



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
**SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI**

AKUSTİK ODAK TEKNOLOJİ AĞI (OTAĞ)

SONUÇ RAPORU

Aralık 2022



T.C.
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI



AKUSTİK
ODAK TEKNOLOJİ AĞI (OTAĞ)
SONUĐ RAPORU

ARALIK 2022



HAZIRLAYANLAR

İSİM	KURUM/KURULUŞ
Prof. Dr. Ahmet ERGİN	İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Doç. Dr. Ahmet Turan ÖZDEMİR	ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
Prof. Dr. Aydın DOĞAN	ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Aykut ŞAHİN	ASELSAN
Bilge İNCEL	SSB
Dr. Çağla ÖNÜR	SSB
Gökmen CAN	ASELSAN
Gülsevin KODALOĞLU	SSB
İskender Burak KOÇ	ASELSAN
Dr. Melek KELEŞ ÖZGÜL	SSB
Oğuz TUNA	ASELSAN
Öznur TURAN	SSB
Sacit YILMAZ	ASELSAN
Yasin ÇİFTÇİ	ASELSAN

*Hazırlayanlar alfabetik olarak listelenmiştir.



İÇİNDEKİLER

1. AMAÇ.....	7
2. KAPSAM	7
3. TANIMLAR VE KISALTMALAR.....	9
4. YÖNETİCİ ÖZETİ.....	11
4.1 GENEL BİLGİ	11
4.1.1 AKUSTİK TEKNOLOJİLERİ UYGULAMA ALANLARI	11
4.1.2 TÜRKİYE’DE DURUM	12
4.1.3 AKUSTİK ODAK TEKNOLOJİ AĞI (AKUSTİK OTAĞ) FAALİYETLERİ.....	12
4.2 ÖNERİLER	15
5. YÖNTEM.....	16
5.1 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ.....	16
5.2 ÖNCELİKLENDİRME KRİTERLERİ	17
5.3 ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ	18
5.3.1 TANIM.....	18
5.3.2 PROSES ADIMLARI	19
5.4 GÜNCELLEME YÖNTEMİ	22
6. GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER	23
6.1 YÖNLENDİRME KOMİTESİ	23
6.2 ODAK ÇALIŞMA GRUPLARI	25
6.3 TOPLANTILAR	27
7. ODAK ÇALIŞMA GRUPLARI TEKNOLOJİ KONUSU ÖNERİLERİ.....	28
7.1 AKUSTİK TEKNOLOJİLERİ	28
7.1.1 GENEL BİLGİ	28
7.1.2 DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE MEVCUT DURUM	28
7.1.2.1 DÜNYADA MEVCUT DURUM VE TEKNOLOJİ EĞİLİMLERİ.....	28
7.1.2.2 TÜRKİYE’DE MEVCUT DURUM.....	31
7.2 AKUSTİK SİSTEMLER ODAK ÇALIŞMA GRUBU	33
7.2.1 GENEL BİLGİ	33
7.2.2 TEKNOLOJİ KONULARI	37
7.2.3 DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	65
7.2.4 SONUÇ.....	65
7.3 AKUSTİK TRANSDÜSERLER, DİZİNLERİ VE TRANSDÜKSİYON MALZEMELERİ ODAK ÇALIŞMA GRUBU ..	66
7.3.1 GENEL BİLGİ	66
7.3.2 TEKNOLOJİ KONULARI	80
7.3.3 DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	85
7.3.4 SONUÇ.....	89
7.4 AKUSTİK SİNYAL/VERİ İŞLEME VE ELEKTRONİK ODAK ÇALIŞMA GRUBU	90
7.4.1 GENEL BİLGİ	90
7.4.2 TEKNOLOJİ KONULARI	99
7.4.3 DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	109
7.4.4 SONUÇ.....	112
7.5 AKUSTİK YAYILIM/ORTAM MODELLEME VE SİMÜLASYONU ODAK ÇALIŞMA GRUBU	113



7.5.1	GENEL BİLGİ	113
7.5.2	TEKNOLOJİ KONULARI	123
7.5.3	DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	129
7.5.4	SONUÇ.....	134
8.	TEKNOLOJİ ÖNCELİKLENDİRME ANALİZİ	135
8.1	AKUSTİK SİSTEMLER TEKNOLOJİLERİ	136
8.2	AKUSTİK TRANSDÜSERLER, DİZİNLERİ VE TRANSDÜKSİYON MALZEMELERİ TEKNOLOJİLERİ	138
8.3	AKUSTİK SİNYAL/VERİ İŞLEME VE ELEKTRONİK TEKNOLOJİLERİ.....	140
8.4	AKUSTİK YAYILIM/ORTAM MODELLEME VE SİMÜLASYONU TEKNOLOJİLERİ.....	142
9.	KAZANIM PLANI ÇALIŞMALARI	144
9.1	SSB AR-GE PROJELENDİRME YÖNTEMİ	144
9.2	DİĞER FON SAĞLAYICILARIN PROJELENDİRME YÖNTEMİ	145
10.	DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇ.....	146
11.	AKUSTİK OTAĞ KATILIMCILARI	149
12.	KAYNAKLAR	151



TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1 Çalışma Metodolojisi	16
Tablo 5.2 Analitik Hiyerarşi Sürecinde Kullanılan Ölçek.....	20
Tablo 5.3 Sınıflandırma Aralıkları	21
Tablo 6.1 Yönlendirme Komitesi Üyeleri.....	24
Tablo 7.1 Odak Çalışma Grubu-1 Teknoloji Konuları	37
Tablo 7.2 Odak Çalışma Grubu-2 Teknoloji Konuları	80
Tablo 7.3 Odak Çalışma Grubu-3 Teknoloji Konuları	99
Tablo 7.4 Ortam ve Frekans Bölgelerine Göre Önerilen Yayılım Modelleri	118
Tablo 7.5 Odak Çalışma Grubu-4 Teknoloji Konuları	123
Tablo 8.1 Teknoloji Konularının Öne Çıkmasında Etkili Olan Kriterler	135
Tablo 8.2 Akustik Sistemler Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği.....	137
Tablo 8.3 Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği.....	139
Tablo 8.4 Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği	141
Tablo 8.5 Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği.....	142
Tablo 9.1 Kurumlar Tarafından Sağlanan Destekler.....	145



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 5.1 AHP Hiyerarşi Yapısı	19
Şekil 5.2 Proses Adımları	19
Şekil 5.3 Akustik Teknoloji Konuları AHP Analizi Histogramı	21
Şekil 6.1 Akustik OTAĞ Çalışma Takvimi	23
Şekil 6.2 OÇG İsimleri ve OÇG Liderleri	26
Şekil 6.3 Teknoloji Konu Grubu ve Konu Öneri Sayıları	26
Şekil 6.4 Akustik OTAĞ Toplantı Takvimi	27
Şekil 6.5 OTAĞ Katılımcı Sayıları	27
Şekil 7.1 Transdüser Çalışma Frekans Aralıkları	66
Şekil 7.2 Sonarın Çalışma Gösterimi	67
Şekil 7.3 Enerji Dönüşümleri ve İsimleri	68
Şekil 7.4 Enerjinin Dönüştürülmesi	70
Şekil 7.5 Manyetostriktif ve Piezoelektrik Etki	70
Şekil 7.6 Transdüser Çeşitleri	71
Şekil 7.7 Bant Genişliği ve Merkez Frekansı Gösterimi	72
Şekil 7.8 Akustik Dizinlerin Sınıflandırılması	73
Şekil 7.9 Çekili Dizin Sonar Sistemi	74
Şekil 7.10 Gemilerde Kullanılan Sonar Sistemleri	74
Şekil 7.11 Transdüser Dizini (su yüzeyine dik-şamandıraya bağlı) Şematik Anlatımı	75
Şekil 7.12 Transdüser Dizini (su yüzeyine dik-gemiye bağlı) Şematik Anlatımı	75
Şekil 7.13 a) Aktif Sonarda Kullanılan Silindirik Bir Dizinin Diyagramı b) AN/SQS-26 Yüzey-Gemi Sonar Sistemi Dizini c) AN/BSY-2 Denizaltı Bow Sonar Dizini d) Denizaltı WAA Flank Dizini	77
Şekil 7.14 Denizaltı İçin Sonar Dizinlerinin Tipik Konfigürasyonu	78
Şekil 7.15 ATLAS Pasif Sonar Sensörlerinin Kapsadığı Frekans Bantları	79
Şekil 7.16 Veri Füzyonu Katmanları ve İlişkileri	93
Şekil 8.1 Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesine Göre Dağılımı	136
Şekil 8.2 Teknoloji Konularının Öncelik ve İhtiyaç Vadesine Göre Dağılımı	136
Şekil 9.1 Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı Proje Yönetim Süreci	144
Şekil 10.1 Akustik Teknolojileri Yol Haritası	148



1. AMAÇ

Savunma Sanayii Başkanlığı 2019-2023 Stratejik Planı çerçevesinde, teknoloji kazanımı çalışmaları bütüncül bir yaklaşımla planlanmakta, takip edilmekte ve desteklenmektedir. Bu kapsamda, Odak Teknoloji Ağları (OTAĞ) oluşturularak Teknoloji bazlı Ar-Ge Yol Haritaları oluşturulmaktadır.

Denizlerimizin güvenliği ve denizlerimizdeki ticari haklarımızın korunması açısından akustik teknolojilerindeki üstünlüğümüzü arttırmak kritiktir.

Akustik teknolojileri su altında kritik olmakla birlikte, hava, kara ve medikal gibi uygulamaları da bulunmaktadır.

Ülkemizde akustik teknolojileri alanında mevcut kabiliyetlerin ve kazanılması gereken milli kritik ve ileri teknolojilerin tespit edilmesi amacıyla tüm paydaşların katılımı ile Başkanlığımız tarafından Akustik Odak Teknoloji Ağı oluşturulmuştur.

2. KAPSAM

Akustik Odak Teknoloji Ağı faaliyetleri 03 Kasım 2020 tarihinde gerçekleştirilen Lansman ile başlatılmış olup Deniz Kuvvetleri Komutanlığı dahil 13 kurum, 26 üniversite ve araştırma merkezi ve 17 firmadan toplam 208 kişinin katılımı ile

- Akustik Sistemler,
- Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri,
- Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik,
- Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu

Odak Çalışma Grupları ile yürütülmüştür.

Gerçekleştirilen çalışmalar ve toplantılar sonucunda 80 Teknoloji Konusu belirlenerek önceliklendirilmiştir.

Akustik OTAĞ çalışmalarının çıktısı olarak Akustik OTAĞ Sonuç Raporu hazırlanmıştır.

Akustik OTAĞ çalışma sürecinde izlenen metotlar ve aşamalar, Akustik OTAĞ Sonuç Raporu'nun "Yöntem" bölümünde özetlenmektedir.

"Gerçekleştirilen Faaliyetler" bölümünde, çalışmalar kapsamında teşkil edilen Yönlendirme Komitesi, OÇGler ve gerçekleştirilen toplantılara ilişkin bilgi verilmektedir.



“Odak Çalışma Grupları Teknoloji Konusu Önerileri” bölümünde, OÇGlerin gerçekleştirdiği çalışmalara yönelik bilgiler, tespit edilen teknoloji konuları, değerlendirme, öneri ve sonuçlar detaylı olarak verilmiştir.

“Teknoloji Önceliklendirme Analizi” bölümünde, OÇGlerde belirlenen teknoloji konularının kritiklik dahil belirli kriterler, mevcut imkan ve kabiliyetler ile teknoloji hazırlık seviyesi dikkate alınarak yapılan önceliklendirme çalışması değerlendirilmiştir.

“Kazanım Planı Çalışmaları” bölümünde, öncelikli teknoloji konularının kazanımına yönelik yaklaşımlar ve fon sağlayıcılarının projelendirme yöntemleri yer almaktadır.

“Değerlendirmeler ve Sonuç” bölümünde, Akustik OTAĞ çalışmaları özetlenmiş, OÇGler tarafından belirlenmiş öne çıkan teknoloji konularına ve ülkemizde akustik teknolojileri alanında hedeflenen yetkinliğe ulaşılması için yapılan değerlendirmelere yer verilmiştir.



3. TANIMLAR VE KISALTMALAR

ADC	Analog Dijital Çevirici
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BT	Bilgisayarlı Tomografi
DSH	Denizaltı Savunma Harbi
DVL	Doppler Hız Logu
EYDEP	Endüstriyel Değerlendirme ve Destekleme Projesi
FOH	Fiber Optik Hidrofon
FPGA	Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi
GZFT	Güçlü ve Zayıf Yönler ile Fırsatlar ve Tehditler
HF	High Frequency
İHA	İnsansız Hava Aracı
İSA/OSA	İnsansız/Otonom Su Altı Araçları
İŞKUR	Türkiye İş Kurumu
KBB	Kan Beyin Bariyeri
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
LBL	Uzun Bazlı Konumlandırma Sistemi
LF	Low Frequency
LTS	Sıvı Helyum Sıcaklıklarında Çalışabilen Düşük Sıcaklık Süperiletkenleri
MAS	Mayın Avlama Sonarı
MEMS	Mikro Elektromekanik Sistem
MKT	Mayın Karşı Tedbir
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
OÇG	Odak Çalışma Grubu
OTAĞ	Odak Teknoloji Ağı
PMN-PT	Kurşun Magnezyum Niyobat-Kurşun Titanat
PZN-PT	Kurşun Çinko Niyobat-Kurşun Titanat



RF	Radio Frequency
SBL	Kısa Bazlı Konumlandırma Sistemi
SQUID	Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtları
SSB	Savunma Sanayii Başkanlığı
SSCG	Katı Hal Büyütme Tekniği
TDG	Tam Dalga Geriçatım
TTGV	Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
USBL	Ultra Kısa Bazlı Konumlandırma Sistemi



4. YÖNETİCİ ÖZETİ

4.1 GENEL BİLGİ

Katı, sıvı ve gazlardaki mekanik dalgaları ele alan akustik teknolojileri, sesin ortaya çıkarılması, kontrol edilmesi, transmisyonu ve etkilerini kapsamaktadır.

Akustik teknoloji bilimi, çok geniş bir kapsama sahip olup elektronik, mekanik, haberleşme, müzik, deprem bilimi, tıp gibi birçok farklı uzmanlık alanlarına ayrıışmaktadır.

Uzmanlık alanları değerlendirildiğinde, akustik teknolojilere ilişkin bilgi birikimi,

- Mühendisler,
- Doktorlar,
- Mimarlar,
- Fizyologlar,
- Biyologlar

için kritik öneme sahiptir.

4.1.1 Akustik Teknolojileri Uygulama Alanları

Teknolojik gelişmeler, artan askeri ihtiyaçlar ve sanayileşmenin etkisiyle dünya genelinde akustik teknolojilerine yönelik ihtiyaçlar ve kullanım alanları artış göstermiş olup bahse konu uygulama alanları aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir.

- Akustik Harp Alanları
 - Torpido Karşı Tedbir Sistemleri
 - DSH Sonarları
 - Torpido Sonarları
 - Mayın Harbi Sonarları
 - Su Altı Gözetleme Sistemleri
 - Hava Akustik Sistemleri
 - Su Altı Haberleşme Sistemleri
- Akustik Sivil Uygulama Alanları
 - Sismik Sistemler
 - Oşinografik Sistemler
 - Hidrografik Sistemler



Uygulama alanları incelendiğinde, akustik teknolojilerinin özellikle savunma sanayii alanında oldukça kritik bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

Akustik/Sonar teknolojileri kapsamında, 2019 yılı itibariyle 3,5 Milyar ABD Doları olan sonar Pazar değerinin (dünya genelinde), 2025 yılı itibariyle 5 Milyar ABD Doları seviyesine ulaşacağı değerlendirilmektedir.

Bahsi geçen pazar değerinin bölgelere dağılımı aşağıda yer almaktadır (IMARC, 2021):

Bölge Adı	Pazar Değeri Dağılımı (Milyon ABD Doları)
Kuzey Amerika	1.818,7
Avrupa	800,4
Asya Pasifik	711,0
Orta Doğu ve Afrika	167,9
Latin Amerika	75,0

4.1.2 Türkiye’de Durum

Ülkemizde kullanılmakta olan akustik teknolojileri incelendiğinde;

- Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri,
- Torpidolar,
- Torpido Karşı Tedbir Sistemleri,
- Mayın Harbi Sistemleri,
- Su Altı Gözetleme Sistemleri,
- Su Altı Haberleşme Sistemleri,
- Hava Akustik Sistemleri,
- Sismik Gemilerde Yer Alan Akustik Sistemlerin

öne çıktığı görülmektedir.

4.1.3 Akustik Odak Teknoloji Ağı (Akustik OTAĞ) Faaliyetleri

Türkiye’de gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmekte olan projelerde kritik öneme sahip olan akustik teknolojilerinde odak birliğinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Akustik Odak Teknoloji Ağı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Akustik alanında ülkemizde ihtiyaç duyulan ve ulusal güvenliğimize etki eden teknoloji konularının belirlenmesi ve bu konular kapsamında ülkemizdeki mevcut durumun saptanmasına yönelik Akustik Odak Teknoloji Ağı çalışmaları “Akustik Sistemler”, “Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri”, “Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik” ve “Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu” Odak Çalışma Grupları altında yürütülmüştür.

Ülkemize kazandırılması gereken teknolojiler, çalışma alanlarında yüksek tecrübeye sahip Odak Çalışma Grubu üyeleri tarafından, ilgili kullanıcı makamların gereksinimleri ile de ilişkilendirilerek belirlenmiştir.

Akustik Sistemler Odak Çalışma Grubu çalışmaları kapsamında; katılımcılar tarafından girdi yapılan konu önerileri gruplanarak 11 ana konu başlığı altında toplanmıştır.

- Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri
- Görüntüleme Sonar Sistemleri
- Mayın Avlama Sonar Sistemleri
- Sismik Tespit Sistemleri
- Su Altı Haberleşme Sistemleri
- Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri
- Manyetik Sensörler
- Hava Akustik Sistemleri
- Su Altı Biyoakustik Sistemler
- Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri
- Su Altı Yardımcı Sistemler

Bu teknoloji alanlarında önerilen teknoloji konuları önceliklendirilmiştir. Buna göre;

- Sürekli Aktif Sonar
- Aktif Sonoboy
- Su Altı Akustik Modem
- Dijital Su Altı Telefonu
- Sentetik Açıklıklı Sonar
- Tek ve Çok Hüzmeli Yandan Taramalı Sonar
- Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi



- Akustik Havan/Top/Topçu Füzesi Tespit Sistemi

kısa vadede öncelikle kazanılması gereken teknolojiler olarak belirlenmiştir.

Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu çalışmaları kapsamında; katılımcılar tarafından girdi yapılan konu önerileri gruplanarak 3 ana konu başlığı altında toplanmıştır.

- Akustik Transdüserler
- Akustik Dizinler
- Transdüksiyon Malzemeleri

Bu teknoloji alanlarında önerilen teknoloji konuları önceliklendirilmiştir. Buna göre;

- Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüseri
- Katı Hal Kristal Büyütme Tekniğiyle PMN/PT Tek Kristal Üretimi
- Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler
- Fiberoptik Hidrofon Dizini
- Fiber Bragg Grating Sensörler
- Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Vektör Sensör
- Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü

kısa vadede öncelikle kazanılması gereken teknolojiler olarak belirlenmiştir.

Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu çalışmaları kapsamında; katılımcılar tarafından girdi yapılan konu önerileri gruplanarak 5 ana konu başlığı altında toplanmıştır.

- Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme
- Akustik Veri Füzyonu
- Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme
- Multi-statik
- Yapay Zeka Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme

Bu teknoloji alanlarında önerilen teknoloji konuları önceliklendirilmiştir. Buna göre;

- Görüntüleme Sonarları İçin İleri Sinyal ve Görüntü İşleme
- Su Altı Otomatik Hedef Tanıma
- Multistatik Sonar
- Otomatik Akustik İmza ve Öznitelik Çıkarımı



- Bulut Tabanlı Yapay Zeka Destekli Akustik Büyük Veri Yönetimi
- Yandan Taramalı Sonar Görüntülerinden Mayın Tespiti

kısa vadede öncelikle kazanılması gereken teknolojiler olarak belirlenmiştir.

Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Odak Çalışma Grubu çalışmaları kapsamında; katılımcılar tarafından girdi yapılan konu önerileri gruplanarak 3 ana konu başlığı altında toplanmıştır.

- Akustik Simülasyon Araçları
- Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme
- Akustik İz Düşürücü Malzemeler

Bu teknoloji alanlarında önerilen teknoloji konuları önceliklendirilmiştir. Buna göre;

- Denizaltı Anekoik Kaplama Malzemeleri

kısa vadede öncelikle kazanılması gereken teknoloji olarak belirlenmiştir.

Akustik Odak Teknoloji Ağı Çalışmaları ilgili kurum, kuruluş ve üniversitelerden konularında uzman yaklaşık 200 kişinin katılımıyla yürütülmüştür. 20 Nisan 2022 tarihinde Akustik Odak Teknoloji Ağı Çalıştay ve 29 Haziran 2022 tarihinde Kapanış Toplantısı gerçekleştirilmiştir.

4.2 ÖNERİLER

Akustik Teknolojilerine ilişkin Türkiye’de hâlihazırda bulunan yetenekler, savunma sanayii firmalarında ve araştırma kurumlarında gerçekleştirilen projeler sayesinde edinilmektedir. Bahse konu projeler kimi zaman ilgili firma/kurum ve kuruluşların öz kaynakları ile kimi zaman da çoğunlukla devlet kaynaklı olmak üzere dış fonlar ile gerçekleştirilmektedir.

Yakın gelecekte gerçekleştirilecek projeler kapsamında ortaya çıkacak iş gücü ihtiyacının yurt içinde hâlihazırda mevcut olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, projeler kapsamındaki altyapı ihtiyacının (test, üretim, vb. altyapı ihtiyaçları) karşılanabilmesi için ilave yatırım gereksinimi olduğu değerlendirilmektedir.

Akustik teknoloji içeren sistem ve sistem alt birimlerinin tasarlanması ve üretilmesi için ihtiyaç duyulan teknolojik altyapıların planlanıp kurulması, ülkemizin akustik teknolojileri alanındaki varlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Tüm paydaşların ortak çalışmaları ile mevcut kabiliyetlerin artırılarak savunma/sivil sistemlerine uygulanmasının yüksek fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.



5. YÖNTEM

5.1 ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Akustik Teknolojileri Yol Haritası'nın oluşturulması için “Ön Hazırlık, Lansman, Önerilerin/Problemlerin Toplanması, Odak Çalışma Grubu Toplantıları ve Önceliklendirme” olmak üzere beş adımlı “Ortak Akıl” yöntemi kullanılmıştır. Bu adımlara ait tanımlar Tablo 5.1’de açıklanmıştır.

Tablo 5.1 Çalışma Metodolojisi

YÖNTEM ADIMLARI	KAPSAM
Ön Hazırlık	Lider kuruluşun belirlenmesi, Öncü kuruluşların tespiti, Alan uzmanları ve paydaşların tespiti, İlgili tematik alanda odak çalışma gruplarının tanımlanması, Lansman hazırlıkları, Roller ve sorumluluklar ile çalışma usullerinin tanımlanması, Ortak veri paylaşımı alanının oluşturulması
Lansman	Tematik yol haritası çalışmaları kapsamında alan uzmanlarının ve ilgili paydaşların bilgilendirildiği bir etkinlik düzenlenerek girdilerin talep edilmesi: • Konu önerileri • Teknoloji envanteri • Altyapı ihtiyaçları • Katılım sağlanacak odak çalışma grubu bilgileri
Önerilerin/Problemlerin Toplanması	Tematik yol haritası kapsamında iletilen konu önerilerinin derlenmesi
Odak Çalışma Grubu Toplantıları	Odak Çalışma Grupları toplantıları ile teknoloji değerlendirilmesi • Konu önerilerin değerlendirilmesi ve gruplandırılması • Teknoloji konularının tespit edilmesi
Önceliklendirme	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak konu özneteliklerinin ağırlıklandırılması ve önceliklendirme faaliyetleri



Ortak Akıl yöntemi, konu hakkında deneyim sahibi olan üniversite, enstitü, kamu kurumları ve sanayii temsilcilerinin ilgili tematik alanda birlikte çalışarak teknoloji yol haritası ve kazanım planı hazırlanmasını esas almaktadır. “SSB Teknoloji Taksonomisi”, “THS Kılavuzu” ve “Teknoloji Envanteri” gibi daha önce hazırlanan teknoloji yönetimi araç ve metotlarının çalışmada kullanılması ve uygulanması sağlanmıştır.

5.2 ÖNCELİKLENDİRME KRİTERLERİ

Odak Çalışma Grubu toplantılarında her bir teknoloji konusu için 6 ana öznitelik altında yer alan 23 kriter üzerinden önceliklendirme değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeye esas olan öznitelikler ve alt kriterleri aşağıda listelenmiştir.

A. Kritiklik

1. Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir.
2. Kısıtlayıcı düzenlemelere (FTKR, ITAR) tabi olan teknolojidir.
3. Kritik bir teknolojidir, kazanılmasının teknolojik yetkinliğe önemli katkısı olacaktır.
4. Üreticisi tek veya kısıtlı sayıdadır.
5. Temin süresi uzundur (6 ay veya daha fazla).
6. Kritik bir teknoloji değildir.

B. Dünyadaki Durum

1. Gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, prototip aşamasında olan teknolojidir.
2. Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ürünlerin ticari olmadığı teknolojidir.
3. Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olduğu teknolojidir.
4. Ömür devrinin ortalarında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı teknolojiler arasındadır.
5. Ömür devrinin sonlarında, gelişime açık olmayan bir teknolojidir.

C. İnsan Kaynağı

1. Yetişmiş insan gücü yeterlidir.
2. Yetişmiş insan gücü mevcut, ancak yetersizdir.
3. Yetişmiş insan gücü yoktur veya çok kısıtlıdır.



D. Altyapı

1. Laboratuvar, araştırma merkezi, cihaz, yazılım gibi altyapılar yeterlidir.
2. Laboratuvar, araştırma merkezi, cihaz, yazılım gibi altyapılar mevcut, ancak yetersizdir.
3. Herhangi bir altyapı bulunmamaktadır veya çok kısıtlıdır.

E. Çift Kullanım

1. Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır.
2. Teknolojinin çift amaçlı olarak kullanım imkanı vardır.
3. Teknolojinin çift amaçlı olarak kullanım imkanı yoktur.

F. Tedarik Projelerine Uygulama

1. Kullanıcı ihtiyacı bulunmaktadır ve mevcut/planlı tedarik projelerinde kullanılacaktır.
2. Kullanıcı ihtiyacı bulunmaktadır veya mevcut/planlı tedarik projelerinde kullanım imkanı vardır.
3. Kullanıcı ihtiyacı bulunmamaktadır ve mevcut/planlı tedarik projelerinde kullanım imkanı yoktur.

Her bir öznitelik için hem öznitelikler arası hem de onlara bağlı olan kriterlerin değerler arası önceliklendirme hesaplaması Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

5.3 ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

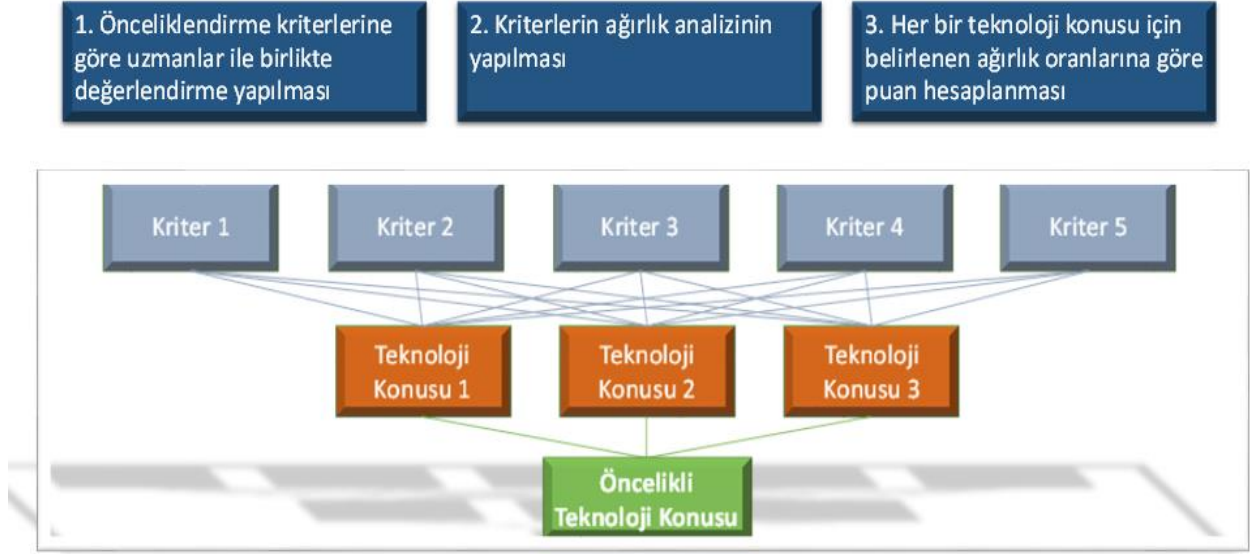
5.3.1 Tanım

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karar verme süreçlerini matematiksel olarak modelleyen ve karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Saaty, 1980, 1990).

Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri sayısal değerleri olmayan kriterlerin karşılaştırma yöntemleri sayesinde analitik olarak değerlendirilmesini sağlamasıdır. Karar vericilere pek çok avantaj sağlamaktadır.

- Çok sayıda kriterin değerlendirilmesini sağlama,
- Grup halinde karar verileceğinden herkesin etki edeceği karar mekanizmasını sunma,
- Karar vericilerin kişisel tercihlerini de çözüm sürecine dâhil etme.

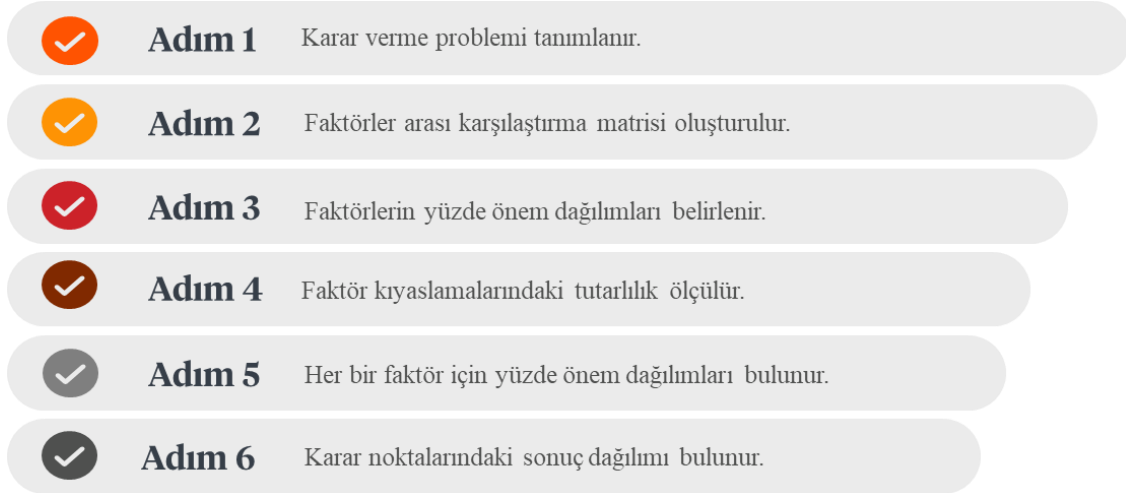
AHP'nin hiyerarşik yapısı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 AHP Hiyerarşi Yapısı

5.3.2 Proses Adımları

Analitik Hiyerarşi Prosesi'nde bir problemin çözümlenebilmesi için Şekil 5.2'de yer alan adımlar takip edilmektedir.



Şekil 5.2 Proses Adımları

Faktörler arası karşılaştırma matrisi oluşturulurken karar kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanması amacıyla kullanılan ölçek Tablo 5.2'de verilmiştir.



Tablo 5.2 Analitik Hiyerarşi Sürecinde Kullanılan Ölçek

ÖNEM DERECESESİ	TANIM	AÇIKLAMA
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunmaktadır.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettirmektedir.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirmektedir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilmekte ve uygulamada baskınlığı rahatlıkla görülmektedir.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük bir güvenliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerdir.

Sınıflandırma

AHP analizi sonucu elde edilen değerler kullanılarak Akustik Teknolojileri Yol Haritası içinde yer alan teknoloji konularının sınıflandırılması yapılmıştır. 1. 2. ve 3. öncelikli teknoloji konuları şeklinde 3 öncelik grubu belirlenmiştir.

Belirtilen öncelik gruplarında yer alacak konuların belirlenebilmesi için öncelikle AHP analizinde elde edilen değerlerin histogram ile gösterimi yapılmıştır. Histogram, gruplandırılmış bir veri dağılımının sütun grafiği ile gösterimidir.

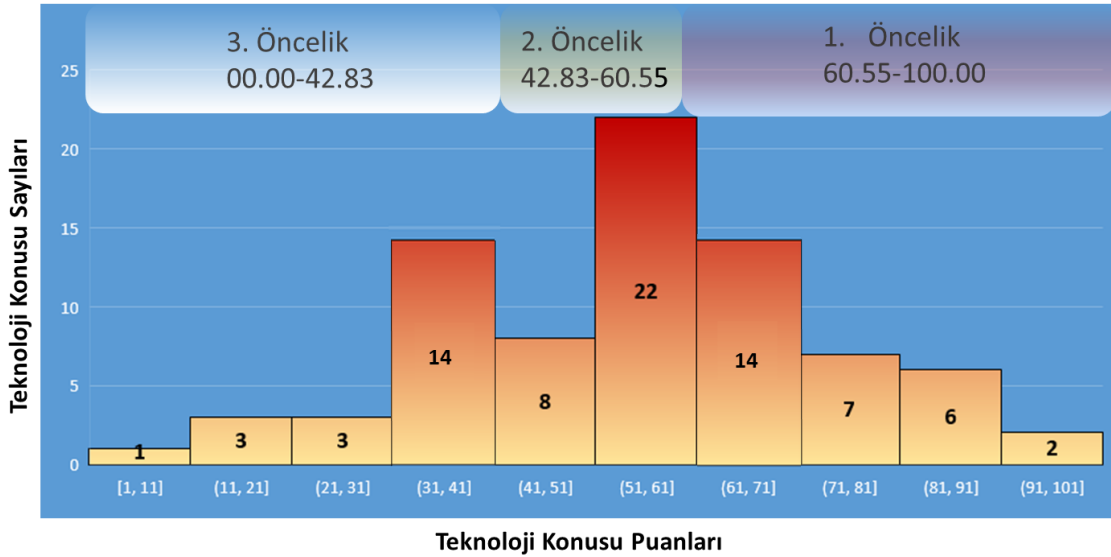
Aşağıdaki adımlar izlenerek Histogram oluşturulmuştur:

1. Verilerin küçükten büyüğe sıralanması,
2. Veri grubunun açıklığının (aralığı) belirlenmesi (Açıklık en büyük veriden en küçük verinin çıkartılması ile elde edilir),



3. Verilerin ayrılacağı grup sayısının belirlenmesi,
4. Grup genişliğinin bulunması (Açıklık değerinin grup sayısına bölünmesiyle elde edilen sayıdan büyük en küçük doğal sayı, grup genişliği olarak alınır),
5. Verilerin en küçük veriden başlayarak grup genişliğine göre gruplara ayrılması,
6. Oluşturulan gruplar ve gruplardaki verilerin tablo halinde düzenlenmesi,
7. Tablo temel alınarak histogram oluşturulması.

Bu çalışmada AHP analizi sonuçları kullanılarak elde edilen histogram Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Akustik Teknoloji Konuları AHP Analizi Histogramı

Teknoloji konuları bulunan AHP Değerlerine göre 1. 2. ve 3. Öncelikli konular olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma grupları ve ağırlık aralıkları Tablo 5.3 içinde sunulmuştur.

Tablo 5.3 Sınıflandırma Aralıkları

	SINIFLANDIRMA	AHP DEĞERİ
1	1. Öncelikli Konular	AHP Değeri ≥ 60.55
2	2. Öncelikli Konular	$42.83 \leq \text{AHP Değeri} < 60.55$
3	3. Öncelikli Konular	AHP Değeri < 42.83



5.4 GÜNCELLEME YÖNTEMİ

Teknoloji yol haritasının güncelliğini koruyabilmesi için Bölüm 5.1’de belirtilen faaliyetlerin periyodik olarak tekrar edilmesi uygun değerlendirilmektedir. Buna ek olarak teknolojik gelişmeler, konjonktürel değişiklikler gibi hususlar nedeniyle güncelleme yapılması da gerekebilir. Güncelleme için izlenecek yöntem adımları aşağıda listelenmiştir:

- Geri bildirim ve konu önerilerinin toplanması için bir platform oluşturulması,
- Düzenli olarak konu önerilerinin ya da geri bildirimlerin toplanması,
- Önerilerin belirli periyotlar ile alan uzmanları tarafından değerlendirilmesi ve teknoloji yol haritasının güncellemesi.



6. GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER

SSB önderliğinde Akustik Teknolojileri Yol Haritası'nı oluşturmak üzere Ocak 2020 tarihinde çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmada ASELSAN lider kuruluş olarak belirlenmiştir.

3 Kasım 2020 tarihinde lansman toplantısı gerçekleştirilmiş olup alan uzmanları ve ilgili paydaşlar bilgilendirilmiş ve çalışma kapsamında beklenen girdiler talep edilmiştir. Lansman toplantısına Akustik teknoloji kullanıcıları ve bu konuda araştırma ve geliştirme yapan üniversite ve kurum temsilcileri ve ihtiyaç makamı temsilcileri katılım sağlamıştır.



Şekil 6.1 Akustik OTAĞ Çalışma Takvimi

6.1 YÖNLENDİRME KOMİTESİ

Yönlendirme Komitesi SSB Başkanlığında, TSK temsilcileri, lider kuruluş ASELSAN temsilcileri, dört OÇG lideri ve kurum/kuruluş temsilcilerinden oluşmaktadır. Yönlendirme Komitesi, tüm OÇG faaliyetlerini planlayan, yöneten, izleyen ve raporlayan bir komite olarak faaliyet göstermiş olup komite üyelerinin adları ile temsilcisi oldukları kurum ve kuruluş bilgisi Tablo 6.1'de yer almaktadır.



Tablo 6.1 Yönlendirme Komitesi Üyeleri

 TÜRKİYE CUMHURİYETİ SAYUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI	Bilge İNCEL Dr. Çağla ÖNÜR Gülsevin KODALOĞLU Dr. Melek KELEŞ ÖZGÜL Öznur TURAN Coşkun ONUR Mustafa Fırat ÇELİK
 GENELKURMAY	Yrb. Mehmet Tuncay KAYA
 TÜRK DENİZ KUVVETLERİ 1081	Müh. Yarbay Ali Onur AKAR Müh. Binbaşı Ömür HANYALI Müh. Binbaşı Erhan ÖZER Müh. Üsteğmen Mustafa ULUZMAN
 İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ 1773	Prof. Dr. Ahmet ERGİN
 ERCIYES ÜNİVERSİTESİ 1978	Doç. Dr. Ahmet Turan ÖZDEMİR
 ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	Prof. Dr. Aydın DOĞAN



	Ata Can ÇORAKÇI Dr. Neslihan SARICA
	Soner KÖRÜK
	Aykut ŞAHİN Sait YILMAZ Gökmen CAN İskender Burak KOÇ Oğuz TUNA Yasin ÇİFTÇİ
	İrfan YILDIZ Mesut GÖRATES
	Özay ÖYMEZ Dr. Tuncay AKAL

6.2 ODAK ÇALIŞMA GRUPLARI

Akustik Teknolojileri Yol Haritası çalışmaları Akustik Sistemler, Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri, Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik ve Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu olmak üzere dört OÇG ile yürütülmüştür. OÇG Liderleri Şekil 6.2’de belirtilmiştir.

