

T.C.
DENİZ HARP OKULU
DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SUALTI HEDEFLERİNİ TESPİT VE
SINIFLANDIRMA MAKSATLI, DÜŞÜK MALİYETLİ,
SÜRATLE ATILABİLEN MİKRO-DUYARGA NODU
PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE SICAKLIK
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

ALİ ÇAĞLAYAN

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erdal ÇAYIRCI

İstanbul, 2005

© Çalışmanın Tüm Hakları Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü'ne aittir, 2005

**SU ALTI HEDEFLERİNİ TESPİT VE SINIFLANDIRMA MAKSATLI,
DÜŞÜK MALİYETLİ, SÜRATLE ATILABİLEN
MİKRO DUYARGA NODU PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ
VE SICAKLIK AÇISINDAN İNCELENMESİ**

ALİ ÇAĞLAYAN
Dz. Kd. Ütğm.

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

Yazar :

Ali Çağlayan

Sınav Tarihi : **28 / 06 / 2005**

Onaylayanlar :

Doç. Dr. Erdal Çayırıcı
Tez Danışmanı

Prof. Dr. Şebnem Baydere
Sınav Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Sema Oktuğ
Sınav Komitesi Üyesi

ÖZET

SU ALTI HEDEFLERİNİ TESPİT VE SINIFLANDIRMA MAKSATLI, DÜŞÜK MALİYETLİ, SÜRATLE ATILABİLEN MİKRO DUYARGA NODU PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE SICAKLIK AÇISINDAN İNCELENMESİ

Anahtar Kelimeler : Su altı kablosuz duyarga ağları, Hedef tespit, Hedef sınıflandırma, Karar ağacı, Sıcaklık duyargaları, Manyetik duyargalar, Akustik duyargalar.

Mikroelektro-mekanik sistemler (MEMS), kablosuz iletişim ve dijital elektronikteki gelişmeler çok sayıda küçük boyutta, ucuz maliyetli algılama, işlem ve iletişim kapasitelerine sahip mikro duyargaların üretilmesine olanak sağlamıştır. Herbir duyarganın bağımsız olarak çevreyi algılayabildiği, bununla beraber birlikte işlem yaptıklarında belirli bir bölgede tehdit tespiti, hedef takibi, çevresel gözlem, ortam şartlarını inceleme, uzaktan algılama gibi karmaşık bilgileri birleştirebilen ve yayabilen yüzlerce hatta binlerce sayıda mikro duyargaların bölgeye süratle yerleştirilebilmesi ile kurulabilecek mikro duyarga ağlarının sisteme katkısı sonsuz olacaktır.

Duyarga ağ uygulamalarının en önemlilerinden bir tanesi savaş alanında hedef sınıflandırmasıdır. Ucuz ve çoklu duyargalı akıllı aygıtlar hedef sistemlerinin izlenmesi ve kontrolü için olanak sağlarlar. Duyargalar değişik veri formlarını işleme ve elde etme kapasitesine sahiptir. Çoklu sinyal işleme ve birleştirme algoritmaları güvenilir ve etkili biçimde karar vermek için ağdaki nodlar arasındaki dağıtık veriyi birleştirir.

Bu tezde, yapılan uygulama ile bir sualtı hedefini tespit etmek ve tespit edilen bu hedefi sınıflandırabilmek maksadıyla, düşük maliyetli ve süratle atılabilen bir mikro duyarga nodunun prototipi geliştirilmiştir.

Taktik amaçlı kullanılacak kablosuz duyarga ağlarının bir elemanı olarak çalışması planlanan bu duyarga nodu denizatlıları, küçük sualtı taşıma araçlarını, mayınları ve dalgıçları tespit etmekte ve sayılan bu dört hedef tipine göre sınıflandırabilmektedir. Nodlar bir şamandıra ve istenilen derinliğe sevk edilebilen bir duyarga öbeğinden oluşmaktadır. Duyarga öbeğinde bulunan ve yalnızca birkaç dolar maliyeti bulunan manyetik, akustik ve sıcaklık duyargalarından alınan veriler, tespit edilen bir hedefin yine duyarga öbeği üzerinde konuşlandırılan bir mikro denetleyici marifetiyle sınıflandırılabilmesi maksadıyla işlenmiş ve elde edilen sonuçlar yüzeydeki şamandıraya iletmek suretiyle sistem tamamlanmıştır.

Hedef sınıflandırılması için geliştirilen algoritma, yüzeydeki şamandıralara bağlı ve ayarlanabilir derinliklere indirilebilen duyargalardan oluşan taktik su altı duyarga ağları için tasarlanmıştır. Dinamik olarak denizaltı, küçük sualtı taşıma aracı, mayın ve dalgıç tespitinde, sınıflandırma tekniği olarak karar ağacı algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma için yakın bir cismin varlık bilgisi, manyetik ve akustik veriler birlikte kullanılmıştır. Bahse konu sualtı hedeflerini tespit ve sınıflandırma sistemi ile gözden uzak olan sualtı dünyasının taktik resminin su üzerine çıkarılması hedeflenmiştir.

ABSTRACT

DEVELOPING A PROTOTYPE OF A LOW COST AND RAPIDLY DEPLOYABLE MICRO-SENSOR NODE TO DETECT AND CLASSIFY UNDERWATER TARGETS AND THERMAL ANALYSIS OF THE SYSTEM

Keywords : Underwater wireless sensor networks, Target detection, Target classification, Decision tree, Thermal microsensor, Magnetic microsensor, Acoustic microsensor.

Advances in MEMS, wireless communications, and digital electronics have made it possible to produce large amount of small-size, low-cost sensors which integrate sensing, processing, and communication capabilities together. Also, the low cost makes it possible to have a network of hundreds or thousands of these sensors, thereby enhancing the reliability and accuracy of data and the area coverage. Large amount of these sensors can be quickly deployed in the field, where each sensor independently senses the environment but collaboratively achieves complex information gathering and dissemination tasks like intrusion detection, target tracking, environmental monitoring, remote sensing, global surveillance, etc.

One of the important sensor network applications is target classification in battlefields. Cheap and smart devices with multiple sensors provide opportunities for instrumenting, monitoring and controlling targeting systems. Sensor nodes have capability for acquiring and embedded processing of variety of data forms. Collaborative signal processing and fusion algorithms are needed to aggregate the distributed data from among the nodes in the network, including

possibly multiple modalities of data within a sensor node, to make decisions in a reliable and efficient manner.

In this thesis we present development of the prototype of a low cost, rapidly deployable micro-sensor node to detect and classify underwater targets.

Being a member of wireless sensor networks for tactical surveillance, our node is capable of detecting and classifying submarines, SDV (small delivery vehicles), underwater mines and divers in open, shallow and very shallow water. Our nodes are made up of a surface buoy and a micro sensor cluster, i.e., magnetic, thermal, acoustic, which can be lowered at a given depth. The magnetic, acoustic and thermal data from low cost microsensors (only a couple of dollars) are processed to classify a detected target by a micro controller collocated at the sensor cluster, and the result is transferred to the surface buoy via the cable that connects the buoy and the cluster.

Decision tree algorithm is used as a classification technique for dynamic diver, mine, submarine, small delivery vehicle detection. The algorithm is designed for wireless tactical underwater sensor network architectures where sensors attached to a surface buoy can be lowered to an adjustable depth. The sensed proximity, magnetic and acoustic data are used for collaborative classification.

*“Bu alışmada yazarın ortaya koymuş olduğu ifadelerin hibiri
T.C Deniz Kuvvetleri’nin ve Deniz Harp Okulu ile Deniz Bilimleri
ve Mühendisliği Enstitüsü’nün resmi görüşlerini ve politikalarını
yansıtmamaktadır.”*

*Kadeşim Günhan, Annem Nesrin, Babam İsmail  ağlayan ile
Ablam Elif ve Yiğenlerime...*

TEŞEKKÜR

Akademik hayata doğru atılan ilk ve temel adımların başlangıcı sayılabilecek “Yüksek Lisans Tezi” nden hedeflenen sonuçların alınabilmesi, birleşik bir çalışma anlayışının eseridir. Geride bırakılan bir yıl süresince, tez çalışmam sırasında bu katkıları gönülden veren birçok değerli kişiye teşekkür etmeyi bir borç biliyorum.

Öncelikle gerçekleştirdiğimiz bu uygulamanın her aşamasında birlikte zaman ve mekan mefhumu tanımaksızın çalıştığımız, her konuda bilgi, beceri, anlayış ve desteklerini esirgemeyen tez grubundaki arkadaşlarım Vedat İZPAYI ve Murat KANDIR’a sonsuz teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimime sağladığı katkılardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Y. Müh. Yb. Vedat COŞKUN’a teşekkür ve saygılarımı sunuyorum. Geride bıraktığım iki sene boyunca benden manevi yönden desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olduklarını hissettiren aileme ve sevdiklerime çok teşekkür ediyorum. Tez aşamasında bilgi ve desteklerini esirgemeyerek bu tezin başarıyla tamamlanmasında büyük katkıları olan Deniz Harp Okulu Komutanlığı Bilgi Sistem Şube Müdürlüğü’nden Turgay KARLIDERE’ye, Elektronik Öğretim Üyesi Feyzi AKAR’a, Eğitim Filotillası Komodorluğu’ndan Yalçın HEPGÜLERLER’e, Araştırma Merkezi Komutanlığı Teknik Geliştirme Grubu’nda görevli Alparslan ÇELİKTEPE ve Akustik Araştırmalar Grubu’nda görevli Ömer LİVARCİN’e çok değerli katkılarından dolayı teşekkür ediyorum.

Hazırlamış olduğum bu tez süresince tüm bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, benden hoşgörü ve desteğini esirgemeyen, ortaya eksiksiz bir çalışma çıkarabilmek için beni devamlı yönlendiren ve kendisinden her zaman pozitif bir güç aldığım tez danışmanım Doç. Dr. Erdal ÇAYIRCI ’ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ ÜYELERİNİN KABUL VE ONAY SAYFASI	ii
TÜRKÇE ÖZET	iii
İNGİLİZCE ÖZET	v
SORUMLULUK NOTU	vii
İTHAF SAYFASI	viii
TEŞEKKÜR NOTU	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xviii

I. GİRİŞ	1
A. MOTİVASYON	1
B. TEZİN TANIMI	2
C. TEZİN KATKISI	3
D. TEZİN YAPISI	3
E. TEZİN SAFHALARI	7
1. Hazırlık Safhası Faaliyetleri	8
2. Tasarım ve Prototip Geliştirme Safhası Faaliyetleri	9
3. Prototipin Geliştirilmesi ve Hata Ayıklama Safhası	9
4. Uygulamalar ve Testler Safhası	10
5. Dokümantasyon Safhası	10
F. TEZİN BÖLÜMLERİ	10
II. UYGULAMAYLA İLGİLİ KONULAR VE BENZER	
ÇALIŞMALAR	12
A. MİKRO DUYARGALAR	12
1. Mikro Duyarga Kavramı	12
2. Mikro Duyargaların Sınıflandırılması	13

3. Yaygın Olarak Kullanılan Mikro Duyargalar	15
B. MİKRO DUYARGA AĞLARI	26
1. Giriş	26
2. Mikro Duyarga Ağlarının İletişim Yapıları	29
3. Duyarga Ağı Tasarımını Etkileyen Faktörler	30
4. Protokol Yığını	33
5. Mikro Duyarga Ağlarının Uygulama Alanları	41
C. SICAKLIK, MANYETİK ALAN VE AKUSTİK KAVRAMLARI	43
1. Sıcaklık Kavramı ve Duyargaları	43
2. Manyetik Alan Kavramı	58
3. Akustik Kavramı	60
D. MİKRO DENETLEYİCİLER	68
1. Giriş	68
2. Mikro Denetleyiciler Hakkında Genel Bilgiler	69
3. Neden PIC ?	71
4. PIC16F877 Bağlantı Noktalarının Fonksiyonları	74
E. SERİ HABERLEŞME	80
1. Giriş	80
2. Seri Haberleşme Çeşitleri	82
3. RS 232 Protokolü	85
F. BASKILI DEVRE (PCB) TASARIM	89
1. Giriş	89
2. Baskılı Devre Tasarım Süreci	90
3. Baskılı Devre Üretim Süreci	91
G. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR	94
III. UYGULAMADA GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLER	102
A. UYGULAMAYA YÖNELİK YAPILAN ÖN ÇALIŞMALAR	102
1. İhtiyaç Tespiti	102
2. Laboratuvar ve Test Ortamları	103

3. Prototip Maliyeti	108
B. SİSTEM TASARIMI	109
1. Şamandıra Kısım	109
2. İndirme Kaldırma Mekanizması	111
3. Duyarga Öbeği	120
4. Kullanılan Mikro Duyargalar	133
5. Kullanılan Haberleşme Protokolü	140
6. Sistemin Güç Beslemesi	146
C. YAZILIM TASARIMI	148
1. Genel Yazılım Mimarisi	148
2. Hedef Tespiti ve Sınıflandırılması	150
3. Uygulamaya Yönelik Kodlamalar	156
IV. TESTLER VE PERFORMANS ANALİZİ	158
V. SONUÇ	170
KAYNAKÇA LİSTESİ	173

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Sistem yapısının genel tasarımı	4
Şekil 2.	Duyarga öbeği	5
Şekil 3.	Şamandıra birimi	6
Şekil 4.	Mikro duyarga birimleri	26
Şekil 5.	Çeşitli boyuttaki mikro duyargalar	27
Şekil 6.	Duyarga bölgesine atılan nodlar	30
Şekil 7.	Duyarga ağı protokol yığını	34
Şekil 8.	Yolun güç verimliliği	37
Şekil 9.	Yönlü yayılmaya (directed diffusion) örnek	39
Şekil 10.	Celsius ve fahrenheit ölçeklerinin karşılaştırılması	44
Şekil 11.	Termoklayn	50
Şekil 12.	Sualtı mevsimsel sıcaklık değişimi	51
Şekil 13.	Sualtı günlük sıcaklık değişimi	51
Şekil 14.	Thermocouple	52
Şekil 15.	RTD (Rezistif Sıcaklık Duyargaları)	53
Şekil 16.	Termistörler	54
Şekil 17.	IR duyarga	56
Şekil 18.	Denizaltı manyetik alanı	59
Şekil 19.	Eşik seviyesinin tespit edilmesi	63
Şekil 20.	Sesin küresel yayılımı	64
Şekil 21.	Sesin silindirik yayılımı	65
Şekil 22.	Sualtı ısı hatlarında kırılma	66
Şekil 23.	Mikro denetleyici temel bileşenlerinin blok diyagramı	69
Şekil 24.	PIC16F877 Mikro denetleyicisi pin isimleri	75
Şekil 25.	Arka arkaya gelen 8 bitlik iki adet veri katarı	82
Şekil 26.	Senkron iletişim	84
Şekil 27.	Asenkron veri dizilimi	85

Şekil 28.	RS 232 mantıksal dalga formu	88
Şekil 29.	Vitally ve grubu tarafından tasarlanan sualtı robotu	95
Şekil 30.	David McFerland ve grubu tarafından tasarlanan sualtı robotu	96
Şekil 31.	Dünyanın manyetik alanında aracın oluşturduğu bozulma	98
Şekil 32.	Çalışma ortamı	103
Şekil 33.	Elektronik laboratuvarı	104
Şekil 34.	Maket kolu laboratuvarı	104
Şekil 35.	Sualtı silahları laboratuvarı	105
Şekil 36.	Gemi denge laboratuvarı	105
Şekil 37.	Atlama havuzu	106
Şekil 38.	Deniz Harp Okulu İç Limanı	107
Şekil 39.	Deniz Harp Okulu Dış Limanı	107
Şekil 40.	Şamandıra kısmı	109
Şekil 41.	İndirme kaldırma mekanizması	110
Şekil 42.	Duyarga öbeği	110
Şekil 43.	Şamandıra kısmı tasarımı	111
Şekil 44.	Hareketli ortamda veri transfer sistemi imali	113
Şekil 45.	HS 311 Hoby servo motorun parçaları	114
Şekil 46.	HS 311 Servo motor ve yedek malzemeleri	115
Şekil 47.	Servo kolunun çıkarılması ve motor kutusunu açılması	117
Şekil 48.	Potansiyometre ve kontrol kartının çıkarılması	118
Şekil 49.	Tahdidin kaldırılması	118
Şekil 50.	Servo motor kutusunun kapatılması	118
Şekil 51.	Anten ve kontrol kartı	119
Şekil 52.	Uzaktan kontrol kumandası	119
Şekil 53.	Duyarga öbeği tasarım ve imali	121
Şekil 54.	Duyarga öbeği kutu tasarımı	123
Şekil 55.	Halat gerilimine etkiyen kuvvetler	125
Şekil 56.	Duyarga öbeği elektronik sistem blok şeması	126
Şekil 57.	Duyarga öbeği elektronik kartları	126
Şekil 58.	Manyetik kontrol kartı devre şeması	127

Şekil 59.	Manyetik kontrol kartı	128
Şekil 60.	Mikrofon kuvvetlendirici kartı devre şeması	129
Şekil 61.	Mikrofon kuvvetlendirici kartı	129
Şekil 62.	Ana kontrol kartı	130
Şekil 63.	Tek yönlü elektronik kart	131
Şekil 64.	Duyarga öbeği elektronik elektronik kart devre şeması	132
Şekil 65.	DS18B20 dijital termometre	133
Şekil 66.	DS18B20 pin konfigürasyonu	134
Şekil 67.	DS18B20 devre şeması	135
Şekil 68.	DS18B20 blok şeması	135
Şekil 69.	Sıcaklık probu	136
Şekil 70.	S-65 Manyeto-İndüksiyon duyargaları	136
Şekil 71.	PNI 11096 manyetik duyarga sürücüsü	137
Şekil 72.	CZN 15E elektret kondansatör mikrofon	138
Şekil 73.	Mikrofon Probu	139
Şekil 74.	MAX 232 pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması	141
Şekil 75.	MAX 232 – PIC16F877 devre şeması	142
Şekil 76.	MAX 232 – PIC16F877 baskılı devre görüntüsü	142
Şekil 77.	SN 75176 pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması	143
Şekil 78.	SN 75176 – MAX 232 devre şeması	144
Şekil 79.	SN 75176 – MAX 232 baskılı devre görüntüsü	144
Şekil 80.	RS 485-232 çeviricinin şamandıra kısmındaki görünümü	145
Şekil 81.	Regülatörler	147
Şekil 82.	12 V,1.3 A Şarj Edilebilir Sealed-Lead Acid Akü	148
Şekil 83.	Duyarga öbeği blok diyagramı	149
Şekil 84.	Sualtı hedef tipleri	152
Şekil 85.	Sualtı hedef tespit ve sınıflandırması karar ağacı	153
Şekil 86.	Denizaltı manyetik alan ölçüm grafiği	159
Şekil 87.	Denizaltı akustik ölçüm grafiği	160
Şekil 88.	SDV manyetik alan ölçüm grafiği	161
Şekil 89.	SDV akustik ölçüm grafiği	162

Şekil 90.	Dalgıç manyetik alan ölçüm grafiği	163
Şekil 91.	Dalgıç akustik ölçüm grafiği	164
Şekil 92.	Mayın manyetik ölçüm grafiği	165
Şekil 93.	Kapalı havuz sıcaklık grafiği	166
Şekil 94.	Tuzla körfezi sıcaklık ölçümleri	167

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Mikro duyargalar için ölçülen büyüklükler ve çıkış büyüklükleri	13
Tablo 2. Giriş büyüklüklerine göre mikro duyargalar	14
Tablo 3. Ağ tabakası planları	38
Tablo 4. Muhtelif maddelerin ısı iletim değerleri	48
Tablo 5. Sistem sıcaklık monitörü kapsamında sıcaklık duyargaları.....	58
Tablo 6. Sesin maddelerdeki yayılım tablosu	61
Tablo 7. Mikro denetleyici firmaları ve ürettikleri mikro denetleyiciler	70
Tablo 8. DB-9 konnektör pin konfigürasyonu	86
Tablo 9. RS 232 karakteristik özellikleri	88
Tablo 10. Sualtı duyarga ağları konusunda yapılan araştırmalar, laboratuvarlar	101
Tablo 11. Sualtı duyarga nodu prototip maliyeti	108
Tablo 12. Duyarga kutusunda bulunan malzemelerin boyut ve ağırlıkları	122
Tablo 13. Sualtı hedef etki seviyeleri	152
Tablo 14. Ölçüm seviyeleri	154

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SDV	: Küçük taşıma aracı
RF	: Telsiz frekansı
GPS	: Yer konumlandırma sistemi
RDUS	: Süratle atılabilen sualtı gözetleme sistemleri
ISA	: Instrument Society of America
T/C	: Termocouple
RTD	: Rezistif sıcaklık duyargaları
DC	: Doğru akım
LST	: Loud Speaker Teknolojisi
ADC	: Analog sayısal çevirici
FSK	: Frekans kaymalı şifreleme
PSK	: Faz kaymalı şifreleme
MAC	: Ortam erişim kontrolü
EC	: Hata kontrolü
ARQ	: Otomatik tekraralama istemi
SMP	: Duyarga yönetim protokolü
TADAP	: Görevlendirme ve veri ilan protokolü
SQDDP	: Duyarga sorgulama ve veri yayımı protokolü
NBC	: Nükleer, biyolojik, kimyasal
dB	: Desibel
DT	: Tespit eşik seviyesi
EMF	: Elektro manyetik alan
CPU	: Merkezi işlem birimi
\$	: ABD Doları
SPI	: Serial Peripheral Interface
I2C	: Inter Integrated Circuit

PWM	: Darbe genlikli modülasyon
PCB	: Baskılı devre
CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
AMR	: Anisotropic magneto rezistif
MAD	: Manyetik anomali tespit cihazı
MEMS	: Mikroelektro-mekanik sistemler
Ç-Günü	: Çıkarma günü
Bşk.	: Başkan
Alb.	: Albay
Yb.	: Yarbay
Yzb.	: Yüzbaşı

I. GİRİŞ

A. MOTİVASYON

Tezin *amacı*; Açık denizlerde, sığ sularda veya çok sığ sularda hızlı bir şekilde hedef tespit ve sınıflandırmasına ihtiyaç duyulacağı durumlarda kullanılacak bir sualtı hedef tespit ve sınıflandırma sistemine ait nod'un prototipini geliştirmektir.

Anılan noddan oluşan kablosuz duyurga ağlarının kuşkusuz çok geniş uygulama alanları olacaktır. Mevcut nodun kullanılabileceği uygulama alanlarına örnek olarak; 1000m.-1000m.lik bir alanda bir denizaltı, SDV, mayın veya dalgıç bulunduğu tahmin ediliyor. Buna rağmen verilen boyutlardaki alanda sualtı hedefinin tipi ve yaklaşık mevkii hakkında daha detaylı bir çalışma yapma ihtiyacı vardır. Geliştirilen bu nodlar, gözlem altında bulundurulacak bölgeye rastsal olarak atılarak, bölgede sualtı değişikliklerini araştırma ve gözetleme faaliyetlerinde bulunulabilecektir.

İkinci bir uygulama alanı ise filoda bulunan bir gemi yabancı bir ülkeye ait limana her hangi bir amaçla gidiyor ve bu limanda denizden gelebilecek, gemi güvenliği ve emniyetini zafiyete düşürebilecek (sızma girişimi, karinaya patlayıcı yerleştirme vs.) durumlara karşı önlem almak maksadıyla kullanımıdır. Nodlar süratle geminin çevresine atılarak, sualtından gelecek muhtemel tehditlere karşı tespit ve savunma geliştirme maksatlı olarak kullanılabilecektir.

Bir başka senaryoda boyutları belirlenen her hangi bir alanda mayın bulunduğu durumudur. Geliştirilen bu nodlar mayın tehlikesi bulunan sahaya atılıp sualtı manyetik değişimi gözlenerek, yerleri tespit edilen mayınlara karşı ihtiyaca göre mayın avlama hareketi veya taranmış kanal oluşturma faaliyetlerinde bulunulabilecektir.

Bir diğ er senaryoda ise çıkarma hareketi yapmayı planladığımız kahverengi plaja harekattan kısa bir süre önce duyarga nodları atılıyor. Plajdaki sualtı hareketleri (mayın, dalgıç, sualtı engelleri vs.)  -gününe / saatine kadar gözlemlenerek, müteakip hareket tarzının belirlenmesinde fayda sağlamaya  alışılabilecektir.

G r ld ğ gibi aslında bu nodlar ile oluşturulması planlanan kablosuz duyarga ağlarından faydalanılarak bir çok farklı senaryo içersinde farklı uygulama alanları tespit etmek mümkündür. Kısaca, bahse konu sualtı hedefleri tespit ve sınıflandırma sistemi ile gözden uzak olan sualtı dünyasının taktik resminin su üzerine çıkarılması hedeflenmektedir.

B. TEZİN TANIMI

Yapılan uygulama bir sualtı hedefini tespit etmek ve tespit edilen bu hedefi sınıflandırabilmek maksadıyla, düşük maliyetli ve süratle atılabilen bir mikro duyarga nodunun prototipini üretmeyi kapsamaktadır.

Taktik amaçlı kullanılacak kablosuz duyarga ağlarının bir elemanı olarak çalışması planlanan bu duyarga nodu denizatlıları, insansız sualtı araçlarını, mayınları ve dalgıçları tespit edebilecek ve sayılan bu dört hedef tipine göre sınıflandırabilecektir. Nodlar bir şamandıra ve istenilen derinliğe sevk edilebilen bir duyarga öbeğinden oluşacaktır. Duyarga öbeğinde bulunacak olan düşük maliyetli manyetik, akustik ve sıcaklık duyargalarından alınan veriler, tespit edilen bir hedefin yine duyarga öbeği üzerinde konuşlandırılacak bir mikro denetleyici marifetiyle sınıflandırılabilmesi maksadıyla işlenecek ve elde edilen sonuç bir kablo yardımıyla yüzeydeki şamandıraya iletilecektir. şamandıra RF kabiliyetine sahip olacak ve yakınındaki nodlar ile haberleşebilecektir. Tasarlanan duyarga nodu gerçek koşullar altında test edilmiştir.  alışmalar sırasında yapılan saha testleri sonucunda elde edilen sayısal değerler ve tasarıma yönelik detaylar müteakip bölümlerde açıklanmıştır.

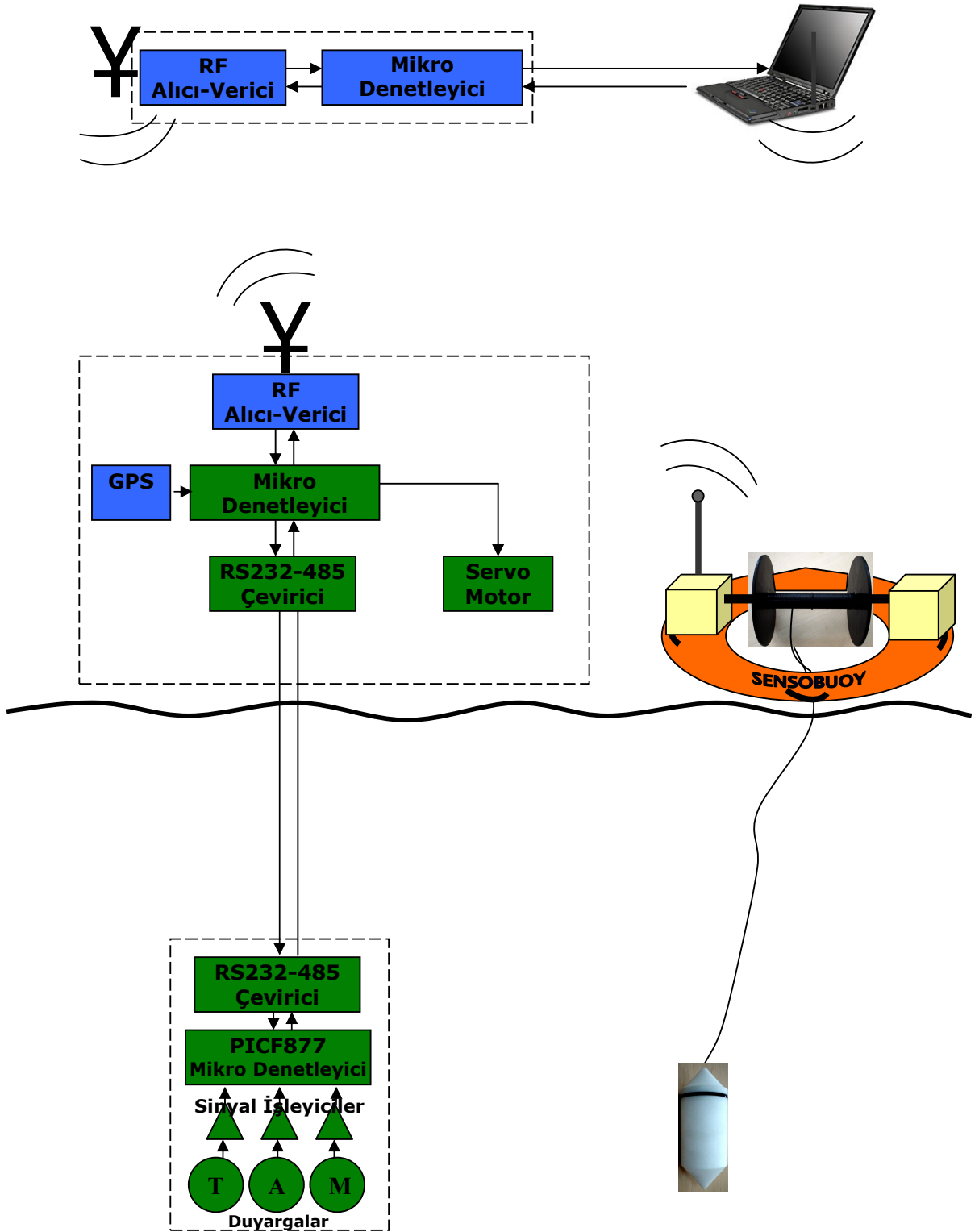
C. TEZİN KATKISI

Uygulama neticesinde, bir telsiz alıcı göndericiden, değişik tip mikro duyargalardan, bir mikro denetleyiciden ve mikro duyargaları istenilen derinliğe indirip çıkartmayı sağlayacak mekanizmadan oluşan düşük maliyetli, kolay konuşlandırılabilen bir algılayıcı birimi / duyarga nodu geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama kapsamında akustik, manyetik ve sıcaklık duyargaları kullanılmıştır. Bu duyargalardan her birisi tez grubunda yer alan elemanlardan birisi tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Tez kapsamında özellikle sıcaklık ile ilgili araştırmalar, sıcaklık duyargasının seçimi ve sıcaklık ile ilgili testlere ait ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi gibi çalışmalar tarafımdan yapılmıştır.

Geliştirilen duyarga şamandırası sualtı hedeflerini tespit edecek ve tespit ettiği hedefleri bir karar ağacı (decision tree) algoritmasına istinaden dalgıç, mayın, SDV veya denizaltı olarak sınıflandırabilmektedir. Duyarga nodları çok sayıda ve birlikte aynı bölgede birbirleri ile kablosuz haberleşebilecek teknolojiye de sahiptir.

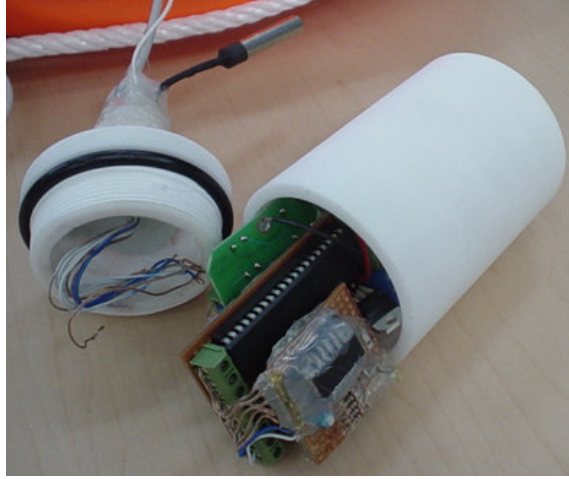
D. TEZİN YAPISI

Bu kısımda gerçekleştirilen uygulamanın kapsamının daha iyi anlaşılabilmesi maksadıyla genel olarak yapısından ve bu yapı içersinde yer alan önemli elemanlardan bahsedilecektir. Uygulama genel yapısı itibarıyla 3 ana bölümden oluşmaktadır (Şekil-1). Bu bölümler; özellikle sualtında pasif dinleme yapacak olan “Duyarga Öbeği (Sense Unit)”, bu birimin sualtına indirip-çıkarma mekanizmasını da üzerinde bulunduran ve sualtından gelen veriyi toplayarak kablosuz olarak iletilmesini sağlayacak olan “Şamandıra Birimi (Buoy Unit)” ve şamandıradan gelen verileri alarak bir diz üstü bilgisayarında görüntülenmesini sağlayacak olan “Sahil Birimi (Coast Unit)” dir. Şimdi bu 3 ana bölümde bulunan elemanlardan kısaca bahsedilecektir.



Şekil-1. Sistem yapısının genel tasarımı.

Duyarga Öbeği, sualtındaki akustik, manyetik ve sıcaklık anomalilerini algılamak üzere akustik, manyetik ve sıcaklık duyargalarından verileri almak ve değerlendirmek üzere tasarlanmıştır (Şekil-2). Seçilen duyarga tiplerinden alınan veriler bir mikro denetleyicide toplanarak değerlendirilmektedir. Duyargalar tarafından yapılan dinleme neticesinde herhangi bir anomali tespit edilmesi halinde, bir algoritma vasıtasıyla tespit edildiği değerlendirilen hedefin muhtemel sınıflandırma işlemi mikro denetleyici tarafından yapılmaktadır. Bu birim ayrıca sürekli olarak sualtı dinlemesi yaparak anılan duyargaların ölçüm sonuçlarını şamandıraya iletmektedir.

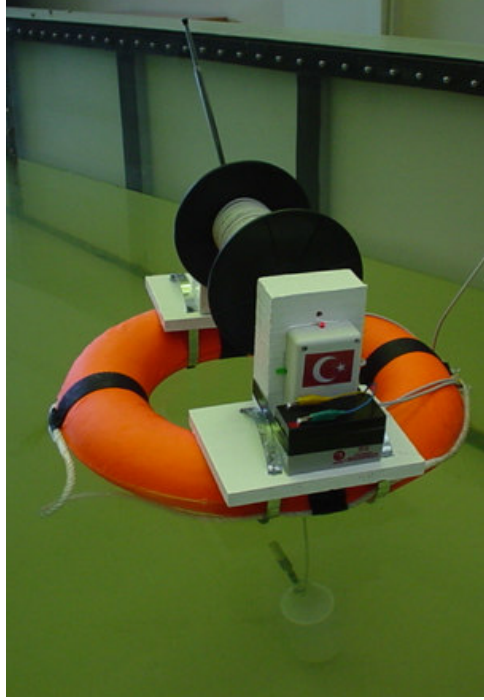


Şekil-2. Duyarga öbeği.

Duyarga Öbeği ile Şamandıra Birimi arasındaki iletişim sualtındaki reverberasyon gibi kötü etkileri ortadan kaldırmak maksadıyla izoleli kablo ile gerçekleştirilmiştir. Duyarga Öbeğinin indirilmesi planlanan derinlik göz önünde bulundurularak, bu iki birim arasındaki veri iletişiminde RS 232 – 485 çevirme işlemi yapılmıştır. Bahsedilen tüm bu işlemlerin gerçekleştirilmesi ve kontrol edilmesi maksadıyla gerekli elektronik devre tasarımı yapılarak, uygulamaya özel elektronik kartlar hazırlanmıştır.

Şamandıra Birimi, Duyarga Öbeğinin sualtına indirilip-çıkarılması için gerekli mekanizmayı üzerinde bulunduran ve sualtından gelen veriyi bir kablo

marifetiyle olarak, kablosuz olarak Sahil Birimine iletilmesini sağlayan birimdir (Şekil-3).



Şekil-3. Şamandıra Birimi.

Bu birimde bulunan ve arzu edildiği sürece sürekli dönme kabiliyeti kazandırılmış bir servo motor yardımıyla Duyarga Öbeği sualtında istenen derinliğe sevk edilmektedir. Duyarga Öbeği servo motora uzaktan kumanda edilerek hareket ettirilmektedir.

Ayrıca üzerine veri kablosunun sarılı olduğu hareketli bir aksam olan makaradan, sabit bir aksam olan mil üzerindeki iletişim kablosuna verilerin alınması maksadıyla özel bir donanım tasarlanmış ve şamandıra birimi üzerine konuşlandırılmıştır.

RS 232 iletişimin menzilinın düşük olması nedeniyle, duyargaların indirilebileceği derinliği artırabilmek maksadıyla duyarga biriminde RS 485'e

çevrilen iletişim, şamandıra üzerindeki bir RS 232-485 Çevirici Kart ile tekrar RS 232'ye çevrilmektedir. Veriler bir RF Alıcı-Verici Kart yardımıyla Sahil Birimine iletilmektedir.

Sahil Biriminde bulunan RF Alıcı-Verici Kart marifetiyle duyurga şamandırasından gelen veriler bir diz üstü bilgisayara alınmaktadır.

Tezin kapsamı dışında mütalaa edilen Sahil Birimi ile Şamandıra Birimi arasında gerçekleştirilecek kablosuz iletişimde kullanılacak RF Alıcı-Vericilerin tasarımı, imali ve sisteme entegrasyonunun tamamlandığı farz edilerek, geliştirilen uygulamanın bu kısmında kablosuz veri iletişimini simüle etmek üzere kablo iletişiminden faydalanılmıştır. Veri kablosu üzerinden RS 232 seri portundan diz üstü bilgisayara alınan veriler tarafımızdan geliştirilen bir arayüz yazılımı kullanılarak bilgisayar ekranından sergilenmektedir.

E. TEZİN SAFHALARI

Yapılacak tez kapsamında “Mekanik ve elektronik sistem tasarımı“, “Mekanik ve elektronik sistem entegrasyonu“, “Sistemde çalışacak yazılımların entegrasyonu“ hedeflenmiştir. Uygulamanın gerçek hayata aktarılabilmesi maksadıyla yapılan planlamada toplam beş safha bulunmaktadır. Bu safhalar birinci safha olan “Hazırlık Safhası”ndan başlamak üzere kronolojik olarak birbirlerini takip etmektedir. İlk safhayı sırasıyla “Tasarım ve Prototip Geliştirme Safhası”, “Prototip Geliştirme ve Hata Ayıklama Safhası”, “Uygulamalar ve Testler” ile “Dokümantasyon Safhası” izlemektedir.

1. Hazırlık Safhası Faaliyetleri

Uygulamanın bu ilk safhası Eylül ve Ekim 2004 aylarında yapılması hedeflenmiştir. Bu iki aylık süre içerisinde öncelikle konu hakkındaki yazın

araştırmalarına başlanmıştır. Özellikle sistemin çalışacağı sualtı dünyası ile ilgili ve kablosuz mikro duyarga ağları ile yapılan bir çok çalışma incelenmiştir.

Konu ile direk veya dolaylı bağlantısı bulunan kurumlar ve temsilcileri ile temasa geçilmiştir. İlk toplantı Araştırma Merkezi Komutanlığı’nda ve daha sonra sırasıyla Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı, TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü’nde konu ile ilgili çalışmalarda bulunan ve deneyime sahip kişi ve makamlar ile birkaç toplantı düzenlenmiştir.

Bu toplantılarda akustik, manyetik ve sıcaklık konularında sualtında yapılan benzer uygulamaları inceleme fırsatı bulunmuştur. Bu sistemlerin uygulamamız ile en önemli farkı uygulamamızda aynı amaca ulaşmak için birden fazla duyarga tipinin birlikte kullanılması ve kullanılan duyarga boyutlarının mikro boyutta ve düşük maliyette olmasıdır. Daha önce yapılan ve tarafımızca araştırılan benzer çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir :

- Seyir Hidrografi Oşinografi Daire Bşk.lığı tarafından su altına indirilen akustik duyargalarla yapılan bazı dinleme alışmaları,
- NATO tarafından “Rapidly Deployed Underwater Surveillance (RDUS) Systems” isimli bir alışma,
- Araştırma Merkezi K.lığı Akustik Araç.Grubu tarafından 3’ mevki tespiti ve 1 pervane gürültüsünün tespiti maksadıyla 4 duyarga ile yapılan akustik alışmalar.

2. Tasarım ve Prototip Geliştirme Safhası Faaliyetleri

Uygulamanın ikinci safhası Kasım 2004 - Ocak 2005 ayları arasında tamamlanmıştır. Uygulamanın en önemli safhalarından olan bu safhada öncelikle duyarga nodu şamandırması, sualtına indirme-kaldırma mekanizması ve sualtına

indirilecek duyurga öbeği ile ilgili her türlü mekanik ve elektronik donanım ile yazılımın tasarlanması ve gerçekleştirme işlemleri tez kapsamı olarak belirlenmiştir.

Bu safhada temel tasarım çalışmalarının tamamlanmasını müteakip uygulamada kullanılması planlanan duyurga tip ve markaları belirlenmiştir. Bu kapsamda sualtındaki en önemli ayırıcı özellik olan akustik duyorganın yanı sıra kullanılması planlanan algoritma gereğince manyetik ve sıcaklık duyurga tipleri kullanılmak üzere seçilmiştir.

İhtiyaç duyulan malzemelerin temini için sistem maliyet analizi (cost analysis) yapılmıştır. Uygulama için gerekli ödenek temin edilene kadar sistemin mikro denetleyici ile kontrol ve kumanda edilebilmesi maksadıyla gerekli kodlamalar geliştirilmiştir. Özellikle duyurga nodunun algılama birimine yönelik tüm çalışmalar tamamlanarak Ocak 2005 ayı sonunda ilk prototipin üretimi tamamlanmıştır.

3. Prototipin Geliştirilmesi ve Hata Ayıklama Safhası

Uygulamanın bu safhası Şubat - Mart 2005 aylarında tamamlanmıştır. Bu safhada duyurga nodu şamandırasına ait mekanik tasarımlar hayata geçirilmiş ve özellikle sualtındaki kısmın su geçirmezliğinin sağlanması maksadıyla gerekli çalışmalar ve hesaplamalar tamamlanmıştır.

Yapılan sahil / kara testleri neticesinde yapılan ölçüm sonuçları göz önünde bulundurularak sistemde karşılaşılan eksiklik ve aksaklıkların giderilmesine gayret edilmiştir.

4. Uygulamalar ve Testler Safhası

Uygulamanın bu safhası ise Nisan - Mayıs 2005 aylarında tamamlanması hedeflenmiştir. Bu safhada tüm parçalarının entegrasyonu yapılarak sistem hayata

geçirilmiş, deniz testlerinden veriler elde edilerek analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ışığında duyarga nodunun performans analizleri çıkarılmıştır.

5. Dokümantasyon Safhası

Bu safhada duyarga noduna ait performans analizleri derlenerek, raporlar hazırlanmıştır. Ayrıca uygulamadan elde edilen kazanımlar Haziran 2005 ayına planlanan seminerde takdim edilmiştir. Dokümantasyon safhası Haziran - Temmuz 2005 aylarında tamamlanmıştır.

F. TEZİN BÖLÜMLERİ VE KAPSAMLARI

Tezin ilk bölümü olan “Giriş” kısmında uygulama ağırlıklı olan tezimize yönelik motivasyondan, uygulamanın kısa bir tanımı yapılarak planlanan safhalardan bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca geliştirilen uygulamanın genel yapısı, bilime olan katkısı ve hazırlanan tezin kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölüm “Uygulamayla İlgili Konular ve Benzer Çalışmalar” olup genel olarak mikro duyargalar, mikro duyarga ağları, mikro denetleyiciler, seri haberleşme ve baskılı devre tasarımı hakkında özet bilgi arz edildikten sonra konu ile ilgili yapılmış olan benzer uygulamalar ile ilgili yayınlardan bahsedilmiştir.

Uygulamada yapılan sistem ve yazılım tasarım çalışmaları ile ihtiyaç duyulan malzemelerin tespit ve temin edilmesi ve temin edilen bu ödeneğin planlanarak kullanılması ile ilgili hususlardan itibaren yapılan her işlem ve başarılan tüm hususlar tezin üçüncü bölümü olan “Gerçekleştirilen Diğer İşler” kısmında detaylı olarak açıklanmıştır. Gerçekleştirilen bu hususlar RS 232 – 485 İletişim ve Çevirme, Kablosuz İletişim Koordinasyonu, Geliştirilen Elektronik Devrenin Güç Beslemesi, PCB Tasarım ve Anakart Yapımı, Servo Motor Kumandası, Mekanik Kısımların Tasarım ve İmali, Sızdırmazlığın Sağlanması ve Duyarga Tiplerine Yönelik Çalışmalar olarak sıralanabilir.

Tezin dördüncü bölümü olan “Duyarga Öbeği ile Yapılan Testler” kısmında ise yapılan kara ve deniz testlerin ortamı ve koşullarının tanıtımı, duyarga öbeği ölçüm sonuçları ile grafikleri, geliştirilen sistemin başarıları ve başarısızlıkları ile her bir duyarga tipi için elde edilen test sonuçlarının değerlendirilmesi hususları yer almaktadır.

Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak geliştirilen sistemin başarısını artırmak maksadıyla gelecekte hedeflenen çalışmalardan bahsedilmiştir.

Uygulama boyunca elde edilen kazanımlar altıncı bölüm olan “Sonuç” kısmında açıklanmıştır.

II. UYGULAMAYLA İLGİLİ KONULAR VE BENZER ÇALIŞMALAR

A. MİKRO DUYARGALAR

1. Mikro Duyarga Kavramı

Mikro Duyargalar fiziksel ortam ile endüstriyel amaçlı elektrik/elektronik cihazları birbirine bağlayan duyarga birimleridir. Diğer bir ifadeyle mikro duyargalar, elektriksel olmayan fiziksel veya kimyasal büyüklükleri elektrik sinyaline çeviren cihazlar olarak da tanımlanabilir. Teknik terminolojide “Sensor” olarak da ifade edilmektedir [1].

Bununla beraber “Mikro Duyarga (Sensor)” ve “Transducer” terimleri birbirlerinin yerine sık sık kullanılmaktadır. “Transducer” genel olarak enerji dönüştürücü olarak tanımlanır. “Mikro Duyarga (Sensor)” ise çeşitli enerji biçimlerini elektriksel enerjiye dönüştüren cihazlardır. Ancak 1969 yılında ISA (Instrument Society of America) bu iki terimi eş anlamlı olarak kabul etmiş ve "ölçülen fiziksel özellik, miktar ve koşulların kullanılabilir elektriksel miktara dönüştüren bir araç" olarak tanımlamıştır.

Anılan cihazlar genel olarak endüstriyel işlem sürecinde kontrol, koruma ve görüntüleme gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir. Halihazırda bu kapsamda kullanılmakta olan yüzlerce tip mikro duyarga mevcuttur. Mikro elektronik teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve yeniklerle beraber mikro duyargaların kullanımıyla hemen her gün yeni bir buluş ve uygulama çeşitleri geliştirilmektedir.

Endüstride genel olarak çok sık rastladığımız mikro duyargalar için ölçülen büyüklükler ile çıkış büyüklüklerine ait bilgiler Tablo-1'de verilmiştir [1].

Tablo-1. En sık kullanılan mikro duyargalar için ölçülen büyüklükler ve çıkış büyüklükleri.

Ölçülen Büyüklükler			Çıkış Büyüklükleri
1. İvme	14. Hız	27. Termoelektrik	1. AC Çıkış
2. Hava Hızı	15. Mutlak Değer	28. Miktar	2. DC Çıkış
3. Akım	16. Açık	29. Elektromanyetik	3. Kapsül
4. Öteleme	17. Fark	30. Endüktif	4. Diyafram
5. Akış Hızı	18. Kızıl Ötesi	31. Kapasitif	5. Frekans Çıkışı
6. Kuvvet	19. Yoğunluk	32. Fotokondaktif	6. Sayısal Çıkış
7. Isı Akısı	20. Doğruluk	33. Fotovoltik	7. Yarı İletken
8. Nem	21. Kütle	34. Piezoelektrik	8. Servo
9. Ani Sarsıntı	22. Parlaklık	35. Potansiyometrik	9. Anahtar
10. Işık	23. Ses Basıncı	36. Resitif	10. Ultrasonik
11. Sıvı Seviyesi	24. Gerilme	37. Yüzey	11. Titreşen Element
12. Radyasyon	25. Sıcaklık	38. Nispi	
13. Basınç	26. Tork		

2. Mikro Duyargaların Sınıflandırılması

Mikro duyargalar genel olarak giriş büyüklüğüne, çıkış büyüklüğüne ve besleme ihtiyacına göre farklı sınıflara ayrılırlar.

a. Giriş Büyüklüklerine Göre

Mikro duyargalar ölçülen giriş büyüklüklerine göre 7 sınıfa ayrılırlar. Anılan mikro duyargalara ilişkin giriş büyüklükleri ve ölçülen büyüklükler Tablo-2’de verilmiştir.

Tablo-2. Giriş büyüklüklerine göre mikro duyargalar.

Giriş Büyüklüğü	Ölçülen Büyüklük
Termal	Sıcaklık, Isı akısı, Entropi.
Işıma	Gamma ışınları, X ışınları, Mor ötesi, Kızıl ötesi, Mikro dalga, Radyo dalgası, Polarizasyon, Faz, Yansıtma, Gönderme.
Mekanik	Uzunluk, alan, miktar, kütleli akış, kuvvet, tork (moment), Basınç, Hız, İvme, Pozisyon, Ses dalga boyu ve yoğunluğu.
Manyetik	Manyetik alan yoğunluğu, Akı yoğunluğu, Manyetik ivme, Manyetik geçirgenlik.
Kimyasal	Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı.
Biyolojik	Şeker, Protein, Hormon, Antigen.
Elektriksel	Voltaj, Akım, Şarj, Direnç, Endüktans, Kapasitans, Dielektrik katsayısı, Polarizasyon, Elektrik alanı ve frekans.

b. Çıkış Büyüklüklerine Göre

Mikro duyargalar çıkış büyüklüklerine göre “Analog” ve “Dijital” olarak ikiye ayrılırlar. Bu kapsamda seçilen mikro duyarganın çıkış büyüklüğüne göre RS232, RS422 veya RS485 gibi seri iletişim protokolleri kullanılır.

c. Besleme İhtiyaçlarına Göre

Mikro Duyargalar, besleme ihtiyaçlarına “Pasif” ve “Aktif” olarak ikiye sınıflandırılır.

[1] Pasif Mikro Duyargalar

Pasif mikro duyargalar, hiçbir şekilde dışardan harici enerji almadan fiziksel veya kimyasal büyüklükleri bir başka büyüklüğe çevirirler. Bu mikro duyarga tipine “Anahtar” ya da “Termocouple (T/C)” örnek olarak gösterilebilir.

Anahtar, bilindiği gibi mekanik bir hareketi elektriksel bir kontağa dönüştürmek maksadıyla kullanılmaktadır.

[2] Aktif Mikro Duyargalar

Aktif mikro duyargalar yaygın olarak zayıf sinyalleri ölçmek için kullanılırlar.

Aktif mikro duyargalarda dikkat edilmesi gereken nokta giriş ve çıkışlardır. Bu tip mikro duyargalar dijital ya da analog formatta elektriksel çıkış sinyali üretirler. Analog çıkışlılarda, çıkış büyüklüğü gerilim ya da akımdır. Gerilim çıkışı yaygın olarak 0-5V aralığında kullanılmaktadır. Ancak 4-20mA akım çıkışı da artık endüstride standart haline gelmiştir. Bazı durumlarda 0-20mA akım çevrimi kullanılmaktadır. Ancak endüstride çoğu zaman hatlarda meydana gelen bozulma kopma gibi durumlarda sistemin bu durumu kolay algılaması ve veri iletişiminin sağlıklı yapılabilmesi için 4-20mA daha yaygın kullanılır.

3. Yaygın Olarak Kullanılan Mikro Duyargalar

a. *Sıcaklık Duyargaları*

Sıcaklık bir cismin veya sistemin termodinamik durumunun ölçümü için en önemli birimlerden biridir [2].

Sıcaklık duyargaların çeşitleri aşağıda kısaca verilmiştir. Bahse konu duyarga çeşitleri Bölüm C-1.6’da ayrıca ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

[1] Termoelektrik Sıcaklık Duyargaları

“Seebeck Etkisi” olarak da bilinen "Farklı iki iletken bir devre oluşturuyorsa ve devrenin iki noktası arasında bir sıcaklık farkı var ise bu devreden bir akım geçer." prensibini kullanılır. Bu duyargalar “termik çift (thermocouples)” olarak da adlandırılırlar.

[2] Rezistif Sıcaklık Duyargaları

- RTD

İletkenlerin iletkenliği sıcaklık ile değişir. “RTD” olarak da bilinen bahse konu transdüserler bu prensibi kullanmaktadırlar. Hassas sıcaklık duyargalarıdır.

- Termistörler

Rezistif sıcaklık duyargalarında yarı iletkenlerin kullanıldığı sıcaklık duyargalarına ise “Termistör” denir. Termistörler ısınınca direnci değişen elemanlardır.

- Temassız Duyargalar

Rezistif sıcaklık duyargalarının diğer bir çeşidi ise “Pirometreler (IR duyarga)”dır. Pirometreler temassız olarak sıcaklık ölçen cihazlardır.

b. Manyetik Duyargalar

Günümüzde muhtelif manyetik etki ve özel manyetik materyallerin geliştirilmesi sonucunda pek çok manyetik duyarga kullanılmaktadır. Bu tür uygulamaların en yaygınlarında kullanılmakta olan manyetik duyarga çeşidi “Magnetometre”dir. Magnetometre, dünyadan ve manyetik materyallerden kaynaklanan manyetik alan kuvvetini ölçmek için kullanılır.

Bununla beraber manyetik duyargalara ait kullanım örneklemeleri aşağıda verilmiştir.

- Lineer ve açısal durum algılayan “Hall Effect” duyargalar
- Basınç algılayan “Hall Effect” duyargalar
- Fırçasız DC Motor kontrolü
- Non-contact akı algılama.

Manyetik duyargalar genelde mikro ile mili-tesla aralığında manyetik akı yoğunluğunun ölçümü için kullanılırlar.

c. Akustik Duyargalar (Mikrofonlar)

[1] Karbon Mikrofonlar

Karbon Mikrofonlar isminden de anlaşılacağı gibi ses titreşimlerini elektrik akımına çevirirken aktif element olarak karbon kullanırlar. 4 – 10 Volt aralığında Polarising (Kutuplama) Voltajına ihtiyaç duyarlar. Çok yüksek duyarlılığa sahiptirler fakat frekans cevapları çok zayıftır.

[2] Dinamik Mikrofonlar

Dinamik mikrofonlar aslında hareketli bobin (coil) mikrofonlardır ve LST (Loud Speaker Technology)’nin temel çalışma prensiplerini kullanır. Çalışırken her hangi bir kutuplama voltajına ihtiyaç duymazlar. Duyarlılıkları düşük olmasına karşılık frekans cevapları iyidir

[3] Şerit Mikrofonlar

Şerit mikrofonların temeli, alüminyumdan imal edilmiş ve bir mıknatısın kutupları arasına konulan şeridin her iki ucu arasında elektriksel bağlantı bulunan çok hafif şeritlerdir.

[4] Kondansatör Mikrofonlar

Kondansatör mikrofonlar elektro-statik çalışma prensibini kullanırlar. Kondansatör mikrofonlar temel olarak ince, sıkıca sarılmış alüminyum alaşımlı bir diyaframdan oluşur.

[5] Elektret Mikrofonlar

Elektret mikrofonlar yüzeyinde kutuplama yükü taşıyan özel bir yalıtkan madde ve içlerine konulan bir kapasitörü kullanırlar. Ses dalgaları yalıtkan maddenin kapasite değerini ayarlar / değiştirir ve bir voltaj değişimine neden olur.

[6] Piezo-Elektrik Mikrofonlar

Kristal mikrofonlar piezo-elektrik etki prensibi ile çalışırlar. Bir parça kristale (Quartz veya Rochelle Salt) uygulanan mekanik bir basınç veya darbe sonucunda karşılıklı yüzeyler arasında bir elektro-manyetik alan yaratılır. Bu olaya piezo-elektrik etki prensibi ismi verilir. Kristal mikrofonlar genel olarak *Diyafram* ve *Hücre Tipi* olarak 2 çeşittir.

[7] Limit (Boundary) Mikrofonlar

Limit Mikrofonlar duvar veya zemin gibi çok büyük yüzeylere yakın bölgelerde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Bu tip mikrofonların kullanılmasının avantajı faz iptali problemine çözüm olmasıdır.

ç. Basınç Duyargaları

Basınç, birim yüzeye uygulanan kuvvettir. Üzerine uygulanan basınçla orantılı olarak elektriksel sinyaller üreten kristaller mevcuttur. Elektronikte çok kullanılan kuartz veya baryum titanit gibi piezo-elektrik kristaller kendilerine uygulanan kuvvet ile orantılı olarak bir gerilim yaratırlar. Akış hızı, hız, statik basınç ve sıvı seviyesi gibi ölçümlerde kullanılır.

[1] Kapasitif Basınç Duyargaları

Basınç statik bir diyafram üzerine etkiye suretiyle ölçülür.

[2] Endüktif Basınç Duyargaları

Üzerine basınç etki eden metalik diyaframın bir bobininin öz endüktansını değiştirme etkisi kullanılır.

[3] Relüktif Basınç Duyargaları

İki temel tip relüktif element içerir. Bunlar; “LDVT” ve “Çift Bobinli Endüktans Köprüsü”. LDTV, algılama elementleri olarak körükleri, kapsülleri ve Bourdon tüplerini kullanır. Çift bobinli endüktans köprüsü ise diyaframları veya Bourdon tüplerini kullanır.

d. Nem Duyargaları

Ortamdaki nem miktarına bağlı olarak, nemin artması ile gerilen veya şişen, azalması ile gevşeyen veya büzülen organik maddelerden nem duyargaları yapılmaktadır. İnsan saçı neme çok duyarlıdır. Nem miktarına göre gerilen veya esneyen insan saçının bu özelliğinden faydalanılarak nem duyargaları yapılabilmektedir. Ancak saç telinin iyi seçilmesi gereklidir. Naylon da aynı

özelliğe sahiptir. Naylon sentetik bir madde olduğundan imalatı kontrol altında tutulabilir. Hassasiyetleri daha yüksek duruma getirilebilir.

Örnek olarak “Higrometreler” direkt olarak %RH ile kalibre edilen bir çıkış verir. “Psikometreler” iki sıcaklık değeri ölçerek bir grafik aracılığı ile bu değerleri nem veya %RH ile ilişkilendirirler.

e. Mekanik Duyargalar

[1] İvme Ölçerler

İvme ölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümleri ile şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapının yada bir makinenin ömrü, çalışma esnasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile doğru orantılıdır. Bir yapının çeşitli noktalarındaki titreşimin genliği ve fazı, moda dayalı bir analiz yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Yapılacak olan analiz sonucunda dinamik olarak çalışacak parçaların çalışma modları belirlenerek tüm sistemin dinamik karakteri ortaya konulabilmektedir.

Sismik ivmeölçerler ile yer, bina veya köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları ile ağır vasıtaların meydana getirdiği titreşimler ölçülebilir. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri ve çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre “Piezoelektrik” ve “Kapasitif” olarak iki sınıfa ayrılmaktadırlar.

Bir yongaya (Mikro Elektronik devre/çip) sahip Piezoelektrik ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre bulunmaktadır. (Integrated Electronics Piezoelectric - IEPE).

Kapasitif ivmeölçerler düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçmede kullanılırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu

plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal meydana getirirler.

[2] Kuvvet Duyargaları

Kuvvet duyarga genellikle uygulanan kuvveti elastik bir elemanın deformasyonuna çevirirler. En yaygın olarak kullanılan kuvvet duyargaları “Strain Gage” kuvvet duyargalarıdır. Yük hücresi (load cell) olarak da adlandırılırlar. Bu transdüserler hem basma hem de çekme yönünde çalışabilirler. Ölçme aralıları 10N ile 5MN arasında değişebilir. Gelişmiş tasarımlarda mekanik olarak aşırı yük sınırlamaları bulunmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan bir diğer duyarga ise “Piezoelektrik Kuvvet Duyargaları”dır. Bu transdüserler sıkışma, çekme gerilmeleri, darbe, tepki ve etki kuvvetlerini ölçen sağlam, uzun ömürlü, dinamik duyarga elemanlardır. Uygulama alanları arasında; tüm soğuk ve sıcak plastik şekil verme işlemleri, pres kuvveti ölçümü, talaşlı imalatlar, kaynak işlemleri ve test işlemleri gelmektedir. Üzerine uygulanan kuvveti birbirine dik üç ekseninde ayrı ayrı veren üç bileşenli kuvvet duyargaları özellikle takım tezgahlarının kesici uçlarının uyguladığı kuvvetin ölçülmesinde, kuvvet dinamometresi uygulamaları ve biyomekanik uygulamalarında kullanılmaktadır.

[3] Tork Duyargaları

Tork ölçen elemanlar genellikle güç üreten şaft ile gücü tüketen şaft arasına seri olarak bağlanırlar. Tork bu silindirik yapıdaki transdüserün üzerine etkidinde bir buruluma etkisi yaratır ve tork ile doğru orantılı bir açı oluşur. Diğer bir tipte ise tepki torku ölçülür. Bu sistemde tork üreten motorun dönmesi engellenir ve oluşan tork bir kuvvet transdüserinin yardımıyla ölçülür.

f. Akış Duyargaları

[1] Diferansiyel Basınç Akış Ölçer

Debi, yaygın olarak bir akışkanın bir boru içerisindeki kısıtlanmış bölmeden geçirilmeye zorlanması ile ölçülür. Bu zorlanma ile hız değişir ve debi ile doğru orantılı olarak basınç oluşur. Borunun yarı kesiti büyüdükçe akışkanın hızı azalır ve basınç artar. Yarı kesit küçüldükçe hızı artar basınç azalır. Meydana gelen basınç farkı diferansiyel basınç duyargası ile ölçülür.

[2] Mekanik Akış Ölçer

Mekanik elemanlar sıvı akışına yer değiştirerek yada belli bir hız oranında dönerek cevap verecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Viskozitesi 500 Cp'a kadar olan temiz akışkanların, asitlerin, bazların ve çözücülerin ölçümünde kullanılır.

[3] Isıl Akış Ölçer

Hareket eden sıvı içerisinde 2 nokta arasında taşınan ısı miktarı, akan kütle ile doğru orantılıdır. Bu kapsamda ısı akış duyargası ile ölçüm yapılır.

[4] Manyetik Akış Ölçer

Elektromotor güce sahip olan manyetik alan içerisinde geçen iletken sıvı, hızıyla artan bir elektromotor kuvvet indükler. Manyetik akış ölçerler, ölçüm sırasında debi düşümü yaratmazlar, akışkanın viskozite, basınç ve sıcaklık değişiminden etkilenmezler. Yatay ve dikey şekilde montaja uygundurlar ve ölçüm sırasında akışı engellemediğinden kimya, ilaç, gıda, kağıt hamuru, su ve benzeri uygulamalar için kullanılırlar.

[5] Salınımlı Akış Ölçer

Salınımlı akış ölçümünde akının içine yerleştirilen bir engel üzerinde oluşan vorteks kaynaklı titreşimler algılanır. Titreşimin frekansı akışkanın hızı ile doğru orantılıdır. Bu kapsamda salınımlı akış duyargası ile ölçüm yapılır.

[6] Ultrasonik Akış Ölçer

Ultrasonik akış transdüserleri dopler efektinden faydalanır. Akışkanın içine gönderilen frekansı bilinen bir ultrasonik ses, akışkanın içindeki partiküller, hava kabarcıklarından yansarak geri döner. Geri dönen sinyalin frekansındaki değişiklik akışkanın hızı ile orantılıdır.

Bir diğer yöntemde de, bir ultrasonik dalga sıvı içerisinde gönderilir. Alıcı duyarga bu dalgayı alır almaz ikinci bir dalga gönderir. İki dalganın arasındaki varış süresi farkından akışkanın hızı çıkarılır.

g. Kimyasal Duyargalar

Kimyasal duyargalar, kimyasal giriş büyüklüğünü elektrik sinyaline çeviren mikro duyargalardır. Kimyasal özellikler genellikle kat, sıvı ve gaz bileşenlerinin karışımlarından oluşan bir matris olarak ifade edilebilir. Ayrıca, biyolojik bir büyüklüğü ölçen kimyasal mikro duyargalara da biyosensör adı verilmektedir.

ğ. Fotoelektrik Duyargalar

Bu tip elemanlar, optik elektrik yöntemleri kullanılarak yapılırlar. Işık duyargaları olarak da adlandırılırlar. Her türlü malzeme, cisim ya da insan algılama için kullanılmaktadır. Şeffaf yada reflektif malzeme algılama, renk algılama gibi en zor uygulamalar dahil tüm uygulamalarda kullanılırlar. Karşılıklı reflektörlü, polarize reflektörlü, cisimden yansımali, arka planı bastırıcılı tipte olanları vardır. Algılama mesafesi 500 metreye kadar olabilmektedir.

[1] Karşılıklı Fotosel

Biri ışık verici diğeri ışık algılayıcı olmak üzere iki ayrı birimden oluşmaktadır. Verici birimden çıkan ışık, alıcı birim tarafından sürekli gözlenir. Aralarına bir cisim girdiğinde ışık kesilir ve ışığa duyarlı olan diğer elemanda bir değişim olur. Bu değişim çıkış olarak nitelendirilir. Başka bir elektronik devre bu değişimi kullanarak gerekli işlemi yapar. Bu çıkış bazen bir sayıcıyı tetikleyen pals şeklinde olabilir.

[2] Reflektörlü Fotosel

Tek üniteden oluşur. Yani verici ışık kaynağı ile ışığa duyarlı eleman aynı birim üzerinde olup, karşıdan ışığı yansıtacak bir yansıtıcı (reflektör) vardır. Tek tarafa elektriksel bağlantı yapıldığından montajı daha kolay ve ucuzdur. Ancak ışığı iyi yansıtan malzemelerden yansıyan ışık tarafından yanılmalar olabilir.

[3] Cisimden Yansımali Fotosel

Bu tip fotosel de reflektör bulunmaz. Işık cisimden yansır. Cismin yüzey rengi önemlidir. Siyah renkli cisimleri algılamak çok güçtür.

[4] Fiber Optikli Fotosel

Alıcı ve verici yine aynı birim içindedir. Fiber optik kablo ile ışık taşınabilir olduğundan fotoselin algılama yaptığı yer ile bulunduğu yerler farklı olabilir. Montaj zorluğu olan yerler de tercih edilir.

[5] Renk Seçici Fotosel

Cisimden yansımali fotosel gibi çalışır. Siyah ile beyaz arasında 15 değişik değeri algılama yeteneğine sahiptir. Ambalaj kağıdı üzerindeki renk işaretlerini algılamak gibi işlemlerde gereklidir. Her rengin sinyal karşılığı

farklıdır, bu farktan dolayı renkler ayırt edilebilir. Renk algılayan fotoseller ayarlanırken, önce algılanması istenen rengin üzerine getirilerek çıkış seviyesi belirlenir.

[6] Luminisans Seçici Fotosel

Bu tip fotoselin diğerlerinden farkı ultra viole ışık kaynağı kullanmasıdır. Bu ışın luninisans maddeli cisimden geri yansır. Luminisans seçici fotoselin alıcı ünitesi bu geri yansımayı alıp çıkış devresini tetikler. Luminisans seçici fotosel özellikle daha geniş algılama mesafesi sağlar.

h. Endüktif Yaklaşım Mikro Duyargaları

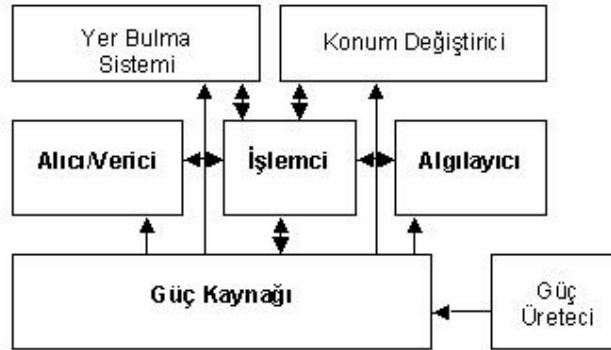
Metal cisimlerin varlıklarını yada geçişlerinin algılanması için kullanılır. Diğer bir ifade ile iletken malzemelerin temassız algılanması için kullanılır. Yüksek anahtarlama frekansı gerektiren uygulamalarda kullanılır. Plastik ya da metal kılıf içine alınmış olup değişik çaplarda olanları vardır. Algılama mesafeleri, bağlantı tipi ve besleme voltajların göre değişik tipleri vardır. Endüktif mikro duyargaların içerisinde bobin ve bobini besleyen bir osilatör bulunur. Osilatör bobin üzerinden mikro duyarganın ön yüzeyine yayılacak bir manyetik alan üretir. Eğer bu alana manyetik bir cisim girerse, Eddy akımları bu metal üzerinde dolaşır. Metal cisim mikro duyargaya yaklaştıkça bu akımın değeri artar ve osilatörü durdurur. Osilatörün durması sonucunda çıkış durumunu değiştirir. İçersinde transistör veya tristör bulunur. Durum değişmesi ile iletimde olan eleman kesime gider. Mekanik anahtarlara göre ömrü daha uzundur. Anahtarlama frekansı yüksektir. Ortam koşullarından fazla etkilenmez. Algılanacak cisme dokunmaksızın algılama yapar. Plastik veya cam arkasından metalin algılanması gibi üstün özellikleri vardır.

B. MİKRO DUYARGA AĞLARI

1. Giriş

Duyarga ağları, mikro elektro-mekanik sistem (MEMS) ve telsiz iletişimi alanlarındaki teknolojik gelişmeler sonucunda ortaya çıkan mikro duyargalar için önemli bir uygulama alanıdır. Bu bölümde özellikle mikro duyarga ağlarının halihazırda geldiği durum ve genel problem sahaları incelenmiştir. Bahse konu problem sahalarında bir çok çalışma yapılmakta ve farklı çözüm önerileri geliştirilmektedir. Askeri imkan ve kabiliyetlerin artırılması ve muharebe alanında üstünlük sağlanması için halen üzerinde çalışmaların sürdürüldüğü duyarga ağlar, geniş uygulama alanı olması sebebiyle sivil projelerde de kullanılmaktadır [3].

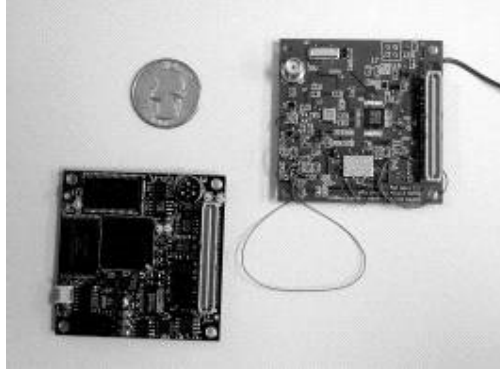
Bir mikro duyarga ağında görev yapan bir mikro duyarganın (Şekil-4) algılayıcı, işlemci, alıcı/verici ve güç birimleri olmak üzere dört ana elemanı vardır. Bunlara ilave olarak kullanım amacına göre bir mikro duyarga, yer bulma sistemi, güç üretim birimi, konum değiştirici bulundurabilir. Ana birimler başta olmak üzere tüm bu birimler bir kibrit kutusu büyüklüğünden, bozuk para boyutlarına (Şekil-5.a) düşürülmüş olup, bilgi sistemlerinin boyutları da donanım teknolojisindeki ilerlemelere paralel olarak daha da küçülmüştür (Şekil-5.b) [4].



Şekil-4. Mikro duyarga birimleri.

Mikro duyarga ağıları, gözlem alanına ve çevresine sık olarak atılan çok sayıda duyarga noddan oluşmaktadır. Nodların mevkilerinin önceden hesaplanarak belirlenmesi gerekli değildir. Bu durum ulaşılamayan bölgelere ve afet yerlerine nodların rastsal olarak atılabilmesine imkan tanımaktadır. Diğer taraftan aynı durum duyarga ağına yönelik protokol ve algoritmaların kendi kendine organize olmasını da gerektirmektedir. Duyarga ağılar, uygulamaya bağlı olarak uygulama sahasında konuşlandırılmasını (elle konumlarına yerleştirilmesi, uçaktan atılması gibi) müteakip, duyargaların birbirleriyle iletişim kurması ile oluşmaya başlar.

Donanım ve iletişim gücü itibariyle güçlendirilmiş duyargalar, *sink* ismi verilen genellikle ilave özelliklerle donatılmış bir nod etrafında dizayn aşamasında belirlenen protokoller çerçevesinde tamamen kendi kendilerine kısa sürede organize olurlar. Duyarga nodları üzerlerindeki mikro işlemci vasıtasıyla elde edilen veriler basit işlemlerden geçirilerek sadece arzu edilen sonuca hizmet eden ve kısmen işlenmiş olan bilgiler *sink*'e gönderilmektedir. Sink kendisine ulaşan veriyi kullanıcıya erişim noktalarını (uydu, sabit/hareketli aktarıcı) kullanarak yada direkt olarak ulaştırır.



(a)

(b)

Şekil-5. Çeşitli boyuttaki mikro duyargalar.

Mikro duyarga ağlarını geleneksel telsiz ağlardan ayıran temel özellikler şunlardır [3];

- Duyarga ağlarındaki mikro duyarga sayısı geleneksel telsiz ağlardaki bilgisayar sayısından çok daha fazla olabilmektedir.
- Her birinin başında kullanıcısı yoktur, uygulama sahasına bırakıldıktan sonra kendi kendilerine organize olmak zorundadırlar.
- Duyarga uygulama sahasında mikro duyargaların yoğunluğu oldukça fazladır.
- Gerek donanımlarının minyatüre edilmiş olması gerekse de atıldıkları sahaların farklı özelliklere sahip olması nedeniyle bazılarının çalışmama / çalışmama ihtimalleri vardır.
- Batarya, işlemci, bellek gibi donanımlarının özellikleri kısıtlıdır.
- Nodların hareketli olması dolayısıyla adrese dayanan statik bir topolojileri yoktur.

Yukarıda bazıları sayılan kısıtlamaların azaltılması ve gereksinimlerin karşılanması maksadıyla bir çok araştırmacı uğraş vermektedir. Belirlenen bir amaca göre bazı hususlarda aşama kaydedilirken diğer bir hususta menfi yönde gelişmeler görülebilmektedir. Bu durumda tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak unsurlar arasında ihtiyaç duyulan dengelemeler (trade-off) yapılmaktadır.

Mikro duyarga ağları oluşturulurken ağ tasarımını etkileyen bazı önemli unsurlar bulunmaktadır. Uygulama türlerine göre farklılık göstermekle birlikte bu unsurlardan en önemlileri aşağıda belirtilmiştir [3]:

- Hata toleransı,
- Ölçeklenebilirlik,
- Maliyet,
- Uygulama sahası,
- Donanım kısıtlamaları,

- Ağ topolojisi,
- İletişim ortamı kuralları ve
- Güç tüketimi.

Bunlar arasında araştırmalara konu olan en önemli unsur güç tüketimidir. Depolanabilen güç miktarı mikro duyarganın hayatta kalabilme süresini, dolayısıyla ağ ömrünü belirlediğinden, tüm ağ katmanlarında efektif güç tüketimini temel alan çalışmalar halen sürmektedir.

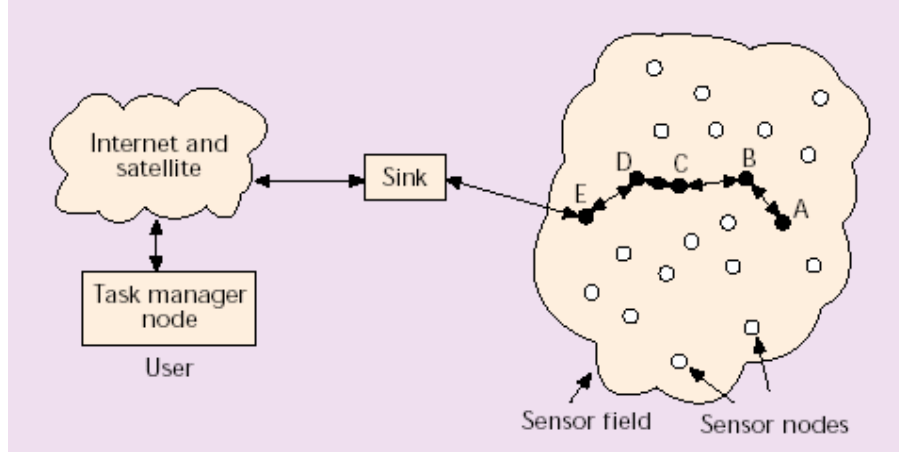
Farklı amaçlarla geliştirilen muhtelif uygulamalara temel teşkil edecek çok çeşitli duyarga tipleri bulunmaktadır [3]. Bunlar arasında aşağıdaki duyarga tipleri en yaygın kullanıma sahip olanlardır :

- Sıcaklık Duyargası,
- Nem Duyargası,
- Akustik Duyarga,
- Hareket / Akış Kontrol (Flow Control) Duyargası,
- Manyetik Duyarga,
- Işık Duyargası,
- Basınç Duyargası,
- Sismik Duyarga,
- Canlı/Cansız Varlık Duyargası,
- Mekanik Gerginlik Duyargası,
- Hız, Yön, Miktar Algılayan Duyargalar.

2. Duyarga Ağlarının İletişim Yapıları

Duyarga nodları meydana getirdikleri duyarga ağına Şekil-6 'da görüldüğü biçimde atılmaktadır. Bölgeye atılan her bir nod çevreden veri toplama ve sink'e uygun rota üzerinden iletebilme kabiliyetine sahiptir. Veri sink'e birden fazla atlama (multihop) yaparak veya direk olarak erişebilmektedir. Verinin iletimi

sırasında aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi internet, intranet gibi ağ erişimleri de kullanılabilmektedir.



Şekil-6. Duyarga bölgesine atılan nodlar.

3. Duyarga Ağı Tasarımını Etkileyen Faktörler

Bir mikro duyarga ağının tasarımı etkileyen faktörler bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ancak mevcut çalışmalardan hiçbiri duyarga ağlarının tasarımını etkilediği tespit edilen tüm hususları aynı anda çözmemektedir. Bu faktörlerin önemi, duyarga ağları için bir protokol veya bir algoritma geliştirirken rehber unsurlar olarak kabul edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle mikro duyarga ağları ile ilgili çözüm önerileri incelenirken önerilerin bu faktörlere etkileri de daima göz önünde bulundurulmaktadır.

- **Hata Toleransı**

Duyarga nodlarından bazıları bozulma, gücünün azalması veya bitmesi, çevresel nedenler veya fiziksel hasarlar dolayısıyla faaliyetlerinde problemlerle karşılaşabilmektedir. Nodlardan bazılarında görülen bu tip problemler duyarga ağının görevlerini etkilemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Hata Toleransı, nodlarda rastlanabilecek problemlere rağmen duyarga ağının işlevini kesintisiz olarak yerine getirebilme yeteneği olarak tanımlanabilir.

- **Ölçeklenebilirlik**

Herhangi bir olayın incelenmesi maksadıyla oluşturulan duyarga ağlarında atılan nodların sayısı yüzleri, binleri ve hatta bazı özel uygulamalarda milyonları bulabilmektedir. Tasarlanan ağın ölçeklenebilir olması için, bu miktarlarda ve yoğunlukta atılan nodlarla da çalışabilmesi gerekmektedir.

- **Üretim Giderleri**

Duyarga ağları çok fazla miktarda noddan oluştuğu için ve her bir duyarga nodunun maliyeti toplam ağ maliyetini direk olarak etkileyeceğinden nodların maliyeti oldukça önemlidir. Eğer duyarga ağın maliyeti benzer işlevleri yapan geleneksel tekil çalışan sistem ve cihazların maliyetleri ile kıyaslandığında avantaj elde edilemezse duyarga ağlarının tercih edilmesinin de önemli bir nedeni kalmayacaktır.

- **Donanım Kısıtlamaları**

Bir duyarga nodunda temel olarak 4 ana eleman bulunmaktadır. Şekil-1'den de görülebileceği gibi bu elemanlar Algılayıcı, İşlemci, Alıcı Verici Birim ve Güç Birimi'dir. Bu elemanların yanı sıra uygulamalara bağlı olmak üzere Konum Bulma Sistemi, Güç Üreteci ve Sevk Edici Birim (Mobilizer) gibi unsurlar da ilave olabilmektedir. Algılayıcı Birim genellikle duyarga ve duyargalardan gelen analog sinyalleri işlemcinin işleyebileceği sayısal verilere çeviren Analog Sayısal Çevirici (ADC)'lerden oluşmaktadır. Günümüzde geliştirilmekte olan bazı duyargalar kendi sayısal çıktılarını kendileri üretebilmektedir. Mesela uygulamamızda kullandığımız PNI Manyetik Duyargaları ile DS 18B20 Sıcaklık Duyargası ölçüm sonuçlarını sayısal olarak vermektedir.

Analog verinin sayısala çevrilmesi işlemi, bu kabiliyete sahip olan işlemcilerde de yapılabilmektedir. Uygulamamızda kullandığımız PIC 16F877 mikro denetleyici 10 kanal ADC işlemini yapabilmektedir. Çok küçük bir depolama kabiliyetine sahip olan işlemci biriminin asıl görevi ise duyargalardan gelen verileri toplamak, derlemek ve kendisine tevcih edilen göreve yönelik bilgiyi

oluşturabilmektir. Alıcı Vericiler ise bu bilgileri komşu noda veya sink'e iletmekle görevlidir.

Tüm bu elemanlara güç birimi de ilave edildiğinde bile duyarga nodun boyutunun arzu edilen küçük ebatlarda olması, güç tüketiminin az olması, maliyetinin düşük olması ve bulunduğu çevre koşullarına uyum göstermesi gerekmektedir.

- **Ağ Topolojisi**

Duyarga ağlarında yüzlerce ve hatta binlerce nod bulunabilmektedir. Nodların birbirlerine olan mesafeleri birkaç metreden onlarca metreyi bulabilmektedir ve birim metreküplük hacme düşen nod yoğunluğu 20 noda kadar çıkabilmektedir. Nodların bu kadar yoğun atılması topolojilerinin düzgün olarak belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Ağ topolojisinin oluşumu nodlar atılmadan önce başlar ve atıldıklarında şekillenir. Nodların atılmasının ardından da nodların hareket kabiliyetleri, çevresel faktörler gibi nedenlerle topolojilerinde değişimler görülebilmektedir. Gerekli görülmesi halinde topolojilerdeki değişimden kaynaklanan menfi etkilerden kaçınmak maksadıyla ilave nodlar da sahaya atılabilmektedir.

- **Uygulama Ortamı**

Nodlar faaliyet gösterdikleri ortama bağlı olarak farklı kurallara tabi olmaktadır. Büyük bir makinenin içersinde, kimyasal reaksiyonların olduğu zehirli bir bölgede, bir düşman hattındaki patlamaların tam ortasında veya uygulamamızda olduğu gibi sualtında bulunabilmektedir.

- **İletişim Ortamı Kuralları**

Birden fazla atlama (multihop) yapan duyarga ağlarında nodlar birbirleriyle kablosuz ortamı kullanarak haberleşmektedir. Bu ortamda radyo sinyalleri, infrared veya görsel hatları (optical media) kullanılmaktadır. Bu tip ağlar dünya üzerinde genel bir uygulamada kullanılabilmek maksadıyla ortak bir iletişim ortamına gereksinim duymaktadır. Bu ağların çoğunluğu RF devre

tasarımını benimsemişlerdir. İnfrared ve görsel hatlar ise iletişim kurabilmeleri için birimler arasında bir görüş hattının tesis edilmesine ihtiyaç duyarlar.

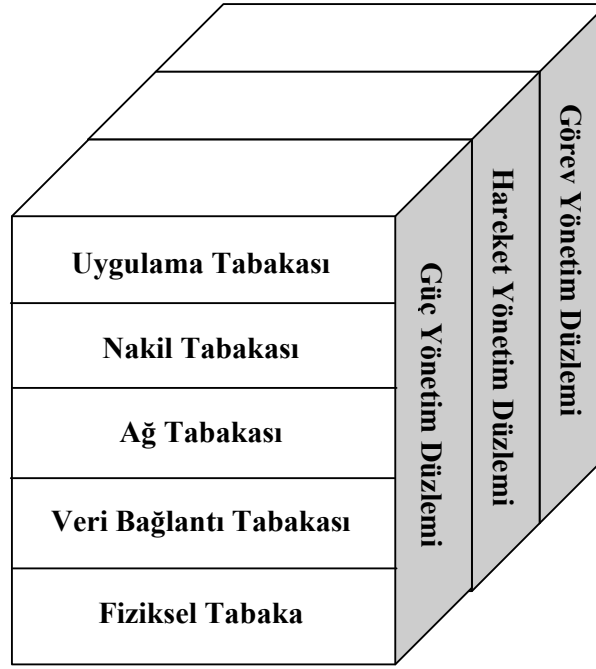
- **Güç Tüketimi**

Kablosuz duyarga nodları mikro-elektronik cihaz olmaları nedeniyle sınırlı bir güç kaynağı ile donatılmışlardır. Güç üreticinin kullanılmadığı uygulamalarda duyarga nodlarının yaşam süreleri pillerin ömürleri ile kısıtlıdır. Özellikle birden fazla atlama yaparak iletişim kuran ağlarda, veri gönderici (data originator) ve veri iletici (data router) gibi iki farklı göreve sahip olan bir nodun enerjisinin tükenmesi topoloji ve iletişim yapısını çok etkileyecektir. Bu nedenle araştırmalar yapılırken çözüm önerilerinin beraberinde getireceği ilave güç tüketimi veya güç koruması gibi hususlara azami önem verilmektedir.

4. Protokol Yığını (Protocol Stack)

Şekil-6'daki yapıda sink ve duyarga nodları arasında kullanılan protokol yığını Şekil-7'de verilmiştir. Protokol yığını güç ile yol bulma bilgilerini, veri ile ağ protokollerini birleştirerek, kablosuz ortamda gücün verimli kullanımı ile iletişimi sağlamaktadır.

Çok genel bir anlatımla yığında en altta bulunan Fiziksel Tabaka (Physical Layer) basit fakat sıhhatli çalışan modülasyon, gönderme ve alma tekniklerine olan ihtiyacın adresidir. Ağ Tabakası (Network Layer), Nakil Tabakası (Transport Layer) tarafından sağlanan verilerin yol bulma işlemleri ile ilgilenmektedir. Nakil Tabakası ise duyarga ağı uygulamalarının ihtiyaç duyması halinde gerekli olan veri akışının sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Uygulama Tabakası (Application Layer)'nda algılama görevine bağlı olarak farklı uygulama tiplerine yönelik yazılımlar geliştirilerek kullanılmaktadır.



Şekil-7. Duyarga ağı protokol yığını.

Bunlara ilaveten Güç (Power Management), Hareket (Mobility Management) ve Görev Yönetim (Task Management) Düzlemleri duyarga nodları arasındaki güç, yer değiştirme ve görev dağılım durumlarını denetlemektedir. Bu düzlemler duyarga nodları algılama görevlerini yaparken, ağın toplam güç tüketimini düşürebilmeleri maksadıyla nodları koordine etmektedir. Sonuç olarak, bu düzlemlere duyarga nodlarının güç verimli bir şekilde birlikte çalışabilmeleri, hareket kabiliyetine sahip duyarga ağlarında veriye uygun yolu bulabilmeleri ve nodlar arasında kaynak paylaşımını sağlayabilmeleri maksadıyla ihtiyaç duyulmaktadır.

Şimdi her birinin yerine getirmek zorunda olduğu farklı görevleri olan tabakaların bu görevlerinden kısaca bahsetmek oldukça faydalı olacaktır.

a. Fiziksel Tabaka

Bu tabaka frekans seçimi, taşıma frekansının üretilmesi, sinyallerin algılanması, modülasyon ve veri kriptolamadan sorumludur. Duyarga ağları tarafından kullanılmak üzere 915 MHz.lik ISM bandı frekansı tavsiye edilmektedir. Frekans üretimi ve sinyal algılama hususları donanım ve alıcı-verici tasarımı ile ilgili konulardır. Bu tabaka ile ilgili olarak güç verimli alıcı-verici tasarımından modülasyon planlarına kadar araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle sualtı iletişimine yönelik FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying), DPSK (Differential PSK) gibi modülasyon teknikleri referans [5]'te incelenmiştir.

b. Veri Bağlantı Tabakası

Verinin çoğaltılması, veri frame'inin algılanması, ortam erişim kontrolü (medium access control – MAC) ve hata kontrol (error control)'den sorumludur. Tek noktadan tek veya çok noktaya güvenilir iletişimi temin etmektedir.

Kendini organize edebilen çoklu atlamalı bir duyarga ağında MAC protokolünün iki amacı vardır. Bunlardan ilki iletişim için gerekli olan ağ altyapısını oluşturmaktır. İkincisi ise duyarga nodları arasındaki iletişim kaynaklarını verimli bir şekilde paylaşmaktır.

Üç boyutlu bir ortam olan sualtı akustik kanallarında yatay veri bağlantısını tanımlayan yüksek gecikme yayılımı, nodlar arasındaki senkronizasyonun sağlanmasını güçleştirmektedir. Bu durumda CDMA özellikle referans [6]'da olduğu gibi ortogonal kodlama tekniklerinin kullanıldığı durumlarda sualtı akustik ağları için umut verici bir çoklu erişim tekniğidir.

