İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZER GÖNDERMECİN DURUM DENETİMİ İÇİN MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mehmet HAKLIDIR

Anabilim Dalı: DİSİPLİNLERARASI

Programı: MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZER GÖNDERMECİN DURUM DENETİMİ İÇİN MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mehmet HAKLIDIR

518031017

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Şeniz ERTUĞRUL (İ.T.Ü.)

İkinci Danışman : Prof.Dr. Ersin TULUNAY (O.D.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ahmet KUZUCU (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Ata MUĞAN (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Ekrem TÜFEKÇİ (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışma ile ulusal yüzer göndermeç tasarımı ve üretimi için ihtiyaç duyulan bilgi birikimi ve altyapının sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmada, yüzer göndermecin durum denetiminin yapılabilmesi için süspansiyon sistemi irdelenmiş, dinamik modellemesi MATLAB programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamda değerli bilgileri ile bana yol gösteren sayın hocalarım Doç. Dr. Şeniz ERTUĞRUL ve Prof. Dr. Ersin TULUNAY ile yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK MAM BTE çalışanlarına ve çalışma boyunca bana gösterdikleri hoşgörü ve destekten dolayı sözlüm *Füsun Servin'e* ve *aileme* sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2006 Mehmet HAKLIDIR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **x**
SUMMARY **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. YÜZER GÖNDERMEÇLER **3**
2.1. Sınıflandırılması 5
2.1.1. Pasif Yüzer Göndermeçler 5
2.1.1.1. Frekans Çözümleme ve Kayıt Sistemi (Low-Frequency Analysis and Recording, LOFAR) 5
2.1.1.2. Yönlü Frekans Çözümleme ve Kayıt Sistemi (Directional Frequency Analysis and Recording, DIFAR) 6
2.1.2. Aktif Yüzer Göndermeçler 6
2.1.2.1. Komutla Etkinleştirilen Yüzer Göndermeç Sistemi (Command Activated Sonobuoy System, CASS) 7
2.1.2.2. Yönlü Komutla Etkinleştirilen Yüzer Göndermeç Sistemi (Directional Command Activated Sonobuoy System, DICASS) 7
2.1.3. Özel Amaçlı Yüzer Göndermeçler 7
2.1.3.1. Batitermograf (Bathytermograph) 7
2.1.3.2. Arama ve Kurtarma Şamandırası (Search and Rescue Buoy, SARbuoy) 8
2.2. Yüzer Göndermecin Alt Parçaları 8
2.2.1. Hidrofon 9
2.2.2. Sualtı Elektroniği 11
2.2.3. Çapa 11
2.2.4. Elektromekanik Esnek Kablo 12
2.2.5. Yüzey Elektroniği 13
2.2.5.1. Pil 14
2.2.6. Şamandıra 16
2.2.7. Anten 17
2.3. İşleyiş İlkeleri 17
2.3.1. Yüzer Göndermeç Frekans Kanalları 18
2.3.2. Konuşlandırma 18
2.3.3. Su Girişi ve Etkinleştirme 19
2.3.4. Yüzer Göndermecin Çalışma Ömrü 20

3. YÜZER GÖNDERMECİN MATEMATİKSEL MODELİ **21**
3.1. Fiziksel Model 21

3.2. Yüzer Göndermecin Parçalarına Etkiyen Kuvvetler 22
3.2.1. Şamandıra/Yüzey Elektroniği 22
3.2.2. Esnek Kablolar 23
3.2.3. Çapa 25
3.2.4. Hidrofon 26
3.3. Sistemin Dinamiği 26
3.3.1. Frekans Alanlı Çözümlemeler 26
3.3.2. Zaman Alanlı Çözümlemeler 28
3.3.3. Deniz Durumu ve Dalga Kuvveti 32
3.3.3.1. Frekans Alanlı Çözümleme için Basitleştirme 34
3.3.3.2. Zaman Alanlı Çözümeleme için Basitleştirme 34

4. BENZETİM 37
4.1. Örnek Çözüm 38

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 43

KAYNAKLAR 44

EKLER 47

ÖZGEÇMİŞ 48

KISALTMALAR

CASS	: Command Activated Sonobuoy System
DICASS	: Directional Command Activated Sonobuoy System
DIFAR	: Directional Frequency Analysis and Recording
DSH	: Denizaltı Savunma Harbi
EFS	: Electronic Function Select
FM	: Frequency Modulation
LOFAR	: Low-Frequency Analysis and Recording
PLL	: Phase Locked Loop
RF	: Radio Frequency
SAR	: Search and Rescue
VHF	: Very High Frequency

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Yüzer Göndermecin Pil ile İlgili Uygun Değer Beklentileri …… 15
Tablo 4.1. Şamandıra ve Kabloların Benzetim Parametreleri……..... 38
Tablo 4.2. Elektronik Sistemler ve Çapanın Benzetim Parametreleri……. 39
Tablo 4.3. Seçilen Deniz Durumu ve İlgili Parametreleri ……. 39

ŞEKİL LİSTESİ

			Sayfa No
Şekil 2.1	**:**	Yüzer Göndermeç ……..……	3
Şekil 2.2	**:**	Yüzer Göndermecin Yapısı ……..…….	3
Şekil 2.3	**:**	Açılmadan Önce ve Açıldıktan Sonra Yüzer Göndermeç …..…	4
Şekil 2.4	**:**	Yüzer Göndermecin Mekanik ve Elektronik Donanımı ……	5
Şekil 2.5	**:**	LOFAR……..…….	6
Şekil 2.6	**:**	DIFAR ……...……	6
Şekil 2.7	**:**	Yüzer Göndermecin Alt Parçaları ……	8
Şekil 2.8	**:**	Hidrofon ….……	9
Şekil 2.9	**:**	Yüzey Yansımasının Alınan Sinyal Hesaplamalarını Gösteren Geometri ……	10
Şekil 2.10	**:**	Yüzer Göndermecin Sualtı Elektroniği İşleyiş Diyagramı ..….	11
Şekil 2.11	**:**	Kevlar Kablolar……..……...	13
Şekil 2.12	**:**	Yüzer Göndermecin Elektronik İşleyiş Diyagramı ..…….	14
Şekil 2.13	**:**	Isıl Pilin Yapısı ……...……...	15
Şekil 2.14	**:**	Şamandıra Türleri ……...	16
Şekil 2.15	**:**	Yüzer Göndermeçlerin Kullanımı …….	17
Şekil 2.16	**:**	Yüzer Göndermecin Atılması…….	18
Şekil 2.17	**:**	Yüzer Göndermecin Denizde Etkinleşmesi ……	19
Şekil 3.1	**:**	Sistemin Fiziksel Modeli ….……..	21
Şekil 3.2	**:**	Şamandıra ve Yüzey Elektroniğine Etkiyen Kuvvetler …….	22
Şekil 3.3	**:**	Esnek Kabloya Etkiyen Kuvvetler ……...……..	23
Şekil 3.4	**:**	Çapaya Etkiyen Kuvvetler ……...…….……	25
Şekil 3.5	**:**	Hidrofona Etkiyen Kuvvetler ……	26
Şekil 3.6	**:**	Sonlu Farklar Metodu ……...	29
Şekil 3.7	**:**	Derin Suda Bir Dalga Profili …….	33
Şekil 3.8	**:**	Pierson-Moskowitz Tayfı Tam Deniz Modeli ……..	35
Şekil 4.1	**:**	Deniz Durumu 4 için Pierson-Moskowitz Tayfı	39
Şekil 4.2	**:**	Akıntı hızı profili ……...……	40
Şekil 4.3	**:**	Batıp Çıkma (Boyuna Ötelenme–Heave)–Dalga Frekansı Grafiği……	40
Şekil 4.4	**:**	Batıp Çıkma (Boyuna Ötelenme – Heave) Frekans Cevabı…...	41
Şekil 4.5	**:**	Hidrofonun x Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği….	41
Şekil 4.6	**:**	Hidrofonun y Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği….	42
Şekil 4.7	**:**	Hidrofonun z Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği….	42

SEMBOL LİSTESİ

A_B^J	:	Dalganın toplam genliği
A_c	:	Kablonun kesit alanı
A_{dr}	:	Çapanın kesit alanı
A_{sf}	:	Şamandıranın kesit alanı
A_{wp}	:	Şamandıranın suyla temas eden yüzey alanı
b	:	Şamandıranın suyun altında kalan kısmının yüksekliği
b_J	:	Eşdeğer sönümleme katsayısı
B_J	:	Kütleye bağlı eşdeğer sönümleme katsayısı
B_{jw}	:	Zamana bağlı doğrusal dalga sönümleme katsayısı
c	:	Ses hızı
C_D	:	Kütlenin sürükleme katsayısı
C_{ddr}	:	Çapanın sürüklenme katsayısı
C_{dsf}	:	Şamandıranın sürüklenme katsayısı
C_f	:	Kütlenin sürtünme katsayısı
d_b	:	Şamandıranın çapı
d_c	:	Kablo çapı
EA_J	:	Eksenel sertlik
$\vec{F}_a$	:	Suyun kaldırma kuvveti
$F_B(t)$	:	Şamandıra üzerindeki dalga kuvveti
F_n	:	Sürüklenme kuvvetinin normali
F_t	:	Sürüklenme kuvvetinin teğetseli
$\vec{F}_v$	:	Suyun sürükleme kuvveti
F_w	:	Şamandıraya etkiyen anlık dalga kuvveti
g	:	Yerçekimi ivmesi
h	:	Yükseklik
h_c	:	Kablonun gerilim altında olmadığı durumdaki normal boyu
H_s	:	Maksimum dalga yüksekliği
j	:	Parça numarası
k	:	Dalga sayısı
l_c	:	Kablonun gerilim altında olduğu durumdaki normal boyu
L_J	:	Uzunluk
m_J	:	Kütle
M_c	:	Kablonun yapıldığı malzemenin elastisite (Young) modülü
n	:	Kütle bağlantısı için kullanılan elastik element sayısı
p(t)	:	Kaynak merkezinden 1 m uzağı referans alan basınç sinyali
r	:	Hidrofonun kaynaktan olan uzaklığı
r’	:	Hidrofonun zahiri kaynaktan olan uzaklığı
R	:	Deniz yüzeyinden kaynaklanan basınç yansıması katsayısı
r_J	:	Yapısal sönümleme katsayısı

S_c	:	Kablonun yüzey alanı
S_{sc}	:	Esnek kablonun toplam boyu
S_{mc}	:	Hidrofon ile çapanın birleşme noktası arasındaki uzaklık
t	:	Zaman
T	:	Dalga periyodu
$\vec{T}_0$	:	Bağlantı kablosundaki gerilim
U_J	:	Kütlenin yer değiştirmesi
V_B	:	Cismin suda batan kısmının hacmi
v_0	:	Yüzeydeki akıntı hızı
W_T	:	Cismin havadaki ağırlığı
z_J	:	j sayılı parçanın z koordinatı
ρ	:	Özkütle
ε	:	Kablonun gerginliği
λ	:	Dalga boyu
ξ	:	Dalga genliği
σ_v	:	Hızdaki standart sapma
ω_m	:	Model frekansı
ω	:	Dalga frekansı

YÜZER GÖNDERMECİN DURUM DENETİMİ İÇİN MODELLENMESİ

ÖZET

II. Dünya savaşıyla birlikte sualtı ve su üstü savaş unsurları olan denizaltıların ve gemilerin aktif gönderme ya da pasif dinleme ile birbirlerinin yerlerini, uzaklıklarını saptayabilir hale gelmesini sağlayan sonar teknolojisi, hava unsurlarının deniz harbine katılabilmesi ve bu şekilde denizaltı tespitinin daha kolay ve güvenli şekilde gerçekleşmesini sağlayabilecek yüzer göndermeçlerin gelişimine temel olmuştur.

Yüzer göndermeçler temel olarak; gemiler, deniz karakol uçakları ve denizaltı savunma harbi helikopterleri tarafından denize atılan ve yapı itibariyle suda yüzen şamandıralara benzeyen cihazlardır. Yüzer göndermeçler aktif, pasif ve özel amaçlı olmak üzere temelde üç kategoriye ayrılırlar. Aktif yüzer göndermeçler sahip oldukları göndermeç aracılığıyla gönderme yaparak hedeften gelecek sonar sinyalini alıp su üstüne iletme ilkesiyle çalışırlar. Pasif yüzer göndermeçler ise deniz altından aldıkları sesleri üzerlerindeki RF vericisinin osilatörü aracılığıyla kipleyip anteni aracılığıyla VHF sinyali olarak suyun üzerindeki araçlara iletirler. Pasif yüzer göndermeçlerin süspansiyon sistemi bir yüzey şamandırası, süspansiyon kablosu, bu kabloya bağlı olan ve hidrofonun yer aldığı şaseden oluşmaktadır.

Bu çalışma ile ulusal yüzer göndermeç tasarımı ve üretimi için ihtiyaç duyulan bilgi birikimi ve altyapının sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmada, genel olarak yüzer göndermeçlerin tanımları ve özelliklerine yer verilmiş, özel olarak ise pasif bir yüzer göndermecin dinamik modellemesinin yapılabilmesi için matematik modeli oluşturulmuştur. Yüzer göndermecin pasif dinleme yapabilmesini sağlayan parçası olan hidrofonun, verimli çalışabilmesi için istenen dinleme derinliğinde mümkün oldukça hareketsiz kalması sağlanmalıdır. Bu yüzden de yüzer göndermeç bunu gerçekleştirecek bir süspansiyon sistemine ihtiyaç duyar. Bu çalışmada bu süspansiyon sistemi incelenmiş ve çalışma sonuçları doğrultusunda süspansiyon sisteminin özelliklerinin nasıl olması gerektiği konusunda bilgi sahibi olunması

hedeflenmiştir. Pasif yüzer göndermecin dinamik modellemesi ve benzetimi MATLAB programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş, benzetim sonuçlarına ve yorumlarına çalışmanın son kısmında yer verilmiştir.

MODELING OF SONOBUOY FOR POSITION ESTIMATION

SUMMARY

During World War II, sonar technologies, provided for detection and localization of underwater and surface targets (e.g. submarines and ships) by using active transmission and listening of underwater sounds, are the main foundation of the development of sonobouys which support airborne to involve in anti-submarine warfare by providing easier detection and localization of submarines.

Principally, sonobuoys, like free floating buoys, are dropped from the ships, maritime patrol aircrafts and anti submarine warfare helicopters. Sonobuoys are grouped into three categories: passive, active and special purpose. Active sonobuoys use a transducer to radiate a sonar pulse that is reflected back from the target and transmit these signals to the surface. Underwater sounds, passive sonobuoys detect, modulate an oscillator in the RF transmitter and then the output of the transmitter is a frequency modulated VHF signal that is transmitted from the antenna. Passive sonobuoy suspension system has a surface float, a suspension cable having a bridle with a hydrophone.

The aim of this study is having knowledge and background to design and producr national sonobuoys. In this study, generally, definitions and features of sonobuoy have been presented and specially, mathematical model of the system has been obtained to model the system dynamically. Hydrophone, used to listening passively, has to be hold on motionless to be used efficiently. Thus, sonobuoy needs a suspension system. In this study, sonobuoy suspesion system has been scrutinized to estimate position. It has been modeled by using MATLAB.

1. GİRİŞ

I. Dünya savaşının başlangıcıyla denizaltıların, deniz harbinde önemli ve güçlü bir silah haline gelmesi, sualtı akustiği ile ilgili araştırmaların önem kazanmasına neden olmuştur. Daha önce sadece seyir yardımcısı olarak kullanılabileceği düşünülen sonar sistemlerinin gelişimi hız kazanmış, sualtındaki ve/veya suüstündeki gürültü kaynaklarından yayılan ses dalgalarının ve bu dalgaları yayan hedeflerin yerlerinin saptanmasını amaçlar hale gelmiştir. II. Dünya savaşıyla birlikte sonar teknolojisi, sualtı ve suüstü savaş unsurları olan denizaltıların ve gemilerin aktif gönderme ya da pasif dinleme ile birbirlerinin yerlerini, uzaklıklarını saptayabilir hale gelmesini sağlamış ve aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle Almanların, İngiliz Deniz Kuvvetlerine gerçekleştirdikleri 'Wolf Pack' adı verilen saldırılar sonucunda geliştirilip, platformdan bağımsız olarak ekonomik, kolay yerleştirilebilir ve kullanılabilir hale dönüştürülmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu aynı zamanda hava kuvvetlerinin denizaltı savunma harbine katılmasını sağlayacak olan yüzer göndermeçlerin temellerini atılmasını neden olmuştur.