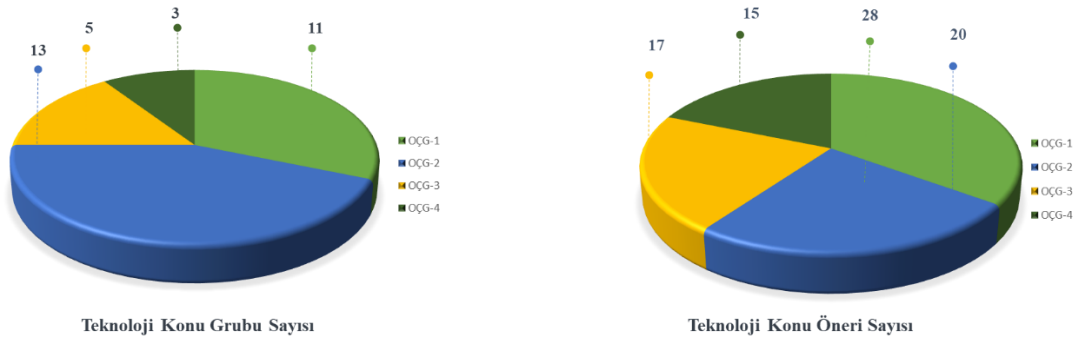


Akustik Sistemler Sacit YILMAZ		Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Prof. Dr. Aydın DOĞAN	
Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Doç. Dr. Ahmet Turan ÖZDEMİR		Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Prof. Dr. Ahmet ERGİN	

Şekil 6.2 OÇG İsimleri ve OÇG Liderleri

Odak Çalışma Grupları, Yönlendirme Komitesi, Grup Lideri ve Temsilcisi koordinasyonunda faaliyetlerini sürdürmüştür. Her bir Odak Çalışma Grubunda konu önerilerinin belirlenmesi, teknoloji, ihtiyaç ve altyapı envanterinin gözden geçirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Odak Çalışma Grupları tarafından 32 teknoloji konu grubu ve 80 teknoloji konu önerisi oluşturulmuş olup Odak Çalışma Grupları bazında önerilen konu grubu ve konu sayıları Şekil 6.3'te verilmiştir.

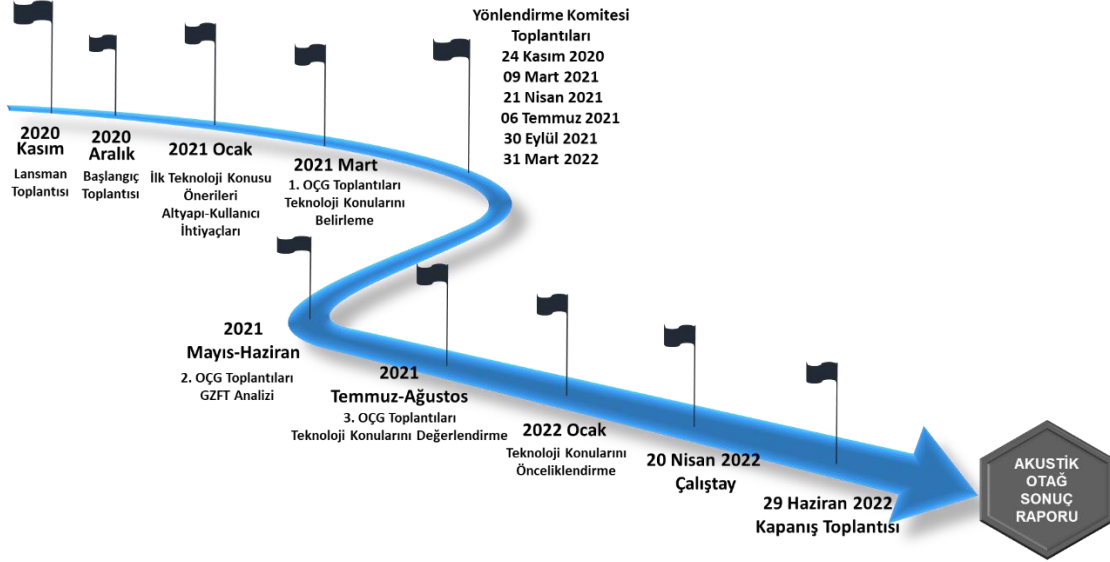


Şekil 6.3 Teknoloji Konu Grubu ve Konu Öneri Sayıları



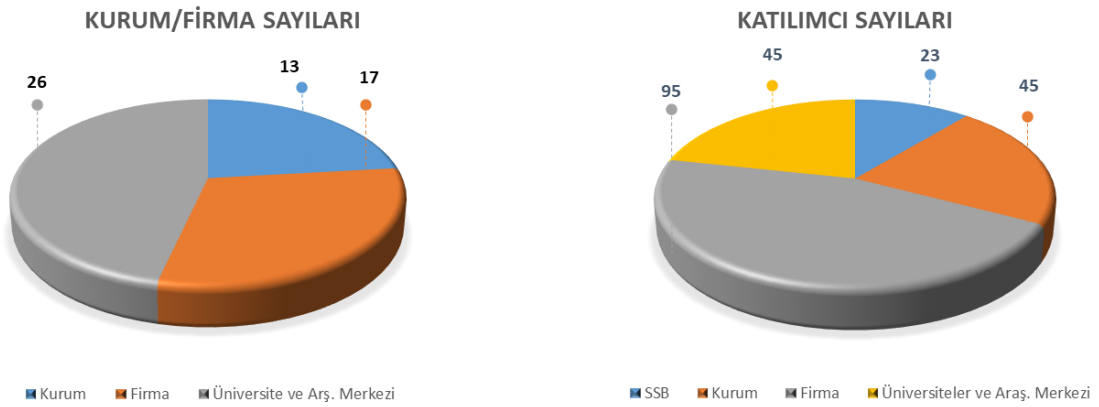
6.3 TOPLANTILAR

Akustik Teknolojileri OTAĞ çalışmaları süresince SSB önderliğinde, Yönlendirme Komitesi ve Odak Çalışma Grupları ile birlikte toplantılar gerçekleştirilmiştir. Yapılan toplantılar Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4 Akustik OTAĞ Toplantı Takvimi

Akustik Teknolojileri OTAĞ çalışmaları 13 kurum, 17 firma ve 26 üniversite ve araştırma merkezinin katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan faaliyetlere katılan kurum/firma ve katılımcı sayıları Şekil 6.5'te sunulmuştur.



Şekil 6.5 OTAĞ Katılımcı Sayıları



7. ODAK ÇALIŞMA GRUPLARI TEKNOLOJİ KONUSU ÖNERİLERİ

7.1 AKUSTİK TEKNOLOJİLERİ

7.1.1 Genel Bilgi

Akustik teknolojileri; katı, sıvı ve gazlardaki mekanik dalgaları ele alır. Temel olarak, sesin ortaya çıkarılması, kontrol edilmesi, transmisyonu ve etkilerini kapsamaktadır.

Akustik teknoloji bilimi, aşağıda belirtilen uzmanlık alanlarına ayrılmaktadır:

- Oşinografi
- Elektronik
- Kimya ve Biyoloji
- Mekanik
- Haberleşme
- Müzik
- Sismoloji (Deprem Bilim)
- Tıp
- Fizyoloji

7.1.2 Dünyada ve Türkiye’de Mevcut Durum

Gelişmiş savaş sistemlerine (torpidolar, mayınlar, füze gibi) sahip havadan bağımsız modern denizaltılar ve mini denizaltılar dahil olmak üzere, önemli su altı savunma teknolojileri ülkeler arasında transfer edilmektedir. Su altı akustik teknolojilerinin hızla yayılması ve bu yayılım paralelinde oluşturulması gereken savaş yetenekleri, tüm ülkeler için zorlu bir süreç yaratmaktadır.

İlerleyen teknoloji ile birlikte, gelecekte tasarlanıp oluşturulacak su altı tehditlerine karşılık vermenin oldukça zor olacağı değerlendirilmektedir.

Aşağıda belirtilen teknoloji alanları, oluşturmakta oldukları potansiyel tehditler nedeniyle her ülke için su altı savunma anlamında endişe yaratmaktadır.

7.1.2.1 Dünyada Mevcut Durum ve Teknoloji Eğilimleri

Modern Denizaltı Platformları

40’tan fazla ülkenin donanmasında denizaltı platformları bulunmaktadır. ABD, Almanya, Rusya, İngiltere, Fransa, İsveç, Hollanda, Çin ve İspanya’nın denizaltı tasarımı ve üretimi



anlamında tecrübeli olduğu bilinmektedir. Teknolojik gelişmeler ile birlikte denizaltıların giderek sessizleştiği, tespit edilme olasılıklarının azaldığı ve oluşturdıkları tehdide yönelik olası etki miktarının arttığı değerlendirilmektedir. Geçmişte pasif sonarlar yardımı ile denizaltı tespiti yapılabilirken, günümüzde sessizlik özelliği artan denizaltıların pasif sonarlar yardımıyla tespit olasılığının ve mesafesinin oldukça azaldığı görülmektedir.

Modern Denizaltı Savaş Sistemleri

ABD, Almanya ve Fransa'nın denizaltı savaş sistemi ihracatında önemli ölçüde ilerleme kaydettikleri bilinmektedir. İleri akustik sensörler, nanoakustik sensörler, haberleşme sistemleri, sinyal işleme sistemleri ile otomatik takip ve atış kontrol sistemleri modern denizaltı savaş sistemleri arasında sayılabilir.

Modern denizaltı platformları ve denizaltı savaş sistemleri haricinde; havadan bağımsız denizaltı çözümlerinin, modern torpidoların, gemilere karşı kullanılan denizaltı füzelerinin ve denizaltılar ile savaş gemilerine karşı kullanılan mayınların su altı savunma teknolojileri anlamında ülkeler için tehdit oluşturduğu değerlendirilmektedir.

Denizaltı Savunma Harbi (DSH) ve mayın karşı tedbirleri kapsamındaki genel yaklaşımın yeterli koruma, durumsal farkındalık ve taktiksel kontrol sağlayamayacağı öngörülmektedir. Yeterli koruma, durumsal farkındalık ve taktiksel kontrol sağlayabilmek için, ileri teknoloji barındıran çözümlere ve yeni operasyonel yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bahse konu çözümler aşağıda belirtilmektedir:

- **Dağınık Sensör Ağları**

Yüksek üretim/tedarik maliyetleri nedeniyle ülkelerde kısıtlı adetlerde bulunan su üstü ve su altı platformların (savaş gemileri ve denizaltılar) geniş alanlarda keşif ve gözetleme amacıyla kullanılmasının pratik olmadığı değerlendirilmektedir. Keşif ve gözetleme amacıyla yüksek maliyetli platformların kullanımı yerine dağınık sensör ağlarının kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

- **İnsansız Su Altı Aracı Konseptleri/Teknolojileri**

Bu araçların, su altı keşif ve gözetleme, liman/alan güvenliği, mayın tespit ve imhası, anti denizaltı harbi ve batık çalışmalarında önemli rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

- **Savaş Gemileri ve Denizaltılar için Su Altı Tehditlerine Karşı İleri Korunma Tedbirleri**



Denizaltı Savunma Harbine yönelik iyileştirmelerin, torpidolara karşı ileri savunma teknolojilerinin (“hard kill” veya “soft kill”) ve mayınlara karşı uygulanacak ileri savunma sistemlerinin gelecekte su altı savunma harbi kapsamında oldukça kritik rol oynayacağı değerlendirilmektedir.

Yukarıda belirtilen alanlarda alınacak teknolojik ve operasyonel inisiyatiflerin gelecek su altı savunma vizyonunun temel taşlarını oluşturacağı öngörülmektedir.

Yukarıda belirtilen sistemlere ilave olarak, su altı haberleşme sistemleri, hava akustik sistemleri ve sismik sistemlere yönelik ileri akustik teknolojilerin oldukça kritik öneme sahip olduğu, gelecekte ülkeler tarafından yoğun olarak kullanılacağı ve ilgili sistem üretimlerinin artarak devam edeceği öngörülmektedir.

Sonar Teknolojisi

Modern Denizaltı Savaş Sistemleri başlığı altında da belirtildiği üzere, Denizaltı Savunma Harbi (DSH) ve mayın karşı tedbirleri kapsamında yeterli koruma, durumsal farkındalık ve taktiksel kontrol sağlayabilmek için, ileri teknoloji barındıran çözümlere ve yeni operasyonel yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Sonar teknolojisinin, Denizaltı Savunma Harbi ve mayın tespiti uygulamalarında oldukça kritik olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, bahse konu teknolojinin petrol ve gaz araştırmaları ile benzer diğer uygulamalarda da yüksek öneme sahip olduğu değerlendirilmektedir.

2019 yılı itibarıyla 3,5 Milyar ABD Doları olan sonar pazar değerinin (dünya genelinde), 2025 yılı itibarıyla 5 Milyar ABD Doları seviyesine ulaşacağı değerlendirilmektedir.

Bahsi geçen pazar değerinin bölgelere dağılımı aşağıda yer almaktadır (IMARC, 2021):

Bölge Adı	Pazar Değeri Dağılımı (Milyon ABD Doları)
Kuzey Amerika	1.818,7
Avrupa	800,4
Asya Pasifik	711,0
Orta Doğu ve Afrika	167,9
Latin Amerika	75,0



Sonar uygulamaları bazında dünya pazar dağılımı aşağıda yer almaktadır (IMARC, 2021):

Uygulama	Dağılım Yüzdesi
Askeri Sistemler	%44,6
Hidrografik Uygulamalar	%22,5
Açık Deniz Petrol Araştırmaları	%13,1
Liman İzleme Sistemleri	%7,6
Diğer	%12,2

Ürün tipleri bazında dünya pazar dağılımı aşağıda yer almaktadır (IMARC, 2021):

Ürün Tipi	Dağılım Yüzdesi
Askeri Sistemler	%49,5
Hidrografik Uygulamalar	%25,8
Açık Deniz Petrol Araştırmaları	%15,1
Liman İzleme Sistemleri	%7,3
Diğer	%2,3

7.1.2.2 Türkiye’de Mevcut Durum

Denizaltı Savunma Harbi

Ülkemizde, akustik ve sonar teknolojileri çerçevesinde ana çalışma alanı olarak Denizaltı Savunma Harbi öne çıkmaktadır.

Denizaltı Savunma Harbi çalışma alanı genel olarak incelendiğinde, aşağıdaki teknolojilerin öne çıktığı görülmektedir:

- Aktif Sonoboy

Sonoboy (sono–boy/sonar–şamandıra) denizaltı tespitinde kullanılan, aktif/pasif sonar sensör ya da sensör dizinlerine sahip, harcanabilir bir akustik algılayıcı türüdür.

- Denizaltı Çekili Sonar

Su altı torpido ve denizaltı tespitinde önemli bir yere sahip olan çekili sonar dizini gemilerde kullanıldığı gibi denizaltılarda da kullanılabilmektedir. Gelişmiş ülkelerin denizaltı filolarında



yer alan bu ürünün ülkemize kazandırılması, taktiksel ve teknolojik olarak büyük getiriler sağlayacaktır.

- Hafif Aktif Sonoboy

Sonoboy denizaltı tespitinde kullanılan, aktif/pasif sonar sensör ya da sensör dizinlerine sahip, harcanabilir bir akustik algılayıcı türüdür. Yenilikçi bir yaklaşım olan, Hafif Aktif Sonoboy teknolojisi ile toplam ağırlığın optimize edilmesiyle teknolojinin İHA benzeri araçlarda kullanımı sağlanabilecektir.

- SQUID

Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtları (SQUID), sıvı azot sıcaklıklarında çalışabilen yüksek sıcaklık ve sıvı Helyum sıcaklıklarında çalışabilen düşük sıcaklık süperiletkenleri tabanlı Josephson eklemlerinden oluşan, bilinen en hassas manyetik alan sensörlerindendir.

SQUID sensörler mutlak manyetik alan ölçümleri için uygun olmasalar da belirli bir arka plan manyetik alanı üzerinde değişen manyetik alanları algılamada rakipsiz olarak kabul edilirler. Bu özellikleri ile belirli bir alanda manyetik alan arka plan bilgisinin bilindiği durumda, denizaltı veya başka bir yüksek kütleli metal kaynaklı distorsiyonların (manyetik alan anomalilerinin) ölçülerek, belirli sinyal işleme tekniklerinden geçirilmesi ile hedef tespitlerinin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir.

- Sürekli Aktif Sonar

Darbe tekrar periyodunun tamamına yakın süresince aktif yayın yapıldığı en az bir verici ve bir alıcıdan oluşan, denizaltı savunma harbi amaçlı kullanılan, geniş bant genişliğine sahip ve uzun süreli dalga şekillerinin kullanıldığı sonar teknolojisidir.

Bununla birlikte, yakın gelecekte,

- Otonom Su Altı Araçlarına ilişkin sonar teknolojilerine,
- Su altı görüntüleme ve mayın harbi alanlarında Sentetik Açıklıklı Sonar teknolojilerine,
- Torpido Sistemlerine

yönelik çalışmaların hız kazanacağı değerlendirilmektedir.



7.2 AKUSTİK SİSTEMLER ODAK ÇALIŞMA GRUBU

7.2.1 Genel Bilgi

Akustik Sistemler Odak Çalışma Grubu tarafından yürütülen faaliyetler sonucunda, ilgili çalışmaların 11 farklı teknoloji konusu grubu altında incelenmesine karar verilmiştir. Bu teknoloji konusu grupları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri
- Görüntüleme Sonar Sistemleri
- Mayın Avlama Sonar Sistemleri
- Sismik Tespit Sistemleri
- Su Altı Haberleşme Sistemleri
- Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri
- Manyetik Sensörler
- Hava Akustik Sistemleri
- Su Altı Biyoakustik Sistemler
- Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri
- Su Altı Yardımcı Sistemler

Bahse konu teknoloji konusu grupları değerlendirilerek, her bir grup içinde öne çıkan teknolojiler detaylı olarak çalışılmıştır.

Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri:

Denizaltılar uzak mesafelerdeki kara ve deniz hedeflerine saldırı imkânı sağlayan, kendini gizleme yeteneği çok üst seviyede olan çok etkili saldırı unsurlarıdır. Modern denizaltılar sahip olduğu torpido, balistik ve nükleer füzeler ile büyük tehdit oluşturmaktadır. Dünyada toplam olarak 500 civarında denizaltı olduğu bilinmekte ayrıca denizaltı üretimi de son derece hızlı bir şekilde sürmektedir. Artan denizaltı tehdidi dikkate alındığında denizaltı savunma harbinin önemi daha net anlaşılmaktadır.

Denizaltı Savunma Harbi (DSH) hava, deniz ve su altı unsurlarının kullanılarak düşman denizaltılarının tespiti, takibi, sınıflandırılmasına ilave olarak imhasını da kapsamaktadır. Denizaltıların tespiti için en temel yöntem su altında sesin iletiminden faydalanan sonar sistemleridir. İlave olarak manyetik sensörler ile de denizaltı tespiti mümkündür.



Günümüz teknolojilerinden faydalanılarak denizaltıların son derece sessiz hale gelmesi, pasif sonarlar ile tespit edilmelerini son derece zorlaştırmaktadır. Bu nedenle DSH sonarları çok büyük bir çoğunlukla aktif transmisyonlarına karşılık aldıkları yansımalar ile denizaltı tespiti gerçekleştirmektedir. Denizaltı tespiti için karinaya monteli sonarlar, çekili sonarlar ve sonoboy sistemleri çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Görüntüleme Sonar Sistemleri:

Yüksek frekansta kullanılmakta olan Görüntüleme Sonar Sistemleri, deniz tabanının veya su altı cisimlerinin görüntüsünü oluşturmak için kullanılan sonar sistemleridir.

Yandan taramalı sonar teknolojileri ürünleşmiş olduğu için farklı firmalara ait geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bu nedenle ömür devrinin ortalarında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı teknolojiler arasında yer aldığı söylenmektedir.

Sentetik Açıklıklı Sonar Teknolojisinin ise, ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı ve mevcut ticari ürünlerin olduğu bir teknoloji olarak piyasada yer aldığı değerlendirilmektedir. Sentetik Açıklıklı Sonar sistemlerinin gelişmiş ülkelerin envanterine yeni girmekte olduğu, geleneksel sonar görüntüleme ürünlerine göre oyun değiştirici olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, Sentetik Açıklıklı Sonar Teknolojisine ait ticari ürünlerin yaygın olmadığı, bu teknoloji için sinyal işleme teknikleri üzerine akademik çalışmalar yapıldığı ve geliştirilen tekniklerin de ticari ürünlerde uygulandığı gözlenmektedir.

Mayın Avlama Sonar Sistemleri:

Mayın Avlama Sonar Sistemleri, deniz platformundaki demirli mayınları ve/veya dip mayınlarını tespit etmekte ve sınıflandırmakta kullanılmaktadır.

Sismik Tespit Sistemleri:

Sismik tespit sistemlerinde kullanılmakta olan sismik sensörler, dünyanın titreşimlerini algılayan hız sensörleri veya akselerometreler olarak fonksiyon gösterirler. Çoğunlukla deprem tespitinde kullanılan bu sensörler, günümüzde kaynak keşfinde ve güvenlik amacıyla da kullanılabilir.

Su Altı Haberleşme Sistemleri:

Su üstü platformlar ve su altı platformların iletişim ihtiyacı Su Altı Haberleşme Sistemleri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bahse konu iletişim, akustik dalgalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.



Dijital Su Altı Telefonu ve Su Altı Akustik Modem alanında çalışmakta olan ve ticari ürünleri bulunan firmalar sektörde yer almaktadır. Ömür devrinin başında olan ve gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı teknolojidir.

Gelişmiş ülkelerin Kuantum Haberleşme alanında çalıştığı, bahse konu teknolojinin prototip aşamasında olduğu bilinmektedir. ABD, Çin, Kanada, Almanya, Rusya, Fransa, Avusturalya, Avusturya ve İsviçre gibi ülkelerin bu konuda çalışmaları mevcuttur (ArXiv, 2021) (ArXiv, 2020) (Mario Mastriani vd., 2021) (Chen, 2020).

Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri:

Otonom Su Altı Araçlarında seyrüsefer ihtiyacını karşılamak için ataletsel ölçüm birimleri çoğu zaman tek başına yetersiz kalmaktadır. Ataletsel ölçüm birimi hatalarının zamanla üstel fonksiyonla artması su altı araçlarının görev sürelerini ve menzillerini kısıtlamaktadır. Bu sorunu çözmek için seyrüsefer sisteminde ataletsel ölçüm biriminin başka algılayıcılarla desteklenmesi gereklidir.

Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri içinde farklı tipte ve sayıda algılayıcıları eş zamanlı kullanabilmek için çoklu algılayıcı harmanlama işlemi zaruridir. Kullanılabilen tüm algılayıcıların çeşitli dezavantajlarının olması bu algılayıcıları tek başlarına kullanım için yetersiz kılmaktadır. Öte yandan algılayıcı füzyonu teknikleri kullanılarak birden fazla algılayıcının avantajlı yanlarını kullanarak dezavantajları bertaraf etmek mümkün olabilmektedir.

Manyetik Sensörler:

“Magnet” ve “magnetic” terimleri çok eski ve geçmiş olan terimlerdir. MÖ 6. yüzyılda Thales manyetik özellikli taşların birbirlerini çektiğini veya ittiğini görmüş ve yazıtlarında bunu belirtmiştir. İnsanlık daha sonraki dönemlerde Dünya'nın manyetik alanı ve pusula kullanımını öğrenmiştir.

1800'lü yıllardan itibaren ise Oersted, Faraday, Gauss, Weber ve elektromanyetik teorisinin temelini oluşturan Maxwell gibi isimler ile manyetik kurallar ortaya konmuştur. Bunlarla birlikte muhtelif manyetik sensörlerin geliştirilmesi çalışmaları 20. yüzyılda başlamıştır. Ancak manyetik sensörlerin son yıllarda tekrar önem kazanması ve öne çıkması, manyetik malzeme teknolojilerinde yaşanan gelişmeler/iyileşmeler, ortaya konan ilave teoriler ile ölçüm ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde olmuştur.



Bu kapsamda teknolojik olarak ileri olan ülkeler, 1950'li yıllardan itibaren manyetik sensör alanında birçok askeri ve sivil sistemler üretmektedirler. İlave olarak Hall effect sensör gibi elektronik kartlar üzerinde kullanılan sensör tiplerinde de manyetik sensörlerin kullanımı artmıştır.

Manyetik sensör çalışmaları yanı sıra elektromanyetik verici ve alıcılar yoluyla su altı haberleşmesi, enerji aktarımı ve su altında hedef tespiti gibi konularda da son yıllarda çalışmalar hızla artmaktadır.

Hava Akustik Sistemleri:

Hava akustik sistemleri, yer üstündeki unsurların akustik gürültüleri sayesinde tespit edilmesini sağlayan ve çeşitli akustik unsurların yönlendirilmiş ses kaynağı olarak kullanıldığı sistemleri kapsamaktadır.

Günümüzde askeri alandaki en yaygın hava akustiği uygulamaları keskin nişancı tespiti atış yeri tespiti, havan/top tespiti ve yönlendirilmiş uzun menzilli ses kaynaklarıdır.

Su Altı Biyoakustik Sistemler:

Su altı biyoakustiği; deniz organizmalarının işitsel yetenekler, ses üretimi, iletişim, yiyecek arama vb. davranışlarının akustik yöntemler kullanılarak incelenmesidir (Au, W.W.L vd., 2008) (Montgomery, vd., 2017). Akustik enerji, su ortamında elektromanyetik ve ışık gibi enerjilere göre daha gürbüz iletilmektedir. Deniz canlıları iletişim, navigasyon (yön bulma), yiyecek arama, saldırı veya savunma amaçlı faaliyetleri için aktif ve/veya pasif olarak kendilerine özgü akustik yöntemler kullanmaktadırlar. Dolayısıyla, su altı akustiği deniz canlılarının tespiti, takibi, sosyal etkileşimleri, popülasyon yoğunluğu vb. konularında bilgi sağlamaktadır (Au, W.W.L, 2008) (Montgomery, 2017) (Medwin vd., 1999).

Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri:

Ultrason, duyulabilen sestten daha yüksek frekanstaki (>20 kHz üzeri) akustik dalgalara verilen isimdir. Ultrason dalgaları ile tıbbi görüntüleme, 1960'lardan beri kullanılan bir yöntemdir. Klasik ultrason görüntülemede ultrason sensör dizisi içeren bir prob, cilt üzerine yerleştirilerek doku içinde elektronik tarama yapılır ve farklı yönlere ultrason darbeleri gönderilir. Dokulardan geri yansıyan darbeler işlenip dokuların akustik özelliklerine bağlı anatomik görüntülere dönüştürülür. Ultrasonda yaygın olarak dokuların iki boyutlu kesiti görüntülenir. Yüksek performanslı hesaplama mimarileri ve görüntüleme algoritmaları sayesinde ultrason ile 3



boyutlu (hacimsel) ve 4 boyutlu (zamansal) görüntüleme mümkün hale gelmiştir. Ultrason görüntülemenin yanında çok çeşitli terapi uygulamaları için de kullanılabilir.

Su Altı Yardımcı Sistemler:

Su Altı Yardımcı Sistemleri kapsamında; Akıllı Şamandıra Sistemi ve Öz Gürültü Analizi İvmeölçeri değerlendirilmiştir.

Akıllı şamandıra sistemleri; düşman su altı platformlarının tespiti ve gürültü kaydı, dost su altı unsurları için ise haberleşme ve şarj istasyonu olarak kullanılabilir. Su altı otonom sistemlerine olan ihtiyacın artması akıllı şamandıra sistemlerine olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Akıllı şamandıra sistemleri sayesinde otonom su altı araçlarının otonom çalışma süreleri ve menzillerinin artırılması mümkün olmaktadır.

Öz Gürültü Analizi İvmeölçeri, su altı platformlarının kendi gürültülerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Su altı platformunun kendi gürültüsünün bilinmesi o platform için su altında sonar ve akustik su altı haberleşme performanslarının sağlıklı bir şekilde kestirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Platformun pasif olarak da hangi mesafeden tespit edilebileceği tahmin edilebilir. Tüm bu bilgileri kullanarak su altı platformu gerekli su altı konumu ve hız bilgilerini belirleyebilir. Bu nedenle Öz Gürültü Ölçümünün su altı çevre koşullarında yüksek doğrulukla ölçülebilmesi son derece önemlidir.

7.2.2 Teknoloji Konuları

Akustik Sistemler Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda elde edilen teknoloji konuları Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Odak Çalışma Grubu-1 Teknoloji Konuları

TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Aktif Sonoboy	A5.18 Akustik Cihaz Teknolojileri A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılm B05.06 Akustik İzler	Sonoboy (sono-boy/sonar-şamandıra) denizaltı tespitinde kullanılan, aktif/pasif sonar sensör ya da sensör dizinlerine sahip, harcanabilir bir akustik algılayıcı türüdür. Modern Sonoboylar helikopterlerden, deniz karakol uçaklarından ve su üstü gemilerden denize konuşlandırabilir. Sonoboy ilk olarak İkinci Dünya Savaşında müttefik deniz platformları için ciddi tehdit yaratan Alman



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			denizaltılarına karşı bir müdahale olarak geliştirilmiştir. Sonrasında Soğuk Savaş yıllarında temel Denizaltı Savunma Harbi (DSH) algılayıcısı haline gelmiştir. Halen akustik DSH icrasında etkin olarak kullanılmaktadır. Sonoboylar, helikopter ve deniz karakol uçaklarına su altı akustik dalgaları kullanarak denizaltı tespit yeteneğini kazandırmıştır.
	Denizaltı Çekili Sonar	B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif)	Su altı torpedo ve denizaltı tespitinde önemli bir yere sahip olan çekili sonar dizini gemilerde kullanıldığı gibi denizaltılarda da kullanılabilir. Gelişmiş ülkelerin denizaltı filolarında yer alan bu ürünün ülkemize kazandırılması, taktiksel ve teknolojik olarak büyük getiriler sağlayacaktır.
	Hafif Aktif Sonoboy	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Sonoboy (sono-boy/sonar-şamandıra) denizaltı tespitinde kullanılan, aktif/pasif sonar sensör ya da sensör dizinlerine sahip, harcanabilir bir akustik algılayıcı türüdür. Modern Sonoboylar helikopterlerden, deniz karakol uçaklarından ve su üstü gemilerden denize konuşlandırılabilir. Sonoboy ilk olarak İkinci Dünya Savaşında müttefik deniz platformları için ciddi tehdit yaratan Alman denizaltılarına karşı bir müdahale olarak geliştirilmiştir. Sonrasında Soğuk Savaş yıllarında temel Denizaltı Savunma Harbi (DSH) algılayıcısı haline gelmiştir. Halen akustik DSH icrasında etkin olarak kullanılmaktadır. Sonoboylar, helikopter ve deniz karakol uçaklarına su altı akustik dalgaları kullanarak denizaltı tespit yeteneğini kazandırmıştır. Aktif Sonoboyların hafif versiyonu, İnsansız Hava Aracı (İHA) ve benzeri platformlardan da kullanım olanağı sunmaktadır.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtı (SQUID) Tabanlı Denizaltı Tespit Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) A03.06 Süperiletken Malzemeler B05.06 Akustik İzler	Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtları (SQUID), sıvı azot sıcaklıklarında çalışabilen yüksek sıcaklık (HTS) ve sıvı Helyum sıcaklıklarında çalışabilen düşük sıcaklık süperiletkenleri (LTS) tabanlı Josephson eklemelerinden oluşan, bilinen en hassas manyetik alan sensörlerindendir. Hassaslıklarının yanında, örnekleme hızları da gerçek zamanlı veri kaydedebilecek kadar yüksek olabilmektedir. Avrupa Liderlik Ağı tarafından yayınlanan bir raporda da belirtildiği gibi, alternatif teknolojiler içinde SQUID sensörler en ileri, olgunlaşmış ve ultra-yüksek hassaslığa sahip sensörlerdir. SQUID sensörler mutlak manyetik alan ölçümleri için uygun olmasalar da belirli bir arkaplan manyetik alanı üzerinde değişen manyetik alanları algılamada rakipsiz olarak kabul edilirler. Bu özellikleri ile belirli bir alanda manyetik alan arkaplan bilgisinin bilindiği durumda, denizaltı veya başka bir yüksek kütleli metal kaynaklı distorsiyonların (manyetik alan anomalilerinin) ölçülerek, belirli sinyal işleme tekniklerinden geçirilmesi ile hedef tespitlerinin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir.
	Sürekli Sonar	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B05.06 Akustik İzler	Darbe tekrar periyodunun tamamına yakın süresince aktif yayın yapıldığı en az bir verici ve bir alıcıdan oluşan, denizaltı savunma harbi amaçlı kullanılan, geniş bant genişliğine sahip ve uzun süreli dalga şekillerinin kullanıldığı sonar teknolojisidir. Sürekli Aktif Sonar Sistemi, yayın yapılan dalga şekli tasarımı anlamında uzun süreli ve geniş bantlı sinyalleri kullanmaktadır. Geniş bantlı tasarım söz konusu olduğunda bu hem verici, hem de



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			alıcı tarafındaki donanım tasarımı konularını etkilemektedir. Bu nedenle dalga şeklinin ve alıcı taraftaki sinyal işleme modalitelerinin değişiminin yanı sıra transdüser ve dome tasarımından başlayarak tüm donanım birimlerinin de değişimi adreslenmektedir. Ancak, uzun ve geniş bantlı dalga şekillerinin kullanımı ile elde edilecek özellikle menzil ve çözünürlük kazançları, düşük kaynak seviyesi ihtiyacı, yakın menzil yansımaları neticesinde oluşacak güçlü çevresel yansıma (reverberasyon) sinyallerinin nispeten düşük saturasyon etkileri, aydınlatılan hedef süresinin artmasını müteakip tespit ve takip kabiliyetlerinin iyileşmiş olması, vb. dikkate alındığında ve gelişmekte olan donanım sistemlerinin sistemin işlem yükünü de hızla azaltmasıyla bu konunun geleceğin muharebe ortamında üstünlük sağlaması beklenmektedir.
Görüntüleme Sonar Sistemleri	Sentetik Açıklıklı Sonar	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) A03.06 Süperiletken Malzemeler B05.06 Akustik İzler	Bir hareket hattı üzerinde, ardışık birden fazla yapılan akustik yayınlardan gelen yankıların birleştirilerek, teknik olarak uzun sonar dizilerinin sentezlenmesini ve ortamın yüksek çözünürlükte görüntülenmesini amaçlayan bir sonar görüntüleme teknolojisidir. Sentetik Açıklıklı Sonar Teknolojisi, askeri amaçla kullanılabilen ve aktif yayın modunda, yüksek başarımla mayın tespiti yeteneğine sahip bir teknolojidir. Bu teknolojinin sivil ve ticari amaçlı kullanımları arasında su altı araştırmaları, habitat haritalama, petrol ve gaz hatları muayenesi, çevresel izleme ve istihbarat, deniz arkeolojisi, batık yapıların incelenmesi, düşürülmüş uçakların aranması bulunmaktadır. Bu teknoloji ile



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			elde edilen sonar görüntüleri üzerinde, yüksek başarımlı hedef tespit ve teşhis imkânları bulunmaktadır.
	Tek ve Çok Hüzmeli Yandan Taramalı Sonar	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Yandan taramalı sonar, deniz tabanının geniş alanlarının verimli bir şekilde görüntüsünü oluşturmak için kullanılan bir sonar sistemidir. Bu sistemler, deniz haritalarının oluşturulması ve su altı nesnelerinin batimetrik özelliklerin tespiti ve tanımlanması dâhil olmak üzere çok çeşitli amaçlarla deniz tabanını görüntülemek veya haritalamak için kullanılır. Bazı sularda görüş mesafesi 1 metreden daha az olabildiği gibi suyun akıntısından dolayı hedefin de yeri hesaplanan noktadan çok farklı bir noktada olabilmektedir. Sonar gibi teknolojik olarak bu görevler için tasarlanmış ve geliştirilmiş araçlar, su altı ekipleri için hem zaman hem de güç açısından verimli bir yardımcı olmaktadır. Yandan taramalı sonarlar kullanarak hızlı bir şekilde şüpheli alanları taranabilir ve nesneler net bir şekilde tanımlanabilirler. Sistemin sağlamış olduğu yüksek çözünürlüklü görüntüler bu durumu kolaylaştırmaktadır.
Mayın Avlama Sonar Sistemleri	Denizaltı Mayın Avlama Sonarı	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Aktif yayınlar ile platformun ilerlediği sektörü tarayarak hedeflerin tespitini yapabilen ve dip yüzeyi profilini çıkartabilen bir sonardır. Denizdeki objeleri (mayın, dalgıç vb.) tespit etmek ve sakınmak için kullanılır. HF-LF çalışma modları vardır.
Sismik Tespit Sistemleri	Derin Deniz Sismik Araştırma Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri	Sismik araştırma deniz tabanı altında yer alan petrol, doğal gaz ve maden yataklarının saptanmasında kullanılan bir araştırma metodudur.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Akustik ses kaynakları tarafından üretilen kontrollü akustik dalgaların yüzey altında yer alan jeolojik katmanlardan yansıması, ardından yansıyan bu dalgaların geniş alanda yayılmış hidrofon dizini tarafından algılanmasıyla katmanların konumları hakkında bilgi toplanır. Çalışma mantığı olarak sonara benzeyen bu sistemden elde edilen veriler ışığında potansiyel kazı alanları belirlenebilir. Araştırma sahasında seyir yapan bir gemiden, sistem birimlerinin (sensörler, konum bulma, su altı haberleşme donanımları, veri hatları, ses kaynakları vb) bir veya birden fazla vinç kullanılarak suya salınırlar. Gemi araştırma yapacağı alan üzerinde seyir eder ve kablolar yardımıyla sistem birimlerini arkasında çekmek suretiyle taşırlar. Operasyon sırasında sistem yüksek enerjili ses kaynağından ses dalgaları yayınlar ve sensörler aracılığıyla deniz yüzeyinden ve katmanlarından yansıyan yansımaları kayıt eder. Taranması planlanan bölge üzerindeki seyir tamamlandıktan sonra, gemi yine aynı vinçleri kullanarak, sistem birimlerini gemiye tekrar toplar ve operasyon sonlanır. Kayıt edilen bilgiler, araştırma merkezlerinde analiz edilirler.
	Piezoelektrik Sensör Tabanlı Çevre Güvenlik Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Kentsel veya arazi operasyonlarında, mağaralar, tüneller ve kanalizasyonlar gibi gizli arazilerde, tesislere girmeden önce insan varlığını tespit etmek zorunludur. Personel tespiti, akustik, sismik, pasif kızılötesi, manyetik, elektrostatik, RF, kimyasal, video ve termal görüntüleme gibi birden çok modalitenin çeşitli sensörleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bir bölgenin etrafındaki güvenlik