Bu tabakanın bir diğer önemli fonksiyonu gönderilen verinin hata kontrolüdür. Hata kontrol yöntemlerinden en önemlileri İleri Hata Düzeltimi

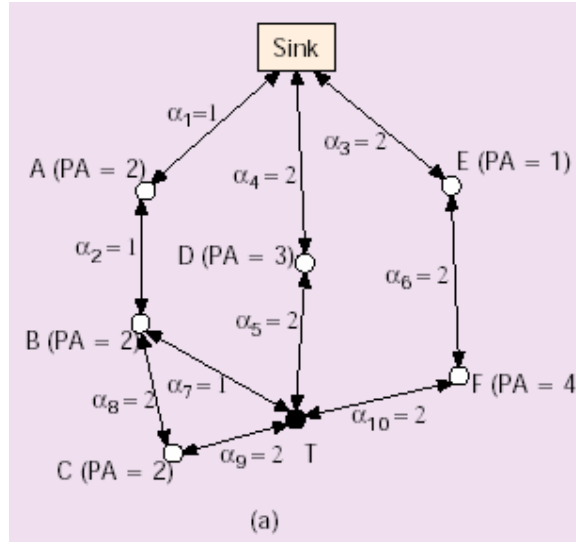
(Forward Error Correction – FEC) ve Otomatik Tekrarlama İstemi (Automatic Repeat Request – ARQ)‘dir. ARQ kullanımı ilave tekrar göndermeler için fazladan enerji tüketimine gereksinim duyduğu için verimliliği kısıtlıdır. Diğer taraftan FEC yönteminin karmaşıklığı daha yüksektir. Bu hususlar göz önüne alındığında, uygulamalara özel karmaşıklığı düşük ve basit hata kontrol kodlamalarının geliştirilmesi en uygun çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

c. Ağ Tabakası

Duyarga nodlarının gözlemlenecek bölgeye veya yakınına yoğun bir şekilde atıldığından bahsedilmişti. Sink ile duyarga nodları arasında çoklu atlama yapabilen farklı kablosuz yol bulma protokollerine ihtiyaç vardır. Sıradan yol bulma protokolleri zaman zaman duyarga ağın isteklerine cevap vermekte yetersiz kalmaktadır. Duyarga ağlarının ağ tabakaları tasarlanırken dikkat edilmesi gereken temel unsurlar şunlardır :

- Güç Verimliliği (Power Efficiency)
- Duyarga Ağlarının Veri Odaklı (Data Centric) olması
- Duyarga nodların hedef üzerinde müşterek gayret sarfi engellenmeiği durumlarda Veri Birleştirme (Data Aggregation)
- Nitelik Esaslı Adresleme (Attribute-Based Addressing) ve Mevkiin Bilinmesi (Location Awareness).

Enerji verimli yollar nodlarda mevcut güç miktarları ve yol boyunca ihtiyaç duyulacak olan gönderme enerjisi göz önünde bulundurularak tespit edilebilmektedir. Şekil-8’de T nodu olayı algılayan kaynak noddur.



Şekil-8. Yolum güç verimliliği.

Bu nodun algıladığı verinin sink'e iletilebilmesi maksadıyla izleyebileceği muhtemel yollar ve maliyetleri aşağıdaki gibidir :

- I.Yol = T – B – A – Sink Toplam Güç : 4
Maliyet : 3
- II.Yol = T – C – B – A – Sink Toplam Güç : 6 Maliyet : 6
- III.Yol = T – D – Sink Toplam Güç : 3 Maliyet : 4
- IV.Yol = T – F – E – Sink Toplam Güç : 5
Maliyet : 6

Enerji verimli yollar seçilirken en fazla toplam güce (PA), en az maliyete veya en az atlama sayısına sahip olan yollardan birisi ihtiyaçlar değerlendirilerek tercih edilebilmektedir.

Duyarga ağlarında uygulanabilecek yol bulma protokolleri konusunda son zamanlarda bir çok araştırma yapılmıştır [7]. Kablosuz duyarga ağları için önerilen temel protokoller Tablo-3'te verilmiştir. Ancak, sualtı ortamının farklı yapısı ve uygulamalarında karşılaşılan güçlükler nedeniyle anılan protokollerin

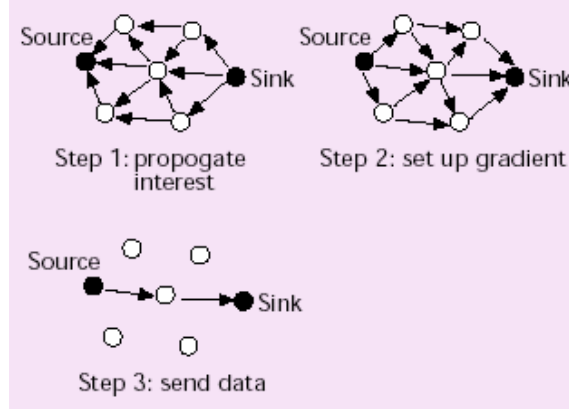
mevcut halleriyle kullanılmaları mümkün gözükmemektedir. Ağ kaynaklarını kontrol etmek ve ağ veri akışını sağlamak maksadıyla sualtı ağ protokollerinin geliştirilmesi kapsamında referans [8]'deki çalışmalara benzer araştırmalar yapılmaktadır. Geliştirilen bu protokolün temeli, suüstü istasyonunda çalışan ve ağı kontrol eden merkezi bir ağ yöneticisine dayanmaktadır. Daha fazla topoloji değişikliklerine imkan tanıyan yeni protokoller halen araştırılmaktadır. Yönlü Yayılmadan (Directed Diffusion) [9] su üstünde yaygın olarak tercih edilen bir metod olması nedeniyle burada kısaca bahsedilecektir.

Tablo-3. Ağ tabakası planları.

Ağ Tabakası Planı	Tanımı
SMECN	Duyarga ağında minimum enerji yolunu kapsayan bir alt grafik oluşturur.
Flooding	Daha önce alıp-almadıklarına bakmaksızın veriyi tüm komşularına gönderir.
Gossiping	Veriyi rastsal olarak seçilen bir komşusuna iletir.
SPIN	Veriyi sadece ilgili duyarga nodlarına gönderir.
SAR	Her birinin kökünün sink'ten tek atlamayla erişilebilen çoklu ağaçlar oluşturur. Enerji kaynaklarına bağlı olarak verinin sink'e geri gönderilmesi için bir ağaç seçer.
LEACH	Enerji yayılımını minimize etmek için gruplar oluşturur.
Directed Diffusion	Verinin kaynaktan sink'e akışı için gradient'ler kurar.

Yönlü Yayılmada takip edilen metod Şekil-9'da gösterilmiştir. Bu metodda önce sink, sonra sink ile irtibatla olan nodlar ve daha sonra diğer nodlar iletişim menzilleri içersindeki nodlara sink'e olan yollarını/rotalarını (interest) bildirirler. Her bir duyarga nodu bu bilgileri kendi belleklerinde (cash) zaman bilgisi ile birlikte muhafaza etmektedirler. Duyarga ağındaki tüm nodlar mesajlarını ilettiğinde, her nodan sink'e doğru *gradient* ismi verilen bağlantı şemaları da oluşmuştur. Herhangi bir kaynaktan sink'e gönderi olduğunda uygun

gradient takip edilerek veri ulaştırılır. Yönlü Yayılma sink'in gönderisini irtibatta olduğu tüm nodlara ilettiği veri merkezli yol bulma esasına dayanmaktadır.



Şekil-9. Yönlü yayılmaya (directed diffusion) örnek.

ç. *Nakil Tabakası*

Bu tabakaya özellikle sistem bilgilerinin internet veya harici bir ağ kullanılarak iletilmesinin planlandığı durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır. Buna rağmen bu konu detaylı araştırmaların yapılmadığı ve nispeten bakir kalan bir husustur. TCP protokolü halihazırdaki durumuyla duyurga ağı ortamlarında genel olarak kullanılabilecek bir protokoldür. Duyurga ağlarının internet veya harici bir ağ ile irtibatlandırılması maksadıyla *TCP Ayrımı* gibi bir görüşe ihtiyaç olacaktır. Bu görüşte TCP bağlantıları sink'te sonlandırılarak, özel bir nakil tabakası protokolü kullanılmak suratiyle sink ve duyurga nodları arasındaki iletişim sağlanabilir.

Sonuç olarak, son kullanıcı ve sink arasındaki iletişim internet / uydu üzerinden UDP veya TCP kullanılarak; sink ve duyurga nodları arasındaki iletişim kısmen UDP veya geliştirilen özel bir protokol vasıtasıyla sağlanabilmektedir. Geliştirilmesi ortaya atılan protokolün duyurga ağlarına özel problem sahalarına hassas olmalarına azami önem verilmelidir. Bu gibi protokoller duyurga ağlarının

sınırlı güç ve bellek kapasitelerine sahip olduklarını daima göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

d. Uygulama Tabakası

Duyarga ağları için bir çok uygulama alanı tanımlanmış olmasına rağmen uygulama tabakası protokolleri henüz araştırılmamış bir alan olarak kalmıştır. Aşağıda üç farklı uygulama tabakası protoklü örneği mevcuttur[3]. Bunlar Duyarga Yönetim Protokolü (Sensor Management Protocol – SMP), Görevlendirme ve Veri İlan Protokolü (Task Assignment and Data Advertisement Protocol – TADAP) ve Duyarga Sorgulama ve Veri Yayımlı Protokolü (Sensor Query and Data Dissemination Protocol – SQDDP). Aşağıda bu üç farklı protokolden kısaca bahsedilerek, uygulama protokollerinin daha kolay anlaşılmasına çalışılacaktır.

e. Duyarga Yönetim Protokolü (SMP)

Bir uygulama tabakası protokolü daha alt seviyelerdeki tabakalarda işlemekte olan donanım ve yazılımları duyarga ağı yönetim uygulamalarına açık hale getirmektedir. Sistem yöneticileri duyarga ağı ile SMP kullanarak iletişim kurmaktadır. Duyarga ağlarında diğer ağlarda rastlanmayan genel kimliği (global identification) bulunmayan noddan oluşmaktadır. Bu nedenle SMP noddan nitelik tabanlı isimlerini veya adresleme bilgilerini kullanarak ulaşabilecektir. SMP aşağıda belirtilen yönetsel görevleri yerine getirmelidir :

- Veri birleşimi, nitelik tabanlı isimlendirme ve noddan gruplandırılma kurallarının belirlenmesi.
- Mevkii bulma algoritmasının geliştirilmesi.
- Duyarga noddan arasındaki zaman senkronizasyonunun sağlanması.

- Duyarga nodlarının yer değiştirmelerinin sağlanması.
- Duyarga nodlarının uyutulup, uyandırılma kurallarının belirlenmesi.
- Duyarga ağının yapısının ve durumunun sorgulanarak yeniden yapılanmasının sağlanması.

f. Görevlendirme ve Veri İlan Protokolü (TADAP)

Duyarga ağlarındaki bir diğer önemli işlem de ilgi dağılımıdır. Bu işlem iki farklı yöntemle de gerçekleştirilebilmektedir. Birincisinde, kullanıcılar ilgilerini bir duyarga noduna, nod grubuna veya tüm ağa gönderebilmektedir. Diğer görüşte ise bir duyarga nodunun algıladıklarını ilan ederek ilgisi olanların bu ölçüm sonuçlarını alması yöntemidir.

g. Duyarga Sorgulama ve Veri Yayılım Protokolü (SQDDP)

SQDDP protokolü sorgulamalar yapmak, bu sorgulamaları cevaplamak ve verilen cevapları almak maksadıyla kullanıcı uygulamalarını sağlamaktadır. Nitelik (attribute) veya konum esasına dayanan isimlendirmeler tercih edilmektedir. Mesela, “30 °C ’tan daha fazla sıcaklık algılayan nodların mevkileri” istendiğinde *nitelik esaslı sorgulama*; “A bölgesindeki nodlar tarafından algılanan sıcaklık değerleri” istendiğinde *konum esaslı sorgulama* yapılmış olmaktadır.

5. Mikro Duyarga Ağlarının Uygulama Alanları

Mikro duyarga ağların uygulama alanları, algılayıcı tiplerinin genişliği oranında eşitlendirilebilmekle beraber, uygulamalar aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir [3]:

Çevresel Uygulamalar;

- Orman yangını, sel, deprem, gibi doğal afetlerin ölçümlendirilmiş olarak hızlı bir şekilde ihbar edilmesinde,
- Hava kirliliği tespiti ve ayrıntılı rapor alınmasında,
- Doğal yaşamın gözlenmesinde.

Sağlık Uygulamaları;

- İnsanların fizyolojik verilerinin uzaktan izlenmesi,
- Hastanede bulunan doktorların yerinin ve hasta durumunun izlenmesi,
- Hastanedeki ilaç dağıtımının yönetimi.

Ticari Uygulamalar;

- Küçük çocukların konumlarının aileleri tarafından takip edilmesi,
- Güvenlik ihtiyaçları, hırsızlarının tespiti,
- Envanter yönetim yardımcı aracı,
- Ulaştırma araçlarının izlenmesi ve tespit edilmesi.

Askeri Uygulamalar;

- Dost kuvvetlerin teçhizat ve cephanesinin izlenmesi,
- Savaş alanının gözlenmesi ve arazi hakkında keşifte bulunma,
- Hedefin konumu, sürati gibi hedef bilgilerinin tespiti,
- Düşmana verdirilen hasar miktarının tespit edilmesi,
- Nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) saldırı ihbarının alınması yada keşfi.

Duyarga ağ kavramı mikro elektro-mekanik alanlarındaki ilerlemelere paralel olarak geliştirilmektedir. Geleneksel ağlardan farklı olarak mikro duyarga sayısının çok fazla olabilmesi, iletişim kısıtlamaları, duyarga ağların kendi kendine organize olması, uzaktan erişime olanak tanınması, mimarisinin dinamiklerinden

kaynaklanan (sınırlı enerjisi, kısıtlı belleği, farklı işlemci yapısı) nedenler ile güncelliğini sürdüren araştırma konularından biri olmuştur.

Mikro duyarga ağların insan hayatına getireceği kolaylıklar nedeniyle, hayatımızın bir parçası olan internet vasıtasıyla kolaylıkla erişilebilme gibi yakın gelecekteki muhtemel etkileri dolayısıyla yaşantımızda yoğunlukla hissedilmeye başlanacağı değerlendirilmektedir.

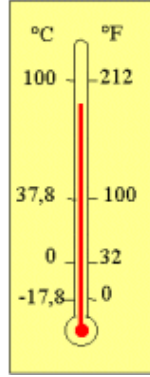
C. SICAKLIK, MANYETİK ALAN VE AKUSTİK KAVRAMLARI

1. Sıcaklık Kavramı ve Duyargaları

Çokça kullanılan bir kavram olduğu halde, sıcaklığın tam bir tanımını yapmak oldukça güçtür. Sıcaklık, duyularla algılanmakta ve genellikle "sıcak" veya "soğuk" kavramlarıyla ifade edilmektedir [10]. Gözlemlerimizden, sıcak ve soğuk iki cismin birbirine temas ettirilmesi halinde, sıcak olanın soğuduğunu, soğuk olanın da ısındığını, belirli bir süre temas halinde kaldıklarında ise, her ikisinin de aynı sıcaklık veya soğukluğa ulaştıklarını biliyoruz. Bir maddenin ısı durumunu belirten bir ifade olan sıcaklık, "ısı geçişine neden olan etken" olarak da tanımlanmaktadır. Ancak, sıcaklık artmaksızın da ısı geçişi olabileceği (ör. kaynayan su) de bilinmektedir. Sıcaklık veya soğukluk algılaması pek de güvenilir değildir. Bazen sıcak cisimler soğuk ya da soğuk cisimler sıcak olarak algılanabilmektedir. Bu güçlükleri önlemek üzere, sıcaklık ölçümünün temeli olan "sıcaklık eşdeğeri" veya Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası" tanımından yararlanılmaktadır. Buna göre iki cisim üçüncü bir cisimle sıcaklıkça eşdeğerde ise, bu iki cisim birbiriyle de sıcaklıkça eşdeğerdedir.

Sıfırıncı Yasada söz konusu edilen cisimlerden herhangi biri kalibre edilerek bir sıcaklık ölçü aleti olarak düzenlenebilir. Sıcaklık ölçü aletlerine termometre denilmektedir. Yaygın olarak kullanılan sıcaklık göstergeleri celsius (°C), [daha önceleri centigrade olarak kullanılan bu ölçek, 1948 yılından itibaren

celsius olarak anılmaya başlamıştır] bölüntülü termometrelerdir. Şekil-10'da görüldüğü gibi, celsius skalasında buz saf suyun erime sıcaklığı sıfır (0°C), kaynama sıcaklığı ise yüz (100°C) kabul edilmiştir. İngiliz milletler topluluğu ve Amerika Birleşik Devletleri gibi bazı ülkelerde kullanılmakta olan fahrenheit (°F) termometre ölçeğinde ise, saf suyun buz ve kaynama noktalarına sırasıyla 32°F ve 212°F değerleri verilmiştir.



Şekil-10. Celsius ve fahrenheit ölçeklerinin karşılaştırılması.

Celsius ve fahrenheit dereceleri arasında;

$$^{\circ}\text{C} = \frac{t^{\circ}\text{F} - 32}{1,8} \quad ^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot t^{\circ}\text{C} + 32$$

bağıntıları bulunmaktadır.

Maddelerin fiziksel özellikleri sıcaklıkla değiştiğinden (örneğin, ısınan madde genişir, ısınan tel uzar, ısınan iletkenin direnci değişir, ısınan metal renk değiştirir), tekrarlanabilir ve doğru ölçülebilmesi koşuluyla, bu özelliklerden yararlanılarak termometreler yapılabilir.

a. Isı Nedir?

Termodinamiğin en önemli kavramlarından biri de ısıdır. Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Isı da iş gibi bir enerji transfer biçimidir. Isı ve iş hiçbir cisimde depo edilemez, ancak sistem sınırlarında ve geçiş halinde iken belirlenebilir. Her ikisi de birer eğri fonksiyonudurlar. Bir başka deyişle ısı ve iş, geçiş halindeki enerjilerdir.

Isı birimi iş birimi ile aynıdır, yani joule (J) dır. Eski bir alışkanlık olarak calorie (cal) de kullanılmaktadır. 1 calorie, 1 gram suyun sıcaklığını 14,5°C 'den 15,5°C 'ye yükseltmek için gerekli olan ısı miktarıdır. 1 calorie = 4,187 joule dır.

b. Isı ve Özgül Isı

Bir maddenin sıcaklığını değiştirmek için gerekli ısı; kütlesine, cinsine ve sıcaklık farkına bağlıdır. Daha büyük kütleyi ısıtmak için, daha fazla ısı gereklidir. Örneğin, aynı ortam koşullarında, 2 kg suyu kaynama sıcaklığına kadar ısıtmak için gerekli olan ısı, 1 kg suyu kaynama sıcaklığına kadar ısıtmak için gerekli olan ısıнын iki katıdır.

Farklı maddelerin sıcaklığını aynı miktarda artırmak için, farklı miktarlarda ısı gerekmektedir. Sonuç olarak bir maddenin özgül ısısı, o maddenin 1 kg. lık kütlesinin sıcaklığını 1 K artırmak için gerekli ısıdır.

c. Isı Miktarının Ölçülmesi ve Kalorimetre

Cisimlerin, herhangi bir etki sonucunda açığa çıkardığı ısıların ölçülmesinde kullanılan ölçme aygıtlarına, “kalorimetre” veya “ısı ölçer” denilmektedir. Isı ölçümünde karşılaşılan temel güçlük, sistemle çevre arasında oluşan parazit ısı alış verişleridir. Bu alış verişler, yansıtıcı çeperler ve yalıtkan destekler kullanılarak sınırlandırılır. Mümkünse, vakumda çalışılır ve dış kap sistemle aynı sıcaklıkta tutulur. Temel ısı ölçüm yöntemleri üç grupta değerlendirilebilir:

- **Sıcaklık değişimleri yöntemi**

Bu yöntemde ısı veren veya alan numune madde, bir ısı ölçüm maddesiyle çevrilir. Bu madde genellikle kütlesi m , özgül ısı C_p ve başlangıç sıcaklığı t_1 olan sudur. Isı alış verişi sonunda suyun sıcaklığı t_2 'ye değişir. Suyun t_2 sıcaklığı t_1 'den büyükse, numune ısı vermiş, t_2 sıcaklığı t_1 'den küçükse, numune ısı almış demektir. Verilen veya alınan ısı, aşağıda verilen ısı eşitliği denklemi yardımıyla hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_{pm} \Delta T$$

Burada;

$\dot{m}$: kütleli debi, kg/s,

C_{pm} : sabit basınçtaki ortalama özgül ısı, kJ/kgK,

ΔT : sıcaklık farkı, K, dir.

- **Faz değişimleri yöntemi**

Bu yöntemde, ısı ölçüm maddesinin sıcaklık değişimi yerine, kütlesi bilinen bir saf maddenin sabit sıcaklıktaki faz değişiminden yararlanılır (örneğin, buzun erimesi, suyun buharlaşması). Isı miktarı, faz değişimine uğrayan kütle miktarı ile orantılıdır.

- **Elektriksel ısı ölçüm yöntemi**

Isı miktarı belirli bir değişime sebep olur. Aynı değişim sadece elektrik enerjisi harcanarak gerçekleştirilir ve bu enerji belirlenecek olursa, ısı miktarı belirlenmiş olur. Buradaki elektrik enerjisi, genellikle bir rezistanstan akım geçirilerek elde edilir ve devreye paralel bağlanan bir voltmetre ve seri bağlanan bir ampermetre ile ölçülür.

ç. Isı İletimi

Fizikte ısı iletimi (thermal conductivity) (λ) , ısıнын transfer oranının, mesafe ile ısı eğiminin çarpımına oranıdır. Aşağıda formülasyonu verilmiştir [11].

$$\text{thermal conductivity} = \text{heat flow rate} / (\text{distance} \times \text{temperature gradient})$$

Uluslar arası birim sistemi (SI)'ne göre ısı iletiminin birimi olarak **watts per metre-kelvin, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ veya $W/(m \cdot K)$** kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere watt bir güç birimi, metre mesafe birimi, Kelvin (K) ise sıcaklık birimidir. Isının iletimi değerlendirilirken bu üç birimin birbirleriyle ilişkileri önem kazanmaktadır.

Bu kapsamda ısı iletimine ilişkin mekanizmalar aşağıda açıklanmıştır.

- Isı enerjisi, birbiriyle temas halindeki iki cismin birinden diğerine moleküllerinin hareketlerine veya bazılarının moleküler çarpışmalarına bağlı olarak iletilebilir. Bu ısı iletim mekanizmasına "kondüksiyon" denir.
- İkinci mekanizma, ateşe yakın olan suyun ısınıp yükselerek soğuk su ile karışması örneğinde olduğu gibi, sıvı veya gaz içerisindeki ısınmış moleküllerin soğuk bölgelere hareketi yoluyla gerçekleşen ısı iletimidir ve "konveksiyon" olarak adlandırılır.
- Üçüncü mekanizma ise, güneşin dünyamızı ısıtması örneğinde olduğu gibi, ışıınım yoluyla gerçekleşen ısı iletimidir ve "radyasyon" olarak adlandırılır.

Muhtelif cinsteki maddelerin birbirinden çok farklı ısı iletim düzeyleri bulunmaktadır. Tablo-4'te bazı temel maddelerin ısı iletim değerleri verilmiştir.

Bu kapsamda elmasın ısı iletiminin ne kadar yüksek, havanın ısı iletiminin ne kadar düşük ve uygulama alanımız olan suyun ısı iletiminin de çok düşük olduğu görülmektedir [11].

Tablo-4. Muhtelif maddelerin ısı iletim değerleri.

Materyal Cinsi	Isı iletimi ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Elmas	1000-2600
Gümüş	430
Bakır	390
Pirinç	111
Altın	320
Aluminyum	236
Platinyum	70
Cam	1
Su	0.6
Yün	0.05
Hava	0.026

d. Sualtında Isı

Suların ısınmasının başlıca faktörleri;

- Doğrudan güneş ışıması ve sularda absorpsiyonu (soğurulma).
- Atmosferin ısı iletkenliği.
- Su altı yer kabuğu ısısının substratımla iletilmesi. Substratum : Bentik canlıların üzerinde yaşadığı yer (Kum, çakıl, çamur olabilir).
- Su yüzeyindeki su buharının yoğunlaşması.
- Toprak ve yer altı sularının ısı kaybı.

- Gel-git olayları.
- Yüzeyden esen rüzgarların meydana getirdiği kinetik enerjinin ısı haline dönüşmesidir.

Bununla beraber ısı kaybı ise; deniz yüzeyinden havaya geri yansıma, buharlaşma, akarsularla ve akıntılarla ısının taşınması (Adveksiyon) yollarıyla olmaktadır [12].

Sualtında ısı iletimine ilişkin yapılan muhtelif çalışmalar sonucunda elde edilen bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Göllerde yapılan çalışmalar neticesinde;

- Açık yaz günlerinde, ışığın gelme açısı su yüzeyinin özellikleri, çevrenin topolojik yapısı ve meteorolojik koşullara bağlı olarak % 5-6 arasında güneş enerjisinin geri yansıdığı,
- Suyu giren güneş ışığındaki fotonların bir kısmının su molekülleri ve sudaki çözünmüş maddeler, askıdaki partiküller (ölü organik madde, plankton, ve nekton) tarafından yollarından saptırılarak geri saçıldığı, soğurulan ışığın 25% veya daha fazlasının geri saçılacağı,
- Suyu giren ışığın büyük bir kısmının soğurulurken fotonların diğer atom ve moleküllerdeki elektronlara enerji transfer ettikleri ve bunun sonucunda harekete geçen atom ve moleküllerin ısı üreterek ortamın sıcaklığını yükselttiği,

belirlenmiştir.

Bununla beraber atmosferdeki güneş enerjisinin tümü denizlere gelmemekte, aşağıdaki gibi bir dağılım göstermektedir;

- % 16'sı atmosfer tarafından soğurulmakta,
- % 24'ü bulutlarca geri yansıtılmakta,
- % 7'si atmosfere doğrudan yansıtılmakta,

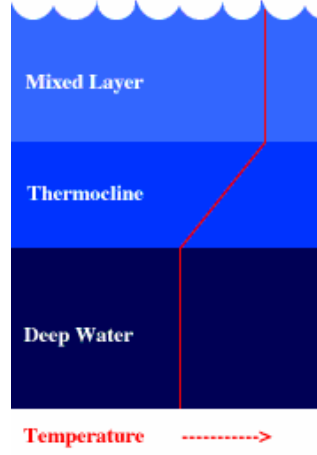
- % 4'ü yerin yüzeyinden geri yansıtılmaktadır.

Dolayısıyla güneş enerjisinin yaklaşık % 50'si ancak yeryüzünde kullanılabilir. En uygun koşullarda, yani ışımanın yüzeye dikey vurduğu durumlarda gelen güneş enerjisi ise suda derinliğe bağlı olarak aşağıdaki şekilde bir dağılım göstermektedir;

- % 73'ü ,1 cm derinliğe ulaşmakta,
- % 44.5'i, 1 metre derinliğe ulaşmakta,
- % 22.2'si, 10 metre derinliğe ulaşmakta,
- % 0.53'ü, 100 metre derinliğe ulaşmakta,
- 0.0062'si, 200 metre derinliğe ulaşmaktadır.

Tamamen temiz ve açık sularda ise bu enerji 220 metreye kadar ulaşabilmektedir. Denize ulaşan güneş enerjisi dalga boyuna bağlı olarak değişik şekilde absorbe olur. Denizdeki bu soğurulma nedeniyle de fotosentez için gerekli ışık şiddeti de derinliğe bağlı olarak hızla azalır [12].

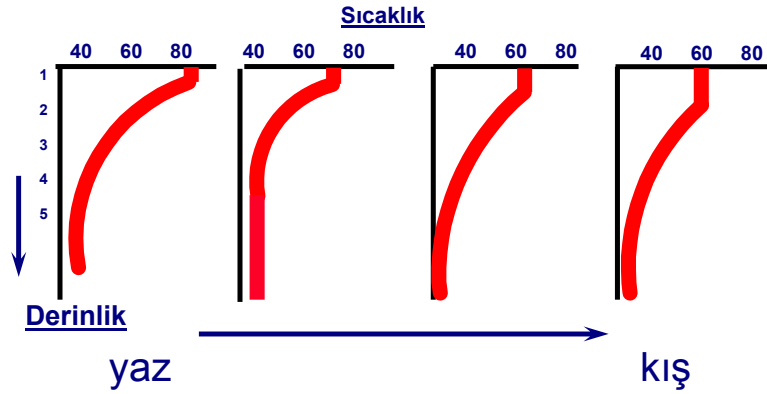
Sualtında ısı dağılımı konusunda bilinmesi gereken diğer bir kavram da termoklayn (thermocline) kavramıdır. Termoklayn sıcaklığın derinliğe bağlı olarak çok yüksek orada değişim gösterdiği katmandır (Şekil-11). Bilindiği üzere suyun ısı iletimi çok zayıftır. Dolayısıyla belirli bir derinlikten itibaren suyun sıcaklığında yüksek miktarda düşüş meydana gelmektedir.



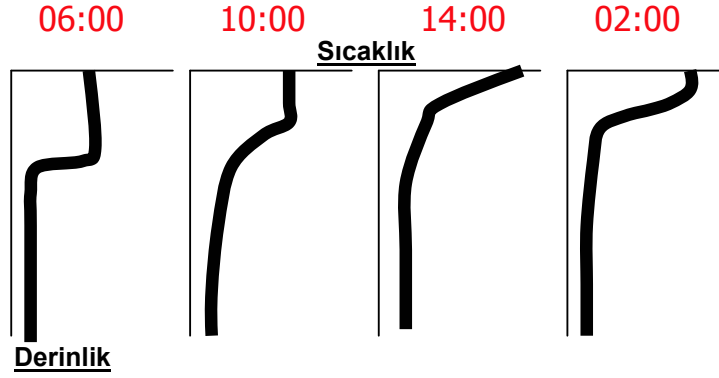
Şekil-11. Termoklayn.

Diğer bir ifadeyle derinliğin artmasıyla, sıcaklığın ani düşüşü sonucu oluşan negatif gradylene termoklayn; negatif gradyenin ses dalgaları üzerindeki etkisine de tabaka etkisi adı verilir [13]. Okyanuslarda suyun %90'lık bölümü bahse konu termoklayn tabakasının altında kalmaktadır. Termoklayn denizaltı savunma harbi alanında çok önemlidir. Aktif sonarların ekolarını yansıtmaktadır. Uygulamamızda da incelediğimiz gibi suyun sıcaklığının, tuzluluk ve basınç ile beraber ses hızına ve ses algılamaya direkt olarak etkisi bulunmaktadır.

Sualtı ortamının sıcaklık değişimine ilişkin mevsimsel grafikler Şekil-12, günlük değişimler Şekil-13'te verilmiştir.



Şekil-12. Sualtı mevsimsel sıcaklık değişimi.



Şekil-13. Sualtı günlük sıcaklık değişimi.

e. *Sıcaklık Duyargaları*

Sıcaklık duyargaları, genellikle sıcaklığı ölçülecek olan yüzeye temas etmek suretiyle çalışırlar. Temassız sıcaklık duyargaları da mevcuttur.

[1] Termoelektrik Sıcaklık Duyargaları

“Seebeck Etkisi” olarak da bilinen "Farklı iki iletken bir devre oluşturuyorsa ve devrenin iki noktası arasında bir sıcaklık farkı var ise bu devreden bir akım geçer." prensibini kullanılır. Bu duyargalar “termik çift (thermocouples)” (Şekil-14) olarak da adlandırılırlar [1]. Thermocouple (T/C), iki farklı metalin birleştirilmesiyle oluşturulur. Doğru alaşım seçimi ile ölçülebilir ve kestirilebilir bir sıcaklık-gerilim ilişkisi elde edilir. T/C 'larla ilgili en sık yanlış anlaşılan konulardan biri de gerilimin tam olarak nerede oluştuğudur. Çoğu kimse bahse konu gerilimin iki metalin birleşim noktasında var olduğunu düşünür; ancak gerçekte çıkış gerilimi bimetal üzerinde uzunlamasına (sıcaklık değişimi yönünde) oluşur. T/C'ların ürettiği gerilim, seçilen metallerin cihaz bağlantı noktasında var olan termoelektrik enerjilerinin farkıdır. Bu kestirilebilir gerilim gerçek işlem (process) sıcaklığıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil-14. Thermocouple.

T/C'ların geniş bir çalışma aralığı vardır ve yüksek sıcaklık uygulamaları için idealdirler. Soy metal alaşımlarından yapılmış olan T/C'lar 1700 derece santigrata kadar olan sıcaklıkları izleme ve kontrol için kullanılabilirler. T/C'lar özellikle minyatür duyarga tasarımları için de idealdir. Basit yapıları, aşırı şok veya vibrasyon gibi olumsuz ortam koşullarına karşı dayanıklı olmalarını sağlar. T/C'lar sıcaklık değişimlerine ani değişiklik göstermek üzere küçük boyutlarda da düzenlenebilirler.

T/C'lar pekçok şekil ve boyutta olabilirler. Yalıtımlı T/C'lar en çok kullanılan tiptir. Bu tip bir T/C'da tel haline getirilmiş metal alaşımlar yalıtım malzemesiyle kaplanır ve T/C alaşımları arasında hem fiziksel hem de elektriksel yalıtım sağlarlar. Yalıtım malzemeleri 1260 derece santigrata kadar olan sıcaklıklarda işlevlerini sürdürebilirler. T/C'lar kısa dönemli ölçümler için ekonomiktirler.

[2] Rezistif Sıcaklık Duyargaları

- **RTD**

İletkenlerin iletkenliği sıcaklık ile değişir. “RTD (Resistance Temperature Detector)” (Şekil-15) olarak da bilinen bahse konu transdüserler bu prensibi kullanmaktadırlar. Hassas sıcaklık duyargalardır. Hassaslık, uzun süreli elektriksel direnç kararlılığı, eleman doğrusallığı ve tekrarlanabilirliği gibi

özellikler isteyen uygulamalarda kullanılırlar. Çok geniş bir sıcaklık aralığında ölçüm alabilirler [1]. (Bazı platin duyargalar -164 C ; +650 C arasında çalışabilir)



Şekil-15. RTD.

RTD'lerde bulunan algılama elemanı genellikle bir platin tel sargısı veya seramiğe uygulanmış ince bir metalik tabakadır. Halihazırda 0.0025 derece santigrat kararlılığına sahip hassas termometre üretilebilmektedir. Platin ve bakır elemanlara sahip RTD'ler termik çiftler (thermocouples) ve pek çok termistöre göre daha doğrusal bir davranış gösterirler. Termik çiftlerden farklı olarak bir RTD cihaz bağlantıları için bakır kullanır ve dolayısıyla "cold junction compensation" gerektirmez. Bu da sistem maliyetinin düşmesini sağlar. RTD'lerin dezavantajları ise, daha yavaş tepki, şok ve vibrasyona duyarlılık, sıcaklık değişimlerinde küçük direnç değişimi (düşük duyarlılık), ve düşük taban direncidir. RTD'ler geniş bir alana yayılarak pek çok noktadan ölçüm alabilirler ve bunların ortalamasını vererek daha az hatalı sonuçlar elde edilmesini sağlarlar. Termik çiftlerde bu çeşit uygulama pek mümkün değildir.

- **Termistörler**

Rezistif sıcaklık duyargalarında yarı iletkenlerin kullanıldığı sıcaklık duyargalarına ise "Termistör" denir. Termistörler (Şekil-16) ısınınca direnci değişen elemanlardır. Bu duyargalar küçük sıcaklık değişikliklerine karşı

duyarlıdırlar. Düşük sıcaklık uygulamaları için (sınırlı sıcaklık aralıklarında) uygundur. Fiziksel boyutları küçüktür. Nokta tipi duyargalar için boyutları bir iğne ucu kadar olabilir [1].



Şekil-16. Termistörler.

Termistörler kullanıldıkça daha kararlı hale gelirler. Termistörün derecesine ve fiyatına bağlı olarak performansları düşük doğruluktan kaliteli RTD'lerle boy ölçüşebilecek yüksek doğruluğa kadar değişebilir. Termistörler bir işlem değişkeninin yarım veya bir dereceye kadar olan sıcaklık aralığındaki kontrolüne olanak tanırırlar. Pek çok termistör RTD'lerden daha ucuzdur; ancak koruyucu kılıflarla bu fiyat aralığı daralır. Termistörlerin ana direnci binlerce Ohm olabilir. Bu da aynı ölçüm akımı ile RTD'lerden daha büyük bir gerilim değişikliği sağlar; ve kablo direnci problemlerini ortadan kaldırır. Termistörlerle çalışırken akıma dikkat edilmelidir çünkü termistörler sıcaklığa RTD'lerden daha duyarlıdırlar. Yeni termistörlerden bazıları bunu engellemek için farklı bazı düzeneklere sahiptirler ancak fiyatları da bu kapsamda yüksektir.

Termistörlerin dezavantajları ise duyarganın kırılma yapısı, sınırlı sıcaklık aralığı, yüksek sıcaklıklarda dekalibrasyondur. Termistörler birbirleriyle değiştirilebilirler ve ek bir devre eklenmediği sürece devre açmalarına karşı bir güvenlik sağlayamazlar. Ayrıca termistörler RTD'ler ve Termik çiftlerle aynı seviyede endüstri standartlarına sahip değildirler. Termistörler sıcaklık sabitine göre ikiye ayrılırlar. Bunlar ; “Pozitif sıcaklık sabitine sahip dirençler (PTC)” , “Negatif sıcaklık sabitine sahip dirençler (NTC)”.

Pozitif sıcaklık sabitine (PTC) sahip dirençler ısındığı zaman, direnç değeri büyür. Metaller, özellikle de baryum titamat ve fungsten bu özelliğe sahiptir. Çok değişik kullanım alanları vardır. Örnek olarak; bir röleye paralel bağlanan bir PTC direnç, rölenin gecikmeli çalışmasını sağlar. Florasan lambalarda da starter yerine PTC direnç kullanılabilmektedir.

Negatif sıcaklık sabitine (NTC) sahip dirençlerin ise ısındığı zaman direnç değerleri düşer. Germanyum, Silikon, ve metal oksitlerden üretilir. NTC termistörlerin çok değişik kullanım alanları vardır. Örneğin motor ve transformatör gibi aşırı ısınması istenmeyen sistemlere yerleştirilen NTC termistörün direnci fazla ısınmadan dolayı küçülen bir alarm ve koruma devresini harekete geçirir. Bir su deposunda seviye kontrolü için yerleştirilen NTC direnci su seviyesi düşünce, ısınarak pompa devresini çalıştırır. Bir motora seri bağlanan NTC direnç önce küçük akım çekerek güvenli yol almasını sağlar. Bir röleye seri bağlanan NTC direnç rölenin gecikmeli çalışmasını sağlar.

- **Temassız Duyargalar**

Rezistif sıcaklık duyargalarının diğer bir çeşidi ise “Pirometreler (IR duyarga)”dır (Şekil-17). Pirometreler temassız olarak sıcaklık ölçen cihazlardır. Cisimlerin sıcaklıklarını yaydıkları ısıdan ölçerler. Ölçme aralıkları 3000 °C dereceye kadar çıkabilmektedir [1].

Bir IR cihazı nesne tarafından yayılan enerjinin bir kısmını toplar ve onu nesnenin bilinmeyen sıcaklığı ile ilişkilendirir. IR duyargalar birçok avantaja sahiptirler ve temaslı duyargaların uygun olmadığı her yerde kullanılabılırler. IR duyarga ısı kaynaklarından uzağa monte edilerek bunların ölçüm değerlerini etkilemesi önlenabilir, kirli veya patlayıcı ortamdan izole edilmeleri tavsiye edilmektedir.



Şekil-17. IR duyarga.

f. Uygun Sıcaklık Duyargasının Seçimi

Gerek otomasyon uygulamaları gerek özel uygulamalar olsun uygun sıcaklık duyargasının seçimi için sıcaklık duyargalarına ilişkin aşağıda belirtilen kriterleri takip etmek yeterli olacaktır. Sıcaklık duyargalarının devre kapama, sistem performansının izlenmesi, aşırı sıcaklık tespiti, termal kalibrasyon gibi pek çok alanda kullanıldığı dikkate alınarak uygulama için en efektif sıcaklık duyargasının seçilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda;

- Platinyum RTD’ler doğruluk ve kararlılık açısından uzun ömürlü uygulamalarda en sık kullanılan sıcaklık duyargalarıdır. Termistörlere nazaran biraz daha pahalıdırlar. Bazı otomasyon uygulamaları RTD duyargalarına direkt olarak uygun değildir, ilave eklentiye ihtiyaç duyarlar, bu durum da maliyeti arttırmaktadır.
- Termistörler RTD’ler kadar doğru ve kararlı olmasalar da yinede çok kolay bağlanmaları, bağlantılarının çok basit olması ve tüm otomasyon sistemlerinin ilave eklentiye gerek duymadan kabul etmesi gibi faktörler termistörleri avantajlı kılmaktadır. Ayrıca ihtiyaca bağımlı farklı türden pek çok uygulamayı desteklerler.
- Termik Çiftler (Thermocouples) ise endüstride diğer tüm sıcaklık duyargalarına nazaran en yaygın kullanılan sıcaklık duyargalarıdır.

Bundaki en büyük etken çok yüksek sıcaklık değerlerinde doğruluğu yüksek oranda çalışabilmesi ve RTD'lerden daha ucuz olmalarıdır. Ayrıca baca gazı ölçümleri gibi spesifik uygulamalar için de idealdir.

Bununla beraber bazı uygulamalara ilişkin sıcaklık duyargalarının karşılaştırmaları Tablo-5'te verilmiştir.

Tablo-5. Sistem sıcaklık monitörü kapsamında sıcaklık duyargaları.

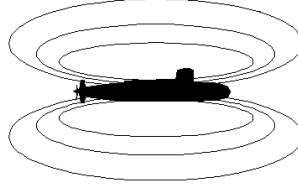
Measurement target	Best sensor types	Advantages	Disadvantages
PC board	IC (analog) IC digital Thermistor RTD	Cost, linearity Cost, digital output, linearity Cost Repeatability	- - Nonlinearity Cost
Air	Thermistor Thermocouple RTD IC (analog or digital)	Cost, low thermal mass Cost, low thermal mass Repeatability Cost, linearity	Nonlinearity Signal conditioning (increases cost) Cost Difficult to isolate from PCB temperature
CPU, FPGA, power device, module, etc, (measured under or near device)	IC (analog) IC (digital) Thermistor RTD	Cost, linearity Cost, digital output, linearity Cost Repeatability	- - Nonlinearity Cost
CPU, FPGA, power device, module, etc, (contact)	Thermistor Thermocouple RTD	Cost, low thermal mass Cost, low thermal mass Repeatability	Nonlinearity Signal conditioning (increases cost) Cost
CPU, FPGA, power device, module, etc, (with thermal diode)	IC (remote digital temperature sensor)	Linearity, digital output response time, accuracy	-

2. Manyetik Alan Kavramı

Dünya küre şeklinde bir mıknatıs gibidir. Bu yüzden etrafında bir manyetik alan vardır. Dünya'nın manyetik alanı, Dünya'nın merkezine konmuş çubuk bir mıknatısın (dipol) oluşturduğu manyetik alana benzer. Bu dipolün eksenini, dünyanın dönme eksenleriyle 11 derecelik bir açı yapar. Bu da coğrafik kuzey ve güney kutuplarının, manyetik kuzey ve güney kutuplarından farklı yerlerde olduğunu gösterir. Dünya'nın manyetik alanı vektörel bir büyüklüktür [14]. Dünya üzerinde herhangi bir yerdeki manyetik alan bu vektörün yönü ve şiddetiyle tanımlanır.

Manyetik alan değişik yerlerde farklı değerlere sahiptir ve bölgesel değişimlerin yanı sıra zamana bağlı olarak da değişim gösterir. Bir bölgenin manyetik alanını tanımak için, belli aralıklarda sürekli ölçüm yapmak gerekir. Bu ölçümler dünya yüzeyine yayılmış 200 kadar jeomanyetik rasathane tarafından yapılmaktadır.

Manyetizma etkisine sahip her metal bir manyetik alan yaratacağından, bu tür maddeleri içeren araçlar da çevrelerinde manyetik alan yaratırlar. Su altı araçlarından denizaltılar oldukça büyük bir manyetik alan yaratmaktadırlar. Denizaltıların yarattığı manyetik alan dezavantajı bazı mayın ve su altı silah sistemleri tarafından kullanılmaktadır. Su altında denizaltı tespit çalışmalarında manyetik alan anomali tespit yöntemi kullanılmaktadır. Fakat bu yöntem büyük ve pahalı duyarga ve bu duyargalar kullanılarak yapılan gelişmiş cihazlarla yapılmaktadır [15]. Uygulamamızda aynı yöntemi mikro duyargalar kullanarak çok düşük maliyetle gerçekleştirmeye çalıştık. Su altı araçlarının oluşturduğu manyetik alan etkisini azami 15 metre mesafeden tespit etmek hedefiyle manyetik alan mikro duyargası kullandık. Denizaltının yarattığı manyetik alan etkisi Şekil-18'de görüldüğü gibidir.



Şekil-18. Denizaltı manyetik alanı.

