

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

139727

**GEMİLERDE PERVANE KAYNAKLI SUALTI
GÜRÜLTÜSÜNÜN ANALİZİ**

- 139727 -

Gemi İnşaatı Mühendisi İslam YILMAZ

**FBE Gemi İnşaatı Anabilim Dalı Gemi İnşaatı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Mesut GÜNER
Mesut Güner

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mesut GÜNER **Doc. Dr. A. Dursun ALKAN**

A. Dursun Alkan

Doc. Dr. İsmail YÜKSEK

İsmail Yüksek

İSTANBUL, 2003

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TASTIRMA KURULU**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Akustik Biliminin Tarihçesi	1
1.2 Sualtı Akustiği	3
1.3 Pervane Akustiği Teorileri	5
2. TEMEL AKUSTİK BİLGİSİ	7
2.1 Ses Dalgalarının Özellikleri	7
2.2 Desibel	10
2.3 Ses Gücü, Ses Basıncı, Ses Şiddeti ve Düzeyleri	10
2.3.1 Ses Basıncı Düzeyi	10
2.3.2 Ses Şiddeti ve Düzeyi	11
2.3.3 Ses Gücü Düzeyi	12
2.4 Kaynak Düzeyi	13
2.5 Desibellerde Toplama, Çıkarma ve Ortalama Alma İşlemleri	14
2.6 Ses Basıncı Spektrumu ve Oktav Bantları	14
3. PERVANE GÜRÜLTÜSÜ ANALİZ YÖNTEMİ	16
3.1 Pervane Gürültüsü Analiz Yönteminin Genel Özellikleri	17
3.1.1 Kavitasyonsuz Gürültü Hesaplama Yöntemi	18
3.1.1.1 Pervane Yüklenme Sayısı (C_T)	19
3.1.1.2 Frekans Terimi (f/f_p)	20
3.1.2 Kavitasyonlu Pervane Gürültüsü Hesaplama Yöntemi	20
3.1.2.1 Kavitasyon Sayısı (σ) ve Kavitasyon Başlangıcı	21
3.1.2.2 Kavitasyonun Pervane Gürültüsüne Etkisi	21
3.2 Pervane Gürültüsü Analiz Metodu İçin Gerekli Veriler	24
4. PERVANE GÜRÜLTÜSÜ ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULAMASI	25
4.1 Balıkçı Araştırma Gemisi ve Pervanenin Özellikleri	25
4.2 Deney Sonuçları ile Gürültü Programının ICES Kriterleriyle Kıyaslanması	29

5.	SONUÇLAR.....	31
	KAYNAKLAR.....	33
	EKLER	35
	Ek 1 ICES'in Balıkçı Araştırma Gemileri için önerdiği gürültü spektrum düzeyi (SPL) sınırlamaları	36
	Ek 2 Deneyler sırasında tam ölçekli pervanenin ölçülen spektrum düzeyi (SPL)	37
	Ek 3 Model pervanenin kavitasyon tünel testi sırasında çekilen fotoğrafları.....	38
	ÖZGEÇMİŞ.....	39



SİMGE LİSTESİ

A	Pervane projeksiyon alanı
A	Rotor alanı
A_D	Pervane disk alanı
A_E	Pervane kanat açılım alanı
B	Gemi kalıp genişliği
c	Herhangi bir ortamda ses hızı
C_B	Blok katsayısı
C_T	Pervane yüklenme oranı
C_{Tref}	Pervane referans yüklenme oranı
$C_{0,6R}$	Pervane kanadının 0,6 yarıçapında kort genişliği
$C_{0,7R}$	Pervane kanadının 0,7 yarıçapında kort genişliği
$C_{0,95R}$	Pervane kanadının 0,95 yarıçapında kort genişliği
d	Trimsiz su çekimi
d	Okyanus veya deniz derinliği
D	Aksi belirtilmediği sürece pervane çapı
f	Merkez frekansı
f_p	Gürültü spektrumunda pik frekans değeri
f_1	Oktav bandında alt frekans değeri
f_2	Oktav bandında üst frekans değeri
Δf	Bant genişliği (aralığı)
I	Akustik şiddet
I_{ref}	Referans ses şiddeti
I_{tip}	Pervane kanat uç batma derinliği
K_T	Pervane itme katsayısı
K_Q	Pervane tork katsayısı
L_S	Akustik kaynak düzeyi
n	Pervanenin saniyedeki dönme hızı
n_i	Kavitasyonun başlangıç noktasındaki birim saniyede şaft dönme hızı
n_s	Birim saniyede maksimum şaft dönme hızı
N	Pervanenin dakikadaki dönme hızı
T	Pervane itme kuvveti
T	Akustik dalga periyodu
T	Ortam sıcaklığı
T_k	Mutlak sıcaklık
P	Pervane hatvesi
P_o	Sıvı ortamda referans ses basıncı
$P_{0,7}$	Pervane 0,7 yarıçapında hatve
r	Gözlemcinin pervaneye olan mesafesi
S	Tuzluluk oranı
$S_{1/3}(f/f_p)$	Üniversal 1/3 oktav-bant spektrum fonksiyonu
V	Aksi belirtilmediği sürece ortalama pervane hızı
V_A	Pervane ilerleme hızı
V_{ref}	Kavitasyon başlangıcındaki pervane hızı (referans hızı)
V_s	Gemi hızı
V_T	Rotor uç hızı
V_{tip}	Pervane kanat uç hızı
$V_{0,7}$	Pervane 0,7 yarıçapında akışkanın rölatif hızı
w	Taylor iz sayısı
w_{eff}	Gemi arkasında efektif iz sayısı

w_{disc}	Pervane diski üzerinde ortalama iz dağılımı
$w_{1.0R}$	Pervane tam yarıçapta lokal iz dağılımı
W	Ses gücü
Z	Pervane kanat sayısı
α	Kanat hücum açısı
β	Kanat ilerleme açısı
β_i	Kavitasyon başlangıcında lokal kanat ilerleme açısı
ϕ	Pervane ekseninden gözlemciye olan açı
φ	Pervane hatve açısı
φ	Hesaplanması gereken çoklu regresyon fonksiyonları
κ	Kavitasyon büyüme parametresi
λ	Akustik dalga boyu
ρ	Deniz duyu yoğunluğu
σ	Kavitasyon sayısı
σ_i	Kavitasyon başlangıç sayısı



KISALTMA LİSTESİ

FRV	Fisheries Research Vessel
ICES	International Council for the Exploration of the Sea
SIL	Ses Şiddeti Düzeyi
SPL	Ses Basıncı Düzeyi
SPL_A	Bağımsız Ses Basıncı Düzeyi
SPL_B	Bağımsız Ses Basıncı Düzeyi
$(SPL)_{CAV}$	Kavitasyon Durumunda Ses Basıncı Düzeyi
$(SPL)_{NC}$	Kavitasyonsuz Ses Basıncı Düzeyi
SPL_t	Toplam Ses Basıncı Düzeyi
$\overline{SPL}_t$	Ortalama Ses Basıncı Düzeyi
$SPL_{1/3 CAV}$	Üniversal 1/3 Oktav Bantta Kavitasyonlu Gürültü Düzeyi
SWL	Ses Gücü Seviyesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi..... 7

Şekil 2.2 Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi. 8

Şekil 3.1 Tipik bir kavitasyon gürültüsü spektrumu. 17

Şekil 4.1 Model pervanesinin hatve oranı dağılımı..... 27

Şekil 4.2 Model pervanesinin kort genişliği dağılımı. 27

Şekil 4.3 Model pervanesinin çalıklık dağılımı. 27

Şekil 4.4 Model pervanesinin eğiklik dağılımı. 28

Şekil 4.4 Model pervanesinin maksimum kalınlık dağılımı. 28

Şekil 4.5 Model pervanesinin maksimum eğrilik dağılımı. 28

Şekil 4.6 Model pervanesinin kanat açılım taslağı..... 29

Şekil 4.7 Pervane gürültüsü analiz programının sonuçlarının spektrumda karşılaştırılması.... 30



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Sesin 21 °C sıcaklıkta yayılma hızları.....	9
Çizelge 2.2 Bazı ses güçleri ve ses düzeyleri.....	13
Çizelge 3.1 Pervane gürültüsü analiz programı için giriş verileri.....	24
Çizelge 4.1 Balıkçı araştırma gemisi ve pervanenin ana özellikleri.....	25
Çizelge 4.2 Model pervanenin radyal geometrik detayları	26
Çizelge 4.3 Balıkçı araştırma gemisinin gürültü analiz programına uygulanan verileri.....	29



ÖNSÖZ

Bu çalışmada, balıkçı araştırma gemilerinde akustik sensörlerin performansını düşüren gürültü kaynakları kısaca anlatılmış ve bu gemilerde en önemli gürültü kaynaklarından olan kavitasyon gürültüsünün yaklaşık hesabı için geliştirilen bir metot sunulmuştur. Sadece balıkçı araştırma gemileri için değil torpidolar, denizaltıları ve savaş gemilerini yakından ilgilendiren pervane gürültüsü değişik yönleriyle ele alınmıştır. Metodun gerçeğe yakınlığını doğrulamak amacıyla Newcastle Üniversitesi'nde deneyleri yapılan bir balıkçı araştırma gemisi ve buna ait pervanenin sonuçlarına uygulanmış ve ICES kriterleri ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli mesai arkadaşlarıma ve bu süre zarfında beni sürekli aydınlatan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Mesut GÜNER'e teşekkürü borç bilirim.



ÖZET

Balıkçılık araştırmaları son on beş yıldır dünya çapında yoğun ilgi görmektedir. Balıkçı araştırma gemilerinin görevlerini en iyi şekilde yerine getirmeleri akustik sensörlerin performanslarına bağlıdır. Balıkçı araştırma gemilerinin modern akustik aygıtlarından maksimum verimi elde etmek için gürültünün azaltılması tercih edilen bir yöntemdir. Bu amaçla gürültüyü azaltmak için birçok hidrodinamik çabalar sarfedilmiştir. Bunlar; yeni tekne formlarının geliştirilmesi, pervaneye gelen akışın düzenlenmesi ve pervane kavitasyonunu dolayısıyla düzensiz itme, düzensiz tork, düzensiz yanal ve düşey kuvvetlerin minimize edilmesi olarak gösterilebilir.

Özellikle kavitasyon durumunda bir geminin sualtı akustik emisyonlarının en önemli kısmını pervane gürültüsü oluşturmaktadır. Bu çalışmada sualtı gürültüsünü doğru ve isabetli bir şekilde hesaplamak amaçıyla geliştirilen yarı-ampirik formüllere dayalı bir metot sunulmuştur. Bu metot, üniform olmayan akış içerisinde çalıştırılan bir pervanenin 1/3 oktav geniş bant gürültü spektrumu ile birlikte kavitasyon durumunda kavitasyon başlangıç noktasını hesaplamaktadır. Kavitasjonsuz gürültü düzeyi (SPL)_{NC} (Sound Pressure Level for Non-Cavitating part) ve kavitasyon durumunda gürültü düzeyi (SPL)_{CAV} (Sound Pressure Level for Cavitating part) olmak üzere programın iki ana kısmı vardır. Programın her iki kısmı da frekans ile değişmekte ve aynı zamanda itme, rotasyonel hız, kavitasyon sayısı, pervane geometrisi ve iz gibi hidrodinamik parametreleri içermektedir. Çalışmada geliştirilen metodun sonuçlarını doğrulamak amaçıyla bir balıkçı araştırma gemisi ele alınmış ve mevcut hesaplama tekniği sonuçları ile balıkçı araştırma gemisine ait pervane model deneyi ve tam ölçekli lmlerle birlikte ICES kriterleri doğrultusunda bir karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sualtı akustiği, pervane gürültüsü hesabı, kavitasyon gürültüsü, akustik sonar performansı.

ABSTRACT

The worldwide interest in fisheries research has increased in the last fifteen years. The mission of the Fisheries Research Vessel (FRV) mostly depends on acoustic sensor performance. Therefore reduction of noise becomes a major concern in achieving maximum efficiency from modern acoustic sounders. Therefore some hydrodynamic efforts have been carried out to reduce noise. These are generating new hull form, improving the inflow to the propeller and minimizing propeller cavitation and unsteady thrust, unsteady torque, unsteady vertical force and unsteady side force.

Especially a ship's cavitating propeller becomes a significant source of the underwater noise, dominating a ship's waterborne acoustic emission. Therefore a method based on semi-empirical approach is proposed to estimate the noise in this study. This method can able to predict the cavitation inception point and calculates the broadband 1/3-octave noise spectrum for a marine propeller operating in a non-uniform inflow field. It consists of a non-cavitating part, $(SPL)_{NC}$ (Sound Pressure Level for Non-Cavitating part) and a cavitating part $(SPL)_{CAV}$ (Sound Pressure Level for Cavitating part), both of which vary with frequency, and which include thrust, rotational speed, cavitation number, propeller geometry and wake parameters. In this study a fisheries research vessel is taken into account to validate the present method and comparison among the present prediction technique, model test results, full-scale measurements and ICES (International Council for the Exploration of the Sea) criteria have been carried out.

Keywords: Underwater acoustics, propeller noise prediction, cavitation noise, acoustic sensor performance.

1. GİRİŞ

Akustik, kısaca ses üzerine çalışmalar yapılan bir bilim dalıdır. Ses herhangi bir ortamda çok hızlı bir şekilde değişen basınç dalgası olarak tanımlanır. İşitilir ses deyince; genellikle hava basıncında çok küçük değişimlerin bir statik değerin üzerinde veya altında duyulması kastedilir. Bu statik değer atmosfer basıncı (100.000 Paskal) olup, barometrede görülebildiği üzere yavaşça değişir. Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji şeklidir. Ses diyagramlarda sinüs dalgası şeklinde verilmesine rağmen fiziksel olarak (akışkan ortamında) ses boyuna dalgadır ve dalga hareket yönü enerji hareket yönü ile aynıdır. Dalga tepeleri maksimum basınç olarak düşünülebilir aynı şekilde dalga çukurları da minimum basınç olarak düşünülebilir. Sesin oluşumu ve yayılması, ortamdaki partiküllerin titreşimi ve bu titreşimlerin komşu partiküllere iletilmesiyle olur. Basınç değişiklikleri kulak tarafından elektrik sinyallerine çevrilir, beyin tarafından ses olarak algılanır.

