrifüj pompaların akışkandan (su) kaynaklanan akustik özellikleri ve gürültü düzeyleri ölçülmüş ve 3. aşamada santrifüj fanların akışkandan (hava) kaynaklanan gürültü ve ses özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Bunlara paralel olarak Arçelik ile beraber yürütülen çalışmalarda, santrifüj fanlarda tasarım aşamasında gürültü düzeyini düşürücü bir metodoloji kuramsal, sayısal ve deneysel olarak geliştirilmiştir. Çalışma sonunda akışkan etkisiyle oluşan ses ve gürültü düzeyleri ve buna bağlı bir tahmin ve ölçüm metodolojisi geliştirilmiştir. Proje paralelinde yapılacak çalışmalar, bir doktora çalışması ile 2 yüksek lisans çalışması yürütülerek tamamlanmıştır.</p>
Anahtar Kelimeler: Akustik, Gürültü, Akışkan, Turbomakina, Pompa, Fan,

Projeden Kaynaklanan Yayınlar:

Tezler :

- 1. BAYRAKTAR, S., Theoretical and Experimental Investigation on Centrifugal Fans with Special Interest on Fan Noise, Ph.D Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, Dec. 2006.**
- 2. ŞAHİN, F. C., An Experimental Study on Off-design Performance and Noise in Small Pumps, M.Sc Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, June 2007.**
- 3. KAYHAN, C., Noise Measurement and Determining Acoustical Characteristics of a Vacuum Cleaner, M.Sc. Thesis, Dept of Mech. Eng., Middle East Tech. Univ., Ankara, Turkey, March 2008. (submitted to the Jury)**

Makaleler :

- 1. ŞAHİN F.C., ERALP O.C., ÇALIŞKAN M., ,“Küçük Boy Pompalarda Tasarım Dışı Çalışma Koşullarında Gürültü Kaynaklarının Deneysel Olarak İncelenmesi”, (Yayınlanmak üzere sunuldu, Şubat 2008, MATİM, ODTÜ, Ankara,)**
- 2. BAYRAKTAR S., ÇALIŞKAN M., ERALP O.C., “Flow Induced Noise Prediction of Centrifugal Fans by Aero-acoustical Analogy, (Yayınlanmak üzere sunuldu, Şubat2008, Journal of Applied Acoustics).**

Bilim Dalı ve Doçentlik B. Dalı Kodu : Akışkanlar Mekaniği ve Uygulamaları , (625.04.03)

Akustik (Mekanik Titreşimler ve Gürültü 625.01.04)