Manyetik yayılım ses,ışık ve radar gibi diğer enerji yayılımlarından farklı bir yayılım göstermektedir. Manyetik enerji hava ve su ortamında aynı yayılım özelliklerini gösterdiğinden havadan suya ve sudan havaya geçerken kırılma ve bozulma göstermemektedir. Manyetik alan sualtında ve havada aynı hız ve biçimde yayılmaktadır [15].

Manyetik alan anomali tespit yönteminin esası dünyanın manyetik alan çizgilerini ortamdaki bir nesnenin manyetik alan etkisiyle bozmasına dayanmaktadır. Dünyanın doğal manyetik alan çizgilerinin ortama manyetik etkiye sahip bir cisim girdiğinde doğrusallıkları bozulmaktadır.

3. Akustik Kavramı

a. Ses Fiziği

Tezimizde araştırılması en önemli konulardan birisi su altındaki akustik yayılım prensipleridir kuşkusuz. Fakat her şeyden önce bu konularda fikir sahibi olabilmek için ses fiziğinin temellerinin incelenmesi gerekecektir. Bu bölümde sesin yapısı ve elemanlarından bahsedilecektir. Ayrıca, sesi ilginç ve anlamlı kılan kalitesi ve şiddetinden söz edilecektir. Öncelikle sesin gerçekte ne anlama geldiğinden başlamak faydalı olacaktır.

Çok basit olarak ses bir maddenin titreşimidir. Bu madde hava, su, ağaç veya herhangi bir metal olabilir. Aslında sesin iletilmediği tek ortam vakumdur.

Bu maddeler titreştiğinde veya hızla ileri geri hareket ettiğinde ses üretirler ve kulağımız bu titreşimleri toplayarak sesi ayırt etmemizi sağlar.

Bir ses dalgasının dört ana unsuru bulunur. Bunlar dalgaboyu, periyodu, genliği ve frekansıdır. Dalgaboyu, bir ses dalgası üzerindeki iki benzer nokta arasındaki yatay mesafedir veya diğer bir ifade ile bir sayıklık dalganın yatay uzunluğudur. Periyod ise bir noktadan geçen tam bir sayıklık dalganın kapsadığı süre olarak tanımlanır. Kısacası periyod bir dalganın bir dalgaboyu mesafe kadar ilerlemesi için geçen süredir.

Bir dalganın genliği o dalganın yüksekliği ile ifade edilir. Ortamda yüksek bir ses olduğunda, dalga yüksek ve genlik değeri büyük olacaktır. Bir ses dalgasının frekansı Hertz (Hz) cinsinden ölçüldüğü bilinmektedir. Hertz bir noktadan bir saniye içersinde geçen sayıklı adedidir. Frekans artırıldığında yani algılanan sesin titreşim hızı artırıldığında sesin şiddeti de artacak ve frekans düşürüldüğünde sesin şiddeti alçalacaktır.

Herhangi bir dalgada olduğu gibi bir ses dalgasının hızı da frekans ve dalgaboyuna matematiksel bir bağıntı ile bağlıdır. Hız, frekans ve dalgaboyu arasındaki matematiksel ifade bu faktörler arasındaki ilişkiyi açıklayan temel bir ifade olması nedeniyle aşağıda verilmiştir :

$$Hız = Dalgaboyu * Frekans$$
$$V = \lambda * f$$

Ses içinden geçtiği ortama bağlı olarak farklı hızlarda hareket eder. Sesin en hızlı iletildiği ortam en yüksek yoğunluk değerine sahip olan katı ortamlardır. Bunları sıvı ortamlar takip etmektedir. Mesela donma noktası olan '0 °C'taki gaz ortamında ses 331 m/sn hızla hareket ederken, '20 °C' oda sıcaklığında 343 m/sn hızla ilerlemektedir. Tatlı suda ses 1482 m/sn hızla iletilmektedir. Bu değer havadaki iletim hızının yaklaşık 4 katıdır. Ses dalgaları çelik bir maddede hava ortamına kıyasla yaklaşık 17 kat daha hızlı iletilmektedir (Tablo-6) [16].

Tablo-6. Sesin maddelerdeki yayılım tablosu.

Substance	Temp (°C)	Speed (m/s)
Gases		
Carbon Dioxide	0	259
Oxygen	0	316
Air	0	331
Air	20	343
Helium	0	965
Liquids		
Chloroform	20	1004
Ethanol	20	1162
Mercury	20	1450
Water	20	1482
Solids		
Lead	–	1960
Copper	–	5010
Glass	–	5640
Steel	–	5960

b. Sualtı Akustik Yayılımı

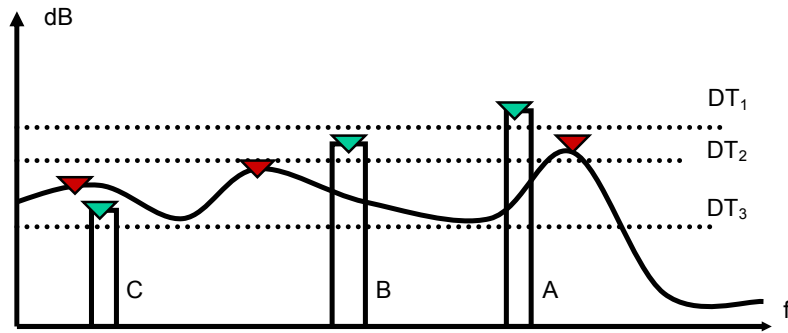
Sualtıdaki akustik iletişimi temel olarak Yol Kaybı (path loss), Gürültü (noise), Çoklu Yol Etkisi (multi-path), Dopler Etkisi (doppler spread) ve yüksek veya değişken özellikler gösteren Yayılım Gecikmesi (propagation delay) etkilemektedir [5]. Uygulamamız sırasında ve bu uygulamanın muhtemel geleceğinde kullanılacak olan *sualtı duyurga ağları* için sualtı ses kanalları tarafından ortaya atılan değişim koşullarını belirlemek maksadıyla akustik iletişimi etkileyen faktörler incelenecektir.

Yol Kaybı, temel olarak akustik enerjinin ısıya dönüşümü sırasında oluşan emilme nedeniyle oluşan *azalma (attenuation)*, ses dalgalarının genleşmesi sonucunda ses enerjisinin *geometrik dağılması (geometric spreading)* ile ilgilidir. Azalma, mesafe ve frekansla doğru orantılı olarak artış gösterir. Aynı zamanda

reverberasyon, saçılma (scattering), kırılma (refraction) ve yansıma noktasının yer değiştirmesi nedeniyle ortaya çıkan dağılma (dispersion) etkisinden kaynaklanabilmektedir. Bulunulan sualtı ortamının derinliği azalma miktarının belirlenmesinde anahtar bir rol oynamaktadır. Geometrik dağılma, yayılma mesafesi ile doğru orantılı olarak artış gösterirken frekanstan bağımsızdır. Küresel (yönsüz bir ses kaynağı) ve Silindirik (yatay doğrultuda yayılım yapan bir ses kaynağı) olmak üzere iki çeşit geometrik dağılma söz konusudur.

Gürültü ise genel olarak makine gürültüleri ve gemi omurga sürtünmesi, pervaneden kaynaklanan kavitasyon gibi özellikle yoğun deniz trafiğinin bulunduğu bölgelerde rastlanan seyrek yönelik gürültüler (*man made noise*) ve suyun dalga, akıntı, rüzgar etkisi ile hareketlenmesi, sismik ve biyolojik olaylar (*ambient noise*) gibi genelde hidro-dinamik konular ile ilgilidir.

Yakalama Eşiği (detection threshold - DT) DT değerinin tespit edilmesi son derece kritik bir işlemdir. Eğer DT değeri yüksek değerlere ayarlanırsa algılanması amaçlanan herhangi bir muhtemel hedef gözden kaçabilmektedir. Diğer taraftan bakıldığında DT değerinin düşürülmesi her anomalinin algılanarak, arzulanan hedefin algılanmasında yanlış ikazlamalara neden olacaktır (Şekil-19). Kısacası DT değerinin doğru olarak tespit edilebilmesi uygulamaların başarısını direkt olarak etkileyen en önemli hususlardan biridir.



Şekil-19. Eşik seviyesinin tespit edilmesi.

Aşağıdaki ifadeler DT değerinin hesaplanmasında kullanılan ana formüllerdir. ‘S’ Sinyal, ‘N₀’ Gürültü Seviyesi ve ‘SNR’ Gürültü Ses Oranını ifade etmektedir.

$$SNR = S/N_0$$

$$DT = 10 \text{ LOG } (SNR) = 10 \text{ LOG } (S/N_0)$$

Çoklu Yol Etkisi akustik iletişim sinyalinin çok önemli bir derecede azalmasına neden olmaktadır. Sualtı ses kanallarındaki yayılım hızı radyo kanallarındakinden beş kat daha yavaştır. Bu aşırı yüksek yayılım gecikmesi (0.67 sn/km) sistem verimini fark edilebilir ölçüde azaltmaktadır. Anılan faktörlerin çoğunluğu su ortamının sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk gibi fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Bu değişimler, ses kanalının dalga yapısı ile birlikte akustik kanalın geçici ve uzaysal olarak sürekli değişim içersinde olmasına neden olmaktadır. Algılayıcıya doğru yaklaşan bir ses kaynağı ritimde artışa neden olacaktır. Bunun nedeni ses kaynağının önündeki sesler kaynak ilerledikçe kaynaktan sonradan üretilen ses tarafından sürekli bastırılacak olmasıdır. Bu durum aynı kaynaktan yayılan birden fazla sesin insan kulağına aynı anda ulaşmasına neden olmaktadır. Algılayıcıdan uzaklaşan bir ses kaynağı ise ritimde bir düşüşe yol açmaktadır. Ses kaynağının yaklaşma veya uzaklaşması ile sesin ritminde meydana gelen bu etkiye ‘Doppler Etkisi’ adı verilir.

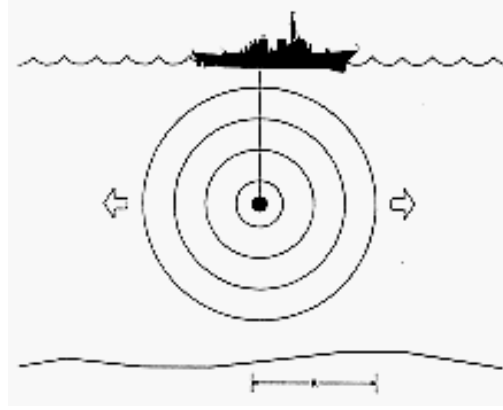
Sualtı akustiği ses dalgalarından bir seyir metodu, haberleşme ve hedef tespiti maksatları ile faydalanma bilimidir. . Anılan teknoloji aynı zamanda deniz dibi yapısını ve buradaki yer tabakasının profilini belirlemede de kullanılmaktadır [17]. Bir sualtı akustik sinyali üretmenin en yaygın metodu daha sonradan mekanik enerjiye çevrilebilen bir elektronik sinyal yaratmaktır. Mekanik enerji daha sonra su ortamına bir ses dalgası olarak iletilir. Ortam ne kadar yoğunlaşırsa sesin ortam içersindeki yayılma hızı da o kadar artış gösterecektir.

[1] Transmisyon Kayıpları

Akustik sinyaller ortam içersinde ilerlerken muhtelif nedenlerle kayba uğramaktadırlar. Gönderilen ses dalgaları yayılma ve dağılma gibi kayıplarla karşılaşmaktadır.

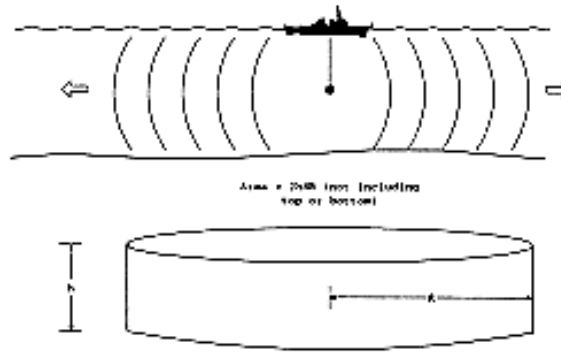
- **Yayılma Kayıpları**

Yayılma kayıpları yayılmanın şekline bağlıdır. İki tip yayılma şekli vardır. Küresel yayılma aşağıda (Şekil-20) görülmektedir.



Şekil-20. Sesin küresel yayılımı.

Ses silindirik olarak yayıldığında, meydana gelen yayılma şekli ise Şekil-21’de gösterilmektedir.



Şekil-21. Sesin silindirik yayılımı.

- **Dağılma Kayıpları**

Ses dalgalarından bir kısmı ortam veya karşısına çıkan engeller tarafından emilirler. Bu tür kayıplar “Emilme Kayıpları (Absorption)” olarak adlandırılırlar. Emilme sırasında akustik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Yüksek frekansa sahip ses dalgalarında Emilme miktarı daha fazladır. Ses dalgalarından bir kısmı ise ortamda karşısına çıkan engellere çarparak etrafa farklı açılar ile sapmalar gösterir. Bu tür kayıplar “Saçılma Kayıpları (Scattering)” olarak adlandırılırlar. Saçılma kayıplarına bir nesne neden olabileceği gibi deniz yüzeyi veya tabanı da neden olabilmektedir. “Sızma (Leakage)” olarak adlandırılan kayıplara ise sesin deniz tabanına teğet geçtiği durumlarda rastlanmaktadır.

[2] Ses Yolu (Path of Sound)

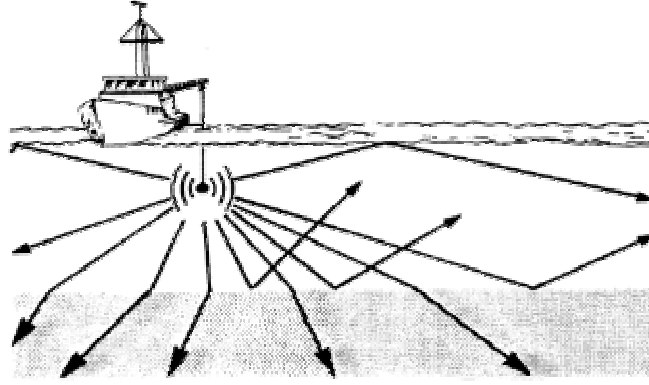
Ses dalgaları sınırlı mesafeler içerisinde direk hatlar boyunca veya bir başka ifade ile “görüş hattında (line of sight)” hareket etmektedirler. Bu da vericiden gönderilen bir sualtı akustik sinyalinin alıcının direk görüş hattında olduğu zaman en efektif olarak algılanabilmesi demektir. Akustik sinyaller çok büyük boyutlardaki doğal veya insan yapımı nesneler tarafından engellenebilmektedirler.

Bir ses dalgası veya akustik sinyal büyük bir nesneye yakın bir mesafeden yayınlandığında, bu nesnenin hemen arkasındaki bölgede sesin algılanamadığı bir *sessizlik bölgesi (zone of silence)* veya *gölge bölge (shadow zone)* oluşur. Gölge bölgelerden ancak bu tür büyük nesnelerden uzaklaşarak görüş hattı tesis edildiğinde kaçınılabilmektedir.

[3] Ses ve Isıl Hatlar (Thermoclines)

Sudaki ses dalgaları “ısıl hatlar” tarafından yansıtılır veya kırılmaya uğratılır. Isıl hat farklı sıcaklık veya yoğunluklara sahip su tabakaları arasındaki

sınırlara verilen bir isimdir. Bu ifade yerine özellikle askeri alanda Tabaka Derinliği (Layer Depth) tanımı da sıklıkla kullanılmaktadır. Alçak tabaka daima daha yoğun olmaktadır ve daha yoğun su daha soğuk olduğundan derinlere gidildikçe su sıcaklığı da düşüş gösterecektir. Daha önce bahsedildiği gibi ses dalgaları yoğun yani daha soğuk olan ortamlarda daha hızlı hareket edebilmektedir. Isıl bir hatta sinyallerin çoğu yansiyacaktır (Şekil-22). Fakat bazı sinyaller bu tabakayı sürat ve yönlerini değiştirerek aşacaktır.



Şekil-22. Sualtı ısıl hatlarda kırılma.

[4] Gürültü, Hava Ortamı ve Tuzluluğun Ses Üzerine Etkileri

Sualtıdaki ses dalgaları biyolojik ve yapay gürültülerden etkilenmektedir. Akustik sinyallerin menzilleri gürültü ile bastırıldığından zaman zaman önemli düşüşler göstermektedir. Sudaki ses dalgalarının etkilendiği diğer bir özellik ise tuzluluk oranıdır. Yüksek tuzluluk değeri akustik sinyallerin emilmesine, saçılmasına ve dağılmasına neden olmakta, akustik sinyalin menzilini de düşürmektedir. Aşağıda sıralanan bazı değerler sıcaklık veya yoğunluk gibi bazı etkenlerin ses yayılımını ne kadar etkilediğini göstermesi açısından oldukça önemlidir :

- Su sıcaklığında 1 °C lık bir artış, sualtındaki ses hızını 3 m / sn ,

- Sudaki tuzluluk oranında % 0,1 lik bir artış, ses hızını 1.2 m / sn ,
- Derinlikteki 30 m lik bir artış, ses hızını 6 m / sn artırmaktadır.

c. Doğru Mikrofonun Seçilmesi

Mikrofonlar ses enerjisini analog elektrik sinyallerine çeviren özel çeviricilerdir. Bu elektrik sinyalleri daha sonra farklı işlemlerin uygulanabileceği veya bu sinyallerin saklanması yarayan diğer ses ile ilgili cihazlara aktarılırlar. Mikrofonlar genel olarak Dinamik ve Kondansatör tipi mikrofonlar olmak üzere 2 ana tipe sahip olmalarına rağmen farklı sınıflandırmalar da yapmak mümkündür.

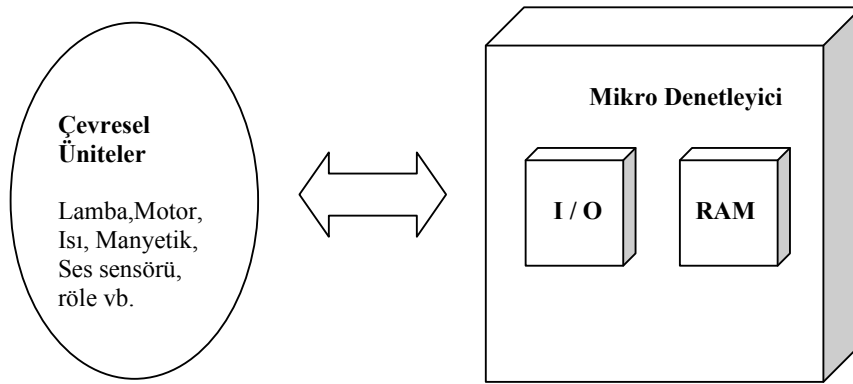
Farklı amaçlar için geliştirilen farklı uygulamalarda hangi prensibe göre çalışan mikrofonların kullanılması gerektiğine karar vermek son derece önemli bir konudur. Farklı ses kaynaklarından ve farklı ortamlarda ses kaydederken veya sesleri dinlerken farklı mikrofonların belirgin bazı özellikleri kullanıcılara avantajlar sunar. Projemiz ile ilgili uygulama yapılırken yukarıda belirtilen mikrofon tiplerine yönelik aşağıda açıklanan kullanım özellikleri ve tercih sebepleri göz önünde bulundurulmuş ve hangi tip mikrofon tipinin kullanılmasının avantaj sağlayacağı değerlendirilmiştir. Her şeyden önce bu konudaki bazı genel tanımlamaların ve kısa açıklamaların önceden yapılması faydalı olacaktır.

Süreksizlik cevabı bir mikrofon diyaframının ses dalgasındaki değişikliğe ne kadar kısa sürede cevap verebildiğidir. Özellikle darbeli seslerde mikrofonlar arasında ses algılaması açısından büyük farklılıklar meydana gelebilmektedir. Uygulamamızda algılanmasına çalışılan durum için süreksizlik cevabı çok önemli değildir. Bazı sesleri kaydederken bir mikrofonun frekans cevabı (frequency response) önemli bir parametredir. Bir mikrofonun frekans aralığındaki herhangi bir frekansa sahip ses o mikrofon tarafından doğru olarak alınabilmelidir.

D. MİKRO DENETLEYİCİLER

1. Giriş

Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I / O ünitesinin tek bir yonga içerisinde üretilmiş biçimi mikro denetleyici (microcontroller) olarak adlandırılır. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış olan mikro denetleyiciler , mikroişlemcilerle göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüz mikro denetleyicileri otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fax-modem cihazlarında, fotokopi, radyo, TV, bazı oyuncaklar gibi sayılamayacak kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Aşağıdaki Şekil-23'te bir mikro denetleyici sisteminin temel bileşenlerinin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil-23. Mikro denetleyici temel bileşenlerinin blok diyagramı.

Mikroişlemci ile kontrol edilecek bir sistemi kurmak için mutlaka sistemde bulunması gereken bileşenler vardır. Merkezi İşletim Ünitesi (CPU), Bellek (RAM), giriş / çıkış (I / O) ve bu ünitelerin arasındaki veri alış verişi kurmak için veri yolu (Data Bus) gerekmektedir. Tüm bu bileşenleri bir arada tutacak baskılı devre de gerekli olan ünitelerdir. Mikro denetleyici ile kontrol

edilecek sistemde ise tüm bu bileşenlerin yerine geçecek bir yonga (mikro denetleyici) ve devre kartı kullanmak yeterli olmaktadır [18]. Tek yonga kullanılarak elektronik çözümler üretmek mikroişlemci kullanılarak üretilecek olanlardan daha düşük maliyet getirecektir. Mikro denetleyiciyi kullanmak ve programlamak mikroişlemciye göre daha kolaydır.

2. Mikro Denetleyiciler Hakkında Genel Bilgiler

Bilgisayar teknolojisi alanında her mikroişlemci üreten firma mikro denetleyici de üretmektedir (Tablo-7). Farklı firmaların ürettiği mikro denetleyici mimarileri arasında çok az farklar bulunmasına rağmen aynı görevi yerine getirmektedirler. Her firma ürettiği mikro denetleyici yongasına bir isim ve özelliklerini birbirinden ayırt etmek için parça numarası vermektedir [18].

Tablo-7. Mikro denetleyici firmaları ve ürettikleri mikro denetleyiciler.

Üreticinin Adı	Ürün Örnekleri
Microchip	PIC 12C508, 16F84, 16C711, 16F877, 17CR42, 18C242
Intel	8031AH, 8051AH, 8751AHP, 8052AH, 80C51FA
Motorola	HC05, HC11, 6800, 6801, 6804, 6805, 6809
Atmel	ATtiny10, AT90S1200, AT90LS8535, ATmega161
Zilog	Z8
SGS-Thomson	ST6
Scenix	SX18, SX28
Basic Stamp	BS1-IC, BS2-IC

Bir uygulamaya başlamadan önce hangi firmanın ürünü kullanılacağına, daha sonra da hangi numaralı mikro denetleyicinin kullanılacağına karar vermek gerekmektedir. Böyle bir seçim öncesi mikro denetleyicinin kullanılacağı uygulamada istenen özellikler ortaya konmalıdır. Uygulamalarda mikro denetleyicilerden beklenen özelliklerden bazıları;

- Programlanabilir dijital paralel giriş / çıkış.
- Programlanabilir analog giriş / çıkış.
- Seri giriş / çıkış (senkron, asenkron ve cihaz denetimi gibi).
- Motor ve servo kontrol için pals sinyali çıkışı.
- Harici giriş vasıtasıyla kesme.
- Timer vasıtasıyla kesme.
- Harici bellek arabirimi.
- Harici yol arabirimi (PC ISA gibi).
- Dahili bellek tipi seçenekleri (ROM, EPROM, PROM ve EEPROM).
- Dahili bellek seçeneği.
- Kayan nokta hesaplaması.

3. Neden PIC ?

PIC Serisi mikro denetleyiciler MICROCHIP firması tarafından geliştirilmiş ve üretim amacı çok fonksiyonlu mantık uygulamalarının hızlı ve ucuz bir mikro denetleyici ile yazılım yoluyla karşılanmasıdır. PIC, adını İngilizce'deki Peripheral Interface Controller cümlesindeki kelimelerin baş harflerinden almış olan bir mikro denetleyicidir. Anlamı Çevresel Ünite Denetleme Arabirimi'dir. PIC gerçekten de çevresel üniteler adı verilen lamba, motor, röle, ısı ve ışık duyargası gibi giriş çıkış elemanlarının denetimini çok hızlı olarak yapabilecek şekilde dizayn edilmiş bir yongadır. RISC mimarisi adı verilen bir yöntem kullanılarak üretildiklerinden bir PIC mikro denetleyiciyi programlamak için kullanılacak komutlar oldukça basit ve sayı olarak ta azdır. 1980'lerin başından itibaren uygulanan bir tasarım yöntemi olan RISC (Reduced Instruction Set Computer) mimarisindeki temel düşünce, daha basit ve daha az komut kullanılmasıdır. İlk olarak 1994 yılında 16 bitlik ve 32 bitlik büyük işlemcilerin giriş ve çıkışlarındaki yükü azaltmak ve denetlemek amacıyla çok hızlı ve ucuz bir çözüme ihtiyaç duyulduğu için geliştirilmiştir [19].

PIC in bu hafıza kapasitesi ilk anda çok düşük gözükmemektedir ama bir risc işlemci olması birçok işin bu kapasitede uygulanmasına olanak vermektedir. PIC serisi tüm işlemciler herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 adet kondansatör, 1 adet direnç ve bir kristal ile çalıştırılabilmektedir. Tek bacadan 40 mA akım çekilebilmekte ve entegre toplamı olarak 150 mA akım akıtma kapasitesine sahiptir. Entegrenin 4 Mhz osilator frekansında çektiği akım çalışırken 2 mA stand-by durumunda ise 20uA kadardır. PIC 16C54 ün fiyatının 2.0 US\$ civarında olduğu düşünüldüğünde bu işlemcinin avantajı kolayca anlaşılmaktadır.Uygulamada kullanılacak mikro denetleyici seçiminde göz önüne alınan kriterler;

- **Kod Verimliliği yüksekliği**

PIC, Harvard mimarisi temelli 8 bitlik bir mikro denetleyicidir. Bu Bellek ve veri için ayrı yerleşik veri yollarının bulunduğu anlamına gelmektedir. Böylelikle akış miktarı veriye ve program belleğine aynı anda erişim sayesinde arttırılmış olmaktadır. Geleneksel mikro denetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek yerleşik veri yolu bulunmaktadır. Böylelikle, PIC'le diğer mikro denetleyiciler karşılaştırıldığında işlem hızında en az 2 kat'lık performans üstünlüğü sağlanmaktadır.

- **Güvenirlik**

Tüm komutlar 12 ya da 14 bit'lik bir program bellek sözcüğüne sığmaktadır. Yazılımın, veri kısmına atlamaya ve veriyi komut gibi çalıştırmasına gerek duyulmamaktadır. Bu 8 bitlik veri yolu kullanan ve Harvard mimarisi temelli olmayan mikro denetleyicilerde gerçekleşmektedir.

- **Komut Seti kolaylığı**

16C5X ailesinde yazılım yaratmanız için 33 komut, 16CXX ailesinde ise öğrenmeniz gereken assembly komutları toplam 35'tir. PIC tarafından kullanılan komutların hepsi yazmaç temellidir ve 16C5X ailesinde 12 bit 16CXX serisinde ise 14 bit uzunluğundadır. CALL, GOTO, ve bit test eden BTFSS, INCFSZ gibi komutlar dışında, her bir komut, tek bir çevrimde çalışmaktadır.

- **Hızlı olması**

PIC, osilatör ve yerleşik saat yolu (clock bus) arasına bağlı yerleşik bir 4'lü bölünmeye sahiptir. Bu, özellikle 4MHz'lik kristal kullanıldığında komut sürelerinin hesaplanmasında kolaylık sağlamaktadır. Her komut döngüsü 1 μ S sürede işlenmektedir. PIC oldukça hızlı bir mikro denetleyicidir. 5 milyon komutluk bir programın, 20 MHz'lik bir kristalle işletilmesi yalnız 1 saniye sürmektedir. Bu süre 386 SX 33 işlemcisinin aynı işlemi yapma hızının yaklaşık 2 katına denk düşmektedir.

- **Statik işlemcili olması**

PIC bütünüyle statik bir mikroişlemcidir. Mikro denetleyici içindeki saat durdurulduğunda tüm yazmaç içeriği korunmaktadır. Pratikte bunun tam olarak gerçekleştirilmesi olanaklı değildir. PIC'i uyutma durumuna getirilirse, saat durur ve PIC'e uyutma işleminden önce hangi durumda olduğunu hatırlatacak çeşitli bayraklar atanmaktadır. PIC uyuma durumunda yalnızca 1 μ A'dan düşük bekleme (standby) akımı çekmektedir.

- **Sürücü kapasitesi yüksekliği**

PIC, yüksek sürücü çıkış kapasitesine sahiptir.

- **Seçenek okluğu**

PIC ailesinde hemen her ihtiyaınızı karşılayacak çeşit de hız, sıcaklık, I/O portları, zamanlama fonksiyonları, seri iletişim bağlantı noktaları, Analog/Dijital eviricileri, bellek kapasite olanakları sağlayan seçenekler bulunmaktadır.

- **Çok yönlüdür**

PIC çok yönlü bir mikro denetleyicidir ve ürünün içinde yer darlığı durumunda birkaç mantık kapısının yerini değiştirmek için düşük maliyetli çözümler bulunmaktadır.

- **Güvenli olması**

PIC endüstride en stnler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir. Koruma bitinin programlanmasından itibaren, program belleğinin içeriği, program kodunun yeniden yapılandırılmasına olanak verecek şekilde okunması mümkün olmamaktadır.

- **Geliştirmeye açık olması**

PIC, geliştirme amacıyla yeniden programlanabilen (EPROM) ve seri üretim amacıyla OTP (bir kere programlanabilir) biçimde ve pencerele olarak bulunabilmektedir. Geliştirme araçlarının temini olanaklıdır ve fiyatları bir ev kullanıcısı için bile satın alınabilir düzeydedir. Çok geniş bir kullanıcı kitlesi bulunması nedeniyle PIC'i programlamak için üretilen yazılım ve donanımın çok fazla olması ve kolay edilir olması sebebiyle uygulamada tercih edilmiştir.

4. PIC16F877 Bağlantı Noktalarının (Bacaklarının) Fonksiyonları

a. PORTA

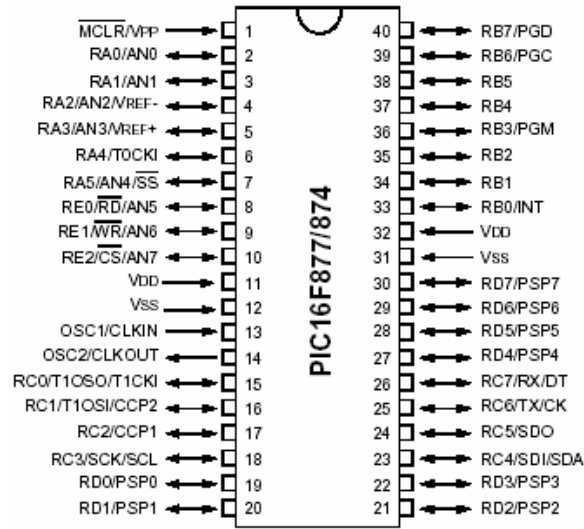
Her bir biti bağımsız olarak giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 6 bit genişliğindedir (F84'de 5 bittir). RA0, RA1, RA2, RA3 ve RA5 bitleri analog/sayısal çevirici olarak yapılandırılabilir. Buna ek olarak RA2 ve RA3 gerilim referansı olarak da yapılandırılabilir (bu durumda bu bitler aynı anda A/D çevirici olarak kullanılamazlar). İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir [19] (Şekil-24).

PORTA 0x05

TRISA 0x85 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

ADCON1 0x9F ; RA bacaklarının A/D , referans gerilimi veya sayısal giriş/çıkış seçiminde kullanılmaktadır.

İşlemciye ilk defa gerilim uygulandığında RA4 hariç diğer beş PORTA biti A/D çeviricidir. Eğer RA bacağının bazı bitlerini sayısal giriş/çıkış olarak kullanılmak istenirse ADCON1 yazmacında değişiklik yapılması gerekmektedir.



Şekil-24. PIC16F877 Mikro denetleyicisi pin isimleri.

b. PORTB

Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. B bağlantı noktasının her bacağı dahili bir dirençle VDD'ye bağlıdır (weak pull-up). Bu özellik varsayılan olarak etkin değildir. Ancak OPTION yazmacının 7.biti 0 yapılarak B girişlerinin bu özelliği etkinleştirilebilmektedir.

RB4-RB7 bacakları aynı zamanda bacakların sayısal durumlarında bir değişiklik olduğunda INTCON yazmacının 0. biti olan RBIF bayrağını 1 yaparak kesme oluştururlar. Bu özelliği, işlemci SLEEP konumundayken, devreye bağlı tuş takımının her hangi bir tuşuna basıldığında işlemcinin yeniden etkinleşmesi için kullanılabilir. Bütün bunların yanı sıra RB6 ve RB7 yüksek gerilim programlama, RB3 ise düşük gerilim programlama durumunda da kullanılmaktadır. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTB 0x06

TRISB 0x86 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı
OPTION_REG 0x81 , 0x181

c. *PORTC*

Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. SPI, USART, Capture/Compare ve PWM gibi özel fonksiyonlar, ilgili yazmaçların ayarlanmasıyla bu bağlantı noktasından yürütülmektedir. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTC 0x07
TRISC 0x87 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

ç. *PORTD*

Her bir biti bağımsız olarak sayısal giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 8 bit genişliğindedir. Bütün bağlantı noktası bacakları Schmitt Trigger girişlidir. TRISE yazmacının 4.biti olan PSPMODE bitini 1 yaparak “parallel slave mode” da kullanılabilmektedir. Bu fonksiyon aracılığıyla 8 bit genişliğindeki her hangi bir mikroişlemci veri yoluna bağlanabilmektedir..

PORTD 0x08
TRISD 0x88 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı
TRISE 0x89

d. *PORTE*

Her bir biti bağımsız olarak giriş veya çıkış olarak tanımlanabilmektedir. 3 bit genişliğindedir. RE0, RE1 ve RE2 bacaklarında Schmitt Trigger giriş tamponları vardır. Her bir bacak analog/sayısal çevirici olarak

yapılandırılabilir. Eğer PORTD paralel slave bağlantı noktası olarak yapılandırılırsa, RE0, RE1 ve RE2 bacakları PORTD'nin bağlandığı mikroişlemci veri yolunda sırasıyla READ, WRITE ve CHIP SELECT kontrol girişleri olarak kullanılabilir. Bunun için TRISE uygun biçimde ayarlanmalıdır. İlgili yazmaçlar ve adresleri aşağıdaki gibidir.

PORTE 0x09

TRISE 0x89 ; giriş/çıkış belirleme yazmacı

ADCON1 0x9F ; RE bağlantı noktalarının A/D veya sayısal giriş/çıkış olarak seçiminde kullanılır. İşlemciye ilk defa gerilim uygulandığında üç PORTE biti de A/D çeviricidir. Eğer RE bağlantı noktasının bazı bitlerini sayısal giriş/çıkış olarak kullanılmak istenirse ADCON1 yazmacında değişiklik yapılması gerekmektedir.

e. Özel fonksiyonlar

[1] Parallel Slave Port

TRISE yazmacının PSPMODE bitini 1 yaptığınızda PORTD'yi 8 bit genişliğinde mikroişlemci bağlantı noktası olarak kullanabilmektedir. Bu arada RE0,RE1 ve RE2'yi TRISE ve ADCON1 yazmaçlarında ilgili ayarları yaparak sayısal giriş olarak da tanımlanması gerekmektedir. Böylece harici bir mikro işlemci, RE0,RE1 ve RE2'yi kontrol olarak kullanarak 8 bitlik veri yoluna bağlı 16F877'nin PORTD'sine hem veri yazabilmekte hem de okuyabilmektedir [19].

[2] USART

USART, yani senkron/asenkron alıcı verici F877'deki iki seri giriş/çıkış modülünden biridir. Seri iletişim ara yüzü (SCI: serial comm.interface) olarak da bilinen USART, monitör veya PC gibi aygıtlara tam çift yönlü asenkron bağlantıda

kullanılmak üzere yapılandırılabilir. A/D veya D/A ara yüzlerine, seri EEPROM'lara yarım çift yönlü senkron bağlantıda kullanılmak üzere de yapılandırılabilir. USART aşağıdaki gibi yapılandırılmaktadır [20].

Asenkron : tam çift yönlü (full duplex)

Senkron: Master , yarım çift yönlü (half duplex)

Senkron: Slave, yarım çift yönlü

RC6 verici, RC7 ise alıcı bağlantı noktası olarak kullanılmaktadır.

RCSTA (0x18) ve TXSTA (0x98) yazmaçları konfigürasyonda kullanılmaktadır.

[3] Master Synchronous Serial Port (MSSP)

MSSP modülü, diğer çevre birimleri veya mikroişlemcilerle seri iletişimde kullanılmaktadır. Bu çevre birimleri seri EEPROM, kaydırmalı yazmaçlar (shift register), gösterge sürücüleri, A/D çeviriciler vb. olabilmektedir [20]. MSSP modülü aynı anda aşağıdaki iki durumdan birine yapılandırılabilir:

Serial Peripheral Interface (SPI)

RC5: Seri veri çıkışı (SDO: serial data out)

RC4: Seri veri girişi (SDI: serial data in)

RC3: Seri saat (SCK: serial clock)

Inter Integrated Circuit (I2C)

RC4: Seri veri (SDA: serial data)

RC3: Seri saat (SCK: serial clock)

Bu durumlardan birine göre yapılandırılmak içinse SSPSTAT (senkron seri bağlantı noktası durum yazmacı, 0x94), SSPCON (senkron seri bağlantı noktası kontrol yazmacı, 0x14) ve SSPCON2 (senkron seri bağlantı noktası kontrol yazmacı 2, 0x91) yazmaçları ayarlanmalıdır.

[4] Analog/Sayısal Çevirici Modülü

A/D modülü 16C7x ailesinden farklı olarak 10 bittir. Toplam 8 A/D kanal vardır. F877'nin güzel bir özelliği de işlemci SLEEP durumundayken bile A/D çeviricinin geri planda çalışmasıdır. A/D kanalları için RA4 hariç diğer RA bağlantı noktalarını ve RE bağlantı noktalarını kullanılabilmektedir. Aşağıdaki yazmaçlar konfigürasyon ve sonuçta kullanılmaktadır.

ADRESH 0x1E ; A/D sonuç yazmacı (High register)

ADRESL 0x9E ; A/D sonuç yazmacı (Low register)

ADCON0 0x1F ; A/D kontrol yazmacı0

ADCON1 0x9F ; A/D kontrol yazmacı1

Capture/Compare ve PWM Modülü: Her capture/compare ve pwm modülü 16 bitlik yakalama(capture) yazmacı , 16 bitlik karşılaştırma(compare) yazmacı veya 16 bitlik PWM(darbe genişlikli modülasyon) yazmacı olarak kullanılabilir.

Yakalama durumunda, TMR1 yazmacının değeri RC2/CCP1 bacağının durumunda bir gelişme olduğunda CCPR1H:CCPR1L yazmaçlarına yazılır ve PIR1 yazmacının 2.biti olan CCP1IF kesme bayrağı 1 olur. RC2 bacağının durumu, her alçalan kenarda, her yükselen kenarda , her yükselen 4. veya 16.kenarda kontrol edilecek şekilde CCP1CON yazmacı aracılığıyla ayarlanarak yapılandırılabilir.

Karşılaştırma durumundaysa CCPR1 yazmacındaki 16 bitlik değer düzenli olarak TMR1 yazmaç değeriyle karşılaştırılır ve bir eşitlik olduğunda RC2/CCP1 bacağı CCP1CON yazmacında yapılan ayara göre 1, 0 olur veya durumunu korur.

PWM durumundaysa RC2/CCP1 bacağı 10 bit çözünürlükte darbe genişlik modülasyonlu bir sinyal üretecek şekilde yapılandırılabilir. PR2 yazmacı darbe genişlik periyodunun tayininde kullanılmaktadır.

CCPR1H 0x16 ; Yakalama/karşılaştırma yazmacı (High register)

CCPR1L 0x15 ; Yakalama/karşılaştırma yazmacı (Low register)

CCP1CON 0x17 ; kontrol yazmacı

PR2 0x92 ; PWM çıkış yazmacı

TMR1L 0x0E ; TMR1 yazmacı (High register)

TMR1H 0x0F ; TMR1 yazmacı (Low register)

E. SERİ HABERLEŞME

1. Giriş

Bir noktadan diğer bir noktaya dijital veya binary bilgilerin iletilmesi işlemine 'veri iletimi' denir. Veri iletim sistemleri, bilgisayar-bilgisayar ve bilgisayar-terminal arasında veri iletimini sağlar. Dijital veya binary hale dönüştürülebilen ses, görüntü gibi analog bilgilerin iletilmesi de veri iletimi ile gerçekleştirilir. Dijital tekniklerin verimliliği yüksek, maliyetleri oldukça düşüktür. Bu nedenle, dijital veri iletim sistemleri oldukça kullanışlıdır [21].

Dijital sinyaller, herbiri bir voltaj seviyesiyle tanımlanan ve birbirinden farklı iki durumdan oluşan binary pals'lerdir. Bu palsler iki seviye arasında değişir. Bu seviyelerden birisi "binary 0" veya "low", diğeri ise "binary 1" veya "high" olarak tanımlanır. Binary bilgilerin bir yerden başka bir yere transferinde iki temel yöntem kullanılır. Bunlar seri ve paralel iletimdir.

Paralel haberleşmede 8 bitlik bir veriyi alıcıya ulaştırmak için en az 10 hat (kablo) kullanmak gereklidir. Bunlardan 8 tanesi veri için 1 adet ortak ground ve 1 adet de senkronizasyon içindir. Bu tip haberleşme genelde çok yüksek hız

gerektiren kısa mesafelerde kullanılır. Seri haberleşmede ise 8 yada daha farklı sayıda veriler 2 tel üzerinden iletilirler. Paralel haberleşmeye göre daha uzun mesafelere veriler iletilebilirler. Paralele göre dezavantajı ise veri iletim hızının yavaş olmasıdır [22].

Bilgisayarlar veya türevleri cihazların birbirleri arasında haberleşme yaygın olarak seri port ile sağlanmaktadır. Seri iletişim portu tamamen bu iş için dizayn edilmiş bir sistemdir. Seri port üzerinden haberleşmeyi "UART" olarak adlandırılan bir çip yapar. Seri port ise bu çipin dış dünyaya açılan bir kapısı olarak adlandırılabilir.

Seri haberleşme bilgisayarların temeli olan 1 ve 0 lar vasıtasıyla olmaktadır. Seri port üzerinden bir bilgi karakter ya da sözcük gönderildiğinde bahse konu kelime ya da karakter bit'lere ayrılarak veri iletimi sağlanır.

Seri haberleşmede kullanılan terimler;

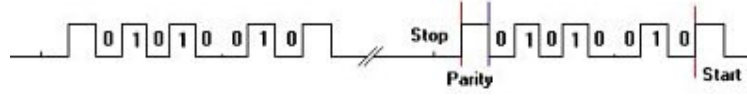
Baud Rate: Veri iletim hızıdır. 1 saniyede iletilen veri adedine denir. Standart olarak veri hızları 300,600,1200,2400,4800,9600,19200, ... şeklindedir.

Start Bit: Seri haberleşmede veriler senkron yada asenkron olarak iletilebilirler. Senkron iletimde belirli bir başlangıçtan sonra veriler sıralı olarak arka arkaya gelirler. Uzun bir dosyanın iletiminde bu yol kullanılabilir. Asenkron iletimde ise bir veri gönderildikten sonra yeni bir veri belirli olmayan bir zamanda gelir. İşte bu yeni verinin başlangıcı start biti ile bildirilir.

Stop Bit: Gönderilen verinin bittiğini ifade eden bittir. Bu biti alan alıcı yeni bir veri için start bitini gözlemeye başlar. haberleşmenin tipine göre 1 yada 2 bit uzunluğunda olabilir.

Eşlik Biti (Parity Bit): Bir çeşit hata denetim bitidir. Start ve 8 bitlik bir veri iletildikten sonra stop biti gönderilmeden parity gönderilir. İletilen 8 bitlik veride (Şekil-25) 1'lerin sayısı çift ise EVEN tek ise ODD biti gönderilir. Alıcı bu

biti kontrol ederek alınan verinin doğru olup olmadığını kontrol eder. 1 parity 1 bit uzunluğundadır.



Şekil-25. Arka arkaya gelen 8 bitlik iki adet veri katarı.

2. Seri Haberleşme Çeşitleri

Bilgisayarların ve terminallerin haberleşmesi için iletimden önce birbirlerini meydana gelecek veri iletimi için uyarımları gerekir. Verici bir bit göndermeden önce alıcıyı uyarmazsa alıcı gelen bit serisi için gerekli zamanı ayıramaz. Vericinin gönderdiği sinyal alıcı tarafından yanlış zamanda incelenmeye başlanırsa gelen bilgi yanlış yorumlanabilir. Gelen bilginin bir enerji seviyesinden diğerine doğru uygun zamanda incelenmesine senkronizasyon denir.