Gerek ışık gerekse ses dalgaları yoğunluğu sudan daha düşük olan hava yoluyla enerji şeklinde yayılım gösterir. Su ortamında yoğunluğun yüksekliği nedeniyle bu iletim daha güç olur. Işık, dağılma ve soğurulma yolu ile enerji kaybeder, dalga boyu düşer. Bu nedenle derinlik arttıkça renkler kaybolur. İlk kaybolan renk kırmızıdır, en son ise mavi renk kaybolur. Bu nedenledir ki derinlere bakıldıkça mavi tonları hakim gözüktür. Bunun yanı sıra ışığın sudaki kırılımı daha büyüktür ve bir cisim sualtında % 25 oranında büyük ve yakın gözüktür. Ses ise sıvıların enerjiyi eşit yayma özelliği nedeniyle kulağımıza geldiğinde yönü anlaşılmaz. Bunun yanında ses kaynağının uzaklığı da belirlenemez. Anlaşılacağı üzere ses ışığın tam tersi bir şekilde çok iyi taşınır.

1.1 Akustik Biliminin Tarihçesi

Akustik biliminin kökü çok eskilere dayanmaktadır. Eski çağlardaki insanlar için ses ve ışık gördükleri en acayip şeyler idi. Her ikisi de iletilme yöntemi belli olmadan belli bir uzaklığa etki edebiliyordu. Bu iki olay içerisinden psikolojik etkilerinin yanı sıra gözlemlenen fiziksel özelliklerinden dolayı ses ışıktan daha bir garip karşılanmıştı. Uygun şekilde ayarlanan iki gitar akordunun aynı sesi vermesi bugün hala kuantum teorisi kadar gizemlidir. Ses ve sesin etkilerine ait bazı açıklamaları bulmak için çeşitli girişimler ve araştırmalar yapılmıştır. Yunan Filozofları bu konu hakkında bildikleri yardımıyla bilimin gelişimine katkıda bulunmuşlardır. Çalışmalarının önemli bir bölümü "harmoni bilimi" üzerineydi. O zamanki bilim kapsamında harmoni; astronomi, fizik, optik, matematik ve istatistik ile birlikte bilimin temellerini oluşturmaktaydı. Modern fizik, tam anlamıyla geçmişe dayanmaktadır. Kuhn

(1977) eski çağlarda “harmoni biliminin” kuşatma amaçlı dizayn edilen savaş makinelerinin mühendislik gerektiren uygulamalarında önemli bir yer edindiğini belirtir. Hunt (1992), kuşatmada kullanılan savaş makinelerinde fırlatma mekanizmalarının uygunluğunu ipteki tınlama sesinden anlaşıldığını ifade etmiştir. Bir merminin istenen mesafeye atılması olayı, müzik notalarını çalmayı bilen bir akortçu tarafından kontrol ediliyordu.

Harmoni bilimi modern anlamda “akustik bilimi” olmamasına rağmen birbirleriyle çok yakından ilişkilidiydi. Harmoni daha çok geometri, psikoloji ve müzik ile ilgiliydi.

Bilimsel düşüncenin gelişmesiyle birlikte ilmi ve felsefi görüşler birbirinden ayrıldı. Bunun sonucunda harmoni bilimi diğer çalışmaların içerisinde kaybolmaya başladı. Kuhn (1977) tarafından belirtildiği gibi, harmoni bilimi 15. yüzyıldan itibaren gerilemesine rağmen yine de beste, enstrüman yapımında bilimsel tez olarak ortaya çıkmaya devam etti. Ne kadar ilginçtir ki “harmoni bilimi” hiçbir zaman fiziksel bilimlerden tamamen kopmamıştır. Kepler, Mersenne ve Descartes “harmoni bilimi” üzerine yazılar yazmışlar, Galileo, Huyghens ve Newton bu bilimle ilgilenmişlerdir. Euler’in “Tentatem novae theoriae musicae” uzun süre var olan bir klasikti. 1739 tarihli Euler’e ait yayından sonra harmoni biliminin yerine başka bir çalışma alanı aldı. Çalışma, hem teorik olarak hem de deneysel olarak, tellerin titreşimini, osilasyon hareketi yapan hava sütunlarını ve genel anlamda akustığı içine almaktaydı.

Harmoni biliminin etkisi müzik ve müzik teorilerinin dışında başka alanlarda da hissedildi. Harmoni; matematik ve fiziksel bilimlerde, periyodik olarak tekrarlanan sıra dışı problemlerin üzerinde çalışılmasında yeni bir üslup-yeni bir yöntem meydana getirdi. Matematikçiler, bilim adamları ve mühendisler hala “harmonik analiz” hakkında konuşmakta ve harmoni bilimini bir işaret olarak görmektedirler. Astronomi biliminin gelişmesinden, Newton’un kanunlarının oluşmasına ve bugün bile mühendislerin uygulamada kullandıkları matematik ve bilimin başlangıcı harmoni üzerine araştırmaların bir sonucudur. Örneğin Kepler, güneş sistemindeki musiki ve geometrik harmoniyi araştırmış (Koestler, 1986) ve çalışmalarından bir tanesine Harmonice Mundi yani “Dünyanın Harmonisi” adını vermiştir. Kepler’in kanunları Newton’un makine mühendisliği uygulamalarında kullanılan temel teori haline gelmiştir. Harmoni içinde yapılan araştırmalar; “harmoni biliminin” matematik ya da bilimsel alanlardan çok daha felsefi bir meşgale olduğunu göstermiştir. Buna rağmen Akustik Bilimi modern formunu ancak Akışkanlar Mekaniğinden daha sonra alabilmiştir. Bunun nedeni analitik metotların çok işe yaraması ve oldukça basit ekipmanlarla iyi sonuçlar veren deneylerin yapılması gösterilebilir. Örneğin Rayleigh (1945) kulak yardımı ile (referans bir ses perdesi kullanarak) bir ses kaynağının frekansını nasıl hesaplandığını açıklamıştır. Diğer

alanlarda nicel hesaplamaların direkt olarak duyuları kullanarak yapılabilmesini düşünmek oldukça zordur.

Akustik sözcüğü İngilizce ile ilk kez Marsh (1683) tarafından tanışmıştır. Marsh (1683) bu sözcüğü alternatif terim olan “phonics, phone” yerine kullanmıştır. Zamanın çoğu araştırmacısı gibi o da, müzik teorisi ve müzik enstrüman tasarımını akustik biliminin önemli bir parçası olarak görüyordu. Marsh (1683) akustiğin iki temel unsuru olan “sesin üretilmesi ve yayılması” kavramlarının farkına varmıştı ve bu iki kavram üzerine araştırmalarına devam etmiştir.

Sonraları yapılan araştırmalar neticesinde sesin noktasal kaynaklardan oluştuğu ve sesin oluştuğu ortamdan taşınmasının ise küresel ve silindirik şekilde yayılarak gerçekleştiği anlaşılmıştır. Noktasal ses kaynağından ses oluşması için kaynağın uyarılması (impulse) veya titreşime zorlanması gerektiği de bu konuya önemli bir ışık tutmuştur.

1.2 Sualtı Akustığı

Yukarıda bahsedilen çalışmalar daha sonra farklı alanlara kaymıştır. Teknolojik gelişmelerle birlikte, hava ve deniz araçlarının seyirlerinde yardımcı ve düzenleyici araçlar geliştirmek amacıyla akustik üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Ses dalgaları yayan kaynaklar, deniz suyunda enerji iletimini en üstün şekilde gerçekleştirebilen kaynaklardır. Ses dalgalarının, en elverişli şekilde ve en az kayıpla deniz suyunda transmisyon olabilmeleri, insanları, ses dalgalarını çeşitli amaçlar için sualtında kullanabilme çalışmalarına yöneltmiştir. Bu konudaki ilk çalışmalar arasında, 1912 yılında geliştirilen ve sualtında Mors alfabesi kodlarıyla yayılım gösteren ses dalgalarını kullanarak iki farklı gemi arasında geliştirilmiş olan bir haberleşme sistemi yer almaktadır. Bu sistem gelecekte, su altındaki cisimleri tespit etmekte ve yerlerini belirlemekte kullanılacak olan sualtı akustığını askeri alandaki en önemli uygulama konusu olan sonar (Sound Navigation And Ranging) cihazının ortaya çıkışını ve buna bağlı olarak sonar teknolojisinin gelişim sürecini başlatmıştır. Bu sürecin başlamasından, 1. Dünya Savaşı'na kadar geçen sürede, ses dalgalarının su altındaki enerji iletiminden gemicilik ve seyir alanlarında faydalanabilmek için, gemilerden yapılan aktif sonar transmisyonlarıyla, gemilerin emniyetli bir şekilde seyir sürdürebilmeleri sağlanmaya çalışılmıştır. 1. Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte sonar teknolojisi, askeri alanlardaki uygulamalar ile çok büyük bir hızla ilerlemeye başlamıştır. Savaşın başladığı yıllarda yapılan ilk çalışmalar neticesinde, bir su üstü gemisinin gövdesine

monte edilmiş, yüksek voltajla beslenen sonarlardan su altına yayılan ses dalgaları kullanılarak, deniz dibinden ve en fazla 220 metre uzaklıktaki, küçük boyutlu, zırh kaplanmış cisimlerden temas sağlanmış, gönderilen yüksek şiddet seviyelerindeki ses dalgaları cisimlere temas ettikten sonra alıcı tarafından tekrar kayıt edilebilmiştir. 1. Dünya Savaşı devam ederken, ilk vakum tüplü amplifikatörün geliştirilmesi, elektronik alanındaki çalışmaların ilk defa akustiği uygulamalarında kullanılması sağlanmıştır. Savaş devam ettikçe, denizaltıların, su üstü gemileri için ne kadar büyük bir tehlike oluşturduğu gözler önüne serilmiş, savaşan ülkeleri, denizaltı gemilerini yakalamaya ve yok etmeye yönelik araştırma ve geliştirmeler yapmaya zorlamıştır. Bu konuya yönelmiş yoğun çalışmalar neticesinde, 1918 yılında, aktif transmisyon yapılarak, yaklaşık 1500 metre uzaklıktaki bir denizaltı ilk defa yakalanarak, konumu tespit edilmiştir. Temel olarak, sonar cihazının kullanım maksadı, sualtı ve su üstündeki gürültü kaynaklarından yayılan ses dalgalarını ve bu dalgaları yayan hedeflerin yakalanmasını, kerteriz ve mesafelerinin tespitini ve sınıflandırılmasını aktif transmisyon ve pasif dinleme yaparak gerçekleştirmek, hedeften aldığı bu bilgileri, ortam ve cihaz özellikleriyle elektrik sinyalleri şeklinde operatöre sunmaktır. Ses dalgalarının sualtındaki yayılma hızları, sıcaklık, basınç, tuzluluk değişimlerine bağlı olan farklı oşinografik ortam şartlarına göre değişiklikler gösterdiğinden, sualtı akustiği aslında sonar teknolojisinin en etkili parametresidir.

Sonar çalışmalarının yanı sıra pervane ve rotor gürültüsü ile ilgili bir çok literatür çalışması yapılmıştır. Deniz araçları üzerinde yapılan akustik çalışmalar özellikle uçaklar ve helikopterler için de son derece büyük öneme sahiptir. Rotasyonel hareket yapan pervane, rotor gürültüsü ve titreşimi üzerine elde edilen bulgular gemi sevk sistemlerine uygulanmıştır.

Seyir halinde olan bir gemi için sualtı gürültüsünü üç ana kısma ayırmak mümkündür. Bunlar;

1- Tekne kaynaklı gürültü;

- Teknenin kendine özgü, dar frekans bandında oluşan gürültüdür.
- Makine dairesi gürültüsü (pompa, ana makine, redüksiyon kademeleri vs).

2- Tekne etrafında oluşan su akımı gürültüsü;

- Geniş frekans bandında laminar ve türbülanslı akış gürültüsü.
- Yüksek hızların meydana getirdiği akış gürültüsü.

Tekne yüzeyinin yosunlanması, kirlenmesi sonucu yüzeyin pürüzsüzlüğünden kaynaklanan

akış gürültüsü. Kabarcık sürüklenmesi (yada süpürülmesi) adı verilen olay, her gemide oluşma eğilimine sahip, geminin izlediği rota üzerinde doğal halde yüzen kabarcıklardır. Bu kabarcıklar teknenin su kesimi altında akış alanı çevresinde gemi hareketiyle oluşmaktadır. Gemilerde su altına yerleştirilen akustik transdüserlerin performanslarını önemli ölçüde düşürürler. Oşinografik arama ve tarama gemileri, savaş gemileri ve balıkçı arama gemileri gibi özel yapılmış gemilerde hem sensörlerin yerleşimi, hem de tekne dizaynı açısından kabarcık sürüklenmesi oldukça önemli bir yere sahiptir.

3- Pervane ve kavitasyon gürültüsü;

- Geniş frekans bandında oluşur.
- Pervanenin nominal yük altında çalışırken oluşan dar frekans bandında gürültü.
- Pervanenin çalışması esnasında oluşan yük ve alçak basınç değişimi kaynaklı gürültü.
- Kaviteasyon durumunda geniş frekans bandında dengesiz gürültü oluşumu.

Bu çalışmanın asıl hedefi pervanenin kaviteasyon kaynaklı sualtı gürültü seviyesinin hızlı ve güvenilir şekilde bulunmasına yöneliktir. Bu amaçla yarı-ampirik formüllere dayanan bir metod geliştirildi. Bu metodun içeriği ve uygulaması daha sonraki bölümlerde detaylı şekilde verilecektir.