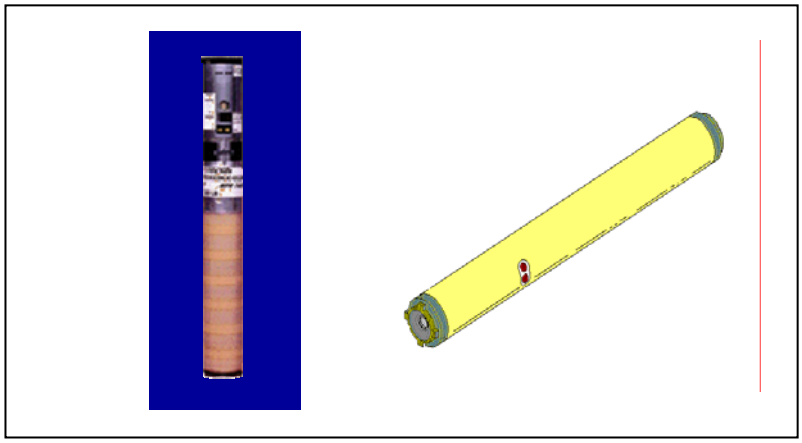
İlk yüzer göndermeç, Amerika Birleşik Devletleri Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Ofisi tarafından 1942'de üretilmiştir ve aynı yıl Almanların U-Botlarına karşı Pasifik Okyanusu'nda kullanılmışlardır. Bunlar sadece saptama bilgisi verme yeteneğine sahiptiler. 1950'lerin başında çok yönlü hidrofonların kullanımıyla yeni geliştirilen yüzer göndermeçler, hedefin kerteriz bilgisini ve mesafesini belirleme yeteneğine haiz oldular. 1950'lerin sonunda sadece 16 VHF kanalı kullanabilen yüzer göndermeçler, önce 31 sonrada 99 kanal kullanabilecek kapasiteye çıkarıldı. 1960'lardan sonra özellikle elektronik parçalarında gelişmeler ve değişikliklerle kapasiteleri ve işlevsellikleri artırılan yüzer göndermeçler, 1970'li yılların başında büyük bir değişikliğe uğrayarak, yeni ve etkin bir tür olan aktif yüzer göndermeçlerle yeni bir döneme girdi. Aktif yüzer göndermeçler, önceki modellere göre gönderme yapıp hedeften aldığı eko sayesinde saptamada daha başarılı ve etkin bir yapıya sahip oldu. 1980'lerden sonra ise, uzaktan komut sistemiyle aktif hale gelebilen yüzer

göndermeçler, yüzer göndermeç teknolojisindeki son noktayı belirledi. **(Naval Sea Systems Command, 2006)**

Uzun yıllar sadece elektronik açıdan nasıl geliştirileceği üzerine çalışılan yüzer göndermeçlerin verimini ve işlevselliğini artırmak için dinamik ve fiziksel yapısında yapılabilecek değişiklikleri belirlemek üzere araştırmalar yapılmaya başlandı. **Rudnick (1967)**, deniz dalgalarına karşı yüzer şamandıralarının hareketlerini incelediği çalışmasında, aslında daha önce şamandıranın dinamik davranışını inceleyen çalışmalara, ölçüm amaçlı bir şamandıranın davranışlarının incelenmesini katmıştı. **Aubert (1968)**, okyanustan veri toplama amacıyla kullanılan veri şamandıralarının fizibilitelerini araştıran bir çalışma yaptı. Askeri amaçlı olarak denizaltı saptamasında kullanılan yüzer göndermeçlerin dinamiği hakkında bilinen ilk çalışma Misra'nın 1967 yılında "Denizaltı saptamasında kullanılan yapıların dinamiği" adlı doktora çalışmasıdır. Bu çalışmadan sonra 1971 yılında Modi ve Misra, şamandıra kablo ve üç bacaklı bir dizinden oluşan yüzer göndermeçlerle ilgili bir çalışmalarını yayınladılar. **Modi ve Misra (1974)** çalışmayı özele indirgeyerek, sistemin yalnız yatay hareketlerini modellediler. **Bai (1977)** silindirik bir şamandıranın kullanılmasının etkilerini yaptığı bir sonlu elemanlar modeli ile inceledi. **Wang (1977)**, FORTRAN'da yazdığı bir bilgisayar programıyla yüzer göndermeçlerin iki eksendeki dinamik hareketlerinin zaman alanlı çözümlemesini gerçekleştirdi. **Hsiung ve Lu (1987)** yüzer göndermecin esnek yapılarının maruz kaldığı kuvvetlerin hesaplanması için bir sonlu elemanlar modeli oluşturdu. 1990'ların başından itibaren doğrudan yüzer göndermeçle ilgili olmasa da benzer dinamik yapılarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

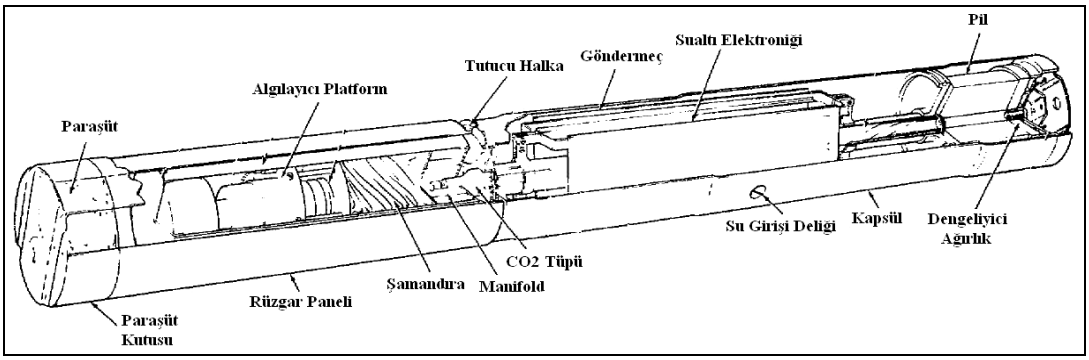
2. YÜZER GÖNDERMEÇLER

Donanmaya bağlı Denizaltı Savunma Harbi (DSH) birimlerinin birincil görevleri, denizaltıları saptamak, yerlerini belirlemek ve tanımlamaktır. Bu görevleri gerçekleştirebilmelerini sağlayan en önemli aygıtlardan biri de yüzer göndermeçlerdir. Yüzer göndermeç, denizaltıların yerinin, rotasının ve hızının genel olarak veya hassas bir şekilde tespit edilmesi amacıyla su altına yayılan pervane ve makina kaynaklı sesleri ya da denizaltının yüzeyinden yansıyan sonar sinyalini kullanan bir aygıttır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yüzer Göndermeç

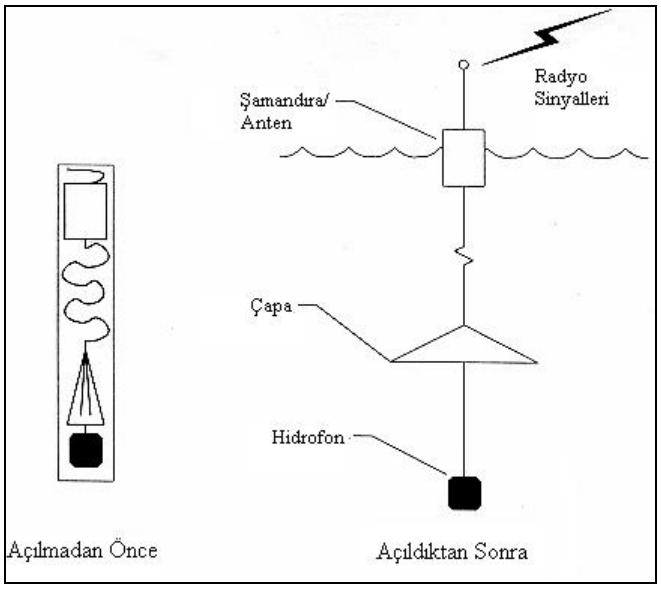
Özel geliştirilmiş yüzer göndermeçler elektrik alanlarını, manyetik aykırılıkları ve biyoışıltıyı (hareket halindeki bir denizaltı tarafından rahatsız edilen mikroskobik organizmaların yaydığı ışık) saptayabilmekte ve ayrıca derinliğe bağlı su sıcaklığını, hava sıcaklığını, barometrik basıncı ve dalga yüksekliğini ölçebilmektedirler (Şekil 2.2).**(Naval Sea Systems Command, 2006).**



Şekil 2.2 Yüzer Göndermecin Yapısı

Yüzer göndermeçler, balina ve balık sürülerinin izlenmesi, deniz kirliliği ile savaş gibi sivil uygulamalarda da kullanılmaktadır.

Atılmadan önce bir kapsülün içinde yer alan yüzer göndermeç, denizaltının olduğu düşünülen bölgeye, askeri bir hava aracı tarafından atılır. Bir paraşüt aracılığıyla hedeflenen bölgeye düşen yüzer göndermeç, denize girdikten hemen sonra etkinleşerek kapsülden kurtulur ve ilgili bölgeye konuşlanarak dinleme yapmaya başlar (Şekil 2.3). Yüzer göndermeç, dinleme yaptığı hidrofonu aracılığıyla sualtı mikrofonu gibi çalışmaktadır. Hidrofon aracılığıyla topladığı akustik verileri, osilatörü aracılığıyla dönüştürdükten sonra su üstü platformlara iletmekte, böylelikle denizaltının tespitinin kolay, tehlikesiz yapılmasını sağlamaktadır **(Modi, 1982).**



Şekil 2.3 Açılmadan Önce ve Açıldıktan Sonra Yüzer Göndermeç

Diğer akustik ölçüm ve tespit sistemlerine göre yüzer göndermeçlerin avantajları şunlardır:

- Ekonomik olmaları.
- İstenilen bir konuma hızlıca yerleştirilebilirler.
- Pasiftirler ve yalnız dinleme yaparlar. Bu da onların denizaltı tarafından tespitini neredeyse imkânsızlaştırır.

Herhangi bir platformdan gelen gürültü, yüzer göndermeçlerin çalışma sistemlerinde sorun yaratmaz.

Yüzer göndermeçler, sarf edilebilir aygıtlardır (Şekil 2.4). Uçaktan atıldıktan sonra tekrar toplanıp kullanılamazlar. Bu özellik pahalı bir uygulama gibi görünse de gerçekte denizleri araştırmak için en ucuz, en hızlı ve en güvenilir yoldur.



Şekil 2.4 Yüzer Göndermecin Mekanik ve Elektronik Donanımı

2.1 Sınıflandırılması

Yüzer göndermeçler, çalışma prensipleri açısından 3 gruba ayrılırlar: Pasif, aktif ve özel amaçlı yüzer göndermeçler. **(Navy Aviation Manuals, 2004)**

2.1.1 Pasif Yüzer Göndermeçler

Yalnız edilgen olarak akustik dinleme yapmak amacıyla kullanılan yüzer göndermeçlerdir. Temel çalışma ilkeleri deniz altından aldıkları sesleri, üzerlerindeki RF vericisinin osilatörü aracılığıyla kipleyip anteni aracılığıyla VHF sinyali olarak suyun üzerindeki araçlara iletme şeklindedir. Pasif yüzer göndermeçler, LOFAR (Low-Frequency Analysis and Recording – Düşük Frekanslı Çözümleme ve Kayıt) ve DIFAR (Directional Frequency Analysis and Recording – Yönsel Düşük Frekanslı Çözümleme ve Kayıt) sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

2.1.1.1 Frekans Çözümleme ve Kayıt Sistemi (Low-Frequency Analysis and Recording, LOFAR)

LOFAR sisteminde, pasif yüzer göndermeç hedefin yalnız akustik bilgisini uçağa bildirir (Şekil 2.5). Bu sistemde denizaltından yayılan sesler pasif yüzer göndermecin çok yönlü hidrofonu aracılığıyla saptanır. Daha sonra bu seslerin frekansı ve genliğine bakılarak ilgili veriler istasyona gönderilmek üzere yüzer göndermecin antenine iletilir. Yüzer göndermeç alıcısı aracılığıyla sinyalleri alan gemi, uçak ya da helikopterde sinyaller çözümlenir, işlenir, görüntülenilir ve kaydedilir. Temel

LOFAR göstergelerinde, ses dalgalarının frekansı ile onların akustik enerjileri ve ses sürüm süreleri arasındaki ilişkiye yer verilir.



Şekil 2.5 : LOFAR

2.1.1.2 Yönlü Frekans Çözümleme ve Kayıt Sistemi (Directional Frequency Analysis and Recording, DIFAR)

DIFAR, geliştirilmiş ve iyileştirilmiş bir pasif akustik saptama sistemidir (Şekil 2.6). DIFAR sistemlerinde, LOFAR'dan farklı olarak saptama sırasında yüzer göndermeç alıcısına gelen bilgi, hedefin kerterizi, mesafesi, sinyal kaynağının yerini ve yönünü gösterebilecek şekildedir. DIFAR sistemleri 5 – 2400 Hz arasındaki akustik enerjiyi saptayabilirler.



Şekil 2.6 : DIFAR

2.1.2 Aktif Yüzer Göndermeçler

Aktif yüzer göndermeçler sahip oldukları göndermeç aracılığıyla gönderme yaparak hedeften gelecek sonar sinyalini alıp, su üstüne iletme ilkesiyle çalışırlar. Aktif yüzer göndermeçler, CASS (Command Activated Sonobuoy System – Komut Aracılığıyla Etken Olan Yüzer Göndermeç Sistemi) ve DICASS (Directional Command

Activated Sonobuoy System - Yönsel Komut Aracılığıyla Etken Olan Yüzer Göndermeç Sistemi) sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

2.1.2.1 Komutla Etkinleştirilen Yüzer Göndermeç Sistemi (Command Activated Sonobuoy System, CASS)

CASS sisteminde yüzer göndermeç, arama yapılacak bölgeye yerleştirildiği sırada etkin değildir. İstenilen anda uçak ya da gemiden gönderilecek komutla etkin hale geçirilebilir. Etkin olmadığı durumda, pasif bir yüzer göndermeç gibi davranarak sadece dinleme yapar ve gönderim yapmadığı için denizaltılar tarafından tespit edilemez. Komutla etkinleştirildikten sonra gönderme yapmaya başlar ve denizaltıyı saptama için sürpriz bir algılayıcı haline gelir.

2.1.2.2 Yönlü Komutla Etkinleştirilen Yüzer Göndermeç Sistemi (Directional Command Activated Sonobuoy System, DICASS)

CASS sisteminde olduğu gibi komutla etkin hale gelen DICASS sistemlerinin en önemli farkı izleme birimlerinde bulunan sinyal işleme donanımı ile birlikte sualtı nesnesine ait aktif sonar mesafesi, kerteriz ve Doppler bilgisini sağlayabilmesidir.

2.1.3 Özel Amaçlı Yüzer Göndermeçler

Denizaltı tespit amacıyla kullanılmayan, elektrik alanlarını, manyetik aykırılıkları saptayabilen ve ayrıca derinliğe bağlı su sıcaklığını, hava sıcaklığını, barometrik basıncı ve dalga yüksekliğini ölçebilen özel geliştirilmiş yüzer göndermeçlerdir. Özellikle sismik araştırmalar için yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

2.1.3.1 Batitermograf (Bathytermograph)

Batitermograf şamandıralar derinliğe bağlı su sıcaklığını ölçmek için kullanılırlar. Deniz suyunun sıcaklığı coğrafi bölge ve derinliğe bağlı olarak –20°C ile +40°C arasında değişebilir. Deniz yüzeyinde sıcaklık güneş, rüzgâr ve yağışın etkisi ile değişir. Derinlere inildikçe sıcaklık azalır. Okyanus derinliklerinde su sıcaklığı yaklaşık +20°C seviyesindedir. Batitermograf, denize atıldıktan sonra, her 1,5 m de termostatı aracılığıyla ölçüm yapmaya başlar. Termostatın elektriksel çıktısı bir gerilim kontrol osilatörü aracılığıyla kiplenerek sinyal frekansına dönüştürülür. Bu da yüzer göndermecin anteni aracılığıyla gemi ya da uçağa iletilir. Elde edilen

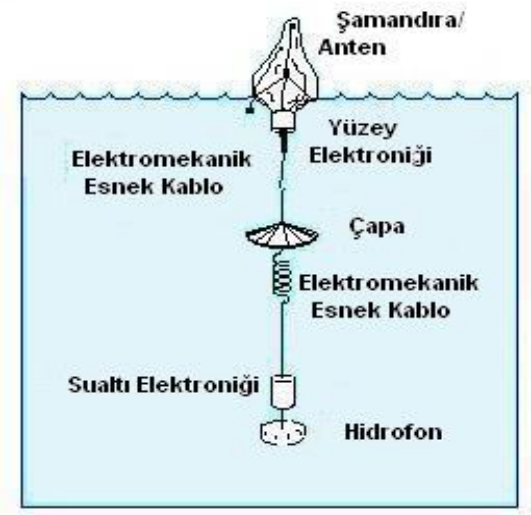
derinliğe bağlı sıcaklık bilgisi, denizaltının bulunduğu bölgede sakınma yapabileceği derinlikleri belirlemek için kullanılır. Çünkü deniz suyunun yoğunluğuna bağlı olarak seda yayılımı bazı noktalarda saptanamayacak şekildedir.