Senkronizasyon alıcı ve verici arasında bit zamanına bağlı olan anlaşmayla sağlanır. Alıcının bit zamanını tanımlayabilmesi için vericiyle aynı *clock*'u üretmesi gerekir. Alıcı, *clock* sinyalini gelen toplam sinyale göre elde eder. Alınan bilgiyle bit zamanının ayarlanması işlemine senkronizasyon denir.

Clock'un iki görevi vardır:

- Veri tamamen ulaşmadan önce alıcıyı ilettime senkronize eder.
- Alıcıyı giren veri bitleriyle senkron halde tutar.

Seri veri iletimi *clock* sinyalinin iletilmesine “*Senkron*” ve “*Asenkron*” olarak ikiye ayrılır.

a. *Senkron Veri İletimi*

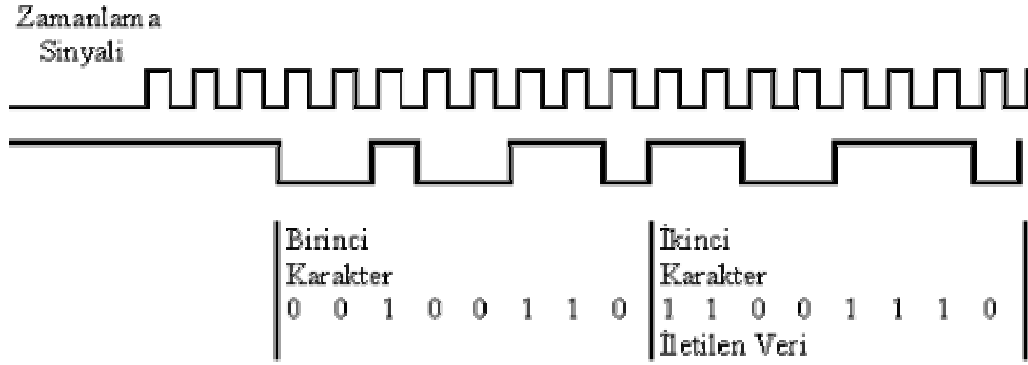
İletişimin sürekli ve yüksek hızda olması durumunda, senkron iletişim kullanılmaktadır. Senkron veri iletiminde veri bloğunun başı ve sonundaki bildiri karakterleri dışında *Tranmitter* ile *Receiver* arasında ayrı bir saat (clock) sinyali taşıyan hat vardır. Bu hattan uygulanan clock sinyali TX ve RX'in aynı bit zamanında çalışmalarını sağlar. Senkron iletimde iletim sonunda '*end of message*' sinyali gönderilir.

Senkron iletişimde, karakter yollanmıyor olsa bile aynı değerde bir bit dizisi gönderilir. *Başla* ve *Stop* bitleri olmadığından veriyi alan birimin karakter bitlerinin başlangıcını bulabilmesi için iki birim arasında senkronizasyon sağlanmalıdır.

Veri yollayan ve alan birimler arasında senkronizasyonun sağlanması için '*ön dizi*' ve '*senkronizasyon dizileri*' (karakterleri) kullanılır. Ön dizi "1" lerden oluşmuş bir dizi olabilir. *Başla* ve *Stop* bitlerine gerek olmadığından asenkron iletişime göre %20 daha verimlidir. (Bir karakter için 10 yerine 8 bit yollanır.)

Senkron iletişim Şekil-26'da gösterilmiştir. Üst bölümdeki sinyal saat sinylidir. Burada bitlerin değişimi saat sinyalinin pozitif kenarında olmaktadır. İletişimde güvenilirliğin artması için bitlerin değerleri, bit sürelerinin ortasında okunur.

Senkron iletim birçok şekilde yapılabileceği için üreticiler BISYNC (Binary Synchronous Communication), SDLC (Serial Data Link Control) ve HDLC (High-Level Data Link Control) gibi standart iletim protokolleri oluşturmuşlardır. BISYNC byte, HDLC ve SDLC bit uyumlu protokollerdir.



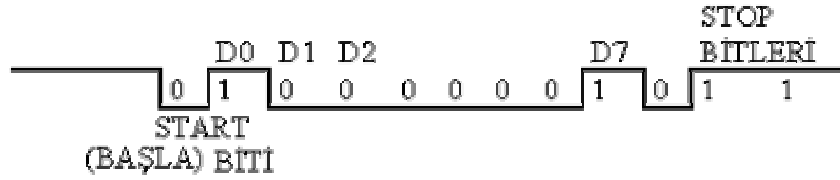
Şekil-26. Senkron iletişim.

b. *Asenkron Veri İletimi*

Seri iletişimi gerçekleştiren sistemlerin çoğunda asenkron yöntem kullanılır. İletişimin sürekli olmadığı ve iletişim hızının yüksek olmasının gerektiği durumlarda asenkron iletişim kullanılır. Asenkron iletimde veri ile *clock* sinyali iletilmez, çünkü senkronizasyon için *start-stop* bitleri kullanılır.

Kullanıcı data bitleri *register* ve *buffer* gibi geçici bellek alanında yer alır ve daha sonra diğer işletimler için terminal veya bilgisayar içine gönderilir. Spot bitleri bir yada daha fazla işaret sinyallerinden oluşur. Stop bitleri alıcı sitesindeki mekanizmanın gelecek karakter için yeniden ayarlanabilmesi için zamanın geçmesini sağlar. Daha sonraki stop bitleri sinyali boş seviyeye döner. Böylece garanti olarak gelecek karakterde 1 ile 0 geçişi olacaktır. Eğer daha önceki karakter bütün sıfırlardan oluşmuşsa start biti bulma yanlış olacaktır. Eğer stop biti mevcut olan değilse gerilimi yüksek yada boş seviyeye dönüştürülür. Bu metod, gönderici ile alıcı arasındaki devamlı bir senkronizasyon bulunmadığından dolayı asenkron iletim olarak adlandırılır. Bu iletim şekli önceki zaman sinyaline bakmadan bir data karakterinin iletilmesini izin verir. Zamanlama sinyali , data sinyalinin bir parçasıdır. Asenkron iletim genellikle *teletayplar* veya *teleprinterler*

ve düşük hızlı bilgisayar terminalleri gibi makinede ve terminallerde bulunur. Çoğu kişisel bilgisayarda asenkron iletim kullanılır. Değişik firmaların ürettiği bilgisayarların aynı sistem içinde kullanılabilmeleri için karakterler ortak bir kod ile gönderilirler. Asenkron iletişimde en çok kullanılan kod ASCII (American Standard Code for Information Interchange) kodudur. ASCII kodunda gönderilen bir verinin dizilişi Şekil-27'de gösterilmiştir.



Şekil-27. Asenkron veri dizilimi.

3. RS 232 Protokolü

RS-232, seri asenkron olarak gönderilen verinin alınması veya iletilmesini gerçekleştiren cihazlar arasında bu tür haberleşmenin sağlanabilmesi için geliştirilen bir standarttır. İlk olarak 1962 yılında çıkmıştır ve üçüncü versiyonu 1969 yılında RS-232 C olarak adlandırılmıştır. RS-232 D standardı ise RS-232 C üzerinde genişletme yapmak için 1987 yılında çıkmıştır. RS232 D standardı aynı zamanda EIA-232-D olarak da bilinir [23].

RS-232 ile kullanılan en yaygın konnektör tipi DB9'dur. RS-232'de yaygın olarak kullanılan bu 9 uç, asenkron bir iletişim için 3 gruba ayrılır. Bunlar data, kontrol ve elektrik hatlarıdır. Data kısmında gönderilmek istenen veri gönderilirken veya alınmak istenen veri alınırken aşağıda gösterilen uçlar kullanılır. Bunun yanında, bu datanın istenilen yere ulaşp ulaşmadığının veya belirli bir düzen içerisinde haberleşmesinin sağlanabilmesi için kontrol uçları kullanılır. Elektrik hattında ise diğer uçlar gerekli olan toprak hattını belirtir (Tablo-8).

Tablo-8. DB-9 konnektör pin konfigürasyonu.

Kategori	9-Pin Konnektör	25-Pin Konnektörü	Sinyal İsmi	Kısaltma
Data	3	2	Gönderilen data	TD
	2	3	Alınan data	RD
Kontrol	7	4	Veri Gönderme İsteği	RTS
	8	5	Veri Gönderilen Hat Açık	CTS
	6	6	Veri Düzenegi Hazır	DSR
	1	8	Veri Taşıyıcısı	DCD
	4	20	Veri Terminali Hazır	DTR
	9	22	Ring Indicator	RI
Elektrik	5	7	Sinyal Toprak	56

Port açılımlarını inceleyecek olursak;

- ***DCD (Data Carrier Detect)***

Yukarıdaki tabloda da belirtildiği gibi DCD pini bağlantı yapılacak olan cihazın veri iletişimine hazır olup olmadığını ya da bu cihazın iletişim için çalışıp çalışmadığının anlaşılmasını sağlar. Bu sinyal iletişim yapılacak cihaz tarafından gönderilir. Gelen voltaj *OFF* değerinde ise karşı taraf hatta ve veri iletişimine hazır olduğunun göstergesidir.

- ***RXD (Receive Data) , TXD (Transmitted Data)***

RXD pini üzerinden karşı taraftan veri alınmaktadır. RXD ve TXD pinleri kardeş pinlerdir. TXD pini karşı cihaza verinin gönderilmesini sağlar. Bu pinlerin voltaj aralıkları gönderilecek karakterin ya da bilginin cinsine göre 1 ya da 0 olmaktadır.

- ***DTR (Data Terminal Ready)***

Alıcının veri iletimine hazır olduğunu karşı tarafa bildiren pindir. *OFF* değeri veri iletişimine hazır olunduğunu, *ON* değeri ise bizim veri iletişimine hazır olmadığımızı belirtir.

- ***GND (Logical Ground)***

Teknik olarak GND pinine ait olan sinyal bir sinyal ya da bir voltaj değildir. Ancak diğer pinlerdeki işletilecek sinyaller, bahse konu GND pini (Yani Mantıksal Toprak) olmadan işletilemezler. Diğer bir ifadeyle GND pini hangi voltajın negatif hangi voltajın pozitif olacağını belirlemede bir referans noktasıdır.

- ***RTS (Request To Send)***

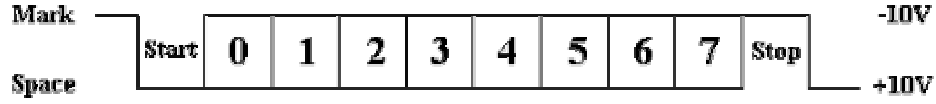
Seri haberleşmede bir anda sadece 1 bit'lik veri kümesi gönderilebilir. RTS pini, gönderilecek olan verilerin devamı olduğunu belirterek diğer veriler için karşı cihazın kendini hazırlaması gerektiğini bildiren sinyali yollar.

- ***CTS (Clear To Send)***

Bu pine sinyal karşı cihazdan gelir. *OFF* pozisyonu cihazımızdan karşı cihaza gönderilecek verinin devamının olduğunu belirtir. RTS ve CTS sinyalleri cihazların veri iletişiminin düzgün olmasını sağlar. Çoğu cihazda RTS ve CTS sinyalleri otomatik olarak *OFF* pozisyonundadır.

RS-232 standardı ile iletim seri bir şekilde ve asenkron olarak yapılır. Bir RS-232 standardı ile çalışırken veriyi gönderen birim DTE (Data Terminal Equipment), veriyi alan birim DCE (Data Communication Equipment) olarak adlandırılır.

RS 232 hatları TTL sinyal seviyelerini (+5V, 0V) taşımaz. Tipik olarak gerilim seviyeleri +12 V ve -12V'dur. Bununla beraber RS-232 hatları, +25V DC'ye kadar yüksek olan sinyal seviyeleri ile -25 V DC'ye kadar düşük olan sinyalleri taşıyabilir. Başarılı bir iletimin sağlanabilmesi için RS-232 sinyalleri pozitif bir sinyal için +5V ile +15 V arasında ve negatif bir sinyal içinde -5V ile -15V arasında bir değer almalıdır. RS232'ye ait mantıksal dalga formu Şekil-28'de, RS 232 protokolüne ait genel karakteristik özellikler Tablo-9'da verilmiştir [24].



Şekil-28. RS 232 mantıksal dalga formu.

Tablo-9. RS 232 karakteristik özellikleri.

SPECIFICATIONS		RS232
Mode of Operation		SINGLE -ENDED
Total Number of Drivers and Receivers on One Line		1 DRIVER 1 RECVR
Maximum Cable Length		50 FT.
Maximum Data Rate		20kb/s
Maximum Driver Output Voltage		+/-25V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.)	Loaded	+/-5V to +/-15V
Driver Output Signal Level (Unloaded Max)	Unloaded	+/-25V
Driver Load Impedance (Ohms)		3k to 7k
Max. Driver Current in High Z State	Power On	N/A
Max. Driver Current in High Z State	Power Off	+/-6mA @ +/-2v
Slew Rate (Max.)		30V/uS
Receiver Input Voltage Range		+/-15V
Receiver Input Sensitivity		+/-3V
Receiver Input Resistance (Ohms)		3k to 7k

Günümüzde RS 232 protokolü dışında da geliştirilen protokoller kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanlar;

- **RS422A**

Bu protokol *Differential ended* bir arayüze sahiptir. Alıcı verici arasındaki uzaklık yeterince en uzak seviyededir. Hatlarda bu mesafe sebebiyle olabilecek zayıflama 200mV seviyesine kadar azalsa da sistem iletişime devam eder. Diferansiyel ara birim sayesinde sinyaldeki zayıflama ihmal edilebilir düzeye

çekilir ve oldukça yüksek bir veri hızıyla haberleşme sağlanabilir. Algılayıcı ve bilgisayar arasındaki iletişimde *Twisted Pair* (Bükülmüş kablo) kullanıldığından dış etkilere etkileşim azdır.

- **RS485**

Standart 422A protokolü genişletilerek oluşturulmuş bir protokoldür. Bu protokol ile birlikte çalışabilen 32 adet alıcı vericinin tek bir kabloyla veri iletişimi sağlanabilir. RS485 protokolü kablodaki iletişim problemlerini ortadan kaldırmaktadır.

F. BASKILI DEVRE (PCB) TASARIM

1. Giriş

Baskılı devre (Printed Circuit Board - PCB) hemen her elektronik cihazda bulunur. Eğer bir cihazda elektronik parçalar varsa, bunlar büyük veya küçük bir PCB'nin üstüne yerleştirilir. Elektronik bileşenleri bir arada tutmak dışında, bir PCB'nin asıl amacı üzerindeki bileşenler arasında elektriksel bağlantıyı sağlamaktır. Elektronik aygıtlar daha karmaşık yapılarda üretilip daha çok bileşene ihtiyaç duydukça, PCB'ye de daha çok bileşen ve daha yoğun devreler eklenmeye başlamıştır [25].

Kartın kendisi yalıtkan ve esnek olmayan bir maddedir. Kartın yüzeyinde görülen ince bağlantılar, üretim aşamasının başında tüm kartı kaplayan bakır folyonun parçasıdır. Bu bakır folyo kısmen oyulur ve kalan bakır yollar bir ağ oluşturur. Bu yollar *İletken Deseni* olarak adlandırılır ve PCB'ye monte edilen elektronik parçaların arasındaki elektriksel bağlantıyı sağlar.

Bileşenleri PCB'ye tutturmak için, bileşenlerin bacakları “İletken Deseni”ne lehimlenir. Çoğu basit PCB'de (Tek- Taraflı kartlarda), bileşenler kartın bir yüzüne, İletken Deseni diğer yüzüne yerleştirilir. Bileşen bacaklarının kartın

içine girmesi için PCB'de delikler olması zorunludur. Bu nedenle bacaklar, bileşenlerin yerleştirildiği tarafın aksi tarafından PCB'ye lehimlenir. Bu yüzden bir PCB'nin üst ve alt yüzeyleri sırasıyla “ *Bileşen Yüzeyi*” ve “*Lehim Yüzeyi*” olarak anılır.

PCB'ye yeşil yada kahverengi rengini veren lehim maskesidir. Bu maske, ince bakır yolları koruyan ve lehimin bileşenlerin bağlantı noktaları dışındaki bir yere temas etmesini önleyen, yalıtkan ve koruyucu bir katmandır. Bu renkli maskenin üzerine *Serigrafi* baskı yapılır. Bu, montajı yapılacak farklı bileşenlerin yerlerini belirten yazı ve sembollerin PCB'ye basılmasıdır.

2. Baskılı Devre Tasarım Süreci

Bir PCB'nin tasarımı, iletken deseninin oluşturulmasından çok önce başlayan bir süreçtir. PCB tasarım aşamalarına bakacak olursak;

- **Sistem Tanımlamaları**

Üretilecek elektronik aygıt için önce bir sistem tanımlaması formüle edilmelidir. Bu işlem, sistemin bütün fonksiyonlarını, maliyet sınırlarını, boyutunu, çalışma şartlarını vb. tanımlamayı içerir.

- **Sistem Blok Diyagramı**

Sistemin başlıca fonksiyonlarının blok diyagramı oluşturulmalıdır. Farklı blokların nasıl ilişkilendirileceği ayrıca tanımlanmalıdır.

- **Sistemin Farklı PCB'lere Bölünmesi**

Sistemi bağımsız PCB'lere bölmek hem boyutları küçültür, hem de sistemin bağımsız parçaları için terfi/değiştirebilme imkanı sunar. Sistem Blok Diyagramı, bu işin yapılabilmesi için iyi bir yol göstericidir. Böylece bir PC, anakart, grafik kartı, ses kartı, floppy, güç kaynağı vb. gibi bileşenlere bölünebilir.

- **Kullanılacak Teknolojinin Ve Her PCB'nin Boyutunun Belirlenmesi**

Kullanılacak teknoloji ve her PCB'deki devre miktarı belirlendikten sonra kartın boyutu tahmin edilmelidir. Eğer boşluk kısıtlamaları ortaya çıkarsa ve PCB'nin çok geniş olacağı meydana çıkarsa, ya teknoloji değiştirilmelidir ya da bölümlendirme tekrar yapılmalıdır. Teknolojiyi seçerken, devrenin kalitesi ve hızı da göz önüne alınmalıdır.

- **Bütün PCB'lerdeki Devrelerin Şemaları**

Şema, bir devredeki bileşenlerin arasındaki tüm bağlantıları gösteren detaylı bir çizimdir. Bu, sistemdeki bütün PCB'ler için yapılmalıdır ve bugünlerde Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) kullanılarak yapılmaktadır.

- **Tasarım Simülasyonu**

Tasarlanan devrenin doğru çalışacağından emin olmak için, bir bilgisayar programı yardımı ile devre simüle edilmelidir. Bu tip programlar, şemayı girdi olarak alır ve devrenin çalışma şeklini farklı yollarla gösterebilir. Bu, bir prototip üzerinde ölçümleri manuel olarak yapmaktan çok daha verimlidir.

3. Baskılı Devre Üretim Süreci

Bir PCB'nin üretim prosesi, 'Glass Epoxy' kartı ya da benzeri bir madde ile başlar. Bu, baz madde olarak da adlandırılır.

- **İletken Deseninin Oluşturulması**

İlk adım, bileşenler arasındaki elektriksel bağlantıyı sağlayan iletken desenini oluşturmaktır. Burada teknik çizimden metal iletkenlerin oluşturulmasının en yaygın yöntemi olan 'Subtractive transfer' (Çıkartmalı transfer) yönteminin genel bir açıklamasını vereceğiz. Bu yöntem, tüm baz maddenin ince bakır bir folyo ile kaplanmasını ve geride iletken yollar kalacak şekilde artık bakırın

çıkartılmasını içerir. Daha az kullanılan 'Additive Pattern Transfer' (Eklemeli Desen Transferi) yönteminde ise bakır sadece yolların oluşturulacağı yerlere eklenir. Bu tekniği bu yazıda incelemeyeceğiz.

Eğer çift taraflı bir PCB yapılacaksa, baz madde her iki tarafta da bakır tabaka ile kaplanır. Çok tabakalı PCB'ler için bu kartlardan birkaç tane hazırlanır ve daha sonraki aşamalarda birleştirilir.

Pozitif 'Photoresist' (ışığa dirençli film tabakası), ışığa duyarlı bir maddeden yapılan ve aydınlatıldığında ve tab edildiğinde çözülen bir yapıdır (Negatif 'photoresist' eğer aydınlatılmazsa tab aşamasında çözülür.) Photoresist maddeyi bakır yüzeye uygulamak için birçok yol vardır, fakat en yaygın photoresist madde ('Kuru Tabaka' olarak anılır) içeren bir tabakayı ısıtıp yaymaktır. Ayrıca sıvı olarak da püskürtülebilir ama 'Kuru Tabaka' daha hassas işleme, dolayısıyla daha ince bakır yolların oluşturulmasına izin verir.

Maske, yapılacak katmanın sadece bir foto planıdır. Bu maske, UV ışığıyla temas ettirilmeden önce photoresistin üzerine yerleştirilirse, photoresistin belli alanlarının aydınlatılmasını engeller. Photoresist tarafından kaplanan bakır daha sonra iletken desenini oluşturan bakır yollara dönüştürülür.

Photoresist oluşturulduktan sonra asitle oyulacak bakır açıkta kalır. Oyma işlemi ya kartı bir asit solüsyonun içine indirerek ya da solüsyonu kartın üzerine sıkarak yapılır. Oyma solüsyonu için genel kimyasallar, demir klorid, alkalin amonyak sülfürik asit, hidrojen peroksit ve bakır klorittir. Oyma işlemi bittiği zaman kalan photoresist ayrıştırılır. Bu işlem photoresist'i soymak olarak adlandırılır. Bu işlem sırasında kartın her iki tarafı için de tekrarlanır.

- **Delme Ve Kaplama**

Eğer üretilen PCB, gömülü yada kör via'lara sahip çok tabakalı bir kartsa, her tabaka birleştirilmeden önce gerekli yerlerden delinmeli ve kaplanmalıdır. Eğer bu tip bir PCB değilse tabakalar önce birleştirilebilir. Delme kayıtlarına göre çalışan

makineler karttaki delikleri deldikten sonra, deliklerin içleri kaplanmalıdır (Delik içine kaplama teknolojisi - PTH). Deliklerin metal kaplanması sayesinde, iç duvarlar iç tabakalarda temas ettikleri tüm iletkenlere kart boyunca elektriksel bir bağlantı sağlar. Kaplama işleminden önce deliklerin içindeki tüm kalıntılar temizlenmelidir. Bu delme işleminde ortaya çıkan ısıdan oluşan reçineli yapışkan bir kaplamadır ve çıkarılmalıdır; çünkü iç tabakalardaki iletkenleri kaplarlar. Delgi artıklarının çıkarılması ve kaplama tamamen kimyasal işlemlerdir.

- **Çok Tabakalı PCB'lerin Birleştirilmesi**

Çok tabakalı bir PCB oluşturmak için tekil tabakalar birleştirilmelidir. Birleştirme, arada yalıtkan bir katman kullanılarak tabakaları birbirine tutturma işlemidir. Bütün tabakaları kateden delikler için delme ve kaplama işlemleri tekrar edilmelidir. Çok tabakalı bir PCB'nin iki dış yüzeyinin iletken deseni, bütün tabakalar birleştirildikten sonra yukarıda anlatılan işlemler takip edilerek oluşturulur.

- **Lehim Maskesi, Serigrafi Ve Kenar Konektörlerinin Kaplaması**

Lehim maskesi dış tabakalardaki bakır yolların üzerine uygulanır. Böylece lehimin, lehim yastıkları dışına temas etmesini engeller. Serigrafi, bileşen yerlerini belirtmek üzere bu maskenin üzerine basılır. Serigrafinin hiçbir kenar konnektörünü ve lehim yastığını kaplamaması önemlidir. Aksi takdirde lehim yeterliliği ve elektriksel bağlantı azalabilir. Kenar konnektörleri, bir slota takıldıkları zaman yüksek kalitede bir elektriksel bağlantı sağlamak amacıyla genelde altın ile kaplanır.

- **Testler**

Kısa devreleri ve kırık konnektörleri tespit amacıyla yapılan PCB testleri hem optik olarak hem de elektriksel olarak yapılabilir. Optik testler, arızaları tespit için tabakaları taramayı içerirken, elektriksel testler bir çeşit elektriksel sonda ile

yapılır ve tüm bağlantıları kontrol eder. Kısa devreleri ve kırılmaları ararken elektriksel test daha güvenli bir yöntemdir fakat iletkenler arası yanlış boşlukları tespit etmek optik testlerle daha kolay olmaktadır.

- **Bileşenlerin Yerleştirilmesi Ve Lehimleme**

Son adım bileşenleri yerleştirip lehimlemektir. Hem THT hem de SMT (Yüzey Montaj) bileşenleri PCB üzerine makineler tarafından yerleştirilir.

THT bileşenleri genelde 'Dalga Lehimlemesi" (Wave Soldering) olarak adlandırılan otomatik bir süreçte lehimlenir. Bu tüm bileşenlerin eşzamanlı lehimlenmesine imkan verir. Önce bacakları karta yakın şekilde kesilir ve bileşenlerin çıkmaması için hafifçe eğilir. Daha sonra kart,ın alt kısmı sıvı akışkan bir dalgaya temas ettirilerek metal yüzeylerdeki oksitlenmeler temizlenir. PCB ısıtıldıktan sonra benzer şekilde erimiş dalgasından geçirilir. Bu işlem lehim yastıklarını ve bileşen bacaklarını birleştirir ve böylece lehim aşaması bitirilir.

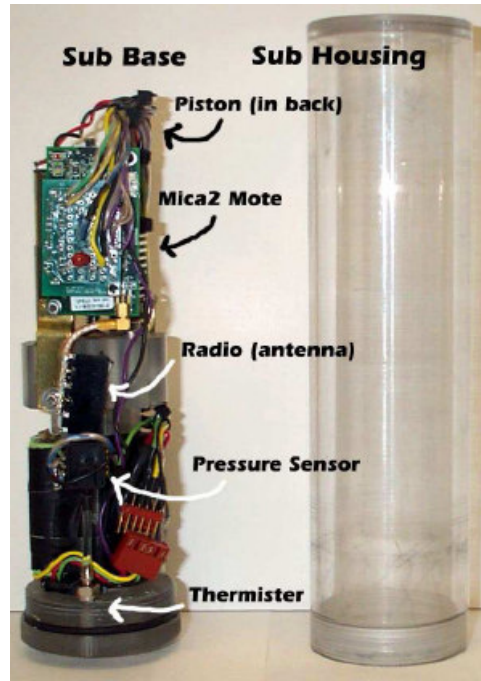
SMT bileşenlerini otomatik olarak lehimlemenin en yaygın yolu 'Over Reflow' lehimdir. Hem sıvıyı hem de lehim ihtiva eden bir lehim pastası, bileşenler PCB'ye yerleştirilmeden önce lehim yastıklarına uygulanır. Daha sonra PCB bir fırının içinde ısıtılır ve karışımındaki lehim erir. PCB'yi soğutmak lehim aşamasını bitirir ve PCB son testler için hazır hale gelir.

G. UYGULAMAYA YÖNELİK LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR

Robotik ve ısı ölçüm çalışmaları kapsamında;

Vitaly ve grubu tarafından sualtı mikro duyarga ağları üzerinde araştırma yapmak üzere bir sualtı robotu tasarlanmıştır (Şekil-29) [26]. Yapılan çalışmadaki ana öncelik robotun derinlik ayarlaması ve ısı ölçümleri olmuştur.

Sualtı robotunun kontrol sistemi olarak Berkeley Mica2 Mote kullanılmıştır. Robotun hareketinin sağlanması kapsamında bir sevk (propulsion) sistemi tasarlanarak sistemde ayrıca basınç, ışık ve sıcaklık olmak üzere 3 çeşit mikro duyarga kullanılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre sistemin uygulanabilirliği kanıtlanmış, robotun derinlik ayarlamaları basınç duyargası vasıtasıyla efektif bir biçimde sağlanmış ve sıcaklık duyargası ile yapılan ölçüm sonuçlarının başarılı olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil-29. Vitally ve grubu tarafından tasarlanan sualtı robotu.

David McFerland ve grubu tarafından ise “ROBOTICA DIVEBOT” (Şekil-30) isimli balina benzeri sephiyeeye sahip bir prototip dalgıç robot tasarlanmıştır [27]. Tasarlanan sistemde amaç okyanuslarda ısı ölçümlerinin yapılmasıdır. Sistemin sephiye ayarlamaları ile dalma-çıkma hareketleri için içerisinde ısıtıcı ve pil bulunan bir yağ odası (oil chamber) tasarlanarak yağ odasının ısıtılması ve soğutulmasına bağlı olarak cihazın pozitif ve negatif sephiye alması, diğer bir ifadeyle dalma ve çıkma hareketleri sağlanmıştır. Yapılan

testlerde deniz suyu sıcaklık ölçümleri başarıyla tamamlanmış, sistemin sualtı sıcaklık ölçümleri için pratik bir uygulama olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil-30. David McFerland ve grubu tarafından tasarlanan sualtı robotu.

Paul M. Danehy and David W. Alderfer tarafından 2004 yılı içerisinde sualtı şok dalgalarının yakınında ısı ölçümlerinin yapılması konusunda muhtelif optik metodlar incelenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır [28].

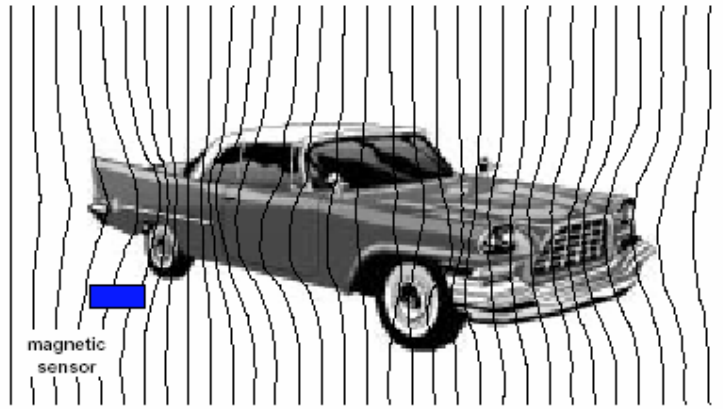
Manyetik alan konusundaki çalışmaları incelediğimizde manyetik alan duyargalarının günümüzde çok çeşitli olmak üzere bir çok uygulamada kullanıldığını görürüz.

Manyetizma özelliğine sahip metallere yapılan sualtı araçları ve denizaltılar sahip oldukları metalin yoğunluğu ve çokluğuyla orantılı olarak manyetik alan yaratmaktadırlar. Bu tür sualtı ve su üstü araçları inşa edilirken sahip oldukları metalin içindeki metalin moleküllerinden oluşan küçük gruplar manyetik kutuplara sahip olmaktadır. Bu kutupların dünyanın manyetik alan kutuplarıyla aynı paralelde olmayabilmektedirler. Bir çok böyle manyetik alan gruplarına sahip araç kendine has bir manyetik alan özelliği taşımaktadır. Bu özel manyetik alan Manyetik İmza olarak ta adlandırılmaktadır [29]. Her denizaltı ve gemi bir manyetik imzaya sahip olmaktadır. Hassas olarak yapılacak bir manyetik alan ölçüm sonucu araçların sahip oldukları bu manyetik imzalar tespit edilmektedir. Ancak manyetik alan değeri mesafeye bağımlı olarak azalma gösterdiğinden ve her farklı mesafede farklı bir manyetik alan değeri ölçüleceğinden manyetik imza, aracın manyetik alan duyargasına olan mesafesine ilişkili olarak değişecektir [29]. Bu sebeplerden dolayı manyetik alan duyargaları sadece denizaltı varlığının tespitinde kullanılmıştır [30]. Özellikle mikro duyargalarla yapılan manyetik alan ölçümlerinde duyarganın menzili oldukça düşmektedir. Manyetik alan mikro duyargaları kısıtlı bir mesafede manyetik alan ölçümü yapabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı endüstride çok kısa mesafelerde gerekli olan manyetik alan değişim ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Anisotropic Magnetoresistive (AMR) duyargaları ile dünyanın manyetik alan çizgilerinin bozulmasından faydalanılarak araç algılama çalışmaları yapılmıştır. Dünyanın normal manyetik alan çizgileri ortama giren bir dış etkenle bozulmaktadır. Bu da bir manyetik alan anomalisi yaratmaktadır. Bir otomobilin dünyanın manyetik alan çizgilerinde meydana getirdiği bozulmalar Şekil-31’de görülmektedir. Araç algılama çalışmalarında tek eksenli manyetik alan duyargası aracın var olup olmadığını tespit etmekte kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda 15 metre mesafeden bir otomobilin varlığı tespit edilmiştir [31]. Bu tür uygulamalar araç parklarında kapıların otomatik olarak açılmasında kullanılmıştır. İki eksenli

duyargalarla yapılan çalışmalarda aracın varlığı, hareket yönü ve hızı gibi bilgilere ulaşılmıştır.

Yapılan tüm araç algılama uygulamalarında manyetik alan duyargaları sabitlenmiş olarak kullanılmıştır [31]. Manyetik alan mikro duyargalarının ölçüm değerleri konum değiştirdiklerinde değişmektedir. Manyetik alan duyargaları araç tespit uygulamalarında hareketli olarak kullanılmamıştır.



şekil-31. Dünyanın manyetik alanında aracın oluşturduğu bozulma.

Su altı araçlarını tespit etmek için kullanılmakta olan yöntemlerden birisi de manyetik alan anomali tespit yöntemidir. Bu konuda çeşitli duyargalar kullanarak farklı çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır. Bu alanda halen kullanılmakta olan cihazlardan birisi de MAD cihazıdır. Bu cihazlar hem su üstü araçları tarafından, gemiler, hem de uçaklar tarafından kullanılarak su altı araçları tespit çalışmaları yapılmaktadır. Bu MAD cihazları pahalı ve fiziksel olarak büyük manyetik alan duyargaları kullanarak geşiştirilmiştir. Manyetik özelliğe sahip her nesne bulunduğu çevrede bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan değeri nesneden uzaklařtıķa küçülür.

Sualtı akustiği ve duyurga ağları kapsamında ise geşiştirilmiş olan çok geniş uygulama alanları mevcuttur.

Oşinografik Örnekleme Ağları (Ocean Sampling Networks) çalışmaları kapsamında; duyurga ve AUV'lerden oluşan ağlar özellikle sahil kısmındaki oşinografik yapının birbirlerine destek olacak şekilde örneklenmesinde kullanılabilmektedir. Deniz ortamındaki oşinografik yapının gözlenmesi ve bu yapının karakteristik özelliklerinin tespit edilmesi kabiliyetinin geliştirilebilmesi maksadıyla, Monterey Körfezinde yapılan saha testleri [32] modern sualtı robotlarının gelişmiş okyanus modelleri ile birlikte kullanılmasının avantajlarını açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Çevre Dinlemesi (Environmental Monitoring) çalışmaları kapsamında; sualtı akustik duyurga ağları çevreki kimyasal, biyolojik ve nükleer kirlenmeyi ölçmek maksadıyla kullanılabilmektedir. Bu ağlar oşinografik akıntı ile rüzgarların gözlenmesi, gelişmiş hava tahminlerinin yapılması, mevsim değişikliklerinin tespit edilmesi, insani aktivitelerin ekolojiye etkisinin anlaşılması, balık veya mikro organizmalar gibi canlıların izlenmesi maksadıyla kullanılabilmektedir. Deniz ortamında yaşayan bazı mikro organizmaların yaşamalarında hayati öneme sahip olan denizdeki ısı hatlarının (tabakaların) tespit edilebilmesi için gerekli olan bir sualtı duyurga ağı tasarımına ve yapısal özelliklerine yönelik çalışmaların yapıldığı bilinmektedir [33].

Sualtı Araştırmaları (Undersea Explorations) çalışmaları kapsamında; sualtı duyurga ağlarından sualtı petrol kaynaklarının tespit edilmesinde, denizaltı kablolarında güzergahın belirlenmesinde ve kıymetli sualtı minerallerinin bulunmasında faydalanılabilmektedir.

Felaket Önleme (Disaster Prevention) çalışmaları kapsamında; sismik faaliyetleri uzak mesafelerden ölçmeye çalışan duyurga ağları, sahil kesimlerine erken ihbar ve tsunami ikazlarının yapılmasında faydalı olabilmektedir [34].

Seyir Yardımcısı (Assisted Navigation) çalışmaları kapsamında; duyargalar deniz tabanındaki batık, suyla beraber veya su yüzeyine çok yakın kayalıklar gibi tehlikeleri belirleyebilmektedir.

Dağıtık Taktik Gözetleme (Distributed Tactical Surveillance) çalışmaları kapsamında; AUV ve sabit sualtı duyargaları müşterek kullanılarak sahaların gözlenmesi, keşfedilmesi ve sızma girişimlerinin tespiti gibi alanlarda fayda sağlanabilmektedir. Denizaltılar, insansız sualtı keşif araçları ve dalgıçların tespit edilmesi maksadıyla geliştirilen ve muhtelif tipte duyargaların kullanıldığı üç boyutlu sualtı duyarga ağı çalışmaları yapılmaktadır [35].

Mayın Keşfi (Mine Reconnaissance) çalışmaları kapsamında; akustik ve optik duyargaların konuşlandırıldığı AUV'ların eş zamanlı kullanımı ile mayın ve mayın benzeri cisimler tespit edilebilmektedir. *Seaweb* ağlarının mayın karşı tedbiri olarak nasıl kullanılabileceği, iletişim ve hareketli nodların seyrine yönelik hususlara çözüm arandığı çalışmalar yapılmaktadır [36]. *Seaweb* ağları, geniş bir deniz sahasına (100 - 10.000 km²) atılabilen pil ömürlü duyarga ağları için kullanılan bir tanımlamadır.

Deniz dibi ve derinliklerinin izlenmesine ait geleneksel görüş, izleme sırasında verinin kaydedilerek bazı düzeltmeler yapan sualtı duyargalarının atılmasıdır [37]. Ancak bu görüşün bazı dezavantajları vardır :

- Gerçek zamanlı izleme yapılamaz.
- Sistem anında tekrar yapılandırılmaz.
- Hata tespit imkanı yoktur.
- Veri saklama kapasitesi düşüktür.

Anılan dezavantajları yok edebilmek veya azaltabilmek maksadıyla, kablolu akustik iletişimden faydalanarak sualtı nodlarının birbirleriyle haberleşmeleri sağlanabilir. Kısıtlı band genişliği ve değişken gecikme süreleri

gibi sualtı akustik iletişim kanallarının bazı özellikleri, çok verimli ve güvenilir yeni veri iletim protokollerine ihtiyaç duymaktadır.

Sualtı araştırmalarında bulunan ve sualtı haberleşmesi ile ilgili devam eden projeler ile araştırma laboratuvarları Tablo-10’da verilmiştir [38]. Bu araştırmalarla birlikte son yıllarda özellikle ad-hoc kablosuz ağları [39] ve duyurga ağları [40] için yol bulma protokolleri hakkında oldukça fazla araştırmalar yapılmıştır.

Tablo-10. Sualtı duyurga ağları konusunda yapılan araştırmalar ve laboratuvarlar.

Research lab or project name	Research area	URL
BWN-Lab @ GeorgiaTech	Underwater acoustic sensor networks	http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/UWASN/
MIT & Woods Hole O.I.	Underwater acoustic networks	http://www.mit.edu/people/millitsa/research.html
Front Project @ UConn	Spatial sampling of ocean	http://www.nopp.uconn.edu/ADCP/index.html
Autonomous Ocean Sampling Networks II	Adaptive ocean sampling	http://www.princeton.edu/dcs/aosn/
Adaptive Sampling and Prediction (ASAP)	Adaptive ocean sampling	http://www.princeton.edu/dcs/asap/
Sensor Networks for Undersea Seismic Experimentation (SNUSE) @ USC	Underwater acoustic sensor networks	http://www.isi.edu/ilense/snuse/
AUV Lab @ MIT Sea Grant	AUVs	http://auvlab.mit.edu/
Ocean Engineering @ FAU	Advanced marine systems	http://www.oe.fau.edu/research/ams.html
AOSN	Autonomous ocean sampling networks	http://www.mbari.org/aosn/
Acoustic Research Laboratory (ARL)	Underwater Acoustic Communications	http://www.arl.nus.edu.sg/web/research/acoms
ACME	Acoustic communication network for monitoring underwater environments in coastal areas	http://flipper.ncl.ac.uk/acme/
Underwater Acoustic Research Group @ Loughborough University	Underwater communications	http://sonar-fs.lboro.ac.uk/
Underwater Technologies Laboratory @ Florida Tech	Integrated sustained ocean observing system	http://my.fit.edu/swood/subsea.html
Underwater Research Lab's @ Simon Fraser University	Underwater acoustics, sonar, bottom imaging, bottom and water column surveys with AUVs, signal processing and target detection	http://www.ensc.sfu.ca/research/url/
Autonomous Undersea Systems Institute (AUSI)	Applications of AUVs, platforms and sensors	http://www.ausi.org/

III. UYGULAMADA GERÇEKLEŞTİRİLEN İŞLER

A. UYGULAMAYA YÖNELİK YAPILAN ÖN ÇALIŞMALAR

1. İhtiyaçların Tespiti

Sualtı duyarga ağılarında kullanılmak üzere tasarlanan ve birden fazla tipte mikro duyargayı bulunduran bahse konu duyarga nodunun prototipi geliştirilirken, öncelikle nod için belirlenen hedeflere ulaşabilmek maksadıyla ihtiyaçlar tespit edilmeye çalışılmıştır. İhtiyaçlar tespit edilirken tezin “Giriş” kısmında da belirtildiğı gibi konu ile ilgili olduğı değeriendirilen muhtelif kurum ve kişilerle toplantılar organize edilmiş, görüş alış verişinde bulunulmuş ve sistemin genel tasarım kriterleri ortaya konmuştur.

Tespit edilen ihtiyaçları 2 ana kategoriye ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki prototip için ihtiyaç duyulan malzeme ve elektrik – elektronik elemanlar, ikincisi ise uygulama çalışmalarının yürütülebileceğı laboratuvar ve çalışma ortamının kurulmasına yönelik ihtiyaçlardır.

Sistemin genel tasarımı tamamlandıktan sonra ilk kategori için temin edilmesine ihtiyaç duyulan malzemeler tespit edilmiştir. İkinci kategori ihtiyaçlar tespit edilirken enstitünün konuşlandığı Deniz Harp Okulu Komutanlığı laboratuvarlarının imkan ve kabiliyetleri göz önünde bulundurularak kaynak israfına engel olunmaya çalışılmıştır. Tezin uygulamaya yönelik gereksinimlerinin tedarik edilmesi için ihtiyaç duyulan ödenek talep edilerek, karşılanması sağlanmıştır.

2. Laboratuvar ve Test Ortamları

Sualtı duyurga nodunun tasarlanması ve geliştirilmesi safhalarında enstitü bünyesinde tarafımızdan kurulan küçük çalışma ortamından faydalandığı gibi Deniz Harp Okulu'nda mevcut laboratuvarlardan da istifade edilmiştir. Test ortamlarının yaratılması ve simüle edilmesi için de Deniz Harp Okulu imkanlarından faydalanılmıştır. Teze yönelik yapılan ön ve müteakip çalışmalarda faydalanılan laboratuvar ve test ortamları hakkında aşağıda özet bilgiler sunulmuştur.

a. Laboratuvarlar

Tesis edilen çalışma ortamı Şekil-32'de görülmektedir. Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü öğrenci çalışma odası içersinde yaratılan küçük çalışma ortamı, prototip geliştirme çalışmalarında kullanılan en önemli ortamdır. Çalışma ortamı tez grubunda yer alan her öğrenci için internet erişimi olan kişisel kabinetler ile elektrik – elektronik ve mekanik tasarım ve geliştirme çalışmalarının yapıldığı ortak çalışma bölümünden oluşmaktadır.



Şekil-32. Çalışma ortamı.

Tesis edilen bu çalışma ortamının yanı sıra özellikle elektronik devrelerin geliştirilmesi aşamasında osiloskop gibi hassas ölçüm cihazlarından faydalanmak maksadıyla Deniz Harp Okulu Elektronik Laboratuvarından (Şekil-33), mekanik tasarımların gerçekleştirilmesi aşamasında Maket Kolu Laboratuvarından (Şekil-34) ve prototipin farklı mayın tiplerine karşı reaksiyonunun denenebildiği Sualtı Silahları Laboratuvarından (Şekil-35) istifade edilmiştir.



Şekil-33. Elektronik laboratuvarı.



Şekil-34. Maket kolu laboratuvarı.



Şekil-35. Sualtı silahları laboratuvarı.