1.3 Pervane Akustiği Teorileri

Pervane gürültüsü hesabının temelinde katı cisimlerin etrafından oluşan gürültü teorisi öne çıkmıştır. Katı cisimden ses üretimi teorisinin en başarılı uygulama alanı rotor gürültüsüdür. Ffowcs Williams-Hawkings çözümü özellikle sayısal akışkanlar dinamiğinde rotor ve fan kanatları yüzeylerindeki basınç ve hız dağılımı hesaplarını geliştirerek daha iyi sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır (Carley, 1996).

Dönel hareket yapan kaynaklardan oluşan gürültü için en pratik metod Wright (1969)'ın helikopter rotoru için geliştirdiği yöntemdir. Rotor üzerinde noktasal kaynak dağılımı açısız yöndeki modların toplamı şeklinde modellenir ki bu toplam gerekli dağılımı verir. Pervane diski üzerindeki açısız sinüzoidal fonksiyonları Fourier serileri gibi toplanabilirler. Wright (1969) tarafından sunulan metodu, Crighton ve Parry (1992) asimptotik açılımları kullanarak "kanat et kalınlığı ve yüklenme" gürültüsü için tam formüllere çok yakın fakat çok daha kolay hesaplanan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Pervane gürültüsü hesaplama teorilerinden bir tanesi de Gutin (1948) tarafından modellenmiştir. Model, pervane kanadının %70 çap uzaklığındaki dönen noktasal kuvvet şeklinde geliştirilmiştir. Teori için kullanılan model gerçek pervane ile aynı torku ve itmeyi verecek güçte seçilmiştir. Metot, o günün pervaneleri için tahmini hesaplamalarında oldukça iyiydi ve hala nitelik bakımından iyi kabul edilmesine rağmen, yüksek süratli modern pervaneler için daha ileri teorilerin gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

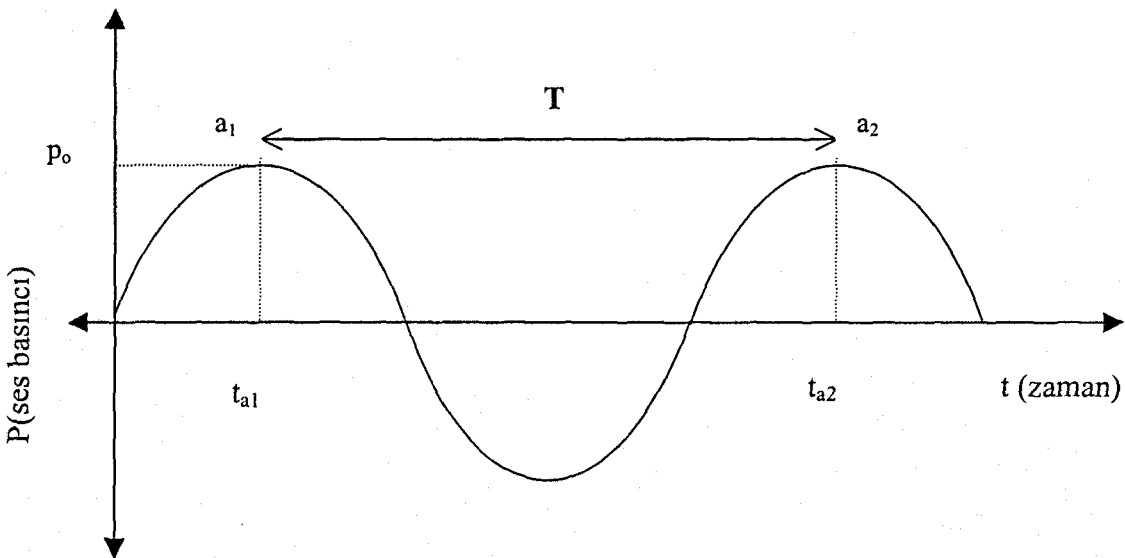
Pervane akustiği hesaplamalarında en önemli gelişme dönen rotor etrafındaki akış parametrelerinin birim analizine dayanmaktadır. Birçok ampirik gürültü hesap metodunda orantılı sabitlerin bulunması ve doğrudan etkili terimlerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Helikopter rotor gürültüsü için önemli formülleri geliştiren bilim adamlarından bazılarına; Hubbard , Davidson ve Hargest , Schlegel, Stuckey ve Goddard, Hawkings ve Lowson örnek olarak verilebilir (Carley, 1996).

2. TEMEL AKUSTİK BİLGİSİ

Akustik, basit olarak bilimsel ses çalışması olarak tanımlanabilir. Ses ise fiziksel dalgaların bir ortamda yayılması veya insanoğlunun kulağı ile duyduğu hadisedir. Ses bir dalga olayıdır, havanın, suyun veya dalga taşıyan başka bir ortamın titreşerek bu değişimi iletmesidir. Bu değişim iletilirken, ileten ortam her zaman orijinal konumunda kalır. Gaz veya sıvılarda titreşim her zaman dalga yönüne paraleldir, ses dalgalarına boyuna dalgalar denir. Bunun aksine radyo dalgaları veya gitar telinin titreşimi enine dalgalardır. Katı maddeler ise hem enine hem boyuna dalga dalgaları iletebilir. Ses havada 340 m/sn hızla yayılır. Burada önemli bir konuya da vurgu yapmak gerekir. Hız ile ses frekansını karıştırmamak gerekir. Hız bir sinyalin bir noktadan başka bir noktaya yayılma süresi, frekans ise saniyede yapılan hareket sayısıdır. Hız genellikle m/sn cinsinden, frekans ise Hertz olarak ifade edilir. İnsan kulağı 20-20.000 Hertz frekansları duyabilmektedir.

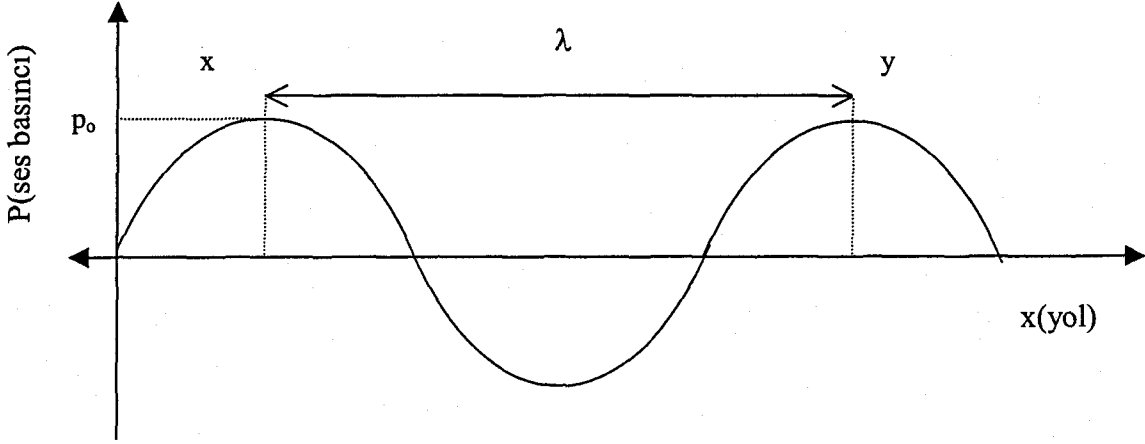
2.1 Ses Dalgalarının Özellikleri

Şekil 2.1 basit bir harmonik ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimini göstermektedir. P_0 ile gösterilen, basıncın en büyük değerine genlik denir. Basıncın, birbirini izleyen en büyük iki değeri arasında geçen zamana periyot adı verilir. Periyodun birimi saniye, sembolü T 'dir. Şekil 2.1 den de görüldüğü gibi basınç değişimi her periyotta tekrarlanmaktadır. Birim zamandaki basınç değişim devir sayısı ise $(1/T)$ frekanstır. Bu tanımlardaki "basınç değişim devri" ile anlatılmak istenen, basıncın aynı düzeye ulaştığı birbirini izleyen iki nokta arasındaki kısımdır (örneğin a_1 ve a_2).



Şekil 2.1 Basit harmonik bir ses dalgasının bir noktada oluşturduğu ses basıncının zamanla değişimi.

Herhangi bir anda, ses dalgasının yarattığı ses basıncının ses kaynağından olan uzaklıkla değişimi Şekil 2.2’ de olduğu gibi gösterilebilir. Şekil 2.2’ de yatay eksen yolu gösterdiğinden birbirini izleyen iki benzer nokta (örneğin x ve y) arasındaki mesafe ise dalga boyu λ olacaktır.



Şekil 2.2 Basit harmonik bir ses dalgasının bir yönde ilerleyişi.

Dalga boyu λ olan bir dalga, periyodu T olan sürede kendi boyu kadar gideceğinden, dalganın yayılma hızı,

$$c = \lambda/T \quad (2.1)$$

olacaktır. Dolayısıyla, bir dalganın frekansı veya periyodu ile dalga boyu arasındaki ilişki, yayılma hızı c'ye

$$c = \lambda/T = \lambda.f \quad (2.2)$$

eşitliği ile bağlıdır. Sesin havadaki yayılma hızı, havanın ideal gaz olarak kabul edilmesiyle,

$$c = 20,05 \cdot \sqrt{T_K} \quad (2.3)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada;

$$T_K = 273 + ^\circ C \quad (2.4)$$

Kelvin biriminde olduğundan sesin havadaki yayılma hızı 344 m/sn olur.

Ses dalgalarını sualtındaki yayılmalarını etkileyen en önemli oşinografik faktörler, sıcaklık, basınç (derinlik) ve tuzluluk parametreleridir. Bu faktörlerde meydana gelen artışlar, ses hızının da artmasına neden olurlar. Sıcaklık ($^\circ C$) T ; tuzluluk (%) S ; derinlik metre cinsinden

olmak kaydı ile d ile gösterilirse, c ses hızı (metre/saniye), Mackenzie (1981) tarafından geliştirilen, aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmektedir.

$$c = 1448,98 + 4,591.T - 0,591.T - 0,05304T^2 + 2,374 \times 10^{-4}.T^2 + 1,340(S - 35) + 0,0163.d + 1,675 \times 10^{-7}.d^2 - 0,01025T(S - 35) - 7,139 \times 10^{-12}T.d^3 \quad (2.5)$$

Bu formül, 8000 metre derinliğe kadar, -2 °C ile 30 °C arasındaki sıcaklık değerlerinde ve %0,25 ile %0,40 arasındaki tuzluluk oranlarında geçerlidir. Ses hızı, sıcaklıktaki 1 °C'lık artışla 4 m/sn, derinliğin 100 metre artmasıyla 1.5 m/sn ve tuzluluğun %0,1 artmasıyla da 1 m/sn değerlerinde artış gösterir. En çok, sıcaklık değişimlerinden etkilenen ses hızının, bu parametrelere bağlı olarak değişebilen nominal değeri 1500 m/sn'dir. Ses hızındaki değişimler, ses hızının büyüklüğünün yanında çok küçüktür. Ses dalgalarının sualtındaki yayılma hızları büyük ölçüde termal şartlara bağlıdır. Basınç değişimleri derinliğe bağlı olduğundan, ancak 1000 metreden daha derin sulardaki basınç değişimleri ses hızına etkide bulunabilmektedir. Tuzluluk oranı, derinlikten bağımsız bir değişim sergilemekte ve sıcaklık değişimleri etkisiyle daha fazla değişiklik göstermektedir.

Sesin bazı ortamlardaki yayılma hızları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Sesin 21 °C sıcaklıkta yayılma hızları.

Ortam	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava	344
Mantar	500
Kurşun	1200
Su	1500
Beton	3000 – 3400
Tahta	3300 – 4300
Dökme Demir	3700
Cam	5200

2.2 Desibel

Alexander Graham Bell'in anısına Bel adı verilen birim, iki büyüklüğün oranının logaritması olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla 1 Bel, oranları 10 olan iki büyüklüğü göstermektedir. Bu oranın çok yüksek olmasından dolayı Desibel adı verilen ve oranların logaritmasının 10 katı olarak tanımlanan birim daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayılardan biri bilinen bir sayı olarak alındığından; Desibel, söz konusu bir büyüklüğün referans büyüklüğüne oranının 10 katıdır. Desibel ile ölçülen büyüklüklere düzey adı verilmektedir. Örneğin W değerindeki bir gücün W_0 referans değerine göre düzeyi,

$$\text{Düzy (dB)} = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (2.6)$$

olarak gösterilir. Alt ve üst sınır değerleri arasında büyük farklar olan ses ölçümleri için desibel çok uygundur. Desibel genelde güç ya da güç eşdeğeri büyüklükleri ölçmede kullanılır.

2.3 Ses Gücü, Ses Basıncı, Ses Şiddeti ve Düzeyleri

2.3.1 Ses Basıncı Düzeyi

Ses, kulak zarıyla temasta bulunan havanın basıncının değişmesiyle algılandığından, bir ses kaynağının ses gücünden daha çok belli bir noktada yarattığı ses basıncı önemlidir. Ses basıncı düzeyi SPL,

$$\text{SPL} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} \quad (2.7)$$

olarak tanımlanır. Burada P; ses basıncının kareler ortalaması (root mean square) P_0 ise uluslararası referans basıncı olarak kabul edilen 20 mikro paskal ($20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$) alınır. Burada ses basıncının kareler ortalaması;

$$P = \left[\frac{1}{T} \int_0^T P(t)^2 dt \right]^{0.5} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanır. SPL (ses basıncı düzeyi) eşitliği ise;

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir.