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			tehdidi oluşturan ihlalleri ayırt etmek ve aynı zamanda bölgenin korunması ve insan, hayvan ve vasıta algılamasının yapılması için sensör tabanlı bir piezoelektrik çevre güvenlik sistemi önerilmektedir. Sistem bileşeni olan tekil sensörler birbirlerine ve kontrol birimine iletken kablo ile veya kablosuz (bluetooth veya wireless) olacak şekilde bağlanacaktır. Sensörler uygulanacak arazi türüne ve operasyon durumuna göre yere gömülü veya yer üstünde olabilecektir. Sıkıştırıldığında veya gerildiğinde, sensör üzerinde oluşan kuvvet miktarıyla orantılı olan bir değişken voltaj oluşur. Oluşan bu elektrik gerilim sensör ünitesi tarafından sayısallaştırılarak ana üniteye sinyal olarak gönderilir. Bu sinyal daha sonra hat boyunca gerilime neden olan varlık türünü tanımlamak için sistem kütüphanesinde bulunan anlamlı sinyallerle karşılaştırılır. Varlık ana işlemci sistem tarafından bir güvenlik tehdidi olarak kabul edilirse, kameralar ile gözlemlenerek tamamlayıcı güvenlik sistemleriyle siren veya başka bir uyarı gibi uygun bir karşı önlem devreye girer. Bu sayede bölgenin sınırları içinde güvenlik tesis edilir. Önerilen teknoloji konusunda mekanik mod kilitli (algılanmak istenen hedef nesnenin doğal frekansına kilitli) piezoelektrik sensörlerin ve sinyal işleme ünitesinin yapımı hedeflenmektedir. Teknoloji konu önerisinin uygulama alanları Sanayide: Santraller, Petrol – Doğalgaz Tesisleri, Fabrikalar, Depolar; Askeri: Karargâhlar, Cephanelikler, Hava Üssü, Askeri Alanlar, Kamplar, Lojmanlar;



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			Hükümet: Bakanlıklar, Gizli Servisler, Büyükelçilikler, Askeri alanlar, Kamplar, Cezaevleri; Lojistik: Havaalanları, Limanlar, Yüksek Hızlı Trenler, Depolama Alanları olup saydığımız bu tesisler genel olarak terör veya kötü amaçlı insanların tehdidi altındadır. Bu yüzden bu tesislere yaklaşan kişi veya araçların, pasif ve etkin bir sistem ile tespit ve teşhislenmesi tesis güvenliği için çok önemlidir.
	Su Altı Sismik Tespit Sistemleri	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Yer hareketi (hız) ve/veya ivmeölçerlerin (jeofon), karada ve su altında uygun geometrilere bir dizin hale getirilmesiyle, karada ve su altında yerleştirilecek bir sistem, çeşitli türdeki kaynaklardan ve konumlardan kaynaklı aktiviteleri sezebilir ve tasnifleyebilir. Aktivite varlığının bulunmadığı durumlarda ortam gürültüsünün ölçülüp modellenmesi işlemleri daha sonrasındaki analiz ve geliştirme süreçleri için önem arz etmektedir. Bu amaçla uygun kayıt sistemlerinin tasarlanıp üretilmesi ve özgün arayüz yazılımlarının hazırlanarak kesintisiz veri toplanması amaçlanmalıdır. Çeşitli senaryoların üretilerek birçok kaynaktan (çeşitli cinsten araçlar, canlılar ve kaynaklar) veri kümeleri oluşturularak işlenmelidir. Doğal gürültü modellemesi gerçekleştirilmelidir. Bilindiği üzere, Su altı Ortam Gürültüsü (SOG) parametresi ve gemilerin, denizaltıların yaydıkları izler/gürültüler gerek kıyı savunması gerek denizaltı izlenmesinde önemli yere sahiptir. Denizaltılar pasif sonar sistemleriyle hedef su üstü platformlarının gürültüyü tespit edebilmekte ve gemileri akustik parmak izlerinden sınıflandırılmasını yapabilmektedirler.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			Deniz hedeflerinin sınıflandırılmasının yüksek doğrulukla yapılabilmesi için zengin gemi akustik parmak izi veri bankasına sahip olmak büyük bir önem arz etmektedir. Ortam gürültüsüne ek olarak su altı sismik dizinlerin varlığı da ayrıca önemlidir. Zira su altında akustik iz bırakmadan ilerleyen denizaltı araçlarının sezimi stratejik açıdan önemli bir husustur. Bu verilerin toplanıp analiz edilmesi, veri bankasının oluşturulup, transferi sağlayacak yerli bir sistem elzemdir. Ayrıca vurgulanması gereken önemli bir husus da şudur: Sismik algılayıcılar akustik algılayıcıların duyarsız kaldığı frekanslarda hedef belirlemede kullanılabilir veya akustik algılayıcıların algılayamayacağı uzaklıklardaki hedefleri saptayabilirler. Özellikle sığ sularda akustik algılayıcılarla hibrit çalıştırılacak sismik dizinler akustik algılayıcıların sağır kalması durumunda işe yarayabilirler.
Su Altı Haberleşme Sistemleri	Dijital Su Altı Telefonu	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Dijital Su altı Telefonu, su altı ve su üstü platformlar arasında akustik dalgalar ile ses ve veri haberleşmesi yapabilen haberleşme sistemidir. Dijital/Analog ses haberleşmesi, Dijital veri haberleşmesi, Kriptolu dijital ses ve veri haberleşmesi kritik kabiliyetler arasında yer almaktadır.
	İnsansız Su Altı Araçları ile Uzun Mesafe Haberleşme	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif)	Uzun menzilli su altı araçları ile su altında haberleşme sağlanması için çok düşük frekanslı akustik haberleşme altyapılarının oluşturulması gereklidir. Bu haberleşme altyapısı çok derin sularda çalışabilmeli ve akustik



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik C.02.08 İnsansız Kara, Deniz ve Hava Araçları	etkinliği yüksek olmalıdır. Bu sayede elektrik tüketimi düşük tutulacak ve çok derin sularda ve uzak menzilde seyir yapan su altı araçları ile uzun süre iletişim kurulması sağlanabilecektir.
	Su Altı Akustik Modem	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Su altı Akustik Modem, su altı sensör ağlarında ve su altı insanlı/insansız araç teknolojilerinde kullanılmak üzere tasarlanan bir üründür. Su altı Akustik Modem, su altı platformlar arasında dijital veri haberleşmesini donanımsal kriptolu bir şekilde gerçekleştirmektedir. Dijital veri haberleşmesi ve Kriptolu veri haberleşmesi kritik kabiliyetler arasında yer almaktadır.
	Su Altı Kuantum Haberleşme	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi	Geleneksel olarak, denizaltı su altı haberleşmeleri, optik haberleşme yöntemlerine göre sahip oldukları mesafe avantajından dolayı akustik olarak yapılmaktadır. Bu, teknoloji büyük ölçüde evrimleşmiş olsa da, geçen yüzyılda büyük ölçüde değişmedi. Serbest uzay ve kablolar aracılığıyla iletişim yöntemleri, aynı zaman diliminde büyük ölçüde gelişti ve kısa sürede uçtan uca büyük miktarda verinin gitmesine izin verdi. Serbest uzay su altı iletişimi ise akustik bir yaklaşım benimsemenin dezavantajlarından biri olan çok düşük veri hızlarında kalmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, Kuantum iletişim biçiminin geniş bant iletişim sorununa çözümü olabileceğine inanılmakta ve deniz araçları için geliştirilmiş bir su altı kuantum iletim yöntemi



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			kullanılabileceği önerilmektedir. Bu nedenle, bu teknoloji önerisi bir su altı serbest uzay kuantum iletişim sisteminin tasarlanarak yapılabileceğini önermektedir. Bu teknoloji, veri hızlarını artırmanın yanı sıra kuantum anahtar dağıtımı yoluyla kanıtlanabilir güvenlik sağlayacaktır. Sıvı bir ortamın optik iletişime getirdiği zorluklara rağmen, bu yaklaşımın potansiyel avantajları göz ardı edilemeyecek kadar değerlidir. Su altı kuantum iletişimini gerçekleştirme arayışında birçok farklı çalışma yapılmıştır. Mavi-yeşil spektrumdaki bir dalga boyunun su için en uygun iletim penceresi olduğu belirlenmiştir. Absorpsiyon, saçılma ve türbülansın olumsuz etkileri nedeniyle mesafe eksikliklerinin üstesinden gelmek hala bir zorluktur. Su altı kuantum iletişimine ilişkin çeşitli araştırmalar, bu zorlukların üstesinden gelmek için temel sağlamıştır. Tek fotonlar için, Deniz'in farklı katmanlarındaki deniz suyu için % 98'in üzerinde bir durum doğruluğu oranına ulaşılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada hem güvenlik hem de daha fazla veri gönderimi için dolanık fotonların yüksek boyutta oluşturulması planlanmaktadır. Bu bağlamda geliştirilecek teknolojiler aşağıda belirtilmektedir: 1) Kısa mesafeli iletişim için sadece su altı araçları arasında planlanmaktadır. 2) Uzun mesafeli iletişim için yer yörüngesine yakın küçük uydular aracılığı ile su altı araçları arasında kullanılması planlanmaktadır.
Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri	Su Altı Bütünleşik Seyrüsefer Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri	Otonom su altı araçlarında seyrüsefer ihtiyacını karşılamak için ataletsel ölçüm birimleri çoğu zaman tek başına yetersiz kalmaktadır. Ataletsel ölçüm birimi



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	hatalarının zamanla üstel fonksiyonla artması su altı araçlarının görev sürelerini ve menzillerini kısıtlamaktadır. Bu sorunu çözmek için seyrüsefer sisteminde ataletsel ölçüm biriminin başka algılayıcılarla desteklenmesi gereklidir. Farklı tipte ve sayıda algılayıcıları eşzamanlı kullanabilmek için çoklu algılayıcı harmanlama işlemi zaruridir. Kullanılabilen tüm algılayıcıların çeşitli dezavantajlarının olması bu algılayıcıları tek başlarına kullanım için yetersiz kılmaktadır. Öte yandan algılayıcı füzyonu teknikleri kullanılarak birden fazla algılayıcının avantajlı yanlarını kullanarak dezavantajları bertaraf etmek mümkün olabilmektedir. Önerilen sistem aşağıdaki algılayıcı çeşitlerini kullanarak su tabanı özellikleri (derinlik, yansıtıcılık, manyetik alan, yer çekimi ivmesi vb.) haritası elde edebilecek, su altında aşağıdaki algılayıcı çeşitlerini ve su tabanı özellikleri (derinlik, yansıtıcılık, manyetik alan, yer çekimi ivmesi vb.) haritasını eşzamanlı kullanarak konum/yönelim bilgilerini elde edebilecek bir bütünlük seyrüsefer sistemidir: • Akustik su tabanı derinlikölçer ve/veya sonar ve/veya kamera • Ataletsel ölçüm birimi • Doppler hız logu • Uzun bazlı konumlandırma sistemi (LBL) • Kısa bazlı konumlandırma sistemi (SBL) • Ultra kısa bazlı konumlandırma sistemi (USBL) • Manyetometre • Basınçölçer



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Doppler Hız Logu (DVL)	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Doppler hız logu (DVL) Doppler prensibine dayanarak çalışır. Akustik yolla yayın yaparak deniz tabanından ve alternatif olarak su kütlesinden yansıyan yayını algılar. Su altı aracının deniz tabanına referanslı ve alternatif olarak su kütlesine referanslı çizgisel hızını ölçmek için kullanılır. Bu cihaz su altı aracının üzerine yerleştirilir ve diğer akustik konumlama sensörleri gibi harici başka bir platforma ihtiyacı yoktur.
	Su Altı Akustik Konumlama Sistemleri (LBL/SBL/USBL)	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B 06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Su altında kullanılan akustik konumlandırma sistemleri LBL/SBL/USBL'dir. Bu konumlandırma sistemleri temelde, akustik yayının suda ilerlerken harcadığı süreden kat edilen mesafe bilgisini elde etmeye dayanır. Su altı aracının üzerinde bir akustik transponder olması gerekir. Su altı aracının haricinde konumu bilinen 4 noktada birer transponder daha olması gerekir. Su altı aracının konumunun hesaplanması için su altı aracı ile diğer 4 transponder arasındaki mesafe ölçülerek multilaterasyon işlemi yapılır. LBL/SBL/USBL sistemleri 4 transponderin birbirine göreceli mesafelerine göre birbirinden ayrılır. 4 transponderin birbirleri ile aralarındaki mesafe LBL sisteminde 1km~10km, SBL sisteminde 1m~10m, USBL sisteminde ise 1mm~1cm civarındadır. Dolayısıyla LBL sistemi en yüksek hassasiyete sahip olacak fakat sistem kurulumunun kilometreleri kapsayan bir alanda yapılması gerekecektir. LBL transponderları yüzeyde veya deniz tabanına çakılı halde bulunabilir. Yüzey tipi LBL transponderları üzerinde GNSS alıcı da bulunmaktadır. Tabana çakılı transponderlar yerleştirilirken



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			konumu bilinen noktalara yerleştirilmelidir. SBL sistemi tek bir tekne üzerinde teknenin dört bir yanından birer transponder sarkıtılacak şekilde yerleştirilebilir. Dolayısıyla, her bir transponderin kablo ile tekne üzerindeki bir bilgisayara bağlanması ve su altı aracının konumunun bu bilgisayar üzerinde tespit edilmesi mümkündür. USBL sisteminde ise transponderlar tek bir mekanik yapı üzerine montelidir. Transponderların birbirine yakın olması sebebiyle üzerine monte edildikleri mekanik yapının yöneliminin bilinmesi ve hesaplamalarda telafi edilmesi ihtiyacı vardır. Bu nedenle USBL transponderlarının üzerinde birer ataletsel ölçüm birimi bulunur. LBL/SBL/USBL sistemlerinde su altı aracının üzerinde bulunması gereken tek transponder piyasada çoğunlukla hem LBL hem SBL hem de USBL sistemleriyle uyum sağlayacak şekilde geliştirilmektedir.
Manyetik Sensörler	Manyetik Sensör Sistemleri	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B 06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik B06.12 Manyetik Algılayıcılar	Su altı Hareket Takibi Bu teknoloji konusundaki temel amaç AC manyetik alan kullanımı ile su altında bulunan hareketli hedeflerin algılanmasıdır. Su altında hareket halinde olan bir hedefin algılanması ve hareketinin tespiti için; bir AC manyetik alan kaynağı olarak Tx anteni ve bu alanı/alandaki değişimi algılayan alıcı, Rx manyetik anten gereklidir. Tx anteni sabit, Rx anteni ise hareketli platformda (veya tam tersi) olacak şekilde bir yapı kurulabilmektedir. Tx anteni 3 eksen ve her eksen farklı frekanslarda yayın yapmaktadır. Aynı şekilde alıcı anten de 3 eksen algılama yapmaktadır. Alıcı tarafta



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			kullanılan anten, almaç elektroniği ve sinyal koşullandırma birimleri, çok düşük güçteki hedef sinyali algılayabilmektedir. Alıcı "Lock-In Amplification" tekniği ile her bir eksenindeki sinyali işlemekte ve bir sonraki adımda da veriyi Kalman filtresine sokmaktadır. Su altında bulunan hedeflerin tespit ve takibi çalışmalarının gerçekleştirilmesi için simülasyon ve algoritma alanında da çalışma yapılması gerekebilecektir. Özellikle, su altında elektromanyetik dalganın ve hedeflerle olan etkileşiminin modellenmesi, bu kapsamda elektromanyetik dalganın kayıplı ortam olan deniz suyu içinde yayılımının incelenmesi ve bunların devamı olarak tespit algoritmalarının geliştirilmesi ve test/kullanımlardan gelen veriler ile sürekli olarak olgunlaştırılması konuları öne çıkmaktadır. Kullanım alanı olarak ise, üs ve limanların savunmasında kullanılan sistemlerin tamamlayıcısı olarak manyetik sensör sistemlerinin kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Başka bir kullanım alanı olarak ise, SAS/SAT komandoları ve özellikle dalgıçların takibi gibi bir uygulamanın yapılabileceği değerlendirilmektedir. Ancak konsept bir sistem tasarımının ortaya konabilmesi için kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda bir altyapı çalışmasının yapılması ve bu doğrultuda konsept tasarımın temellerinin belirlenmesi gerektiği öngörülmektedir.
			Denizdeki Patlamamış Mühimmat ve Demir İçeren Metal Tespiti AC manyetik alan kullanımı ile su altında bulunan patlamamış mühimmatın ve ferrous malzemeden yapılmış hedeflerin



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			algılanması kabiliyetini içermektedir. Bu alanda kullanılan manyetik sensörler genelde vektör fluxgate veya scalar manyetometre tipindedir. Tespit edilecek hedefin veya patlayıcının manyetik izi tespit açısından önem kazanan bir parametredir. Bu kapsamda örnek olarak, literatürde 2.4 metre uzunluğunda bir bombanın 6 metre mesafeden tespit edilebildiği, ancak bir tabancanın 20 cm mesafeden tespit edilebildiği yer almaktadır. Manyetik sensör performansına ve hedefe bağlı olmak şartıyla, su altında tespit mesafelerinin 30-35 metreye kadar çıkabildiği bilinmektedir. Sistem tasarımı ile ilgili parametreler ve tespit edilecek hedef/patlayıcıya bağlı olarak hangi tip manyetik sensör kullanılacağı gibi hususlar bir araya geldiğinde, sistem tasarımı için gerekli teknik hususlar ortaya çıkmaktadır. Problemin çözümü için birçok farklı yöntem ve teknik çözüm bulunmaktadır. Böyle bir ARGE projesi başlatılması sonucunda kazanılacak imkân kabiliyetlerin, denizde bulunan mühimmatların tespiti ve ilave olarak mayın karşı tedbirleri çalışmalarında da kullanılabileceği değerlendirilmektedir.
			Otonom Su altı Aracı Uygulamaları İçin Kablosuz Güç Transferi Inductive yöntemler kullanılarak Otonom Su altı Aracı AUV (Autonomous Underwater Vehicles) gibi su altı platformlarının bataryalarının, su altında kablosuz ve temassız olarak şarj edilmesi kabiliyetini içermektedir. AUV gibi su altı platformlarının bataryalarının şarj edilmesi ve sürekli olarak kullanıma hazır



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			tutulması ile su altında kalma sürelerinin uzatılması önemli bir operasyonel ihtiyaçtır. Ancak bu ihtiyacın karşılanması emniyet, maliyet ve detay teknik kısıtlar nedeniyle birçok zorluk içermektedir. Bu zorluk ve kısıtları azaltan bir yöntem ise bu tür platformların bataryalarının, indüksiyona dayalı güç transferi yoluyla su altında herhangi bir insan müdahalesi olmadan şarj edilmesidir. Bu uygulama, günümüzdeki kablosuz şarj uygulamalarına benzer teknik hususlar içerse de, su altı uygulamaları çok farklı zorlukları da içermektedir. Örnek olarak, hava ortamında gerçekleştirilen Kablosuz şarj uygulamaları için kullanılan standartlarda belirtilen frekanslar, su altı uygulamaları için uygun değildir. Bunun nedeni su altı uygulamalarında yüksek frekanslarda kayıpların artmasıdır.
			Deniz Dibiindeki Denizaltıların Tespiti Deniz Dibiinde Yatmış Durumda Olan Tehdit Denizaltıların Manyetik Sensörler ile Tespiti kabiliyetini içermektedir. Deniz dibine yatmış durumda olan bir denizaltının tespiti için farklı manyetik sensör tipleri, deniz dibi özellikleri, deniz suyu içinde elektromanyetik yayılım, hedefe ait manyetik iz bilgileri ve bunlara ait simülasyon çalışmalarının incelenmesi ile konseptsel olarak çalışmanın ortaya konması gerektiği değerlendirilmektedir. Temel olarak denizaltının gövdesinin dünyanın manyetik alanı üzerinde yarattığı anomalinin tespiti bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. İlave olarak farklı araştırmalarda ve projelerde, AC manyetik alan ile de dipteki



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			denizaltının tespiti konusu ele alınmıştır. Deniz suyu içinde çalışacak olan bir manyetik sensör ve buna bağlı sinyal işleme ile bir araştırma çalışmasının başlangıcının oluşturulabileceği değerlendirilmektedir. Dünyada ve özellikle ABD gibi gelişmiş donanmalarda bu yönde hem teorik hem de deneysel çalışmalar olduğu açık kaynaklarda görülebilmektedir. Bu kaynaklar üzerinde bir literatür araştırması yapılmıştır. Yürütülen mevcut savunma projelerinde, bir ARGE projesi olarak uygulanabileceği değerlendirilmektedir. Dipteki denizaltı tespiti yanında düşen uçakların veya batıkların tespitinde de kullanılabilecek bir sistem olabileceği öngörülmektedir.
			Manyetometre Geliştirilmesi Manyetometre Geliştirilmesi, üzerinde ARGE yapılabilecek potansiyel teknoloji konusudur. Manyetometre Geliştirilmesi başlığı altında Cesium/Potassium Manyetometre Geliştirilmesi ve Fluxgate Manyetometre Geliştirilmesi olmak üzere iki alt teknoloji konusu önerisi sunulmaktadır. Bu teknoloji konusu önerisiyle düşük gürültülü, yüksek hassasiyetli manyetik sensör teknolojisi geliştirilmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen teknoloji kullanılarak hava/kara/deniz taşıtlarının gerektirdiği çevresel koşullara uygun sensör geliştirme kabiliyeti kazanılacaktır. Geliştirilen sensör için sistem entegrasyon kabiliyetlerinin de artırılması hedeflenmektedir. Teknoloji konusu önerisiyle yüksek hassasiyetli manyetik sensörlerin



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			kontrol sistemlerinin, elektronik ve mekanik bileşenlerinin tasarım kabiliyetinin kazanılması da hedeflenmektedir. Manyetometreler manyetik alanın yoğunluğunun ölçülmesinde kullanılan araçlardır. Manyetometreler dünyanın manyetik alanındaki değişimleri gözlemleyerek maden sahası keşfinde, arkeolojik çalışmalarda, denizaltı ya da batık gibi su altında gömülü nesnelerin tespitinde kullanılabilir.
Hava Akustik Sistemleri	Akustik Havan/Top/Topçu Füzesi Tespit Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Topçu silahlarının sonik ve infrasonik dalgalar dâhil olmak üzere akustik dalgalar aracılığıyla tespiti mümkündür. Havan atışlarının tespiti için ise, akustik dalgaların yanında, havan silahının yerleştirildiği zeminde yarattığı sismik dalgaların kullanımı düşünülebilir. Havan/top atışlarının tespiti için, • Birden fazla algılayıcı dizisi, • Algılayıcı dizileri ile bir merkezi işlemci arasında kablosuz bağlantı, • Algılayıcı dizilerinden ses kaynağına oluşturulacak yön çizgileri ile konum kestirimi şeklinde bir çözüm önerilebilir.
Su Altı Biyoakustik Sistemler	Su Altı Biyoakustik Kaynak Tespit ve Mimikleme	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	İvmeölçerlerin (jeofonların), su altında uygun geometride bir dizin haline getirilmesiyle oluşturulacak bir sistem ile çeşitli deniz biyoakustığının sezilip sınıflandırılabilmesi ve savunma amaçlı aldatıcı veriler oluşturulması (mimikleme) önem arz etmektedir. Bu amaçla, uygun donanım ekipmanları ile su altı gürültüsünün veri olarak toplanılması ve biyoakustik sezim yapılması amaçlanmalıdır. Aynı zamanda, hem güvenlik amaçlı



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			denizaltılarımızda tanınmayı engellemek hem de biyoakustik sinyallerinin su altı ortamındaki nesnelerden yansımaları yardımıyla sessiz konuşlanmış nesnelerin varlığının tespiti veya görüntülenmesi söz konusu olabilir. Bu amaca yönelik çeşitli senaryolar üretilerek hareketli veya hareketsiz birçok kaynaktan veri kümeleri oluşturularak işlenmelidir.
Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri	Akustik Işıma Kuvveti İle Elastografik Görüntüleme Yöntemleri	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Ultrason dalgaları, dokulara momentum transfer ederek dalga ilerlemesi yönünde mekanik bir itme kuvveti uygulamaktadır. Bu kuvvet, dokuların lokal olarak yer değiştirmesine yol açmaktadır. Dokudaki yer değiştirme, doku içindeki nokta yansıtıcılarının yer değiştirmesine de yol açtığı için, bu yansıtıcılar takip edilerek yer değiştirme miktarı ölçülebilmektedir. Ölçülen yer değiştirme miktarı dokunun elastik özelliklerine bağlı olduğundan, ultrason dalga biçimleri ve veri işleme yöntemleri buna uygun olarak tasarlanarak dokuların elastik özelliklerinin görüntülenmesi (elastografi) sağlanabilmektedir. Tümör gibi patolojik dokuların normal dokulara göre daha sert olduğu bilinmektedir. Elastografi görüntüleri ultrason görüntüleri ile birleştirilerek dokular ve hastalıklar hakkında birbirini tamamlayan bilgiler elde edilebilmektedir. Ultrason elastografi günümüzde klinik uygulamada kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.
	Benzetim Tabanlı Görüntü Oluşturma İle Ultrason Görüntüleme/ Tomografi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif)	X-ışınli bilgisayarlı tomografinin (BT) ortaya çıktığı 1970'lerde BT görüntülemenin ultrason dalgaları ile yapılması da önerilmiştir. Ultrason tomografide doku etrafına ultrason sensörleri yerleştirilir. Bu sensörlerden gönderme/alma yapılarak doku kaynaklı ileri ve



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	geri yansımalar sayesinde dokunun kesit görüntüsü elde edilmektedir. Ultrason tomografinin ilk uygulamalarında akustik dalgaların düz ışınlar şeklinde yayıldığı varsayılmış, akustik zayıflatma katsayılarına bağlı görüntüler oluşturulmuştur. Ancak bu varsayım dalgaların kırılma, yansıma ve saçınım etkilerini göz ardı ettiğinden, oluşan görüntüler istenen doğruluk ve çözünürlükte olmamaktadır. Ayrıca tomografinin uygulanması için dokunun etrafına ultrason problarının yerleştirilmesi pratik zorluklar içerdiğinden klinikte kullanımı tercih edilmemiştir. Son yıllarda sismik görüntüleme yöntemlerinden adapte edilen “Tam-dalga geriçatım (TDG)” yöntemi ile ultrason dalgalarının tüm yayılım etkilerinin hesaba katılması mümkün olmaktadır. Bu sayede yüksek çözünürlüklü, mutlak ses hızı ve zayıflama katsayılarına bağlı görüntüler elde edilebilmektedir. TDG yönteminde, ultrason deneyinin dalga yayılım etkilerini hesaba katan tam-dalga simülasyonları yapılır. Sensörlerden alınan deneysel sinyaller ile simülasyon sonucu elde edilen sinyallerin birbirine yinelemeli (iteratif) olarak yakınlştırılması sağlanır. Akustik yayılım ortamının parametreleri, yani dokunun akustik özellikleri, her bir iterasyonda güncellenerek gerçek ortam parametrelerine yakınsanmaktadır. TDG yönteminde gerçekçi simülasyonların birçok kez tekrarlanması gerekmektedir. Bu nedenle yöntemin temel problemi görüntü geri çatım süresinin uzun olmasıdır. Simülasyonlar için genellikle zamanda sonlu farklar gibi tam-dalga çözümü sağlayan



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			yöntemler kullanılmaktadır. Yöntemin ilk uygulaması meme dokusunun çembersel bir ultrason dizisi ile görüntülenerek meme kanserinin tespiti üzerine olmuştur. Tekrarlanan simülasyon sürelerinin azaltılması için iki boyutlu simülasyon modelleri kullanılmaktadır. Yakın zamanda beyin görüntüleme için de simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.
	Kontrast Ajan Destekli Ultrason Terapi Yöntemleri	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Ultrason enerjisinin dokularda yarattığı ısı ve ısı olmayan etkiler, teröpatik uygulamalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Fizyoterapi, hipertermi (sıcaklığın lokal olarak artırılarak tümörlü dokuların zayıflatılması), ve litotripsi (böbrek taşlarının ultrason dalgaları ile kırılması) bu uygulamalardan bazılarıdır. Yüksek güçlü odaklı ultrason ile doku sıcaklığının yükseltilerek ‘yakılması’ vasıtasıyla çevre dokulara zarar vermeden patolojik dokuların vücut dışından, kesi olmadan yok edilmesi sağlanmaktadır. Odaklı ultrason ameliyatı olarak adlandırılan bu yöntem çok çeşitli hastalıkların tedavisi için araştırılmaktadır. Prostat kanseri ve büyümesi, meme kanseri, rahim fibroidleri gibi hastalıklar bu yöntem ile tedavi edilebilmektedir. Bu yöntem özellikle ultrason dalgalarının ulaşabildiği yumuşak dokular için etkilidir. Son yıllarda bu yöntemin beyin hastalıkları için kullanımına yönelik de gelişmeler olmuştur. Yarı küre şeklinde çok elemanlı düşük frekanslı (<1 MHz) bir ultrason dizisi kullanılarak ultrason dalgalarının kafatasından geçerek beyin içinde odaklanması mümkün olabilmektedir. Ultrason dalgalarının kafatasından geçerken



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			uğradığı faz ve genlik bozulmaları, kafatasının BT görüntüleri kullanılarak tahmin edilmekte, ultrason dizi elemanlarının besleme katsayıları bu bozulmaları düzeltecek şekilde ayarlanabilmektedir. Bu sayede kafatası içinde milimetrik bir bölgeye odaklama yapılabilmektedir. Bu prosedür Manyetik Rezonans (MR) görüntüleme kılavuzluğunda, dokudaki sıcaklık artışı hassas olarak izlenerek yapılmaktadır. Beyinin talamus bölgesinde bir noktanın yakılması sayesinde esansiyel tremor (titreme) hastalığının ameliyatsız tedavisi 2018 yılında ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından onaylanmıştır. Araştırma safhasında olan bir başka terapi yöntemi de ultrason kontrast ajanları ile kan beyin bariyerinin (KBB) geçici olarak açılmasına yöneliktir. Ultrason görüntülemeye mikro kabarcıklar kontrast ajanı olarak kullanılabilir. Bu kabarcıklar genellikle içi gaz dolu fosfolipid kaplı kürelerden oluşmaktadır. Bu küreler ultrason dalgasının pozitif basınç kısmında küçülmekte, negatif basınç kısmında büyümektedir. Bu döngü sırasında yüksek akustik ısıma yapabilmektedirler. Bu kontrast ajanları özellikle organların içindeki kan yayılımını (perfüzyon) ve kan akış hızını görüntüleme amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanında kürelere istenen hücreleri veya proteinleri tanıyarak bağlanabilecek fonksiyonellikler eklenerek standart ultrason sistemleri ile tümör gibi patolojilerin görüntülenmesine yönelik araştırma çalışmaları devam etmektedir.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			KBB, beyindeki kılcıl damarların etrafını kaplayarak beyin içine büyük moleküllerin girmesini engelleyen bir güvenlik duvarı olarak düşünülebilir. Bu engel nedeniyle pek çok hastalık için ilaçlar beyin dokusuna ulaşamamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar kontrast ajanlarının ultrason altında mekanik etkisi sayesinde KBB'nin odaklı olarak geçici süre ile açılabilmesini göstermektedir. Bu şekilde Alzheimer, ALS, Multiple Skleroz gibi kesin tedavisi bulunmayan beyin hastalıklarının tedavisi üzerine araştırma çalışmaları yürütülmektedir. 2018'de faz-1 klinik denemesi yapılmış olan bu prosedürün üç aylık izleme sürecinde herhangi bir yan etkisine rastlanmamıştır. Kontrast ajanları, yüksek ultrason gücü uygulandığında hızla çökerek (ataletsel kavitasyon) çevrelerinde bulunan dokulara hasar verebilmektedir. KBB prosedürü sırasında pasif ultrason sensörleri ile kontrast ajanlarından yayılan ışın izlenerek uygulanan ultrason gücü ayarlanabilmektedir. Bununla beraber, kavitasyonun hastalıklı dokuları yok etme uygulamaları da araştırılmakta olan konulardır.
	Ultrasonik Tahribatsız Muayene Düzenekleri	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Tahribatsız Muayene, bir sistemi oluşturan düzeneklerin ve parçaların kullanılabilirliğini etkilemeden karakteristik farklılıklarını inceleme, test etme veya değerlendirme işlemidir. Bu işlem sayesinde uygulanan muayene veya test, parça hasar görmeden tamamlanmış olur. Yapısal olarak kompleks ve boyutça büyük olan parçalarda mekanik testlerin kullanımı oldukça zordur. Ayrıca hâlihazırda kullanılmakta olan mekanik testler ile parçalarda görülebilen kılcıl



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			çatlak gibi çok küçük boyutlardaki hataları tespit etmek pek mümkün değildir. Bu çevirgeçlerin üstesinden gelinmesi amacıyla tahribatsız muayene yöntemleri geliştirilmiştir. Ultrasonik muayene, tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Tahribatsız muayene bir nesnenin amaçlanan fonksiyonunu yerine getirme kabiliyetine mani olmadan, fiziksel durumunun belirlenmesi olarak tanımlanmıştır. Tahribatsız muayene yöntemi genellikle uygun bir enerji çeşidi kullanarak malzeme özelliklerini ortaya koymayı ya da malzeme bağlantısızlıklarını (yüzey, iç veya gizlenmiş kusurlar) tespit etmeyi amaçlamaktadır. II. Dünya Savaşı sırasında meydana gelen teknolojik devrimin etkisiyle cihazlardaki hızlı gelişmeler sayesinde tahribatsız muayene uzun yıllardır uygulanmaktadır. İlk zamanlarda tahribatsız muayene, kusurları tespit etmek için kullanılmıştır. “Güvenli yaşam” anlayışının bir parçası olarak, bir yapının ömrü boyunca makroskopik kusurlar geliştirmeden önce, yapı içindeki kusurların önceden tespit edilerek, malzemenin kullanım dışına çıkarılması amaçlanmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda ultrasonik, girdap akımları, X-ışınları, penetrant sıvılar, manyetik parçacıklar ve diğer muayene tekniklerini kullanan, giderek daha da gelişen teknikler ortaya çıkmıştır. Katılarda kusurları tespit etmek için, ultrasonik dalgaların ve iki ultrasonik dönüştürücüyle kullanıldığı doğrudan geçişli yönteme ait ilk patent, 1931 yılında O. Mulhauser tarafından alındı. F. Firestone (1940) ve E.N. Simons



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			(1945) ise tek çevirgeçin kullanıldığı darbe-yankı tekniğini kullanarak ultrasonik muayeneyi geliştirdiler. Devam eden teknolojik gelişmelerle daha küçük kusurların tespit edilmesi bileşenin hata olasılığı değişmese bile daha fazla parçanın hatalı olarak nitelendirilmesine neden olmuştur. Bunun üzerine, bir malzemenin kırılma tokluğu özellikleri bilindiğinde, boyutu bilinen bir kusurun belirli bir yük altında nasıl davrandığının tahmin edilmesini sağlayan kırılma mekaniği disiplini ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, periyodik olarak yüke maruz kalan kusurların büyüme oranını tahmin etmek için başka yasalar da geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ortaya çıkmasıyla, kusurların boyutları bilindiğinde kusur içeren yapıların kullanılabilirliğini tahmin etmek mümkün hale gelmiştir. Bu durum yeni “hasara toleranslı” tasarım felsefesinin temelini oluşturmuştur. Böylece kusurların malzemenin işleyişine bir zarar vermeyeceği tespit edilen malzemelerin kullanımına devam edilmesi sağlanmıştır. Bu gelişmeler kusur tespitinin tek başına yeterli olmadığını ve kusur boyutu hakkında niceliksel bilgi elde edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Özellikle savunma ve nükleer enerji endüstrilerinde güçlü bir şekilde hissedilen bu endişeler, dünya çapında bir dizi araştırma programının oluşturulmasına ve yeni bir disiplin olarak Niceliksel Tahribatsız Değerlendirmenin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sonraki yıllarda pek çok önemli gelişme kaydedilmiştir. Muayene alanlarının kusurlarla etkileşimini tanımlamak için nicel teoriler geliştirilmiştir. Muayene



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			sonuçlarını içeren modeller ile malzeme geometrisinin katı model yapısı birbirine entegre edilerek muayenelerin simülasyonu yapılmıştır. Bu araçlar tasarım sürecinde Tahribatsız Muayenenin) kusur tespiti ile ilgili diğer mühendislik disiplinleri ile eşit düzeyde ele alınmasını sağlamıştır. Kusurun Tespit Edilme Olasılığı gibi tahribatsız muayenenin performansını nicel tanımlamaları, istatistiksel risk değerlendirmesinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu gelişmelerle başlangıçta metaller için geliştirilen ölçüm prosedürleri, anizotropi ve homojen olamamanın önemli konular haline geldiği kompozit malzemelere kadar genişletilmiştir. Uygulama alanı olarak havacılık kompozitleri, deniz araçları, basınçlı kaplar, petrol nakil hatları, nükleer santral muayenesi verilebilir.
Su Altı Yardımcı Sistemler	Akıllı Şamandıra Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Geleceğin Su altı savunma stratejileri, bir çok komplike sensör yapısının birlikte çalıştığı algılayıcı ağları içermektedir. Bunların en önemlilerinden biri de su altında tek başına çalışabilen vektör sensörlerdir. Bu ve bunun gibi yapıların konumlandırılması, yüksek verimlilikle çalıştırılması ve sinyallerin işlem merkezine doğru çıktıları aktarabilmesi önemli bir çaba gerektirmektedir. Özellikle açık denizlerde konumlandırılacak sensörlerin doğru şekilde beslenmesi önemlidir. Su altına konumlandırılan sensörlerin yakınlarında besleme noktası ve veri transfer merkezi olarak kullanılabilecek bir şamandıra tasarımı önemli bir teknoloji öneri konusu olarak görülebilir. Proje kapsamında akıllı bir dip ünitesi çalışması önerilmektedir.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			Bu dip ünitesi üzerine pasif dinleme yapabilen sensörler ve bu sensörlerden gelen sinyalleri anlamlandıran ve merkez birime yollayan elektronik birimlere ihtiyaç duyulmaktadır.
	Öz Gürültü Analizi - İvmeölçer (ONA-Acc)	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Platformun kendi sesini ölçme amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla gerçek çevre koşullarına uygun olarak; sistemin kendi gürültüsünün etkisiyle veya yayılan gürültü seviyelerini doğru bir şekilde tahmin eder. Algılama ve karşı algılama mesajlarını daha yüksek doğrulukla belirlenmesine, daha iyi değerlendirip daha iyi kararlar almasına olanak sağlanmaktadır.
	Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcı (Aktif) B06.09 Akustik Algılayıcı (Pasif) B05.06 Akustik İzler	Söz konusu teknoloji ile denizaltıya ait Akustik izi oluşturan gürültülerin ölçümünü gerçekleştirmek ve izlemek amacıyla denizaltılara entegre edilebilecek bir Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi oluşturulmuştur. Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi, denizaltı gemisi üzerindeki akustik gürültülerin ölçümünü, analizini, görüntülenmesini sağlamıştır. Elde edilen gürültü verilerinin analizini gerçekleştirmek amacıyla Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi dâhilinde yer alacak bir yazılım geliştirilmiştir. Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi denizaltının su ortamına yaydığı gürültüleri hâlihazırda denizaltılarda kullanılmakta olan denizaltı gövdesi dışına konumlu sensörlerden farklı olarak denizaltı gövdesi içinden tespiti yapılmıştır. Projeye konu sistem, denizaltı gövde içinde aldığı ölçüm sonuçları ile hangi yöne, ne kadar gürültü yayıldığını frekans ve genlik parametreleri doğrultusunda 2 ve 3



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			boyutlu olarak görüntülenmesini sağlayacak yenilikçi bir sistemdir. Buna ek olarak hâlihazırda denizaltı sensör sistemlerinden alınan; deniz suyu sıcaklığı, denizaltı derinliği ve deniz tuzluluk verileri matematiksel modele dâhil edilerek sistemin ölçüm hassasiyeti arttırılmıştır.