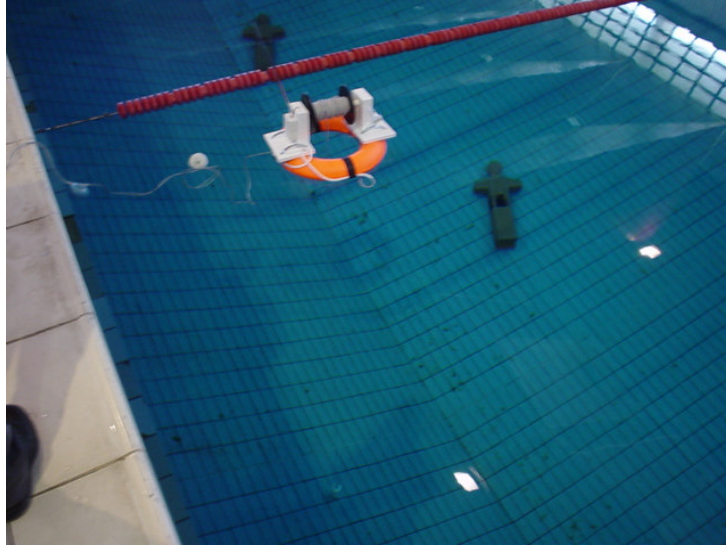
b. Test Ortamları

Prototipin geliştirilme safhasının tamamlanmasının ardından verimliliğinin denenmesi, hatalarının tespit edilerek giderilmesi amacıyla bir çok defa farklı koşul ve yerlerde testler yapılmıştır.



Şekil-36. Gemi denge laboratuvarı.

Duyarga kutusunun su sızdırmazlığına yönelik ilk testler, yapay ısı tabakası (tabaka derinliği) oluşturma ve bu tabakanın tespit edilmesine yönelik testler Gemi Denge Laboratuvarındaki 1.5 x 8 x 1 metre (en – boy – derinlik) boyutlarındaki küçük havuzda yapılmıştır (Şekil-36). Müteakiben ileri su sızdırmazlık testleri, akustik, sıcaklık ve manyetik duyargalara ait ilk denemeler ve duyargaların ölçümlerinde tespit edilen hataların giderilmesi çalışmaları ile prototipe yönelik ilk alan testleri 25 x 25 x 5 metre boyutlarındaki Atlama Havuzunda tamamlanmıştır (Şekil-37).



Şekil-37. Atlama havuzu.

Havuzda yapılan ilk sistem testlerinden elde edilen tecrübeler neticesinde yaklaşık ortalama 3 metre derinliği olan Deniz Harp Okulu İç Limanı (Şekil-38) ve ortalama 8 metre civarında derinliğe sahip olan Deniz Harp Okulu Dış Limanı (Şekil-39)'nda muhtelif saha testleri çalışmaları yapılmıştır.



Şekil-38. Deniz Harp Okulu İç Limanı.



Şekil-39. Deniz Harp Okulu Dış Limanı.

Liman testlerinin ardından hedef tespit ve sınıflandırma algoritmalarına yönelik testler Tuzla Körfezi civarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde mümkün olduğunca gerçek, mümkün olmadığı hallerde simüle edilen sualtı hedeflerinin tespit ve sınıflandırılması kapsamındaki çalışmalara devam edilmiştir.

3. Prototip Maliyeti

Tez sırasında geliştirilen sualtı duyarga nodu prototipinde kullanılan muhtelif malzemeler, tek nod için kullanım miktarları, birim fiyatları ve tutarları Tablo-11’de gösterilmiştir. Tabloda verilen birim fiyatlar dolar (\$) üzerinden olup, seri üretime geçilmesi halinde toplam maliyetin yaklaşık % 30 – 40 civarında düşmesi beklenmektedir.

Tablo-11. Sualtı duyarga nodu prototip maliyeti.

SİSTEM ELEMANI	BİRİM FİYATI (\$)	MİKTAR	TUTAR (\$)
CZN 15E Akustik Duyarga	0,3	1	0,3
DS 18B20 Sıcaklık Duyargası	2	1	2
PNI S65 Manyetik Duyarga	4	3	12
11096 Man. Duy. Sürücüsü	5	1	5
Muhtelif Eln. Malzeme	5,2	1	5,2
Duyarga Kutusu	45	1	45
Veri / Güç Kablosu	6	0,5	3
Can Simidi	6	1	6
Makara	1	1	1
Servo Motor	6,5	1	6,5
RS232 - 485 Çevirici	12	1	12
GENEL TOPLAM			98

Prototip üretiminde özellikle kutulama maliyetinin toplam maliyetin yaklaşık yarısını oluşturması nedeniyle bu konuda yapılacak bir çalışmanın veya duyarga nodunda seri üretime geçilmesinin kutulama maliyetini ve dolayısıyla sualtı duyarga nodu maliyetini önemli miktarlarda düşürebileceği değerlendirilmektedir.

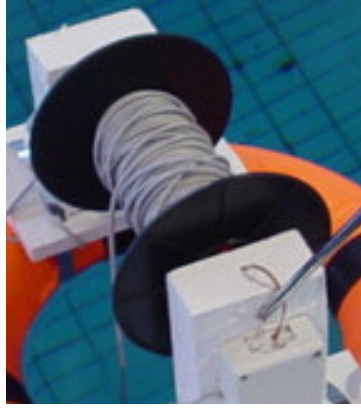
B. SİSTEM TASARIMI (SYSTEM DESIGN)

1. Şamandıra Kısımı

“Sualtı Hedef Tespit ve Teşhis Sistemi” nodu “Şamandıra Kısımı”(Şekil-40), “İndirme Kaldırma Mekanizması” (Şekil-41) ve “Duyarga Öbeği” (Şekil-42) olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Su üstünde bulunan şamandıra kısmı hem duyarga öbeği ile şamandıranın haberleşmesini sağlayacak kablo sistemini hem de derinlik ayar mekanizmasının bulunacağı platformu taşımaktadır. Şamandıra olarak kullanılan orta boy can simidi şamandıranın platformunu taşıyan kısmı ve sistemin su üstünde kalmasını sağlamaktadır. Su üstündeki sistemin monte edilmesi için tahta platform kullanılmıştır. Tahta platform can simidinin üstüne hareket etmeyecek şekilde kelepçelerle sabitlenmiştir. Derinlik ayar mekanizması ve kabloyu taşıyan makarayı taşıyacak olan tahta ayaklar can simidinin üzerindeki platforma sabitlenmiştir. Tahta ayaklardan bir tanesinin içi oyularak buraya indirme kaldırma mekanizmasını kontrol eden servo motor yerleştirilmiştir. Diğer ayak ise indirme kaldırma mekanizmasının milinin içine gireceği şekilde oyularak mil içine yerleştirilmiştir. Şekil-43’te şamandıra ve şamandıra üzerinde bulunan indirme kaldırma mekanizması, servo motor ve taşıma ayaklarının boyut ve yerleşim düzenleri görülmektedir.



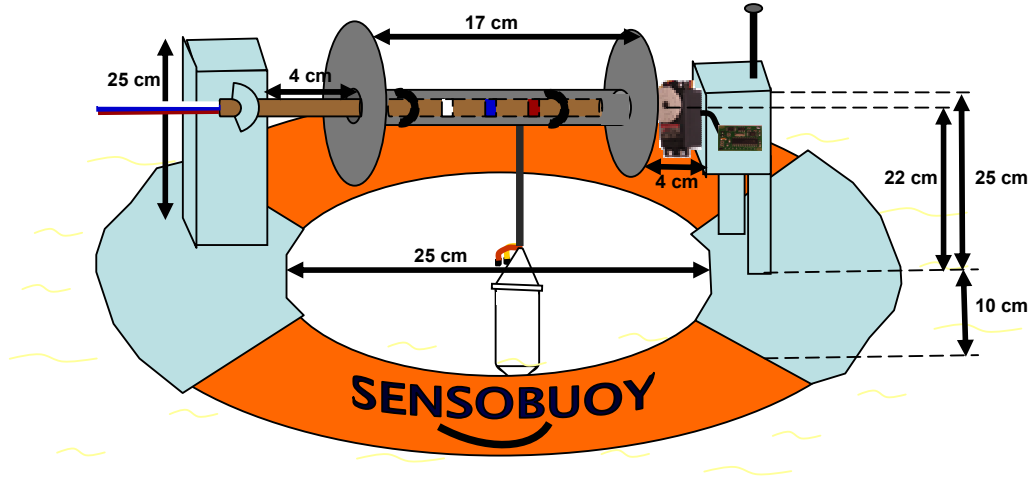
Şekil-40. Şamandıra kısmı.



Şekil-41. İndirme kaldırma mekanizması.



Şekil-42. Duyarga öbeği.



Şekil-43. Şamandıra kısmı tasarımı.

2. İndirme Kaldırma Mekanizması

a. Mekanik Tasarım

Su altında bulunan duyarga öbeğiyle haberleşmeyi sağlayan iletişim kablosu plastik bir makaraya sarılmıştır. Makaraya sarılan kablo aynı zamanda duyarga öbeğinin içinde bulunduğu duyarga kutusunu taşımaktadır. İletişim kablosunun sarıldığı makara serbest olarak dönmektedir. Kablonun sarıldığı serbest olarak dönen makaradan duyarga öbeğinden gelen bilginin sabit olan mil üstünden alınması için bir sistem oluşturulmuştur. Mil olarak *delrin* kullanılmıştır. *Delrin* hem kolayca işlenebilmiş, hem de makarayı taşıyacak direnci göstermiştir. *Delrin*, kimyasal yapısı ve yüksek kristalli bünyesinden dolayı takviyesiz plastikler içinde en sağlam ve en katı olan termoplastiktir. Mil makaranın içinde temas etmeden dönecek şekilde inceltilmiştir. Milin bir ucuna makaranın iç çapıyla çapı aynı olan rulman takılmıştır. Milin diğer tarafı rulmanın yerleştirilebilmesi için rulman iç çapı genişliğinde inceltilerek diğer rulmanda milin diğer ucuna yerleştirilmiştir. Milin rulmanların arasında kalan bölümü hareketli olan makaradan bilginin alınabilmesi için hazırlanmıştır.

Duyarga kutusu ile şamandıra arasında bilgi iletiminde kullanılan iletişim protokolünün gereği olarak 3 telli kablo kullanılmıştır. Bu yüzden mil üzerinde iletişimi sağlayan kablonun 3 teli için 3 adet bakır iletim kanalı hazırlanmıştır. Bu iletim kanallarına kablonun telleri lehimlenerek sabitlenmiştir. Kablo milin tahta ayağa sabitlenecek kısmı tarafındaki rulmanın altından kanal açılmak suretiyle geçirilmiştir. Makaranın kablo sarılacak kısmında milin üzerinde hazırlanan bakır iletim yollarıyla tam örtüşecek şekilde bakır iletim yolları hazırlanmıştır. Makaraya sarılacak iletim kablosunun telleri makaranın üzerindeki bakır iletim yollarına lehimlenmiştir. Markadaki iletim yollarının milin üzerindeki iletim yollarıyla teması sağlamak için iletim özelliği yüksek olan ince fırça telleri kullanılmıştır. Makaranın üzerindeki iletim yolları üzerinde ince delikler açılmıştır. Bu deliklerin içinden, makaranın içine yerleştirilen milin üzerindeki bakır iletim kanallarına teğet olacak şekilde temas etmek üzere teller yerleştirilmiştir. Bu teller makaradaki bakır iletim yollarına lehimlenmiştir. Bu şekilde kurulan sistem sayesinde serbest olarak dönen makaradan sabit olan mile veri transferi sağlanmıştır. Söz konusu hareketli ortamda veri transfer sistemi ve sistemi oluşturan parçalar Şekil-44'te görülmektedir. Ayrıca makaranın üzerine sarılan veri iletim kablosu her 5 metreyi gösterecek şekilde markalanmıştır.

Makaranın dönmesi tahta ayağa sabitlenen servo motor tarafından sağlanmıştır. Servo motor, dizayn olarak sadece kısıtlı açıyla dönme hareketi yapabilmekteyken, üzerinde gerekli değişiklikler yapılarak sınırsız dönme imkanı kazanması sağlanmıştır. Uygulamada kullanılmaya uygun duruma getirilen Servo motor makaranın dış yüzeyine sabitlenmiştir. Ayrıca servo motor kontrolü RF kartı vasıtasıyla uzaktan kumanda ile sağlanmıştır.

İndirme ve kaldırma mekanizmasını oluşturan servo motor, indirme çıkarma mekanizması, mil ve şamandırayı oluşturan diğer malzemeler düşük maliyetli malzemelerden seçilmiştir. Sualtı Hedef Tespit ve Teşhis Sistemini oluşturan tüm malzemeler gibi maliyeti arttırmayacak malzemeler kullanılarak

gerçekleştirilen derinlik ayar mekanizması veri iletiminde hata oluşturmayacak şekilde çalışmıştır. Yapılan testler sırasında ölçüm sonuçlarının başarıyla duyarga kutusundan şamandıraya iletimi sağlanmıştır.



Şekil-44. Hareketli ortamda veri transfer sistemi imali.

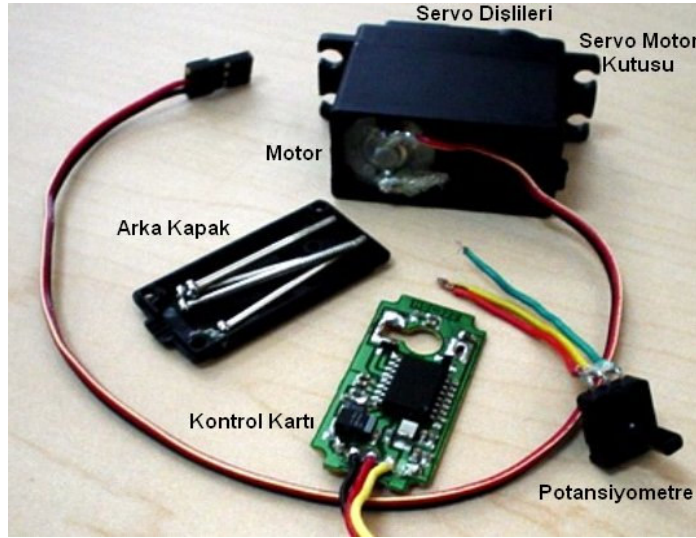
b. Elektrik / Elektronik Tasarım

[1] Servo Motor

Servolar, üç telli bir DC Motor, dişli, potansiyometre, bir birleşik devre (IC-Integrated Circuit) ve şafttan oluşan küçük cihazlardır. Motordan çıkan bu üç telden birisi güç, birisi toprak ve diğeri kontrol girişidir. Servo motorun kontrol girişinde sinyal bulunduğu sürece şaft kendi açısal durumunu koruyabilir.

Servo motorları, sıradan DC motorlardan ayıran en önemli özellik 3. telden alınan kontrol sinyalidir. Bu yönleri ile servolar voltaj uygulanınca sadece çalışan cihazlar değil, ne yapması gerektiğine kumanda edilebilen akıllı motorlardır [41]. Servolar motorlar boyutları küçük olmasına rağmen oldukça güçlüdür. Koşuldukları yüklerle orantılı olarak güç harcarlar. Servo çalışma voltaj aralığının üst sınırına yakın çalışırsa daha hızlı döner.

Servolar 3 ana parçadan oluşurlar. Bunlar motor, potansiyometre (şafta bağlıdır) ve kontrol kartı. Motor, seri dişliler vasıtasıyla şaftı ve aynı zamanda potansiyometreyi döndürür. Servoların potansiyometreleri geri besleme elemanları olarak çalışırlar ve kontrol devresinin servonun açısal durumunu gözlemlemesini sağlar. Şaftın istenen açısal duruma geldiğini görünce motoru durdurur. Servolar 4–6 V aralığında çalışırlar. Şekil-45'te her servoda bulunan ana ve yardımcı elemanlar gösterilmiştir.



Şekil-45. HS 311 Hoby servo motorun parçaları.

Uygulamamızda “*Servo Motor*” tercih etmemizin bazı önemli sebepleri vardır. Bunlardan birisi, özellikle kullandığımız servonun boyutunun küçük olması

dolayısıyla az yer kaplamasıdır. Prototipini oluşturmaya çalıştığımız duyarga nodu ile (ileride aynı bölgeye çok fazla miktarda atılarak) bir duyarga ağı (sensor network) oluşturulacağından pratikliğin sağlanabilmesi için nodun boyutunun küçük olması oldukça önemli bir kısıttır.

Bunun yanısıra, servo motor dönmediği zaman güç tüketiminin olmaması da tercihimizde önemli bir rol oynamıştır. Bilindiği gibi step motorlar dönmeseler dahi enerjilendirildiği andan itibaren güç tüketim miktarları sabittir. Algoritmaya bağlı olmakla birlikte nodlardan deniz altına indirilmesi hedeflenen duyargalar lüzum hissetmedikçe çok fazla derinlik değiştirmeyeceklerdir. Yani kullanılmadığında güç harcamayan servolar bizim kısıtlı enerjimizi step motor tercihine nazaran daha az tüketecektir. Ayrıca, servolar step motorlara kıyasla daha az manyetik alan etkisi yaratırlar ki, bu manyetik ölçüm yapacak mikro duyargaların yanılmaması için oldukça önemlidir. Halbuki step motorların genel çalışma prensipleri oluşturulan manyetik alanın kullanılmasına dayanmaktadır.

Yukarıdaki bilgiler dahilinde uygulamamızda tercih ettiğimiz “Hitec HS 311” marka ve model servo motora (Şekil-46) ait özellikler aşağıda belirtilmiştir [41];



Şekil-46. HS 311 Servo motor ve yedek malzemeleri.

Kontrol Sistemi	: +PWM Kontrol 1500usec Nötür
Gerekli Pals	: 3-5 Volts
Çalışma Voltajı	: 4.8-6.0 Volts
Çalışma Sıcaklığı	: -20 to +60 °C
Çalışma Hızı (4.8V)	: 0.19sec/60 ° yüksüz
Çalışma Hızı (6.0V)	: 0.15sec/60 ° yüksüz
Tork (4.8V)	: 42 oz/in (3.0 kg/cm)
Akım (4.8V)	: 7.4mA/boşta and 160mA yüksüz çalışma
Yön	: Clockwise/Pulse Traveling 1500 to 1900usec
Motor Tipi	: Cored Metal Brush
Dişli Tipi	: Naylon
Tam Dönüş Kabiliyeti	: Evet
Boyutları	: 40 x 20 x 36.5mm
Ağırlığı	: 1.52oz (43g)

HS 311 servonun yukarıda belirtilen özellikleri arasında bilhassa;

- Düşük maliyeti,
- Çektiği akım miktarı,
- İhtiyaç duyulan tork,
- Küçük boyut,
- Düşük ağırlık ve
- Tam dönüş modifiye kabiliyeti

gibi tezimiz için ön planda olduğunu değerlendirdiğimiz hususları karşılıyor olması tercihimizin ana nedenlerini oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra çalışma hızı, motor ve dişli tipi gibi ikinci derece öneme sahip hususlar da göz önünde bulundurulmuştur.

[2] Servo Motorun Dönüş Tahdidinin Kaldırılması

Servolarda sıklıkla rastlanan bir değişiklik de 90 derece ile sınırlı olan dönme tahditlerinin kaldırılarak, sürekli dönme kabiliyeti kazandırılmasıdır. Servolar dönüş sırasında bulundukları açıyı bilmek için geri beslemeye ihtiyaç duyarlar. Geri besleme çıkış şaftına bağlı olan potansiyometreden alınır. Potansiyometre içinde bulunduğu bir voltaj bölücü yardımıyla istenen ve bulunulan açı arasındaki farka bağlı olarak voltaj değeri üretir.

Diğer taraftan gelen palslar da servonun bulunması istenen açısal durumunu veren bir başka voltaj değeri üretirler. Servonun çalışmasını sağlayan bu iki voltaj değeri arasındaki farktır. Büyük farklar motorun hızlı dönmesine, küçük farklar motorun yavaş dönmesine neden olurlar. Motorun tahditsiz dönmesi için yapılan değişiklik potansiyometrenin devreden çıkarılarak motorun sabit bir voltaj ile beslenmesinden ibarettir. Potansiyometre devreden çıkarılması yeterli olup, servo kutusundan dışarı alınması motor çalıştığında titreşime neden olabileceğinden sakıncalı olabileceği değerlendirilmektedir. Potansiyometrenin devreden çıkarılma işlemi görüldüğü kadar basit değildir ve bazı servolar dışlı yapıları nedeniyle tahditsiz dönme yeteneğini kazanamazlar.

Servoları bu duruma getirmek için bazı önemli adımların sırasıyla uygulanması gerekmektedir.

- Servo kolunun çıkarılması ve motor kutusunu açılması (Şekil-47).



(a)

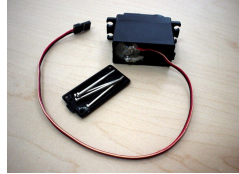
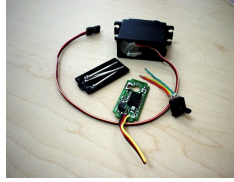
(b)

(c)

c)

Şekil-47. Servo motor kutusunun açılması.

- Servodaki potansiyometre ve kontrol kartınının kutudan çıkarılması (Şekil-48).



(a)

(b)

(c)

c)

Şekil-48. Potansiyometre ve kontrol kartının çıkarılması.

- Şaftın üstündeki dönüş tahdit çıkıntısının işlenmesi (Şekil-49).



(a)

(b)

Şekil-49. Tahdidin kaldırılması.

- Servonun tekrar birleştirilmesi (Şekil-50).



(a)

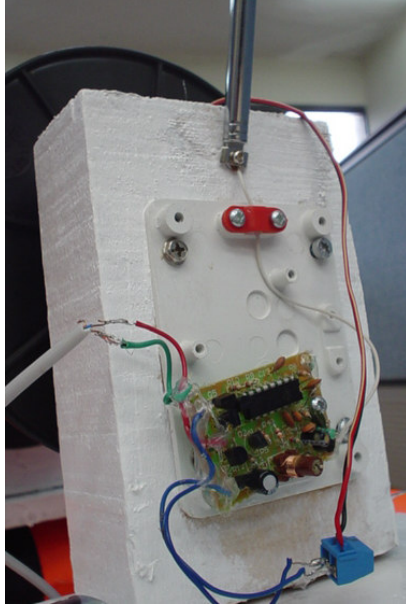


(b)

Şekil-50. Servo motor kutusunun kapatılması.

[3] Uzaktan Kontrol

İndirme kaldırma mekanizmasının yukarı ve aşağı hareketi servo motor vasıtasıyla yapılmaktadır. Kullanılan servo motorun istenilen şekilde sağa veya sola dönmesini uzaktan kontrol mekanizması ile sağlamak amacıyla uzaktan kumandalı oyuncak arabalarda kullanılan sistemin kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda piyasadan temin edilen uzaktan kumandalı oyuncak arabaya ait çok basit bir kontrol kartı “Şamandıra Kısmı”na monte edilerek (Şekil-51) servo motor ile bağlantısı sağlanmıştır. Ayrıca klasik set üstü televizyon anteninden faydalanılarak yaklaşık 50 metre mesafeden indirme kaldırma mekanizmasının kontrol edilmesi de sağlanmıştır. Bu sayede uzaktan kumanda (Şekil-52) ile indirme kaldırma mekanizmasının yukarı ve aşağı hareketi basit bir uygulama ile tamamlanmıştır.



Şekil-51. Anten ve kontrol kartı.



Şekil-52. Uzaktan kontrol kumandası.

3. Duyarga Öbeği

a. Fiziksel Tasarım

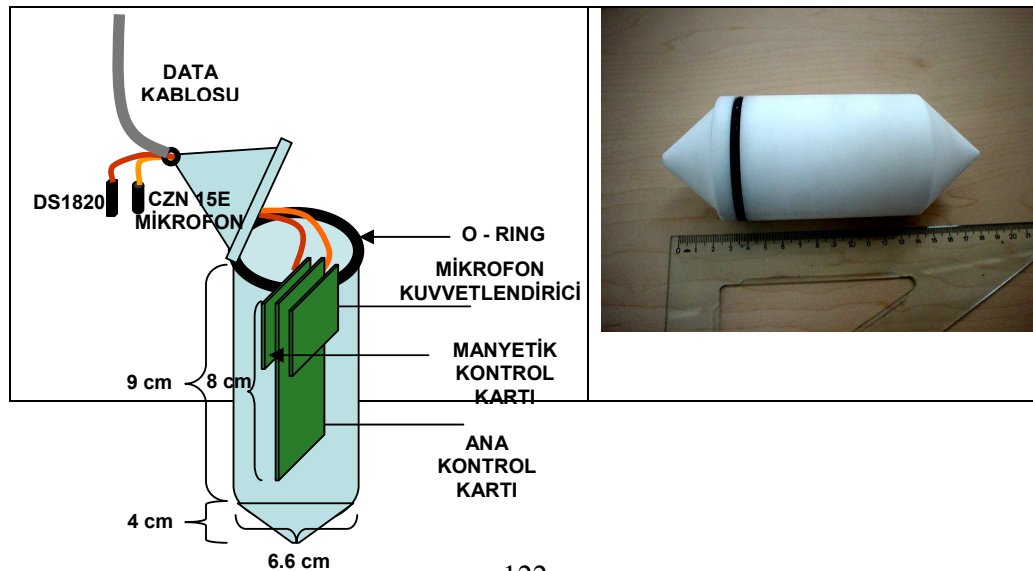
Suyun altına indirilecek duyargaların ve duyargaları kontrol edecek elektronik kartların içinde bulunacağı kutunun tasarımında uygulama esnasında karşılaşılabilecek temel problemlerin çözülmesi hedeflenmiştir. Öncelikle deniz ortamında derinlik arttıkça kutunun maruz kalacağı basınçta artacağından temel problem kutunun basınca dayanıklı olacak bir dizayna sahip olması ve kutunun imal edileceği malzemenin de basınca dayanıklı malzemeden yapılması tasarlanmıştır. İmal edilecek kutunun suyun kaldırma kuvveti de hesaplanarak suyun altına inecek şekilde kutunun sahip olacağı ağırlık hesaplanmıştır. Sualtı

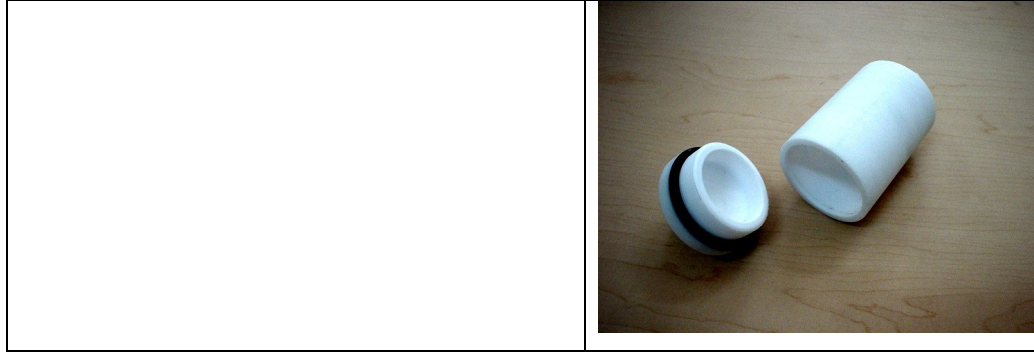
alışmalarında karşılaşılan bir diğ er önemli problem olan sızdırmazlık konusunda da uygun sızdırmazlık malzemesi tespit çalışmaları yapılmıştır.

[1] Duyarga  beği Kutu Tasarımı

Duyarga  beği kutusu imali aşamasında öncelikli ihtiyaç kutu imalinde kullanılacak malzemenin basına dayanıklı olmasıdır. Sualtında yapılan uygulamalarda karşılaşılan sorunlardan en önemli ikisi basınç ve korozyondur. Sualtında her 10 metrede yaklaşık 1 Bar basınç artışı olmaktadır Kutunun imali için malzeme seçimini etkileyen bir diğ er faktör ise korozyondur. Sualtı uygulamalarında kullanılacak kutu imalinde basıncın yanında korozyondan da etkilenmeyecek bir madde kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılan malzeme araştırması sonucunda Teflon (Politetrafluoroetilen) adıyla bilinen fluoropolimerin [42] uygulamada kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Kutunun sualtına inmesinde ve çıkmasında suyun kaldırma kuvvetinden en az etkilenmesi için kutunun üst ve alt kısmı kesik koni şeklinde yapılmıştır. Bu sayede suyun kaldırma kuvvetinden en az düzeyde etkilenmesi hedeflenmiştir. Kutunun ayrıntılı boyut ve tasarımı ile kutunun imal sonrası görünümü şekil-53'te görülmektedir.





Şekil-53. Duyarga öbeği tasarım ve imali.

[2] Su Sızdırmazlığının Sağlanması

Sualtında yapılan uygulamalarda basınç ve korozyon kadar elektronik kart ve duyargaların içinde bulunduğu kutunun sızdırmazlığı da önem taşımaktadır. Basıncında etkisiyle suyun kutu içine girmek için uyguladığı yoğun bir kuvvet oluşmaktadır. Kutunun sızdırmazlık çalışmaları kapak ve kabloların kutu içine girdiği üst kanal üstünde yapılmıştır. Kapak kısmının ana gövdeye tutturulması, kapak kısmına dış ve gövde tarafına dış ağzı (kanal) açılarak sağlanmıştır. Kapak kısmındaki dişlerin üzerine su sızdırmazlığını sağlamak için Teflon bant kullanılmıştır. Dişlerin üzerine teflon bant sarılarak kapak kısmındaki dişlerin arasından su girmesi önlendi. Kapak kısmındaki sızdırmazlığın sağlanmasında dişlerin teflon bant sarılmasına ek olarak O-ring conta kullanılmıştır. Kapak üzerinde kabloların kutu içine girmesi için bulunan kanalın sızdırmazlığını sağlamak için sıcak silikon ve *Devcon* dolgu malzemesi kullanılmıştır [43]. Ayrıca kanalın kapak dışındaki kısmı sıcak silikonla kaplanmıştır.

[3] Duyarga Öbeği Denge ve Boyut Hesapları

Bölüm B-2’de belirtildiği üzere duyarga öbeğinin istenen derinliğe sevk edilebilmesi maksadıyla sistemde servo motor kullanılmıştır.

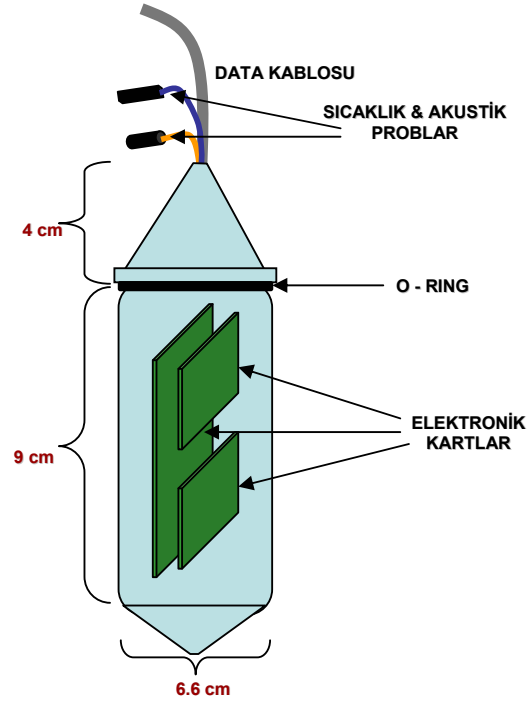
Aşağıda duyarga öbeğinin su içersinde dengede kalabilmesini sağlayan hesaplamalar hakkında özet bilgiler sunulmuştur. Öncelikle tarafımızdan tasarlanan ana kontrol kartı, mikrofon kuvvetlendirici ve manyetik duyarga kartları boyutlarının duyarga kutusunun da boyutlarını ve denge hesaplarını etkileyeceğinden, üzerinde dikkatle durulmuş ve son derece hassas hesaplamalar neticesinde gerekli planlama yapılmıştır. Duyarga öbeğinde bulunan malzemelerin boyut ve ağırlıkları Tablo-12’de sunulmuştur.

Tablo-12. Duyarga kutusunda bulunan malzemelerin boyut ve ağırlıkları.

S.NO	MALZEMENİN ADI	BOYUT (cm)			HACİM (m ³)	AĞIRLIK (gr)
1	Ana Kontrol Kartı	8	5,4	2		20
2	Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı	4	5,4	2		25
3	Manyetik Kontrol Kartı	3	4,0	2		15
DUYARGA KUTUSU GENEL TOPLAM		9	5,6		0,0003989	460

Duyarga kutusu içersinde yer alacak olan bu 3 farklı kartın kutu içersinde yerleşim planlaması Şekil-54’te görülmektedir. Yapılan denge hesaplamaları, elektronik kartların boyutları ve hidrodinamik kaygılar göz önünde bulundurularak duyarga kutusunun şekil ve boyutlarına karar verilmiştir.

Sonuç olarak duyarga kutusunun 9 cm boyunda, 5.6 cm iç ve 6.6 cm dış çeper çapına sahip bir silindir ana gövde, üst ve altında 4 cm yükseklik ve aynı iç ve dış çapa sahip konilerden oluşmasına karar verilmiştir.



Şekil-54. Duyarga öbeği kutu tasarımı.

Mevcut şekil ve boyutlar göz önünde bulundurulduğunda {1} nolu formülden yola çıkarak duyarga kutusunun toplam hacmi (V_{kutu}) yaklaşık $0,0003989 \text{ m}^3$ olmuştur.

$$\{1\} \quad V_{kutu} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{silindir} + 2 \cdot \left(\frac{3}{4}\right) \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h_{koni}$$

Hesaplanan hacim değeri için duyarga kutusunun deniz suyu içerisinde dengede kalabilmesi maksadıyla sahip olması gereken kütlesi {2} nolu formülle hesaplanabilmektedir. Bu formülden de duyarga kutusunun sahip olması gereken minimum ağırlık 409 gr olarak bulunur.

$$\{2\} \quad m_{kutu} = \rho_{su} \cdot V_{kutu} \quad (\rho_{su} = 1025 \text{ Kg/m}^3)$$

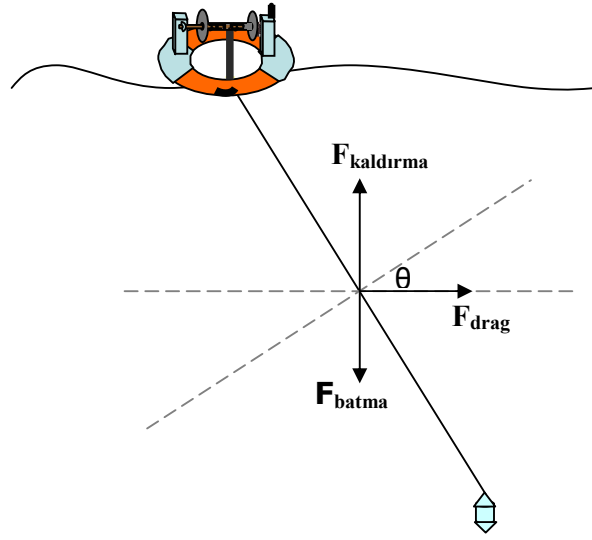
Duyarga öbeğinin istenen derinliğe sevk edilebilmesi maksadıyla içersindeki malzemelerle birlikte toplam ağırlığı yaklaşık 460 gr seviyesinde olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ağırlık sayesinde duyarga kutusu deniz suyu içersinde dengede kalabilmekte ve yukarı alınmak istendiğinde servo motora suyun kaldırma kuvvetinin karşıladığı ağırlık haricindeki sadece 50 gr.lık bir ağırlık yükü binmektedir.

Sonuç olarak; duyarga kutusu müteakip bölümde hesaplama detayları açıklanan F_{batma} ve $F_{kaldırma}$ kuvvetleri arasında gözlemlenen çok ufak fark nedeniyle hafifçe batma eğilimindedir. Ancak yapılan hesaplamalar neticesinde, makaradaki mevcut sürtünme kuvveti ve servo motorun durma konumundayken sahip olduğu atalet gibi nedenlerle deniz içersine atıldığında, indirildiği derinlikte denge konumunda derinliğini muhafaza etmektedir.

[4] Duyarga Öbeği Taşıyıcı Halat Gerilim Hesapları

Duyarga öbeği arzu edilen derinliğe indirilir veya çıkarılırken kutuyu taşımak maksadıyla bir halat veya kabloya gereksinim duyacaktır. Kullanılacak bu taşıyıcının özellikleri, üzerinde oluşacak gerilimi kaldırabilecek yeterlilikte olmalıdır. Bu kapsamda duyarga kutusunu istenen derinliğe sevk ederken veri kablosu haricinde taşıyıcı halat kullanılmasına gereksinim duyulup duyulmayacağı, gereksinim duyulması halinde taşıyıcı halatta bulunması gereken özellikler detaylı olarak incelenmiştir.

Duyarga kutusunu taşıyacak olan halatı etkileyecek kuvvetler Şekil-55'te gösterilmiştir. Burada F_{batma} duyarga kutusunun mevcut ağırlığı neticesinde oluşan kuvveti, $F_{kaldırma}$ deniz suyunun kutuya uyguladığı kaldırma kuvvetini ve F_{drag} bölgede akıntı olması halinde telin üzerine etkiyen sürüklenme kuvvetini ifade etmektedir.



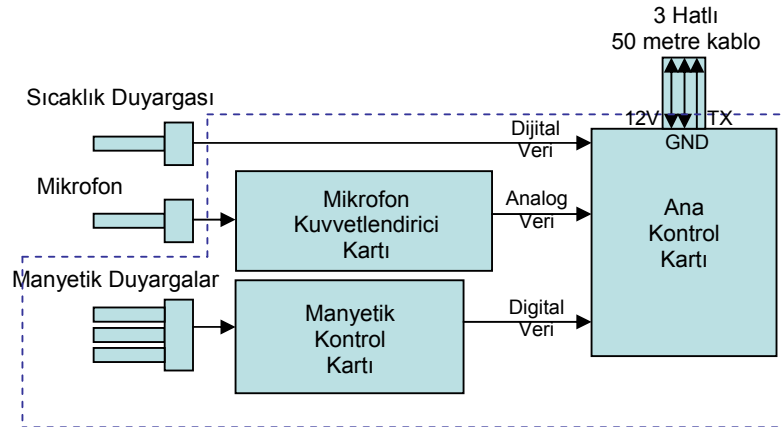
Şekil-55. Halat gerilimine etkiyen kuvvetler.

Sonuç olarak; duyarga kutusuna etkiyen F_{drag} , F_{batma} ve $F_{kaldırma}$ kuvvetleri neticesinde yaklaşık 40 metrelik bir taşıyıcı kablo üzerinde 5.16 Nt./cm^2 lik bir gerilim kuvveti oluşmaktadır. Oluşan bu gerilim kuvvetinin oldukça düşük olması nedeniyle, duyarga kutusunu taşımak maksadıyla veri kablosuna ilaveten başka bir kablo veya tele gereksinim duyulmadığına karar verilmiştir.

b. Elektronik Tasarım

Sistemin ana elemanı olan “Duyarga Öbeği” bünyesinde 3 adet elektronik kart barındırmaktadır. Bunlar sırasıyla “Manyetik Kontrol Kartı”, “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı” ve “Ana Kontrol Kartı”dır. Manyetik duyargalardan alınan veri “Manyetik Kontrol Kartı”nda işlenmekte, mikrofon tarafından alınan ses “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı” tarafından yükseltilmekte, bunlarla beraber sıcaklık duyargasında alınan veri ile birlikte Ana Kontrol Kartı’nda bulunan mikro denetleyiciye iletilmektedir. Duyarga Öbeği’ne ait elektronik sistem blok şeması Şekil-56, kullanılan elektronik kartların “Duyarga Öbeği” ile beraber görüntüsü Şekil-57’de verilmiştir. Bahse konu kartlar delikli

baskılı devre kartı üzerine tarafımızdan yapılmıştır. “Duyarga Öbeği”nde kullanılan elektronik kartlara ilişkin ayrıntılı anlatım müteakip maddelerdedir.



Şekil-56. Duyarga öbeği elektronik sistem blok şeması.

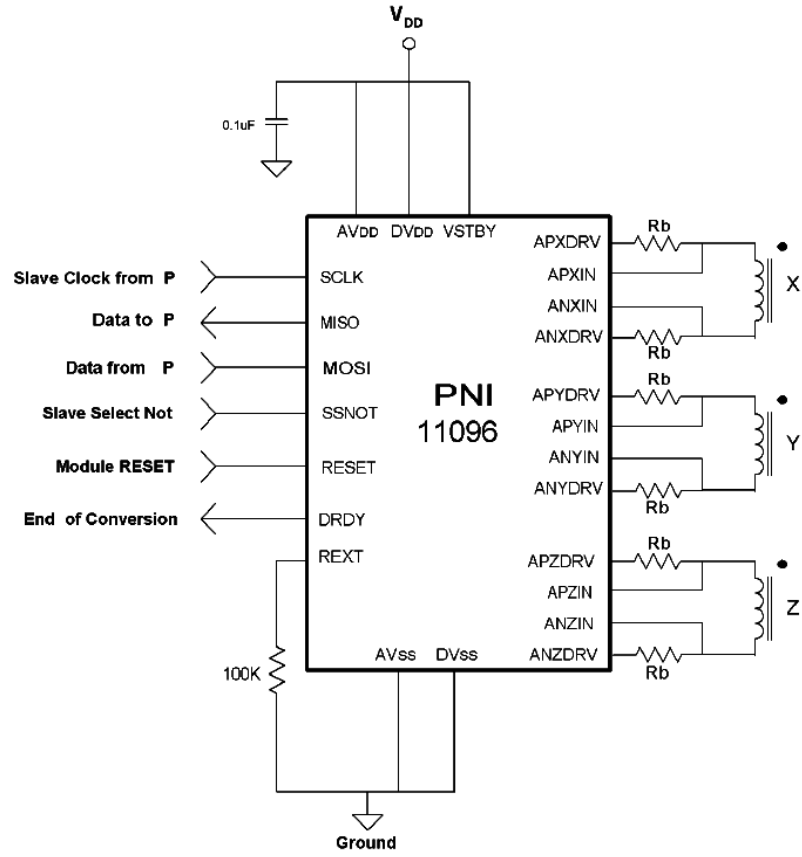


Şekil-57. Duyarga öbeği elektronik kartları.

[1] Manyetik Kontrol Kartı

“Manyetik Kontrol Kartı” uygulamada kullanılan 3 adet manyetik duyurga tarafından alınan verinin bahse konu manyetik duyurgalarla aynı dili

konuşan bir manyetik duyarga sürücüsü tarafından işlenerek mikro denetleyiciye iletilmesinin sağlanması için tasarlanmıştır. S-65 Magnetoinductive Manyetik duyargalar, PNI 11096 sürücüye bağlanarak sürücü çıkışından “Ana Kontrol Kartı”nda bulunan PIC16F877 mikro denetleyiciye dijital olarak veri gönderilmesi sağlanmıştır. “Manyetik Kontrol Kartı”nda kullanılan devre şeması Şekil-58, kartın görüntüsü Şekil-59’da verilmiştir.



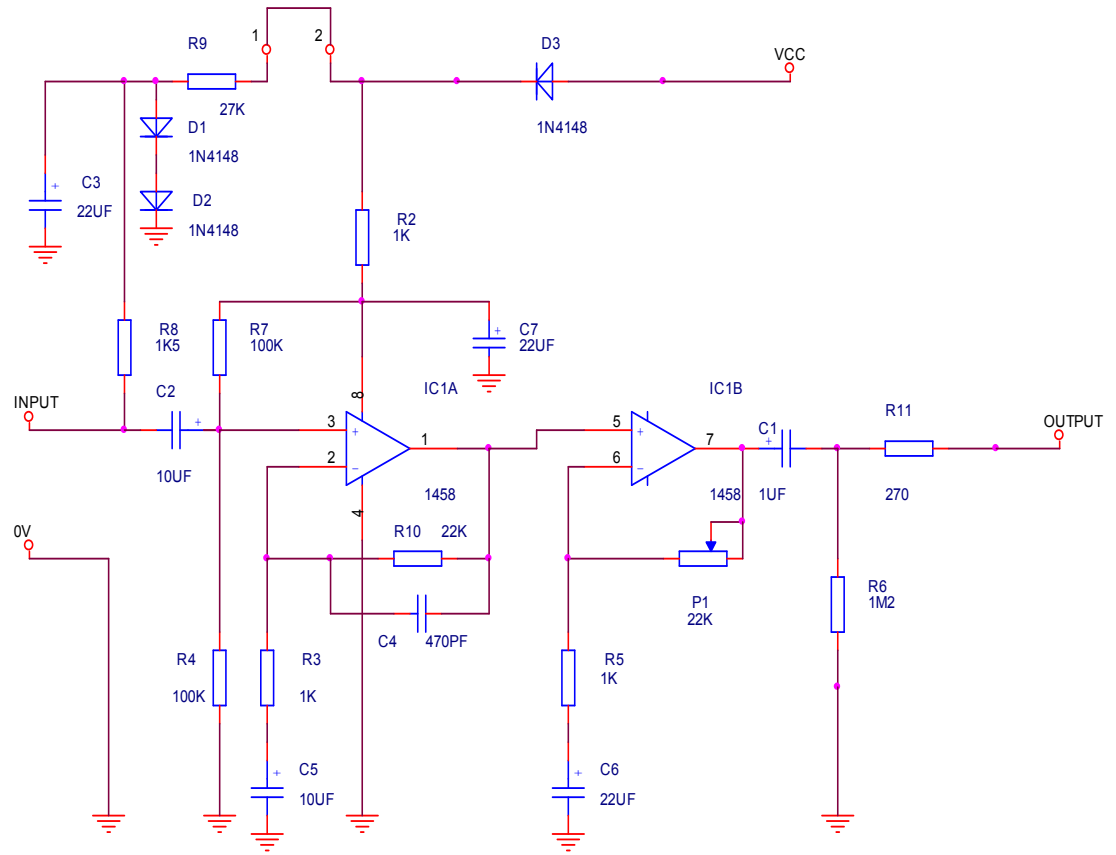
Şekil-58. Manyetik kontrol kartı devre şeması.