2.1.3.2 Arama ve Kurtarma Şamandırası (Search and Rescue Buoy, SARbuoy)

SARbuoy (Search and Rescue Buoy - Arama ve Kurtarma Şamandırası), uçak, gemi kazalarında ya da savaş durumunda batan gemilerin canlı kalan mürettebatını kurtarabilmek için kullanılan özel yüzer göndermeçlerdir. Gemi ya da uçaktan atılan SARbuoy atıldığı bölgede dinleme ve gönderme yaparak, nerede bulunduğu saptamaya çalışır. Nominal RF çıkışı 60 saat için 1 Watt'tır. SARbuoy'un bulunduğu nokta kolaylıkla tespit edilebilsin diye yanıp sönen renkli bir ışık, şamandırasının hemen üzerinde yer alır.

2. 2 Yüzer Göndermecin Alt Parçaları

Yüzer göndermecin alt parçaları Şekil 2.7'te gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Yüzer Göndermecin Alt Parçaları

Bu parçaların tamamının amacı, hidrofonun istenen dinleme derinliğinde pozisyonunu koruyabilmektir. Hidrofon, verimli çalışabilmek için bu derinlikte mümkün olduğunca hareketsiz kalmalıdır. Hidrofonun istenmeyen bir gürültü ile sonuçlanacak her türlü hareketi verimin düşmesine neden olacaktır. Bu istenmeyen gürültüleri yaratan iki temel hareket vardır: Yatay ve düşey hareketler. Düşey hareket, yüzey şamandırasına etki eden dalga kuvvetlerinin hidrofon kütlesine etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Yatay harekete ise, denizin farklı

derinliklerindeki değişken akıntı hızları neden olur. Yüzer göndermecin su üstünde yüzen kısmı, su altında kalan parçaları ve hidrofona etki eden akıntı hızı birbirlerinden farklıdır. Bu fark hidrofonun bağıl bir hıza sahip olmasına ve yatayda bir harekete neden olur. Bu hareket ve hareketten doğacak gürültüyü azaltmanın en uygun yolu olarak çapanın yüzey alanın arttırılması ön görülmektedir. Düşey hareketin kararlılığının sağlanabilmesi için de esnek kablonun sönümleme katsayısı göz önünde bulundurularak uygun seçilmesi gerekmektedir.

2.2.1 Hidrofon

Hidrofon, sualtındaki akustik enerjiyi kullanarak dinleme yapmanızı sağlayan bir aygıttır (Şekil 2.8). Hidrofonlar, akustik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür ve sadece pasif dinleme yapmak amacıyla kullanılırlar. Düzenli ve sağlıklı sonuçlar vermeleri için rezonans frekanslarının altında kullanılmaları gerekmektedir. Bu yüzden de yüzer göndermeç, sağlıklı dinleme ve saptama yapabilmek için hidrofonun tınlaşım yapmasını engelleyecek şekilde bir süspansiyon sistemine ihtiyaç duyar.

Hidrofonlar basit olarak sualtı mikrofonları olarak düşünülebilirler. Mikrofonlar havadaki basınç değişimini ölçme prensibiyle çalışırlar. Hidrofonlar da sudaki basınç değişikliklerini ölçerler.

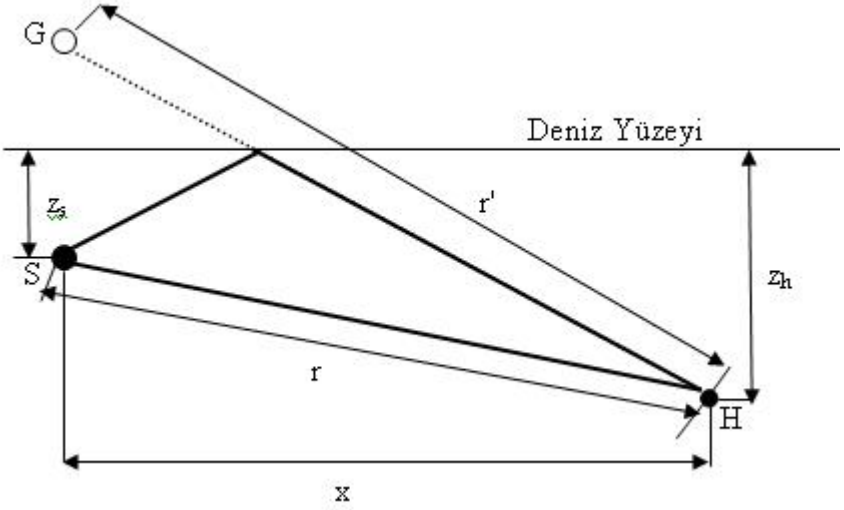


Şekil 2.8 Hidrofon

Modern hidrofonların çoğu piezoelektrik malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Temel olarak piezoelektrik etki, mekanik basınç altında bırakılan bazı yalıtkan kristallerin bir yüzünde pozitif, karşı yüzünde ise negatif elektrik yüklerinin ortaya çıkması şeklinde tanımlandırılır. En genel anlamda, karakteristik tınlaşım frekansındaki farklanmayı belirleyerek, buna bağlı bir elektriksel gerilim oluştururlar. Hidrofonda, sesten kaynaklı basınç değişimi gerçekleştiği zaman, piezo algılayıcılar bunu bağlı bir gerilim dalgası üretirler.

Hidrofonun Çalışma İlkesi ve Denklemleri

Hidrofon, kaynağın yaratacağı titreşimleri doğrudan ve yansıma yoluyla olmak üzere iki şekilde alır. Doğrudan alınan sinyaller, kaynak ile hidrofon arasındaki dik uzaklığa bağlıdır. Deniz yüzeyindeki yansıma ise suyun üst kısmında yer alacak ve kaynağın denizdeki derinliği ile aynı uzaklıkta olacak şekilde varsayılan bir zahiri kaynağın hidrofona olan uzaklığına bağlıdır. Şekil 2.9'da hidrofondan alınan basınç sinyali ile ilgili geometri gösterilmiştir. S, kaynak; G, zahiri kaynak ve H, hidrofonu simgelemektedir.



Şekil 2.9 Yüzey Yansımasının Alınan Sinyal Hesaplamalarını Gösteren Geometri

Hidrofondan alınan basınç sinyali:

$$s(t) = \frac{1}{r} p\left(t - \frac{r-1}{c} \right) + \frac{R}{r'} p\left(t - \frac{r'-1}{c} \right) \qquad \textbf{(2.1)}$$

r: Hidrofonun kaynaktan olan uzaklığı [m]

r': Hidrofonun zahiri kaynaktan olan uzaklığı [m]

R: Deniz yüzeyinden kaynaklanan basınç yansıması katsayısı (-1)

c: Ses hızı [m/s]

t: Zaman [s]

p(t): Kaynak merkezinden 1 m uzağı referans alan basınç sinyali [Pa]

2.2.2 Sualtı Elektroniği

Alt elektronik sistemi, iki adet yönlü, bir adet yönsüz akustik algılayıcı ve bir adet manyetik algılayıcıdan gelen işaretleri alarak temel bant işaretini üreten kısımdır. Akustik algılayıcıdan gelen işaretler kuvvetlendirilerek pusula görevini üstlenen manyetik algılayıcı çıkış işaretleriyle uygun bir biçimde karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi yönlü akustik algılayıcı çıkış işaretlerini coğrafik yönlere göre düzeltmektedir.

Temel yapı blokları (Şekil 2.10),

- **Ön kuvvetlendiriciler:** Yönlü ve yönsüz akustik algılayıcının çıkışına bağlanacak olan, empedans uyumunu ve ön kuvvetlendirme işlemini yerine getirecek olan birimdir.
- **Ses kuvvetlendiricileri:** Ön kuvvetlendiricilerden geçen işaretlerin istenen seviyeye yükseltilmelerini ve frekans bantlarının istenen aralığa sınırlandırılmasını sağlamaktadır.
- **Çoğullayıcı:** Yükseltilmiş ve işlenmiş olan akustik işaretlerin istenen temel bant işareti biçimine dönüştürülmesini gerçekleştiren birimdir. Çoğullama işlemi frekans bölgesi kaydırmalarıyla sağlanmaktadır.
- **Pusula:** Bir manyetik algılayıcı ile gerçekleştirilmektedir. Yönlü akustik algılayıcı işaretlerini coğrafik yönlere göre düzenlemektedir.
- **Çıkış Sürücüsü:** Temel bant işaretini su yüzeyinde bulunan üst elektronik sistem içinde yer alan frekans modülatörünü sürecek seviyeye getiren birimdir. En az 100m derinlikte düzgün olarak çalışabilecek bir yapıdadır.



Şekil 2.10 Yüzer Göndermecin Sualtı Elektroniği İşleyiş Diyagramı

2.2.3 Çapa

Hidrofonun bulunduğu noktada kararlı dengede olabilmesi için yüzer göndermeç bir çapaya ihtiyaç duyar. Hidrofon ile şamandıra arasında yer alan ve bu iki parçaya

kablolarla bağlı olan çapanın asıl görevi, yatay hareketleri ve hidrofonun üzerinde yatay yöndeki bağıl hızı azaltmaktır.

Denizin farklı derinliklerindeki değişken akıntı hızları yüzer göndermecin parçalarının yatayda hareket etmesine neden olur. Yüzer göndermecin şamandırası, su altında kalan elektronik kısımları ve hidrofona etki eden akıntı hızı birbirlerinden farklıdır. Bu fark hidrofonun bağıl bir hıza sahip olmasına ve yatayda salınım yapmasına neden olur. Son 10 yılda yapılan çalışmaların sonucunda bu hareket ve hareketten doğacak gürültüyü azaltmanın en uygun yolu olarak sisteme bir çapa eklenmesi gerektiğine karar verilmiştir.

Yapılan dalga testleri göstermiştirki; hidrofonun çapaya yakın olduğu durumlarda üzerindeki bağıl hız azalmakta, bu da yatay gürültünün azalmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda çapanın yüzey alanı büyüdüğü zaman da bu bağıl hızın azaldığı gözlemlenmiştir. Bu veriler ışığında çapanın sahip olması gerektiği geometri, buna bağlı olarak yüzey alanı ve çapanın hidrofona göre en uygun konumu hakkında hesaplamalar ve çalışmalar yapılmıştır.

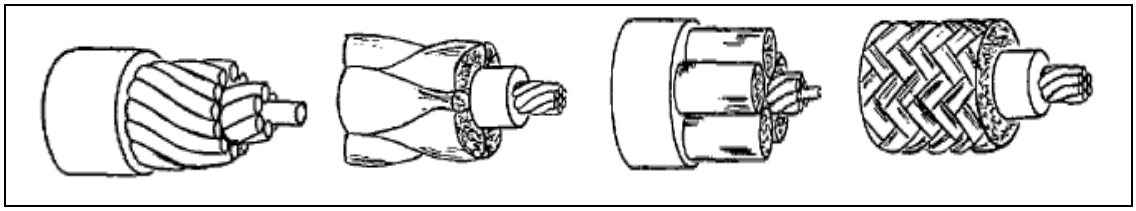
Çapanın yüzey alanı, hidrofona olan uzaklığı ve esnek kablo boyuyla ilişkisine Elektromekanik Esnek Kablo bölümünde yer verilecektir.

2.2.4 Elektromekanik Esnek Kablo

Elektromekanik kablolar, esnek yapılarıyla gerilmeye dayanaklı, aynı zamanda izole edilmiş iletkenler içeren özel yapılı kablolardır. Yüzer göndermeç, hidrofonun konumunun sabit tutulabilmesi, konuşlandırılması sırasında maruz kalacağı gerilmeye dayanabilmesi ve akıntı hızından fazla etkilenmeyecek kadar esnek bir bağ yapısına sahip olabilmesi için elektromekanik esnek kablolara ihtiyaç duyar. Bu yüzden seçilen elektromekanik kablo uzun, hafif ve yüksek gerilmeye dayanabilir olmalıdır.

Yüzer göndermeçlerde kullanılan elektromekanik kablolar genellikle Kevlar malzemeyle kaplanmış özel kablolardır (Şekil 2.11). Yüksek gerilme direncine ve sıcaklık direncine sahiptir; 260˚C kadar sıcaklığa dayanabilirler. Kevlar aşınma nedeniyle bozulabileceği için, kullanım sırasında aşınmasını önleyecek naylon ya da polyester gibi malzemelerden yapılmış bir kılıf içine konulur.**(Holler ve diğ., 1975)**

Yüzer göndermeçlerde en sık kullanılanları Kevlar 29 ve 49'dur.



a b c d

Şekil 2.11 Kevlar Kablolar – a) Kevlar 5/16 b) Kevlar 3/8 c) Kevlar 5/8 d) Kevlar 9/16

Hidrofonun düşey hareketi, yüzey şamandırasına etki eden dalga kuvvetlerinin hidrofon kütlesine etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Düşey hareketin kararlılığının sağlanabilmesi için de esnek kablonun sönümleme katsayısının ve boyunun uygun seçilmesi gerekmektedir.

Aşağıdaki denklem şamandıradan hidrofona kadar aradaki esnek kablonun toplam boyunun ne kadar olması gerektiğini göstermektedir.

$$S_{mc} = \frac{S_{sc}}{\sqrt{\frac{(C_d A)_{dr}}{(C_d A)_{sf}}}} \qquad \textbf{(2.2)}$$

S_{sc}: Esnek kablonun toplam boyu

S_{mc}: Hidrofon ile çapanın birleşme noktası arasındaki uzaklık

C_{ddr}: Çapanın sürüklenme katsayısı

A_{dr}: Çapanın kesit alanı

C_{dsf}: Şamandıranın sürüklenme katsayısı

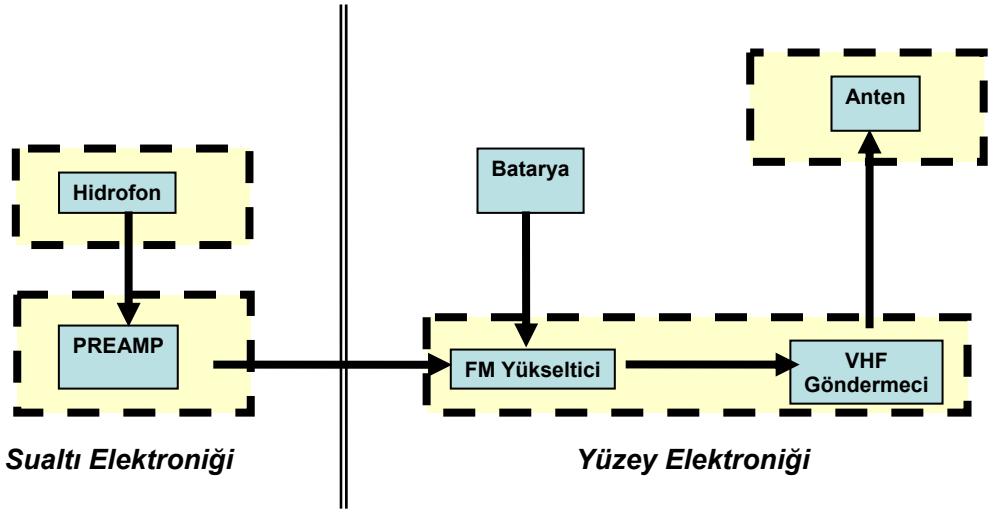
A_{sf}: Şamandıranın kesit alanı

2.2.5 Yüzey Elektroniği

Üst elektronik sistemi, alt elektronik sisteminden gelen uygun şekilde karıştırılmış iki adet yönlü, bir adet yönsüz akustik algılayıcı ve bir adet manyetik algılayıcı işaretlerini seçilen uygun band aralığında FM işareti olarak yayınlayan kısımdır. Sistem parametrelerinin belirlenmesi ve sistem kontrolü ise bir adet mikroişlemci ile sağlanmaktadır.

Temel yapı blokları (Şekil 2.12),

- **PLL:** Sistem alt elektroniğinden karıştırılmış olarak gelen algılayıcı işaretlerinin seçilen FM frekansına yükselten kısımdır.
- **Kontrol panel:** Sistem parametrelerinin girildiği ve girilen değerlerin gözlendiği kısımdır.
- **FM yükseltici:** PLL de uygun frekans bandına yükseltilen işaretlerin istenilen güçte yayınlanmasını sağlayan kuvvetlendirici kısımdır.
- **Mikroişlemci:** Sistem parametrelerinin girildiği ve sistemin çalışmasının kontrol edildiği bölümdür.



Şekil 2.12 Yüzer Göndermecin Elektronik İşleyiş Diyagramı

2.2.5.1 Pil

Yüzer göndermeçlerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için özel geliştirilmiş piller kullanılmaktadır. Deniz suyuyla etkinleşen bu pillerden en başarılı ve yaygın olanları ısıl piller ve lityum/sülfür dioksit pillerdir.