7.2.3 Değerlendirme ve Öneriler

Akustik Teknolojilerine ilişkin Türkiye’de hâlihazırda bulunan yetenekler, savunma sanayii firmalarında ve araştırma kurumlarında gerçekleştirilen projeler sayesinde edinilmektedir. Bahse konu projeler kimi zaman ilgili firma/kurum ve kuruluşların öz kaynakları ile kimi zaman da çoğunlukla devlet kaynaklı olmak üzere dış fonlar ile gerçekleştirilmektedir.

Yakın gelecekte gerçekleştirilecek projeler kapsamında ortaya çıkacak işgücü ihtiyacının yurt içinde hâlihazırda mevcut olduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, projeler kapsamındaki altyapı ihtiyacının (test, üretim, vb. altyapı ihtiyaçları) karşılanabilmesi için ilave yatırım gereksinimi olduğu değerlendirilmektedir.

Akustik Teknoloji içeren sistem ve sistem alt birimlerinin tasarlanması ve üretilmesi için ihtiyaç duyulan teknolojik altyapıların planlanıp kurulması, ülkemizin akustik teknolojileri alanındaki varlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Savunma sanayii, üniversiteler ve diğer kurum ve kuruluşların ortak çalışmaları ile mevcut kabiliyetlerin artırılarak savunma/sivil sistemlerine uygulanmasının yüksek fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

7.2.4 Sonuç

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, dünyadaki ve Türkiye’deki güncel ihtiyaçlara yönelik 28 adet teknoloji konu önerisinde bulunulmuştur. Konu önerileri detaylı olarak incelenmiş, ülkemiz ve dünyadaki gelişmeler doğrultusundaki eğilimler dikkate alınmıştır. Yapılan AHP analizleri neticesinde öne çıkan teknoloji önerileri aşağıda listelenmektedir:

- Sürekli Aktif Sonar
- Aktif Sonoboy
- Su Altı Akustik Modem

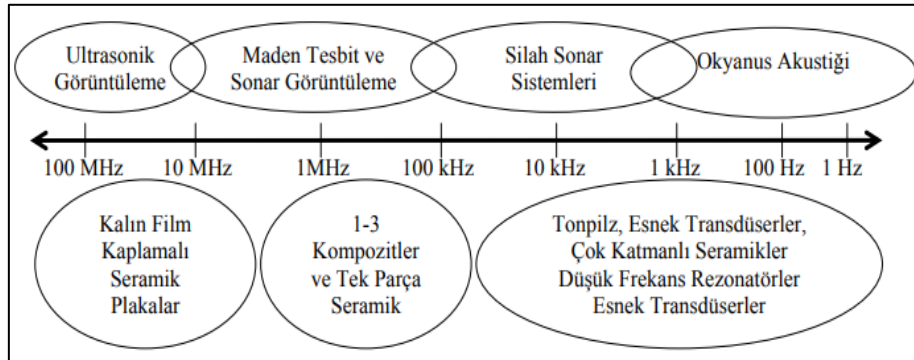


- Dijital Su Altı Telefonu
- Sentetik Açıklıklı Sonar
- Tek ve Çok Hüzmeleli Yandan Taramalı Sonar
- Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi
- Akustik Havan/Top/Topçu Füzesi Tespit Sistemi
- Su Altı Bütünleşik Seyrüsefer Sistemi
- Doppler Hız Logu (DVL)
- Denizaltı Çekili Sonar
- Su Altı Akustik Konumlama Sistemleri (LBL/SBL/USBL)
- Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtı (SQUID) Tabanlı Denizaltı Tespit Sistemi
- Denizaltı Mayın Avlama Sonarı
- İnsansız Su Altı Araçları ile Uzun Mesafe Haberleşme
- Su Altı Kuantum Haberleşme

7.3 AKUSTİK TRANSDÜSERLER, DİZİNLERİ VE TRANSDÜKSİYON MALZEMELERİ ODAK ÇALIŞMA GRUBU

7.3.1 Genel Bilgi

Farklı tasarıma sahip transdüseler uygulama temel alındığında çok geniş frekans aralığında kullanılmaktadırlar. Biyomedikal transdüseler teşhis tanı amaçlı görüntüleme için yüksek frekanslarda kullanılırken, okyanus akustiğinde daha çok düşük frekanslı transdüseler tasarım ve sistemleri kullanılmaktadır (Şekil 7.1). Bunun nedeni düşük frekanslarda dalganın gideceği yol ve alan derinliği artarken, çözünürlük azalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise tam tersidir.



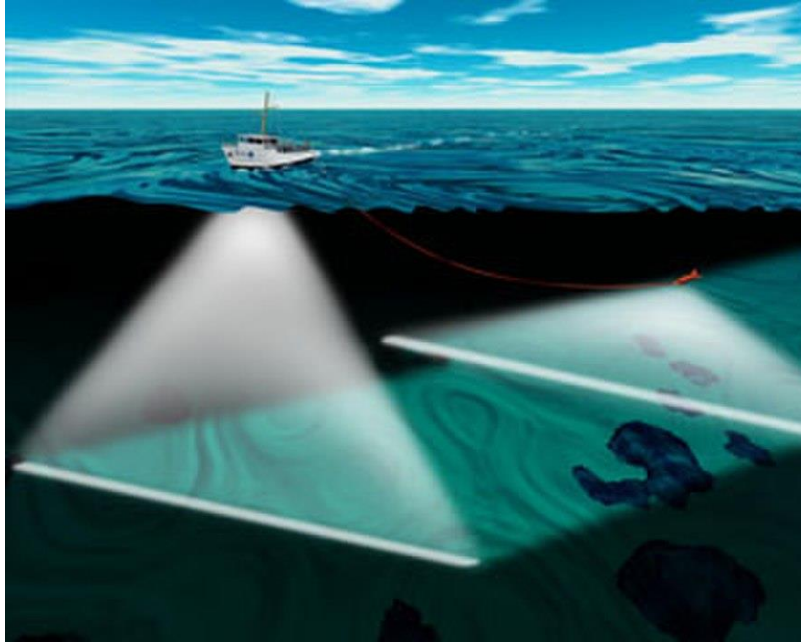
Şekil 7.1 Transdüseler Çalışma Frekans Aralıkları [A.E.Üzgür, 2006]



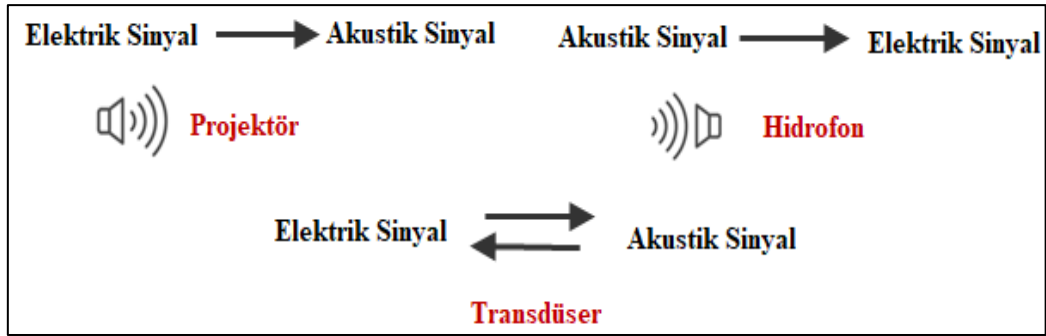
Su altı akustiği için kullanılan transdüserler sinyal gönderim-alış tiplerine göre 3 ana başlık altında değerlendirilmektedir. Bu ana başlıklar aşağıdaki gibidir:

- Projektör,
- Hidrofon,
- Transdüser.

Projektör olarak bahsedilen sistemler, dizin içinde akustik sinyali gönderen ünitelerdir. Projektörler aslında dizin halinde değil tek başına kullanılan sistemlerdir. Projektörleri ışık modunda anlatılacak olursa bir el feneri gibi davranmaktadırlar. **Hidrofon**lar ise hem dizin hem de network (ağ) formunda kullanılmaktadırlar. Akustik dizin sistemi içinde algılama pasif ve aktif şekilde yapılmaktadır. Bu dizin sistemi içinde projektörler akustik ışımayı yaptıktan sonra, yansımayla beraber alınan bilgiler de hidrofon dizinleri aracılığıyla alınıp elektrik sinyallerine dönüştürülmektedir. **Transdüser** ile sürekli aktif ya da pasif olarak bulunan ünite yerine sinyal gönderip sinyal alan ünite bahsedilmektedir.



Şekil 7.2 Sonarın Çalışma Gösterimi [lpi.tel]



Şekil 7.3 Enerji Dönüşümleri ve İsimleri

Su altı akustiği kısmında kullanılacak sistemler aslında bir akustik dalganın oluşması veya oluşturulması, hedefe ve algılayıcı sisteme ulaşması ve bunun algılanması fiziksel temeline dayanmaktadır.

- Birincisini bilinen bir akustik dalganın oluşturulup hedefe çarpması ve geri gelmesi temeline,
- Diğerini ise kaynak olarak su üstünde veya altında bulunan herhangi bir aracın yaymış olduğu akustik sinyaller olarak değerlendirmek gerekmektedir.

Transdüser istenilen frekansta elektrik sinyali üretilip akustik sisteme dönüştüren, su altında ilerlemesini sağlayan ve bunun sonucunda alınan sinyali işleyen ünite olarak değerlendirilmektedir. **Hidrofonlar** ise algılama temelli olarak çalışan sistemlerdir. Bu cihazları, bizim göndermiş olduğumuz, bilinen sinyalin yansıması olarak gelen sinyalleri algılayan üniteler olarak değerlendirmenin yanı sıra, kendisi akustik sinyal üreten kaynaklardan olan deniz altı veya deniz üstü araçlarından çıkan sinyali alıp ayrıştırabilen ünitelerin algılama sistemleri olarak da değerlendirilmektedir. **Projektör** üniteleri, lineer veya 2D sistemlerle beraber çalışabilen sistemler için su altında istenilen dalga formunda sadece akustik sinyal üreticisi veya aydınlatıcısı olarak değerlendirilmektedir. Bu başlıklar altında kırılım yaptığımızda öne çıkan konular ise Akustik OTAĞ Çalışması kapsamında “Akustik Transdüserler, Akustik Dizinler ve Transdüksiyon Malzemeleri” başlıkları altında değerlendirilmiştir. Bu başlıklar günümüzde öne çıkan konular olduğu için bu başlıklar altında değerlendirmeler yapılmıştır.

Akustik Transdüserler, Dizinler ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu tarafından yapılan çalışmalar kapsamında, akustik teknolojileri alanındaki gelişmeler



doğrultusunda toplam 20 farklı teknoloji konu önerisi sunulmuştur. Önerilen 20 farklı teknoloji konu önerisi üç farklı ana teknoloji konusu grubu altında incelenmiştir.

Bu ana teknoloji grupları altında da 13 farklı teknoloji konusu grubu oluşturulmuştur

Ana teknoloji konusu grupları ve ilgili teknoloji konusu önerileri aşağıda verildiği gibi sıralanmıştır:

- **Akustik Transdüserler**

- Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüser
- Maliyet Etkin Düşük Frekans Vektör Sensör
- Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Vektör Sensör
- Piezoelektrik Esnek Kompozit Hidrofon ve Projektör
- Mikro Elektro Mekanik Basınç Sensörü
- Hava Akustiği Sensörü
- Mikro Elektro Mekanik İvmeölçer
- Mikro Elektro Mekanik Mikrofon Hidrofon Alıcısı

- **Akustik Dizinler**

- Denizaltı Pasif Çekili Dizin
- Aktif Sonoboy Transdüser Birimi
- Fiber Optik Hidrofon Dizini
- Sismik Araştırma Hava Tabancaları
- Denizaltılar için Konformal ve Yenilikçi Sensörler ile Dizin Tasarımı
- Su Altı/Yer Altı Sismik Algılayıcılar ve Dizinler

- **Transdüksiyon Malzemeleri**

- Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler
- Fiber Bragg Grating Sensörler
- Katı Hal Büyütme Tekniği ile Kristal Büyütme PMN/PT Tek Kristal Üretimi
- Transdüser Malzemeleri Kütüphanesinin ve İlgili Malzemelerin Modellenmesi
- Yönlendirilmiş (Dokulu) Piezoelektrik Seramikler
- Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü

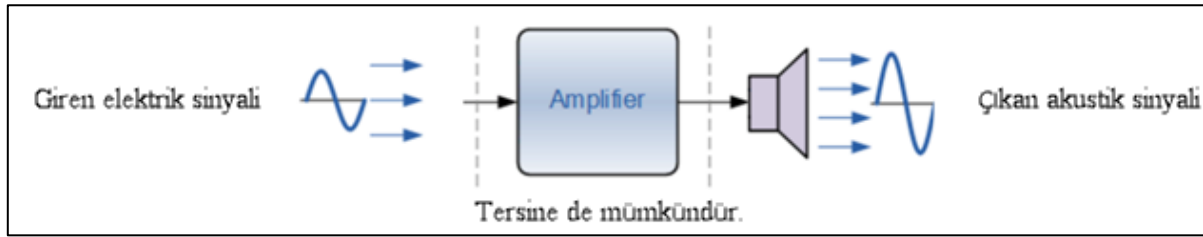
Her bir teknoloji konusu grubu ayrı ayrı değerlendirilerek, öne çıkan teknolojiler detaylı olarak incelenmiştir ve bu raporda sunulmuştur.



Transdüser malzemeleri incelenirken yukarıda belirtilen fiziksel ve akustik temellere dayalı olan prosedürler içinde mümkün mertebe aynı platformda ve aynı bilimsel temelde değerlendirilebilecek konular aynı başlık altına konulmuştur.

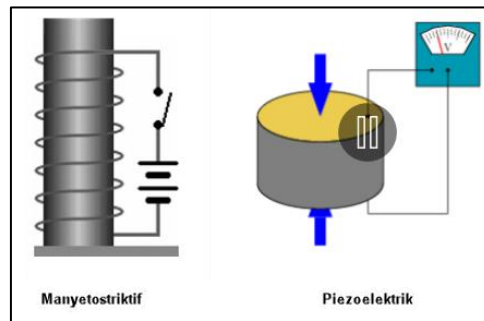
Akustik Transdüserler Ana Teknoloji Konusu Grubu:

Transdüser yukarıdaki açıklamalarda da bahsedildiği gibi bir formdaki enerjiyi diğerine dönüştürebilen cihazları ifade etmektedir. Su altı akustik alanında kullanılan transdüserler elektrik enerjisini akustik enerjiye dönüştürebilen cihazları ifade etmektedirler. Gelen akustik sinyali elektrik sinyale dönüştüren sisteme su altı alıcısı (hidrofon), elektrik sinyalini akustik sinyale gönderip hedefe doğru yönlendiren sisteme projektör hem gönderip hem alan sistemlere de “transreciever” veya transdüser isimleri verilmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Enerjinin Dönüştürülmesi

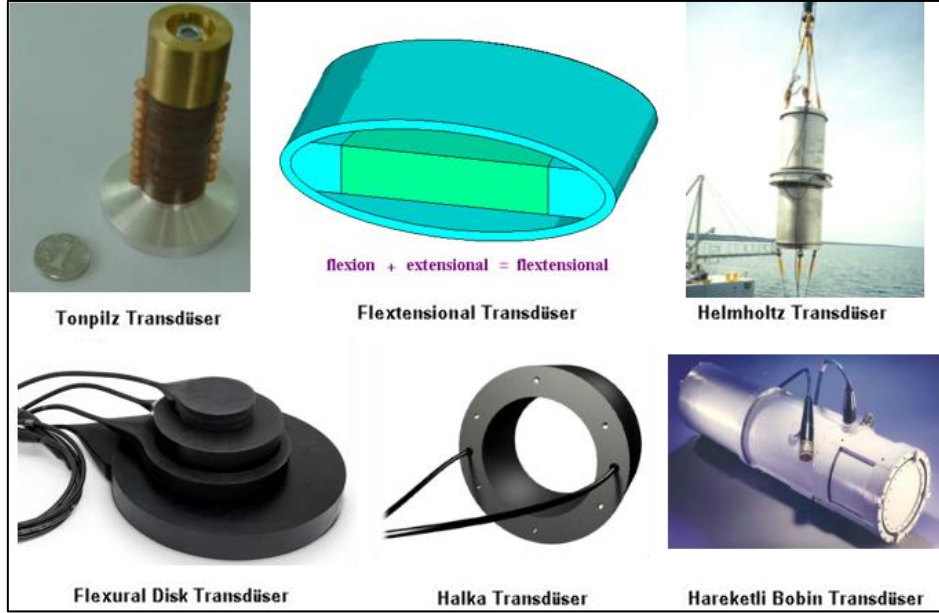
Transdüserin geçmişine bakıldığında 1842’de James Joule demir çubukta manyetostriktif etkiyi keşfetmiştir. 1880’de kuvars ve diğer kristallerde piezoelektrik, Jacques ve Pierre Curie tarafından keşfedilmiştir (Şekil 7.5). Richardson, 1912’de buzdağlarının menzili ve tespiti için ekoların kullanılmasını önermiştir. Fessenden, 1914’de hareketli bobin dönüştürücü geliştirmiştir. Fessenden’in dönüştürücüleri kullanılarak değişen su altı yankısı ile yaklaşık iki mil uzaklıkta bir buzdağı tespit edilmiştir. Bu olay genellikle su altı akustik dönüştürücülerinin ilk pratik uygulaması olarak kabul edilmektedir [Charles H. Sherman].



Şekil 7.5 Manyetostriktif ve Piezoelektrik Etki



Su altı akustik dönüştürücülerde Sandviç dönüştürücüler gelişim tarihi sırasına göre ilk geliştirilen transdüserlerdir. Farklı transdüser tasarımları Şekil 7.6’da verilmiştir.



Şekil 7.6 Transdüser Çeşitleri [Charles H. Sherman, Sang Yongjie]

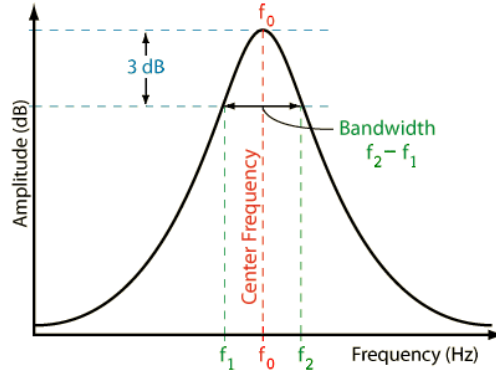
Transdüser tasarımı ve üretiminde temel teknik parametreler şu şekilde sıralanmaktadır; operasyon frekansı ve rezonans frekansı, gönderim hassasiyeti (transmitting voltage response level), kaynak seviyesi (source level), bant genişliği, yönlülük (directivity), çalışma derinliği ve hassasiyet (sensitivity). Tonpils transdüserler kompakt yapıda, geniş bant aralığında, yüksek güç ve iyi yönlendirme özelliklerine sahiptir. Bu transdüserler çoğu savaş gemisi ve denizaltındaki dizinlerde kullanılmaktadırlar. Flextensional transdüserler düşük frekans, küçük boyut ve yüksek güç özelliğine sahip iken bant genişliği ve çalışma derinliği sınırlıdır. Helmholtz transdüserler düşük frekans ve yüksek güç özelliğine sahiptir. Flexural disk transdüserlerinin özellikleri ise düşük frekans, küçük boyut ve orta seviye güçtür. Dizin yapıları rezonans frekansı azaltılabilmektedir. Halka transdüserler free-flooded olarak kullanılmaktadır ve yüksek güç, geniş bant aralığına sahiptirler. Son olarak Hareketli Bobin transdüserlerin ultra düşük frekans, ultra geniş bant ve çalışma derinliğine bağlı olarak ses yayma kapasiteleri değişmektedir [Charles H. Sherman, Sang Yongjie]. Günümüzde transdüserlerden istenilen özellikler;

- Düşük Frekans,
- Küçük Boyut,



- Yüksek Güç,
- Geniş Bant ve Derinliktir.

Transdüserlerde tarif edilen bant genişliği Şekil 7.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 7.7 Bant Genişliği ve Merkez Frekansı Gösterimi [Kenji Uchino, 2010]

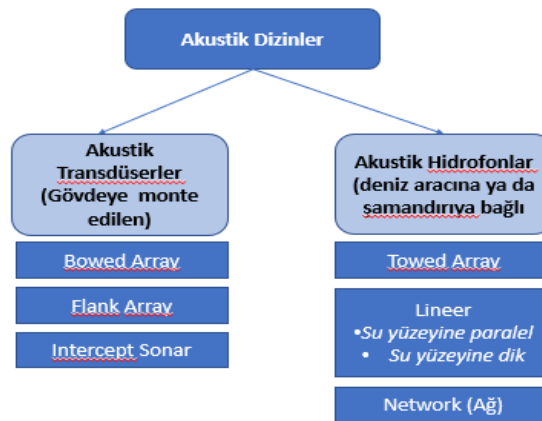
Akustik transdüser ana teknoloji konu grubunda Bölüm 7.3.1’de verildiği gibi farklı konu önerilerinde bulunulmuştur. Bu öneriler içinde vektör sensörlerde suyun içinde sensöre gelen akustik sinyalin vektörel olarak en az 2 ekseninde çözümlenebilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılan yöntemler sensörün 3 boyutlu titreşiminin ivmeölçer yardımıyla her ekseninde oluşan titreşimin ölçülmesi prensibine dayanır. Bu ivmeölçer ile birlikte kullanılan piezoelektrik seramik ise sensörde oluşan titreşimin yapısal kaynaklı veya akustik kaynaklı olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır. Bir diğer yöntemde ise birbirine göre konumlandırılmış piezoelektrik seramiklerdeki sinyal gücü ve faz farklarının ölçümü ile kerteriz tespiti yapılabilmektedir. Teknoloji konu önerilerinden piezoelektrik esaslı esnek kompozit yapıları hidrofona ve projektör konusunda var olan transdüser sistemlerine göre daha yüksek çözünürlüklü algılayıcı ve verici sistemlerin geliştirilmesi söz konusudur. Bu sistemlerde cymbal tasarımı kullanılarak gönderim ve alışı hassasiyetinin düşük frekans değerlerinde yüksek performans göstermesi avantajlı bir durum olacağı yapılan akademik çalışmalar neticesinde gösterilmiştir. MEMS teknolojilerine bakıldığında ise nanoteknolojinin hızla yaygınlaşmasıyla birlikte küçük, minyatürize edilmiş sistemlerin değeri ve önemi gittikçe artmaktadır ve genellikle mikro elektromekanik sistem (MEMS) tabanlı uygulamalar oldukça rağbet görmektedir. Özellikle küçük ölçekli uygulamalarda sıklıkla kullanılan malzemelerin küçük boyutlardaki mekanik davranışları büyük ilgi çekmektedir. MEMS, içinde mekanik ve elektriksel elemanlar bulunduran çok küçük boyutlarda araçlar ve sistemler üretmeye yarayan bir dizi seri üretimden meydana gelen bir teknolojidir. Boyutları birkaç mikrometreden



milimetreye kadar ulaşabilir ve üretimlerinde entegre devre işleme teknikleri kullanılır. Bu teknoloji kullanılarak yüksek performanslı akustik vektör sensörleri, basınç sensörleri, hava akustik sensörler, ivmeölçerler ve mikrofon/hidrofon sistemleri üretilmesi bu odak grubu çalışması içinde önerilmiştir.

Akustik Dizinler Ana Teknoloji Konusu Grubu:

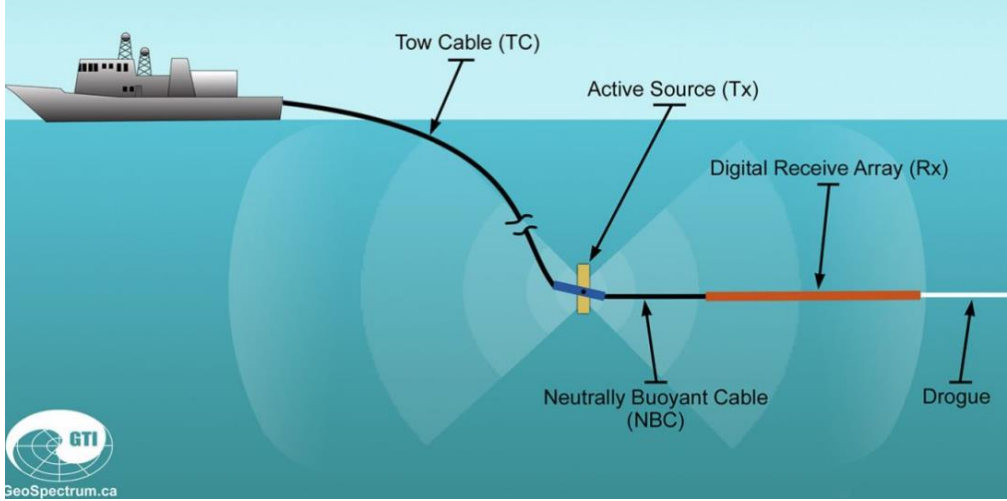
Sonar, ses dalgalarını kullanarak cismin boyut, uzaklık ve diğer verilerinin tespit edilmesini sağlar. Sonar sistemleri aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif sonar sistemleri kullanarak, hedef unsurun ürettiği ses dalgalarını tespit ederek bu sayede hedefin konumuna ve diğer bilgilerine ulaşılır. Aktif sonar sistemleri ise farklı frekans bantları kullanarak ses dalgaları üretmektedirler. Üretilen bu ses dalgaları, su yüzeyinin altında ilerler, temas ettikleri yüzeyin açısına/konumuna göre geri yansırarak döner. Böylelikle dalgaların yansımaya neden olan yüzey veya cisim tespit edilmiş olur. Bu çalışma prensibi radar sistemlerine de benzer. Radar sistemleri de farklı frekans bantlarını kullanarak dalgalar oluşturur ve dalgalar temas ettikleri yüzeyden yansırarak radar sistemine geri döner ve tespit gerçekleştirilmiş olur. Aktif ve pasif üniteler farklı amaçlarla aynı yapı içinde yer alabilmektedir. Bu amaçla aşağıda kullanmış olduğumuz aktüatörler ve algılama için kullanmış olduğumuz hidrofon ve benzeri ürünler de bu başlık altında irdelenmiştir. Akustik dizinler farklı birkaç sistemden oluşabilir. Bu sistemler deniz aracının gövdesine monte edilebilir veya çekili dizin ve serbest hareket edebilen sistemler olabilir (Şekil 7.8). Dizin formatındaki üniteleri suyun içinde çekili veya konumlandırarak kullanmanın yanında taşıtların üzerine de koyarak dizin oluşturma şansımız vardır. Deniz taşıtları üzerine konulan dizinler şu başlıklar altında toplanmaktadır: Taşılı dizin; “Flank” dizin, “Bow” dizin, “Intercept” dizin.



Şekil 7.8 Akustik Dizinlerin Sınıflandırılması



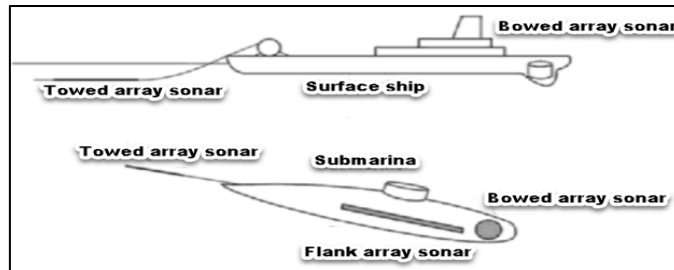
Şekil 7.9 ve 7.10’da su yüzeyine dik ve şamandıraya bağlı dizinin ve transdüser dizininin örneği gösterilmiştir.



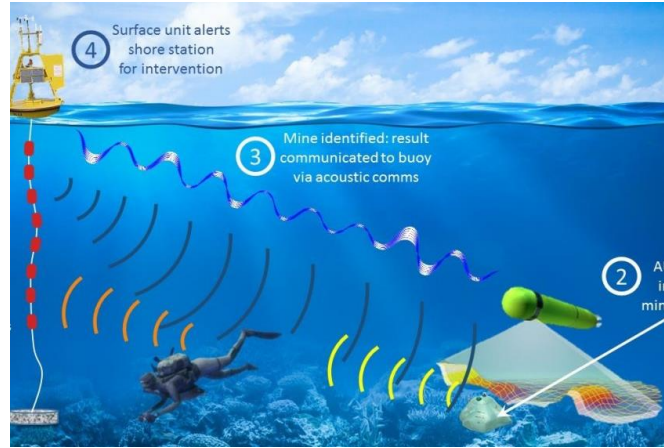
Şekil 7.9 Çekili Dizin Sonar Sistemi [Defpost]

Akustik dizin sistemi içinde algılama pasif ve aktif olarak gerçekleştirilmektedir. Bu sistemin içinde kullanabileceğimiz projektör bulunmaktadır. Projektörler akustik ışınmayı yaptıktan sonra yansımaya beraber alınan bilgiler transdüser dizinleri aracılığıyla alınıp elektronik sinyallere dönüştürülmektedir.

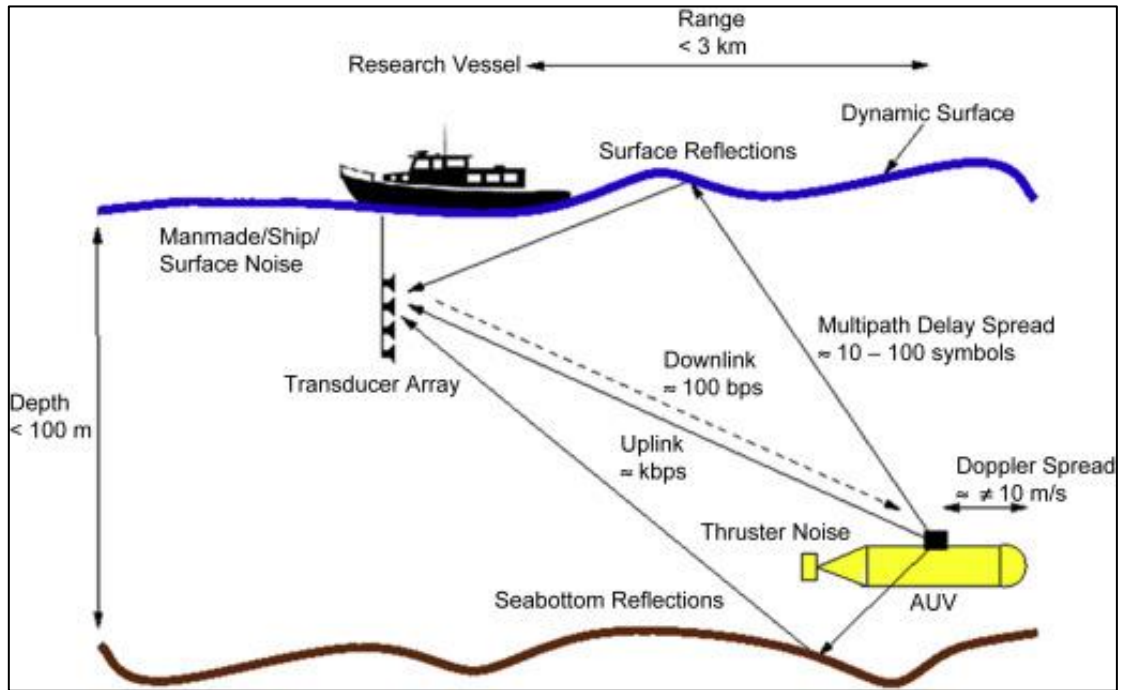
Çekili Dizin Sonar (Towed Array Sonar) gemilerin veya denizaltıların arkasından sarkıtılan ve aktif/pasif sonar sistemleri ile donatılan uzun bir kablodan meydana gelmektedir (Şekil 7.10). Çekili dizinlerin olabileceği sistemlerin tek boyutun haricinde iki boyutlu olma durumları da vardır. Tek boyutlu olan sistemler genelde tek boyutlu kablo sistemlerinden oluşmaktadır. Buna ek olarak birbirleriyle simetrik çalışabilecek paralel vaziyette dizilmiş kablo sistemleri de olabilir. Üçüncü olarak da akustik dizinler bir harita formatında veya network formatında bir alan içerisine yerleştirilmiş olabilirler.



Şekil 7.10 Gemilerde Kullanılan Sonar Sistemleri [Digital Sonar Design in Underwater Acoustics]



Şekil 7.11 Transdüser Dizini (su yüzeyine dik-şamandıraya bağlı) Şematik Anlatımı



Şekil 7.12 Transdüser Dizini (su yüzeyine dik-gemiye bağlı) Şematik Anlatımı [“Underwater Acoustic Measurement and Their Applications”]

Transdüser dizinlere bakıldığında silindirik ve küresel formda gemi ön tarafına yerleştirilmektedir. Transdüser dizinler sinyal gönderme ve alma yetisine sahiptirler. Bu dizinler torpido veya diğer araçlar için kullanılır ve daha düşük boyuta sahiptirler. Bu dizinler arasında düz veya konformal olabilecek tasarımlar da bulunmaktadır.



Dizin aslında 2 boyutta haritalandırma için kullanılan bir konfigürasyondur. Her yere sinyal gönderen veya pasif vaziyette durup her yerden sinyali alıp haritalandırma veya sinyal değerlendirme operasyonu için kullanılmaktadır. Dizin yer ve yön bilgisi çıkartmak için kullanılan bir sistemdir. Frekans arttığı zaman çözünürlük artar fakat mesafe yani gidebileceğimiz boyut azalır. Yüksek frekansta sinyalin penetrasyon derinliği azalırken çözünürlük artmaktadır. Kısa mesafede daha net çözünürlük elde etmek istendiğinde yüksek frekans transdüser tercih edilmelidir. Düşük frekansta ama daha uzaktan bilgi edinmek istendiğinde ise düşük frekans transdüserleri tercih edilmelidir. Bu transdüser tasarımı ihtiyaç makamının belirlemiş olduğu istekler doğrultusunda tasarlanabilecek niteliktedir. Bu istenirse tek ürün olarak tasarlanabilinir isteniyorsa eğer dizin formatında tasarım yapılabilir.

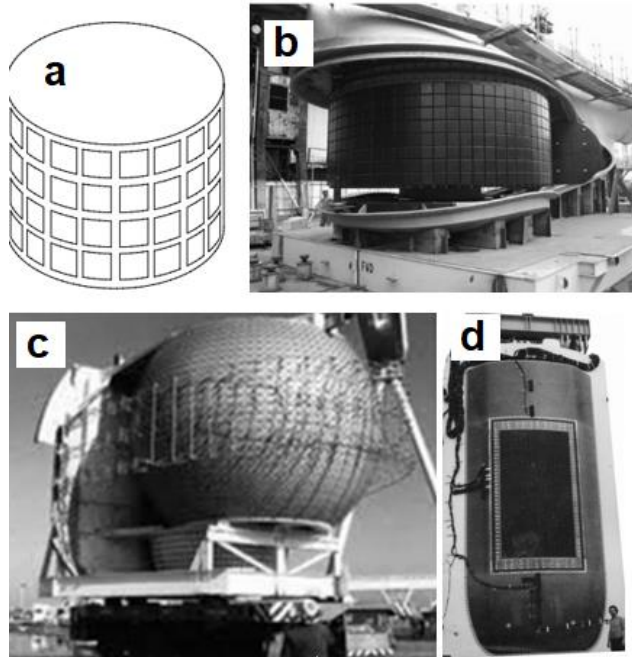
Su altında yapılan çalışmalar uzaysal konumlandırma olarak betimlenebilir. Konumlandırmanın doğru olabilmesi için lineer üniteler mi kullanılmalı yoksa ağ formatında üniteler mi kullanılmalıdır? Eğer kaynak ve sinyal gönderildiğinde nasıl yansıma olacağı biliniyor ise lineer formatta tasarım yapılır çünkü çıkan dalganın verimi düşmeden harita daha doğru bir şekilde belirlenebilir. Bu teknik su altındaki jeolojik formasyonların ölçülmesinde kullanılan bir tekniktir. Ama kaynak bilinmiyorsa her bir sinyal yönü belirsiz bir şekilde gelmektedir ve nerden geldiği bilinmiyorsa farklı pozisyonlarda yerleştirilmiş ünitelerin algıladıkları sinyallerin değerlerine göre yön ve konum bilgisi elde edilmektedir. Bu durumda tercih edilen ağ formunda dizinlerin kullanılmasıdır.

Su altı elektroakustik dönüştürücülerinin gelişimi, yirminci yüzyılda hızla genişlemiştir ve mekanik, elektrik, manyetizma, katı hal fiziği ve akustığı birleştiren birçok önemli uygulama ile büyüyen bir bilgi alanı olmaya devam etmektedir. En genel anlamda dönüştürücü, enerjiyi bir biçimden diğerine dönüştüren bir süreç veya cihazdır. Böylece bir elektroakustik dönüştürücü, elektrik enerjisini akustik enerjiye veya tam tersine dönüştürür. Bu tür işlemler ve cihazlar çok yaygındır. Havadaki ses kaynakları ve alıcıları olarak kullanılan dönüştürücüler için bilinen hoparlör ve mikrofon, sudaki kaynaklar ve alıcılar için projektör ve hidrofon haline gelir. Su altı sesinde kullanılan spektrum, büyük (ancak bazen sık) su kütlelerinde çoğu uygulamada yaklaşık 1 Hz'ten 1 MHz'in üzerine uzanmaktadır. Örneğin, okyanuslarda binlerce kilometre boyunca akustik iletişim mümkündür, ancak frekans arttıkça sesin absorpsiyonu hızla arttığı için yaklaşık 100 Hz'in altındaki frekanslar gereklidir. Bu geniş frekans aralığındaki uygulamalar, birçok farklı dönüştürücü tasarımı gerektirir. Su altı uygulamaları için çok sayıda



ve çeşitli dönüştürücüler kullanılmaktadır. Hidrofonlar ve projektörler genellikle, deniz gemilerine monte edilmiş düzlemsel, silindirik veya küresel dizilerde yakından paketlenmiş 1000 veya daha fazla dönüştürücüden oluşan büyük gruplarda kullanılmaktadırlar.