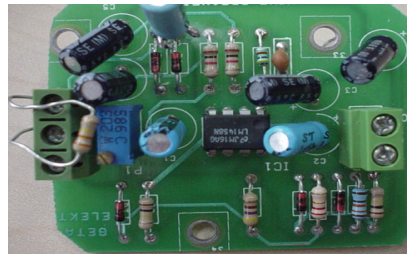
Şekil-59. Manyetik kontrol kartı.

[2] Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı

Uygulamada kullanılan mikrofonun gönderdiği sinyal seviyesinin yorumlanabilir bir büyüklüğe yükseltilmesi amacıyla sistemde “Mikrofon Kuvvetlendirici Kart” kullanılması planlanmış ve LM1458 Dual OPAMP kullanmak suretiyle bir mikrofon preamfi tasarlanmıştır. “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı” mikrofondan aldığı sinyali kuvvetlendirerek analog olarak “Ana Kontrol Kartı”nda bulunan mikro denetleyiciye iletmektedir. Mikro denetleyici tarafından bu sinyal daha sonra dijitale çevrilmektedir. “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı”nda kullanılan devre şeması Şekil-60, kartın görüntüsü Şekil-61’te verilmiştir.



Şekil-60. Mikrofon kuvvetlendirici kartı devre şeması.

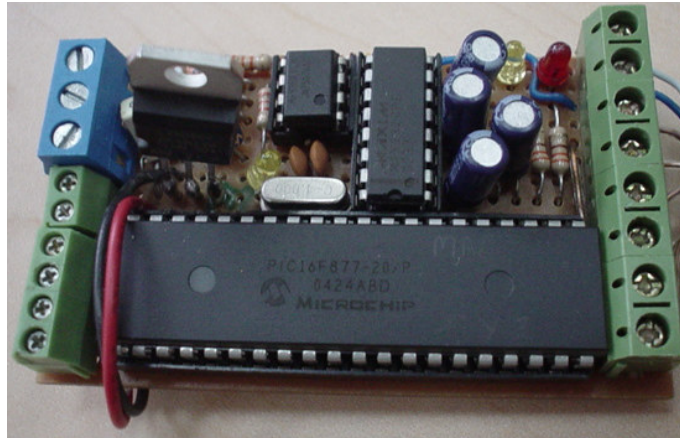


Şekil-61. Mikrofon kuvvetlendirici kartı.

[3] Ana Kontrol Kartı

“Ana Kontrol Kartı” uygulamada kullanılan 3 adet mikro duyargadan alınacak verilerin işlenerek 50 metrelik kablo vasıtasıyla Şamandıra Kısmı üzerinden bilgisayara iletilmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. “Ana Kontrol Kartı”nın ana elemanı PIC16F877 mikro denetleyicidir. Kullanılan 3 adet mikro duyargadan manyetik duyargalardan gelen veri “Manyetik Kontrol Kartı” üzerinden dijital olarak, mikrofondan gelen veri “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı” üzerinden analog olarak, sıcaklık duyargasından gelen veri ise direkt bağlantı ile dijital olarak PIC16F877 mikro denetleyiciye girilmiştir.

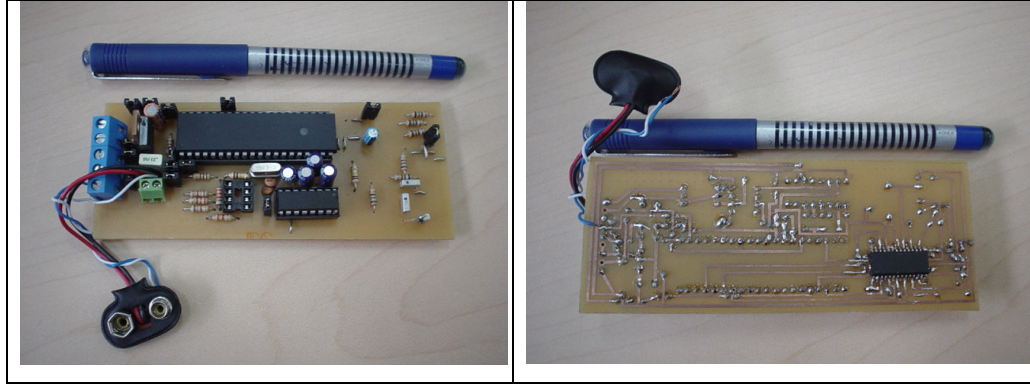
Mikro denetleyici tarafından “Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı” üzerinden analog olarak alınan veri dijitalle çevrilerek alınan tüm veriler hedef tespit ve sınıflandırma algoritmasına göre işlenerek dijital olarak bilgisayar ortamına iletilmiştir. Bu kapsamda “Ana Kontrol Kartı” üzerine ayrıca RS 232 ve RS 485 protokolüne ilişkin devre elemanları da adapte edilmiştir. “Ana Kontrol Kartı”nın görüntüsü Şekil-62’de verilmiştir.



Şekil-62. Ana kontrol kartı.

Sıcaklık duyargasından alınan dijital veri PIC16F877 mikro denetleyicisinin 15 numaralı RC0 portuna, mikrofondan alınan veri 2 numaralı RA0 portuna, manyetik duyargalardan alınan veri ise 23 numaralı RC4 portuna girilmiştir. Mikro denetleyici tarafından işlenen veri ise 25 numaralı RC6/TX portundan dijital olarak gönderilmiştir. Mikro denetleyiciden gönderilen dijital verinin MAX 232 entegresi ile RS 232 formatına, müteakiben SN75176 entegresi ile de RS 485 formatına dönüştürülerek “Duyarga Öbeği”nden 50 metrelik kablo ile “Şamandıra Kısım”na iletilmesi sağlanmıştır. RS 232 ve RS 485 protokol dönüşümleri Bölüm B-5’te ayrıca anlatılmıştır.

Yukarıda belirtilen elektronik karlar tarafımızdan delikli kart üzerine basılmıştır. Bunlara ilave olarak manyetik kontrol kartı ile ana kontrol kartı birleştirilerek yine kendi bünyemizce tek yönlü bakır levha üzerine de deneme mahiyetinde bir elektronik kart basılmış (Şekil-63) ve çalışması sağlanmıştır.



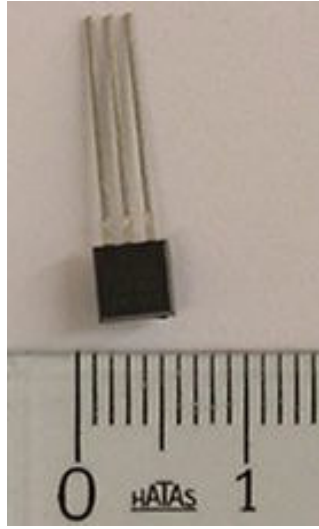
Şekil-63. Tek yönlü elektronik kart.

Ayrıca yukarıda verilen bilgiler ışığında duyarga öbeğinde kullanılan elektronik devre şeması Şekil-64’te verilmiştir.

4. Kullanılan Mikro Duyargalar

a. Sıcaklık Duyargası

Uygulamada kullanılmak üzere sıcaklık duyargası olarak “DALLAS Semiconductor” firması tarafından üretilen “DS18B20 Dijital Termometre” (Şekil-65) seçilmiştir.



Şekil-65. DS18B20 dijital termometre.

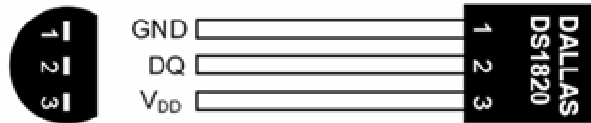
DS18B20 dijital termometreyi ilginç yapan en önemli özellik “ONE WIRE” yani tek telli bir mikroişlemci/mikrodenetleyici arabirimine sahip olmasıdır. Bu arabirim sayesinde çift yönlü seri haberleşme yaparak hem konfigüre edilmekte, hem de içinde bulunan sıcaklık duyargasının ve A/D dönüştürücünün bilgilerini bağlı olduğu mikro denetleyiciye aktarabilmektedir. DS18B20, -55 ile +125 santigrad dereceler arasını 0.5 derece hassasiyetle ölçebilmektedir.

DS18B20 Dijital Termometre'ye ait genel özellikler aşağıda listelenmiştir [44].

- Haberleşme sadece tek telli (1-Wire) hat üzerinden yapılmaktadır.
- Bünyesinde (On-board ROM) 64-bit seri kodlama barındırmaktadır.
- Çoklu kullanım sayesinde büyük alanda sıcaklık ölçüm uygulamaları için etkin bir kullanım alanı mevcuttur.
- Herhangi bir harici tamamlayıcı bağlantı elemanına ihtiyaç duymamaktadır.
- Veri bacağı üzerinden güç beslemesi yapılabilir.
- Güç beslemesi ihtiyacı 3.0 V ile 5.5 V arasındadır.
- -55 °C ile +125 °C aralığında ölçüm yapabilmektedir.
- -10 °C ile +85 °C aralığında ± 0.5 °C doğruluğa sahiptir.
- 9-bit termometre kararlılığına sahiptir.
- 750 ms. içerisinde sıcaklık çevrimini yapmaktadır.
- Kullanıcı tanımlı değişken olmayan alarm ayarı mevcuttur.

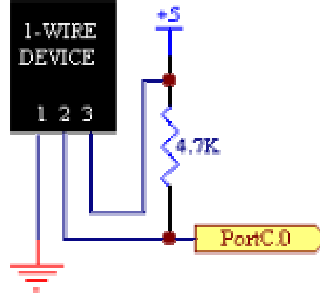
DS18B20 Dijital Termometre'nin en yaygın kullanım alanları olarak termostatik kontrol sistemleri, endüstriyel sistemler ve her çeşit sıcaklık tespit uygulamalarıdır.

DS18B20'nin pin konfigürasyonu Şekil-66'da verilmiştir. 1 numaralı bacak toprak, 2 numaralı bacak haberleşme, 3 numaralı bacak ise güç olarak kullanılmaktadır.

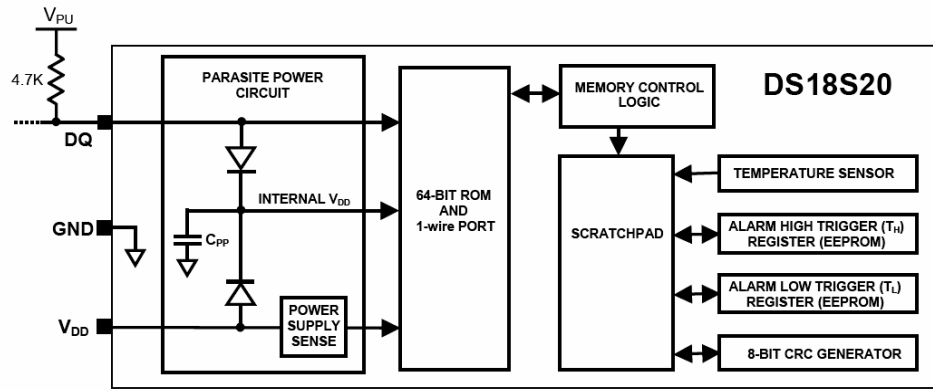


Şekil-66. DS18B20 pin konfigürasyonu.

DS18B20'nin kullanımına ilişkin devre şeması Şekil-67'de, blok şeması Şekil-68'de verilmiştir.



Şekil-67. DS18B20 devre şeması.



Şekil-68. DS18B20 blok şeması.

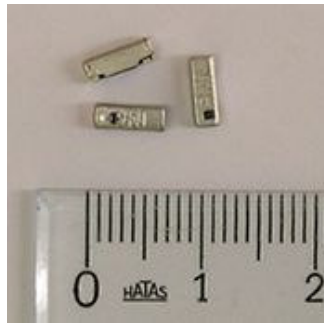
Uygulamada DS18B20 dijital termometre “Duyarga Öbeği”nin dışında suya temas edecek şekilde kullanılmıştır. Bu kapsamda manyetik etkisi bulunmayan metal bir prob içerisine alınmış (Şekil-69), *devcon* su sızdırmazlık malzemesi ile su sızdırmazlığı sağlanarak kullanılmıştır.



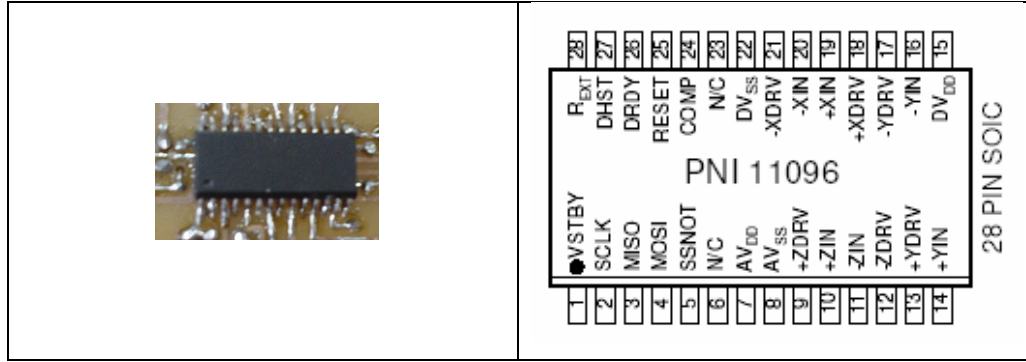
Şekil-69. Sıcaklık probu.

b. Manyetik Duyargalar

Uygulamada kullanılmak üzere manyetik alan duyargası olarak “PNI Corporation” firması tarafından üretilen “S-65 Manyeto-İndüksiyon” (Şekil-70) seçilmiştir. Manyetik alan ölçümleri 3 eksen üzerinden öngörüldüğünden dolayı anılan duyargalardan 3 adet kullanılmıştır. Ayrıca bahse konu duyargalarının sürücüsü olarak da yine “PNI Corporation” firmasına ait PNI 11096 ASIC sürücü (Şekil-71) kullanılmıştır.



Şekil-70. S-65 Manyeto-İndüksiyon duyargaları.



Şekil-71. PNI 11096 manyetik duyarga sürücüsü.

Bahse konu S-65 Manyeto-İndüksiyon (MI) duyargaları düşük maliyetli manyetik alan algılama performansı olarak kendi alanında en iyisidir [42]. Bu duyargaların endüktansları manyetik alan algılama mesafeleri içinde % 100 kesinlikte değişim gösterir . Sıcaklık ve gürültü dengelenmiş osilatör / sayaç devresi, duyargaların bu değişken endüktans özelliğini kullanarak manyetik alan değişimlerini algılar. PNI 11096 ASIC , bu devrenin tavsiye edilen uygulama sürücüsüdür. SEN-S65 Manyeto-İndüksiyon duyargalarına ait genel özellikler aşağıda listelenmiştir [42].

- 11096 ASIC Sürücü ile 2.2 V gerilim kadar düşük bir gerilimle çalışabilir.
- Manyetik Alan Ölçüm Menzili $\pm 1100\text{mT}$ (± 11 Gauss) dır.
- Manyetik Alan çözünürlüğü 0.015mT (0.00015 Gauss) kadar düşebilir.
- Fazladan herhangi bir devre elemanı gerekmeksizin 11096 sürücü devresi ve her duyarga için 2'şer adet direnç kullanılarak devre oluşturulabilir.

PNI 11096 , PNI Şirketinin manyeto-indüksiyon duyargalarla birlikte kullanmak için dizayn ettiği düşük maliyetli manyetik uygulamaya özgül tümleşik devre (ASIC)'dir. PNI 11096 birbirinden bağımsız 3 manyeto-indüksiyon

duyargasını kontrol edip ölçüm yapabilir [43]. Her bir duyarga ayrı ayrı ölçüm için seçilebilir ve ölçüm hassasiyet ayarı yapılabilir. PNI 11096 ASIC, 3 Eksenli Manyeto – İndüksiyon Duyarga Sürücüsüne ait genel özellikler aşağıda listelenmiştir [43].

- 2.2 den 5 V aralığında bir gerilimle çalışabildiğinden kullanım esnekliğine sahiptir.
- Saniyede 2000 adete kadar ölçüm yapma hızına sahiptir.
- Tamamen dijital haberleşme yapar.

Sürücü, Seri Çevresel Arabirim (SPI = Serial Peripheral Interface) kullanarak mikroişlemciyle haberleşebilir. Bu haberleşmede 6 adet sinyal kullanılır. Bunlar SCLK, MOSI, MISO, SSNOT, RESET ve DRDY'dir. Bu sinyallerle sürücü ve mikroişlemci iletişimlerini gerçekleştirir.

c. Akustik Duyarga

Uygulamada kullanılmak üzere akustik duyarga olarak “Ningbo Boyi Electron Co.” firması tarafından üretilen “CZN 15E Elektret Kondansatör Mikrofon” (Şekil-72) seçilmiştir.



Şekil-72. CZN 15E elektret kondansatör mikrofon.

CZN 15E elektret kondansatör mikrofonu ait genel özellikler aşağıda listelenmiştir.

- **Mikrofon Tipi** : Elektret Kondansatör Mikrofon
- **Boyutu** : 9.7 x 6.5 mm.
- **Materyali** : Alüminyum
- **Web Sayfası** : booyii.en.ec21.com

Uygulamamızda özellikle bu marka ve model mikrofonu tercih etmemizin kolay ulaşabilmemiz haricinde özel bir sebebi yoktur. Burada bu marka ve model yerine bir başka markanın ürettiği “*Elektret Kondansatör*” tip mikrofon da kullanılabilir. Uygulama için önemli olan nokta kullanılan mikrofon tipi ve çalışma prensibidir. Uygulamada mikrofon “Duyarga Öbeği”nin dışında suya temas edecek şekilde kullanılmıştır. Bu kapsamda manyetik etkisi bulunmayan metal bir prob içerisine alınmıştır (Şekil-73). Mikrofonun diyaframının suya temas etmesi için prob üst tarafından delinmiş ve diyaframın sudan etkilenmemesi için delinen bölge ile diyafram arasında streç film konulmuştur. Bunun dışında kalan yerler ise *devcon* su sızdırmazlık malzemesi ile doldurularak mikrofon probunun su sızdırmazlığı sağlanmıştır.



Şekil-73. Mikrofon probu.

5. Kullanılan Haberleşme Protokolü

Uygulamada sistemde kullanılan mikro duyargaların bulunduğu Mikro Duyarga Öbeği ile Şamandıra arasında veri transferinin sağlanması amacıyla RS 232 ve RS 485 protokolleri kullanılmıştır. Bu kapsamda Mikro Duyarga Öbeği'nde bulunan mikro denetleyici tarafından gönderilen veri öncelikle RS 232 formatında alınmış, müteakiben RS 485 formatına çevrilerek Mikro Duyarga Öbeği'nden Şamandıra kısmına 50 metrelik kablo vasıtasıyla gönderilmiştir. Şamandıra kısmında RS 485 formatında alınan veri, RS 485 – RS 232 çevirici vasıtasıyla tekrar RS 232 formatına çevrilerek bilgisayar ortamına alınmıştır.

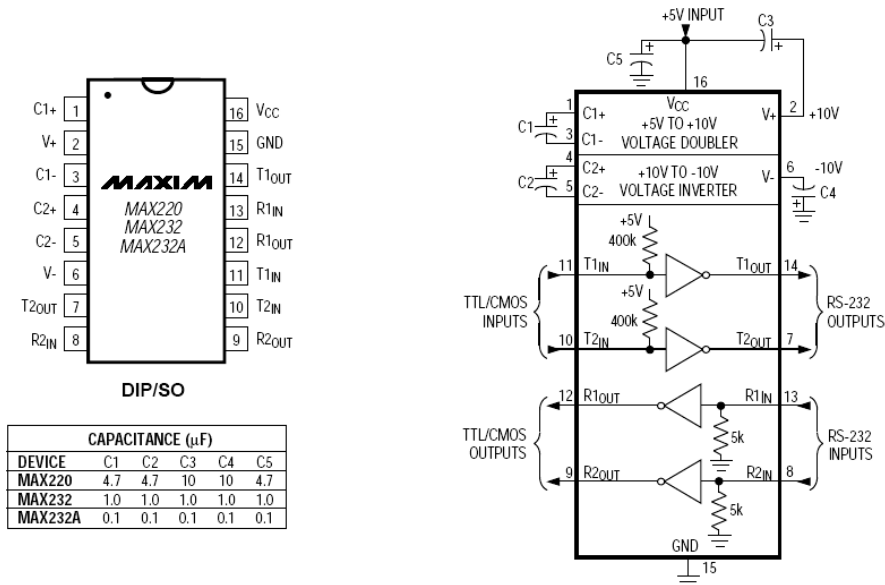
Bilindiği üzere RS 232 formatında optimum veri iletim mesafesi 20 metre civarında, asenkron haberleşme kullanıldığında parazitsiz bir ortamda ise 50 metreye kadar çıkmaktadır. Seri haberleşmelerde olabilecek muhtemel sorunları engellemek ve sistemin uzun vadede 50 metreden çok daha yüksek derinliklerde de çalışmasının sağlanması amacıyla RS 485 protokolü de ayrıca sisteme adapte edilmiştir. RS 485 protokolü ile ortalama 1000 metre mesafede veri iletimi sorunsuz olarak sağlanmaktadır.

Yapılan testlerde RS 232 formatında 9600 baud hızında veri iletiminin problemsiz olarak sağlandığı da ayrıca görülmüştür. Bu kapsamda tasarlanan sistem hem RS 232 hem de RS 485 formatında veri iletimine uygundur. Kullanılan 50 metrelik kablo 3 hatlı olup bunlardan 1 tanesi “Mikro Duyarga Öbeği”nden gönderilen TX verisi, diğer 2 hat ise güç beslemesi olarak kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde bilgisayar ortamından “Mikro Duyarga Öbeği”nde bulunan mikro denetleyiciye herhangi bir veri gönderilmesi öngörülmediğinden tasarımlarda RX veri hattı kullanılmamıştır.

a. Mikro Denetleyici'den RS 232 Formatında Verinin Alınması

RS-232 ara-birimi TIA/EIA-232 standardında belirtilen şekilde kısaltmaları CD, RD, TD, DTR, GND, DSR, RTS, CTS, RI olarak belirtilen dokuz farklı sinyal, veri alma, verme ve kontrol amaçlı olarak kullanılır.

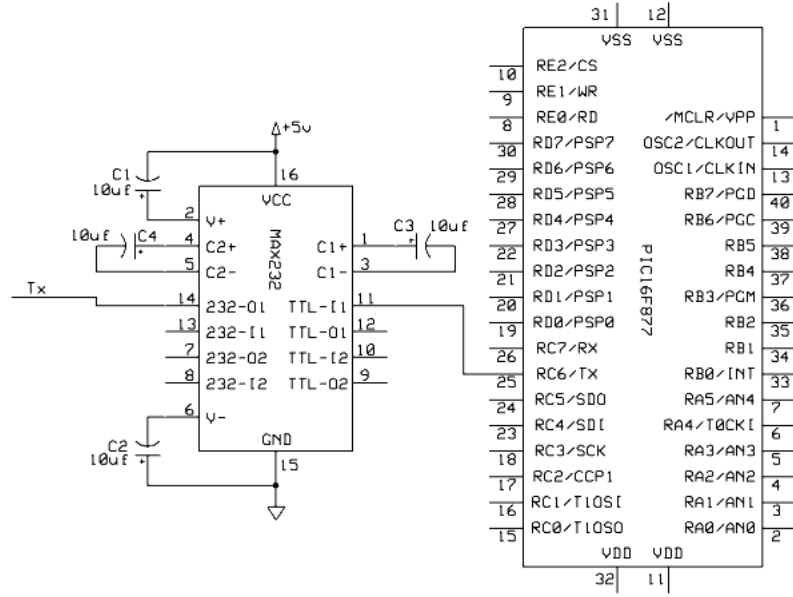
Mikro Duyarga Öbeği'nde bulunan ana kontrol kartı üzerinde bulunan PIC16F877 mikro denetleyicisinin duyargalardan aldığı ve değerlendirdiği veriyi RS 232 formatında almak üzere MAXIM firması tarafından üretilen ve piyasada rahatlıkla ve ucuz olarak bulunabilen “MAX 232” entegresi kullanılmıştır. MAX 232 ile gerek bilgisayardan mikro denetleyiciye, gerekse mikro denetleyiciden bilgisayara iletilecek verinin sinyal seviyelerinin ayarlanması sağlanmaktadır. MAX 232'nin pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması Şekil-74'te verilmiştir.



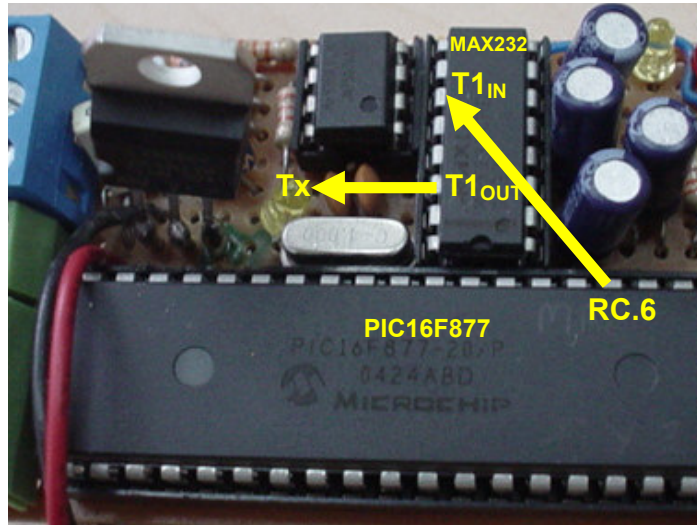
Şekil-74. MAX 232 pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması.

Bu kapsamda tasarlanan devrenin şeması Şekil-75, baskılı devre görüntüsü Şekil-76'da verilmiştir. Yapılan devre iki kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısım yani devrenin verici kısmında, mikro denetleyicinin RC6/TX portundan gelen veri MAX 232 entegresinin 11 numaralı T₁IN bacağına girilmiştir. Voltaj seviyesi ayarlanan mikro denetleyici verisi daha sonra MAX 232 entegresinin 14 numaralı T₁OUT bacağından RS 232 formatında alınmıştır.



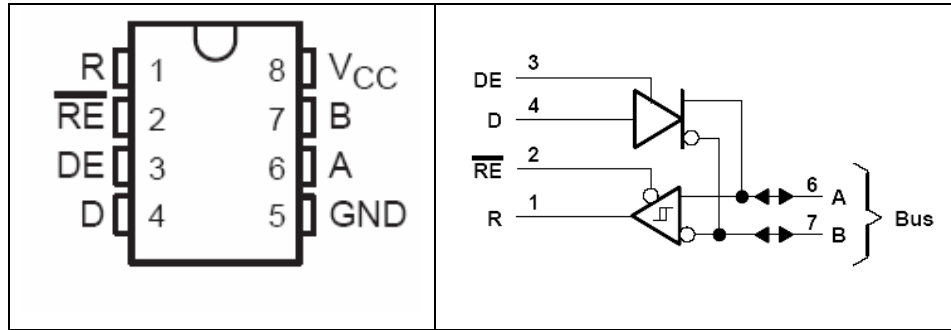
Şekil-75. MAX 232 – PIC16F877 devre şeması.



Şekil-76. MAX 232 – PIC16F877 baskılı devre görüntüsü.

b. Mikro Denetleyici'den RS 232 Formatında Alınan Verinin RS 485 Formatına Dönüştürülmesi.

PIC16F877 mikro denetleyicisinden RS 232 formatında alınan verinin RS 485 formatına çevrilerek sistemin Şamandıra kısmına iletilmesi maksadıyla TEXAS Instruments firması tarafından üretilen ve piyasada rahatlıkla ve ucuz olarak bulunabilen “SN 75176” entegresi kullanılmıştır. SN 75176'ya ait pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması Şekil-77'de verilmiştir.



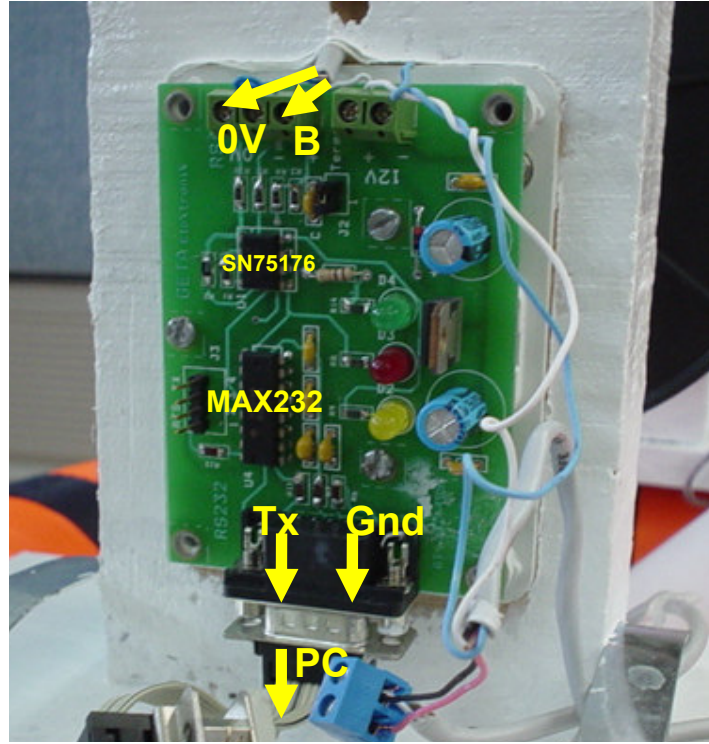
Şekil-77. SN 75176 pin konfigürasyonu ve tipik devre şeması.

MAX 232 entegresinden alınan verinin RS 485 formatında iletilmesi için tasarlanan devre şeması Şekil-78, baskılı devre görüntüsü Şekil-79'da verilmiştir. Devrede MAX 232 entegresinin 14 numaralı T₁OUT bacağından alınan veri SN 75176 entegresinin 1 numaralı bacağına girilmiştir.

Voltaj koşullaması yapılan veri SN 75176 entegresinin 7 numaralı B bacağından alınarak müteakiben 50 metrelik kablo üzerinden şamandıra kısmına iletilmiştir.

protokolü değil, bir taşıma ortamıdır. Dolayısıyla verinin alınıp işleneceği ortamların RS 232 formatında bu işlemi gerçekleştirmesi gerekmektedir.

Mikro Duyarga Öbeği”nden gelen verinin “Şamandıra Kısımı”nda yeniden RS 232 formatına dönüştürülmesi kapsamında piyasadan temin edilen bir “RS 485-232 Çevirici” kullanılmıştır. Veri iletim kablosundaki TX hattı RS 485-232 çeviriciye girilerek çevirici çıkışından alınan RS 232 verisi bilgisayara iletilerek uygulamanın veri iletiminin sorunsuz olarak gerçekleşmesi sağlanmıştır. Kullanılan RS 485-232 çeviricinin Şamandıra Kısımı’ndaki genel görünümü Şekil-80’de verilmiştir.



Şekil-80. RS 485-232 çeviricinin şamandıra kısmındaki görünümü.

6. Sistemin Güç Beslemesi

Sistemin güç ihtiyacına ilişkin yapılan çalışmalar neticesinde;

- Mikroduyarga Öbeği'nde mevcut "Ana Kontrol Kartı" ve "Manyetik Algılayıcı Kartı"nın güç ihtiyacının 5 V DC olduğu, "Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı"nın güç ihtiyacının ise 9 ila 12 V DC arasında olduğu,
- Mikroduyarga Nod'unda mevcut "İndirme Kaldırma Mekanizması"na ait "Servo Motor" ve "Uzaktan Kumanda Kartı" ile "RS 232 – RS 485 Çevirici"nin güç ihtiyaçlarının 5 V DC olduğu belirlenmiştir.

Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler sonucunda sisteme ait güç beslemesi için "Duyarga Öbeği"nde kullanmak üzere 9 V Alkaline Pil, "Mikro duyarga Nodu"nda kullanılmak üzere ise laboratuvar ortamında mevcut 5 V ve 12 V regülatörün sisteme entegre edilmesine karar verilmiştir.

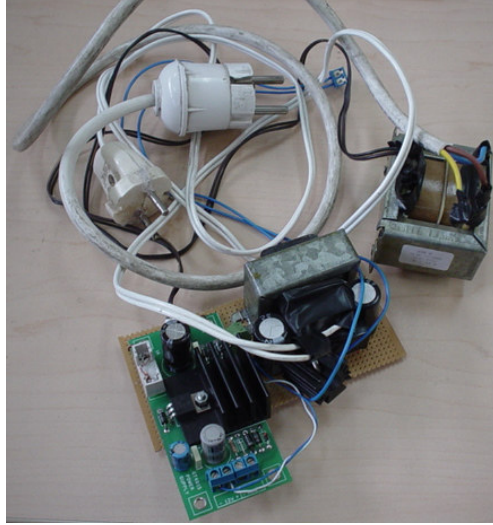
Duyarga Öbeğinde kullanılan "Ana Kontrol Kartı" ve "Manyetik Algılayıcı Kartı" için gerekli olan 5 V DC gücün 9 V Alkaline Pil üzerinden sağlanması maksadıyla "Ana Kontrol Kartı" üzerinde LM7805 entegresi kullanılmıştır. LM7805 entegresi vasıtasıyla giriş olarak verilen voltaj ne olursa olsun çıkış olarak 5 V DC verilebilmektedir. Bu kapsamda bahse konu entegrenin "Ana Kontrol Kartı" üzerine montajı sağlanmıştır. "Manyetik Algılayıcı Kartı" için gerekli olan 5 V DC de yine LM7805 entegresi üzerinden alınarak sağlanmıştır. Bununla beraber "Mikrofon Kuvvetlendirici Kartı" için gerekli olan güç ihtiyacı da 9 V Alkaline Pil üzerinden direkt olarak alınmak suretiyle sağlanmıştır.

Mikro Duyarga Nod'unda mevcut "İndirme Kaldırma Mekanizması"na ait "Servo Motor" ve "Uzaktan Kumanda Kartı" için gerekli olan 5 V DC güç ihtiyacı yukarıda belirtildiği gibi 5 V regülatör ile sağlanmıştır. RS 232 – RS 485

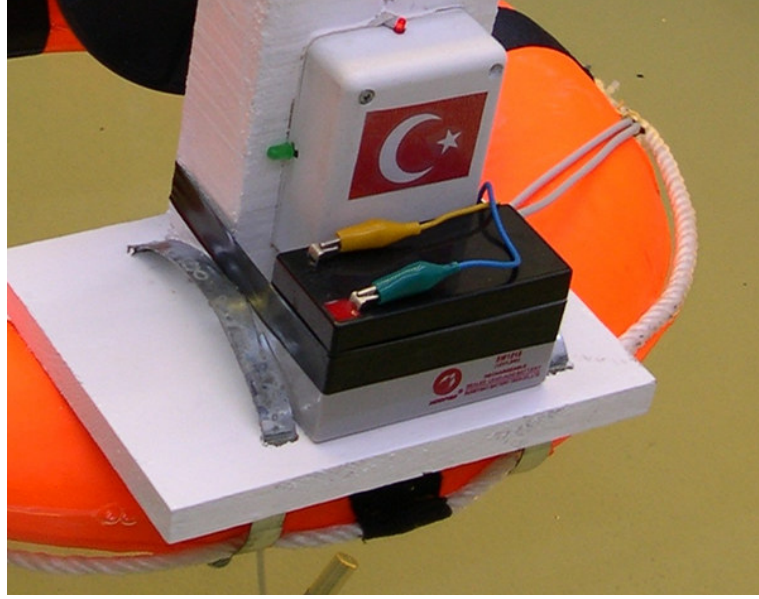
Çevirici için ise, bahse konu kart üzerinde LM7805 entegresinin bulunması ve LM7805 bulunan bir devrenin giriş voltajının 5 V'dan daha büyük olmasının gerekmesi sebebiyle 12 V regülatör kullanılmıştır.

Müteakip çalışmalarda sistemde kullanılan güç beslemesi olarak kabloya bağımlı regülatörlerle (Şekil-81) beraber ayrıca Duyarga öbeğinde pil kullanmak yerine tüm sistemde tek bir güç beslemesi kullanılmasına karar verilmiş, bu kapsamda “12 V,1.3 A Şarj Edilebilir Sealed-Lead Acid Akü” tedarik edilerek Şamandıra kısmı üzerine monte edilmiştir (Şekil-82). Bu sayede Duyarga öbeğinde ayrıca bir pil kullanılması sorunu da giderilmiştir. Tüm sistemin çektiği akımın ortalama 50 mili amper olduğu dikkate alındığında, kullanılan güç beslemesi yaklaşık 30 saat süre ile çalışabilecektir.

Sonuç olarak sistemin güç ihtiyacı tek bir eleman ile sağlanmıştır. Kullanılan akünün boyutunun ufak olması, şarj edilebilme özelliği ve yaklaşık 30 saatlik çalışma süresi sisteme önemli avantaj sağlamıştır.



Şekil-81. Regülatörler.



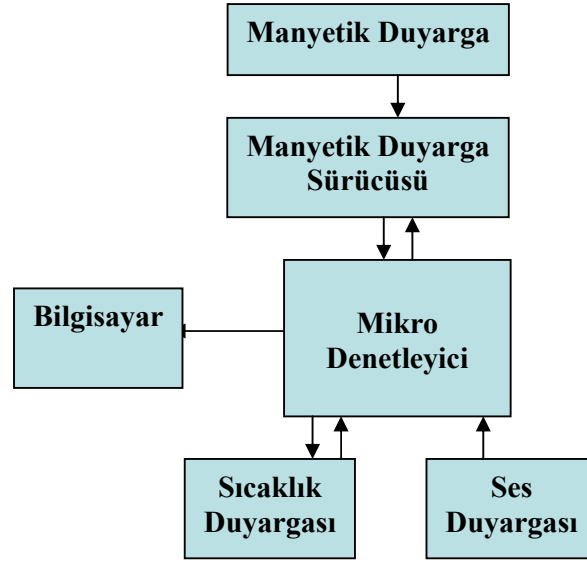
Şekil-82. 12 V,1.3 A Şarj Edilebilir Sealed-Lead Acid Akü.

C. YAZILIM TASARIMI (SOFTWARE DESIGN)

1. Genel Yazılım Mimarisi

Uygulamada duyargaların bulunduğu duyarga öbeği mikro denetleyici ile kontrol edilmektedir. Mikro denetleyici duyargaları komuta etmekte ve duyargalardan aldığı ölçüm sonuçlarını ana bilgisayara seri iletişim ile göndermektedir.

Duyarga öbeği blok diyagramı Şekil-83'te görülmektedir.



Şekil-83. Duyarga öbeği blok diyagramı.

Mikro denetleyiciyi programlamak ve uygulamada kullanmak için belli adımlar gerekmektedir. Öncelikle mikro denetleyici üzerinde çalışacak kaynak kod yazılmaktadır. Yazılan kaynak kod mikro denetleyicinin çalıştırabileceği makine diline çevrilmektedir. Makine diline çevrilen kaynak kod en son aşamada mikro denetleyiciye yüklenmektedir.

Uygulamada kullanılan Mikro denetleyicinin programlanmasında kullanılan yazılım ve donanımlar;

- Pic Basic Pro derleyicisi,
- MPLAB,
- Pic Programlama Yazılımı,
- Pic Programlama Kartı'dır.

Programlamada kullanılan tüm yazılımlar Micro Engineering Labs firmasından temin edilebilmektedir [44]. Uygulamada uygulama odu yazılımı ve programlama için Micro Code Studio programı kullanılmıştır [45]. Micro Code

Studio programı kullanışlı bir programlama yazılımıdır. Micro Code Studio ile derleyici olarak Pic Basic Pro derleyicisi kullanılmıştır.

2. Hedef Tespiti ve Sınıflandırılması

Sualtı hedef tespit ve sınıflandırmasında en önemli husus tespit edilecek ve sınıflandırılacak hedeflerin seçilmesidir. Bu hedeflerin seçimi duyarga seçimini etkilemektedir. Uygulamada kullanılan duyargalar tespit etmek ve sınıflandırmak istediğimiz hedeflerin özelliklerine göre seçildi. Aşağıda uygulamada tespit edilmek istenen hedef tiplerinin özellikleri açıklanmaktadır.

a. Hedef Tipleri

Uygulamada tespit ve sınıflandırma için *Denizaltı (Submarine)*, *Sualtı Taşıma Aracı (SDV)*, *Dalgıç (Diver)* ve *Deniz Mayını (Mine)* sualtında bulunabilecek dört farklı özellikte muhtemel hedef tipi olarak belirlendi. Bu dört hedef farklı özelliklere sahiptir.

- **Denizaltı**

Denizaltı yapısal olarak yoğun metal içermektedir. Bu özelliklerinden dolayı içinde bulunduğu ortamın manyetik alan değerlerini çok fazla değiştireceği düşünülmektedir. Denizaltının sualtında ilerlemesini sağlayan motor aksamı ve pervanelerinin de sualtında yüksek ses yayacağı düşünülmektedir. Bu özelliklerinden dolayı ses ve manyetik alan duyargalarının denizaltının ses ve manyetik alan etkisini *yüksek* seviyede algılayacağı beklenmektedir.

- **Sualtı Taşıma Aracı (SDV)**

Dalgıçların sualtında daha süratli ilerlemek ve daha uzun mesafelere ulaşmak için sualtı taşıma araçları kullandıkları bilinmektedir. Dalgıçların donanım olarak taşıdıkları manyetik özelliğe sahip malzemelere ek olarak su altı

taşıma aracının da ek manyetik alan etkisi yaratacağı beklenmektedir. Ayrıca aracın sualtında ilerlerken pervane gürültüsü de yayacağı düşünülmektedir. Sualtı Taşıma Aracının ses ve manyetik alan etkilerinin ses ve manyetik alan duyargaları tarafından orta seviyede algılanacağı beklenmektedir.

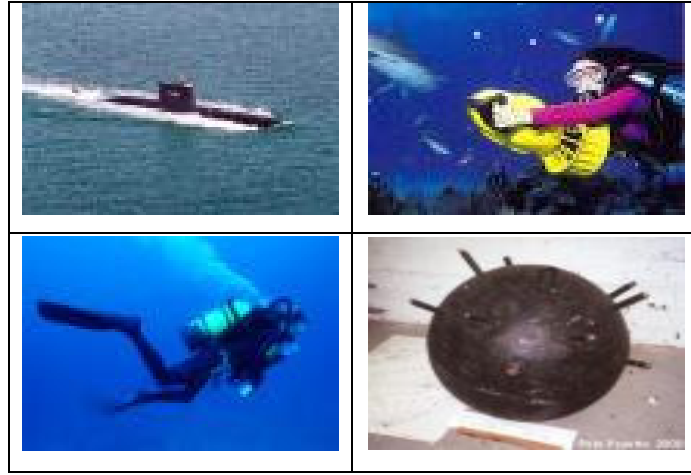
- **Dalgıç**

Dalgıçların sualtı çalışmalarında asgari kullanmaları gereken donanım belirli bir manyetik alan etkisi göstermektedir. Özellikle oksijen tüpü ve askı donanımı yoğun metal içeren parçalara sahiptir. Bu dalgıç donanımı belirli bir manyetik alan etkisi yaratmaktadır. Dalgıcın sualtında ilerlerken belirli bir ses yaratacağı ve oksijen soluması esnasında kullandığı regülatörün de ses etkisi yaratacağı düşünülmektedir. Bu özelliklerinden dolayı ses ve manyetik alan duyargalarının dalgıcın ses ve manyetik alan etkisini *düşük* seviyede algılayacağı beklenmektedir.

- **Deniz Mayını**

Çeşitli özelliklerde imal edilerek denizaltı ve su üstü araçlarına karşı kullanılan deniz mayınları yapı olarak yoğun metal içermektedirler. Bu özelliklerinden dolayı manyetik alan etkisine sahip olmaktadırlar. Mayınların sualtında hareket etmemelerinden dolayı belli bir ses etkileri olmamaktadır. Bu yüzden deniz mayınının tespit ve sınıflandırmasında ses etkisi kullanılamamaktadır. Deniz mayınının manyetik alan etkisinin, manyetik alan duyargası tarafından orta seviyede algılanacağı beklenmektedir.

Ses ve manyetik alan özellikleri yukarıda açıklanan hedef tipleri Şekil-84'te görülmektedir.