20 mikro paskalın referans değeri olarak seçilme nedeni; ortalama genç bir yetişkinin frekansı 1000 Hz olan bir ses dalgasını duyabilmesi için en az 20×10^{-6} Pa değerinde bir basıncın gerekmesidir. Yani 1000 Hz'deki duyma referans olarak alınmıştır. Ses basıncı düzeyinin tanımında basınçların değil de basınçların karelerinin oranının kullanılma nedeni dB'in genellikle güç oranları için kullanılması ve basıncın karesiyle orantılı olmasıdır.

2.3.2 Ses Şiddeti ve Düzeyi

Ses kaynağının bulunduğu ortamın akustik ve geometrik özellikleriyle, kaynaktan olan mesafeye bağlı olarak değişen özelliğine ise ses şiddeti adı verilir. W gücüne sahip bir ses kaynağından çıkan ses dalgasının A alanından geçtiği zaman, birim alandaki güç;

$$I = \frac{W}{A} \quad (2.10)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Akustik şiddeti ölçmek oldukça zordur. Fakat, ses basıncı; sıvı içerisinde herhangi bir kaynaktan oluşup, serbest alana yayılan basınç dalgası şeklinde ölçülebilir. Ölçülen basıncın büyüklüğü kaynaktan yayılan akustik şiddetinin sıvı içerisinde oluşturduğu akustik deformasyonla ilişkilidir. Bunun yanı sıra, akustik dalgaların hareket yönüne doğru eğrilik yarıçapı, akustik dalga boyunun çok daha büyük olmasından dolayı, yapılacak ölçümlerin kaynaktan yeterince uzak mesafede olması gerekmektedir. Bu koşullar altında "uzak-alan" akustik şiddeti I ve akustik basınç arasında şöyle bir bağıntı mevcuttur;

$$I(t) = \frac{P^2(t)}{\rho \cdot c} \quad (2.11)$$

burada $\rho \cdot c$ ifadesi akışkanın akustik empedansıdır. Akustik şiddetin ve basınç karelerinin zamana bağlı ortalamaları sırasıyla;

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} I(t) dt \quad (2.12)$$

$$\bar{P}^2 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} P^2(t) dt \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir. Ses düzeyi Desibel (dB) cinsinden şöyle ifade edildiği bir önceki bölümde belirtilmişti;

$$SPL = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} \quad (2.14)$$

bu ifadede P_0 değeri 10^{-6} [1 mikro paskal] olup, akışkan içerisinde ölçülen referans ses basıncı değeridir. Benzer şekilde ses şiddeti düzeyi de (SIL) aşağıdaki gibi formülüne edilebilir;

$$SIL = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (2.15)$$

Burada referans ses şiddeti 10^{-12} Watt/m²'dir.

2.3.3 Ses Gücü Düzeyi

Bir ses kaynağının yaydığı ses enerjisinin gücüne ses gücü (veya akustik güç), bu gücün düzeyine ise ses gücü düzeyi denir. Hava ortamında, SWL referans gücü için uluslararası değer $W_0 = 10^{-12}$ Watt kabul edilmiştir. Hava ortamında 1 piko Watt kabul edilen referans akustik güç, su ortamında 1 Watt kabul edilir. Bu tanıma göre ses gücü W olan bir kaynağın ses gücü düzeyi;

$$SWL = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} \quad (2.16)$$

eşitliğiyle bulunabilir.

Akustik güç, akustik şiddet akısının, kaynağı çevreleyen yüzey alanı boyunca integre etmek suretiyle elde edilir. Kaynak üniform bir şekilde tüm yönlerde yayılım yapıyor ise güç seviyeleri ve kaynak düzeyleri arasında basit bir bağıntı ortaya çıkar;

$$SWL = L_s \quad (2.17)$$

burada L_s referans kaynak düzeyi 1 ft de 0,0002 dyne/cm² ve SWL 10^{-12} Watt olan referans güç düzeyidir. Su ortamında bu ilişki;

$$SWL = L_s - 171 \quad (2.18)$$

burada L_s referans kaynak düzeyi olup 1 metrede 1 μ Pa ve SWL referans güç düzeyi 1 Watt'tır. Çizelge 2.2'de bazı ses güçleri ve düzeyleri verilmiştir.

Çizelge 2.2 Bazı ses güçleri ve ses düzeyleri.

Kaynak	Ses Gücü (W)	Ses Gücü Düzeyi (dB)
Fısıltı	10^{-9}	30
Normal konuşma	10^{-5}	70
Bağırarak konuşma	10^{-3}	90
Kamyon kornası	10^{-1}	110
Pervaneli uçak motoru	1	120
Dört jet motorlu uçak	5×10^4	167

2.4 Kaynak Düzeyi

Akustik gürültü ölçümleri bazen ölçüldüğü gibi verilmesine karşın, çoğunlukla mevcut ölçümlerden elde edilen makul hesaplamaların oluşturduğu terimler kullanılarak ifade edilir. Bu terimlerden bir tanesi de kaynak düzeyidir. Bu düzey kaynaktan yayılan akustik güce eşit olmalıdır, fakat unutulmamalıdır ki akustik güç direkt olarak ölçülemez. Kaynaktan belirli bir mesafeden ölçülen nicelik akustik basınçtır. Basıncın mesafe ile değişmesinden dolayı, kaynak şiddetinin belirlenmesinde akustik basınç tek başına kullanılamaz. Bugüne kadar bahsedilen ölçüm mesafelerini standartlaştırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Örnek olarak bu mesafeler; hava ortamında makinelerden 3 ft ve 10 ft, gemilerden ve denizaltılardan ise 20 metre ve 100 metre kabul edilerek çalışmalar sürmüştür. Kaynak düzeyi; mevcut akustik kaynaktan belli bir referans mesafeden örneğin 1 ft, 1 yada ya da 1 metre mesafeden bir ideal noktasal kaynaktan aynı ses şiddetini yayan ölçülen basınç düzeyi olarak tanımlanabilir. Pratikte çoğu kaynağın yönsel yayılma eğilimi olduğundan, kaynak düzeyi de tam anlamıyla ses basınç dalgalarının yönsel fonksiyonudur. Kaynak düzeylerinin direkt olarak ölçülmesi mümkün değildir. Bunun yerine, daha uzak mesafelerden yapılan ölçümlerle ifade edilir. Kaynak düzeyleri için kabul edilen referans mesafeler ve birimler şöyledir;

$$\text{dB re } 1 \text{ ft, } 0,0002 \text{ dyne / cm}^2 \text{ (hava ortamında)} \quad (2:19)$$

$$\text{dB re } 1 \text{ metre veya } 1 \text{ yada, } 1 \mu\text{Pa (su ortamında)} \quad (2.20)$$

2.5 Desibellerde Toplama, Çıkarma ve Ortalama Alma İşlemleri

Ses basıncı düzeyleri SPL_i olan n ayrı ses dalgasının toplam ses basıncı düzeyi, SPL_t 'lerin aritmetik toplamıyla bulunamaz. Bunun hesabı için;

$$SPL_t = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{SPL_i / 10} \right) \quad (2.21)$$

eşitliği geçerlidir. Örneğin ses düzeyi 70 ve 75 dB olan iki ses kaynağının ses şiddeti düzeyi,

$$SPL_t = 10 \log(10^{70/10} + 10^{75/10}) = 76.19 \text{ dB} \quad (2.22)$$

olur. Desibellerde çıkarma işlemi, ölçülen ses basıncı düzeyinden SPL_t çevre gürültüsünün yarattığı ses basıncı düzeyini SPL_A çıkararak belli bir kaynağın yarattığı ses basıncı düzeyini SPL_B bulmak gerektiği ya da benzeri durumlarda kullanılır. Desibellerde toplama işlemine benzer bir yol izlenerek;

$$SPL_B = 10 \log[10^{SPL_t/10} - 10^{SPL_A/10}] \quad (2.23)$$

eşitliği ile bulunabilir (Ross,1976). Aynı noktada birden fazla ölçümün farklı olması durumunda ortalama alma gereği duyulabilir. Bu durumda da aşağıdaki formülle ortalama bulunabilir.

$$\overline{SPL_t} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{SPL_i / 10} \right) \quad (2.24)$$

denklem (2.24)' de verilen n ölçülen ses düzeylerinin sayısıdır.

2.6 Ses Basıncı Spektrumu ve Oktav Bantları

Frekans analizinde karşılaşılabilecek ilk sorun hangi frekans aralığında inceleme yapılması gerektiğidir. Bir sesi oluşturan kaynakların tümünün, örneğin frekansı 10000 Hz olan bir kaynağın etkisinin bilinmesi gerekli midir? Bu sorunun cevabını vermek için insan kulağının işitebileceği frekansların bilinmesi gereklidir. Konumuzun ses ve pervane gürültüsü olduğundan, insan kulağının işitebileceği frekanslarda çalışmak önemlidir. İnsan kulağı yaklaşık olarak 16 Hz – 20 kHz arasındaki frekanslara duyarlıdır. Kulağın en hassas olduğu frekans 3000 Hz'dir. Buradan anlaşılacağı üzere incelenmesi gereken frekans aralığı oldukça geniştir. Buna karşın sabit genişlikte bantların kullanılması birçok durumda çok uzun analizlerin yapılmasını gerektirir. Bu nedenle ses ve gürültü analizlerinde incelenecek olan frekans aralığı oktav bandı adı verilen kısımlara bölünür. Bir oktav bandında, bandın üst sınır

değeri alt sınır değerinin iki katıdır ve her bandın üst sınır değeri, bir sonraki bandın alt sınır değerini oluşturur. Her bandın merkez frekansı ise alt ve üst sınır değerlerinin geometrik ortalamasıdır. Matematiksel olarak bir oktav bandı şöyle ifade edilir;

$$f_2 = 2 \cdot f_1 \quad (2.25)$$

$\Delta f = f_1 - f_2$ olduğundan;

$$f = (f_1 \cdot f_2)^{1/2} \quad (2.26)$$

burada f_1 alt sınır frekans değerini, f_2 üst sınır frekans değerini, f merkez frekansı ve Δf bant genişliğini ifade etmektedir.

Gürültü hesaplamalarında en yaygın kullanılan bant aralığı ise 1/3 oktav bandıdır. 1/3 oktav bandında ise üst sınır değeri alt sınır değerini $2^{1/3}$ katıdır. Matematiksel ifade ile;

$$f_2 = 2^{1/3} \cdot f_1 \quad (2.27)$$

ifade edilir. Buna göre en çok kullanılan orantı bandı, 1/3 oktav bandı;

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{f_2 - f_1}{(f_1 \cdot f_2)^{1/2}} \quad (2.28)$$

$$= \frac{2^{1/3} f_1 - f_1}{(f_1 \cdot 2^{1/3} f_1)^{1/2}} = \frac{2^{1/3} - 1}{2^{1/6}} = 0.232 \quad (2.29)$$

bu yüzden 1/3 oktav bandında, frekans bant aralığı merkez frekans değerinin 0.232 katıdır. Genel bir ifade kullanılacak olursa;

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{2^{1/m} - 1}{2^{1/2m}} \quad (2.30)$$

olmaktadır. Denklem (2.30)'de kullanılan m ifadesi oktav bandına göre 1, 3 ya da 10'dur.

3. PERVANE GÜRÜLTÜSÜ ANALİZ YÖNTEMİ

Günümüzde gemilerdeki gürültü ve titreşimlerin sıkı kontrolü dizaynerin pratik ve doğru tahminler yapmasını gerektirmektedir. Bu yüzden gürültü kaynaklarının analizi bu tahminler için son derece önemlidir. Bu bağlamda gemi pervaneleri de çok kritik bir durum arz etmektedir.

Bir pervane kanadı üniform olmayan bir gemi izinde hareket ederken, pervane basınç dağılımında çok büyük dinamik değişikliklerin ortaya çıkmasına sebep olur. Pervane kanadında lokal basınçların su buhar basıncı seviyesinin altına düşmesi suda kabarcıklar oluşmasına ve bunun sonucunda da kavitasyona neden olur.

Kavitasyon durumunda bir geminin su altı gürültüsünün en önemli kısmı pervaneden oluşur. Ayrıca pervane kavitasyonu genellikle tüm deniz araçları için en baskın gürültü kaynağıdır. Denizaltı ve torpidolar kavitasyonu önlemek için gerekli derinliklerde çalıştırılırlar. Su yüzeyinde hareket eden deniz araçları genellikle çok gelişmiş pervane kavitasyonlarına sahiptirler ve 5 Hz gibi düşük frekans seviyelerinden 100 kHz kadar olan tüm frekanslardaki gürültü yayılımı spektrumu bu kaynak tarafından oluşturulur. Bu yüzden kavitasyonlu pervaneden yayılan gürültü seviyelerinin ölçülmesi (yaklaşık hesabı) oldukça önemlidir. Tipik bir kavitasyon gürültüsü spektrumu kendi içinde iki kısma ayrılır. Bunlar ;

- Pervane kanadı ve şaft dönme hızına bağlı olarak sürekli değişen dar bant gürültü spektrumu. Devamlı olmayan (ayrık) spektrum genellikle 100 Hz seviyelerinde bileşene sahiptir.
- Rastgele büyüyen ve azalan kavitasyondan kaynaklanan geniş bant gürültü spektrumu, genellikle bu spektrum 100 Hz'in üstünde baskın olmakla birlikte 40 – 300 Hz frekans bandında geniş bir pik frekans aralığına sahiptir.