Denizaltı uygulamalarında gerçekleşen yenilikler doğrultusunda büyük akustik dizinlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Aktif sonarın denizaltılardaki ana işlevi, yüzey gemilerini ve diğer denizaltıları aramaktır, aynı zamanda mayınlardan kaçarak su altı iletişimi de çok önemli işlevleri arasındadır. Aktif arama, orta menzil performansı için 2-10 kHz bölgesinde çalışan büyük projektör dizileri gerektirirken engellerden kaçınmak için daha küçük, daha yüksek frekanslı dizinler gerektirmektedir. Aktif sonar dizinleri, iyi tanımlanmış yönlerde yeterli akustik gücü yaymak için genellikle yüzlerce ayrı projektör içerir. Bu dizinlerdeki dönüştürücüler genellikle Şekil 7.13'te gösterildiği gibi bir düzlem, silindirik veya küresel yüzey üzerine monte edilir.



Şekil 7.13 a) Aktif Sonarda Kullanılan Silindirik Bir Dizinin Diyagramı b) AN/SQS-26 Yüzey-Gemi Sonar Sistemi Dizini c) AN/BSY-2 Denizaltı Bow Sonar Dizini d) Denizaltı WAA Flank Dizini [Charles H. Sherman, Stephen C. Butler 2018]

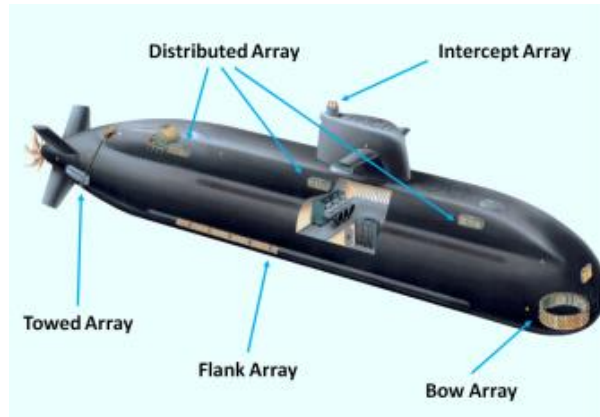
Aktif bir sonar sistemi tasarımı, bir platformdan belirli mesafelerde belirli hedefleri tespit etmeyle başlar. Tasarımdaki amaç, uygun frekans bandı ve maksimum kaynak seviyesi, maksimum akustik güç, yönlülük indeksi, yönlendirilen sinyal sayısı ve sinyal genişlikleri gibi gerekli akustik performans özelliklerini belirlemektir. Platform ve diğer çalışma koşulları



genellikle dizin boyutu, ağırlığı, şekli ve mevcut elektrik gücü üzerinde kısıtlamalar getirir ve bu da akustik özellikleri kısıtlamaktadır.

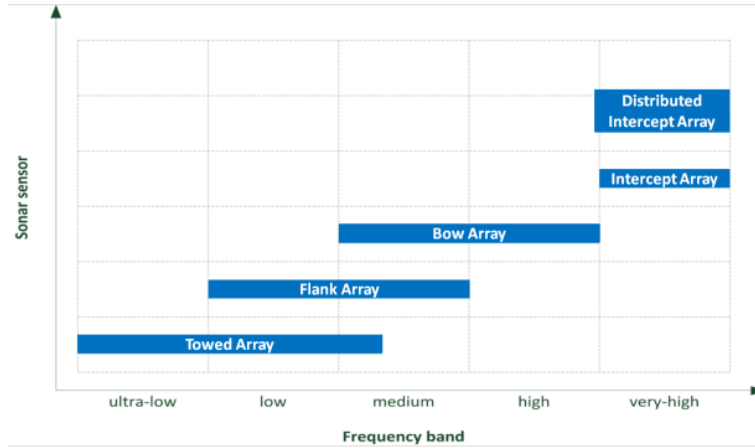
Hem pasif hem de aktif sonar sistemlerinin amacı, güvenilir uzun menzilli tespit ve menzil yeteneğidir, ancak iki tür sonarın performansını etkileyen temel hususlar oldukça farklıdır. Çekili dizinler veya geniş aralıklı dizinler gibi pasif sistemlerdeki alıcı dizin, bilinmeyen frekans içeriğine sahip sinyalleri algılayabilmelidir. Bu nedenle, tipik bir aktif sistemin çalışma bant aralığından çok daha büyük bir frekans bandı üzerinde çalışmalıdır. Ancak, yüksek performansın kritik olduğu birçok deniz aktif sonar sisteminde, ayrı bir alıcı dizisinin kullanılmasıyla da bazı avantajlar bulunmaktadır. Gövdeye monte edilmiş veya çekilen ayrı bir alıcı dizin, projektör dizininden daha büyük yapılabilir ve bu nedenle, daha fazla yönlülüğe sahip olabilir [Charles H. Sherman].

Son yıllarda askeri deniz altı uygulamaları için bilginin doğru ve yüksek performanslı bir şekilde elde edilmesi için gerekli olan teknolojiler oldukça ilgi konusudur. Modern geleneksel denizaltılar, çeşitli yüksek duyarlı pasif sonar sensörleri ile donatılmaktadır. En yaygın sonar antenleri, çekilen dizi, gemi gövdesinin yanına monte edilen kanat dizisi ve bow dizisidir. Şekil 7.14, modern bir denizaltının örnek bir konfigürasyonunu göstermektedir. Bir denizaltının farklı sonar sensörleri, farklı uzamsal sensörleri kapsar ve belirli frekans bantları için optimize edilmiştir.



Şekil 7.14 Denizaltı İçin Sonar Dizinlerinin Tipik Konfigürasyonu [Florian Schulz, 2018]

Şekil 7.15'te gösterildiği gibi, sonar sensörleri ultra düşükten (birkaç Hz) çok yükseğe (yüz kHz mertebesinde) tüm frekans bandını kapsamaktadır.



Şekil 7.15 ATLAS Pasif Sonar Sensörlerinin Kapsadığı Frekans Bantları

Transdüksiyon Malzemeleri Ana Teknoloji Konusu Grubu:

Piezoelektrik özellik, malzeme üzerine uygulanan mekanik enerjinin elektrik enerjiye ya da uygulanan elektrik enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır. Piezoelektrik özellikten yararlanılarak hassas özelliklerle Sensör, Aktüatör ya da ateşleyici sistemler yapılmaktadır. Piezoelektrik malzemeler kompozisyon içeriğine ya da üretim yöntemine bağlı olarak elektriksel ve dielektrik özellikleri belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında ülkemizde teknolojisi çok yeni olan tek kristal piezoelektrik malzemelerin üretilmesi önerilmiştir. Bu kapsamda tek kristal piezoelektrik malzemelerin üretimi Brigdman Tekniğinin kullanılarak yapılması hedeflenmektedir. Tek kristal piezoelektrik malzemelerin çok kristalli piezoelektrik malzemelere kıyasla elektriksel özellikleri çok daha fazladır ve bu sayede çok daha hassas özellikler sağlamaktadır. Dünya çapında başta Çin ve Amerika olmak üzere birkaç farklı ülkede tek kristal piezoelektrik malzemelerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Fakat ülkemizde henüz ticari ürüne dönüşmüş piezoelektrik tek kristal ürün bulunmamaktadır, konuyla ilgili Ar-Ge çalışmaları yeni yeni başlamaktadır.

Piezoelektrik tek kristal seramik malzemeler ile yüksek alışı hassasiyetine sahip hidrofön ve yüksek gönderim hassasiyetine sahip projektör üretilmesi mümkündür. Geniş bant aralığına sahip tek kristal malzemelerin elektromekanik katsayıları da yüksek olacaktır. Günümüzde büyütülen tek kristallerin elektromekanik kapling sabitilerei %90-92 civarındadır. Farklı kompozisyon modifikasyonları ile bu sabitin %92'nin üzerine çıkartmak ve diğer elektriksel özelliklerinin optimum seviyede kalarak malzeme geliştirilmesi büyük avantaj sağlayacaktır. Ayrıca tek kristal malzeme büyütülmesinde yaşanan en büyük problemlerden biri büyütülen kristalin homojenliğinin olmamasıdır ve bu sebeple kristalin her bölgesi aynı elektriksel



özellikle sahip değildir. Modifiye edilmiş Bridgman tekniği kullanılarak bu problem ortadan kaldırılmaya çalışılacaktır. Ancak günümüzde üretilmeye çalışılan PMN-PT, PIN-PMN-PT gibi kompozisyonlara sahip 3. nesil tek kristallerin Curie sıcaklıkları 120 °C - 130 °C civarındadır. Bunun yanında sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerinin değişimleri de PZT'ye oranla fazladır. 3. nesil tek kristallerin kompozisyonlarının farklı elementlerle katkılendirme yöntemiyle; sıcaklığa bağlı elektriksel özelliklerin değişimleri düşürülüp Curie sıcaklıkları artırılmış olan 4. nesil tek kristaller üretilerek tek kristal malzemeler konusunda çalışmalara başlanacağı düşünülmektedir. Üretilen tek kristal piezoseramik malzemeden düşük frekanslarda yüksek alışı hassasiyetinde hidrofona, yüksek gönderim hassasiyetinde projektör tasarlamak oldukça önemlidir. Sıcaklığa bağlı elektriksel özellikleri iyileştirilmiş tek kristal piezoelektrik seramikler kullanarak üretilen transdüserlerin de uygulama alanlarında daha iyi sonuçlar verebilmesi ihtimal dâhilindedir.

7.3.2 Teknoloji Konuları

Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda elde edilen teknoloji konuları Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2 Odak Çalışma Grubu-2 Teknoloji Konuları

TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Akustik Transdüserler	Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüseri	B01.06 Mayın Tespiti ve Temizliği	Aktif yayın modunda mayın tespiti yeteneğine sahip sonar teknolojisidir. Hareket halindeki sonar platformlarında, hedeften alınan farklı zaman anlarındaki sonar verilerinin entegre edilerek daha etkin tespit bilgilerinin edinilmesini sağlayan teknolojidir.
	Maliyet Etkin Düşük Frekans Vektör Sensör	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Küçük sensör boyutlarında yüksek doğrulukta ses kaynağı tespiti, Çizgisel dizin kullanımlarında 3 boyutlu ses kaynağı tespiti, Çizgisel dizin kullanarak endfire belirsizliği yüksek doğrulukta çözümleyebilme, İvme sensörleri ile parçacık hızı tespiti sayesinde düşük frekanslarda gemiye entegre sonarlardaki düşük basınç kaynaklı problemleri ortadan kaldırma,



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			Sensörler arası uzaklıklar dolayısıyla oluşan belirsizlikleri çözümleyebilme, seri üretime ve sarf malzemesi olarak kullanıma uygun şekilde maliyet etkin, düşük frekansta dinleme yapabilen sistemler amaçlanmaktadır.
	Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Vektör Sensör	A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B.06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Sistem ya da kullanılacak platformlarda oluşacak ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere 4", 6" ya da 8" boyutunda Silisyum Diskler kullanarak ses kaynağı yerini ya da yönünü belirlemek amacıyla MEMS Su altı Sensör yapılarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
	Piezoelektrik Esnek Kompozit Hidrofon ve Projektör	B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Esnek kompozit (seramik-metal) transdüserlerin uygulanması, farklı tasarımların yapılması, hassasiyet değerlerinin farklı tasarımlara uygulanarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Su altı akustik istenen kriterleri elde edebilmek için Class I, II, III, IV, V cinsinden kompozit transdüser yapılanmaları bulunmaktadır. Bu yapılarla hem gönderim hassasiyeti hemde alış hassasiyeti artırılması hedeflenmektedir.
	Mikro Elektro Mekanik Basınç Sensörü	A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B.06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Sistem ya da kullanılacak platformlarda oluşacak ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere 4", 6" ya da 8" boyutunda Silisyum Diskler Kullanarak Direnç Ölçümü Temelinde çalışan Rezistif Pirani Vakum Basınç Sensörü Yapılarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Hava Akustiği Sensörü	B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Hava akustiği uygulama alanlarından biri olan keskin nişancı tespit sistemlerinde kullanılan mikrofonların geliştirilmesi konusu değerlendirilmektedir. Mikrofonlarla belli bir dizin yapısı oluşturularak, gelen sinyalin yönü tespit edilmesi amaçlanmaktadır.
	Mikro Elektro Mekanik İvme Ölçer	A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B.06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Sistem ya da kullanılacak platformlarda oluşacak ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere 4", 6" ya da 8" boyutunda "Yalıtkan-Üzeri-Silisyum" Diskler Kullanarak Rezonans Frekansı Ölçümü Temelinde çalışan Kapasitif İvmeölçer Yapılarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
	Mikro Elektro Mekanik Mikrofon/ Hidrofon Alıcısı	A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B.06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Sistem ya da kullanılacak platformlarda oluşacak ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılmak üzere 4", 6" ya da 8" boyutunda Silisyum Diskler Kullanarak MEMS Hidrofon Alıcısı yapılarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
	Denizaltı Pasif Çekili Dizini	B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Denizaltı tarafından çekilen, pasif modda çalışan ve su altı hedeflerinin tespitini gerçekleştiren çekili sonar teknolojisinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
	Aktif Sonoboy Transdüser Birimi	B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Hafif Aktif Sonoboy birimlerinde kullanıma uygun aktif sonar birimidir. Komut üzerine aktif yayına geçerek 10 dakikalık aktif yayın yapabilme yeteneği olan sistem geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Akustik Dizinler	Fiber Optik Hidrofon Dizini	A04.01 Optik Bileşenler ve Cihazlar A04.05 Lazerler ve Lazer Bileşenleri A04.07 Fotonik/Optik Malzemeler B04.12 Elektronik Koruyucu Tedbirler- Akustik B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Düşük frekanslarda yüksek hassasiyet, hidrofon çoklama kolaylığı, ıslak tarafta bulunan elemanların tamamıyla pasif olması ve elektronik eleman içermemesi temel kabiliyetler olarak sıralanabilir.
	Sismik Araştırma Hava Tabancaları	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif	Deniz alanlarında yapılan bilimsel veya ekonomik amaçlı jeofizik çalışmalarda dünya çapında en yaygın kullanılan kaynak türüdür. Hava tabancaları içinde sıkıştırılmış yüksek basınçlı havanın anlık olarak dış ortama bırakılması marifetiyle geniş bir frekans aralığında akustik sinyal üreten cihazdır. Hava tabancaları farklı hacimlerde olabilmektedir. Bu farklı hacimlerdeki hava tabancalarının bir araya getirilmesi ile farklı kümeler oluşturulmaktadır.
	Denizaltılar İçin Konformal ve Yenilikçi Sensörler ile Dizin Tasarımı	B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Denizaltılar için tekne formunda (konformal) dizin tasarımı, Farklı platform konturlarına uygun dizin tasarımı, Açık mimarili ve modüler sensör dizin tasarımı hedeflenmektedir.
	Su Altı/Yer Altı Sismik Algılayıcılar ve Dizinler	B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Su altında 0.1 Hz - 1 kHz aralığında çalışabilecek sismik sensörlü ünitelerin (gömülü sistem veya veri toplayıcı + aktarıcılar ile uzun dayanımlı -akü/pil gibi- su altı besleme kaynağı) geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Transdüksiyon Malzemeler	Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler	B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Piezoelektrik tek kristal seramik malzeme ile yüksek alışı hassasiyetine sahip hidrofon ve yüksek gönderim hassasiyetine sahip projektör üretilmesi amaçlanmaktadır.
	Fiber Bragg Grating Sensörler	B06.09 Akustik Algılayıcılar – Pasif	Geniş alanlardan (>km) akustik sinyalin okunabilmesini sağlayan hassas basınç ölçüm değerine sahip (<100 Pa) FBG (Fiber Bragg Grating) kırınım ağları üretilmesi amaçlanmaktadır.
	Katı Hal Kristal Büyütme Tekniği ile PMN/PT Tek Kristal Üretimi	B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Katı hal kristal büyütme (SSCG) tekniğiyle PMN/PT tek kristal üretimi amaçlanmaktadır.
	Transdüser Malzemeleri Kütüphanesinin ve İlgili Malzemelerin Modellenmesi	A01 Yapısal ve Akıllı Malzemeler ve Yapısal Mekanik A02 İz ile ilişkili Malzemeler	Sistem/platform ihtiyaçları doğrultusunda ürüne hizmet edecek teknolojiler ve geleceğin muharebe ortamında etkili olması/üstünlük sağlaması gereken konular düşünüldüğünde, transdüser tasarımında yaşanacak gelişmelerin kritik önemli mevcuttur. Transdüser tasarımı alanında yaşanacak gelişmeler yapısal tasarım, uygulama alanı ve malzeme geliştirilmesi şeklinde özetlenebilir. Bu Teknoloji Konusu öneri bildirisi Transdüser malzemeleri kütüphanesinin ve ilgili malzemelerinin modelleme şekillerinin geliştirilmesi üzerinedir.
	Yönlendirilmiş (Dokulu) Piezoelektrik Seramikler	B06.08 Akustik Algılayıcılar- Aktif B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri	Üretimde kullanılacak gerekli cihazların (fırın, pres, taşlama, vb.) ülkemizde üretimleri olabilmektedir. Dokulu piezoseramik üretimi ile kritik malzeme parametrelerinin iyileştirilmesi/geliştirilmesi sayesinde akustik güç, enerji çevirimi, bant genişliği, algılama duyarlılığı gibi akustik sistemlerde ihtiyaç duyulan performans çıktıları kayda değer miktarda arttırılabilmektedir.



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B03.10 Akustik Tasarım	
	Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü	B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif B06.09 Akustik Algılayıcılar - Pasif	Bir bölgenin etrafındaki güvenlik tehdidi oluşturan ihlalleri ayırt etmek ve aynı zamanda bölgenin korunması ve insan, hayvan ve vasıta algılamasının yapılması için sensör tabanlı bir piezoelektrik çevre güvenlik sistemi önerilmektedir.

7.3.3 Değerlendirme ve Öneriler

Akustik OTAĞ, Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu (OÇG-2) kapsamında, OÇG-2 üyeleri tarafından teklif edilen Teknoloji Konu Önerileri üç farklı Ana Teknoloji Konusu Grubu altında toplanmıştır. Ana Teknoloji Konusu Grupları şu şekildedir: (i) Akustik Transdüserler; (ii) Akustik Dizinler; (iii) Transdüksiyon Malzemeleri. Ana Teknoloji Konusu Grupları altında sırasıyla, 8, 6 ve 6 Teknoloji Konu Önerisi değerlendirilmiştir. Teklif edilen her bir teknoloji konu önerisi için, teknoloji alternatifleri karşılaştırılmış, dünyada bu alandaki gelişmeler ile Türkiye'deki durum incelenmiştir. OÇG-2 Odak Grubu kapsamında değerlendirmeye alınan Teknoloji Konusu Gruplarıyla ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

Akustik Transdüserler:

Akustik transdüserler elektrik sinyalini akustik basınca veya akustik basıncı elektrik sinyaline dönüştüren aygıtlardır. Su altı akustiği için transdüserler vazgeçilemez bileşenlerden biridir.

Günümüzde su altı akustik uygulamaları için istenilen genel özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Düşük Frekans,
- Küçük Boyut,
- Yüksek Güç,
- Geniş Bant,
- Yüksek Hassasiyet ve Kararlılık.



Belirtilen özellikleri iyileştirmek temel hedef olup, bu şekilde denizaltı savunma harplerinde üstünlük sağlanmak istenmektedir. Su altında akustik sinyallerin oluşturulması veya algılanması amacıyla günümüzde 3 farklı fiziksel fenomen bulunmaktadır. Bunlar manyetostriktif, piezoelektrik ve fiberoptiktir. Bunlara ek olarak son dönemde MEMS tabanlı teknoloji kullanılarak üretilen sensörler de eklenebilir. Akustik transdüser gelişme ve inovasyon açısından incelendiğinizde malzeme ve tasarım açısından değerlendirilmesinde fayda vardır. Piezoelektrik malzemelerin bu alan içinde hala büyük yer kapsadığı, önümüzdeki yıllarda da piezoelektrik tabanlı yeni malzemelerle birlikte bu baskınlığın devam edeceği öngörülmektedir. Tek kristal ve dokulu piezoelektrik seramikler bu alanda kullanılabilecek diğer malzemelerdir. Manyetostriktif malzemelerin oluşturdıkları manyetik gürültünün yarattığı dezavantajdan ötürü marketteki kullanımları kısıtlanmaktadır. Tasarımda ise mekanik etkiyi farklı frekans aralıklarında artırabilmek ve böylece daha hassas sinyal eldesi/atımı sağlayabilmek amacıyla esnek tip kompozit yapılar kullanılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca vektör sensörlerde iki veya üç boyutlu algılama amacıyla geliştirilmektedir. Vektör sensör teknolojisi de kazanılması gerekli bir teknolojidir. Sentetik açıklıklı sonarlar da öneri konusu olarak getirilmiştir. Bu konuda da bant genişliği artırılmış sensörler geliştirilmektedir. Bant genişliğini artırmak sentetik açıklıklı sonarların geliştirilmesi için temel hedeftir. MEMS sensörlerin seri üretim olarak üretilibilmeleri için büyük yatırımlar gerekmektedir. Prototip olarak yapılacak çalışmalar sonrasında su altı akustik uygulamalarda denemeler gerçekleştirilebilir.

Akustik Dizinler:

Akustik dizin sistemleri aktif veya pasif sinyal elde etme için kullanılan gemiye monte veya bağımsız şekilde kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler adından da anlaşılacağı gibi lineer veya uzaysal koordinatların bilgi alabilecek şekilde tasarlanmış yapılardır ve dizilimli yapılardan oluşmaktadır. Bu sistemler deniz aracının gövdesine monte edilebilir veya çekili dizin ve serbest hareket edebilen veya deniz tabanına konumlandırılan sistemler olabilir. Dizin formatındaki üniteleri suyun içinde çekili veya taşıtların üzerinde konumlandırma imkanı bulunmaktadır. Deniz taşıtları üzerine konulan dizinler şu başlıklar altında toplanmaktadır: 1. Taşılı dizin, örneğin “flank”, “bow” ve “intercept” dizinler; 2. Çekili/Ağ dizinleri (gemilerin veya denizaltıların arkasından uzanan tek ve iki boyutlu dizinler). Örneğin Ağ dizini liman ve önemli tesisler etrafına kurulan, deniz üstü ve altında 2 boyutlu veya 3 boyutlu sistemlerdir. Bu tür dizinlerle su altı ve su üstü araçların konumlandırması kolaylıkla yapılabilmektedir. Dizin



oluşumu su altı ve üstü araçların koordinat sisteminde pozisyonlandırılabilmesi için son derece önemli oluşumlardır. Aktif çekili dizin sistemleri denizaltılar için gürültü sebebiyle genellikle kısıtlıdır. Su üstü gemilerde ise aktif/pasif sistemler birlikte kullanılabilir. Pasif çekili dizinler özellikle fırkateyn/korvetten daha küçük gemilerde kullanılabilir.

Bir diğer algılama sistemi sonoboylardır. Sonoboylar aktif/pasif algılamada sensör/sensör dizinlerine sahip denizaltı tespitinde kullanılan akustik algılayıcılardır. Sonoboy kompakt bir şekilde paketlenmiş elektronik ve mekanik parçalardan oluşur. Haberleşme için bir yüzeyi suyun dışında kalmaktadır. Diğer platformların aksine maliyet-etkin ve verimli ürünlerdir. Ayrıca dünyada bu sistemler içinde kendi gücünü kendisi üretebilen sistemlerle entegrasyon çalışmalarına da rastlanılmıştır.

Piezoelektrik tabanlı teknolojilerin yanı sıra fiber optik hidrofon (FOH) su altı akustik sensör üretimi, sinyal iletimi algılama aracı olarak kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyet, geniş dinamik aralık, küçük boyut, hafiflik, elektromanyetik girişime karşı bağışıklık ve büyük ölçekli dizilere kolaylık gibi çeşitli avantajlara sahiptir, bu nedenle FOH hakkında yapılan ilk çalışmalardan bu yana büyük ilgi görmüştür. Ayrıca elektriksel güç gereksinimi de çok düşüktür ve kayıpsız olarak uzun mesafelerde veri iletimi yapılabilir. FOH, su altı hedef tespiti, petrol ve doğalgaz arama, deprem denetimi dahil olmak üzere hem askeri hem de sivil alanlarda önemlidir. FOH'nin bugüne kadar deniz dibi sabit dizin, yedek dizin, yan dizin, şamandıra ve yer altı şamandıra gibi pek çok uygulaması vardır ve özellikle vektör sensör uygulamalarında kullanımının değerlendirilmesi uygun olacaktır. Fiber optik malzemelerle hidrofon dizinin geliştirilmesi çalışması da öneri olarak sunulmuştur.

Bir diğer dizin uygulaması önerisi ise sismik araştırma için kullanılabilecek hava tabancaları ve sismik araştırma için kullanılan dizilerin geliştirilmesi ile ilgilidir. Sismik araştırma sismik dalgaların incelenmesi ile jeolojik yapıların haritalandırılması için gerçekleştirilen, özellikle petrol ve doğalgaz aramalarında kullanılan bir yöntemdir. Türkiye, enerji piyasasındaki gücünü arttırmak ve enerji bağımsızlığı yolunda hızla ilerlemek için 3 sondaj gemisi ve 2 sismik araştırma gemisiyle Doğu Akdeniz ve Karadeniz'de çalışmaktadır. Sismik araştırma gemileri Barbaros Hayreddin Paşa ve Oruç Reis de Akdeniz'de araştırmalarına devam etmektedir. Oruç Reis Sismik Araştırma Gemisi 72 hava tabancasıyla 8 kilometre uzunluğunda 8 ayrı dizinle algılama yapmaktadır. Böylece deniz tabanı ve deniz tabanının altı 2 ve 3 boyutlu araştırılıp haritalanmaktadır. İki ve üç boyutlu sismik araştırma yapabilme özelliğine sahip ve denizin 8



kilometre altındaki jeolojik yapılar incelenebilmektedir. Bu konuda verilen konu önerilerinde “Gun Firing Sensor Module”, Yazılım, Sensörler üretilmesi hedeflenmektedir. Yedek ekipmanların ülkemizde üretimi hızlı temin ve uygun fiyatlarda gerçekleştirilebilir. Hava tabancalarının üretilmesi aşamasında mekanik ve elektronik birçok malzemenin ülkemizde var olduğu ve/veya üretilebileceği düşünülmektedir. Bu sebeple de ülkemiz açısından bir kazanım olacaktır.

Transdüksiyon Malzemeleri:

Su altında akustik sinyal oluşturma ve algılama amacıyla oluşturulan üç ana fiziksel olguya dayanarak çalışmaktadır. Bunlar manyetostriktif, piezoelektrik ve fiberoptiktir. Günümüzde manyetostriktif teknolojisi hassasiyeti ve manyetik alandan etkilenmesinden dolayı çok fazla tercih edilmemektedir. Günümüz teknolojisinde daha çok piezoelektrik ve fiberoptik tabanlı teknolojiler geliştirilmektedir. Savunma alanındaki akustik teknolojilerde genel amaçlar, hedef tespitinde hassasiyetin ve yön bulma kabiliyetinin artırılması, frekans bantlarının genişletilmesi ve derin sularda menzilin artırılması olarak belirlenmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda iki ana konfigürasyon öne çıkmaktadır. Bu konfigürasyonlardan ilkinde; akustik mevcut malzemeler kullanılıp cihaz ve aygıtların genel tasarımında değişikliklere gidilerek hassasiyet değerleri artırılmaya çalışılmakta, frekans bantları genişletilmekte, menzilleri artırılmaya çalışılmaktadır. İkinci konfigürasyonda ise mevcut ve tüm dünyada kullanılan tasarım ve yapılar kullanılıp yeni ve performans özellikleri en iyileştirilmiş malzemeler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Piezoelektrik malzemeler temelinde bakıldığında, mevcut PZT kompozisyonları olan ve çok kristalli bulk (yığın) Navy Tip I ve Navy Tip II malzemeler tüm dünyada kabul görmesine rağmen, performans özellikleri aygıt tasarımında yapılabilecek değişikliklerle artırılabilen malzemelerdir. Navy Tip I malzemeler transdüser ve projektör uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunların d_{33} değerleri 300 pC/N seviyesinde, relatif dielektrik sabite değerleri 1250, k_{33} elektromekanik dönüşüm katsayısı 0.55, tan kayıp değerleri % 0.6 değerinin altında iken mekanik kalite faktörü değeri 500 civarındadır. Navy Tip II malzemeler ise hidrofön ünitelerinde genellikle algılama amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bunların relatif dielektrik sabite değerleri 1750, elektromekanik dönüşüm katsayısı 0.60, mekanik kalite faktörü değeri 80, tan kayıp değerleri % 2 değerinin altında iken, d_{33} değerleri 450 pC/N seviyesindedir. Çok Kristalli malzemelerin faz dönüşüm sıcaklığı olan Curie sıcaklığı 300 °C civarlarındadır. Bunlar Amerikan Deniz Kuvvetleri MIL-STD 1376-B de yer alan ve tüm dünyaca kabul görüp



piezoelektrik malzeme üreticilerinin baz aldığı değerlerdir. Piezoelektrik malzeme teknolojisinde ise iki farklı malzeme yapı konfigürasyonu ön plana çıkmaktadır. Bunlardan ilki dünyada da revaçta olan ve uygulama alanlarında performansları son dönemde ölçülen tek kristal piezoelektrik malzemelerdir. Kompozisyonel seçenekleri ise birinci nesil PMN-PT, PZN-PT, İkinci nesil PIN-PMN-PT ve üçüncü nesil olarak bu kompozisyonların katkılanmış türevleridir. Tek kristal malzemelerin d_{33} değeri 1500-2500 pC/N, dielektrik sabite değeri 4000-5000, k_{33} elektromekanik dönüşüm katsayısı 0.9 civarlarındadır. Tek kristal piezoelektrik seramikler konusunda Amerika ve özellikle Çin Halk Cumhuriyeti'nden firmalar ve araştırma grupları verimli kristaller ve su altı akustik performansları konularında araştırmalar yapmaktadırlar. Maliyet etkin tek kristal üretimi için Modifiye Bridgman ve Katı Hal Kristal Büyütme gibi üretim teknikleri bazında da çalışmalar yapılmaktadır. Ancak tek kristallerin üstün elektromekanik performansları olmasına rağmen hem üretimi zor, zahmetli ve pahalı hem de faz dönüşüm sıcaklıkları PZT malzemelere oranla düşüktür. Bu nedenle alternatif olarak dokulu piezoelektrik malzemeler geliştirilmektedir. Dokulu piezoelektrik malzemelerin elektromekanik performansları tek kristallere oranla düşük olmasına rağmen üretimi daha ucuzdur. Dokulu piezoelektrik seramiklerin literatürde yer alan d_{33} değerleri 700 pC/N, relatif dielektrik sabite değeri, elektromekanik dönüşüm katsayısı 0.7 dir. Mekanik kalite faktörü ise 300 civarındadır. Ülkemizde de çeşitli araştırma grupları konu ile ilgili çalışmaktadırlar.

Fiberoptik teknolojisi ise son 10 yıllık dönemde özellikle vektör sensörlerle birlikte ön plana çıkmaktadır. Bu teknoloji kapsamında fiberoptik malzemelerin femtosaniye lazerler kullanılarak ızgara şeklinde dizinler oluşturulması konusunda bir araştırma önerisi verilmiştir. Su altı akustik uygulamalarda istenilen şekilde ve ölçüde dizinlerin oluşturulmasını sağlayan fiberoptik teknolojisinin dünyada savunma sanayii odaklı firmalar tarafından çalışıldığı bilinmektedir.

7.3.4 Sonuç

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, dünyada ve Türkiye'de endüstri eğilimleri açısından güncel ihtiyaçlara yönelik olarak 20 adet teknoloji konu önerisinde bulunulmuştur. Konu önerileri detaylı olarak irdelenmiş, ülkemiz ve dünyadaki gelişmeler ve eğilimler analiz edilmiştir. Önerilen teknoloji konu önerilerinin hepsi birbirinden kıymetli olup kazanılması aciliyet arz etmektedir. OÇG-2 kapsamında öne çıkan teknoloji konuları aşağıdaki gibidir:



- Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüseri
- Katı Hal Kristal Büyütme Tekniğiyle PMN/PT Tek Kristal Üretimi
- Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler
- Fiber Optik Hidrofon Dizini
- Fiber Bragg Grating Sensörler
- Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Sensör Vektör
- Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü
- Denizaltı Pasif Çekili Dizini

7.4 AKUSTİK SİNYAL/VERİ İŞLEME VE ELEKTRONİK ODAK ÇALIŞMA GRUBU

7.4.1 Genel Bilgi

Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu tarafından icra edilen çalışmalar neticesinde bu teknoloji alanındaki gelişmeler beş farklı teknoloji grubu altında incelenmiştir. Bu teknoloji konusu grupları şu şekilde sıralanabilir: Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme, Akustik Veri Füzyonu, Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme, Multi-statik, Yapay Zekâ Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme. Her bir teknoloji konusu grubu ayrı ayrı değerlendirilerek, öne çıkan teknolojiler detaylı olarak incelenmiştir.

Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme Teknoloji Konusu Grubu:

Su altı akustiği sinyal/veri ve görüntü işleme alanında birleştirilen teknoloji konu önerileri temel olarak sınıflandırıldığında, akustik konumlandırma (pozisyonlama) algoritmaları, akustik görüntüleme algoritmaları, hedef sınıflandırma ve yön kestirimine ilişkin algoritmalar ve sürekli aktif sonar sinyal işleme önerileri ön plana çıkmaktadır.

Akustik konumlandırma sistemleri ve bu sistemlere ilişkin akustik algoritmalar, GPS konumlandırma sistemlerinin faal olmadığı durumlarda, otonom su altı aracının lokasyonunun coğrafi enlem ve boylamının kestirilmesi, faal olduğu durumlarda da pozisyon kestirimine ek bilgilerin entegre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Akustik görüntüleme sistemleri, deniz tabanının haritalanması, deniz dip tabiatının belirlenmesi, deniz tabanındaki objenin tanımlanması ve sınıflandırılması amacıyla kullanılmaktadır. Görüntüleme amaçlı kullanılan sonar sistemleri aktif yayın yaparak elde ettikleri yankı sinyallerini işleyerek deniz tabanına ait veri ve bilgi edinmektedir. Teknoloji



konu önerilerinde bahsi geçen sentetik açıklı sonar ve yandan taramalı sonarlara ilişkin veri ve görüntü işleme algoritmalarıyla, deniz tabanına ait görüntülerin iyileştirilmesi beklenmektedir.

Görüntüleme sonarlarına yönelik teknolojiler, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, farklı sonar tiplerinde geniş ürün yelpazesinin bulunduğu, belli bir olgunluğa erişmiş teknolojilerdir. Sinyal ve veri işleme teknikleri üzerinde akademik ve askeri çalışmalar, elde edilen görüntülerin performansının artırılması ve işlem gücü maliyetlerinin düşürülmesi için geliştirilme sürecindedir.

Sürekli Aktif Sonar Sistemleri, darbe tekrar periyodunun tamamına yakın süresince aktif yayın yapıldığı en az bir verici ve bir alıcıdan oluşan, denizaltı savunma harbi amaçlı kullanılan, geniş bant genişliğine sahip ve uzun süreli dalga şekillerinin kullanıldığı sonar teknolojisidir. Sürekli Aktif Sonar Sistemlerinde, yayın yapılan dalga şekli tasarımı anlamında uzun süreli ve geniş bantlı sinyaller kullanılmaktadır. Geniş bantlı tasarım söz konusu olduğunda bu hem verici, hem de alıcı tarafındaki donanım ve sinyal işleme tasarım konularını etkilemektedir. Bu nedenle dalga şeklinin ve alıcı taraftaki sinyal işleme algoritmalarında geleneksel yöntemlere göre bir değişim adreslenmektedir. Uzun süreli ve geniş bantlı dalga şekillerinin kullanımı ile elde edilecek menzil ve çözünürlük kazançları, düşük kaynak seviyesi ihtiyacı, yakın menzil yansımaları neticesinde oluşacak güçlü çevresel yansıma (reverberasyon) sinyallerinin nispeten düşük saturasyon etkileri, aydınlatılan hedef süresinin artmasını müteakip tespit ve takip kabiliyetlerinin iyileşmiş olması, vb. dikkate alındığında, gelişmekte olan donanım sistemlerinin işlem kapasitelerinin de hızla azaltılmasıyla, bu konunun geleceğin muharebe ortamında üstünlük sağlaması beklenmektedir. Sürekli aktif sonar teknolojisi gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı ve prototip aşamasında olan bir teknolojidir.

Akustik tespit algoritmaları ile hedefe veya objeye yönelik kerteriz, mesafe, hedefin radyal hızı kestirilebilmektedir. Aralarında asal dizin yapısı ve seyrek sinyal işleme yardımlarıyla çalışılacak konular ile mevcut gelişmiş sonar sistemlerinin sağlayabildiği kerteriz çözünürlüğü, hedef ayrımı ve hedef sayısının ötesinde bir performans sağlanacağı öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, su altı akustik ortamda bulunan kaynakların yönünün kestirim hassasiyetinin artırılması için sıkıştırılmış algılama tekniklerinin kullanılması mümkündür. Bu kapsamda, akustik sensörlerin akıllı bir şekilde yerleştirilerek daha az sayıda almaç/göndermeç kullanılması, donanım maliyetlerinin azaltılması, yüksek çözünürlük ve hassasiyette geliş açısı kestirimi yapılması, tespit olasılığının artırılması sağlanabilecektir.



Akustik olarak elde edilen sinyaller yardımıyla oluşturulan görsellerde veya verilerde yapılacak olan hedef sınıflandırma algoritmaları önem arz etmektedir. Deniz platformlarının pervane, makine vb. kaynaklı akustik imzalarını ve operatörün anlamlandıramayacağı farklı öz niteliklerini girdi olarak kullanarak otomatik hedef sınıflandırması yapılmaktadır. Günümüzde hedef tanımlama ve sınıflandırma için kullanılan yöntemler genellikle kural tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemler operatörün anlamlandırabileceği akustik imzaları kullanarak güvenilir bir sınıflandırmaya imkân sağlamaktadır. Kullanılan istatistiksel yöntemler henüz doyuma ulaşmamış ve geliştirilmeye açıktır. Adaptif sinyal işleme yöntemleri halen gelişim aşamasındadır.

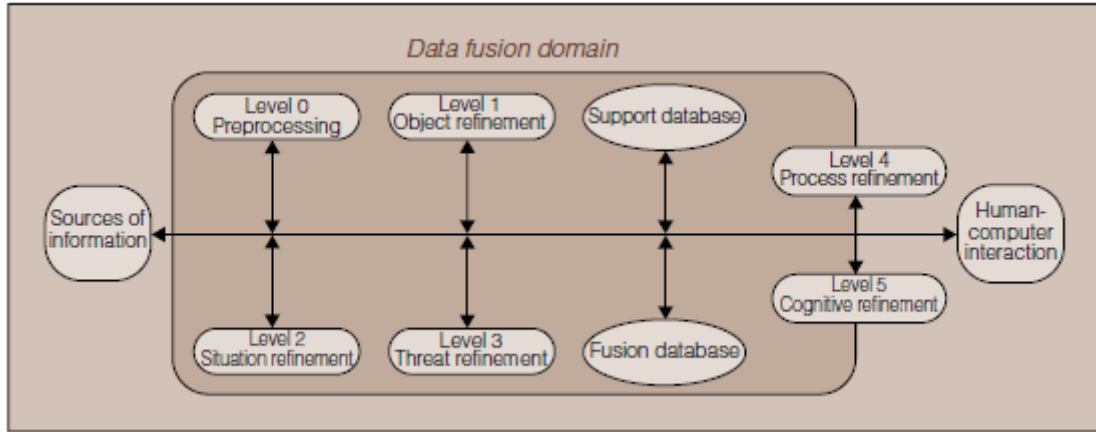
Su altından elde edilen görüntülerde çok daha etkin nesne sınıflandırması için günümüzde makine öğrenme yöntemlerinden de yararlanılmaktadır. Nesne tespiti için sonar ile elde edilen görüntüler üzerinde Makine Öğrenme algoritmalarına dayanan uygulamalar da geliştirilmektedir. Buna ek olarak su altındaki deniz canlılarının tespiti için de Konvolüsyonel Nöral Ağlar CNN tabanlı yöntemler üzerinde çalışmalar mevcuttur.