Isıl piller kısa zaman içinde yüksek güç verebildikleri için özellikle yüzer göndermeçlerin konuşlandırılması aşaması açısından avantajlıdırlar. Lityum/Sülfür dioksit piller ise uzun süre dayanabilmeleri ve ortam şartlarına karşı dayanıklı olmaları nedeniyle yüzer göndermeçlerde tercih edilmektedirler.**(Keller ve diğ., 1996)**

Bir yüzer göndermecin pil ile ilgili uygun değer beklentileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1. Yüzer Göndermecin Pil ile İlgili Uygun Değer Beklentileri

Güç	5500 W
Vurum Zamanı	140 s
Vurum Genişliği	0.5 - 10 s
Görev Süresi	6 saat
Saklama Sıcaklığı	-20 – 55 °C
Çalışma Sıcaklığı	0 – 35 °C
Gerilimi	65-150 V
Ağırlığı	10 kg (azami)

Isıl Piller

Genellikle kısa periyotları için yüksek güce ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılan ısıl piller, piroteknik ısı kaynağının katı elektroliti eritmesi ile çalışmaya başlayan tek kullanımlık elektrokimyasal bir güç kaynağıdır (Şekil 2.13). Genellikle güdümlü bomba, füzeler, tapalar, torpidolar, kara ve deniz mayınları, nükleer silahlar gibi askeri ekipmanlarda kullanılırlar.



Şekil 2.13 Isıl Pilin Yapısı

Avantajları;

- Yüksek özgül güç
- Uzun saklama ömrü
- Hızlı tetiklenme
- Gaz üretmeme
- Güvenilir ve sağlam yapı
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı

Dezavantajları arasında ise, kullanım ömrünün kısa olması, saklanmasındaki güçlükler sayılabilir.

Lityum/Tiyonil Klorür Piller

Negatif kutup için lityumun, pozitif kutup içinse organik bir bileşik olan tiyonil klorürün kullanıldığı birincil pillerdendir. Taşınabilir sistemlerde hafif olduğu için tercih edilen bu piller, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduklarından kısa zamanlı yüksek enerji gerektiren durumlarda sıklıkla kullanılırlar.

Uzun ömürlü bu piller, değişik sıcaklıklarda aynı verimle kullanılabilmektedirler. Yapılan testlerde 0 ile 55°C arasında çok başarılı sonuçlar verdiği, 0'ın altı sıcaklık değerlerinde de çakışabilir olduğu görülmüştür. Deniz suyuyla etkinleşebilen bu pillerin en büyük sıkıntısı gerilim kayıplarıdır. Yüzer göndermeçlerden birden fazla lityum/tiyonil klorür pil ile oluşturulacak bir birleşiminin kullanılmasının daha uygun olacağı ön görülmektedir.

2.2.6 Şamandıra

Yüzer göndermecin, anteninin yer aldığı ve hidrofonun hedeflenen derinlikte kalabilmesi için su üzerinde yüzen kısmıdır. Yüzer göndermeç, denize girdikten hemen sonra naylondan yapılan ve sistemde sönük halde bulunan şamandıra, bir tetikleme sistemi aracılığıyla CO_2 gazıyla dolarak şişmeye başlar. Şişen şamandıra, kendisine bağlı sistemin geri kalan parçalarının, kapsülden kurtulmasına yardımcı olacak şekilde su yüzeyine çıkar. Belirlenen çalışma ömrü boyunca su yüzeyinde yüzen şamandıra görev süresi bittikten sonra tersinir şekilde işleyen tetikleme sistemi tarafından boşaltılır ve dibe doğru batmaya başlar.

Şamandıraların tasarımında, geometrisinin deniz durumuna bağlı olarak etkisi altında kalacağı dalga kuvvetlerini sisteme gürültü olarak mümkün olduğunca az yansıtacak şekilde olmasına ve anteninin iletim problemi olmayacak şekilde konumlandırılmasına dikkat edilir (Şekil 2.14).



a b c d

Şekil 2.14 Şamandıra Türleri a) Yassı, b) Standart, c) Küresel, d) Seniril

2.2.7 Anten

Anten, RF vericisinin osilatörü aracılığıyla kiplenen hidrofon tarafından su altından alınan ses sinyallerinin, VHF sinyali olarak su üzerindeki gemi, uçak ve helikopter gibi platformlara iletilmesini sağlar. Kendinden dikleşmeli bu radyo anteni, veri iletiminin dışında, yüzer göndermecin yerinin tespit edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır.

2.3 İşleyiş İlkeleri

Yüzer göndermeçler, denizaltının bulunduğu düşünülen bölgeye uçak, helikopter veya gemiden atılır. Arama paterninin başarılı ve verimli olabilmesi için aynı anda üç veya daha fazla yüzer göndermeç bölgenin çeşitli noktalarına farklı geometriler oluşturulacak şekilde konuşlandırılır. Bu arama bölgesine "yüzer göndermeç tarlası" da denilmektedir. Yüzer göndermeçlerin işleyiş şekilleri türlerine bağlı olarak değişmektedir. Pasif yüzer göndermeçler bulundukları bölgedeki sualtı seslerini alıp RF vericisinin osilatörü aracılığıyla kipleyip anteni aracılığıyla VHF sinyali olarak suyun üzerindeki araçlara iletirler. Aktif yüzer göndermeçler ise, pasif yüzer göndermeçlerden farklı olarak sahip oldukları göndermeç aracılığıyla gönderme yaparak hedeften dönecek sonar ekosunu alıp su üstüne iletme ilkesiyle çalışırlar. Yüzer göndermeç alıcısı aracılığıyla sinyalleri alan gemi, uçak ya da helikopterdeki operatör, sinyalleri çözümleyip bir hedefin saptandığına ve saptanan hedefin bir denizaltı olup olmadığına ve hatta karakteristik özelliklerine bakarak bu bir denizaltı ise ne tip olduğuna karar verir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Yüzer Göndermeçlerin Kullanımı

Denizaltı Savunma Harbi subayının uygulayacağı taktik paterne bağlı olarak, yüzer göndermeçler operasyon sırasından birbirinden farklı VHF frekansları ile çalışırlar. Bu sayede her bir yüzer göndermeç diğerlerinden bağımsız bir özellik setine ve karakter yapısına sahip olarak iletimini gerçekleştirir.

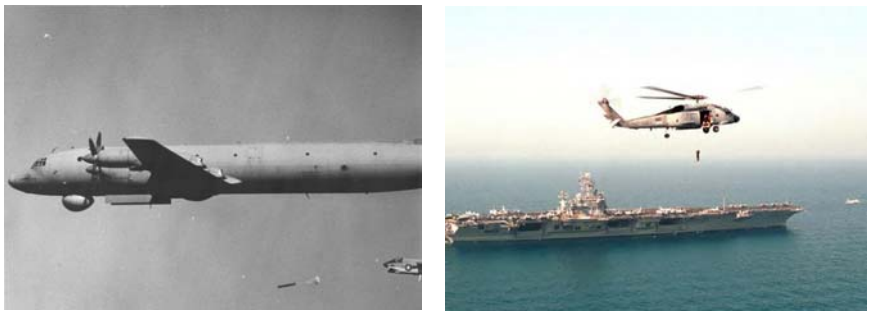
2.3.1 Yüzer Göndermeç Frekans Kanalları

Günümüz yüzer göndermeçleri, elektronik işlev seçim (EFS) sistemiyle donatılmışlardır. Bu sistem, yüzer göndermece seçilebilir 99 farklı frekans kanalı kapasitesi sağlamaktadır. Aynı zamanda elektronik işlev seçim sistemi (EFS) yüzer göndermecin çalışması için elli farklı derinlik seviyesi seçimine imkân tanır. Operatör, yüzer göndermeci kullanmadan önce tüm parametreleri sıfırlamalı, ardından frekans, derinlik ve çalışma süresini belirlemelidir. Standart yüzer göndermeçlerde 162,25 – 173,5 MHz bandında 99 kanal seçilebilir.

2.3.2 Konuşlandırma

Yüzer göndermeç, kullanım amacına uygun olarak frekans, derinlik ve çalışma süresi seçimleri yapıldıktan sonra, denizaltının bulunduğu düşünülen bölgeye uçak veya bir helikopterden atılır. Arama şekline bağlı olarak genellikle farklı bölgelerde bulunacak şekilde üç ve daha fazla yüzer göndermeç aynı anda kullanılır.**(Nelson ve diğ., 1979)**

Yüzer göndermeçler, hava aracından 4 temel şekilde atılırlar: Yaylı sistem, pnömatik sistem, kartuşlu sistem ya da serbest düşüş (Şekil 2.16). Düşme hızı yaklaşık olarak 40 m/s'yi bulan yüzer göndermecin, aerodinamik dengesinin artırılabilmesi ve suya çarpma anındaki şok etkisinin azaltılabilmesi için bu atış sistemleri ile birlikte bir paraşüt kullanılmaktadır.

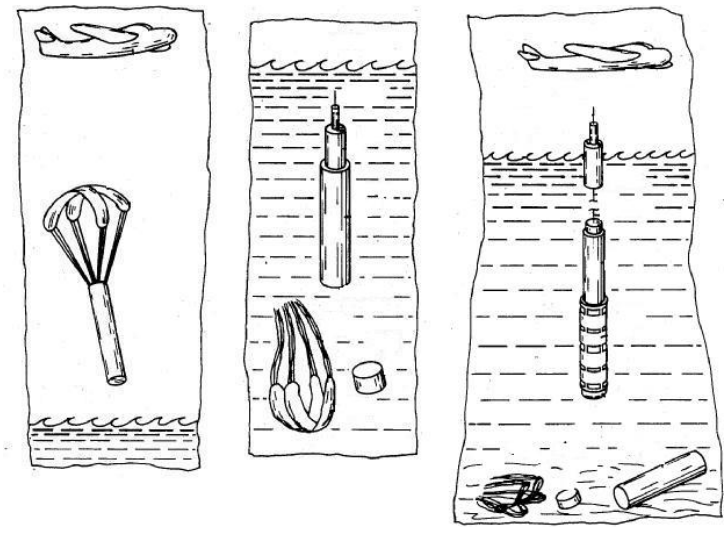


Şekil 2.16 Yüzer Göndermecin Atılması

2.3.3 Su Girişi ve Etkinleştirme

Yüzer göndermeçlerde, deniz suyuyla etkinleşen ısıl piller ya da lityum/sülfür dioksit bataryalar kullanılmaktadır. Uçak ya da helikopterden atılan yüzer göndermeç, deniz suyuna girdikten yaklaşık 3-4 metre sonra, yüzer göndermecin kapsülünden içeri giren deniz suyu pillerinin etkinleşmesine neden olur. Etkin hale gelen pil, bir tetikleme sistemi aracılığıyla antenin bulunduğu şamandıranın CO_2 gazıyla şişip deniz yüzeyine çıkmasını sağlar. Kapsülün alt kısmında kalan sırasıyla çapa ve hidrofon, serbest düşüş yapmakta olan kapsülden sıyrılıp kablolar aracılığıyla bulunması gereken pozisyonda yerlerini alırlar. Çapanın kapsülden ayrıldıktan sonra aldığı geometrik şekille bağlı olarak, çapanın yüzey alanı hidrofonun yatay kuvvetlere karşı salınım yapmasını önce azaltır, sonra engellemeye çalışır. Çapa ile hidrofon arasında yer alan esnek kablo ise hareketten kaynaklanan düşey kuvvetleri azaltmak için salınımları sönümlemeye çalışır.

Yüzer göndermeç, suya girdikten yaklaşık 3 dakika sonra edilgen olarak akustik dinleme yapmaya (pasif yüzer göndermeç) ya da etken iletim (aktif yüzer göndermeç) gerçekleştirmeye başlar.



Şekil 2.17 Yüzer Göndermecin Denizde Etkinleşmesi

2.3.4 Yüzer Göndermecin Çalışma Ömrü

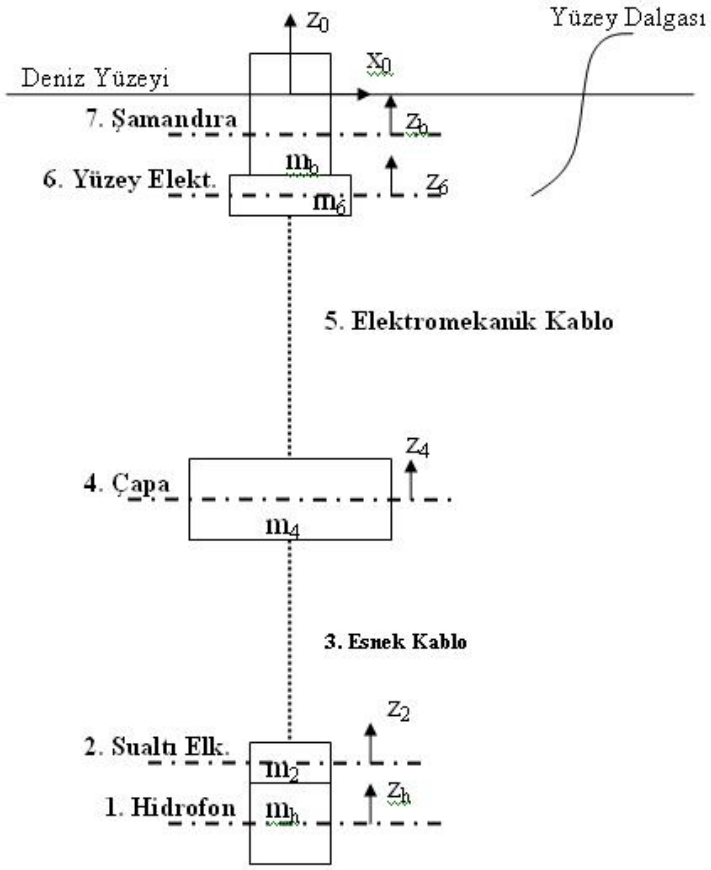
Yüzer göndermeçler belirlenen çalışma süresinin sonunda etkenliği kaybedip tipine bağlı olarak ya deniz suyuyla dolarak dibe gömülürler ya da deniz yüzeyinde etkisiz bir şekilde yüzmeye devam ederler. Bu özellikleri nedeniyle pahalı bir uygulama gibi görünse de gerçekte denizleri araştırmak için en ucuz, en hızlı ve en güvenilir yoldurlar.

Yüzer Göndermecin tamamı doğaya zarar vermeyen malzemelerden yapılmıştır. O yüzden çalışma ömrü sona erdiğinde denizin dibine batması çevre kirliliği yaratacak bir durum değildir.

3. YÜZER GÖNDERMECİN MATEMATİKSEL MODELİ

3.1 Fiziksel Model

Yüzer göndermecin fiziksel modeli Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sistemin Fiziksel Modeli

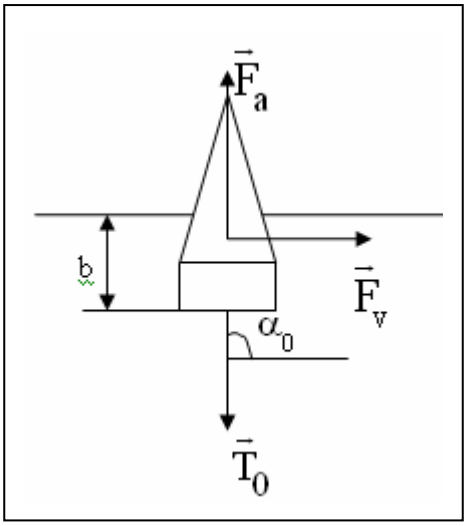
Bu modelde, gerçek yapının kullanım amaçları ve şekli göz önünde bulundurularak hidrofon ile sualtı elektroniği ve şamandıra ile yüzey elektroniğini birleştiren küçük esnek yapılar göz ardı edilmiş ve bunların sistemde birleşik kütleler gibi davrandığı kabulü yapılmıştır.

Sistem, temel olarak kütleler ve onları birleştiren esnek yapılar olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Matematiksel model oluşturulurken de bu ayrımı göz önünde bulunduran bir yaklaşım izlenmiştir.

3.2 Yüzer göndermecin parçalarına etkiyen kuvvetler

3.2.1 Şamandıra/Yüzey Elektroniği

Yüzer göndermecin şamandıra ve yüzey elektroniğine etkiyen kuvvetler Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Şamandıra ve Yüzey Elektroniğine Etkiyen Kuvvetler

$\vec{F}_a$, suyun kaldırma kuvveti ile kütlelerin havadaki ağırlığı arasındaki farktır. Aşağıdaki denklemle hesaplanabilir. **(Garrison, 1974-1975)**

$$F_a = \rho V_{batan} g - W_T \qquad \textbf{(3.1)}$$

$$F_a = \rho\left(\frac{\pi d_b^2}{4} h_b + a_e b_e c_e\right) g - m_b g \qquad \textbf{(3.2)}$$

$\vec{F}_v$, suyun sürükleme kuvvetidir. Kütle merkezine, suyun akıntı yönünde uygulandığı kabul edilir.

$$F_v = C_D \frac{\rho v_0^2}{2}\left(A_{wp} + A_e\right) \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$F_v = C_D \frac{\rho v_0^2}{2} b\left(h + c\right) a \qquad \textbf{(3.4)}$$

$\vec{T}_0$, bağlantı kablosundaki çekme kuvvetidir. Denge durumunda

$$T_0 \cos\alpha_0 = F_v \qquad T_0 \sin\alpha_0 = F_a \qquad \textbf{(3.5), (3.6)}$$

Şamandıraya etkiyen boyuna öteleme (surge) ve dalıp çıkma (heave) kuvvetleri aşağıdaki gibidir.