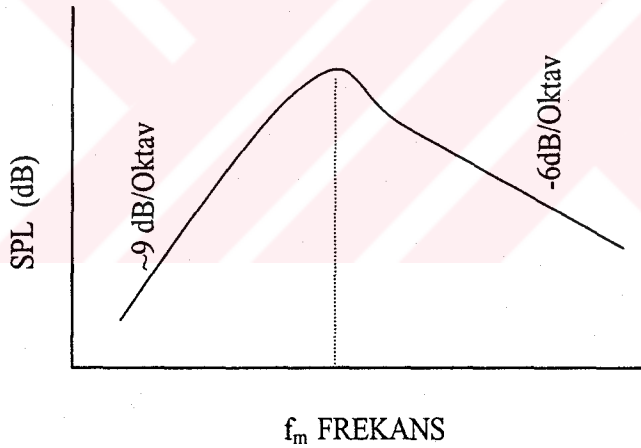
Pervane gürültüsünde düşük seviyeler isteniyorsa; başlangıç olarak pervane kanat sırt kavitasyonu oluşumu önlenmelidir. Girdap kavitasyonu makul sınırlar içinde pervane dizaynından bağımsız olarak çoğunlukla meydana gelir. Bununla birlikte girdap kavitasyonu su altı gürültüsünde önemsiz sayılabilecek bir yere sahiptir (Fraser, 1986).

Kavitasyon kabarcıkları patladığında geniş bant gürültü oluşur. Gürültü geminin çevresinde geniş bir alana yayılır ve geminin iç yapısını etkiler. Pervane kanadının 360 derece dönerken kavitasyon rastgele azalır artar. Tipik bir V-formlu geminin iz alanında pervane kanadı tekneye en yakın olduğu anda kavitasyon değeri pik (en yüksek) değerine ulaşır. Rastgele

artan azalan kavitasyon; pervane kanadının tekneye en yakın noktada gemi arkasında basınç nabızlarının oluşmasına neden olur. Bu kanat geçiş veya kanatların geçiş frekanslarından dolayı tekne yüzeyinde kuvvetler meydana gelir. Bu kuvvetlere bağlı olarak pervane kaynaklı gürültü ve titreşimin ana nedeni kavitasyondur.

Kavitasyon dışında titreşim ve gürültü meydana getiren iki kaynak daha gösterilebilir. Bunlar; pervane kanadına ve yüklenmesine bağlı basınç nabızları ve pervane kanadının 360 derece dönmesiyle oluşan yüklenme varyasyonlarına bağlı shaft kuvvetleridir.

Il'ichev ve Lesunovskii (1963), Akulichev ve Olshevskii (1968), Morozov (1968), Lyamshev (1969) ve Boguslavskii ve diğerleri (1970) kavitasyon olayını rastgele oluşan bir süreç olarak ele almışlar ve spektrum özellikleri üzerinde istatistiki yöntemleri kullanmışlardır. Kabarcık kavitasyonu olayında tekil patlamaların nabız özellikleri ve rastgele olaylar silsilesinden dolayı sonuç spektrumu geniş bir frekans bandına yayılmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere spektrumda ses basınç düzeyi keskin bir şekilde yükselir sonra 6dB/oktav oranında geniş bir frekans bandında azalmaktadır (Ross, 1976).



Şekil 3.1 Tipik bir kavitasyon gürültüsü spektrumu.

3.1 Pervane Gürültüsü Analiz Yönteminin Genel Özellikleri

Geliştirilen pervane gürültüsü hesaplama programının iki ana başlığı mevcuttur. Bunlar; kavitasyonsuz ses basınç düzeyi $(SPL)_{NC}$ (Sound Pressure Level for Non-Cavitating Part) ve kavitasyonlu ses basınç düzeyi $(SPL)_{CAV}$ (Sound Pressure Level for Cavitating Part) bölümleridir. Programın her iki kısmı da frekans ile değişmekte ve aynı zamanda itme, rotasyonel hız, kavitasyon sayısı, pervane geometrisi (hatve ve kort) ve üniform olmayan iz gibi hidrodinamik parametreleri içermektedir. Kavitasyon gürültüsü için parametreler ve

parametre grupları daha önceden yapılmış olan çeşitli deneyler sayesinde elde edilmiştir. Bu deneyler kavitasyonun oluşmasını ve düşük frekans dinamiklerini gösterdiği için tekneyi etkileyen basınçların hesaplanmasında kullanılan yarı ampirik metotların temelini oluşturmuştur. Metot aynı zamanda kavitasyon başlangıcını devir/dakika cinsinden vermektedir. Bahsedilen kavitasyon başlangıç noktasının üstünde kavitasyon kaynaklı gürültü önemli derecede artmakta, 300 – 1000 Hz frekans aralığında keskin bir pik bölgesine sahip olmaktadır. Gürültü spektrum eğrilerinin, her iki kavitasyonlu ve kavitasyonsuz kısımlarının pik noktaları vardır. Kavitasyonsuz kısım geniş, net olmayan ve yavaşça değişen bir pik karakteristiğine sahiptir. Kavitasyon durumundaki eğri daha keskin, dik ve yüksek bir pik karakteristiğine sahiptir. Kavitasyon gürültüsünün pik frekansı kavitasyon patlama fazında oluşan kabarcıkların osilasyon frekanslarına bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden kavitasyon sayısının kavitasyon başlangıç sayısına oranı (σ/σ_i) program için temel bir değişken olmaktadır.

3.1.1 Kavitasyonsuz Gürültü Hesaplama Yöntemi

Pervane gürültü hesaplamalarında en önemli gelişme dönen helikopter rotorları etrafındaki akış parametrelerinin boyut analizi ile meydana gelmiştir. Basit boyut analizinin öne sürdüğü ilk varsayım pervane gürültü seviyesinin eşitlik (3.1)'de verilen ifade ile orantılı olduğudur;

$$10\log(A_E V^6 / r^2) \quad (3.1)$$

bu ifadede A_E pervane kanat açılım alanı, V kanat hızı ve r pervane yarıçapıdır. Bundan sonraki birçok çalışmalar direkt olarak gürültüye etki eden sabitlerin bulunması üzerine yapılmıştır. Aşağıda helikopter rotor gürültüsü için geliştirilen formüllerden bazıları verilmiştir;

$$SPL = 10\log[AV^6/r^2] + c \quad \text{Hubbard} \quad (3.2)$$

$$SPL = 10\log[V_T^6 C_T^2 A] + 10\log(\cos\phi) + c \quad \text{Davidson ve Hargest} \quad (3.3)$$

$$SPL = 10\log[V_T^6 T^2 / Ar^2] + c \quad \text{Schlegel ve diğerleri} \quad (3.4)$$

$$SPL = 10\log[V_T^{2.68} T^{1.66} / r^2] + 20\log(\phi) + c \quad \text{Stuckey ve Goddard} \quad (3.5)$$

$$SPL = 10\log[V_7^6 A / r^2] + f[T/AV_T^2] dB \quad \text{Widnall} \quad (3.6)$$

bu eşitliklerde A tipik rotor alanı, V ortalama rotor hızı, V_T rotor uç hızı, V_7 0,7 yarıçaptaki

rotor hızı, C_T yüklenme sayısı, T pervane itme kuvveti, ϕ pervane ekseninden gözlemciye olan açı, c sabit sayı ve $f[T/AV_T^2]$ hesaplanması gereken fonksiyondur.

Sonraki araştırmacılar universal spektrum fonksiyonunu gürültü spektrumunun maksimum olduğu f_p pik frekans değerinin fonksiyonu olacak şekilde uygulamışlardır. Bu fikirleri etkin şekilde kullanan Lowson (1968) yeni bir formülasyon önermiştir. Bu formülasyon daha sonra Odabaşı (1987) tarafından geliştirilerek kavitasyonsuz pervaneler için aşağıdaki gibi sunulmuştur;

$$SPL_{1/3NC} = C_1 + 60\log[V_T/V_{ref}] + 10\log[Z.A_E/r^2][\cos^2\phi + C_2] + 10\log[C_T/C_{Tref}] + S_{1/3}(f/f_p) \quad (3.7)$$

burada V_{ref} referans hız, A_E kanat açılım alanı, r gözlemciye olan uzaklık, ϕ pervane ekseninden olan açı değeri, C_T pervane yüklenme sayısı (aynı zamanda K_T/J^2 ya da K_Q/J^3 gibi düşünülebilir), C_{Tref} referans yüklenme değeri, $S_{1/3}(f/f_p)$ universal 1/3 oktav-bant spektrum fonksiyonu, f_p spektrumun pik yaptığı frekans değeridir, C_1 ve C_2 kullanılan verilerden elde edilecek sabitler ve Z pervane kanat sayısıdır. Bahsedilen referans değerleri tam ölçekli datada kavitasyonun başladığı noktadır.

3.1.1.1 Pervane Yüklenme Sayısı (C_T)

Pervane yüklenme sayısı için ampirik formül eşitlik (3.8)'deki gibi verilmiştir;

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A V_A^2} \quad (3.8)$$

Bu ifadedeki V_A pervane ilerleme hızı, gemi hızına bağlı olarak yazılacak olursa;

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A (1-w)^2 V_s^2} \quad (3.9)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadelerde ρ su yoğunluğu, w Taylor iz sayısı, T itme, V_s gemi hızı ve A pervane projeksiyon alanıdır. Projeksiyon alanı, pervane disk alanına bağlı olarak eşitlik (3.10)'daki gibi hesaplanabilir;

$$A = A_D (1,067 - 0,229 P / D) \quad (3.10)$$

pervane disk alanı ise (3.11) eşitliğindeki gibi hesaplanabilir.

$$A_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.11)$$

Her iki eşitlikte de (3.10 ve 3.11) P ve D ifadeleri sırasıyla pervane hatvesini ve çapını ifade etmektedir.

3.1.1.2 Frekans Terimi (f/f_p)

Kavitasyonsuz gürültü spektrumu için (f_p)_{NC} pik frekans değerini hesaplamak için aşağıdaki gibi bir regresyon analizi kurulmuştur;

$$(f_p)_{NC} = \varphi[Z, A_E, r, f_{p1}, \{\omega \cdot C_{0.7} / V_{0.7}\}, P_{0.7}, D] \quad (3.12)$$

burada verilen değişkenler Z pervane kanat sayısı, A_E kanat açılım alanı, V_{tip} pervane kanat uç hızı, r gözlemciye olan uzaklık referans olarak 1 metre alınabilir, D pervane çapı, C_{0.7} ve P_{0.7} sırasıyla 0,7 yarıçapta pervane kort genişliği ve hatvedir. f_{p1} ve buna bağlı diğer parametreler ise aşağıda verilmiştir;

$$f_{p1} = V_{tip} / [P_{0.7} \cos \alpha + C_{0.7} |\sin \alpha|] \quad (3.13)$$

$$\omega = n \cdot Z \quad (3.14)$$

$$V_{0.7} = [(0.7 \pi n D)^2 + V_A^2]^{0.5} \quad (3.15)$$

burada α kanat hücum açısı, n devir/saniye cinsinden pervane devir sayısı, V_{0.7} pervane 0,7 yarıçapında akışkanın rölatif hızı ve V_A pervane ilerleme hızıdır. Kanat hücum açısı α aşağıdaki ampirik formülle bulunabilir;

$$\alpha = \beta - \tan^{-1} [V_{tip} / (0.7 \pi n D)] \quad (3.16)$$

3.1.2 Kavitasyonlu Pervane Gürültüsü Hesaplama Yöntemi

Kavitasyon durumunda bir pervanede toplam ses basıncı seviyesi; kavitasyonsuz gürültü seviyesine kavitasyon durumundaki gürültü seviyesinin katkısı eklenerek aşağıda belirtildiği gibi bulunabilir;

$$SPL_{1/3CAV} = 10 \log \{ 10^{SPL_{1/3NC} / 10} + 10^{\Delta SPL_{1/3} / 10} \} \text{dB} \quad n_s > n_i \text{ için} \quad (3.17)$$

bu ifadede n_s birim saniyede maksimum şaft dönme hızı, n_i kavitasyonun başladığı birim saniyede şaft dönme hızıdır.

3.1.2.1 Kavitasyon Sayısı (σ) ve Kavitasyon Başlangıcı

Kavitasyon sayısı pervane gürültü analizinde şöyle kullanılmıştır;

$$\sigma = \frac{9,903 + I_{tip}}{0,5144(N.D/60)^2} \quad (3.18)$$

denklem (3.18)'de verilen N pervanenin dakikadaki devir sayısı, D metre cinsinden pervane çapı ve I_{tip} metre cinsinden pervane kanat ucu derinliğidir.

Kavitasyon başlangıcı lokal kavitasyon sayısı σ 'nın azalması ile ya da lokal kesitteki hücum açısı α 'nın ($= \varphi - \beta_i$) artmasıyla meydana gelir. Kaldırıcı hat analizi β_i açısının şöyle hesaplanabileceğini göstermektedir;

$$\beta_i = (0,8\varphi + 0,2\beta) \quad (3.19)$$

burada β ilerleme açısı ve φ hatve açısı;

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{[0,5144.V_s(1 - w_{eff})]}{(0,7\pi D)} \right] \quad (3.20)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left[\frac{(P/D)}{0,7.\pi} \right] \quad (3.21)$$

formülleri ile bulunur. Formüllerde V_s knot cinsinden gemi hızı, w_{eff} efektif iz sayısı, n pervanenin saniyedeki devir sayısı ve D metre cinsinden pervane çapıdır.

Kavitasyon başlangıç sayısı σ_i 'nin elde edilmesi için aşağıdaki gibi bir çoklu regresyon yöntemine başvurulmuştur.

$$\log \sigma_i = \varphi(P_{0.7}, I_{tip}, w_{LOR}, w_{mean}) \quad (3.22)$$

Bu ifadede $P_{0.7}$ pervane 0,7 yarıçapında hatve, I_{tip} pervane uç batma derinliğidir. w_{LOR} tam yarıçapta lokal iz sayısı ve w_{mean} pervane diski üzerinde ortalama iz dağılımıdır.