Makine öğrenmesi yöntemleri sonar sistemlerinin sadece bir kısmına değil mayın tespitten DEMON ve LOFAR algoritmalarına kadar geniş bir yelpazede uygulanmaya başlanmıştır. Mevcut sistemlerin operatör ünsiyetine kuvvetle bağımlı olan hataları, makine öğrenmesi algoritmalarının devreye girmesiyle minimize edilecektir. Sınıflandırmada mevcut kullanım konseptinin otomatik hale getirilmesi ile aynı anda çoklu sınıflandırma mümkün hale gelecektir.

Genel olarak incelendiğinde ise, akustik sinyal/veri ve görüntü işleme çalışmalarının askeri, ticari ve akademik olarak üzerinde çalışılan ve geliştirilen bir faaliyet olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Akustik Veri Füzyonu Teknoloji Konusu Grubu:

Veri Füzyonu, birçok sensör ve kaynaktan gelen veriyi birleştirerek, ortak ve bileşenlerinden daha kaliteli sonuç elde etme teknolojisi olarak tanımlanabilir. Zaman içinde teknolojiye ve kavramlarda oluşan gelişmelerle birlikte Veri Füzyonu daha kapsamlı ve geniş bir alana yayılmıştır.



Şekil 7.16 Veri Füzyonu Katmanları ve İlişkileri

Şekil 7.16’de Veri Füzyonu katmanları ile bunlar arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Veri Füzyonu işlemi için hem yerel hem de dağıtık sensörlerden gelen verinin işlenmesi söz konusudur. Bu süreç içinde üç farklı yaklaşımın güdülmesi söz konusu olabilmektedir. Birinci yaklaşımda sensörlerden gelen ham veriler toplanarak birlikte işlenmektedir. İkinci yaklaşımda sensörlerden gelen verilere ait özellik vektörleri çıkarılmakta ve bunlar füzyona tabi tutulmaktadır. Üçüncü yaklaşımda ise sensörlerden gelen veriler yerel olarak işlenmekte, üst seviye çıkarım ve kararlar alındıktan sonra ana merkezde füzyon işlemi ile ortak çıkarım yapılmaktadır.

Günümüzde geline teknolojik düzey nedeniyle savunma sanayiinde geliştirilen sistemlerin daha akıllı, arıza halinde işlevini sürdürebilen, dağıtık yapıda olması durumunda bunun avantajını kullanan, veri, ses, görüntü iletiminde konumdan bağımsız çalışabilen yapıda olması beklenmektedir. Bunun yanında çok farklı kaynaklardan sağlanan veri akışının düzenlenerek faydalı bilginin çıkarılması istenmektedir. Bu anlamda Veri Füzyonu gelişmiş sistemlerin ayrılmaz bir parçası olarak ortaya çıkmaktadır.

Değişik yaklaşımlar ve yöntemler olmasına karşın genel anlamıyla Veri Füzyonu kavramına alternatif bulunmadığı değerlendirilmektedir.

Veri Füzyonu konusunda uluslararası anlamda çok sayıda çalışma ve savunma sanayii ürünü bulunmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar ve geliştirilen ürünler özellikle son dönemde daha da artmıştır.

Özellikle yüksek teknoloji barındıran, karmaşık sistemlerin etkin kullanılabilmesi açısından bu çalışmaların önemi büyüktür.



Veri Füzyonu uygulamaları akustik alanda nispeten daha az bulunmaktadır. Bunun temel nedeni akustik alanda geliştirilen sistem yapılarının çoğunlukla kısıtlı taktik alan içinde uygulanması ve yerel olarak komuta edilmesidir. Buna karşın, özellikle su altı sistemlerde geniş alana yayılan sistem yapılarının ortaya çıkması ile birlikte Veri Füzyonu önem kazanmaya başlamıştır.

Veri Füzyonunun savunma sanayii içindeki uygulamalarının çoğu gizlilik içerdiğinden, bu teknolojinin savunma sanayiindeki pazar payını tahmin etmek kolay değildir. Bununla birlikte önemli bir teknoloji ve birim oluşturması açısından pazar payının yüksek olacağı değerlendirilmiştir.

Veri Füzyonu konusunda ülkemizde yürütülen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle son dönemde önem kazanan Büyük Veri teknoloji konusunun ortaya çıkması ile birlikte, veriden etkin ve anlamlı bilginin ayrıştırılması amacıyla Veri Füzyonu çalışmaları hızlanmıştır. Bununla beraber savunma sanayiinde bu teknolojinin kullanıldığı ürünlerin oldukça az olduğu değerlendirilmiştir.

Ülkemizde bu konuda yapılan kısıtlı sayıdaki çalışmanın bir kısmı üniversitelerde, diğer bir bölümü de firmalarda yürütülmektedir. Özellikle Büyük Veri ile ilgili çalışan firmalar, veri füzyonunun bazı basamaklarını gerçekleştirmek durumunda kalmaktadır. Buna karşın bu çalışmalar temel olarak uygulamaya bağlı olarak şekillenmekte, temel olarak üzerinde çalışılan problemde ihtiyaç duyulan Veri Füzyonu katmalarının gerçekleştirilmesi üzerinde durulmaktadır.

Ülkemizde halen bu alanda kısıtlı sayıda personel mevcuttur. Buna ek olarak bu teknolojinin tüm katmalarının geliştirildiği bir ürün bulunmaması nedeniyle teknolojiye hâkimiyet de kısıtlıdır. Bu çerçevede bu alanda hem eğitim hem de pratik açılarından önemli bir eksiklik bulunmakta ve giderilmesi için gerekli desteklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme Teknoloji Konusu Grubu:

Büyük Veri, Yüksek Hacim, Hız ve Çeşitlilik ile karakterize edilen, değere dönüştürülmesi için spesifik teknoloji ve analitik yöntemler talep eden kuruluşlar için önemli bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. Akustik Veri İşleme de, anlamlı ve yüksek akustik veri performansı seviyesi elde edilebilmek için bu paradigma değişiminin içinde yer almaktadır.



Akustik verinin yönetimi, dijital sinyal işleme yöntemleri, akustik verinin sınıflandırması ve işlenmesi için kullanılan derin öğrenme yöntemlerinin bulut tabanlı platform servisleri ile yönetilmesi; raporlama ve analiz çözümlerinin daha kolay geliştirilmesi, kurulması ve entegre edilmesini sağlayan düşük maliyetli ve kolay devreye alınmasını sağlayan bir yol sunmaktadır. Büyük Veri Yönetimi, dijital sinyal işleme, derin öğrenme platformları (PaaS), bulut teknolojilerinin hizmet olarak altyapısında (IaaS) yer alan temel bileşenlerden yararlanmaktadır. Akustik verinin bulut tabanlı işlenmesi, farklı katmanlarda yer alan uygulamaların, birbiriyle entegre çalıştığı ölçeklenebilir, yüksek erişilebilir ve artırılmış bir işlevsellik sunmaktadır.

Akustik verileri içeren, su altı kümeleri, yüzey gemileri, su altı robotları gibi çok sayıda heterojen cihazın büyük miktarda su altı algısal veri ürettiği bilinmektedir. Bu verilerden bilginin çıkarılması, bulut, fog ve edge bilişimi kullanan hızlı ve doğru karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir.

Bulut bilişim, kullanıcının yönetim yükünü azaltan, hizmet sağlayıcı etkileşimi ile yönetilebilen ve paylaşılan yapılandırılabilir bilgi işlem kaynakları ve platform servisleri havuzuna her yerden, uygun, isteğe bağlı ağ erişimi sağlayan bir entegrasyon sağlamaktadır. Ölçeklenebilir bir altyapı sunan bulut bilişim, basit hatalara karşı yüksek erişilebilir, eş zamanlı çok sayıda kullanıcının çalışmasını sağlayan, hizmet alan kullanıcıların kaynaklarını yönetmesini ve konumlar arası kolay veri paylaşımı ile servislerin birbiriyle entegre çalışmasını sağlamaktadır. Coğrafi konumdan bağımsız kümelerin tek bir altyapı üzerinde işlenmesine olanak sağlayan bulut bilişim altyapısı, yapay zekâdaki makine öğrenimi algoritmaları, nesne hedefleme, olay algılama, veri iletimi, ağ güvenliği ve hizmet kalitesi gibi toplanan akustik büyük verinin çeşitli zorluklarını çözmektedir.

Akustik veri dahil diğer veri kaynaklarının bulut tabanlı yönetilmesine yönelik gelişmiş ülkelerin bir çoğunun yürüttüğü projeler bulunmaktadır. Bulut tabanlı akustik büyük veri işlemeye yönelik araştırma geliştirme faaliyetleri, akustik veri dâhil farklı sensör veri kaynaklarının bir arada işlenerek anlamlı hale getirilmesini yönelik yürütülen projeler ile belli bir olgunluğa erişmiş teknolojilerdir. Yakın geleceğin teknolojileri olan bulut bilişim, büyük veri, dijital ikiz, yapay zekânın akustik verilerin anlamlı hale getirilmesi için kullanımı, gelişmiş ülkelerin aktif olarak yürüttüğü projeler içinde yer almaktadır.



Bulut tabanlı büyük veri ortamındaki akustik verilerin, toplanan diğer sensör verileri ile gerçek zamanlı işlenmesi, denizlerin dijital ikizinin çıkartılmasının ilk fazı olarak değerlendirilmektedir. Gerçek zamanlı oluşturulan deniz ve okyanusların dijital ikizleri taktik sahada ülkelere stratejik bir avantaj sağlayacaktır.

Avrupa Komisyonu, Avrupa Savunma Sanayii Geliştirme Programı aracılığıyla denizde insansız yarı sabit platformlardan yararlanarak Deniz Gözetimi geliştirmek için bir sistem geliştirilmesine karar vermiştir. Taktik sahada bulut tabanlı akustik ve diğer sensör verilerinin işlenmesi için gerçekleştirilen projeye, Avrupa Komisyonu, Avrupa Savunma Sanayii Geliştirme Programı tarafından ayrılan bütçe 19.469.000 Euro'dur. Benzer projelere Birleşik Krallık, ABD, Fransa, Japonya, Çin, Kanada gibi ülkelerinde yöneldiği dikkate alındığında pazar payı her geçen gün artmaktadır.

Ülkemizde askeri ve sivil amaçlı sensör üreticileri, bulut bilişim teknolojileri, büyük veri ve yapay zekâ alanında faaliyet gösteren kuruluşlar, araştırma merkezleri ve üniversiteler, sahada uygulanacak ürünleri geliştirecek kabiliyete sahiptir.

Bulut bilişim teknolojilerinin farklı katmanlarında geliştirildiği ürünler bulunmaktadır. Taktik bulut uygulamalarının “cloud native” olarak geliştirilmesine yönelik faaliyetler devam etmektedir. Akustik Sınıflandırma ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir.

Üç tarafı denizler ile çevrili ülkemizin denizlerden topladığı akustik sensör verisini, diğer sensör verileri ile büyük veri ortamında yapay zekâ destekli matematiksel modeller kullanarak analiz edilmesini sağlayan Sistem; Mavi Vatan Dijital İkizi'nin çıkartılmasında gerekli altyapıyı oluşturacaktır. Komuta Kontrol, Muhabere, Bilgisayar, Savaş Sistemleri, İstihbarat, Gözetleme, Hedef Tespiti ve Keşifte kullanılan servisler ve Sistem Entegrasyonu Bulut Bilişim altyapısı ile sağlanacaktır.

Coğrafi konumdan bağımsız akustik sensör kümelerinin, bulut tabanlı platform üzerinde bir araya getirilerek işlenmesi, gemilerin doğrudan gözlemlemenin yanı sıra, sensör çeşitliliğinin ileri veri işleme teknikleriyle analiz edilmesi ile denizaltı operasyonları sırasında önemli olan sıcaklık, okyanus tuzluluğu ve ortam su altı gürültüsü gibi değişkenler de ölçebilecektir.

Multi-Statik Teknoloji Konusu Grubu:

Çoğu sonar sistemi, verici ve alıcının aynı yerde olması nedeniyle tek yerleşimli (monostatik - TY) yapıdadır. Çift Yerleşimli (bistatik - ÇiY) veya Çok Yerleşimli (multistatik - ÇoY) sonar,



verici(ler) ve alıcı(ları)nın hedefe olan menzille karşılaştırılabilecek kadar büyük bir mesafe ile birbirlerinden ayrıldığı durumu açıklamaktadır.

ÇoY Sonar, deniz sahasında bulunan platformlara ait alıcı ve verici sonar ekipmanlarının veri füzyonu yetenekleriyle bütünleşik olarak çalışabilmesini sağlayan bir Denizaltı Savunma Harbi (DSH) konseptidir. Sahada bulunan sonarlar daha önceden belirlenen standartlara uygun ÇiY sonar operasyonu protokolüne uygun şekilde akustik ham veri, işlenmiş veri, hedef tespit ve takip çıktısı gibi kritik bilgileri Savaş Yönetim Sistemleri'nin oluşturduğu ağ üzerinden paylaşırlar. Paylaşılan bu bilgiler sayesinde TY sonar operasyondaki kapsama alanlarını genişleterek, daha etkin ve güvenilir bir gözetim yeteneği ortaya koyulabilir.

ÇoY sonar konseptinin etkin kullanılmasıyla kapsama alanının genişletilmesinin yanında daha az kaynakla daha etkin gözetim sağlanması da mümkün olabilir. Ayrıca TY sonar ile karşılaştırıldıkları zaman alıcının pasif olarak gizli çalışması, elektronik karşı önlemlere karşı artan direnç, geometrik etkiler nedeniyle hedefin muhtemel yüksek kesit alanı, uzun menzilde tespit imkânı, mevcut sonar sistemleri ile beraber kullanılabilmesi gibi avantajlara sahiptirler.

ÇoY sonar sistemleri ile ilgili yapılan araştırmalar neticesinde erişilebilen geliştirilmekte olan ürünlerin daha çok akademik seviyede olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte, Thales (Fransa) ve Atlas (Almanya) firmaları, bu teknolojiyi yakın gelecekte mevcut sistemlerine entegre edeceğine dair bilgiler paylaşmışlardır.

Firmalarda çalışan yetişmiş insan gücünün, bu alana yönlendirilmesinin önemli olduğu değerlendirilmektedir. ÇoY sonar teknolojisinin geliştirilmesi kapsamında Sürekli Aktif Sonar (CAS), iz bütünleştirme ve veri bütünleştirme gibi yardımcı alanlarda akademik çalışmaların ve araştırmaların yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapay Zekâ Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme Teknoloji Konusu Grubu:

Akustik hedeflerin doğru bir şekilde sınıflandırılması sonar sistemlerinin geliştirilmeye başlandığı günden itibaren mevcut olan temel bir ihtiyaçtır. Bu doğrultuda günümüzde genellikle kural tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Operatörün anlamlandırabileceği öznitelikler kullanılarak yapılan kural tabanlı hedef sınıflandırma yöntemleri halen gelişmeye açık olan ve doyuma ulaşmamış istatistiksel ve adaptif sinyal işleme yöntemlerini kullanmaktadır. Bu yöntemlerin sadeliği su altı gibi ciddi karmaşıklık ve çeşitliliğe sahip olan



bir ortamda bile güvenilir bir sınıflandırmaya elvermekte ve operatöre sınıflandırmaya müdahil olma imkânı sağlamaktadır.

Genel olarak sınıflandırma algoritmalarında makina öğrenmesi yöntemlerinin çoğu algoritmaya nüfuz ettiği gözlemlenmektedir. Örneğin görüntü işleme algoritmalarında derin öğrenme yöntemleri artık altın standart kabul edilmekte ve etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu noktada akustik hedeflerin sınıflandırılmasında da makina öğrenmesi yöntemlerinin kullanılması kaçınılmazdır. Makine öğrenmesi yöntemleri sonar sistemlerinin sadece bir kısmına değil mayın tespitten DEMON ve LOFAR algoritmalarına kadar geniş bir yelpazede uygulanmaya başlanmıştır. Son yıllarda akustik uygulama özelinde geliştirilen derin öğrenme ve hedef sınıflandırma algoritmalarının geleneksel yöntemlere üstünlüğü ispatlanmaya başlamıştır.

Mevcut gelişmelere ve denizdeki kullanımına ek olarak, akustik hedef sınıflandırma algoritmalarının yeryüzünde ve medikal alanda kullanımı da göz ardı edilmemelidir. Örneğin askeri teknolojilerde kullanılan RPG benzeri çoğu silah akustik birer kaynaktır ve bu seslerin sınıflandırmasında derin öğrenme yöntemleri kullanılmaktadır. Biyoakustik analiz ve telekomünikasyon sistemleri de yine bu tip yöntemlerin kullanıldığı bazı alanlardır.

Sonuç olarak, hedeflerin akustik imza bilgilerini kullanarak kural tabanlı yöntemler, makine öğrenmesi yöntemleri ve istatistiksel yöntemler ile yapılacak otomatik sınıflandırma sonar operatörünün yükünü azaltacak ve karar destek sistemi olarak faaliyet gösterecektir.

Türkiye’de akustik hedeflerin sınıflandırmasıyla alakalı bir teknoloji bulunmamaktadır. Akustik hedef sınıflandırma, akademide de çok kısıtlı şekilde çalışılmaktadır.

Denizlerde oluşan anomalilerin veya önceden belirlenmiş davranış kalıplarının tespiti durumsal farkındalığın artırılması ve olası tehditlerin tespit edilmesi açısından kritik bir görevdir.

Literatürde AIS (Automatic Identification System) verileri kullanılarak büyük data ve makine öğrenmesi teknikleri ile deniz trafiğinin çıkarılması, gemi rotası tahminleri ve anomalilerin tespit edilmesine yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir. AIS kullanılarak elde edilen modellerin mevcut akustik ve akustik olmayan sensörlerden gelen veriler ile birlikte kullanılması yeni bir yaklaşım olarak görülmektedir. Toplanan AIS verilerinden makine öğrenmesi ile elde edilecek sınıflandırma, trafik haritası, rota tahmini modelleri farklı sensör verileri ile birlikte kullanılarak denizlerdeki durumsal farkındalığın (ing. Maritime Situational Awareness) artırılması sağlanacaktır.



Bu çalışmalara ait sonuçların, deniz platformlarında yer alan savaş yönetim sistemlerinde karar destek sistemleri olarak kullanılabilir. Bunun dışında gözetleme/keşif ihtiyacı ile geliştirilen otonom su üstü araçlarının tespit, teşhis, karar verme, rota planlama algoritmalarının geliştirilmesi kapsamında da kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Makine öğrenmesi ile taktik resim oluşturulması, ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ürünlerin ticari olmadığı teknolojidir. Akademik olarak ve NATO araştırmaları kapsamında üzerinde çalışılan bir konudur.

Ülkemizde, üniversitelerde, savunma sanayii şirket ve kurumlarında mevcut insan kaynağı teknolojiyi geliştirme konusunda yeterlidir. Laboratuvar, araştırma merkezi, cihaz, yazılım gibi altyapıları yeterlidir. Akustik ve akustik olmayan veri toplanması gerekmektedir.

Su altı akustik ortamda bulunan kaynakların yönünün kestirim hassasiyetinin ve tespit performansının artırılması için akustik sensörlerin akıllı bir şekilde yerleştirilerek daha az sayıda almaç/göndermeç kullanılması, donanım maliyetlerinin azaltılması, yüksek çözünürlük ve hassasiyette geliş açısı kestirimi yapılması, tespit olasılığının artırılması sağlanabilecektir.

Makine öğrenmesi ile tespit için radar ve sonar kapsamında literatürde çalışmalar olsa da, güncel olarak bilinen bir sisteme entegre olarak kullanılmamaktadır.

7.4.2 Teknoloji Konuları

Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda elde edilen teknoloji konuları Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3 Odak Çalışma Grubu-3 Teknoloji Konuları

TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme	Akustik Sensör ile Gerçek Zamanlı Arazi Tabanlı Hassas Konumlandırma	B07.01 Seyrüsefer Sistemleri A11.02 Arazi Bilimi B06.08 Akustik Algılayıcılar - Aktif	Su altı araçlarında; GPS bağlantısı olmadığında veya GPS ile konum düzeltmesi yapılamadığında, "Multibeam Echosounder" kullanılarak yüksek hassasiyette konum kestirimi yapabilme imkânı ve



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			batimetrik arazi haritalama yeteneği sunmaktadır.
	Aralarında Asal Dizinlerle Süper Çözünürlüklü Geliş Yönü Kestirimi	B06.08 Akustik Algılayıcılar – Aktif	Aralarında asal dizin yapısı ve seyrek sinyal işleme ile mevcut gelişmiş sonar sistemlerinin sağlayabildiği kerteriz çözünürlüğü, hedef ayrımı ve hedef sayısının ötesinde bir performans sağlayacaktır. Daha az sensör ile daha fazla hedefin tespitini mümkün kılmaktadır.
	Görüntüleme Sonarları İleri Sinyal ve Görüntü İşleme Teknikleri	A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi A09.04 Görüntü/Desen İşleme Teknolojisi	Yandan taramalı sonarlar ve sentetik açıklıklı sonarların kullanılmasıyla su altı ortamına ait görüntü oluşturulması ve askeri ve sivil çeşitli sınıflardaki su altı hedeflerinin otomatik tespit ve teşhisi amaçlanmaktadır.
	Otomatik Akustik İmza ve Öznitelik Çıkarımı	B05.06 Akustik İzler	İstatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi ile pervane, makine ve platform üzerindeki diğer teçhizatlar ilişkin akustik gürültüler otomatik olarak kestirilerek hedef akustik imzaları ve öznitelikleri için yüksek doğruluk sağlanacaktır. Operatör ünsiyetine dayalı mevcut kullanım konseptinin otomatik hale getirilmesi ile elde edilecek akustik imzaların ve özniteliklerin iyileştirilmesi sağlanacak, aynı anda çok sayıda hedefe ilişkin akustik imzaların çıkarılması imkânı kazanılacaktır.



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Sıkıştırılmış Algılama Teknikleri ve Yenilikçi Sensör Mimarileri ile Su Altı Akustik Tespit ve Yön Kestirimi	A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi	Su altı akustik ortamda bulunan kaynakların yönünün kestirim hassasiyetinin artırılması için sıkıştırılmış algılama tekniklerinin kullanılması önerilmektedir. Bu kapsamda, akustik sensörlerin akıllı bir şekilde yerleştirilerek daha az sayıda almaç / göndermeç kullanılması, donanım maliyetlerinin azaltılması, yüksek çözünürlük ve hassasiyette geliş açısı kestirimi yapılması, tespit olasılığının artırılması sağlanabilecektir.
	Sürekli Aktif Sonar İleri Sinyal ve Veri İşleme Teknikleri	A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi	Uzun süreli ve geniş bantlı dalga şekillerinin kullanımı ile elde edilecek menzil ve çözünürlük kazançları, düşük kaynak seviyesi ihtiyacı, yakın menzil yansımaları neticesinde oluşacak güçlü çevresel yansıma (reverberasyon) sinyallerinin nispeten düşük saturasyon etkileri, aydınlatılan hedef süresinin artmasını müteakip tespit ve takip kabiliyetlerinin iyileşmesi sağlanabilecektir.
	Yandan Taramalı Sonar Görüntülerinden Mayın Tespiti	B01.06 Mayın Tespiti ve Temizliği	Aktif sonar kategorisindeki Yandan Taramalı Sonarlar (Side Scan Sonar – SSS) ile elde edilen görüntülerin Active Learning algoritması ile çalışıldığında, elde edilen görüntülerdeki nesnelerin mayın olup olmadığına, görüntülerdeki parlaklık ve bu parlaklığın arkasında oluşan gölgesine bakılarak karar



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			verilmektedir. Daha düşük frekanslı sonar görüntüleri ile mayınlar, görüntülerde yarattığı parlaklıklar ve arkasında bıraktıkları gölgelerden tespit edilebilmektedir.
	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Donanım)	A05.08 Akustik Güç Yükselteçleri ve Cihazları A05.16 Elektronik Bileşen Teknolojileri A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi A09.04 Görüntü/Desen İşleme Teknolojisi A01.06 Yapısal Malzemelerin Tahribatsız Muayenesi ve Ömürlerinin Uzatılması	Ultrasonik Tabanlı Tahribatsız Muayene (NDT), malzemelerin, bileşenlerin ve düzeneklerin/yapıların gerçek zamanlı inceleme yeteneği ile makul bir maliyetle incelenmesi, test edilmesi ve değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan ve iyi kurulmuş bir girişimsel olmayan bir tekniktir. Yüksek voltajlı darbe üretici (pulser), ultrasonik görüntüleme sisteminin kritik bileşenidir. B-Scan ve C-Scan gibi görüntüleme modları farklı özelliklerde çeşitli darbe formlarını gerektirir. Görüntüleme modları, yüksek eksenel çözünürlük elde etmek için geniş bant genişliğine sahip farklı formlarda ultrasonik sinyaller gerektirir. Örneğin, Doppler görüntülemeye akış bilgisi elde etmek için darbe dizisine ihtiyaç duyulur. Yüksek frekanslı bipolar darbeler kalın veya zayıflatması yüksek olan malzemelerin through-transmission analizinde kullanılır. Spike işareti ise genellikle ince malzemelerin kalınlık ölçümünde veya pulse-echo analizinde yüksek frekans ve geniş bant da kullanılır.



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Gömülü Yazılım)	A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi A05.16 Elektronik Bileşen Teknolojileri	Yüksek frekanstaki ultrasonik ses dalgalarının sayısallaştırılabilmesi için yüksek hızda örnekleme oranına sahip yapılar kullanılmalıdır. Nyquist teoreminden de bilindiği üzere işlenecek sinyalin en az iki katı hızda örnekleme yapılması gerekmektedir ($f_{\text{sample}} > 2f_{\text{sinyal}}$). Teoride iki katı olarak alınan bu oran pratik uygulamalarda genelde dört kat olarak uygulanır. Örnekleme hızının frekansı sinyal frekansının iki katından büyük olmadığı durumda işlenen sinyal bozulmaya başlar. Genelde yüksek frekanslarda uygulanan ultrasonik ses dalgalarının yansıyanlarını yakalamak için yüksek hızda veri örnekleme oranına sahip sayısallaştırıcı yapılar kullanılmak zorundadır. Sayısallaştırma ünitelerinde kullanılan ADC birimlerinin bit sayısı verinin doğruluğunu ve çözünürlüğü etkiler. Sayısallaştırmadaki bit sayısının yüksek olması daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlar. Yüksek hızda örnekleme ve bit sayısının fazlalığı büyük miktarlarda verinin oluşumuna sebep olur. Bu verilerin işlenmesi için yüksek hızlı sayısal elemanlara ihtiyaç duyulur. Veride kayıp olmadan işleyebilmek için CPLD, Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) gibi paralel işlem



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			yetenekleri gelişmiş sayısal elemanlar kullanılır.
	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Grafiksel Arayüz)	A09.04 Görüntü/Desen İşleme Teknolojisi B07.05 Görüntü Sistemleri Teknolojileri	Hedef ultrasonik muayene cihazına entegre şekilde çalışabilecek bilgisayar yazılımı geliştirmektir. Bu yazılım ile malzemeden yansıyan sinyallerin izlenmesi, cihazın muayene ayarlarının (Darbe Frekansı, Ultrasonik Yöntem, Darbe Tekrar Frekansı, Darbe Genişliği, Darbe Sayısı, Darbe Genliği, Darbe ve Okuma Kanalı Seçimi, Kuvvetlendirici Seviyesi, Örneklem Frekansı) yapılması ve muayenesi yapılan malzemenin A-Scan ve C-Scan görüntülerinin elde edilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda malzemenin muayenesi sonucu oluşan ham verilerin veritabanına kaydedilerek veriler üzerinde kusur boyutu, konumu ve derinliğinin tespiti gibi analizlerin ve yapay zekâ tabanlı kusur sınıflandırmasının yapılması hedeflenmektedir.
	Su Altı Otomatik Hedef Tanıma	A05.18 Akustik Cihaz Teknolojileri A05.12 Cihazlar ve Elektromekanik Yapılar A05.1202 Cihaz Paketleme	İnsansız araçlarla elde edilen Sonar görüntülerini kullanarak su altındaki cisimleri otomatik olarak tanıma teknolojisini geliştirmeyi kapsamaktadır. Hedeflenen teknoloji, yüksek çözünürlümlü Yandan Taramalı Sonar, Sentetik-Açıklıklı-Sonar ve “Multi-Beam-Sonar” gibi sistemlerle elde



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		A09.01 Veri & Bilgi Yönetimi Teknolojisi A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi, A09.04 Görüntü/Desen İşleme Teknolojisi	edilen su altındaki cisimlerin akustik görüntülerini kullanarak bu cisimleri veri tabanındaki görüntüleri kullanarak, otomatik olarak tanımayı sağlayacaktır. Bu teknoloji konu önerisi aşağıdaki teknolojileri bir araya getirmektedir: • Tanınmak istenen cisimlerin 3 boyutlu akustik görüntülerinden oluşan bir veri tabanı oluşturmak. • 2 boyutlu Sonar görüntülerini, 3 boyuta dönüştürmek. • Otomatik yüz tanıma tekniklerini kullanarak yapay zekâ ve makine öğrenimi ile akustik görüntülerini veri tabanındaki görüntülerle karşılaştırarak cisimleri sınıflandırmak.
Akustik Veri Füzyonu	Havan ve Top Atış Tespiti İçin Akustik ve Sismik Sensör Füzyonu	A09.08 Bilgi ve Veri Füzyon Teknolojisi	Havan/top atışlarının düşük maliyetli ve etkin bir çözüm ile tespit edilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Havan/top atışlarının tespiti sırasında akustik ses dalgalarının yanında, havan atışının zeminde yarattığı sismik dalgaların kullanımı ile daha hassas kestirim imkânı olduğu anlaşılmaktadır. Dağıtık yapıda yerleştirilmiş akustik ve sismik alıcılarla havan/top atışlarının yerlerinin kestirilmesi yapılabilmektedir. Dağıtık yapıdaki sensör noktalarına yerleştirilen alıcı birimlerden alınan verilerinin Veri Füzyonu ile birleştirilmesi bu sistem yapısının etkinliğini artıracaktır. Veri



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			Füzyonu teknolojisi bilginin birleştirilmesinin ötesinde sahaya ait operasyonel görüntünün etkin bir şekilde elde edilebilmesi imkânı verir. Bu teknoloji, akustik ve sismik sensörlerin etkin bir şekilde kullanılması ve sahadaki tehdit unsurlarının kullanıcıya en uygun şekilde sunulması imkân ve kabiliyetini oluşturur.
Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Bulut Tabanlı Yapay Zekâ Destekli Büyük Veri Yönetim Sistemi	A09.02 Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi A09.08 Bilgi ve Veri Füzyon Teknolojisi	Akıllı şamandıralar geniş alanlarda nesnelerin tespiti, takibi ve oşinografik fenomenlerin karakterizasyonu için yeni düşük maliyetli çevresel algılama ve deniz gözetim misyonu sağlamaktadır. Geliştirilecek sistemin amacı, çevresel ve antropojenik aktiviteyi toplayıp analiz ederek bir oşinografik bölgeyi karakterize etmek için uygun maliyetli düşük çevresel etki programı geliştirerek donanmanın meteoroloji, oşinografi ve algılama alanındaki veri toplamasını ilerletmektir. Geliştirilen sistem dağıtılmış bir sensör ağından bölgesel, çok değişkenli, yüksek çözünürlüklü, gerçek zamana yakın bir simülasyonun için ihtiyaç duyulan verinin toplanmasına imkân sağlayacaktır. Toplanan verilerinin birincil kullanıcısı başlangıçta Donanma olacaktır, ancak verilerin



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			kamu kurumları ve araştırma kurumları tarafından hava tahmini, deniz sirkülasyon modellerinin kalibre edilmesi, gemi trafiğinin izlenmesi ve yönetimi gibi amaçlar için de kullanılabilir.
Multi-Statik	Multistatik Sonar	A09.08 Bilgi ve Veri Füzyon Teknolojisi	Multistatik Aktif Sonar, deniz sahasında bulunan platformlara ait alıcı ve verici SONAR ekipmanlarının veri füzyonu yetenekleriyle bütünleşik olarak çalışabilmesini sağlayan bir Denizaltı Savunma Harbi konseptidir. Sahada bulunan SONAR'lar daha önceden belirlenen standartlara uygun Multistatik Sonar Operasyonu protokolüne uygun şekilde akustik ham veri, işlenmiş veri, hedef tespit ve takip çıktısı gibi kritik bilgileri Savaş Yönetim Sistemleri'nin oluşturduğu ağ üzerinden paylaşırlar. Paylaşılan bu bilgiler sayesinde monostatik (tekil sonar) operasyondaki kapsama alanlarını genişleterek, daha etkin ve güvenilir bir gözetim yeteneği ortaya koyulabilir. Multistatik Sonar konseptinin etkin kullanılmasıyla kapsama alanının genişletilmesinin yanında daha az kaynakla daha etkin gözetim sağlanması mümkün olabilmektedir.



TEKNOLOJİ KONU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Yapay Zekâ Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Akustik Hedef Sınıflandırma	A09.06 Optimizasyon ve Karar Destek Teknolojisi B05.06 Akustik İzler	Hedeflerin akustik imza bilgilerini kullanarak makine öğrenmesi ve istatistiksel yöntemler ile yapılacak otomatik sınıflandırma sonar operatörünün yükünü azaltacak ve karar destek sistemi olarak faaliyet gösterecektir.
	Makine Öğrenmesi ile Taktik Resim Oluşturulması	C07.13 Komuta Kontrol Bilgi Yönetimi B09.04 Operasyonel Sistemlerdeki Robotik ve Otomatik Sistemler B10.12 Optimizasyon, Planlama ve Karar Destek Sistemleri	Makine öğrenmesi ile elde edilecek sınıflandırma, trafik haritası, rota tahmini modelleri farklı sensör verileri ile birlikte kullanılarak denizlerdeki durumsal farkındalığın artırılması sağlanacaktır.
	Makine Öğrenmesi Teknikleri ve Yenilikçi Sensör Mimarileri İle Su altı Akustik Tespit ve Yön Kestirimi	A09.02 - Dijital Sinyal İşleme Teknolojisi	Su altı akustik ortamda bulunan kaynakların yönünün kestirim hassasiyetinin ve tespit performansının artırılması için makine öğrenmesi kullanılması önerilmektedir. Bu kapsamda, akustik sensörlerin akıllı bir şekilde yerleştirilerek daha az sayıda almaç / göndermeç kullanılması, donanım maliyetlerinin azaltılması, yüksek çözünürlük ve hassasiyette geliş açısı kestirimi yapılması, tespit olasılığının artırılması sağlanabilecektir.



7.4.3 Değerlendirme ve Öneriler

Akustik OTAĞ, Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu kapsamında, grup üyeleri tarafından teklif edilen Teknoloji Konu Önerileri gruplanarak, beş farklı Teknoloji Konusu başlığı altında toplanmıştır. Teknoloji Konusu Grupları şu şekildedir:

- (i) Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme,
- (ii) Akustik Veri Füzyonu,
- (iii) Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme,
- (iv) Multi-statik,
- (v) Yapay Zekâ Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme.

Teknoloji Konusu Grupları altında, sırasıyla birinci gruba ait on bir, ikinci, üçüncü ve dördüncü gruplara ait birer ve beşinci gruba ait üç adet Teknoloji Konusu Önerisi değerlendirilmiştir. Teklif edilen her bir teknoloji konu önerisi için, teknoloji alternatifleri karşılaştırılmış, dünyada bu alandaki gelişmeler ile Türkiye'deki durum incelenmiştir. Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu kapsamında değerlendirmeye alınan Teknoloji Konusu Gruplarıyla ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır:

Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme:

Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme Teknolojisi alanında, akademik ve ürün geliştirmeye yönelik sinyal ve edinilen verileri işlemek adına yapılan çalışmalar açık literatür yardımıyla gözlemlenebilmekte; Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme Teknolojisi'nin ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ticari ürünlerin olduğu bir alan olduğu görülmektedir.

Akustik OTAĞ çalışmaları çerçevesinde Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme başlığı altında incelenen teknoloji konu önerilerinin çok büyük bir kısmı, yürütülen değerlendirmeler neticesinde birincil ve ikincil öncelikli olarak şekil almıştır. Bu durum, Akustik Sinyal Veri/Görüntü İşleme'nin teknolojik yetkinlik bakımında önemini vurgulamaktadır. Ordumuzun kabiliyetlerini arttıracak, ulusal güvenliğimize doğrudan katkı verecek ileri seviyede bir teknoloji alanı olabileceği değerlendirilmektedir. Dünyadaki gelişmeler incelendiğinde çok hızlı değiştiği görülen bu teknolojileri takip etmek elzem bir hal almaktadır.

Buna karşın ülkemizde mevcut durumda, ticari ve teknoloji kazanımına yönelik mevcut çalışma olmadığı veya çok sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun temel sebeplerinden biri; her ne kadar



Ülkemiz tasarımı, test ve geliştirme altyapılarına sahip olsa da ihtiyaç duyulan saha testlerinin imkân ve maliyet açısından zor olması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Akustik Veri Füzyonu:

Akustik Veri Füzyonu teknolojisi halihazırda dünyada örnekleri bulunan uygulamalara sahiptir. Akustik veriye dayalı bu uygulamalar rakiplerine karşı özellikle getirdikleri maliyet avantajı ve tespit doğrulukları ile sıklıkla tercih edilir hale gelmişlerdir. Akustik Veri Füzyonu teknolojisi ile geliştirilen uygulamalar tamamen pasif olarak çalıştıkları için düşman unsurlar tarafından tespit edilememektedir. Bu önemli özellik sayesinde bu teknoloji gerek tek başına gerekse radar sistemlerine destek olmak üzere kullanım imkânı bulmaktadır.

Ülkemizde özellikle nişancı atış tespit uygulamaları, Akustik Veri Füzyonu teknolojisi kullanılarak yerli ve milli imkanlar ile geliştirilmekte ve bu uygulamalar güvenlik kuvvetlerimiz tarafından aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Akustik Veri Füzyonu teknolojisini temel alan bu yapılar havan/top ve roket tespit uygulamaları için de uyarlanabilme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla, lkemizde bu teknoloji alanında yeterli tecrübe bulunmakta olup ihtiyaç duyulan yeni uygulamaların geliştirilmesi için mevcut insan kaynağı ve bilgi birikimi uygun bir şekilde projelendirilerek kullanılabilir.