Şekil-84. Sualtı hedef tipleri.

b. Hedef Tespiti ve Sınıflandırma Algoritması

Uygulamada hedefin tespitinde ve sınıflandırılmasında karar ağacı algoritmasından faydalanılmıştır. Hedeflerin ses, sıcaklık ve manyetik alan özellikleri belirlendikten sonra uygulamada kullanılan duyargalarla söz konusu hedeflerin ses, sıcaklık ve manyetik alan seviyeleri oluşturulmuştur (düşük, orta, yüksek). Hedeflerin ses, sıcaklık ve manyetik alan etki seviyelerine göre karar ağacı oluşturulmuştur. Hedeflerin etki seviyeleri Tablo-13’te görülmektedir.

Tablo-13. Sualtı hedef etki seviyeleri.

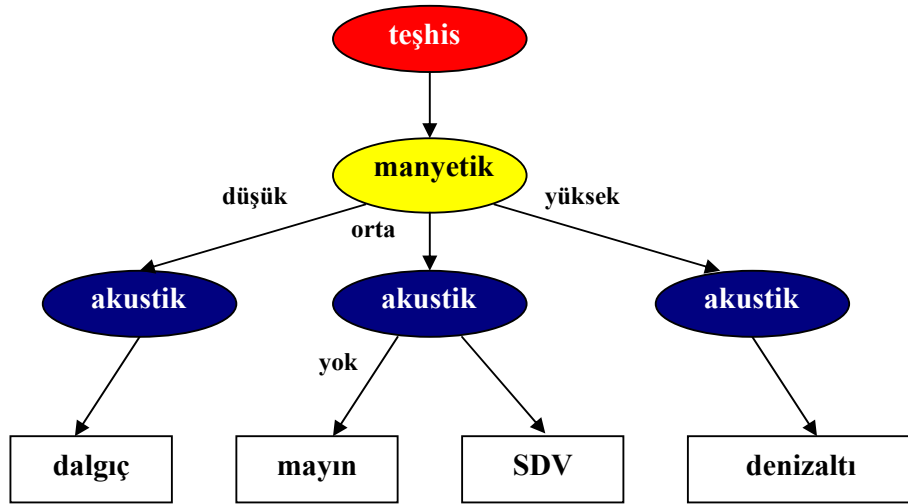
		Hedef				
		Dalgıç	Deniz Mayını	Denizaltı	Sualtı Taşıma Aracı	Deniz Canlısı
Duyarga	Sıcaklık	yok	yok	düşük	düşük	yok
	Manyetik	düşük	orta	yüksek	orta	yok
	Ses	düşük	yok	yüksek	orta	düşük

[1] Karar Ağacı

Uygulama esnasında duyarga öbeği planlanan derinliğe indirildikten sonra duyargalar çalışmaya başlayarak ölçüm yapmaktadırlar. Ölçümler esnasında her üç duyargadan bir tanesinin farklı ölçüm sonucu almasıyla karar ağacındaki hedef sınıflandırma algoritması çalışmakta ve hedefin türü belirlenmektedir.

Duyarga öbeğindeki duyargalardan ses ve manyetik alan duyargası karar ağacında kullanılmıştır. Bu iki duyarganın ölçüm sonuçları hedef türü belirlemede yeterli olmaktadır. Sıcaklık duyargası ölçüm sonuçları denizaltındaki tabaka tespitlerinde kullanılmaktadır. Sıcaklık değerlerinin karar ağacına etkisi yoktur.

Manyetik ve ses seviyelerinin oluşturduğu karar ağacı Şekil-85'te verilmiştir.



Şekil-85. Sualtı hedef tespit ve sınıflandırması karar ağacı.

[2] Sınıflandırma Algoritması

Hedef sınıflandırma algoritması, hedef türlerinin ses, manyetik ve sıcaklık duyargaları tarafından belirlenen özelliklerini kullanarak hedef sınıflandırması yapmaktadır. Her hedef türünün ses, manyetik ve sıcaklık özellikleri saha ölçümleri sonucunda belirlenmiştir. Hedef türlerinin saha ölçümleri sonucunda tespit edilen ses ve manyetik seviyeleri Tablo-14'te görülmektedir.

Tablo-14. Ölçüm seviyeleri.

Duyarga Türü	Eşik Seviye Aralıkları		
	Normal – Düşük	Düşük – Orta	Orta –Yüksek
Ses	200	150	150
Manyetik	200	200	200

Duyarga öbeğini kontrol eden mikro denetleyici üzerinde çalışan sınıflandırma algoritmasının çalışma adımları aşağıda maddeler halinde açıklanmaktadır;

- **Ortamdaki Ses ve Manyetik Eşik Değerlerinin Belirlenmesi (1)**

Yapılan saha testleri sonunda algoritmada kullanılan eşik aralıkları belirlenmiştir. Eşik aralık değerleri Tablo 16'da görülmektedir. Belirlenen eşik değer aralıkları seviyeler arasındaki farkları göstermektedir. Duyarga öbeğinin bulunduğu ortamda hedef olmaksızın yapılan ölçüm sonuçları normal değer olarak adlandırılmıştır. Normal değerlere her seviyenin eşik değerleri eklenerek seviye değerleri belirlenmektedir. Eşik değerleri sabittir. Değişken olacağı

değerlendirilen, normal değer olarak adlandırılan ortamda ilk anda yapılan ölçüm sonucunda tespit edilecek ölçüm değerleridir.

- **Hedef Tespit Dinlemesi (2)**

Her bir duyarga için eşik seviyeleri belirlendikten sonra duyargalar sürekli olarak ölçüm yapmakta ve bu ölçümler belirlenen ortam normal değeri ile karşılaştırılmaktadır. Bu adım sürekli tekrarlanmaktadır.

- **Hedef Tespiti (3)**

Eğer karşılaştırma esnasında alınan ölçüm değerleriyle ortam normal değerleri arasında fark tespit edildiğinde, ortamda bir değişiklik olduğu değerlendirilmektedir. Ana kontrol birimi normal ölçümlerden herhangi birisinde bir sapma tespit ettiğinde ortamda bir hedef olduğunu değerlendirmektedir.

- **Hedef Sınıflandırma (4)**

Hedef tespit adımı ortamda bir farklılık olduğu belirlenmiş olmaktadır. Ortamdaki ölçüm değerlerinde farklılığa eden olan cismin hedef olduğunun ve hedef türünün belirlenmesi için sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Bu sınıflandırma hedef sınıflandırma algoritması ile yapılmaktadır.

- **Hedef Türü Bildirme (5)**

Ortamdaki değişiklik sonucunda tespit edilen hedefin sınıflandırma algoritması sonucunda türü belirlenmiş olmaktadır. Belirlenen hedef türü ve hedefin ölçülen ses ve manyetik değerleri ana kontrol birimi tarafından seri iletişim kullanılarak kıyıda ana bilgisayara bildirilmektedir. Ortamda normal değerlerden farklı ölçümler alındığı sürece 2.- 5. adımlar sürekli tekrarlanmaktadır.

3. Uygulamaya Yönelik Kodlamalar

Mikro duyargalardan gelen ölçüm verileri mikro denetleyici giriş pinlerinden alınmaktadır. Ses verisi duyargadan analog olarak alınmaktadır. Mikro Denetleyici analog ses verisini analog veriden sayısal veriye 10 bit derilikte çevirmektedir. Analog – Sayısal çevirme sonucunda ses verisi sayısal bir değere dönüştürülmektedir.

Sıcaklık duyargası sayısal sonuç vermektedir. Sıcaklık duyargasından ölçüm sonucunu almak için mikro denetleyicinin komut göndermesi gerekmektedir. Sıcaklık duyargasının veri iletişim özelliklerinden faydalanılarak sıcaklık ölçüm komutu gönderilmekte ve sayısal olarak sıcaklık değeri derece cinsinden alınmaktadır.

Manyetik Alan duyargası sayısal sonuç vermektedir. Manyetik duyargasından ölçüm sonucunu almak için mikro denetleyicinin komut göndermesi gerekmektedir. Her üç eksenenden alınan manyetik alan ölçüm değerlerinden manyetik alan büyüklüğüne ulaşılmaktadır. X,Y,Z eksenlerinden alınan manyetik alan ölçüm değerlerinin kareleri alınıp toplandıktan sonra karekökleri alınarak manyetik alan büyüklüğü hesaplanmaktadır.

$$\text{Manyetik Alan Büyüklüğü} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Öncelikle ölçüm yapılacak ortamın normal ve eşik değer aralıkları belirlenmektedir. Eşik Seviye değerlerinin belirlenmesinden sonra ortam ölçümleri başlamaktadır. Ortam ölçümlerinde herhangi bir duyargadan gelen ölçüm değeri ortam normalleri dışında ise farklı olarak gelen ölçüm sonucu eşik seviye değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucun da ölçüm sonucunun hangi seviye aralığına girdiği belirlenmektedir. Seviye belirlendikten

sonra hedef sınıflandırma algoritması uygulanmakta ve hedefin türü belirlenmektedir

Hedef sınıflandırma algoritmasına ilişkin pseudo kod aşağıda verilmiştir.

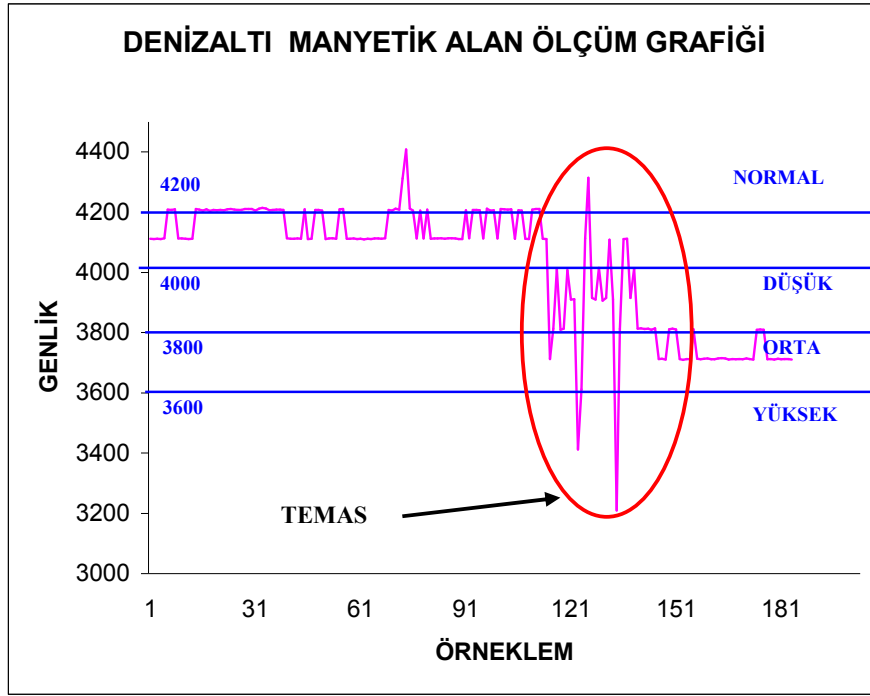
```
while (1) // sonsuz döngü
{
  if (hedef_tespiti( ))
  {
    sınıflandırma_ölçümü( );
    if(manyetik <=düşük)
      if (ses > 0)
        hedef = “dalgıç”;
    else if ( manyetik <= orta)
      if (ses >0)
        hedef = “SDV”;
      else
        hedef = “mayın”;
    else
      if (ses >0)
        hedef = “denizaltı”;
    gönder(readings, hedef);
  }// end if (hedef_tespiti)
} // end while
```

IV. TESTLER VE PERFORMANS ANALİZİ

Sualtı Tespit ve Teşhis Sistemlerinde mikro duyarga ağlarının kullanımı günümüzde dikkat çeken ve üzerinde yoğun çalışmalar yapılan yeni bir ilgi sahasıdır. Son yıllarda nano teknolojideki hızlı gelişme mikro duyargaların kabiliyetlerinin artmasına ve maliyetlerinin düşmesine neden olmuştur. Tez kapsamında gerçekleştirilen Sualtı Tespit ve Teşhis Nodu mikro duyargaların gelişen kabiliyetlerinin sualtında test edilebilme imkanı sağlamıştır. Uygulama havuz ve deniz ortamında başarıyla test edilmiş olup test sonuçlarının sualtı mikro duyarga ağları araştırmalarına önemli bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

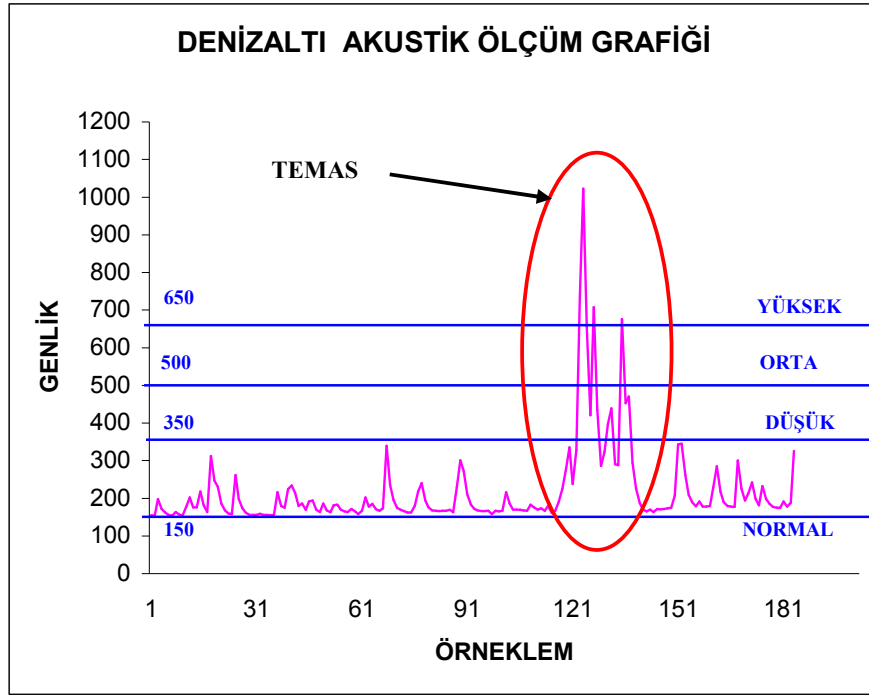
Sualtı Tespit ve Teşhis Nodu mekanik sistemlerinin ve duyarga öbeği kutusunun sızdırmazlık testleri Deniz Harp Okulu Kapalı Havuzunda gerçekleştirilmiştir. Aynı ortamda duyarga öbeği ile şamandıra kısmı arasındaki veri iletişim testleri de yapılmıştır. Deniz ortamında yapılan testler; Deniz Harp Okulu iç limanı-dış limanı ve Tuzla körfezi bölgelerinde yapılmıştır. Testler esnasında tüm hedef tipleri üzerinde çalışmalar yapılmış olup sonuçlara ait grafikler aşağıda verilmiştir.

Grafiklerde Ses ve Manyetik alan eşik değerleri işaretlenmiş olup, eşik değerleri tüm hedefler üzerinde yapılan ölçüm sonuçlarıyla sınıflandırma algoritmasının sentezlenmesiyle elde edilmiştir. Deniz ölçümlerinin yapıldığı ortamlardaki ses ve manyetik alan normal değerleri duyarga öbeği tarafından belirlenmiştir.



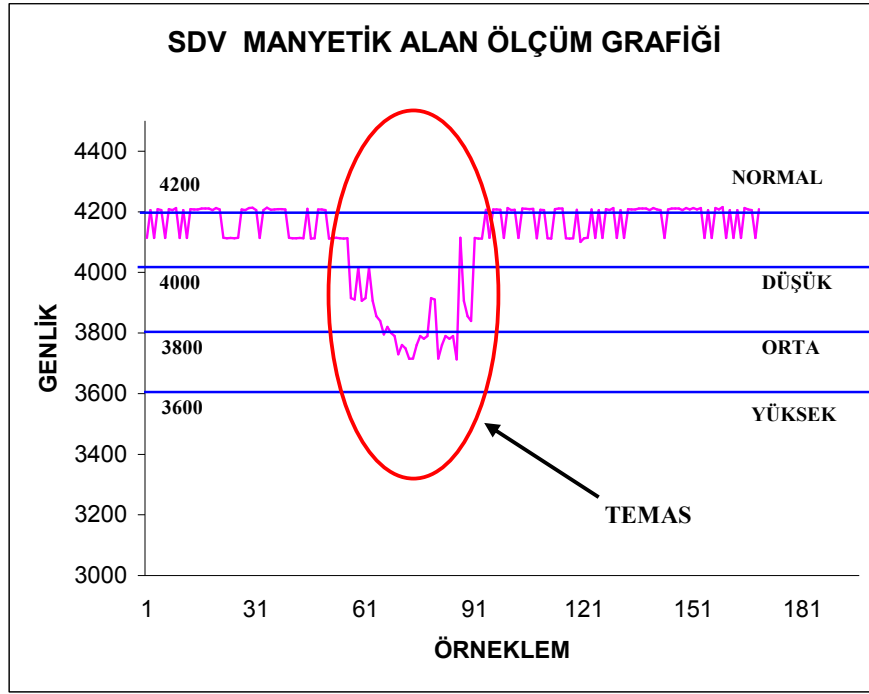
Şekil-86. Denizaltı manyetik alan ölçüm grafiği.

Şekil-86'daki grafik denizaltı tespit çalışmalarında elde edilen manyetik alan etkisi sonuç grafiğidir. Denizaltı sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği manyetik ölçüm sonucunda bir hedef tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere denizaltının ortamda sebep olduğu manyetik alan bozulmasını algılamıştır.



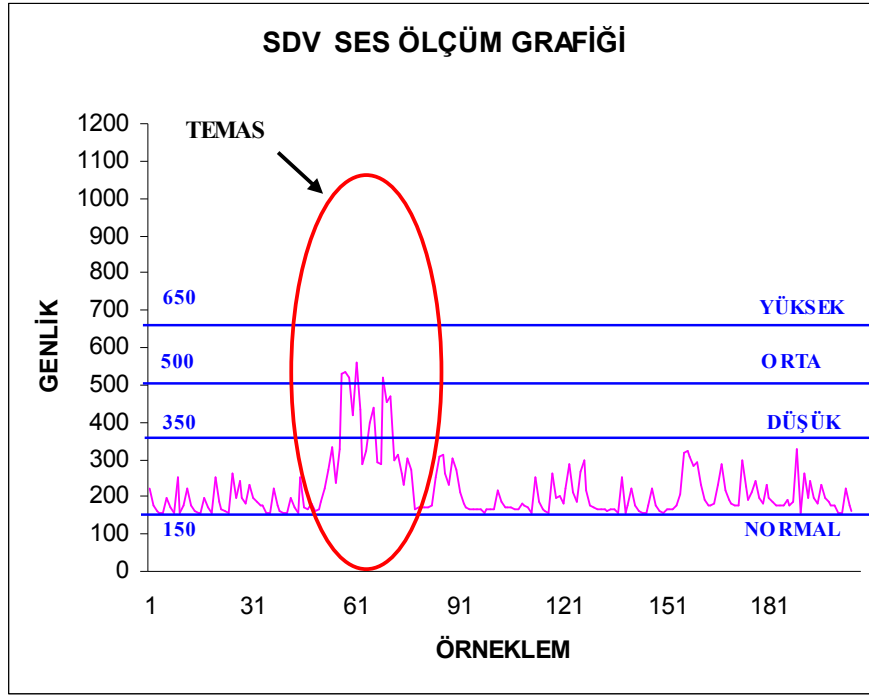
Şekil-87. Denizaltı akustik ölçüm grafiği.

Şekil-87'deki grafik denizaltı tespit çalışmalarında elde edilen akustik etki sonuç grafiğidir. Denizaltı sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği akustik ölçüm sonucunda bir hedef tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere denizaltının ortamda yarattığı akustik algılamıştır.



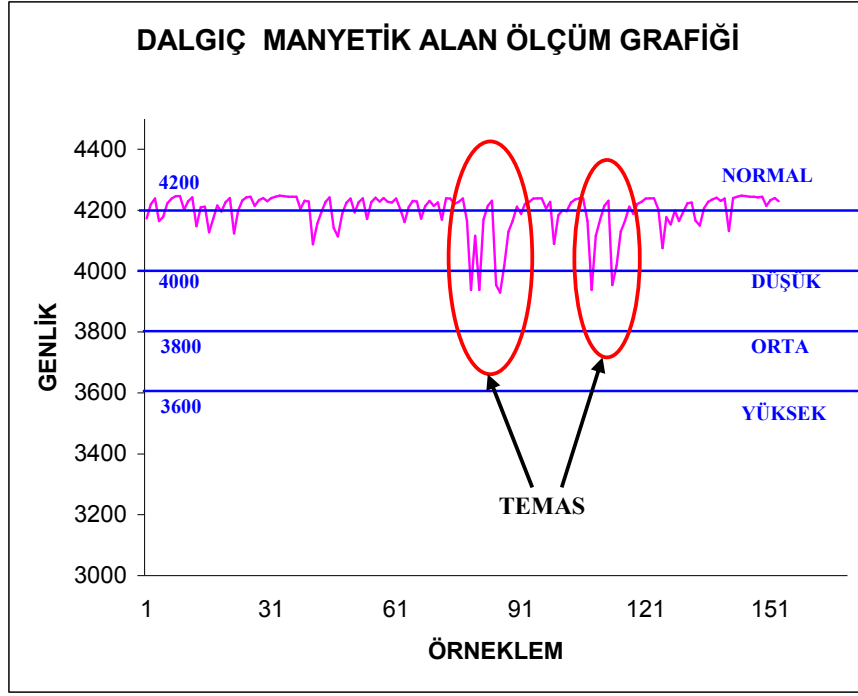
Şekil-88. SDV manyetik ölçüm grafiği.

Şekil-88'deki grafik SDV tespit çalışmalarında elde edilen manyetik alan etkisi sonuç grafiğidir. SDV kullanan dalgıç sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği manyetik ölçüm sonucunda bir hedef tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere SDV ile hareket eden dalgıçın ortamda sebep olduğu manyetik alan bozulmasını algılamıştır.



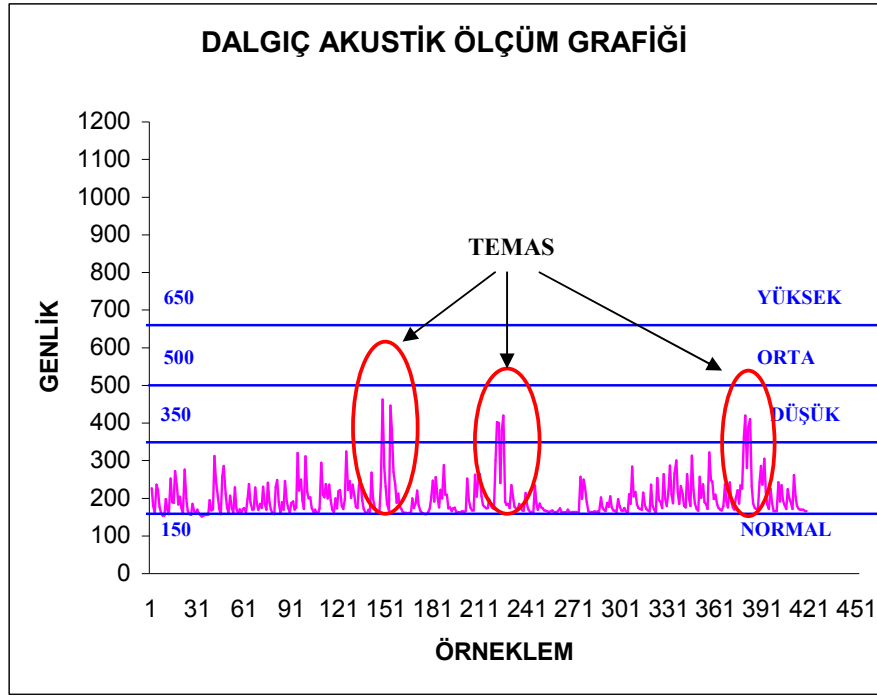
Şekil-89. SDV akustik ölçüm grafiği.

Şekil-89'daki grafik SDV tespit çalışmalarında elde edilen akustik etki sonuç grafiğidir. SDV kullanan dalgıç sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği akustik ölçüm sonucunda bir hedef tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere SDV ile hareket eden dalgıçın ortamda yarattığı akustik etkiyi algılamıştır.



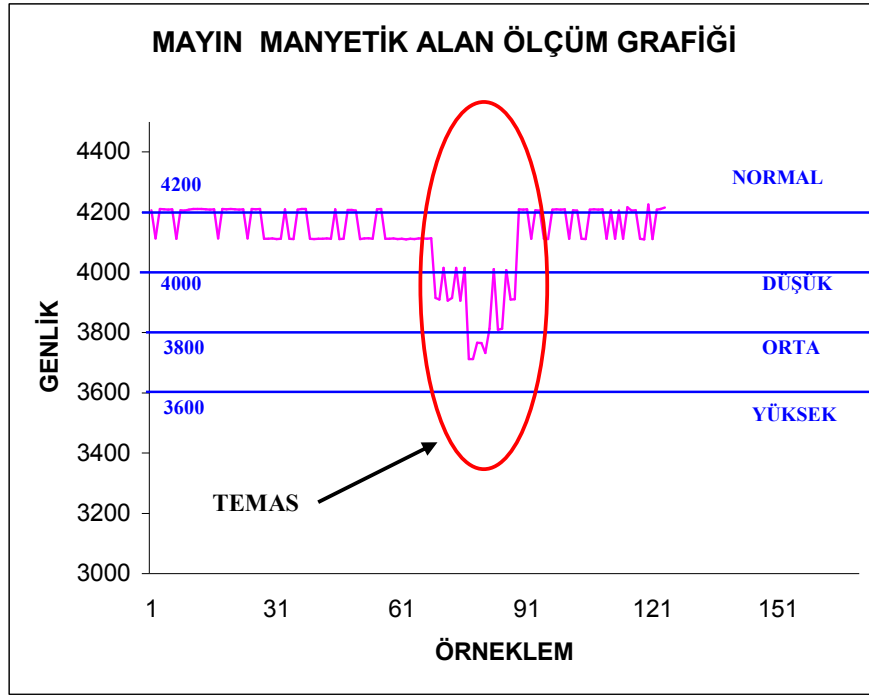
Şekil-90. Dalgıç manyetik alan ölçüm grafiği.

Şekil-90'daki grafik dalgıç tespit çalışmalarında elde edilen manyetik alan etkisi sonuç grafiğidir. İki kişiden oluşan dalgıç timi sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği manyetik ölçüm sonucunda dalgıç timini tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere dalgıç timinin ortamda sebep olduğu manyetik alan bozulmasını algılamıştır.



Şekil-91. Dalgıç akustik ölçüm grafiği.

Şekil-91'deki grafik dalgıç tespit çalışmalarında elde edilen akustik etki sonuç grafiğidir. 3 kişiden oluşan dalgıç timi sualtı tespit ve teşhis nodunun bulunduğu bölgenin yakınından geçmiştir. Duyarga öbeği akustik ölçüm sonucunda dalgıç timini tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere dalgıç timinin ortamda yarattığı akustik etkiyi algılamıştır.



Şekil-92. Mayın manyetik ölçüm grafiği.

Şekil-92'deki grafik sualtı mayını tespit çalışmalarında elde edilen manyetik alan etkisi sonuç grafiğidir. Eğitim mayınının bulunduğu bölgeden sualtı tespit ve teşhis nodu geçirilerek sualtı mayını manyetik alan ölçümü yapılmıştır. Duyarga öbeği manyetik ölçüm sonucunda sualtı mayını tespit etmiş ve doğru olarak sınıflandırmıştır. Sualtı tespit ve teşhis nodu grafikte de görüldüğü üzere sualtı mayınının ortamda sebep olduğu manyetik alan bozulmasını algılamıştır. Sualtı mayınları hareketsiz olarak bulunduklarından ortamda herhangi bir akustik etki yaratmamaktadırlar. Ortamda yarattıkları manyetik alan bozulmalarından faydalanılarak tespit ve teşhis edilebilmektedirler.

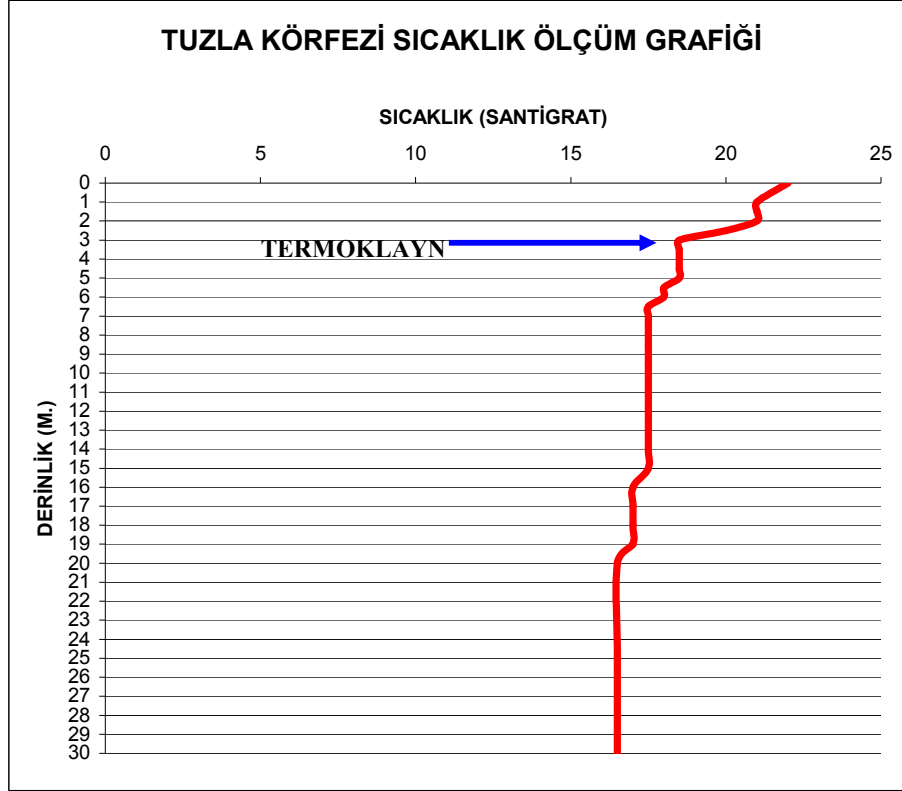
Sistemimde kullanılan sıcaklık duyargası ile yapılan havuz ve deniz testlerine ilişkin sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Havuz testinde; kapalı denge havuzu yüzeyden ısıtılarak oluşan sıcaklık değişimleri gözlenmiştir. Bu kapsamda havuz yüzeyinde oluşan tabaka (termoklayn) Şekil-93'teki grafikte rahatlıkla görülmektedir.



Şekil-93. Kapalı havuz sıcaklık ölçüm grafiği.

Deniz testlerinde; Tuzla körfezinde 30 metrede yapılan sıcaklık ölçümlerine ilişkin grafik Şekil-94'te verilmiştir. Gerçek ortamda yapılan bahse konu sıcaklık ölçümleri neticesinde denizde tabaka bulunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil-94. Tuzla körfezi sıcaklık ölçümleri.

Bu kapsamda tasarlanan mikro duyarga nodu sıcaklık açısından değerlendirildiğinde;

- Kullanılan sıcaklık duyargasının (DS18B20) sıcaklık ölçümlerde başarılı olduğu, ortamda meydana gelen sıcaklık değişimlerini algılama hızının yüksek olduğu,
- Herhangi bir ilave eklentiye gerek olmadan tek tel üzerinden (one wire) doğrudan dijital veri iletiminde bir problemle karşılaşılmadığı,
- Nodların taktik sahada farklı derinliklerde yüzlerce adet olarak yayılması ile birlikte gözlem yapılan sahaya ilişkin tabaka derinliklerinin çıkarılmasında katkı sağlayacağı, bu kapsamda özellikle denizaltı savunma harbi konusunda XBT cihazlarının yerine daha etkin bir kullanımının olabileceği,
- Sıcaklık duyargasının ölçümleri ile tabakaların belirlenerek sualtında sesin yayılma paternlerinin çıkarılmasında katkısı olacağı,
- Bahse konu ölçümlerin sürekli modda (dinamik) yapılması ile birlikte değişen ortam koşullarının da takip edilebileceği,
- Denizaltıların saklanma umklarının belirlenmesinde (shadow zone) katkı sağlayacağı,
- Muhtelif denizlere veya belirli bölgelere ilişkin oşinografik çalışmalarda kullanılabileceği,

değerlendirilmektedir.

Deniz ortamında yapılan testlerin sonucunda tüm hedef türleri başarıyla tespit edilmiş olup sınıflandırılmaları yapılmıştır.

Grafiklerde görülen ses ve manyetik alan eşik değerleri tüm test verileri incelenerek oluşturulmuştur. Ortam normal değerleri ise duyarga öbeğinin ölçümleri sonucunda belirlenmiş olup farklı ölçüm sahalarında farklı değerler alabilmektedirler.

Ortam normalleri ölçüm yapılan bölgenin doğal akustik özellikleriyle bölgesel manyetik alan değerlerine bağlı olmaktadır. Saha değiştiğinde ortamdaki manyetik alan ve akustik özellikler de değişebilmektedir. Uygulamada kullanılan ortam normalleri bir algoritma ile duyarga öbeği tarafından hesaplandığından uygulama herhangi bir bölgeye bağlı kalmaksızın başarıyla çalışmaktadır.

VI. SONUÇ

Tez kapsamında açık denizlerde, sığ sularda veya çok sığ sularda hızlı bir şekilde hedef tespit ve sınıflandırmasına ihtiyaç duyulacağı durumlarda kullanılacak bir sualtı hedef tespit ve sınıflandırma sistemine ait nod'un prototipinin tasarlanması ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle akustik, manyetik ve / veya sıcaklık duyargalarının ölçümleri sırasında algılanan önemli değişiklikler ile bölgedeki sualtı hedeflerinin (denizaltı, SDV, mayın, dalgıç) varlığı tespit edilmektedir. Tespit edilen bu hedef daha sonra duyarga öbeğinde kullanılan birden fazla duyarga tarafından algılanarak, bir algoritma yardımıyla sınıflandırılmaktadır.

Hedeflerin tespit edilmesi, sınıflandırılması ve takip edilmesi askeri amaçlı uygulamalar için en temel işlemlerdir ve son derece hayati sonuçlar doğurabilmektedir. Algılama, verileri işleme ve haberleşme teknolojilerinde son zamanlardaki hızlı gelişmeler küçük bir cihaz içersinde veya tek bir duyarga nodunda birden fazla duyarganın kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Aynı zamana bu nodların düşük maliyetlere sahip olmaları belirli bir alana birçok nodun birlikte atılarak müştereken kullanımına imkan tanımaktadır.

Tez sırasında oluşturulan sualtı duyarga öbeğinde bulunan duyarga tipleri (akustik, manyetik ve sıcaklık) belirlenirken sualtı hedeflerinin karakteristik özelliklerinden yararlanılarak, gerekli sınıflandırmanın yapılmasına katkı sağlayacak duyargalar sisteme dahil edilmiştir. Belirlenen bu üç duyarga tipine mensup farklı sistemlerle algılama yapan, muhtelif marka ve model duyargalar arasında nihai seçim yapılırken, mikro duyarga ağı nodlarında bulunması arzulanan, nodların düşük maliyetli ve küçük boyutlu olması gibi hususlara dikkat edilmiştir.

Gerçekleştirilen uygulama projesinin en önemli kazanımları arasında ;

- Akustik, manyetik ve sıcaklık duyargalarından alınan ölçüm sonuçlarından istenen bilgilere ulaşılabilmesi maksadıyla özgün bir anakart devresinin tasarlanması ve geliştirilmesi,
- Birlikte atıldığı ağ içerisinde bir duyarga öbeğinin, algoritmanın gerektirdiği derinliğe kolaylıkla sevk edilebilmesi,
- Sualtı duyarga ağında görev alabilecek teknolojiye sahip bir duyarga nodunun prototipinin geliştirilmiş olması,
- Mikro duyargalara yönelik sualtı saha testlerinin yapılması için gerekli olan test düzeneğinin (test-bed) yaratılmış olması,
- Duyargaların ölçüm sonuçlarının bir karar ağacı algoritması marifetiyle değerlendirilerek, tespit edilen sualtı hedeflerinin sınıflandırılmasına yönelik çalışmalar yapılması ve sonuçların elde edilmesi sayılabilir.

Muhtelif ortam ve koşullarda farklı hedef tiplerine yönelik bir çok saha testi yapılmıştır. Yapılan bu saha testlerinde elde edilen ölçüm sonuçlarından oluşan ve bu tezin beşinci bölümünde yer alan “Yapılan Testler ve Performans Analizleri” kısmında sunulan grafikler incelendiğinde :

- 30 metrelik menzil içerisindeki sualtı hedeflerinin mevcut üç adet duyargadan en azından birisinde meydana getirdiği anomali ile başarıyla tespit edilebildiği,
- Sualtı hedeflerinden denizatlıların 25 – 30 metre, SDV’lerin 8 – 10 metre, mayınların 3 – 5 metre ve dalgıçların ise 2 – 3 metre mesafelerden yüksek başarı oranları ile sınıflandırılabilirdiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen sualtı duyarga nodu prototipi, bir duyarga ağı içerisinde görev alabilecek teknolojiye sahip olmakla birlikte, yapılabilecek ufak modifikasyonlarla özellikle duyarga menzillerinde daha başarılı sonuçların elde edilebileceği mütalaa edilmektedir.

Bunun yanı sıra prototip duyarga nodunun özellikle şamandıra kısmının boyutları hedeflenen boyutlardan büyük olmakla birlikte, ileride yapılabilecek yeniden tasarım çalışmalarıyla mevcut boyutlarından daha küçük ve su üzerinden görünmeyecek şekilde (sualtında kalacak şekilde) planlanabilecektir.

Uygulamada şamandıra kısmı ile duyarga öbeği arasında kullanılan iletişim protokolleri RS-232 ve RS-485 olduğundan kablo üzerinden iletim yapılmıştır. Gelecekte iletişim protokolü değiştirilerek şamandıra ile duyarga öbeği arasındaki kablo kullanılmazsa sualtı tespit ve teşhis nodu fiziksel olarak çok daha küçük bir boyutta gerçekleştirilme imkanı olacaktır. Bu kablosuz iletim sisteminde akustik modem teknikleri kullanılabilir.

Duyarga öbeğinin kutu boyutu da duyargaları kontrol eden elektronik kartın büyüklüğüne bağlı olduğundan, elektronik kartta gerçekleştirilecek boyut değişiklikleri duyarga öbeği kutusunu etkileyeceğinden, elektronik kart nano teknoloji kullanılarak ve katmanlı baskı teknolojisi kullanılarak çok daha küçük elektronik kart ve duyarga öbeği kutusu gerçekleştirme imkanı sağlanabilir.

Şamandıra üstündeki Kablosuz iletimi sağlayan (RF) kartın geliştirilmesi Sualtı tespit ve teşhis nodunun azami haberleşme menzilini artıracaktır. Ayrıca güneş enerjisi kullanılarak sistemde kullanılan güç kaynaklarının şarj edilmesi sağlanacağından güç tüketim problemi kalmayacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar ile prototip noda ait veriler, entegre edileceği duyarga ağı içerisindeki komşu nodların verileri ile desteklenerek hedef tespit ve sınıflandırmadaki başarısının, yapılan saha testlerinde tek nod ile elde edilenden çok daha yüksek ve güvenilir olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA LİSTESİ

1. [<http://www.plcprogramlama.com/sensors.htm>]
2. Ed Ramsden, *Temperature Measurement, Sensors*, September 2000, Vol. 17, No.9
3. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, *Wireless Sensor Networks: A Survey Elsevier Computer Networks*, (2002).
4. [<http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>]
5. Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, *Underwater acoustic sensor networks: research challenges*, Ad Hoc Networks (2005), in press.
6. D.N. Kalofonos, M. Stojanovic, J.G. Proakis, *Performance of adaptive MC-CDMA detectors in rapidly fading rayleigh channels*, IEEE Transactions on Wireless Communications 2 (2) (2003) 229–239.
7. K. Akkaya, M. Younis, *A survey on routing protocols for wireless sensor Networks*, Ad Hoc Networks 3 (3) (2005) 325–349.
8. G. Xie, J.H. Gibson, *A network layer protocol for UANs to address propagation delay induced performance limitations*, in: Proceedings of IEEE OCEANS_01, vol. 4, Honolulu, HI, November 2001, pp. 2087–2094.
9. C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, *Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks*, Proc. ACM MobiCom '00, Boston, MA, 2000, pp. 56–67.

10. [http://selimcetinkaya.tripod.com/guncel/sicaklik_ve_isi.htm]
11. *Thermal Conductivity*, Biology Daily, [<http://www.biologydaily.com/>]
12. Ç.Kale 18 Mart Üni. Su Ürünleri Fak., [<http://suurunleri.comu.edu.tr/limnoloji.htm>]
13. Hakan Başaran, Ceyhan İlgüy, *Sualtı Akustiğinin Askeri Uygulamaları*, 5.Ulusal Akustik Kongresi, 2000.
14. *Geomagnetism*, National Geophysical Data Center (NGDC) [<http://www.ngdc.noaa.gov/>]
15. *Magnetic Anomaly Detection*, [<http://www.uboat.net>]
16. [<http://library.thinkquest.org/19537/Physics2.html>]
17. [<http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/UWASN/work.html>]
18. *The Microcontroller Idea Book Circuits, Programs, & Applications*, Jan Axelson
19. *PIC16F877 Datasheet*, 31-Oct-2003, microchip; [<http://www.microchip.com>]
20. Ken Dietz, *SPI Communications Between Serial EEPROMs and PICmicro microcontrollers*.
21. [<http://www24.brinkster.com/shyo/html/haberles.html>]
22. [<http://www.turkengineers.com/metin.php?metin=34>]

23. [<http://btrakya.freesevers.com/network/RS-232.htm>]
24. [http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books/plcs/chapters/plc_serial.pdf]
25. [<http://www.tomshardware.com.tr/howto/20010810/pcb-12.html>]
26. Vitaly Bokser, Carl Oberg, Gaurav S. Sukhatme, and Aristides Requicha, *A Small Submarine Robot for Experiments in Underwater Sensor Networks.*, Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, July 2004.
27. David McFarland, Ian Gilhespy and Ehsan Honary, *DIVEBOT: A Diving Robot with a Whale-Like Buoyancy Mechanism.*, Robotica, special issue, July, Vol 21., Part 4, 2003.
28. Paul M. Danehy and David W. Alderfer, *Survey of Temperature Measurement Techniques For Studying Underwater Shock Waves*, International Symposium on Interdisciplinary Shock Wave Research, Sendai Japan, 22-24 March, 2004
29. *Underwater Detection and Tracking Systems*, The Federation of American Scientists Military Analysis Network Navy Documents.
30. *Equipment development for the measurement of underwater multiinfluence fields*, John S. Kay IPENZ Transactions, Vol. 24, No. 1/GEN, 1997
31. *Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic Sensors*, Caruso, Withanawasam – 1999.
32. *Second field test for the AOSN program*, Monterey Bay August 2003, Available from [<http://www.mbari.org/aosn/MontereyBay2003/MontereyBay2003Default.htm>]

33. B. Zhang, G.S. Sukhatme, A.A. Requicha, *Adaptive sampling for marine microorganism monitoring*, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004.
34. N.N. Soreide, C.E. Woody, S.M. Holt, *Overview of ocean based buoys and drifters: Present applications and future needs*, in: 16th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, January 2004.
35. E. Cayirci, H. Tezcan, V. Coskun, *A Distributed Scheme for 3D Space Coverage in Tactical Underwater Sensor Networks*, Milcom 2004.
36. Joseph A. Rice, *Undersea Networked Acoustic Communication and Navigation for Autonomous Mine-Countermeasure Systems*, 5th International Symposium on Technology and the Mine Problem, April 2002.
37. J.G. Proakis, J.A. Rice, E.M. Sozer, M. Stojanovic, *Shallow water acoustic networks*, in: J.G. Proakis (Ed.), *Encyclopedia of Telecommunications*, John Wiley and Sons, 2003.
38. Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, *Underwater acoustic sensor networks: research challenges*, Ad Hoc Networks (2005), in press.
39. M. Abolhasan, T. Wysocki, E. Dutkiewicz, *A review of routing protocols for mobile ad hoc networks*, Ad Hoc Networks 2 (1) (2004) 1–22.
40. K. Akkaya, M. Younis, *A survey on routing protocols for wireless sensor networks*, Ad Hoc Networks 3 (3) (2005) 325–349.
41. [http://www.servocity.com/html/hs-311_standard.html]

- 42. *Teflon - PTFE*, [<http://www.polikim.com.tr>]
- 43. *Devcon*, [<http://www.devcon.com>]
- 44. *DS18B20 Datasheet*, [www.dalsemi.com]
- 42. *SEN-S65 Magneto-Inductive Sensor Datasheet*, [<http://www.pnicorp.com>]
- 43. *PNI 11096 3-axis Magneto-Inductive Sensor Driver ve Controller with SPI Serial Interface*, [<http://www.pnicorp.com>]
- 44. *PicBasic Pro Compiler manual*, microEngineering Labs, Inc. ,
[<http://www.melabs.com>]
- 45. *Micro Code Studio*, [<http://www.mecanique.co.uk>]