Boyuna öteleme;

$$F_{\xi} = F_{kx} + F_{vx} + T_{0x} + T_{i\omega x} \tag{3.7}$$

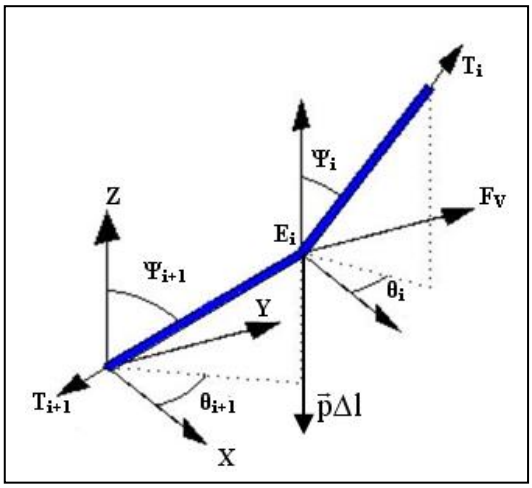
Dalıp çıkma;

$$F_{\eta} = -\rho g A_{wp}\left(h - y_w\right) + F_{vy} + T_{0y} + F_{ky} \tag{3.8}$$

Bu denklemlerde F_{kx}, F_{ky}; şamandıraya etkiyen dalga kuvvetlerinin x ve y bileşenlerini, T_{iwx} ise şamandıraya etkiyen rüzgar kuvvetinin x bileşenini göstermektedir.

3.2.2 Esnek Kablolar

Yüzer göndermecin elektronik parçalarını birbirine bağlayan esnek elektromekanik kablolara etkiyen kuvvetler, herhangi bir kablo parçası üzerinde Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Esnek Kabloya Etkiyen Kuvvetler

E_i, parçanın merkezi ve i düğümü olmak üzere;

$\vec{T}_i$ ve $\vec{T}_{i+1}$ kablo parçasının uç noktalarındaki gerilmeleri göstermektedir. $\vec{p}\Delta l$, parçanın sudaki ağırlığı, $\vec{F}\Delta l$ ise sürüklenme kuvvetidir. $\vec{p}$ ve $\vec{F}$ birim uzunluğa etkiyen kuvvetler, Δl ise parçanın boyudur.

Sürükleme kuvvetinin normal ve teğetsel parçaları aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

$$F_n = C_n \rho A_c \frac{v_n^2}{2} \quad \textbf{(3.9)}$$

$$F_t = C_t \rho S_c \frac{v_t^2}{2} \quad \textbf{(3.10)}$$

$$A_c = d_c l_c \qquad S_c = \pi d_c l_c \quad \textbf{(3.11), (3.12)}$$

v_n ve v_t, suyun bağıl hızının normal ve teğetsel eksen parçaları olup v, suyun bağıl hızı, bu vektörlerin vektörel toplamı şeklinde ifade edilir.

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_t^2} \quad \textbf{(3.13)}$$

$$v = \sqrt{\left(U_{xi} - \frac{dX_i}{dt}\right)^2 + \left(U_{zi} - \frac{dZ_i}{dt}\right)^2} \quad \textbf{(3.14)}$$

U_{xi} ve U_{zi}, akıntı hızının x ve z eksenindeki bileşenleridir.

Denge durumunda kuvvetlerin birbirleri ile ilişkileri aşağıdaki gibidir.

$$F_{vx} + T_i \cos\theta_i \sin\psi_i = T_{i+1} \cos\theta_{i+1} \sin\psi_{i+1} \quad \textbf{(3.15)}$$

$$F_{vy} + T_i \sin\theta_i \sin\psi_i = T_{i+1} \sin\theta_{i+1} \sin\psi_{i+1} \quad \textbf{(3.16)}$$

$$p\Delta l + F_{vz} + T_i \cos\psi_i = T_{i+1} \cos\psi_{i+1} \quad \textbf{(3.17)}$$

Gerilme altındaki kablonun gerilmiş uzunluğu, malzemenin elastisite (Young) modülünden yararlanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$l_c = h_c \left(1 + \frac{T}{\pi \frac{d_c^2}{4} M_c}\right) \quad \textbf{(3.18)}$$

Bu denklemde h_c, kablonun gerilme altında olmadığı durumdaki normal boyu ve M_c kablonun yapıldığı malzemenin elastisite (Young) modülü değeridir.

Kablo üzerindeki gerilme, malzemenin eksenel rijitliği ve gerinmesinin lineer bir fonksiyonu olduğu kabulüyle aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$T = EA\varepsilon \quad \textbf{(3.19)}$$

Burada EA, eksenel sertlik, ε kablonun gerinmesidir. Gerginlik, kablo uzunluğuna bağlı olarak aşağıdaki denklemle bulunur.

$$\varepsilon = \frac{\left(l_c - h_c\right)}{l_c} \tag{3.20}$$

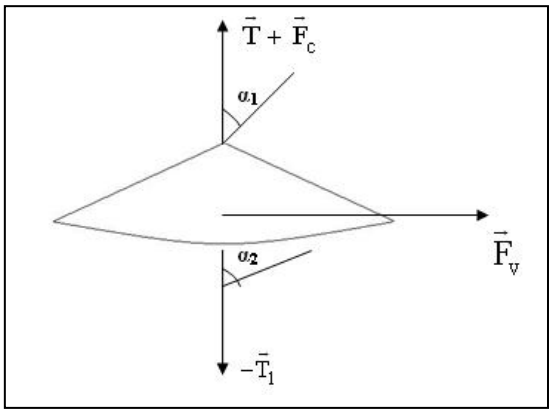
x, yatay yer değiştirme (sağa doğru pozitif); y, düşey yer değiştirme (aşağı doğru pozitif) olmak üzere;

$$\frac{\partial x}{\partial h_c} = -\left(1+\varepsilon\right)\sin\psi \tag{3.21}$$

$$\frac{\partial y}{\partial h_c} = \left(1+\varepsilon\right)\cos\psi \tag{3.22}$$

3.2.3 Çapa

Yüzer göndermecin çapasına etkiyen kuvvetler Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Çapaya Etkiyen Kuvvetler

$\vec{T}$ ve $-\vec{T}_1$, bağlantı kablosundaki gerilmelerdir. $\vec{F}_c$, suyun kaldırma kuvveti ile çapanın havadaki ağırlığı arasındaki farktır ve $\vec{F}_v$, suyun sürükleme kuvvetini göstermektedir.

$$F_{vcapa} = C_{Dcapa}\frac{\rho\left(v_0 - v_i\right)^2}{2}A_{capa} \tag{3.23}$$

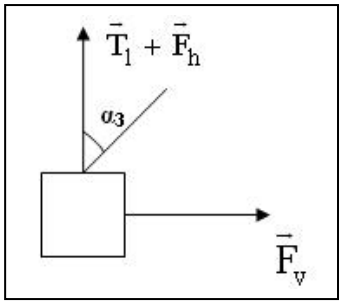
$$F_c = \rho\frac{\pi d_b^2}{4}h_b g - m_b g \tag{3.24}$$

Denklemler de göstermektedir ki, yatay hareketi azaltabilmek için çapanın hacminin büyümesi gerekmektedir. Fakat yüksekliğinin büyümesi kesit alanının artmasına bu

da sürükleme kuvvetinin büyümesine neden olacağı için, çapanın yüzey alanının genişletilip yüksekliği sabit tutularak bu gerçekleştirilebilir.

3.2.4 Hidrofon

Yüzer göndermecin hidrofonuna etkiyen kuvvetler Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Hidrofona Etkiyen Kuvvetler

$\vec{T}_l$, bağlantı kablosundaki gerilme, $\vec{F}_h$, suyun kaldırma kuvveti ile çapanın havadaki ağırlığı arasındaki farktır ve $\vec{F}_V$, suyun sürükleme kuvvetini göstermektedir.

$$F_h = C_{Dhidrofon} \frac{\rho\left(v - v_i\right)^2}{2} A_h \qquad \textbf{(3.25)}$$

$$F_h = \rho \frac{\pi d_h^2}{4} h_h g - m_b g \qquad \textbf{(3.26)}$$

Düşey hareket, yüzey şamandırasına etki eden dalga kuvvetlerinin hidrofon kütlesine etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Düşey hareketin kararlılığının sağlanabilmesi için de esnek kablonun sönümleme katsayısı göz önünde bulundurularak uygun seçilmesi gerekmektedir.

3.3 Sistemin Dinamiği

Bu çalışmada frekans alanlı ve zaman alanlı çözümlemelerin her ikisi de gerçekleştirilmiştir. Frekans alanlı çözümlemeler, sistemin temel davranışlarını hızlı gözlemlemek ve tasarım çalışmalarına bunu yansıtmak için avantajlıdır. Örneğin, dalga boyunun yüksek olduğu deniz durumu 5 ve 6 için yapılacak bir frekans alanlı çözümleme sonucunda, yüzer göndermecin esnek kabloları üzerindeki gerilme dağılımı kolaylıkla gözlemlenebilir. Bu da tasarım için gerekli olan azami gerilme değerini kolaylıkla hesaplamayı sağlar.

Zaman alanlı çözümleme ise frekans alanlı çözümlemeler sonucunda elde edilemeyecek doğrusal olmayan davranışları belirlemek için kullanılırlar.

Frekans ve zaman alanlı çözümlemelerin her ikisi de, Şekil 3.1'de verilen sistemin fiziksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Frekans Alanlı Çözümlemeler

Frekans alanlı çözümlemelerde sistemde,

Hidrofonun dinamik denge denklemi;

$$M_1 \frac{d^2U_1}{dt^2} + B_1 \frac{dU_1}{dt} = EA_1 \frac{\partial u_1}{\partial z_1} \Big|_{z_1=0} \tag{3.27}$$

Sualtı elektroniğinin ve çapanın dinamik denge denklemleri;

$$M_j \frac{d^2U_j}{dt^2} + B_j \frac{dU_j}{dt} = EA_j \frac{\partial u_j}{\partial z_j} \Big|_{z_j=0} - EA_{j-1} \frac{\partial u_{j-1}}{\partial z_j - 1} \Big|_{z_{j-j}=L_{j-1}}) \tag{3.28}$$

Yüzen şamandıranın dinamik denge denklemi ise;

$$M_B \frac{d^2U_B}{dt^2} + B_B \frac{dU_B}{dt} + \rho g A_{wp} U_B = -EA_n \frac{\partial u_n}{\partial z_n} \Big|_{z_n=L_n} + F_B(t) \tag{3.29}$$

Bu denklemde $F_B(t)$ dalga kuvvetini, A_{wp} ise şamandıranın su yüzeyi alanını ifade etmektedir.

j parça numarası olmak üzere her bir elastik parçanın (elektromekanik kablo, esnek kablo) denge denklemlerini aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.

$$m_j \frac{\partial^2 u_j}{dt^2} + \left(b_j + r_j\right) \frac{\partial u_j}{\partial t} = EA_j \frac{\partial^2 u_j}{\partial z^2_j} \tag{3.30}$$

Esnek parça boyunca yer değiştirme ve kütlenin yer değiştirmesi, şamandıraya etkiyen harmonik kuvvetin büyüklüğü F_B kabul edilerek, aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$u_j(z_j, t) = e^{iwt}\left[C_{2j-1} \cos k_j z_j + C_{2j} \sin k_j z_j\right] \tag{3.31}$$

$$U_j(t) = \hat{U}_j e^{iwt} \tag{3.32}$$

Burada C_J ve U_J kompleks sabitlerdir. k_J ise aşağıdaki ifadeyle hesaplanır.

$$k_j = \sqrt{\frac{m_j\omega^2 - i\omega(b_j + r_j)}{EA_j}} \tag{3.33}$$

(5) ve (6) numaralı denklemler, (1)-(4) numaralı dinamik denge denklemlerinde yerine konursa denklemlerin zamana bağımlılığının ortadan kalktığı görülür.

$u_j(0) = U_j$ olduğuna göre $\hat{U}_j = C_{2j-1}$ 'dir. Buna göre

$$0 = C_1\left(-\omega^2 M_1 + i\omega B_1\right) - C_2 EAk_1 \tag{3.34}$$

$$0 = C_1 \cos kL_1 + C_2 \sin kL_1 - C_3$$

$$0 = -C_1 EAk_1 \sin kL_1 + C_2 EAk_1 \cos kL_1 + C_3\left(-\omega^2 M_2 + i\omega B_2\right) - C_4 EAk_2$$

. = .

. = .

$$0 = -C_{2n-3} EAk_{n-1} \sin kL_{n-1} + C_{2n-2} EAk_{n-1} \cos kL_{n-1} + C_{2n-1}\left(-\omega^2 M_n + i\omega B_n\right) - C_{2n} EAk_n$$

$$0 = -C_{2n-1} EAk_n \sin kL_n + C_{2n} EAk_n \cos kL_n + \hat{U}_B$$

$$\dot{F}_B = -C_{2n-1} EAk_n \sin kL_n + C_{2n} EAk_n \cos kL_n + \dot{U}_B\left(-\omega^2 M_n + i\omega B_n + \rho g A_{wp}\right)$$

2n+1 denklem ve 2n+1 bilinmeyenden oluşan sistemde, herhangi bir kütlenin frekans cevabı, w, C_1'den C_{2n}'e kadar olan C değerleri ve $\hat{U}_B$ için bu doğrusal sistem çözülerek belirlenebilir.

Sistemin frekans cevabına göre sönümleme katsayıları;

$$b_{eq} = 2\sigma_v\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(\frac{1}{2}\rho C_f \pi d\right) \tag{3.35}$$

$$B_{eq} = 2\sigma_v\sqrt{\frac{2}{\pi}}\left(\frac{1}{2}\rho C_D \pi d\right) \tag{3.36}$$

C_D: Kütlenin sürükleme katsayısı

C_f: Kütlenin sürtünme katsayısı

S: Yüzey kesit alanı

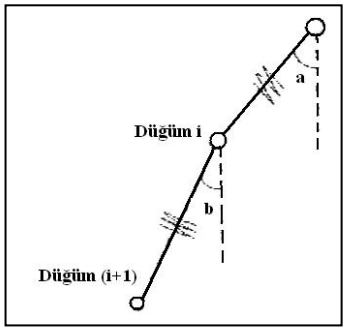
d: Kablonun çapı

σ_v : Hızdaki standart sapma

3.3.2 Zaman Alanlı Çözümlemeler

Zaman alanlı modelde, elastik parçalarla kütlelerin birleşim noktaları temel alınarak çözümleme gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda modelde, her elastik parçanın, sıralı bir boyutlu idealleştirilmiş kütle yay sistemlerinden oluşmuş gibi davrandığı kabulü yapılmıştır. Sistemin hareket denklemleri, uzay ve zaman içinde sonlu farklar metodu kullanılarak oluşturulmuştur. Modelde, Δz'in değişken olmasına izin verilerek farklı şekilde bölümlemelere imkân tanınmış ancak benzetim boyunca Δt zamanı sabit kabul edilmiştir. **(Camahan ve diğ., 1969)**

İdealleştirilmiş bir sistem olduğu için, Hidrofondan şamandıraya kadar sadece bir koordinat sistemi yer almaktadır.