Akustik Veri Füzyonu teknolojisi çok katmanlıdır bu katmanların iyi tanımlanması gerekir, bununla birlikte ülkemiz bütün katmanları oluşturmak için gerekli imkanlara sahiptir. Bu teknolojinin ülkemize kazandırılması ve gerekli altyapıların oluşturulması yakın zaman içinde mümkün gözlmektedir. Bu teknolojinin kazanılması sistemsel etkinliği sağlayacaktır çünkü Akustik Veri Füzyonu teknolojisi dağıtık yapıdaki sistemlerin entegre çalışmasına imkân sunmaktadır.

Akustik Veri Füzyonu teknolojisi verinin gücünü artırır, bütün dünyada hızla gelişen bir teknoloji alanıdır ve yeni algoritmaların geliştirmesine fırsat sunmaktadır. Bu alandaki rakipler ve ürünler ileri teknolojilere sahiptir; rekabette olmak sürekli bir gelişimi gerektirmektedir.

Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme:

Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme teknolojisi sayesinde basit ayrık sensörlerden toplanan verilerin karmaşık algoritmalar ile yorumlanması mümkündür. Dünya genelinde farklı ülkeler iklim değişikliği, deniz ekosistemi rahatsızlıkları ve deniz felaketleri gibi acil sosyal ve bilimsel zorlukları ele almak için çeşitli projeler yapmaktadırlar. Bu değişimleri doğru, tutarlı



ve karşılaştırılabilir uzun vadeli ölçümler ile değerlendirmek için oşinografik parametrelerin toplanması ve yorumlanması büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde AB projeleri ile fonlanarak şamandıralarda bulunan sensör ve kameralar aracılığıyla denizlerdeki gemi hareketliliğinin yanı sıra balık popülasyonu, balık hareketleri ve türleri ile deniz suyu fiziko-kimyasal yapısı, su altı hareketliliğinin takip edildiği sivil uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca ülkemizde askeri ve sivil amaçlı sensör üreticileri, büyük veri ve yapay zekâ alanında faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlar bulut bilişim teknolojilerinin geliştirilmesi için gerekli ekosistemi destekleyecek niteliktedir.

Bulut bilişim tabanlı altyapılar sayesinde kapsayıcı ağların oluşturulması ve yüksek düzeyde birbirine bağlı ayrıık işlemleri takip etme ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Böylece tüm taktiksel birimler arasında uzun vadeli iletişimi iyileştirmek ve genişletilmiş bağlantı, yedeklilik sayesinde platformlara bağımlılığı azaltmak mümkündür. Bu teknoloji sayesinde ülkemizin deniz sahanlığı uygulama etkinliği artırılabilir.

Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme teknolojisi veride hataya dayanıklılığı arttırmaktadır, öte yandan çevrimdışı yazılımların bulut altyapılarına entegrasyonu problemdir. Bununla birlikte üreticisi olmadığımız bazı sensörlerin tedariki bu teknoloji altyapısını destekleyecek veriyi oluşturma noktasında bazı sıkıntılara neden olabilir.

Multi-Statik:

Multistatik radar ve sonar teknolojileri hali hazırda geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuş uygulama örneklerini içermektedir. Multistatik sonar teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş uygulamaların olduğu bilinmesine karşın kullanımı ve etkinliği konusunda hazırlanmış raporlar gizlilik nedeniyle açık kaynak olarak erişime sunulmamıştır.

Ülkemizde Multistatik sonar teknolojisi ile ilgili çalışmalar daha çok akademik düzeyde yapılmaktadır. Ülkemizde bu teknoloji alanında ürün çalışması ve proje bulunmamakla birlikte akademik çalışmalarında kısıtlı olduğu değerlendirilmektedir.

Multistatik radar ve sonar teknolojisi mevcut sonarlara göre daha geniş alanda daha etkin tespit ve izleme imkânı sunmaktadır. Ülkemizin deniz kıyılarının izlenmesi, hava radarlarına destek olarak su altı hedeflerin izlenmesine katkı sunulması ve ülkemiz kıyı hâkimiyetinde karasal konum avantajının etkin biçimde kullanılması açılarından bu teknolojinin edinilmesi kritiktir. Bu teknolojinin ihtiyaç duyduğu sensör, donanım, yazılım geliştirme imkânları ülkemizde



mevcuttur. Bununla birlikte bu teknolojinin geliştirilmesi için önemli derecede altyapı ihtiyacı bulunmaktadır.

Ülkemizde henüz ürün çalışmaları bulunmadığı ve gerekli altyapı ihtiyaçları karşılanmadığı için rakipler ile rekabet konusu teknolojik anlamda zorluklar içermektedir.

Yapay Zekâ Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme:

Yapay zekâ tabanlı akustik sinyal/veri işleme teknolojisi gerek akademik gerekse NATO araştırmaları kapsamında üzerinde çalışılan bir konudur. Literatürde radar ve sonar verilerinden makine öğrenmesi teknikleri ile hedef tespiti yapmak konusunda çalışmalar olmasına karşın aktif olarak bir sisteme entegre çalışan bilinen bir uygulama bulunmamaktadır.

Yapay zekâ destekli ürünler bütün dünyada şu anda büyük ilgi uyandıran bir girişim alanıdır. Sivil ve askeri alanda bu teknoloji konusunda yapılan araştırma faaliyetleri bütün dünyada hızlanmıştır. Ülkemizde yapay zeka ile akustik hedeflerin sınıflandırması konusunda geliştirilmiş bir teknoloji henüz bulunmamaktadır. Bununla birlikte üniversitelerimizde, savunma sanayii şirket ve kurumlarımızda mevcut insan kaynağı bu teknolojiyi geliştirme konusunda yeterlidir.

Bu teknoloji mevcut akustik sinyal/veri işleme yöntemlerinin güvenliğinin iyileştirilmesine, denizlerdeki durumsal farkındalığın artırılmasına ve sınıflandırma performansının geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Bu bakımdan bu teknolojinin kazanılması kritik bir yetkinlik sağlayacaktır. Bununla birlikte bu teknolojinin geliştirilmesi için ihtiyaç duyulan en önemli gereksinim olan veri seti konusunda sıkıntı vardır. Bu teknolojiyi geliştirmek için kullanılacak açık veri setinin bulunmaması ve başarımının ölçümlendirilmesi konusunda adil puanlama metrikleri bulunmaması, geliştirilen uygulamaların performanslarını karşılaştırmak noktasında bazı zorluklar çıkaracaktır.

7.4.4 Sonuç

Yapılan çalışmalar sonucunda, dünyada ve Türkiye’de endüstri eğilimleri açısından güncel ihtiyaçlara yönelik olarak on yedi adet teknoloji konu önerisinde bulunulmuştur. Konu önerileri detaylı olarak irdelenmiş, ülkemiz ve dünyadaki gelişmeler ve eğilimler analiz edilmiştir. Önerilen teknoloji konu önerilerinin tamamı önemli olup kazanılması aciliyet arz etmektedir. Bununla birlikte yapılan AHP analizleri neticesinde, yedi adet öneri öne çıkan teknolojiler kapsamında değerlendirilmiştir.



- Su Altı Otomatik Hedef Tanıma
- Otomatik Akustik İmza ve Öznitelik Çıkarımı
- Görüntüleme Sonarları İleri Sinyal ve Görüntü İşleme Teknikleri
- Yandan Taramalı Sonar Görüntülerinden Mayın Tespiti
- Akustik Hedef Sınıflandırma
- Multistatik Sonar
- Bulut Tabanlı Yapay Zekâ Destekli Büyük Veri Yönetim Sistemi

7.5 AKUSTİK YAYILIM/ORTAM MODELLEME VE SİMÜLASYONU ODAK ÇALIŞMA GRUBU

7.5.1 Genel Bilgi

Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Odak Çalışma Grubu tarafından icra edilen çalışmalar neticesinde, bu teknoloji alanındaki gelişmeler üç farklı Teknoloji Konusu Grubu altında incelemiştir. Bu teknoloji konusu grupları şu şekilde sıralanabilir: Akustik Simülasyon Araçları, Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme, Akustik İz Düşürücü Malzemeler. Her bir teknoloji konusu grubu ayrı ayrı değerlendirilmiş ve öne çıkan teknolojiler detaylı olarak irdelenmiştir.

Akustik Simülasyon Araçları Teknoloji Konusu Grubu:

Su altı akustiği mühendislik simülasyon araçları çevre, yayılım, gürültü, yansıma ve sonar performans modellerini içermekte olup daha çok sistem performansının tespiti, sistem ve alt-sistem tasarımı, test ve değerlendirme amaçlı kullanılmaktadır. Algılama olasılığı ve menzili, örnek performans ölçütleri olarak verilebilir. Simülasyon araçları, mühendislik çalışmalarında prognostik ve diyagnostik amaçlı olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan, su altı harbi angajman simülasyonları, belirli bir hedefe yönelik olarak, belirli bir zaman ve uzamdaki deniz çevre koşullarında, sistem etkinliğini sağlamaya yönelik tedbirlerin tespitine yöneliktir. Bu seviyedeki simülasyonlar, sistem alternatiflerini ve taktik senaryoları değerlendirmek ve sistem operatörlerini eğitmek amacıyla kullanılmaktadır. Taktik karar destek sistemleri ise bir tür angajman seviyesi simülasyon ürünü olup çevresel bilgileri taktik kuralları ile harmanlanmaktadır. Taktik karar destek sistemleri ile sistem operatörleri ve planlamayla görevli personel yönlendirilmektedir.



Denizaltılar için savunma kabiliyeti, operasyon esnasında saklı kalabilme kapasitesiyle belirlenmektedir. Sonar ise denizaltıların tespitinde kullanılan başlıca metottur. Denizaltı tasarımcıları, akustik sonar dalgalarının denizaltı yüzeyinden yansımalarını analiz ederek, denizaltının eş değer yansıtıcı yüzeyini küçültmeye çalışırlar. Bu nedenle, akustik görünmezlik tasarımında en önemli parametrelerden birisi akustik hedef gücü değeridir. Akustik hedef gücü analizi için çeşitli simülasyon araçları, farklı sadakat seviyeleri ile uygulanmaktadır.

Aktif sonarlar, İkinci Dünya Savaşından beri kullanımda olup birçok ülke tarafından monostatik olarak uygulanmaktadır. Multistatik sonar uygulamaları gündeme gelmektedir. Monostatik sonar uygulamalarında, alıcı ve vericiye sahip tek bir sonar kendi verilerini alıp diğer platformlar ile işlenmiş veriyi paylaşıırken, multistatik sonar uygulamalarında ise işlenmiş sonar verileri veri füzyonuna tabi tutularak diğer platformlarla paylaşılmakta ve böylece taktik resim genişletilmektedir. Multistatik ekipmanların tasarımına yönelik girdi sağlamak, performanslarının ölçülmesi ve yerleşim analizlerinin yapılabilmesi için, multistatik operasyonlarda yaşanması muhtemel sorunların etkilerinin yansıtıldığı ve olası hedeflerin modellenemediği simülasyon araçlarının geliştirilmesi hayati öneme sahiptir. Diğer yandan, multistatik sonar altyapısını kullanarak tespit, takip ve teşhis özelliklerine sahip bir sistem (örneğin, Torpido Karıştırma Aldatma Sistemi) üzerinde çalışacak ve birden fazla platform için taktik ve senaryo geliştirebilecek simülasyon araçları da büyük önem arz etmektedir. Geliştirilen bu taktikler operatörler tarafından gerçek platformlara yüklenebilecektir. Seyir halinde bir tehdit ile karşılaşan gerçek platform, operatörün gerekli görmesi durumunda, önceden çalışılmış olan ve senaryosu seyir halindeki gerçek platform ile eşleşen taktik uygulanabilir ve böylece tehdit bertaraf edilebilir. Geliştirilecek teknolojiler ile çoklu/filo halinde hareket eden platformlar için taktik ve senaryo geliştirme simülatörleri üretilebilecektir.

Yüksek çözünürlüklü sonar performans modelleme için, su altı ortamının uzamda ve zamanda modellenmesi gerekmektedir. Bunun için yapılması gereken, çevre deniz ortam verilerinin (oşinografik ve akustik) yüksek çözünürlüklü ölçümü için bir yaklaşım geliştirmektir. Son zamanlarda gelişmiş ülkeler tarafından geliştirilen ve kullanılan su altı uçurtmaları bu yaklaşımın bir sonucudur. Su altı uçurtmaları ile belirli bir sahada uzam ve zamanda yüksek çözünürlüklü veri ölçümü yapıp, gerçek zamanlı olarak iletmek ve işlemek mümkün hale gelmiştir.



Mayın Karşı Tedbir (MKT) veya Deniz Savunma Harbi (DSH) kapsamında yapılması planlanan operasyonların sahası genişlemekte, operasyon merkezleri taşınabilir ortamlarda kurulmaktadır. İnsansız sistemler, özellikle mayın gibi nedenlerle ciddi can ve maddi kayıp olasılığı bulunan bölgelerde, büyük mayın tarama ve avlama gemilerinin yerini almaktadır. İnsansız/Otonom Su Altı Araçları (İSA/OSA), yeterli olgunluk seviyesine ulaşmış olup, geleneksel MKT, DSH ve arama kurtarma yöntemlerine alternatif kullanımlar sunmaya hazır olarak görülmektedir.

Hazır ticari ürün (COTS) olarak raflarda yer alan akustik modemler pahalıdır ve yeni iletişim protokollerinin denenmesi için yeterince esneklik sağlamamaktadır. Yeni protokoller, modülasyon şemaları ve algoritmaların geliştirilebilmesi için, deneysel ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır. Karasal RF ağlarına kıyasla, akustik su altı ağları için test yatakları oluşturmak ve bu yatakların bakımını sağlamak oldukça pahalıdır. Geliştirilecek su altı akustik ağları simülasyon teknolojisi ile, İSA otonomisi ve heterojen insansız araç sürülerinin beraber kullanımıyla karışık görevlerin yerine getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, simülasyon araçları, ortam ve sürü yönetimi simülasyonları ile test, entegrasyon ve eğitim amaçlı olarak kullanılabilir.

Akustik simülasyon araçları, silahlı kuvvetlere bağlı araştırma merkezleri (Kanada, ABD, vb.) ile NATO'ya bağlı araştırma merkezleri (NURC ve CMRE), özel firmalar (Fransa, İsveç, Hollanda, vb.), enstitüler ve üniversitelerin katkılarıyla geliştirilmektedir. Geliştirilen simülasyon araçlarının bir kısmı ticari ürün olarak yer almaktayken, bir kısmı da açık kaynak koduyla erişime açık durumdadır. MATLAB, Gazebo, ROS gibi modelleme ve simülasyon araçlarının kullanıldığı gözlenmektedir.

Simülasyon araçlarının endüstriyel kullanım alanları; savunma, eğitim, sağlık, imalat, işletme, yönetim ve pazarlama faaliyetlerini de kapsayacak şekilde çok çeşitlidir. Bilgisayar destekli simülasyonlar yıllardır uygulanmakta olup, Monte-Carlo simülasyonu, Petri-Ağları simülasyonu, gerçeklik simülasyonu, trafik simülasyonu ve bu yöntemlerin birleşimi ile kurulan hibrit simülasyon teknikleri mevcuttur. Günümüzde kaliteli grafik teknolojilerine sahip olan bilgisayar destekli simülasyonların gelişimi ile foto-gerçekçi simülasyonlar hem eğitim amacıyla ve hem de tasarım, doğrulama gibi yazılım geliştirme aşamalarında kullanılmaktadır. Havacılık/uzay ve savunma sanayiindeki yüksek harcamalar, simülasyon yazılımlarındaki teknolojik gelişmelere de fırsat tanımaktadır. Kuvvetler, askerleri eğitmek için savaş oyunlarına



başvurmaktadır. Örneğin, ABD ordusu sanal gerçeklik teknolojilerini eğitim amacıyla kullanmaktadır. Yapay zekâ, makine öğrenmesi gibi diğer teknolojilerin de kullanımıyla savunma yazılımları daha etkili bir hal almaktadır.

Global simülasyon yazılım marketi hacminin 12,7 milyar Dolardan (2020), 26,9 milyar Dolara (2026) yükselmesi beklenmektedir. Büyümeyi tetikleyen en önemli faktörler: marketin üretim ve eğitim harcamalarını düşürme talebi; dijital ikiz, sanal/arttırılmış gerçeklik ve üç boyutlu yazıcı gibi yardımcı teknolojilerdeki gelişmelerdir. Uzay ve savunma teknolojilerindeki yatırımlar, aşı çalışmaları, vb. gelişmelerin de simülasyon pazar payını genişletmesi beklenmektedir. Simülasyon yazılım pazarı, yazılım ve servis sağlayan dünya geneline yayılmış büyük şirketlerin hakimiyeti altındadır. Bu şirketlere örnek olarak AVL, MSC Software, Siemens, PTC ve Dassault Systems sayılabilir. Bu şirketlerin geliştirdiği organik ve inorganik büyüme stratejilerinin (ortaklık, sponsorluk vb.) pazarın büyümesini destekleyeceği düşünülmektedir.

Ülkemizde gerek üniversitelerimizde ve gerekse savunma sanayii kuruluşlarımızda simülasyon araçları ve bunların altyapısına yönelik çeşitli faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Örneğin, İSA'ların görevlerde kullanılmadan önce etkili bir şekilde test edilmesi, eğitimi ve entegrasyonu gibi faaliyetlere yönelik, yüksek sadakat seviyesinde modelleme ve simülasyon yapan yerli bir yazılım bulunmamaktadır. Ancak üniversitelerimizde ve savunma sanayiinde faaliyet gösteren kurumlarımızda altyapı yeterli seviyede olup, gerekli yetkinliğe sahip araştırmacılar ve mühendisler bulunmaktadır. ASELSAN monostatik sonar altyapısına ve performans analizi için gerekli araçlara sahiptir. Mevcut altyapının geliştirilmesiyle, multistatik performans analizleri ile taktik ve senaryo amaçlı simülasyonlar gerçekleştirilebilecektir. HAVELSAN, kara ve hava robotları için UWB sinyalleri kullanarak sürü üyeleri arasındaki lokalizasyon problemini çözmek amacıyla tasarsız ağ protokolü geliştirmiştir. Bu protokolün HAVELSAN tarafından geliştirilen Sürü Robotik Uçan Sistemler (SRUS) ve Robotik Kara Sistemleri (ROKS) projelerinde kullanılması planlanmaktadır. Aynı sistem, deniz üstü araçları için de uygulanabilir. ROKS ve SRUS projeleri kapsamında geleceğin savaş sahalarında kara ve hava olmak üzere sürü ve otonom araç teknolojilerinin geliştirilmesi ve kazanılması amaçlanmaktadır. Diğer yandan, Koç Savunma su altı harbi analizi simülasyonu gerçekleştirebilen bilgisayar tabanlı araçları geliştirmektedir.



Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme Teknoloji Konusu Grubu:

Yayılım model çözümleri genel olarak üç sınıfa ayrılabilir: (i) Ses kaynağının frekans karakteristiklerine bağlı olarak; (ii) yayılım ortamının çevresel koşullarına bağlı olarak; (iii) su derinliğine bağlı olarak. İkinci gruba dahil olan yayılım modelleri, mesafeden bağımsız modeller (çevresel parametreler mesafeye bağlı olarak değişmez) ve mesafeye bağlı modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Bu modeller, batimetri ve su kolonundaki değişkenlikleri göz önüne aldığı için daha çok tercih edilmektedir. İstenen bir frekans bandı ve çevre koşulları için uygun yayılım modelinin seçimi yapılabilir. En çok kullanılan modeller şu şekilde sıralanabilir: Işın takip, normal mod, parabolik denklemler, dalga sayısı integrali, enerji akısı. Modellerin her biri avantaj ve sınırlamalara sahiptir. Örneğin, ışın takip metodu ile dalga denklemi yüksek frekans bölgesinde çözülmekte ve metot etkin ve hızlı bir çözüm sağlamaktadır. Fakat metot düşük frekans bölgesinde sınırlı bir doğruluk vermektedir (200 Hz altındaki frekans bölgesinde). Işın teorisi en iyi derin su ve yüksek frekans bölgesinde sonuç vermektedir. Normal mod çözümleri daha çok mesafeyle hafifçe değişen çevresel ortamlar ve düşük frekans bölgesi için uygundur. Frekans arttıkça hesaba alınması gereken mod sayısı artmakta olup metot daha çok derin su ve sığ su ortamları için uygulanabilmektedir. Dalga sayısı integral metodu ile dalga denkleminin kesin çözümü yakın menzil için spektral dalga sayısı integrali kullanılarak hesaplanmaktadır. Parabolik denklem metodu, mesafeye bağlı ortamlar ve süreksiz ses hızı profilleri için uygun olup sığ su ve derin su ortamlarında genellikle 1 kHz altındaki frekans bölgesinde kullanılmaktadır. Enerji akısı metodu dalga denklemi için son derece hızlı çözüm sağlamakta ve kırılmaları göz önüne alabilmektedir. Hız ve doğruluk açısından, ışın teorisi ile mod teorisi arasında bir yerde bulunmaktadır.

Ortam ve frekans bölgelerine göre yayılım modelleri Tablo 7.4'te özetlenmektedir (Wang vd., 2014). Model seçiminde önemli olan unsurlardan bir diğeri de hesaplama maliyetidir (veya model etkinliği). Model seçimi, istenen sadakat/doğruluk seviyesi ile hesaplama maliyeti göz önüne alınarak yapılmaktadır.



Tablo 7.4 Ortam ve Frekans Bölgelerine Göre Önerilen Yayılım Modelleri (Wang vd., 2014). Yeşil renk – uygun; kahverengi – sınırlı olarak uygun; kırmızı – uygun değil

Sığ su- Düşük frekans	Sığ su – Yüksek frekans	Derin su- Düşük frekans	Derin su- Yüksek frekans
Işın teorisi	Işın teorisi	Işın teorisi	Işın teorisi
Normal mod	Normal mod	Normal mod	Normal mod
Dalga sayısı integrali	Dalga sayısı integrali	Dalga sayısı integrali	Dalga sayısı integrali
Parabolik denklem	Parabolik denklem	Parabolik denklem	Parabolik denklem
Enerji akısı	Enerji akısı	Enerji akısı	Enerji akısı

Deniz ortamı, genellikle, sığ veya derin su olarak sınıflandırılmaktadır. Bu seçimdeki ana etken su derinliğinden ziyade, ses dalgalarının deniz tabanı ile olan etkileşimidir. Eğer deniz tabanı ile olan etkileşim zayıf ise, yayılım ortamı derin su olarak kabul edilebilir. Sığ su ortamında yayılım sıklıkla deniz tabanı ve serbest su yüzeyi ile etkileşim içinde olacaktır. Bu nedenle, deniz yatağı akustik parametreleri sığ su ortamındaki yayılımı belirleyecek en önemli çevresel parametre olacaktır. Çoğu deniz ortamında, özellikle uzun mesafeler için, batimetri ve ses hız alanı mesafeyle değişkenlik gösterecektir. Böyle ortamlar için, mesafeye bağlı yayılım modellerine ihtiyaç duyulur.

Yayılım modellerinin doğruluğu çevresel girdi verilerinin hangi doğrulukta temsil edildiğine bağlı olacaktır. Deniz zemini özellikleri, batimetri ve ses hızı profili gibi yayılım ortamı değişkenleri, ses yayılımını etkilemekte ve bu parametrelerde yaşanacak değişkenlikler yayılan ses karakteristiklerinde önemli değişikliklere neden olacaktır. Batimetri, özellikle sığ su yayılımı için büyük önem arz etmektedir. Sadece su derinliği değil, aynı zamanda deniz zemininin şekli de burada önem arz etmektedir. Yüksek çözünürlüklü batimetri verileri bazı lokal ve özel bölgeler için mevcut olabilir. Global batimetri verileri düşük çözünürlüklü olarak GEBCO tarafından sunulmaktadır.

Su altında ses dalgasının yayılımını etkileyen ana değişken ses hızıdır. Ses hızı ise derinlik, tuzluluk ve sıcaklık gibi ana parametrelerin bir fonksiyonudur. Ses hızı sıcaklık ve basınç ile birlikte artmaktadır. Diğer yandan, ses hızı mevsimsel, günlük değişikliklere, coğrafik konuma ve zamana bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Bu parametreler su sütununun oşinografik



durumunu etkilemektedir. Su sütunu özelinde ise, ses hızında derinliğe bağlı olarak sıcaklıktaki azalmayla birlikte bir azalma yaşanır. Bu değişkenliklerin konum ve zaman ekseninde yüksek çözünürlüklü ve güvenilir olarak tahmin edilmesi, deniz platformlarında bulunan sonar vb. sistemlerin performansının doğru olarak belirlenebilmesi için önemlidir. Ses hızı alanda doğrudan ölçülebileceği gibi, kullanılan diğer bir yaklaşım da deniz suyunun sıcaklık, tuzluluk ve basınç değerlerinin uygun bir hidrodinamik model ile hesaplanarak bulunmasıdır. Ses hızının yayılımını doğru olarak modelleyebilmek için, denizlerimizde bu değişkenlerin mevsimsel ve yerel olarak değişimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, denizlerimizde sistematik bir ölçüm programı devreye alınması önerilmektedir.

Yapılan literatür inceleme çalışmalarından görüldüğü üzere, 1979 yılından beri her yıl ortalama çeşitli kategorilerde beş yeni veya iyileştirilmiş yayılım modeli literatüre katılmaktadır. Son on yılda, yayılım modelleri belli bir doyum noktasında ulaşmış bulunmaktadır. Fakat gürültü, yansıma ve sonar performans modellerinde son yıllarda bir artış görülmektedir. Su altı akustik modellemesi konusunda yapılan yayınların yaklaşık %32'si tek başına *Journal of the Acoustical Society of America* dergisinde yer almaktadır. Bu da derginin su altı akustiği alanındaki önemini ortaya koymaktadır. Diğer yandan, internet siteleri de önemli bilgi kaynağı olma görevini yerine getirmektedir. Örneğin, “*Ocean Acoustics Library*”, akustik modelleme yazılımlarına ulaşma imkânı sağlamaktadır. Bu site, “*US Office of Naval Research*” tarafından, uluslararası akustik topluluğuna genel kullanım amaçlı yazılım sağlaması hususunda desteklenmektedir.

Yayılım modellerindeki gelişmeler belirli bir doyum noktasında ulaşmış bulunmaktadır. Son yıllardaki endüstriyel eğilimler, daha çok gürültü, yansıma ve sonar performans modelleme konularında olmaktadır. Yaşanan gelişmelerden anlaşıldığı üzere, yayılım modelleme teknolojisi olgunlaşmış olup kaynaklar daha çok gürültü ve sonar performans modelleme gibi alanları destekleyecek teknolojilerin geliştirilmesine yönlendirilmektedir. Oşinografi ve su altı akustiği veri setlerinin saha ölçümleriyle yüksek çözünürlüklü olarak oluşturulması oldukça pahalı faaliyetleri gerektirmektedir. Bu nedenle, global ve bölgesel gözlem ağları oluşturulmaktadır.

Su altı akustik yayılım modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması özelinde, Türkiye’de de araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerek üniversiteler bünyesinde ve gerekse savunma sanayii ve diğer sektör kuruluşlarında devam etmektedir. Türkiye orjinli bazı çalışmalarda çeşitli yayılım modellerinin sayısal uygulamaları kullanılarak, akustik yayılım problemleri



incelenmiştir. Örneğin, Savunma Sanayii Başkanlığı tarafından desteklenen “Denizaltılarda Öz Akustik Kestirim ve Akustik İzleme/Uyarı Ünitesi Prototipi Geliştirilmesi (DAKİS) Projesi” İTÜ’de yürütülerek tamamlanmıştır. Proje kapsamında pervane kaynaklı, akış kaynaklı ve yapısal titreşim kaynaklı gürültü seviyelerinin kestirimi yapılmış ve su altı aracını temsilen tasarlanan ve inşa edilen su altı test aracı üzerinde deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Akustik yayılım modellerinin çift amaçlı kullanılma imkânı bulunmaktadır. Askeri amaçlı kullanımlarda, sonar performans modelleme amaçlı çalışmalara öncelik verildiği tespit edilmiştir. HAVELSAN ve Koç Savunma tarafından aktif sonarlar için projeler gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. HAVELSAN, aktif sonar simülasyon altyapısına sahiptir. Modellenen aktif sonarların orta veya yüksek frekanslarda çalıştığı varsayılarak, simülasyonlarda ışın takip, normal mod ve parabolik denklem yaklaşımı uygulanmaktadır. Koç Savunma tarafından geliştirilen Su Altı Ortam Modeli (SORTAM), yayılım modelleri yardımıyla aktif sonardan veya hedeften yayılan akustik sinyalleri modelleyebilmektedir. Diğer yandan, savunma sanayii şirketlerimizden METEKSAN, MİLGEM için Yakamoz Sonar Sistemini geliştirmiş olup, yayılım modelleri ve ortam modelleme hususunda gerekli bilgi birikimi ve altyapıya sahiptir. ASELSAN ise açısız spektrum yöntemleri ve uygulamaları üzerine çalışmalar yürütmektedir.

Diğer yandan, akustik ortam yayılım modellerinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için, oşinografik ve akustik parametrelerin ilgili ortam için doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler; zamansal, uzamsal ve mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Türkiye’yi çevreleyen denizler için bu bilgilerin eksik olduğu ve sonar performans modelleme önemli ölçüde bu girdilerin doğru olarak tespitine bağlıdır. Bu çalışmaları gerçekleştirmek için, TÜBİTAK ve DENAR’da bir entelektüel birikimi ve altyapının olduğu düşünülmektedir.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde, Türkiye’de bu teknoloji grubu için yeterli altyapının mevcut olduğu kanaati oluşmuştur. Laboratuvar, araştırma merkezleri, cihaz ve donanım, yazılım ve insan gücü yeterli seviyede ülkemizde mevcuttur. Örneğin, İTÜ’ de Ata Nutku Gemi Model Deney Havuzu ve geçtiğimiz günlerde açılışı yapılan İTÜ Büyük Kavite Tüneli ülkemize laboratuvarlar açısından büyük imkan sağlamaktadır. İTÜ Büyük Kavite Tünelinde tam ölçekli torpido ve ölçekli denizaltı modelleri ile gemi modellerinin akustik analizinin gerçekleştirilmesi mümkündür. METEKSAN çeşitli araştırma ve geliştirme laboratuvarlarıyla, akustik ürün geliştirmektedir. Bunlardan bazıları; su altı akustik tasarım



laboratuvarı, Bilkent göleti açık su test ve kalibrasyon tesisi, su altı akustik test ve kalibrasyon havuzudur. TÜBİTAK MAM su altı akustik laboratuvarına sahip olup, milli sonar projesi kapsamında faaliyetlerde bulunmuştur. Koç Savunma, basınçlı test tankı ve akustik test havuzuna sahiptir. HAVELSAN ve diğer kuruluşlarımız da simülasyon altyapısına sahiptir. DENAR, ROKETSAN ve TÜBİTAK SAGE tarafından geliştirilen su altı sistemlerinin açık deniz testlerini yapmaktadır.

Akustik İz Düşürücü Malzemeler Teknoloji Konusu Grubu:

Akustik iz düşürücü malzemeler, denizaltılar tarafından üretilen “içsel” ve dış akustik kaynaklar nedeniyle oluşan “aktif” gürültü izlerini azaltmaya yarayan malzemelerdir. Su altı araçlarının akustik izlerini düşürmeye yönelik başlıca dört çeşit malzeme bulunmaktadır: Gözenekli malzemeler, rezonans malzemeler, piezoelektrik malzemeler ve metamalzemeler. Gözenekli malzemeler iyi ses soğurma özelliğine sahip olup, üretimi kolaydır. Genel olarak, ses soğurma özellikleri, malzeme kalınlığıyla orantılıdır. Gözenek yapısında değişiklikler ile soğurma özellikleri değiştirilebilmektedir. Empedans uyumsuzluğu, gözenekli soğurucu malzemelerin en büyük dezavantajı olarak görülmektedir. Genellikle, denizaltı iç ortamında oluşan akustik enerjinin soğurumunda yararlı olmaktadır.

Rezonans temelli ses soğurucu mekanizmalar güncel araştırma konularından biri olmaya devam etmektedir. Geniş bant soğurum sağlamak amacıyla, kütle-içinde-kütle periyodik yapılar kullanılarak geniş frekans aralığında soğurum gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla, farklı frekans bantlarında soğurum yapan seri ve paralel rezonatörler önerilmektedir. Su altında kavite içeren yapılarda hidrostatik basınç nedeniyle oluşan deformasyonlar neticesinde, soğurma performansında değişimler yaşanabilmektedir.

Piezoelektrik soğurucu malzemeler tek başına kullanılabileceği gibi, geleneksel soğurucu malzemeler ile birlikte de uygulanabilmektedir. Soğurum frekans bant aralığı katman sayısı ile artırılabilir. Aktif kontrol sistemi, piezoelektrik algılama sistemine ve uyarma sistemine ihtiyaç duyar; uyarma elemanlarını kontrol ederek anekoik görünmezlik etkisi yaratabilmektedir. Bu tür sistemlerin dezavantajı, fazla sayıda piezoelektrik elemana ve devre sistemlerine ihtiyaç duymaları ve bu nedenle, su altı araçlarına entegrasyonunun diğer soğurucu malzemelere göre çok daha zor olmasıdır.

Diğer bir alternatif ise metamalzemelerdir. Metamalzeme terimi; bilinen metal, polimer, vb., malzemelerin belirli amaca yönelik organizasyonu ile oluşturulan, bileşenlerinin sergilemediği



fiziksel özelliklere sahip mühendislik ürünü olduğunu ifade etmektedir. Metamalzemeler, metal ve plastik gibi farklı malzemelerin bir arada kullanılmasıyla üretilmekte ve özelliklerini üretildikleri malzemeden ziyade yapısal tasarımlarından almaktadırlar. Metamalzemeler negatif yoğunluk, negatif rijitlik gibi olağanüstü özelliklere sahip olabilirler. Metamalzemeler ile akustik enerjinin soğurulmasında rezonans, mod dönüşümü, sürtünme vd. mekanizmaların kullanılması söz konusudur. Su altında ses soğurma için üç ana hedef bulunmaktadır: Geniş çalışma bandı, düşük-frekans soğurum ve küçük ölçekli malzemeler ile etkin soğurma gerçekleştirebilmek. Denizaltı uygulamaları için 1-10 kHz frekans aralığında sonar sinyallerini soğurabilen, kabul edilebilir kalınlık ve ağırlıkta bir kaplama yapılabileceği düşünülmektedir.

Denizaltılarda akustik ve mekanik enerjinin soğurumu için genellikle kauçuk esaslı esnek malzemeler kullanılmaktadır. Ancak, bu malzemelerde etkin akustik enerji soğurumu için kalınlığın dalga boyunun yarısı olması, akustik soğurum katsayısı yüksek malzeme arayışlarına neden olmuştur. Bu malzemeler genellikle karbon siyahı veya çeşitli inorganik parçacık yüklenmiş kauçuk/poliüretan gibi polimerik malzemeler olup etkileri sınırlı kalmıştır. İçerisinde hava boşlukları bulunan süngerimsi malzemeler, bu arayışlara belirli ölçülerde yanıt verse de kalınlık ve mekanik dayanım sorun olarak kalmıştır. Metamalzemeler kullanılarak akustik enerjiyi yönlendiren, dağıtan ve/veya soğuran ince kaplamalar geliştirilebilmektedir. Aktif olarak kontrol edilebilir malzemeler için kontrol sistem konfigürasyonları karmaşık olup su altı uygulamalarında zorluklar bulunmaktadır. Akustik pelerin (*acoustic cloak*) son on yılda geliştirilmiş bir teknolojidir. Ancak akustik görünmezliği sağlanacak yapıdan daha büyük bir olması nedeniyle metamalzeme esaslı kaplamalara alternatif değildir.

Su altı akustik soğurucu malzemeler gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı bir teknolojidir. İkinci Dünya savaşı sonrası denizaltı tasarımı ve üretimi yapan ülkeler, denizaltının aktif sonar ve içsel akustik izlerinin zayıflatılması amacıyla çalışmalarda bulunmuşlardır (Örneğin, ABD de *Naval Research Institute*, *U. S. Navy Underwater Sound Reference Laboratory* ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde, *Key Laboratory of Modern Acoustics*). Akustik metamalzemelerin hava ortamında ses yalıtımı uygulamaları üzerine önemli ölçüde yol alınmış olsa da su altı uygulamaları uygun akustik empedansa sahip matris malzemelerin seçimi ve üretimi gibi zorluklar nedeniyle daha yavaş ilerlemektedir. Ancak bu konudaki çalışmalarda da artış gözlenmektedir. Metamalzemelerin su altı özellikleri konusunda üst düzey uluslararası yayınlar büyük oranda Çin Halk Cumhuriyeti ve ABD kaynaklıdır. Literatürde İran kaynaklı çalışmalara



rastlaması da dikkat çekicidir. Ancak, ülkelerin su altı akustik metamateryale iz düşürücüler konusunda ulaştıkları teknoloji düzeyi hakkında net bilgi bulunmamaktadır. Kabul edilebilir ağırlık ve kalınlığa sahip akustik soğurucu malzemeler konusundaki gelişmeler, son 10 yıl içinde, metamateryaller konusundaki gelişmelerle artış göstermiş ve bunun sonucunda da "görünmezlik teknolojileri" üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Çalışmaların sonuçlarının 5-10 yıl içinde uygulamaya konulacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde akustik metamateryaller ile ilgili akademik düzeyde kısıtlı sayıda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmalar ağırlıklı olarak hava ortamında akustik dalgaların manipülasyonu (yönlendirilmesi, odaklanması vb.) ile ilgilidir.

Ülkemizde metamateryaller ile su altı akustik enerji soğurumu konusunda çalışmalar yapmak için laboratuvar, araştırma merkezi, cihaz, yazılım gibi altyapılar yetersiz ve dağınık şekilde de olsa mevcuttur. Üniversite ve araştırma kuruluşlarımızda bu konularda 2 ve 3 boyutlu benzetimlerin yapılabilmesi için bilgisayar altyapısı ve yazılım paketleri mevcuttur. Ancak bu olanaklar 3 boyutta gerçekçi benzetimlerin yapılabilmesi için yetersizdir. Bazı araştırma kurumlarımızda su altı akustik deneyleri için altyapı mevcut olmakla birlikte, özellikle düşük frekansta (<2 kHz) denizaltı operasyon derinliğine uygun değişik sıcaklık, basınç, tuzluluk oranı koşullarında metamateryallerin mekanik ve akustik özelliklerinin kontrollü olarak ölçülebileceği altyapı bulunmamaktadır. Böyle bir altyapı ihtiyacı alternatif teknolojiler için de geçerlidir.

7.5.2 Teknoloji Konuları

Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Odak Çalışma Grubu Tablo 7.5'te verilmiştir.