3.1.2.2 Kavitasyonun Pervane Gürültüsüne Etkisi

Kavitasyon gürültüsü matematiksel olarak modellenirken kavitasyona ait iki niteliğin özellikle açıklanması gerekmektedir. Bunlardan birisi kavitasyon olayının büyümesinde en etkili parametre olan lokal kesitteki hücum açısının, kavitasyon sayısına oranı α/σ ve κ harfiyle ifade edilen kavitasyon başlangıç sayısının kavitasyon sayısına oranıdır (3.23).

$$\kappa = \sigma_i / \sigma \quad (3.23)$$

Kavitasyon gürültü düzeyinin κ parametresiyle değişimi yaklaşık olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Delta SPL \sim 10 \log[c(\kappa - 1)] \quad (3.24)$$

$$\Delta SPL \sim 10 \log[c\sqrt{\kappa}(1 - \sqrt{1/\kappa})^2] \quad (3.25)$$

$$\Delta SPL \sim 10 \log[c(\kappa - 1)\sqrt{\kappa}(1 - \sqrt{1/\kappa})^2] \quad (3.26)$$

buradaki her üç eşitlikte de ΔSPL kavitasyon gürültüsündeki artışı ve c hesaplanması gereken sabit sayıyı ifade etmektedir (Lesunovskii ve Kohla, 1969).

Bu yaklaşımın (Lesunovskii ve Kohla, 1969) eksik yanı; pervane kanat yüklenmesini özellikle de kavitasyonun büyümesi sırasında kanat uç yüklenmesini ihmal etmesidir. Ayrıca bu formülasyon kavitasyon başlangıcında özellikle de κ parametresinin 1 civarındaki değerlerinde doğru sonuçları vermekten uzak kalmıştır.

Bu eksikliği gidermek için yukarıda verilen yaklaşımda kavitasyon sayısı σ yerine, α/σ parametresi yazılmalıdır. Bununla birlikte, hesaplamanın bu kısmında lokal kesitteki hücum açısının (α) hesaplanması oldukça zordur. Lokal kesitteki hücum açısının (α) hesaplanması yerine, pervane uç yüklenmesi ya da pervane yüklenme sayısı yazılabilir (3.28). κ parametresini kavitasyon sayılarının oranı olduğunu düşünecek olursak;

$$\kappa = \sigma_i / \sigma = n_s^2 / n_i^2 \quad (3.27)$$

yazılabilir. Burada n_s birim saniyede maksimum shaft devir sayısı, n_i kavitasyonun başladığı andaki birim saniyede shaft devir sayısıdır. Böylelikle β ilerleme açısı,

$$\beta = \kappa C_T / C_{Tref} \quad (3.28)$$

şeklinde yazılır. Böylece ilerleme açısı β 'nin kavitasyon kaynaklı gürültü spektrumuna etkisi (3.29) eşitliğinde ifade edildiği gibi yazılabilir.

$$\Delta SPL \sim 10 \log[1 + C_7(\beta - 1)\sqrt{\beta}(1 - \sqrt{1/\beta})^2] \quad (3.29)$$

burada C_7 hesaplanması gereken sabit sayıdır.

Odabaşı (1987) tarafından geliştirilerek kavitasyonsuz pervaneler için sunulan formülasyona (3.30) ilerleme açısı da dahil edilerek, kavitasyonun toplam gürültüye etkisi bulunabilir (3.31).

$$\begin{aligned} \text{SPL}_{1/3\text{NC}} = & C_1 + 60\log[V_T/V_{\text{ref}}] + 10\log[Z.A_E/r^2][\cos^2\phi + C_2] \\ & + 10\log[C_T/C_{T\text{ref}}] + S_{1/3}(f/f_p) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Böylelikle kavitasyon gürültüsünün toplam gürültü seviyesine etkisi şöyle formülize edilebilir;

$$\begin{aligned} \Delta\text{SPL}_{1/3} = & 60\log[V_T/V_{\text{ref}}] + 10\log\left[\left(\frac{Z.A_E}{r^2}\right)(\cos^2\phi + C_1)\right] \\ & + 10\log[1 + C_7(\beta - 1)\sqrt{\beta}(1 - \sqrt{1/\beta})^2] + S_{1/3}(f/f_p) + C_8 \end{aligned} \quad (3.31)$$

eşitlikte verilen β ilerleme açısı;

$$\beta = [n_s^2 / n_i^2][C_T/C_{T\text{ref}}] \quad (3.32)$$

Yukarıdaki eşitliklerin her üçünde de n_s saniyedeki maksimum pervane devir sayısı, n_i kavitasyonun başladığı andaki saniyedeki pervane devir sayısı, C_1 , C_2 ve C_8 hesaplanması gereken sabitlerdir.

$(f_p)_{\text{cav}}$ kavitasyon durumundaki pik frekans değerinin bulunabilmesi için deney verileri kullanılarak aşağıdaki parametrelerden oluşan bir çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

$$(f_p)_{\text{cav}} = \varphi(w_{1,0R}, w_{\text{disc}}, C_{0,95R}, C_{0,6R}, \sigma) \quad (3.33)$$

Eşitlik (3.33)'de verilen $w_{1,0R}$ ve w_{disc} sırasıyla pervane kanat ucundaki ve pervane diskindeki iz dağılımıdır. $C_{0,95R}$ ve $C_{0,6R}$ ifadeleri ise pervane kanadının 0,95 yarıçapında ve 0,60 yarıçapında kort genişlikleridir.

Kavitasyon durumunda bir pervanede toplam ses basıncı düzeyi; kavitasyonsuz gürültü seviyesine kavitasyonun katkısı eklenerek bulunduğu Bölüm 3.1.2'de anlatılmıştı. Buna göre kavitasyon durumunda gürültü düzeyini hesaplamak için aşağıdaki logaritmik Kernel formülasyonu kullanılabilir (3.34).

$$\text{SPL}_{1/3\text{CAV}} = 10 \log \left\{ 10^{\text{SPL}_{1/3\text{NC}}/10} + 10^{\Delta\text{SPL}_{1/3}/10} \right\} \text{dB} \quad n_s > n_i \text{ için} \quad (3.34)$$

3.2 Pervane Gürültüsü Analiz Metodu İçin Gerekli Veriler

Pervane gürültüsü analiz programının çalıştırılması için gerekli olan veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Pervane gürültüsü analiz programı için giriş verileri.

1.Z	Pervane kanat sayısı
2. D	Pervane çapı (m)
3. Speed	Tekne hızı (knot)
4. RPM	Pervane devir sayısı /dakika
5. Power	Şaft gücü (metrik BG)
6. W-eff	Tekne arkasında efektif iz
7. BAR	Toplam kanat açılım alanı oranı
8. P70R	0.7 yarıçapında pervane hatvesi (m)
9.C95R	0.95 yarıçapında kesit kort genişliği (m)
10. C70R	0.70 yarıçapında kesit kort genişliği (m)
11. C60R	0.60 yarıçapında kesit kort genişliği (m)
12.TA	Pervane civarında su çekimi (dalgasız halde)
13. ZP	Kaide hattından pervane düzlemine şaft yüksekliği (m)
14. WAVHT	Durgun su yüzeyinden dalga yüksekliği
15. AX	Şaft ekseninden 0.7 yarıçap yüksekliğinde pervane ön açıklık (m)
16. AZ	Pervane ucu ile tekne kaplaması arasındaki minimum açıklık (m)
17. W _{max} 1R	AZ çevresinde maksimum lokal iz dağılımı (model ölçeğinde)
18. W _{mean} 1R	Pervane uç dairesinde ortalama nominal iz dağılımı
19. W _{mean} D	Pervane dairesinde ortalama nominal iz dağılımı

4. PERVANE GÜRÜLTÜSÜ ANALİZ YÖNTEMİNİN UYGULAMASI

Balık türlerinin izlenmesi için akustik sörvey önemli bir veri elde etme yöntemidir. Bu gemilerden yayılan gürültü balıkları teknelerden uzaklaştırmaktadır. Bu nedenledir ki, akustik ve trol sörveylerin hassasiyetlerine şüphe ile bakılmaktadır (Mitson,1995). Balıkçı araştırma gemileri, balık sürülerinin ve deniz memelilerinin izlenmesi (araştırılması) sırasında yeterli hidroakustik sörvey verimliliğini sağlamalıdır. Bu amaçla bir balıkçı araştırma gemisi için model ve tam ölçekli deneyler sayesinde pervane kavitasyon gürültüsü hesaplanmıştır (Atlas M. ve Takinacı, A.C., 2001).

Çalışmamızın bu kısmında pervane gürültüsü hesaplama programının uygulaması yapılacaktır. Metodun gerçeğe yakınlığını doğrulamak amacıyla Newcastle Üniversitesi'nde deneyleri yapılmış olan bir balıkçı araştırma gemisinin verileri kullanılmıştır. Model deney sonuçları ile programın sonuçları, ICES (International Council for the Exploration of the Sea) kriterleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 4.7).

4.1 Balıkçı Araştırma Gemisi ve Pervanenin Özellikleri

Geliştirilen pervane gürültü analiz programının uygulaması yapılan balıkçı araştırma gemisinin ana boyutları Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Balıkçı araştırma gemisi ve pervanenin ana özellikleri

L _{BP} , Kaimeler arası boy	33,5 m	Pervane kanat sayısı	4
B, Genişlik	7,8 m	Pervane çapı	2,1 m
d, Trimsiz su çekimi	3,0 m	Kanat açılım alanı oranı	0,8464
İlk trim	1,0 m	Bosa oranı	0,55
C _B , Blok katsayısı	0,5787	Çalıklık	40 Derece

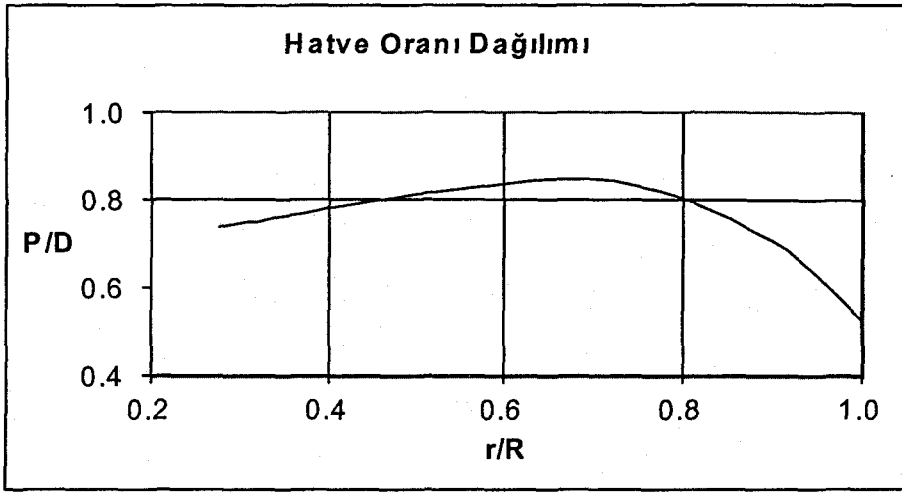
Çizelge 4.2'de Model pervanenin radyal geometrik detayları verilmiştir.

1. C. YÖNÜNDEN
1

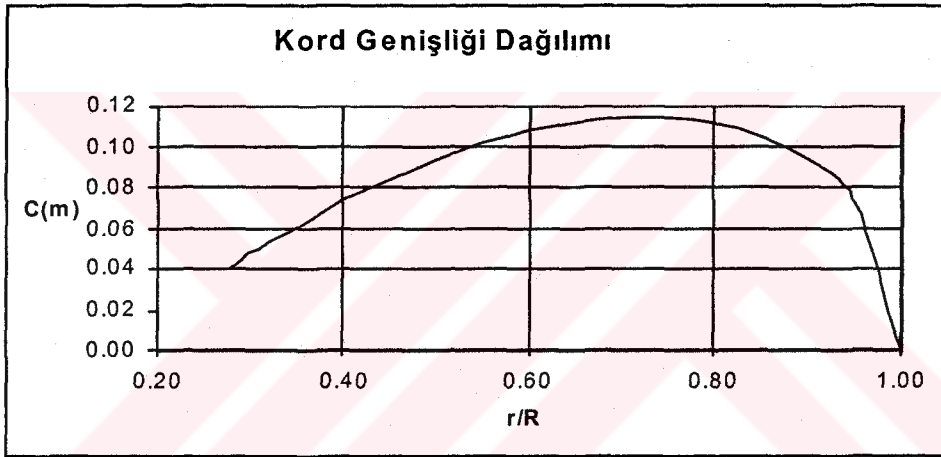
Çizelge 4.2 Model pervanenin radyal geometrik detayları

r/R	Boyutsuz yarıçap					
P/D	Boyutsuz hatve					
c	Kanat kesiti kort genişliği					
S	Kanat kesiti eğrilik ordinatı					
Rk	Kanat kesiti çalıklık ordinatı					
T	Kanat kesitinin maksimum et kalınlığı					
F	Kanat kesitinin maksimum eğriligi					
r/R	P/D	c (m)	S (m)	Rk (m)	T (m)	F (m)
0.27619	0.73370	0.04000	-0.00357	-0.00231	0.01070	0.00084
0.30000	0.74467	0.04714	-0.00500	-0.00310	0.01023	0.00099
0.40000	0.78227	0.07329	-0.01064	-0.00562	0.00838	0.00157
0.50000	0.81190	0.09329	-0.01464	-0.00672	0.00674	0.00202
0.60000	0.83470	0.10714	-0.01443	-0.00584	0.00529	0.00234
0.70000	0.84637	0.11357	-0.00707	-0.00254	0.00403	0.00240
0.80000	0.80603	0.11100	0.00993	0.00303	0.00297	0.00215
0.90000	0.70487	0.09400	0.03871	0.00936	0.00210	0.00151
0.95000	0.62587	0.07286	0.05814	0.01193	0.00174	0.00104
1.00000	0.52447	0.00000	0.08100	0.01334	0.00142	0.00000

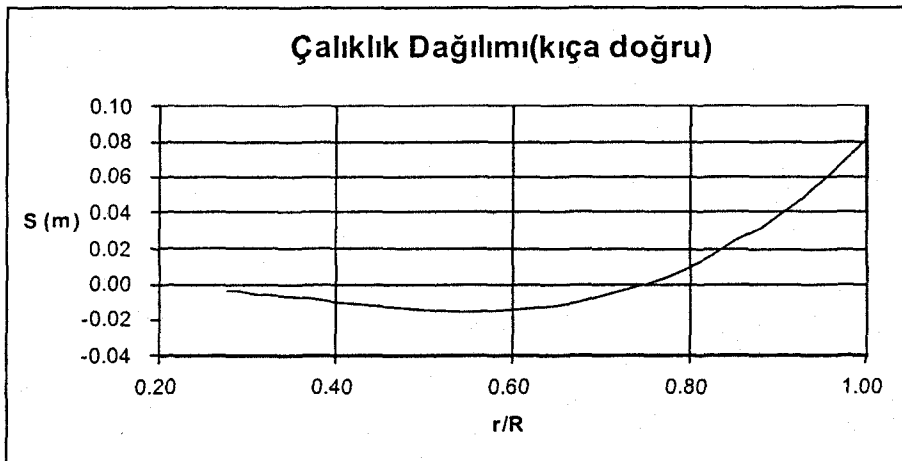
Model pervane ile gerçek pervane arasındaki benzerlik faktörü 7'dir. Modelden tam ölçekli pervaneye geçiş yaparken Çizelge 4.2'de verilen boyutlu geometrik özellikler 7 ile çarpılmıştır. Model pervaneye ait geometrik özelliklerin dağılımı Şekil 4.1'den Şekil 4.5'e kadar olan şekillerde görülmektedir.