Şekil 3.6 Sonlu Farklar Metodu

Sistemin sönümleme katsayıları doğrusallaştırılarak aşağıdaki şekilde kabul edilmiştir;

$$B_s = \frac{1}{2}\rho(C_D)_s S_s \qquad \textbf{(3.37)}$$

$$b_s = \frac{1}{2}\rho(C_f)_s \pi d_s \qquad \textbf{(3.38)}$$

s hangi parçadaki düğümün çalıştığını göstermekte kullanılır. M_s ve B_s daima s parçanın altındaki masif sistem bileşenin özelliklerini açıklamakta kullanılır. Model tamamen lineer değildir bu yüzden B_s ve b_s farklı denklemlerdedir. **(Clough ve Penzien, 1975) (Driscoll, 1996)**

Hidrofonun dinamik denklemi;

$$\left(M_1+m_1\frac{\Delta z_1}{2}\right)\left(\frac{u_1^{j+1}-2u_1^{j}+u_1^{j-1}}{\Delta t^2}\right)+\mu\left(B_1+b_1\frac{\Delta z_1}{2}\right)\left(\frac{u_1^{j+1}-u_1^{j-1}}{2\Delta t}\right)^2$$
$$+r_1\frac{\Delta z_1}{2}\left(\frac{u_1^{j+1}-u_1^{j-1}}{2\Delta t}\right)=EA_1^a\left(\frac{u_2^{j}-u_1^{j}}{\Delta z_1}\right)-\left(W_1+w_1\frac{\Delta z_1}{2}\right) \quad \textbf{(3.39)}$$

Sualtı elektroniğinin ve çapanın dinamik denklemleri;

$$\left(M_s+m_s\frac{\Delta z_s}{2}+m_s\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right)\left(\frac{u_1^{j+1}-2u_1^{j}+u_1^{j-1}}{\Delta t^2}\right)+\mu\left(B_s+b_s\frac{\Delta z_s}{2}+b_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right)\left(\frac{u_1^{j+1}-u_1^{j-1}}{2\Delta t}\right)^2$$
$$+\left(r_s\frac{\Delta z_s}{2}+r_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right)\left(\frac{u_1^{j+1}-u_1^{j-1}}{2\Delta t}\right)=EA_s^a\left(\frac{u_{i+1}^{j}-u_i^{j}}{\Delta z_s}\right)-EA_{s-1}^b\left(\frac{u_i^{j}-u_{i-1}^{j}}{\Delta z_{s-1}}\right)-\left(W_s+w_s\frac{\Delta z_s}{2}+w_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right) \quad \textbf{(3.40)}$$

Yüzen şamandıranın dinamik denklemi ise;

$$\left(M_B+m_n\frac{\Delta z_n}{2}\right)\left(\frac{u_{nn}^{j+1}-2u_{nn}^{j}+u_{nn}^{j-1}}{\Delta t^2}\right)+\mu\left(B_B+b_n\frac{\Delta z_n}{2}\right)\left(\frac{u_{nn}^{j+1}-u_{nn}^{j-1}}{2\Delta t}\right)^2+$$
$$\left(B_w^j+r_n\frac{\Delta z_n}{2}\right)\left(\frac{u_{nn}^{j+1}-u_{nn}^{j-1}}{2\Delta t}\right)=-EA_n^b\left(\frac{u_{nn}^{j}-u_{nn-1}^{j}}{\Delta z_1}\right)+F_w^j-\left(W_B+w_n\frac{\Delta z_n}{2}\right) \quad \textbf{(3.41)}$$

Kablo üzerindeki düzenli bir nokta için;

$$m_s\Delta z_s\left(\frac{u_i^{j+1}-2u_i^{j}+u_i^{j-1}}{\Delta t^2}\right)+\mu b_s\Delta z_s\left(\frac{u_i^{j+1}-u_i^{j-1}}{2\Delta t}\right)^2+r_s\Delta z_s\left(\frac{u_i^{j+1}-u_i^{j-1}}{2\Delta t}\right)=EA_s^a\left(\frac{u_{i+1}^{j}-u_i^{j}}{\Delta z_s}\right)$$
$$-EA_s^b\left(\frac{u_i^{j}-u_{i-1}^{j}}{\Delta z_s}\right)-w_s\Delta z_s \quad \textbf{(3.42)}$$

μ, sürükleme terimlerinin işaretini belirlemek için kullanılan bir sabittir.**(Goldin 1995)**

$$\mu=\begin{cases}+1, u_i^{j}>u_i^{j-1}\\ -1, u_i^{j}>u_i^{j-1}\end{cases} \quad \textbf{(3.43)}$$

F_w, şamandıraya etkiyen anlık dalga kuvveti ve B_{jw} ise zamana bağlı doğrusal dalga sönümleme katsayısıdır.

EA teriminde yer alan a ve b kablonun üzerindeki gerilme sıfırken kablonun gevşekliğinin neden olacağı yukarıda (gevşek) ya da aşağıda (gergin) bulunma durumunu temsil eder.

$$EA_s^a = \begin{cases} EA_s, u_{i+1}^j > u_i^j \\ 0, u_{i+1}^j > u_i^j \end{cases} \qquad EA_s^b = \begin{cases} EA_s, u_i^j > u_{i-1}^j \\ 0, u_i^j > u_{i-1}^j \end{cases} \tag{3.44}$$

t = 0 ve t = Δt (zaman adımları 0 ve -1) tüm düğümler için başlangıç yer değiştirmesi harekete farkları denklemiyle hesaplanabilir. Herhangi bir zamandaki yer değiştirmeyi hesaplamak için nn tane bağımsız ikinci derecen denklemin çözülmesi gerekir. Bu ikinci dereceden denklemlerin çözümü aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$u_i^{j+1} = \frac{-c_2 + \sqrt{c_2^2 - 4c_1c_3}}{c_2} \tag{3.45}$$

Hidrofon için;

$$c_1 = \frac{\mu}{4\Delta t^2}\left(B_1 + b_1\frac{\Delta z_1}{2}\right) \tag{3.46}$$

$$c_2 = \left(\frac{M_1 + m_1\frac{\Delta z_1}{2}}{\Delta t^2}\right) - \frac{\mu}{2\Delta t^2}\left(B_1 + b_1\frac{\Delta z_1}{2}\right)u_1^{j-1} + \frac{r_1}{4\Delta t}\Delta z_1$$

$$c_3 = \left[\frac{EA_1^a}{\Delta z_1} - 2\left(\frac{M_1 + m_1\frac{\Delta z_1}{2}}{\Delta t^2}\right)\right]u_1^j + \left[\left(\frac{M_1 + m_1\frac{\Delta z_1}{2}}{\Delta t^2}\right) - \frac{r_1}{4\Delta t}\Delta z_1\right]u_1^{j-1}$$
$$- \frac{EA_1^a}{\Delta z_1}u_2^j + \frac{\mu}{4\Delta t^2}\left(B_1 + b_1\frac{\Delta z_1}{2}\right)\left(u_1^{j-1}\right)^2 + \left(W_1 + w_1\frac{\Delta z_1}{2}\right)$$

Sualtı elektroniğinin ve çapa için;

$$c_1 = \frac{\mu}{4\Delta t^2}\left(B_s + b_s\frac{\Delta z_s}{2} + b_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right) \tag{3.47}$$

$$c_2 = \left(\frac{M_s + m_s\frac{\Delta z_s}{2} + m_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}}{\Delta t^2}\right) + \left(\frac{r_s\frac{\Delta z_s}{2} + r_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}}{2\Delta t}\right)$$
$$- \frac{\mu}{2\Delta t^2}\left(B_s + b_s\frac{\Delta z_s}{2} + b_{s-1}\frac{\Delta z_{s-1}}{2}\right)u_i^{j-1}$$

$$c_3 = \left[\frac{EA_s^a}{\Delta z_s} + \frac{EA_{s-1}^b}{\Delta z_{s-1}} - 2\left(\frac{M_s + m_s \frac{\Delta z_s}{2} + m_{s-1} \frac{\Delta z_{s-1}}{2}}{\Delta t^2} \right) \right] u_i^j - \frac{EA_s^a}{\Delta z_s} u_{i+1}^j - \frac{EA_{s-1}^b}{\Delta z_{s-1}} u_{i-1}^j$$

$$+ \left[\left(\frac{M_s + m_s \frac{\Delta z_s}{2} + m_{s-1} \frac{\Delta z_{s-1}}{2}}{\Delta t^2} \right) - \left(\frac{r_s \frac{\Delta z_s}{2} + r_{s-1} \frac{\Delta z_{s-1}}{2}}{2\Delta t} \right) \right] u_i^{j-1}$$

$$+ \frac{\mu}{4\Delta t^2} \left(B_s + b_s \frac{\Delta z_s}{2} + b_{s-1} \frac{\Delta z_{s-1}}{2} \right) \left(u_1^{j-1} \right)^2 + \left(W_s + w_s \frac{\Delta z_s}{2} + w_{s-1} \frac{\Delta z_{s-1}}{2} \right)$$

Şamandıra için;

$$c_1 = \frac{\mu}{4\Delta t^2} \left(B_B + b_n \frac{\Delta z_n}{2} \right) \qquad \textbf{(3.48)}$$

$$c_2 = \left(\frac{M_B + m_n \frac{\Delta z_n}{2}}{\Delta t^2} \right) - \frac{\mu}{2\Delta t^2} \left(B_B + b_n \frac{\Delta z_n}{2} \right) u_{nn}^{j-1} + \frac{r_n}{4\Delta t} \Delta z_n$$

$$c_3 = \left[\frac{EA_n^b}{\Delta z_n} + \rho g A_{wp} - 2\left(\frac{M_B + m_n \frac{\Delta z_n}{2}}{\Delta t^2} \right) \right] u_{nn}^j + \left[\left(\frac{M_B + m_n \frac{\Delta z_n}{2}}{\Delta t^2} \right) - \frac{r_n}{4\Delta t} \Delta z_n \right] u_{nn}^{j-1}$$

$$- \frac{EA_n^b}{\Delta z_n} u_{nn-1}^j + \frac{\mu}{4\Delta t^2} \left(B_B + b_n \frac{\Delta z_n}{2} \right) \left(u_{nn}^{j-1} \right)^2 + \left(W_B + w_n \frac{\Delta z_n}{2} \right) - F_B^j$$

Kablo üzerindeki düzenli bir nokta için;

$$c_1 = \frac{\mu}{4\Delta t^2} b_s \Delta z_s \qquad \textbf{(3.49)}$$

$$c_2 = \left(\frac{m_s \Delta z_s}{\Delta t^2} \right) - \frac{\mu}{2\Delta t^2} b_s \Delta z_s u_i^{j-1} + \frac{r_s \Delta z_s}{2\Delta t}$$

$$c_3 = \left(\frac{EA_s^a + EA_s^b}{\Delta z_s} - \frac{2 m_s \Delta z_s}{\Delta t^2} \right) u_i^j - \frac{EA_s^a}{\Delta z_s} u_i^j - \frac{EA_s^b}{\Delta z_s} u_{i-1}^j$$

$$+ \left(\frac{m_s \Delta z_s}{\Delta t^2} - \frac{r_s \Delta z_s}{2\Delta t} \right) u_i^{j-1} + \frac{\mu}{4\Delta t^2} b_s \Delta z_s \left(u_i^{j-1} \right)^2 + w_s \Delta z_s$$

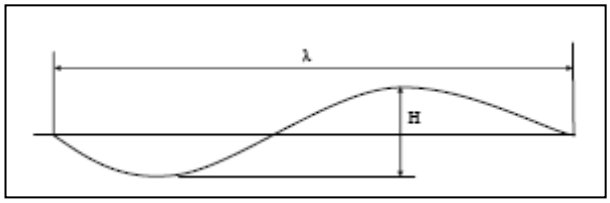
3.3.3 Deniz Durumu ve Dalga Kuvveti

Herhangi bir dış etkenle dengesi bozulan durgun su yüzeyinin yer çekimi nedeniyle tekrar orijinal konumuna dönebilmesi için yapmış olduğu hareketler su yüzeyindeki dalga hareketlerini oluşturur. Deniz yüzeyinde oluşan dalgalar üç boyutlu ve rasgele özelliklere sahiptirler. Bu yüzden matematiksel olarak ifadeleri güçtür. Yerçekimi sebebiyle oluşan küçük genlikli dalga teorisine lineer dalga teorisi adı verilir. Düzenli dalgaların uygulama kolaylığı ve sonuçlarındaki güvenilirlik ve ayrıca karışık dalgaların da bileşeni olmaları sebebiyle büyük önem taşırlar. Düzenli dalgaların profili sinüs eğrisi ile temsil edildiğinden aynı zamanda sinüzoidal dalgalar adı da verilir.

Karışık denizler rasgele bir davranış sergileyecektir ve böyle bir denizi matematik olarak temsil edebilmek için istatistikî yöntemler kullanmak gerekecektir. Lineer süper pozisyon prensibine göre karışık denizlerin sonsuz sayıda düzenli dalga bileşeninden oluştuğu varsayılabilir ve bu bileşenlerin frekansa göre varyansının yoğunluğu ile o denizin enerjisini temsil eden bir dalga spektrumu elde edilebilir.

Karışık denizleri temsil edebilmek üzere lineer süper pozisyon ilkesi kullanılacaktır. Buna göre karışık denizler sonsuz sayıda değişik dalga boyu ve dalga frekansına sahip sinüzoidal bileşenin toplamından oluştuğu kabul edilecektir.

Şekil 3.3. ‘deki gibi derin suda (**H/λ≤1/20** ve su derinliği **d≥λ/2**) tek bir dalgayı ele alalım.



Şekil 3.7 Derin Suda Bir Dalga Profili

Dalga boyu : $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$

Dalga periyodu: $T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$

Dalga frekansı: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Dalga hızı: $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi}$

Dalga yüksekliği: $H = 2\xi$ ξ : Dalga genliği

Dalga sayısı: $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g}$

Su sığlaştıkça gerek dalga hızı c ve gerekse dalga boyu λ azalır. Fakat dalga periyodu T sığlaşmadan etkilenmez. Yani derinliğe bağlı olmadan sabit kalabilen bir dalga parametresidir.

Bu çalışmada frekans alanlı çözümleme için lineer dalga teorisi, zaman alanlı çözümleme için ise karışık dalga teorisi kullanılmıştır.

3.3.3.1 Frekans Alanlı Çözümleme için Basitleştirme

Yüksek frekanslara kadar, şamandıranın dalgaları mükemmel bir şekilde takip ettiği kabulü yapıldığı için basitleştirilmiş dalga denklemleri sisteme doğrudan girdi olarak eklenebilir. Yüksek frekansta ise gerçek deniz durumunda oluşacak yüksek frekans enerjisinin eksikliği şamandıranın dinamiğinin etkin rolünü azalttığı için bu basitleştirilmiş denklemlerin kullanılmasında sakınca yoktur.

$$\hat{U}_B = \left[C_{2n-1} \cos kL_n + C_{2n} \sin kL_n \right] \qquad \textbf{(3.50)}$$

3.3.3.2 Zaman Alanlı Çözümleme için Basitleştirme

Karışık denizleri tanımlamak için enerji spektrumları kullanılır. Karışık denizi temsil eden dalga enerjisini maksimum yapan frekanstaki dalgalar spektrumu en büyük katkıyı yaparlar. Bu spektrum deniz yüzeyinin birim alanı başına düşen enerjinin dalga bileşenlerinin frekanslarına göre dağılım şeklini gösterir.

Karışık denizlere ait gerçek verinin mevcut olmadığı durumlarda denizcilik hesaplarında genellikle idealleştirilmiş matematiksel spektrum fonksiyonlarından yararlanılır. Bunlardan en basiti ve en çok kullanılanı olan Pierson-Moskowitz tayfında tam oluşmuş denizler için sabit hızda ve sonsuz bir periyot için sonsuz genişlikte bir saha üzerinden esen rüzgârlar için bir dalga spektrum formülasyonu verilmektedir.

Pierson-Moskowitz Tayfı

Bu tayfın dalga frekansı ve rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

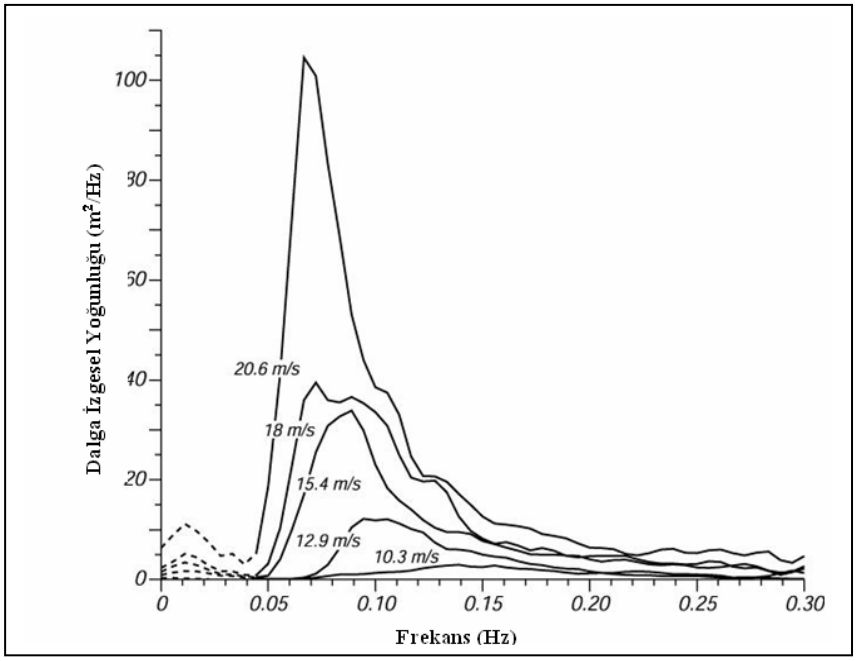
$$S_\xi = \frac{0.0081g^2}{\omega^5}\exp\left[-1.25\left(\frac{\omega_m}{\omega}\right)^4\right] \qquad \textbf{(3.51)}$$

Burada

ω : Dalga frekansı [rad/s]

ω_m : Dalgaların doğal (modal) frekansı [rad/s]

V: Deniz yüzeyinden 19,5 metre yukarıda ölçülen rüzgâr hızı [m/s]



Şekil 3.8 Pierson-Moskowitz Tayfı Tam Deniz Modeli

Bu tür bir spektrum tam oluşmuş denizler için geliştirilmiş olduğundan her bir karakteristik dalga yüksekliği için tek bir modal devir değeri öngörülmüştür. İlgili denklemden yararlanılarak türetilmiş değerlerin yer aldığı tablo ekte sunulmuştur.