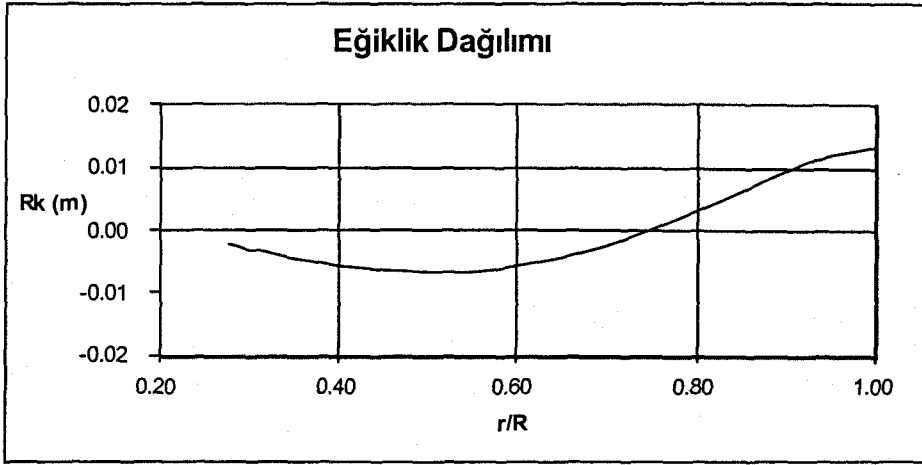
Şekil 4.1 Model pervanenin hatve oranı dağılımı.



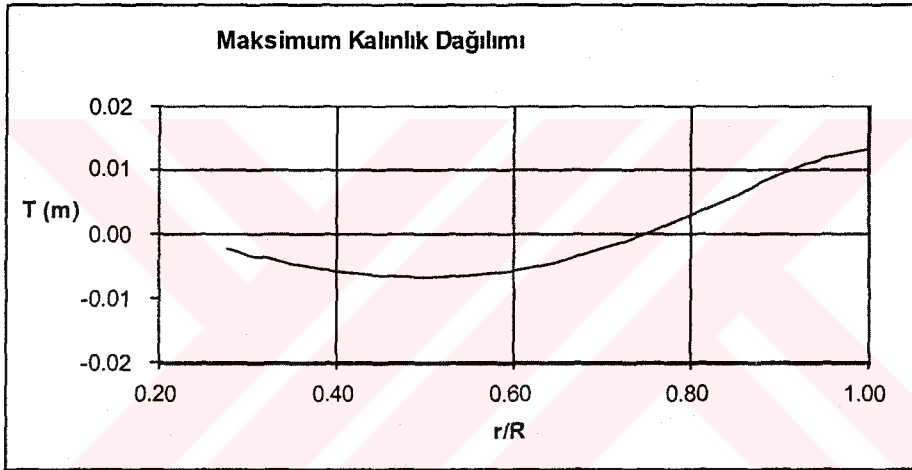
Şekil 4.2 Model pervanenin kort genişliği dağılımı.



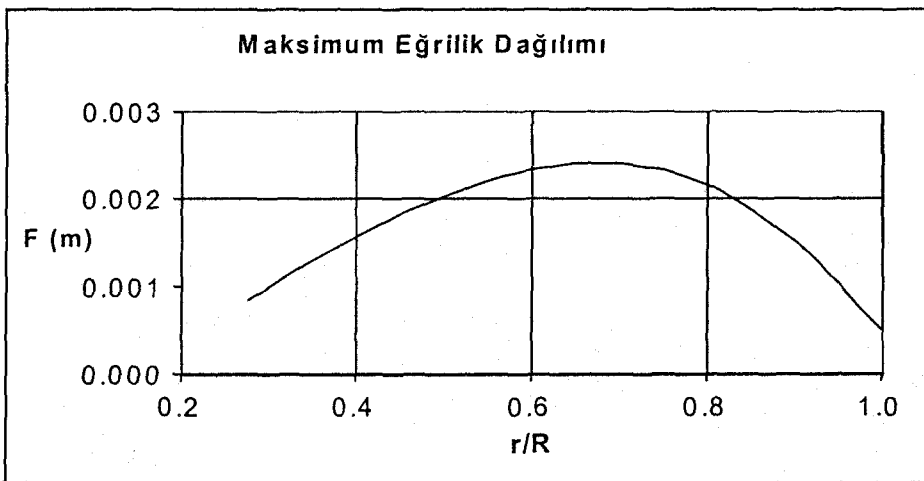
Şekil 4.3 Model pervanenin çalıklik dağılımı.



Şekil 4.4 Model pervanenin eğiklik dağılımı.

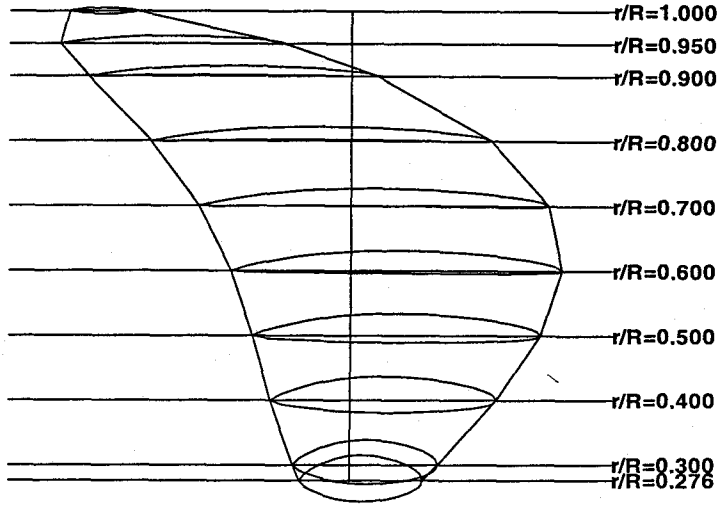


Şekil 4.4 Model pervanenin maksimum kalınlık dağılımı.



Şekil 4.5 Model pervanenin maksimum eğrilik dağılımı.

Şekil 4.6 da model pervanenin kanat açılımı taslağı görülmektedir.



Şekil 4.6 Model pervanenin kanat açılım taslağı.

4.2 Deney Sonuçları ile Gürültü Programının ICES Kriterleriyle Kıyaslanması

Balıkçı araştırma gemisinin programa uygulanan giriş verileri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Balıkçı araştırma gemisinin gürültü analiz programına uygulanan verileri

----- INPUT DATA -----	
DIAM (M): 2.10	A_Z (M): 0.420
NUM BLADES: 4	W_MAX_1R: 0.312
P_0.70 (M): 1.777	W_MEAN_1R: 0.154
C_0.95 (M): 0.510	W_MEAN_DISC: 0.196
C_0.70 (M): 0.795	VS (KN): 10.0
C_0.60 (M): 0.750	RPM: 197.0
TA (M): 4.000	SHP (HP): 333.00
ZP (M): 1.130	W7R: 0.1960
WAVE_HT (M): 0.000	
A_X (M): 0.567	

ICES'in balıkçı araştırma gemilerinde önermiş olduğu ses basınç düzeyleri ile ilgili ampirik formüller aşağıdaki gibidir (Mitson, 1995).

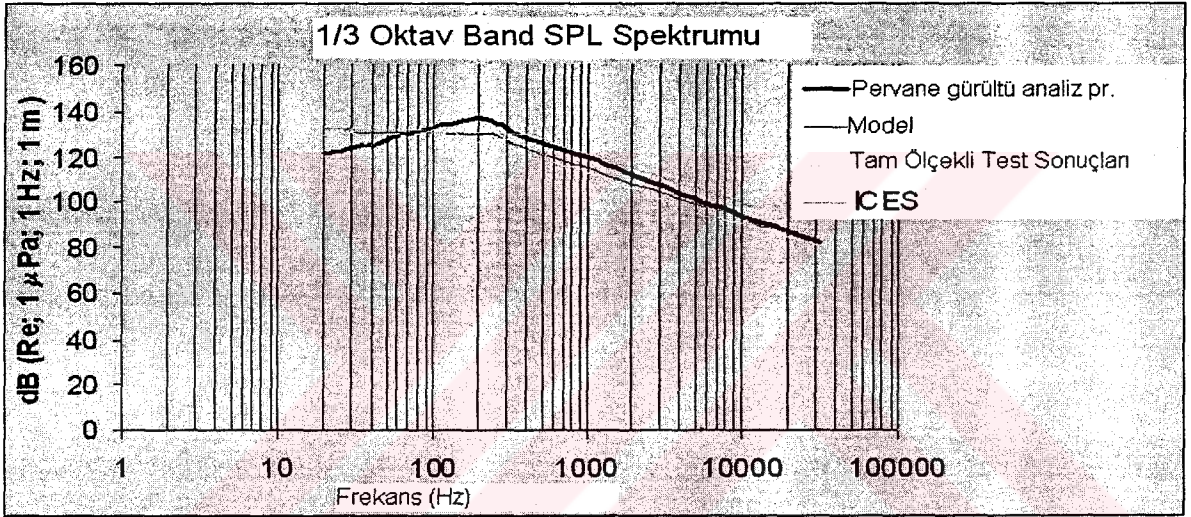
1 Hz ile 1 kHz frekans aralığı için;

$$\text{SPL} = 135 - 1,66 \log f \quad (4.1)$$

1 kHz ile 100 kHz frekans aralığı için;

$$\text{SPL} = 130 - 22 \log f \quad (4.2)$$

Model deneylerinin sonuçları, pervane gürültüsü analiz programının çıktıları ile ICES kriterleri Şekil 4.7 karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



Şekil 4.7 Pervane gürültüsü analiz programının sonuçlarının spektrumda karşılaştırılması

Bu çalışmanın sonunda ICES'in balıkçı araştırma gemileri için gürültü spektrum düzeyi sınırlamaları (Ek 1), tam ölçekli pervanenin gürültü sonuçları (Ek 2) ile model deneyleri esnasında çekilmiş fotoğraflar da (Ek 3) verilmiştir.

5. SONUÇLAR

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde Gemi İnşa Sanayiinde gelişmeye yönelik önemli adımlar atılmaktadır. Ticari gemilerin yanında, özellikle maliyet fiyatları yüksek olan askeri gemiler de ülkemizde yapılabilmektedir. İnşa edilen bu gemileri bazı nitelikleri taşıması istenmektedir. Örneğin bir yolcu gemisinde yolcuların titreşim ve gürültüden rahatsız olmamaları istenir veya bir askeri geminin düşman denizaltısı veya düşman savaş gemisi tarafından yakalanmaması için yaydığı gürültünün çok az olması gerekmektedir. Bunun yanısıra oşinografik araştırma gemilerinde özellikle de balıkçı araştırma gemilerinde (FRV) akustik sensörlerin maksimum verimle çalışması istenir. Sensörlerin gürültü seviyesi yüksek bir ortamda istenilen verimi sağlamadığı bilinen bir gerçektir. Özellikle gemi sanayiinde yeni atılımların yapıldığı ülkemizde bu konularda bilimsel çalışmaların eksikliği görülmektedir.

Gemilerde oluşan titreşim ve gürültünün en önemli kaynaklarından de birisi gemi pervanesidir. Herhangi bir gemiye ait pervanenin yaydığı akustik emisyonların az olması isteniyorsa ilk etapta pervane kanat sırt tarafında oluşan tabaka kavitasyonu önlenmelidir. Uç girdap kavitasyonu (tip vortex cavitation) pervanelerde en fazla görülen kavitasyon çeşidi olmasına rağmen sualtı akustiğinde ihmal edilebilecek kadar önemsiz bir yere sahiptir. Sırt tabaka kavitasyonunu önlemenin iki yöntemi vardır;

- Dizayn aşamasında gemi kış gövde karakteristiklerinin ve pervane işletme şartlarının isabetli seçimi.
- Seçilen pervane işletme şartlarına göre kavitasyon oluşma ihtimaline karşı düşük gürültü seviyeli pervane seçimi yapılmasıdır.

Günümüzde bilgisayar yardımı ile herhangi bir gemi pervanesinin değişik pozisyonlardaki performans ve kavitasyon durumunun incelenmesi (unsteady propeller cavitation analysis) kaldırıcı yüzey teorisinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Pervane gürültüsünü hesaplamak için genellikle model deneyleri yapılmaktadır. Söz konusu deneyler uzun ve uğraş isteyen ve maliyeti de fazla olan çalışmalardır (Ek 3). Bu çalışmada geliştirilen yarı-ampirik formüllere dayalı pervane gürültüsü analiz programı sunulmuştur. Yöntemin gerçek sonuçlara yakınlığını göstermek amacıyla deneyleri yapılan bir balıkçı araştırma gemisi ele alınmıştır. Geminin pervane model deneyleri Newcastle Üniversitesi'nde yapılmış (Atlar, M., ve Takinacı, A.C., 2000) ve tam ölçekli testleri ise Japonya'da yapılmıştır (Sasaki, N. ve Aono, T., 2001). Pervane gürültüsü analiz yönteminde uygulaması yapılan tekne için ICES kriterleri de dahil edilerek bir mukayese yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve gürültü

analiz programının sonuçları gerçek değerlerle oldukça yakın vermesine rağmen bazı frekanslarda ICES kriterlerini aştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.7). Programdaki bu küçük sapmanın nedeni pervanenin geometrik karakteristiklerinden “çalıklık değerinin” hesaba katılmaması gösterilebilir. Balıkçı araştırma gemileri, destroyerler ve diğer savaş gemileri veya yüksek süratli özel gemilerin dizaynı yapılırken; tekne pervane etkileşimi neticesinde pervane kanatlarının su akışındaki radyal değişimlerini karşılamak üzere ve pervane gürültüsünü en aza indirmek amacıyla yüksek çalıklık pervaneler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada sunulan pervane gürültüsü analiz programının kavitasyon durumunda uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna rağmen sonuçların daha sağlıklı ele alınabilmesi için çok daha fazla model deney sonuçları ile tam ölçekli deney sonuçlarına ihtiyaç vardır. Daha sonra yapılacak olan çalışmalarda programdaki bazı eksiklikler giderilerek, bir pervane dizayn programı ile birleştirilmesi hedeflenmektedir. Böylece dizaynı istenen bir pervanenin hidrodinamik özellikleriyle birlikte gürültü düzeyi kontrolünün de yapılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akulichev, V.A., ve Ol'shevskii, V.V. (1968), "Statistical Characteristics of Cavitation Phenomena", *Sov. Phys. Acoustics*, Vol. 14:22-26, 135-139.
- Atlar, M., Takinaci, A.C., Korkut, E., Sasaki N., ve Aono T., (2001), "Cavitation Tunnel Tests For Propeller Noise of a FRV and Comparisons With Full-Scale Measurements" CAV2001: Session B8.007.
- Boguslavskii, Yu. Ya, Ioffe, A.I. ve Naugol'nykh, K.A. (1970), "Sound Radiation by a Cavitation Zone", *Sov. Phys. Acoustics*, 16:17-20.
- Brown, N.A., (1977), "Cavitation Noise Problems and Solutions", *Proc. Int. Symp. on Shipboard Acoustics*, 10-15.6.1977, Elsevier, Amsterdam.
- Carley, M. (1996), *Time Domain Calculation of Noise Generated by a Propeller in a Flow*, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Trinity College, Dublin.
- Crighton, D.G. and Paryy, A.B., (1992), "Higher Approximations in the Asymptotic Theory of Propeller Noise", *AIAA Journal*, 30(1):23-28.
- Fraser, A.J. (1986), "The Prediction and Minimisation of Propeller Induced Waterborne Noise", BMT Report 14012-03:1-7.
- Griffiths, G., Enoch, P., ve Millard, N.W. (2001), "On the Radiated Noise of the Autosub Autonomous Underwater Vehicle" *ICES Journal of Marine Science*, 58:1195-1200.
- Gutin, L., (1948), "On the Sound Field of a Rotating Propeller", Technical Memorandum 1195, 10-16 Nov. 1948, NACA, Langley Aeronautical Lab., Langley Field, VA, USA.
- Hunt, F.V. (1992), *Origins in Acoustics*, Acoustical Society of America, New York.
- Koestler, A. (1986), *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, Penguin.
- Kuhn, T.S. (1977), *Mathematical Versus Experimental Traditions in the Development of Physical Science*, University of Chicago press, London.
- Il'ichev, V.I., ve Lesunovskii, V.P. (1963), "On the Noise Spectra Associated with Dynamic Cavitation", *Sov. Phys.-Acoustics*, 9:25-28.
- Lesunovskii, V.P. ve Kohla, Y.V. (1969), "Characteristics of Noise Spectrum of Hydrodynamic Cavitation on Rotating Bars in Water" *Sov. Phys. Acoustics*, Vol.14.
- Lowson, M.V. (1968), "Thoughts on Broad-Band Noise Radiated by a Helicopter", Wyle Lab. Report WR 68-20.
- Lyamshev, L.M. (1969), "On the Theory of Hydrodynamic Cavitation Noise", *Sov. Phys.-Acoustics*, 15:494-498.
- Marsh, B.N., (1683), "An Introductory Essay to the Doctrine of Sounds Containing some Proposals for the Improvement of Acoustics", *Society of Dublin, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, 156:472-486.
- Mitson, R.B., (1995), "Underwater Noise of Research Vessels", *ICES Co-operative Research Report No. 209*:61.

Morozov, V.P. (1968), "Cavitation Noise as a Train of Sound Pulses Generated at Random Times", Sov. Phys.-Acoustics, 14:361-365.

Odabasi, A.Y. (1987), "Cavitation Inception and Prediction of Broad-Band Noise Levels", BMT Report 14026-01:1-8.

Rayleigh, J.W.S. (1945), The Theory of Sound, Dover, New York, 2nd Edition.

Ross, D. (1976), Mechanics of Underwater Noise, Pergamon Press, New York.

Takinaci, A.C., Korkut, E., Atlar, M., Glover, E.J., Paterson, I., (2000), "Cavitation Observations and Noise Measurements with Model Propeller of a Fisheries Research Vessel", Department Report No: MT-2000-56, Department of Marine Technology, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle, UK.

Wright, S.E., (1969), "Sound Radiation from a Lifting Rotor Generated by Asymmetric Disk Loading", Journal of Sound and Vibration, 9(2):223-240.

EKLER

- Ek 1 ICES'in Balıkçı Araştırma Gemileri için önerdiği gürültü spektrum düzeyi (SPL) sınırlamaları
- Ek 2 Deneyler sırasında tam ölçekli pervanenin ölçülen spektrum düzeyi (SPL)
- Ek 3 Model pervanenin kavitasyon tünel testi sırasında çekilen fotoğrafları



Ek 1 ICES'in Balıkçı Araştırma Gemileri için önerdiği gürültü spektrum düzeyi (SPL) sınırlamaları

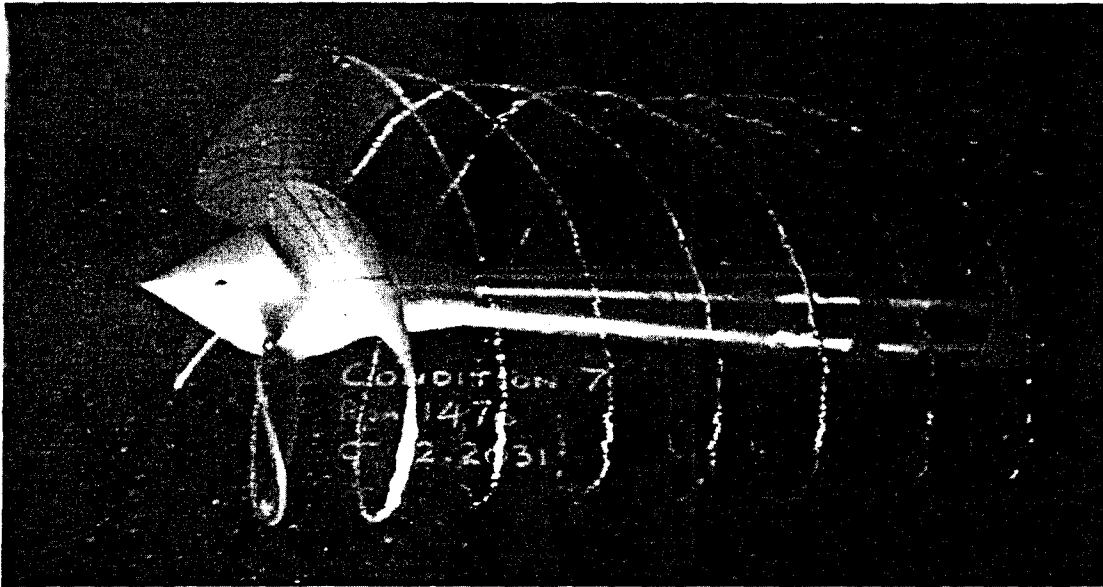
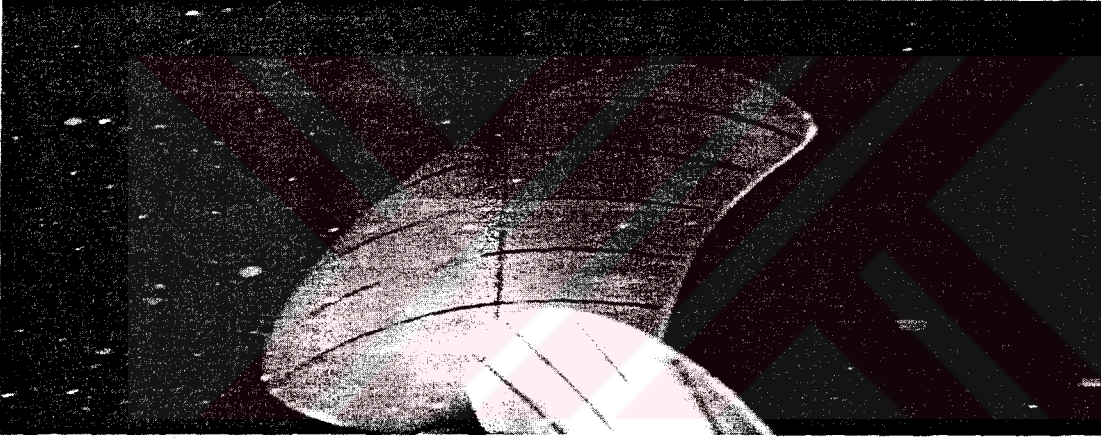
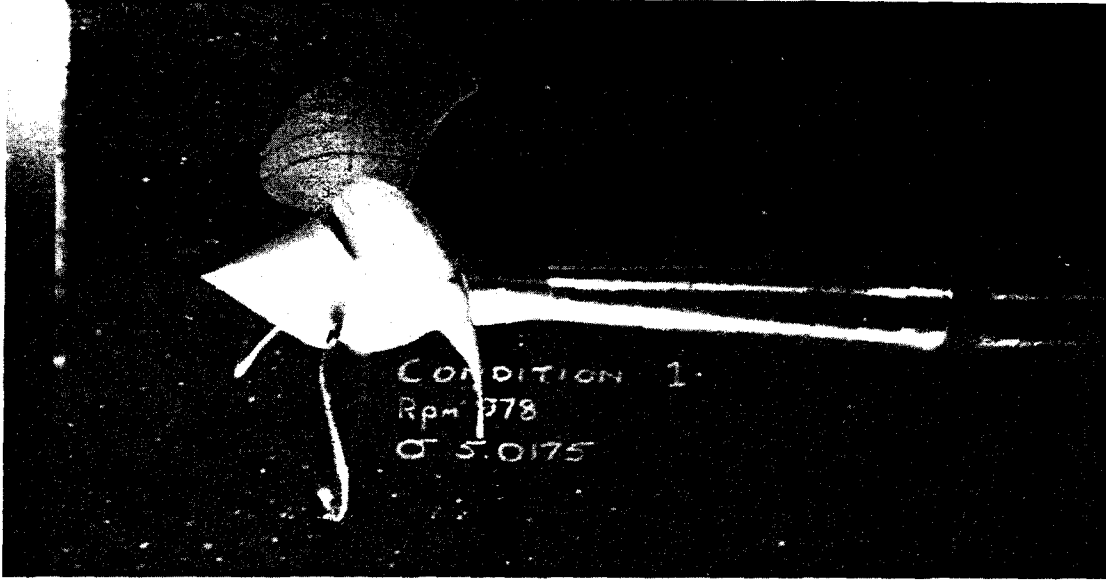
Merkez	DB	Merkez	DB
Frekans	1Hz, 1m	Frekans	1Hz, 1m
50	132	3150	119
63	132	4000	117
80	132	5000	115
100	132	6300	112
125	132	8000	110
160	131	10000	108
200	131	12500	106
250	131	16000	104
315	131	20000	101
400	131	25000	99
500	131	31500	97
630	130	40000	95
800	130	50000	93
1000	130	63000	90
1250	128	80000	88
1600	126	100000	86
2000	123	125000	84
2500	121	160000	82

Ek 2 Deneyler sırasında tam ölçekli pervanenin ölçülen spektrum düzeyi (SPL)

V=10 Knot N=197 RPM

 $\sigma_n=5.0175$ $K_t=0.1382$

Merkez Frekans	dB 1Hz, 1m	Merkez Frekans	dB 1Hz, 1m
10	132	634	119
13	132	806	117
16	132	1007	115
20	132	1269	112
25	132	1611	110
32	131	2014	108
40	131	2518	106
50	131	3222	104
63	131	4028	101
81	131	5035	99
101	131	6344	97
127	130	8056	95
161	130	10070	93
201	130	12688	90
252	128	16112	88
322	126	20140	86
403	123	25175	84
504	121	32224	82

Ek 3 Model pervanenin kaviteasyon tünel testi sırasında çekilen fotoğrafları

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.07.1979

Doğum yeri Adana

Lise 1994-1997 Kozan Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Gemi İnşaatı Mühendisliği BölümüYüksek Lisans 2001-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı
Gemi İnşaatı Mühendisliği Programı**Çalıştığı kurumlar**

2001-2002 Kıran Makine ve Gemi Sanayii-Turgut Kıran

2002-Devam ediyor YTÜ Gemi İnşaatı Müh. Böl. Araştırma Görevlisi