Bu çalışmada da dalga modeli oluşturulurken bu spektrumdan yararlanılmıştır.

x_w, y_w; su partiküllerinin x ve y koordinat sisteminde yer değiştirmeleri olmak üzere

$$x_\omega = \sum_{i=1}^{N} A_i e^{-k_i y}\cos(k_i x - \omega t_0 + \phi_i) \qquad \textbf{(3.52)}$$

$$y_\omega = \sum_{i=1}^{N} A_i e^{-k_i y}\sin(k_i x - \omega t_0 + \phi_i) \qquad \textbf{(3.53)}$$

Dalganın toplam genliği aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$A_B^J = \sum_{i=1}^{N} A_i \sin(j\omega_i \Delta t + t_0 + \phi_i) \qquad \textbf{(3.54)}$$

Bu denklemde ω dalga frekansıdır ve oluşturulan dalga modelinden elde edilir. t_0 t=0 anında $A_B^0 = 0$ olmasını sağlayan bir sabit değerdir. ϕ ise $[-\pi,\pi]$ arasında değişen bir açı değeri olmak üzere rasgele üretilerek denkleme verilir.

4. BENZETİM

Benzetim modelimiz, bir kullanıcı arayüzüyle interaktif bir şekilde veri girişi yapılarak farklı özelliklerdeki yüzer göndermeçlerin dinamik modelini ve konum kestirimini yapacak şekilde MATLAB programı aracılığıyla geliştirilmiştir. Bu arayüz aracılığıyla benzetimi kullanan kişi giriş parametrelerini (kablo tipi, boyu, hidrofonun boyutları, şamandıranın boyutları…) değiştirerek yeni bir yüzer göndermeç tasarlayabilir, bunu kaydedebilir ve elde ettiği sonuçları farklı tasarım sonuçlarıyla karşılaştırabilir. Aynı zamanda bu arayüz aracılığıyla ortam şartları belirlenerek, yüzer göndermecin farklı ortam şartlarındaki davranışları izlenebilmektedir.

Benzetim, zamana bağlı olarak akıntı, deniz durumu ve rüzgar etkisindeki yüzer göndermecin dinamiklerinin tasarlanıp geliştirilebilmesi için kuvvet denge denklemleri setini çözerek, her bir alt parçasının konumunu belirlemeyi amaçlar. Bunun içinde yüzer göndermecin her bir parçasının konumunu belirlemek için iteratif bir yaklaşımla, parçanın konumu bir noktaya yakınsanana kadar çözümleme yapmaktadır. Benzetim sırasında ilk iterasyon şamandıradan başlayıp aşağı doğru sürmektedir. Her yeni çözümde parçalara etkileyen kuvvetler ve buna bağlı konum bilgileri güncellenmektedir.

Parçaların konumları dikeyde 1 cmlik değişiklikler ile hesaplanmaktadır. Her bir iterasyon adımında gerçekleşen bu hesap hassasiyeti, çözümün toplam hassasiyetini belirleyicidir. Yüzer göndermeçlerin bulunması gereken konum santimetreler seviyesinde hassas olmadığı için seçilmiş olan hesap hassasiyeti benzetim sonuçları açısından yeterli olabilmektedir. Eğer iterasyon adımlarının birinde şamandıra dikeyde 1 cmden daha küçük bir yer değişikliğine uğradıysa benzetim çözümün yakınsadığını kabulünü yaparak iterasyonu durdurur ve yüzer göndermecin alt parçalarının o anki pozisyonlarını kayıt eder.

Benzetimde dikkate alınan düşey hareketlere neden olan kuvvetler şunlardır:

- Batmazlık: Yüzer göndermecin ilgili parçasına uygulanan kaldırma kuvveti ile sudaki ağırlığı arasındaki farktır. Elemanların kütlesine ve özelliklerine bağlı olarak değişecektir.

- Gerilme: Parçanın konumuna göre yukarıda, aşağıda ya da her ikisinde de olabilen, parçaları birbirine bağlayan esnek kablolar tarafından taşınılan kuvvetlerdir. Kablonun tipine bağlı olarak değişmektedir.

- Sürükleme: Yatayda etkiyen sürükleme kuvvetinin açılı olması durumunda, düşey eksene yansıyan parçasıdır. Parçanın sürükleme katsayılarına ve akıntı hızına bağlı olarak değişmektedir.

Sistemde, çapa için 3 denklem ve 6 bilinmeyen (Üstten gerilme, alttan gerilme, gerilmelerin z eksenindeki açısı (ψ), gerilmelerin x-y düzlemi ile açısı (θ); hidrofon ve şamandıra için ise tek bir gerilmenin etkisi altında oldukları için 3 denklem ve 3 bilinmeyen bulunmaktadır. Bu nedenle çözüm şamandıranın kuvvet denge denklemlerinden yararlanılarak, şamandıradan başlayarak aşağı doğru sürmektedir.

4.1 Örnek Çözüm

Bu çalışmada, benzetimi gerçekleştirecek pasif yüzer göndermecin parametreleri A sınıfı yüzer göndermeçlerin sahip olması gereken özellikler göz önünde bulundurularak ortalama değerler olarak alınmıştır.

Tablo 4.1. Şamandıra ve Kabloların Benzetim Parametreleri

Şamandıra	
Yüzey Kesitinin Çapı	0,16 m
Ağırlık	10 kg
Draft	0,8 m

	EM Kablo	**Esnek Kablo**
Çap	0,004 m	0,006 m
Kütle	0,0015 kg	0,0092 kg
Boy	100 m	100 m
C_D	1,4 -0,02	1,4 – 0,02

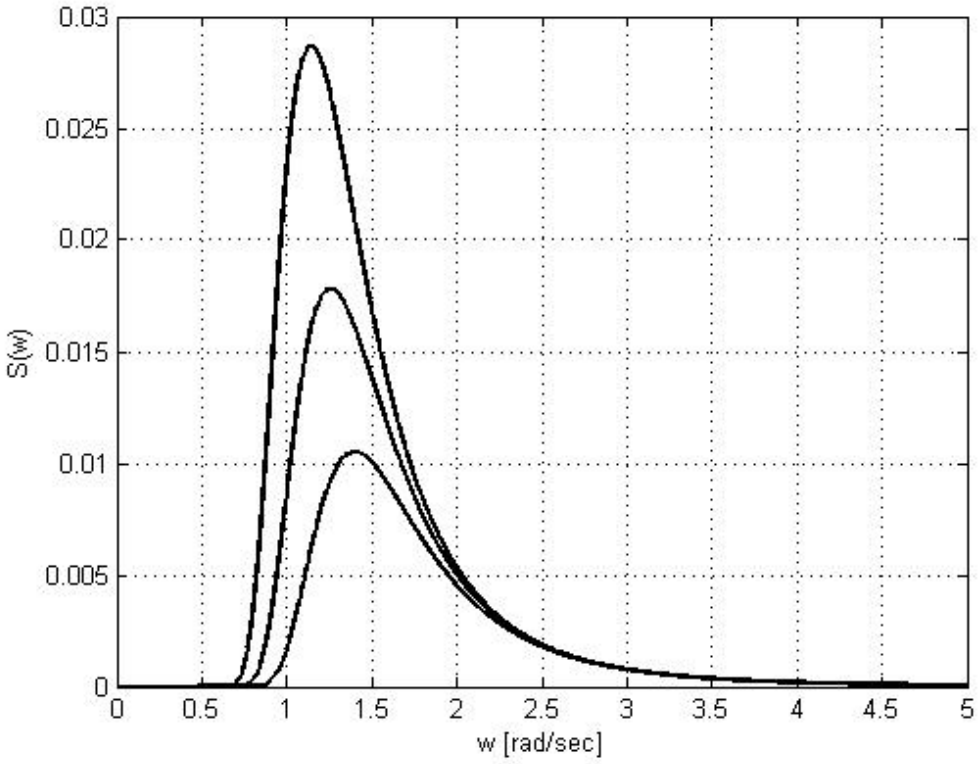
Tablo 4.2. Elektronik Sistemler ve Çapanın Benzetim Parametreleri

	Yüzey Elek.	Çapa	Sualtı Elek.	Hidrofon
Kütle [kg]	20	1,2	5	2
x eksenine göre kesit alanı [m^2]	0,033	0,4	0,033	0,018
z ekseni göre kesit alanı [m^2]	0,041	0,08	0,041	0,024
C_D	0,6	0,6	0,6	0,6

Benzetimde dalga modeli oluşturulurken Pierson-Moskowitz Spektrumundan yararlanılmış ve ortam şartları olarak deniz durumu 4'e ait aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

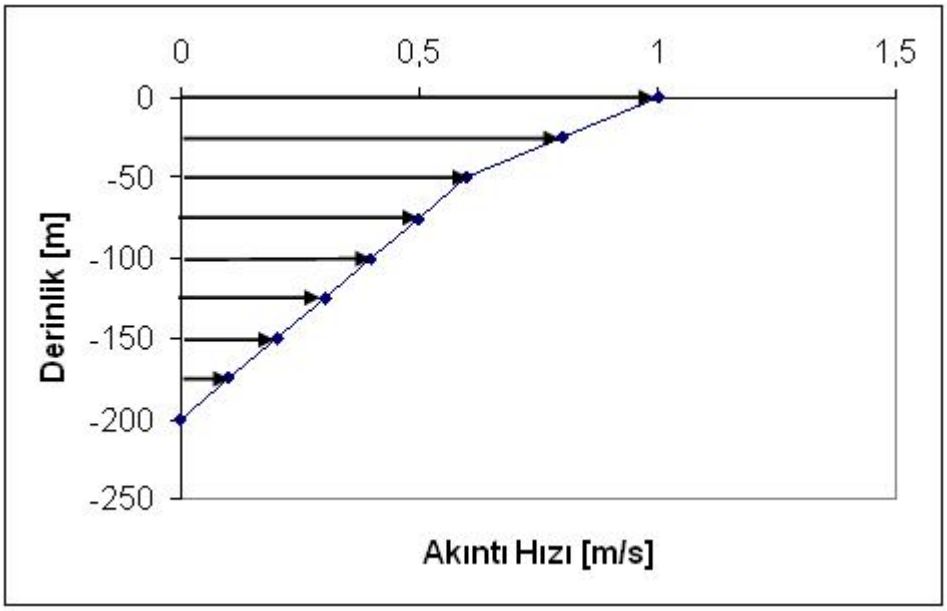
Tablo 4.3. Seçilen Deniz Durumu ve İlgili Parametreleri

Deniz Durumu	Rüzgârın Hızı [m/s]	Maksimum Dalga Yüksekliği [m]	Model Frekansı (Hz)
4	8-11	2,5	0,12



Şekil 4.1 Deniz Durumu 4 için Pierson-Moskowitz Tayfı

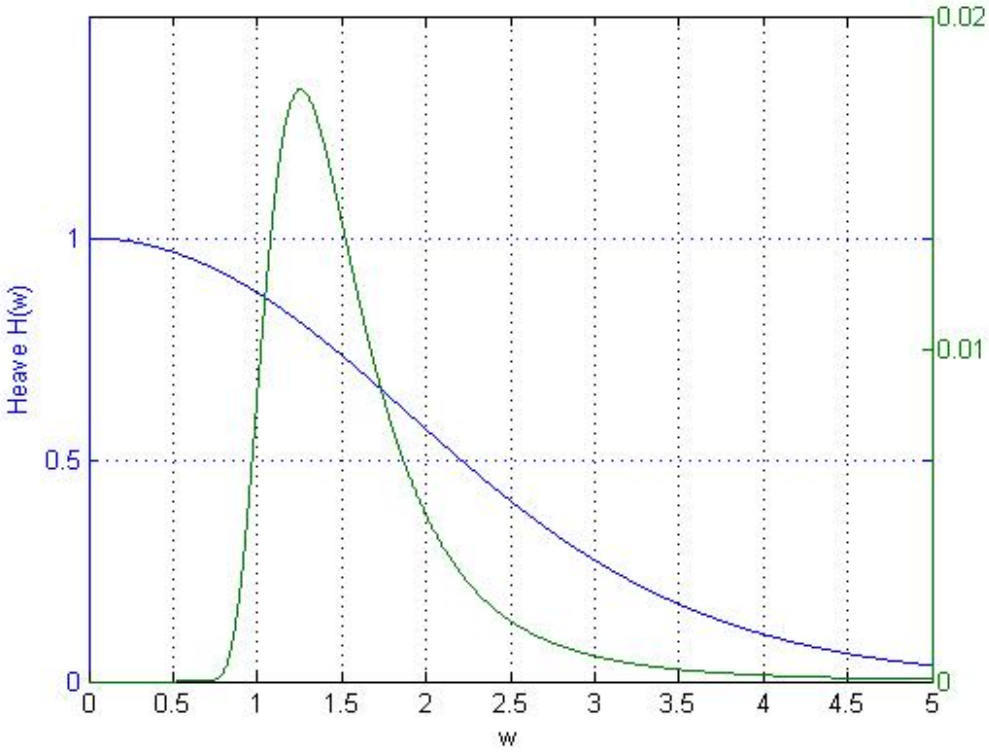
Denizde, derinliğe bağlı akıntı hızı profili için Eckman (1968) örnek alınmıştır.



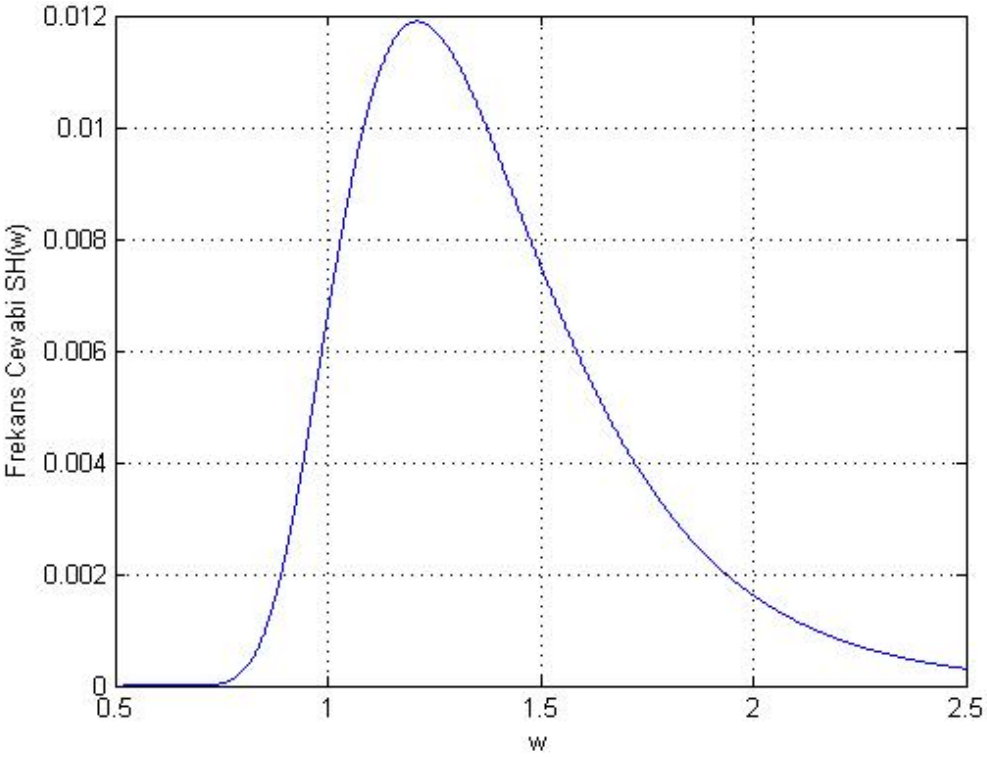
Şekil 4.2 Akıntı Hızı Profili

Sistemin oluşturulan matematik modelinden yararlanılarak, MATLAB programı aracılığıyla benzetimi gerçekleştirilmiş ve benzetim sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şamandıra

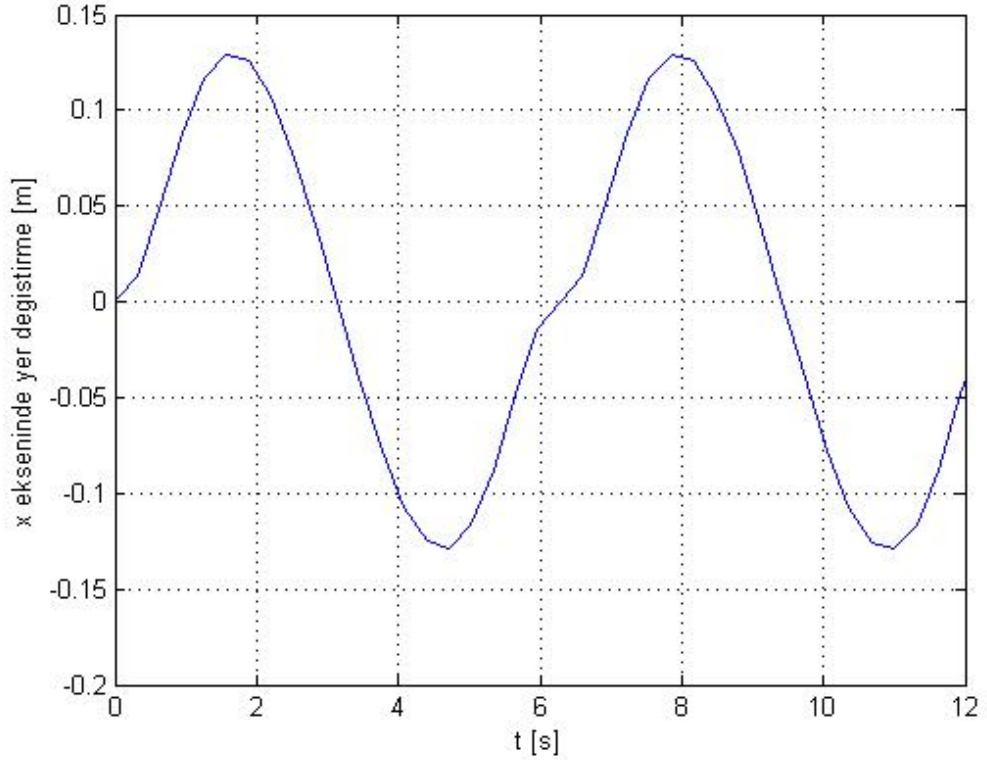


Şekil 4.3 Batıp Çıkma (Boyuna Ötelenme – Heave) – Dalga Frekansı Grafiği

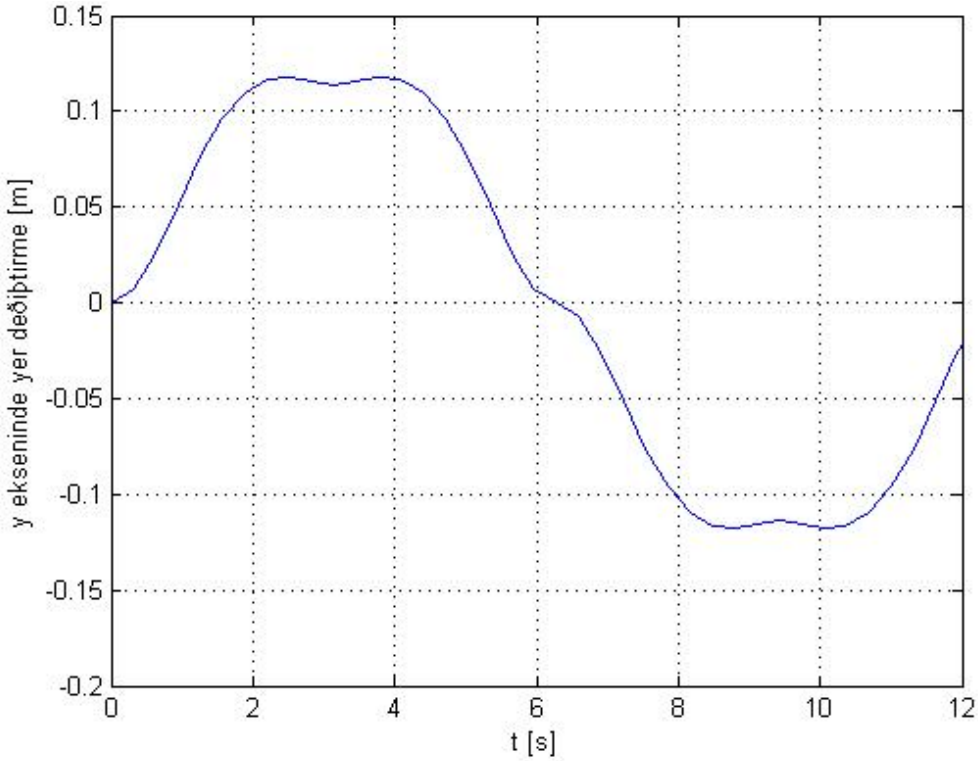


Şekil 4.4 Batıp Çıkma (Boyuna Ötelenme – Heave) Frekans Cevabı

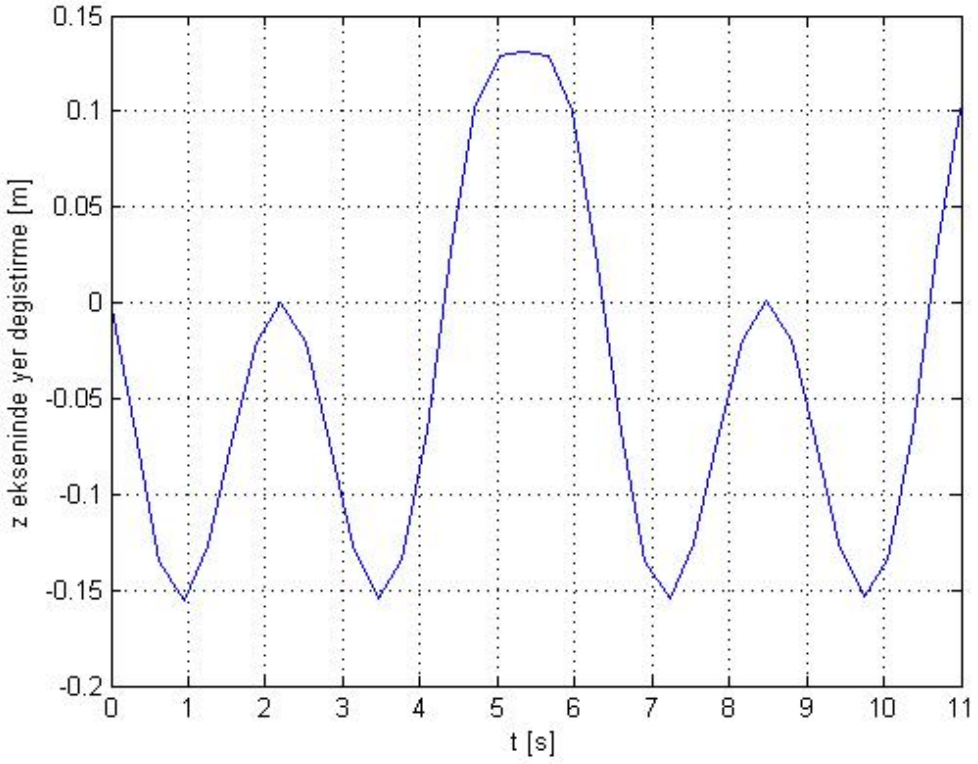
Hidrofon



Şekil 4.5 Hidrofonun x Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği



Şekil 4.6 Hidrofonun y Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği



Şekil 4.7 Hidrofonun z Ekseninde Yer Değiştirmesi – Zaman Grafiği

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada genel olarak yüzer göndermeçlerin tanımları ve özelliklerine yer verilmiş, özel olarak ise pasif bir yüzer göndermecin dinamik modellemesinin yapılabilmesi için matematik modeli oluşturulmuştur.

Yüzer göndermecin pasif dinleme yapabilmesini sağlayan parçası olan hidrofonun, verimli çalışabilmesi için istenen dinleme derinliğinde mümkün oldukça hareketsiz kalması sağlanmalıdır. Bu yüzden de yüzer göndermeç bunu gerçekleştirecek bir süspansiyon sistemine ihtiyaç duyar. Bu çalışmada bu süspansiyon sistemi incelenmiş ve çalışma sonuçları doğrultusunda süspansiyon sisteminin özelliklerinin nasıl olması gerektiği konusunda bilgi sahibi olunması hedeflenmiştir. Pasif yüzer göndermecin dinamik modellemesi ve benzetimi MATLAB programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş, benzetim sonuçları ve yorumları sunulmuştur.

Çalışmanın sonunda elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Yapılan çalışma yüzer göndermecin özellikle süspansiyon sistemiyle ilgili yapılacak geliştirme çalışmaları için faydalı bir altyapı sağlamaktadır.
- Bu çalışma ile ulusal yüzer göndermeç tasarımı ve üretimi için ihtiyaç duyulan bilgi birikimi ve altyapı kısmen de olsa sağlanmış, bu bilgi birikimi ilgili projeye aktarılabilecek olgunluğa ulaşmıştır.
- Elde edilen sonuç, mevcut yüzer göndermeçlerde hidrofonun düşey yer değiştirmesinin azaltılabilmesi için süspansiyon sistemleri geliştirmeye açık olduğu yönündedir.
- Düşey hareketin kararlılığının sağlanabilmesi için de esnek kablonun sönümleme katsayısı göz önünde bulundurularak uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan benzetim, tasarım

sürecinde doğru sönümleme katsayısını belirleme konusunda yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Ablow, C.M. and Schechter, S., 1983. Numerical simulation of undersea cable dynamics. *Ocean Engineering*, 10:443–457.

Bai, K.J., 1977. Zero frequency hydrodynamic coefficients of vertical axisymmetric bodies at a free surface, *Journal of Hydronautics,* **11**, 53–57.

Berteaux, H.O., 1976. Buoy Engineering, John Wiley and Sons, New York.

Berteaux, H.O., 1991.Coastal and Oceanic Buoy Engineering, Woods Hole, MA.

Camahan, B., Luther, H.A. and Wiies, J.O., 1969. Applied Numerical Methods, John Wiley and Sons, New York.

Clough, R.W. and Penzien, J., 1975. Dynamics of Structures. McGraw-Hill Book Co, New York.

Dommermuth, D. G. and Yue, D. K. P., 1987. A high-order spectral method for the study of nonlinear gravity waves. J. Fluid Mech. **184**, 267-288.

Driscoll, R. Nahon, M., 1996. Mathematical Modeling and Simulation of a Moored Buoy System, *Proceedings Oceans '96*, Broward County Convention Center Fort Lauderdale, Florida, USA.

Faltinsen, O.M., 1990. Sea Loads on Ships and Offshore Structures, Cambridge University Press, Cambridge.

Garrison, C.J., 1974. Hydrodynamics of large objects in the sea, Part I–hydrodynamic analysis, *Journal of Hydronautics*, **8(1)**, 5–63.

Garrison, C.J., 1975. Hydrodynamics of large objects in the sea, Part II–motion of free-floating bodies, *Journal of Hydronautics*, **9(2)**, 58–63.

Gobat, J.I. and Grosenbaugh, M.A., 1999. The dynamics of shallow water oceanographic moorings: Experimental and numerical results. In *Proceedings of Oceans '99*, **1**,107–112, Seattle, WA.

Gobat, J.I., Grosenbaugh, M.A. and Triantafyllou M. S., 1997. WHOI Cable: Time domain numerical simulation of moored and towed

oceanographic systems. Technical Report WHOI-97-15, Woods Hole Oceanographic Institution.

Goldin, A.Y., 1995. Numerical model of mooring with surface buoyancy, *Proceedings Oceans '95***,** Newport, RI, USA, October 26-29.

Holler, R., Brett, J. and Bollard, R., 1975. The use of KEVLAR for small diameter electromechanical marine cables, *Proceedings Oceans* '75, **7**, 169-173

Hover, F.S., Grossenbaugh, M.A. and Triantafyllou, M.S., 1994. Calculation of dynamic motions and tensions in towed underwater cables, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **19**, 449–457.

Howe, B. M., R. W. Gill, C. W. May, J. A. Mercer, and J. H. Morison, 1992. Drifters for Tomography, *Proceedings Oceans '92*, Newport, RI, USA, October 26-29.

Hsiung, C., Lu, Q. and Petolas, B., 1987. Dynamic Analysis of Buoy-Cable System, *Proceedings Oceans '87*, **19**, 254-259.

Keller, P.B., Smith, P.H., Winchester, C.S., James, S.D. and Zoski, G.D., 1996. Sonobuoy Battery Development, *Proceedings of the 37th Power Sources Conference*, Cherry Hill, NJ, USA, June 17-20

Leonard, J.W., 1979. Newton–Raphson iterative methods applied to circularly towed cable-body system, *Engineering Structures*, **1**, 73–80.

Leonard, J.W. , Idris, K. and Yim, S.C.S., 2000. Large angular motions of tethered surface buoys, *Journal of Ocean Engineering*, **27**, 1345-1371.

Modi, V.,J., 1982. Dynamics of an inflatable structure suitable for use in submarine detection: a brief review, Proceedings of the Indian Academy of Sciences- Engineering Sciences, **5**, 41-63

Naval Sea Systems Command, 2006. Background of Air ASW Sensors, *Crane*, IN, http://sonobuoy.crane.navy.mil/sensors.htm

Navy Aviation Manuals, 2004. Aviation Electronics Technician 1 (Organizational), http://www.tpub.com/content/aviation/index.htm

Nelson, C., Gasparovic, R., Speers, D. and Nowak, D., 1979. An Aircraft Deployed Buoy for Ocean Surface Meteorological Measurements, *Proceedings Oceans '79*, **11**, 96-99.

Newman, J.N., 1963. The motions of a spar buoy in regular waves, Technical Report 1499, David Taylor Model Basin

Newman, J.N., 1977. Marine Hydrodynamics. MIT Press, Cambridge, MA.

Pattison, J. and Rispin, P., 1978. The State of Technical Data on the Hydrodynamic Characteristics of Moored Array Components, *Oceans*, **10**, 291-296

Squires, T.L., Keller, P.B., Winchester, C.S. and Smith, P.H., 2000**.** High pulse power batteries for air deployable Navy applications, *Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances*, Long Beach, California, USA, January 11-14.

Tjavaras, A. A., 1996. The dynamics of highly extensible cables, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Tjavaras, A. A., Zhu, Q., Liu, Y., Triantafyllou M. S. and Yue, D. K. P., 1998. The mechanics of highly-extensible cables, *J. Sound Vib*. **213**, 709-737.

Tucker, **M. J.,** 1982. The heave response of a spar buoy, *Ocean Engineering,* **9**, pp. 259-270.

Vachon, W., 1977. Current measurement by lagrangian drifting buoys - Problems and potential, *Proceedings Oceans*, **9**, 639-645

Wang, H.T., 1977. A Fortran IV computer program for the time domain analysis of the two-dimensional dynamic motions of general buoy-cable-body system, Report 77-0046, David Taylor Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, MD.

Webster, R.L., 1975. Nonlinear static and dynamic response of underwater cable structures using the finite element method, *Procs. of the Offshore Technology Conf.*, Paper OTC 2322, 753–764.

Wilson, W. And Kerut, E., 1982. The design of drifting buoy systems, *Proceedings Oceans '82*, **14**, 641-648.

Winchester, C.S., Keller, P.B., Banner, J.A. and Smith, P.H., 1996. Safety Evaluation of 4.2 kW Sonobuoy Thermal Batteries, *Proceedings of the 37th Power Sources Conference*, Cherry Hill, NJ, USA, June 17-20.

EKLER

Tablo Ek.1 Pierson – Moskowitz Deniz Durumu Tablosu

Rüzgâr Hızı [m/s]	Deniz Durumu	Dalga [m]	Periyot Aralığı [s]	Ortalama Periyot [s]	Ortalama Dalga Boyu [m]
1,5	0	<,15	<,5 - 1	0,5	0,46
2,1	0	<,15	,5 - 1	1	0,61
2,6	1	0,15	1-2,5	1,5	2,90
3,6	1	0,30	1-3,5	2	3,96
4,1	1	0,30	1-4	2	4,88
4,6	2	0,46	1,5-4	2,5	6,10
5,1	2	0,61	1,5-5	3	7,92
5,7	2,5	0,76	1.5 - 5.5	3	10,06
6,7	2,5	0,91	2-6	3,5	12,04
7,2	3	1,07	2-6,5	3,5	14,02
7,7	3	1,22	2-7	4	16,00
8,2	3,5	1,37	2,5-7	4	17,98
8,7	3,5	1,52	2.5 - 7.5	4,5	19,96
9,3	4	1,83	2.5 - 8.5	5	24,08
9,8	4	2,13	3-9	5	28,04
10,3	4	2,29	3-9,5	5,5	30,18
10,8	5	2,44	3-10	5,5	32,00
11,3	5	2,74	3.5 - 10.5	6	35,97
11,8	5	3,05	3,5-11	6	40,08
12,9	5	3,66	4-12	7	48,01
13,9	6	4,27	4-13	7,5	56,08
14,9	6	4,88	4.5 - 13.5	8	64,01
15,9	6	5,49	4.5 - 14.5	8,5	72,09
17,0	6	6,10	5 - 15.5	9	80,01
19,0	7	7,62	5,5-17	10	100,13
20,6	7	9,14	6-19	11	120,09
22,1	7	10,67	6,5-21	12	140,21
23,7	7	12,19	7-22	12,5	160,17
25,2	8	13,72	7,5-23	13	180,14
26,8	8	15,24	7,5-24	14	172,52
27,8	8	16,76	8-25,5	14,5	220,22

ÖZGEÇMİŞ

1981'de İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1999 yılında Zeytinburnu İsmail Rüştü Olcay Lisesi'nden okul ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde üniversite öğrenimine başladı. 2003 yılında lisan eğitimini başarıyla tamamlayıp İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinlerarası Yüksek Lisans Programı Mekatronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2005 yılında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Bilişim Teknolojileri Enstitüsünde araştırmacı olarak göreve başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.