Tablo 7.5 Odak Çalışma Grubu-4 Teknoloji Konuları

TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
Akustik Simülasyon Araçları	Akustik Hedef Gücü Analizi	A08.08 Matematiksel Model Geliştirme A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılım B03.10 Akustik Tasarım	Akustik hedef gücü simülasyon araçları, özellikle denizaltı tasarımı aşamasında son derece önemlidir. Denizaltı tasarımcıları sonar dalgalarının denizaltı yüzeyinden yansımalarını analiz ederek, denizaltının eşdeğer yansıtıcı yüzeyini küçültmeye çalışırlar. Bu nedenle, akustik görünmezlik



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
		B05.06 Akustik İzler	tasarımında en önemli parametrelerden biri akustik hedef gücüdür. Işın takip vb. yaklaşımlar sinyal yansımalarının modellenmesinde kullanılmaktadır. MİLDEN projesi için kritik bir teknolojidir. Akustik hedef gücü kapsamında uyarlanan sayısal modeller, sentetik açıklıklı sonar, yandan taramalı sonar, çekili sonar dizini ve değişik sonar sistemler için de kullanılabilir.
	Yüksek Çözünürlüklü Sonar Performans Modelleme	A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılım B13.03 Modelleme ve Simülasyon Çözümleri	Akustik yayılım, ortam ve sonar performans modellemede ihtiyaç duyulan oşinografik ve akustik verilerin uzamda ve zamanda yüksek çözünürlüklü ölçülmesi, modelleme başarımı açısından kritiktir. Çeşitli yayılım modelleri bu amaçla uyarlanmaktadır. Türkiye’de bu teknolojiyi geliştiren çeşitli akademik ve savunma sanayii kuruluşları mevcuttur. Yüksek çözünürlüklü sonar performans modellemede fark yaratacak olan yüksek çözünürlüklü veri olacaktır.
	Multistatik Sonar Analizi	B13.03 Modelleme ve Simülasyon Çözümleri	Multistatik sonarlar, kendi ve başka platformların yayınımlarını alıcılarıyla alıp işler ve hem işlenmemiş ham veriyi hem de işlenmiş iz verisini veri füzyonu ile diğer kooperatif platformlar ile paylaşırlar. Monostatik sonarlar birçok ülke tarafından kullanılmakta olup yakın gelecekte multistatik sonar operasyonları sıkça gündeme gelecektir. Multistatik sonar performans analiz araçları ile multistatik çalışma kabiliyetine sahip sonarların performans ve optimum yerleştirme analizlerinin yapılması mümkün olacaktır. Analiz aracının en büyük yararlarından birisi de arttırılmış kapsama alanıdır.
	Multistatik Taktik Analizi	B13.03 Modelleme ve Simülasyon Çözümleri	Multistatik Taktik Analiz Aracı, multistatik sonar altyapısı ve torpido karıştırma aldatma sistemi (TKAS)



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			kullanılarak, birden fazla platform (su üstü platformları veya denizaltılar) için taktik ve senaryo geliştirme amaçlı bir simülasyon aracıdır. ASELSAN bünyesinde bulunan BTBM yazılımı monostatik taktik ve senaryo geliştirme için kullanılmaktadır. Bu teknoloji konu önerisi ile multistatik sonar altyapını kullanan; tespit, takip ve teşhis özelliklerine sahip bir taktik ve senaryo oluşturma simülasyon aracı geliştirilmesi istenmektedir. Bu simülasyon yazılımı ile çoklu/filo halinde hareket eden platformlar için taktik ve senaryo geliştirme çalışmaları yapılabilecektir.
	Hava-Su Altı Kablosuz Ağları Simülasyonu	B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Mevcut teknolojiler ile enerji ve menzil açısından en etkili iletişim akustik sinyaller ile yapılabilmektedir. Akustik sensörlerin kullanıldığı su altı operasyonlarında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri zayıf iletişim kanallarıdır. Akustik kanalların bant genişliği ve veri aktarım hızı alternatiflerine kıyasla düşüktür ve su altı koşullarından dolayı kayıplar ve gecikmeler sıkça yaşanmaktadır. Akustik modemler pahalıdır ve yeni iletişim protokollerinin denenmesi, algoritmaların geliştirilmesi için deneysel sistemlere ihtiyaç vardır. Su altı ağları için test yatakları oluşturmak ve bakımlarını sağlamak pahalıdır. Hava-su altı kablosuz ağları simülasyonu, ömür devri başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı ve kazanılması gereken bir teknolojidir.
	Su Altı Akustik Ağları ile Sürü Algoritmaları Geliştirilmesi	B10.04 Haberleşme Sistemleri - Akustik	Günümüzde hem kara hem de havadaki robotik otonom platform uygulamaları oldukça artmıştır. Sensörlerin ucuzlaması ve yapay zeka algoritmalarının gelişmesiyle çok sayıdaki platformun bir sürü olarak otonom görevleri yerine getirmesi mümkün olmaktadır. Bu



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			tür sürü robotik sistemlerin modern savaşlarda yer almaya başladığı görülmektedir. Savunma sanayii bünyesinde yer alan insan ve mühimmat kaybı riskini azaltmayı hedefleyen projelerin maliyetini düşüreceği için kritik bir teknolojidir.
	Denizaltı Formu ve Takıntılarının Akustik Karakteristiklerini n Optimizasyon Modeli	A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılım B03.10 Akustik Tasarım B05.06 Akustik İzler	Denizaltıların oluşturdukları akış gürültüsüne neden olan en önemli etmenler, denizaltı gövde formu ve üzerinde yer alan takıntılardır. Bu yapıların tasarımı ve birbirleri ile bağlantıları, denizaltının akustik gizlilik açısından önem arz etmektedir. Denizaltıların gövde ve takıntı formlarının tasarımı, azami hızda en az akış gürültüsü verecek şekilde olmalıdır.
Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme	Uyarlanabilir Yüksek Sadakatli Yayılım Modelleri	A08.08 Matematiksel Model Geliştirme A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılım	Akustik yayılım hesabı yapan modeller, ortam ve sonar konfigürasyonuna bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Mevcut uygulamalar tekli akustik yayılım modeli kullanmaktadır. Çoklu akustik yayılım modeli içerecek bir uygulama, operatöre uygun modeli seçme imkanı verecektir. Kullanılan modellerden bazıları şu şekildedir: Işın takip; normal mod; parabolik denklemler vd. Akustik yayılım modellerinin en önemli girdisi ise ses hızı profilidir.
	Denizlerde Oşinografik ve Akustik Ölçüm ve Modelleme	A11.01 Oşinografi	Yayılım modelleri için gereken önemli parametreler dalga, akıntı, CTD, meteorolojik veriler, su seviyesi ölçümleri vb. sayılabilir. Bu ölçümler mevsimsel ve alansal değişkenliği temsil etmelidir. Ölçümler ile uyumlu hidrodinamik bir model gerçek deniz durumlarını temsil etmektedir. Mevcut veriler ve ihtiyaç duyulacak yeni veriler toplanarak, modelin sağlıklı çalışabilmesi için veri tabanı oluşturulmalıdır. Gerek sivil ve gerekse askeri maksatla kullanılan modeller mevcuttur. Deniz hareketi



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
	Gelişmiş Açısal Spektrum Yöntemleriyle Heterojen Ortamların Hızlı Benzetimi	A08.08 Matematiksel Model Geliştirme A11.05 Hava ve Suda Akustik Yayılım	yapan tüm ülkelerin üzerinde çalıştığı bir teknolojidir. Açısal spektrum yöntemiyle homojen ortamda akustik dalga yayılımı çok hızlı bir şekilde çözülebilmektedir. Bu yöntem ile bir düzlemdeki uzamsal akustik basınç alanı, frekans uzamına çevrilmekte ve homojen ortam parametreleri kullanılarak başka bir düzlemdeki basınç alanı hızlı bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu yöntemin homojen olmayan ortamlarda kullanımına yönelik araştırmalar artarak, hızlı ve yüksek doğruluğa sahip benzetim yöntemleri geliştirilmektedir. Bu yöntemin su altı akustiği, sismik görüntüleme ve ultrason uygulamaları mevcuttur.
Akustik İz Düşürücü	Akustik İz Düşürücü Metamalzemeler	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler	Metamalzemeler, standart malzemelerin amaca uygun olarak şekillendirilmesi ile elde edilen kompozit malzemelerdir. Metamalzemeler soğurucu, dağıtıcı ve yönlendirici olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu malzemelerin özellikle düşük frekanslarda pratik olarak uygulanabilme ve etkin sönümleme sağlama potansiyeli vardır. Gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı bir teknolojidir. Bilindiği kadarıyla, dünyada henüz bir denizaltı platformuna metamalzeme tabanlı akustik iz düşürücü kaplama uygulanmış değildir. Su altı akustik metamalzeme iz düşürücüler konusunda ulaşılan teknoloji düzeyi hakkında net bilgi bulunmamaktadır.
	Akustik İz Düşürücü Gözenekli Seramik Yapılar	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler	Açık hücreli gözeneklere sahip soğurgan malzemeler gürültü kontrol endüstrisinin en önemli bileşenlerinden birisidir. Ses dalgaları, duvarlar arasında sınırlandırılmış bir akışkan içinde yayılmaya başladığında katı yüzeylerde termal ve viskoz tabakalar oluşur. Yerel parçacık



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			hızlarının bu katmanlarda azalmasıyla, ilerleyen ses dalgalarında bir sönümleme meydana gelmektedir. Eğer akışkanı sınırlayan katı malzemeler ile oluşturulan gözenekler bu katmanların boyutlarında ve gerekli kalınlıkta seçilirse, içlerinden geçen ses dalgalarının sönümlenmesi beklenir. Su ile empedans uyumlu kaplama malzemelerinin tasarlanmasının mümkün olması nedeniyle, etkin soğurma imkanı vardır.
	Hava Kabarcıkları İçeren Akustik Metamalzeme Soğurucular	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler	Katı matriste periyodik hava baloncukları içeren akustik metamalzemelerin, sabit derinlikte geniş bant su altı akustik soğurma sağlamak için uygun olduğu değerlendirilmektedir. Bu malzemeler kütle-yay sistemi gibi davranmaktadır. Yüzeyde veya sabit derinlikte ilerleyen denizaltılar için sonar görünmezliği sağlamaya uygun akustik sönümleyici malzemelerdir. Sabit derinlikte hava baloncuklarının dizilimleri ve geometrileri tasarlanan değerlerde kalacağından, metamalzeme soğurma performansları öngörülebilirdir. Bu kaplamalar ile düşük frekanslı sonar sinyalleri için 20-30 dB aralığında soğurma sağlanabilir.
	Sensör Akustik Pencerelelerinin ve Sensör Tekne Birleşimlerindeki Akustik Sönümlendirme Malzemeleri	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler	Akustik pencereler, tekne yapısında sonarların ön kısmına denk gelen mevkilerde bulunan ve sonarların akustik sinyali bozulmaya uğramadan almasını ya da göndermesini sağlayan kısımlardır. Burada amaç, sonarın önünde bulunan tekne yapısının, akustik sinyalin yansımadan ve kırılmadan iletilmesidir. Bu maksatla akustik pencerelerin akustik sinyal için geçirgen olması beklenmektedir. Sonar önlerine denk gelen alanlarda bulunan akustik pencerelerde, genellikle CFRP esaslı kompozit



TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	SSB TAKSONOMİSİ	AÇIKLAMA
			malzemeler kullanılmaktadır. Sensör-tekne birleşimindeki titreşim sönümleyici malzemelerin sensörlerin gemi gürültüsü ve akış gürültüsünden etkilenmeyecek şekilde sönümleme yapması beklenmektedir.
	Denizaltılarda Anekoik Kaplama Malzemeleri	A02.01 Akustik ve Titreşim Sönümleyici Malzemeler	Başta sonar olmak üzere gelişen tespit ve teşhis teknolojilerine karşı denizaltının akustik görünmezliğinin artırılması için özellikle 10 Hz – 10 kHz bant aralığında akustik görünmezlik teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, tüm frekans bandında etkili, su altı ortamında ve basınç altında çalışmaya uygun, denizaltılara entegre edilebilen akustik sönümleyici malzeme teknolojilerinin geliştirilmesi denizaltı akustik görünmezliği için kritik öneme sahiptir. Kaplama malzemelerinin tasarımını yapabilecek bir milli bilgi birikimi ve yeteneğin oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

7.5.3 Değerlendirme ve Öneriler

Akustik OTAĞ, Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyon Odak Çalışma Grubu kapsamında, grup üyeleri tarafından teklif edilen Teknoloji Konu Önerileri gruplanarak, üç farklı Teknoloji Konusu başlığı altında toplanmıştır. Teknoloji Konusu Grupları şu şekildedir: (i) Akustik Simülasyon Araçları; (ii) Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme; (iii) Akustik İz Düşürücü Malzemeler. Teknoloji Konusu Grupları altında, sırasıyla, 7, 3 ve 5 adet Teknoloji Konusu Önerisi değerlendirilmiştir. Teklif edilen her bir teknoloji konu önerisi için, teknoloji alternatifleri karşılaştırılmış, dünyada bu alandaki gelişmeler ile Türkiye'deki durum incelenmiştir. İlgili Odak Çalışma Grubu kapsamında değerlendirmeye alınan Teknoloji Konusu Gruplarıyla ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır:



Akustik Simülasyon Araçları:

Su altı akustiği mühendislik simülasyonları; çevre, yayılım, gürültü, yansıma ve sonar performans modellerini içermektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları, sistem performansını değerlendirerek sistem ve alt-sistem tasarımı, test ve değerlendirme yapılmasına imkân sağlamaktadır. Deniz görevleri derin su operasyonlarından daha sığ deniz ortamlarına doğru kaymaktadır. Bu durum, modelleme ve simülasyon teknolojilerine de yansımaktadır. Sığ su ortamlarında, ortamı sınırlayan yüzeyler ile olan etkileşim öne çıkmakta, akustik enerjide saçılım nedeniyle kayıplar yaşanmaktadır. Bu da sonar teknolojileri için zorluklara neden olmaktadır. Simülasyon araçlarında kullanılan yayılım modellerinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için, zaman ve uzamda farklılık gösteren lokal çevre koşullarının da dikkate alınması gerekmektedir. Deniz yatağı özellikleri, batimetri ve ses hız profili gibi ortam değişkenleri, yayılım modellerinin performansını önemli şekilde etkilemektedir. Yüksek çözünürlüklü sonar performans simülasyonu için yayılım modellerinin sadakat seviyesi son derece önemlidir. Mevcut ürünler genellikle klasik performans modellemesi gerçekleştirilmektedir. Önerilen yüksek çözünürlüklü sonar performans modelleme aracı ile mevcutlarına üstünlük sağlayacak bir teknoloji önerilmektedir.

Akustik hedef gücü analizi araçları, denizaltı tasarımı aşamasında denizaltının akustik gizliliğini belirleyen en önemli parametrelerden birisidir. Analizlerde denizaltının geometrisinin yanı sıra kaplama malzemesinin özellikleri de önem arz etmektedir. Bu simülasyon aracı vasıtasıyla, tasarım aşamasında denizaltı geometrisi ile kaplama malzemesinin optimizasyonu mümkün olacaktır. Denizaltı tasarımı ve üretiminde öncü olan ülkelerin sahip olduğu bir teknolojidir. Ülkemizde bağımsız olarak bu teknoloji alanında çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle, MILDEN projesinin gündemde olması nedeniyle kısa vadede edinilmesi gereken bir teknoloji olduğu değerlendirilmektedir. Denizaltıların akustik performansını etkileyecek diğer bir unsur da takıntıların (yelken, fin vb.) akış gürültüsü yönünden optimize edilmesidir. Yapılan bazı çalışmalarda, asıl akış gürültüsünün yelken ön kenarı nedeniyle 500 Hz altındaki frekanslarda oluştuğu yönünde tespitler vardır. Tasarımda bu hususların dikkate alınması önerilmektedir.

Aktif sonar operasyonlarında, monostatik sonarların yanı sıra bi-statik ve multistatik sonar operasyonları da gündeme gelmektedir. Multistatik sonar sistemlerinde işlenmiş sonar verileri füzyona tabi tutularak diğer platformlar ile paylaşılmakta ve taktik resim büyütülmektedir.



Multistatik ekipmanların tasarımına yönelik girdi sağlamak, performanslarının ölçülmesi ve yerleşim analizlerinin yapılabilmesi amacıyla, multistatik operasyonlarda yaşanması olası sorunların etkilerinin yansıtıldığı ve olası hedeflerin modellendiği analiz araçlarının oluşturulması hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda, Multistatik Sonar Analizi teknoloji konusu önerilmiştir. NATO'nun da üzerine çalıştığı bu konsept, ülke olarak da mevcut teknolojik gelişmelerden geri kalmamamız adına kazanmamız gereken önemli bir yetenektir. Ülkemizde mevcut altyapı ve yetişmiş insan gücü ile monostatik sonar performans analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu kabiliyet ve altyapı multistatik sonar performans analizini kapsayacak şekilde geliştirilebilir.

Multistatik sonar altyapısı ve torpido karıştırma aldatma sistemi (TKAS) birlikte kullanılarak, birden fazla platform için taktik ve senaryo geliştirme amaçlı bir simülasyon aracı geliştirilmesi bir teknoloji konu önerisi olarak sunulmuştur. Önerilen simülasyon aracının geliştirilmesiyle, çoklu/filo halinde hareket eden platformlar ile taktik ve senaryo geliştirme mümkün olabilecektir. NATO tarafından çalışılan bir konsept olup, mevcut teknolojik gelişmelerden geri kalmamak adına sahip olmamız gereken bir yetenektir.

Su altı akustik ağları kullanılarak geliştirilecek sürü algoritmaları önerisi, Senkronize Randevu (SR) yöntemini geliştirmeyi hedeflemektedir. SR yönteminde, buluşma noktaları her zaman satıhtadır, dolayısıyla araçlar bir sonraki randevu noktasına kadar birbirleriyle veya operasyon merkeziyle haberleşmemektedir. SR yöntemi planlama problemini hedeflemiş ve su altı haberleşme problemlerini önemsememiştir. Haberleşme problemini çözme hedefiyle, araçlar ve operasyon merkezindeki durumsal farkındalığı arttırmak için, su altı akustik ağları kurulabilir. Su altı akustik ağları ile sürü algoritması geliştirilmesi, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı ve prototip aşamasında olan bir teknolojidir. Haberleşme problemini çözme hedefiyle su altı akustik ağları kurulabilir. Su altı akustik ağları ile sürü algoritması geliştirilmesi, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı ve prototip aşamasında olan bir teknolojidir.

Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme:

Akustik yayılım modelleri ve ortam modelleme, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı bir teknoloji alanıdır. Su altı akustiği alanında yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin temelini oluşturan bir teknoloji alanıdır. Bugün üzerinde çalışılan sonar performans modelleme, denizaltılarda hedef gücü analizi vb. teknoloji konularında her zaman ana unsur, uyarlanabilir bir yayılım modeli olmaktadır. Son yıllarda, yayılım modelleri üzerindeki çalışmalar belli bir



doyum noktasında ulaşmış bulunmaktadır. Fakat gürültü, yansıma ve sonar performans modelleme çalışmalarında son yıllarda bir artış görülmektedir. Saha ölçümleri için ayrılan kısıtlı bütçeler nedeniyle, ortam modelleme yaygın olarak kullanılmaktadır. Gözlem ve modelleme arasındaki kurulması gereken denge ise oldukça hassastır. Deneysel çalışmaların gösterdiğine göre, ortam modelleme ile veri setine derinlik kazandırmak ve yüksek çözünürlük elde etmek mümkün olabilmektedir. Sahadan toplanan verilerin basit fiziksel modeller ile analizi yapıldıktan sonra, birçok araştırmacı matematik model kullanımını daha pratik bulmaktadır. Özellikle, Milli Denizaltı (MİLDEN) projesinin gündemde olduğu günümüzde, özellikle hedef gücü ve sensör etkinlik analizi için söz konusu teknolojinin kapsamlı olarak geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Farklı frekans aralığındaki sonarlar için uygun frekans bölgesinde yüksek hassasiyetle sonuç verecek modeller ayrı ayrı geliştirilerek, uygulanmalıdır. Diğer yandan, oşinografik ve akustik parametrelerin zamana ve uzama bağlı değişimlerini hesaba alınması gereklidir. Denizlerde oşinografik ve akustik ölçüm ve modelleme teknoloji konu önerisiyle, bu alandaki eksikliğin giderilmesine yönelik çalışma tarif edilmektedir.

Su altı akustik yayılım modellerinin geliştirilmesi ve uygulanması özelinde, Türkiye’de de araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerek üniversiteler bünyesinde ve gerekse savunma sanayii ve diğer sektör kuruluşlarında devam etmektedir. Uyarlanabilir yüksek sadakatli yayılım modellerinin geliştirilmesi teknoloji konu önerisi ile bu alandaki yetkinliğin artırılması hedeflenmektedir.

Yaygın olarak kullanılan model çözüm teknikleriyle yüksek hesaplama gücü ve nispeten uzun simülasyon süreleri gerekmektedir. Daha az yaygın olarak kullanılan ve heterojen ortamda akustik dalganın hızlı şekilde çözümü için Gelişmiş Açısal Spektrum Yöntemi teknoloji konu önerisi olarak değerlendirmeye alınmıştır. Son yıllarda, bu yöntemin heterojen olmayan ortamlarda kullanımına yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Bu yöntem ile büyük boyutlu akustik problemlerin gerçekçi benzetimlerinin hızlı bir şekilde yapılması mümkün olabilecektir. Bu sayede akustik sistem tasarım süreleri azaltılabilecek, yüksek çözünürlüklü sismik ve ultrasonik görüntülerin hızlı bir şekilde oluşturulması sağlanabilecektir.

Akustik İz Düşürücü Malzemeler:

Su altı araçlarının akustik izlerinin düşürülmesi amacıyla ikinci dünya savaşından bu yana çeşitli malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemeler genellikle karbon siyahı veya çeşitli inorganik parçacık yüklenmiş kauçuk/poliüretan vb. polimerik malzemelerdir. Akustik



sönümleyici malzemeler, bir cisme çarpan ses dalgalarını soğurarak ses enerjisinin ısı ve/veya elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayan malzemeler/kaplamalardır. Akustik sönümleyici malzeme ile aktif sonarın ses dalgaları sönümlenmekte, böylece yansıyan sinyal azaltılmakta ve düşman sonarının etkili tespit menzili düşürülmektedir. Anekoik kaplama malzemeleri, denizaltının akustik görünmezliğinin artırılmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Tasarımları ve üretimleri milli olarak gerçekleştirilen gemi, denizaltı ve sonar sistemleri göz önünde bulundurulduğunda, anılan malzemelerin öncelikle teknik özelliklerinin doğru tanımlanması, devamında ise kaliteli olarak üretilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Başta sonar olmak üzere gelişen tespit ve teşhis teknolojilerine karşı denizaltının akustik görünmezliğinin artırılması için özellikle 10 Hz – 10 kHz bant aralığında akustik görünmezlik teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde birçok modern denizaltı tasarımında akustik kaplama teknolojisinin kullanıldığı görülmektedir. Modern denizaltılarda genellikle akustik yalıtım sağlayan kauçuk veya benzeri yapıda yumuşak malzemelerden yapılan, kaplama malzemeleri kullanılmaktadır.

Su altı araçlarının akustik izlerini düşürmeye yönelik diğer alternatifler arasında gözenekli malzemeler ile metamalzemeler yer almaktadır. Gözenekli malzemeler iyi ses soğurma özelliğine sahip olup, üretimi kolaydır. Genel olarak, ses soğurma özellikleri, malzeme kalınlığıyla orantılıdır. Gözenek yapısında değişiklikler ile soğurma özellikleri değiştirilebilmektedir. Empedans uyumsuzluğu, gözenekli soğurucu malzemelerin en büyük dezavantajı olarak görülmektedir. Diğer alternatif olan metamalzemeler ise, metal ve plastik gibi farklı malzemelerin bir arada kullanılmasıyla üretilmekte ve özelliklerini üretildikleri malzemeden ziyade, yapısal tasarımlarından almaktadırlar. Metamalzemeler negatif yoğunluk, negatif katılık gibi olağanüstü özelliklere sahip olabilirler. Metamalzemeler ile akustik enerjinin soğurulmasında rezonans, mod dönüşümü, sürtünme vd. mekanizmaların kullanılması söz konusudur. Denizaltıların farklı derinliklerde çalışması metamalzemelerin tasarımını zorlaştırmaktadır. Hidrostatik basınçla boşluklu metamalzemelerde oluşan yapısal değişimler performansı etkilemektedir. Bu nedenle, geniş bant su altı akustik soğurumu sağlamak amacıyla, kütle-içinde-kütle periyodik yapılar içeren akustik metamalzemeler önerilmiştir. Metamalzemelerin su altı özellikleri konusunda üst düzey uluslararası yayınlar büyük oranda Çin Halk Cumhuriyeti ve ABD kaynaklıdır. Literatürde İran kaynaklı çalışmalara rastlaması da dikkat çekicidir. Ancak, ülkelerin su altı akustik metamalzeme iz düşürücüler konusunda ulaştıkları teknoloji düzeyi hakkında net bir bilgi bulunmamaktadır. Stratejik öneme sahip iz



düşürücü malzemelere yönelik olarak, metamateryaller ve gözenekli yapılar için teknoloji konu önerileri sunulmuştur.

7.5.4 Sonuç

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, dünyada ve Türkiye’de endüstri eğilimleri açısından güncel ihtiyaçlara yönelik olarak 15 adet teknoloji konu önerisinde bulunulmuştur. Konu önerileri detaylı olarak irdelenmiş, ülkemiz ve dünyadaki gelişmeler ile eğilimler analiz edilmiştir. Önerilen teknoloji konu önerilerinin hepsi birbirinden kıymetli olup kazanılması aciliyet arz etmektedir. Ancak bunların arasından, yapılan AHP analizleri neticesinde, altı tanesi öne çıkan teknolojiler kapsamında değerlendirilmiştir.

- Multistatik Taktik Analizi
- Multistatik Sonar Analizi
- Uyarlanabilir Yüksek Sadakatli Yayılım Modelleri
- Akustik İz Düşürücü Metamateryaller
- Akustik İz Düşürücü Gözenekli Seramik Yapılar
- Denizaltı Anekoik Kaplama Materyalleri



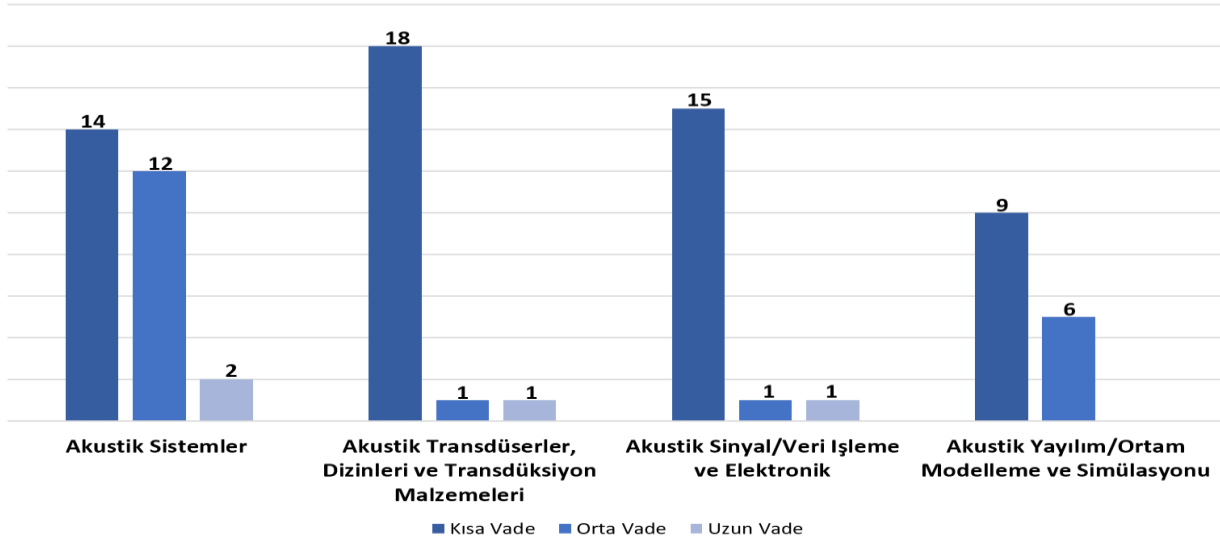
8. TEKNOLOJİ ÖNCELİKLENDİRME ANALİZİ

Teknoloji konuları, Bölüm 5’te detayları verilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) uygulanarak ve çoklu uzman görüşleri kullanılarak önceliklendirilmiştir. Tablo 8.1’de verilen kriterler teknoloji konularının öne çıkmasında etkili olmuştur.

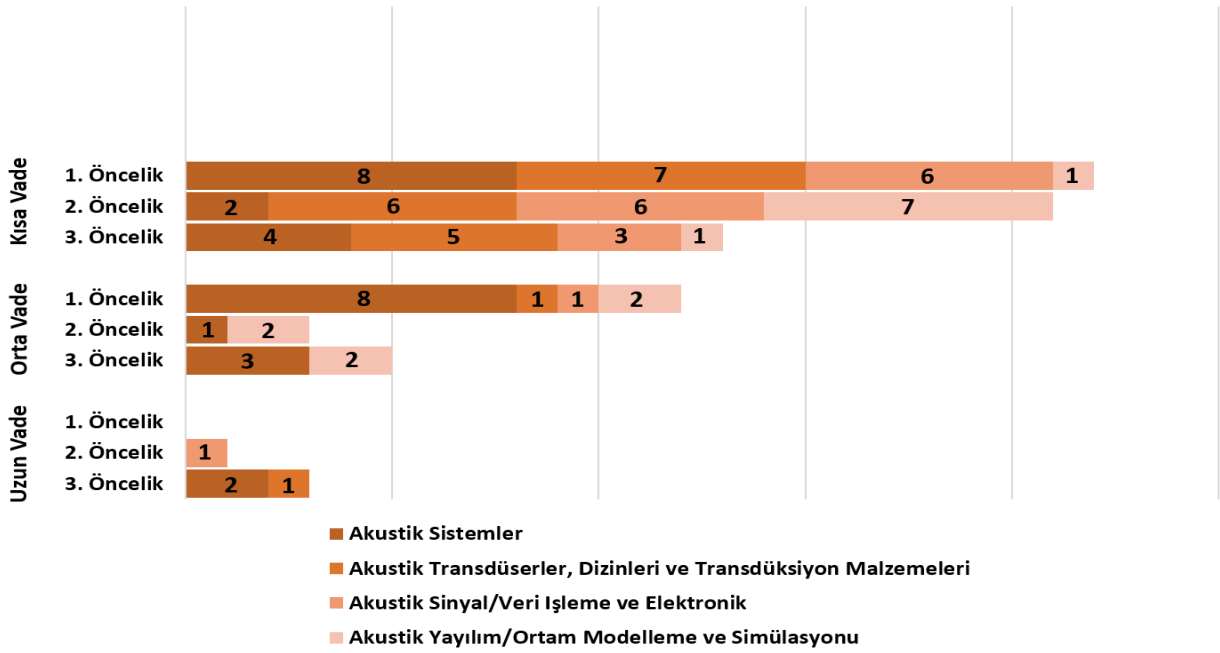
Tablo 8.1 Teknoloji Konularının Öne Çıkmasında Etkili Olan Kriterler

Kritiklik	• Ulusal güvenliğimize doğrudan etkisi bulunan, milli olarak kazanılması zorunlu bir teknolojidir. • Kısıtlayıcı düzenlemelere (FTKR, ITAR) tabi olan teknolojidir.
Dünyadaki Durum	• Gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, prototip aşamasında olan teknolojidir. • Ömür devrinin başında olan, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalıştığı, mevcut ürünlerin ticari olmadığı teknolojidir.
Tedarik Projelerine Uygulama	• Kullanıcı ihtiyacı bulunmaktadır ve mevcut/planlı tedarik projelerinde kullanılacaktır. • Kullanıcı ihtiyacı bulunmaktadır veya mevcut/planlı tedarik projelerinde kullanım imkanı vardır.
İnsan Kaynağı	Yetişmiş insan gücü yeterlidir.
Altyapı	Laboratuvar, araştırma merkezi, cihaz, yazılım gibi altyapılar yeterlidir.
Çift Kullanım	Teknoloji çift amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Teknoloji konularının ihtiyaç vadesine göre dağılımı Şekil 8.1’deki gibi belirlenmiştir. Teknoloji konularının ihtiyaç vadesi; Kısa (1-5 yıl), Orta (5-10 yıl) ve Uzun (>10 yıl) olmak üzere üç kategoride ele alınmıştır. Teknoloji konularının öncelik ve ihtiyaç vadesine göre dağılımı Şekil 8.2’deki gibi oluşmuştur.



Şekil 8.1 Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesine Göre Dağılımı



Şekil 8.2 Teknoloji Konularının Öncelik ve İhtiyaç Vadesine Göre Dağılımı

8.1 AKUSTİK SİSTEMLER TEKNOLOJİLERİ

Akustik Sistemler Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda 11 teknoloji konusu grubu altında 28 teknoloji konusu belirlenmiştir. Belirlenen teknoloji konularının ihtiyaç vadesi ve önceliği Tablo 8.2’de yer almaktadır.



Tablo 8.2 Akustik Sistemler Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği

NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
1	Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Aktif Sonoboy	Kısa	1. Öncelik
2	Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Sürekli Aktif Sonar	Kısa	1. Öncelik
3	Görüntüleme Sonar Sistemleri	Sentetik Açıklıklı Sonar	Kısa	1. Öncelik
4	Görüntüleme Sonar Sistemleri	Tek ve Çok Hüzmeli Yandan Taramalı Sonar	Kısa	1. Öncelik
5	Hava Akustik Sistemleri	Akustik Havan/Top/Topçu Füzesi Tespit Sistemi	Kısa	1. Öncelik
6	Su Altı Haberleşme Sistemleri	Dijital Su Altı Telefonu	Kısa	1. Öncelik
7	Su Altı Haberleşme Sistemleri	Su Altı Akustik Modem	Kısa	1. Öncelik
8	Su Altı Yardımcı Sistemler	Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi	Kısa	1. Öncelik
9	Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri	Su Altı Bütünleşik Seyrüsefer Sistemi	Orta	1. Öncelik
10	Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri	Doppler Hız Logu (DVL)	Orta	1. Öncelik
11	Akustik Su Altı Navigasyon Sistemleri	Su Altı Akustik Konumlama Sistemleri (LBL/SBL/USBL)	Orta	1. Öncelik
12	Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Denizaltı Çekili Sonar	Orta	1. Öncelik
13	Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtı (SQUID) Tabanlı Denizaltı Tespit Sistemi	Orta	1. Öncelik
14	Mayın Avlama Sonar Sistemleri	Denizaltı Mayın Avlama Sonarı	Orta	1. Öncelik
15	Su Altı Haberleşme Sistemleri	İnsansız Su Altı Araçları ile Uzun Mesafe Haberleşme	Orta	1. Öncelik
16	Su Altı Haberleşme Sistemleri	Su Altı Kuantum Haberleşme	Orta	1. Öncelik



NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
17	Denizaltı Savunma Harbi Sistemleri	Hafif Aktif Sonoboy	Kısa	2. Öncelik
18	Su Altı Yardımcı Sistemler	Akıllı Şamandıra Sistemi	Kısa	2. Öncelik
19	Su Altı Yardımcı Sistemler	Öz Gürültü Analizi - İvmeölçer (ONA-Acc)	Orta	2. Öncelik
20	Sismik Tespit Sistemleri	Piezoelektrik Sensör Tabanlı Çevre Güvenlik Sistemi	Kısa	3. Öncelik
21	Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri	Akustik Işıma Kuvveti ile Elastografik Görüntüleme Yöntemleri	Kısa	3. Öncelik
22	Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri	Ultrasonik Tahribatsız Muayene Düzenekleri	Kısa	3. Öncelik
23	Manyetik Sensörler	Manyetik Sensör Sistemleri	Kısa	3. Öncelik
24	Sismik Tespit Sistemleri	Derin Deniz Sismik Araştırma Sistemi	Orta	3. Öncelik
25	Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri	Benzetim Tabanlı Görüntü Oluşturma ile Ultrason Görüntüleme/Tomografi	Orta	3. Öncelik
26	Ultrasonik Görüntüleme Sistemleri	Kontrast Ajan Destekli Ultrason Terapi Yöntemleri	Orta	3. Öncelik
27	Sismik Tespit Sistemleri	Su Altı Sismik Tespit Sistemleri	Uzun	3. Öncelik
28	Su Altı Biyoakustik Sistemler	Su Altı Biyoakustik Kaynak Tespit ve Mimikleme	Uzun	3. Öncelik

8.2 AKUSTİK TRANSDÜSERLER, DİZİNLERİ VE TRANSDÜKSİYON MALZEMELERİ TEKNOLOJİLERİ

Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda 13 teknoloji konusu grubu altında 20 teknoloji konusu belirlenmiştir. Belirlenen teknoloji konularının ihtiyaç vadesi ve önceliği Tablo 8.3'te yer almaktadır.



Tablo 8.3 Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği

NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
1	Fiberoptik Tabanlı Sensörler	Fiber Bragg Grating Sensörler	Kısa	1. Öncelik
2	Fiberoptik Tabanlı Sensörler	Fiber Optik Hidrofon Dizini	Kısa	1. Öncelik
3	MEMS Tabanlı Hava Akustik	Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü	Kısa	1. Öncelik
4	MEMS Tabanlı Sensör Tasarlanması ve Üretimi	Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Vektör Sensör	Kısa	1. Öncelik
5	Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüser	Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüseri	Kısa	1. Öncelik
6	Tek Kristal Piezoelektrik Malzemeler	Katı Hal Kristal Büyütme Tekniğiyle PMN/PT Tek Kristal Üretimi	Kısa	1. Öncelik
7	Tek Kristal Piezoelektrik Malzemeler	Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler	Kısa	1. Öncelik
8	Pasif Çekili Dizin	Denizaltı Pasif Çekili Dizini	Orta	1. Öncelik
9	Aktif Sonoboy Transdüser Birimi	Aktif Sonoboy Transdüser Birimi	Kısa	2. Öncelik
10	Esnek, Kompozit, Konformal Transdüserlerin Tasarımı ve Üretimi	Denizaltılar için Konformal ve Yenilikçi Sensörler ile Dizin Tasarımı	Kısa	2. Öncelik
11	Esnek, Kompozit, Konformal Transdüserlerin Tasarımı ve Üretimi	Piezoelektrik Esnek Kompozit Hidrofon ve Projektör	Kısa	2. Öncelik
12	Hava Akustik	Hava Akustiği Sensörü	Kısa	2. Öncelik
13	Yönlendirilmiş (Dokulu)	Yönlendirilmiş (Dokulu) Piezoelektrik Seramikler	Kısa	2. Öncelik



NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
	Piezoelektrik Seramikler			
14	Vektör Sensör Tasarımı ve Üretimi	Maliyet Etkin Düşük Frekans Vektör Sensör	Kısa	2. Öncelik
15	MEMS Tabanlı Sensör Tasarlanması ve Üretilmesi	Mikro Elektro Mekanik Basınç Sensörü	Kısa	3. Öncelik
16	MEMS Tabanlı Sensör Tasarlanması ve Üretilmesi	Mikro Elektro Mekanik İvmeölçer	Kısa	3. Öncelik
17	MEMS Tabanlı Sensör Tasarlanması ve Üretilmesi	Mikro Elektro Mekanik Mikrofon/Hidrofon Alıcısı	Kısa	3. Öncelik
18	Sismik Sensör Tasarlanması ve Üretilmesi	Sismik Araştırma Hava Tabancaları	Kısa	3. Öncelik
19	Akustik Malzeme Karakterizasyon ve Modellenmesi	Transdüser Malzemeleri Kütüphanesinin ve İlgili Malzemelerinin Modellenmesi	Kısa	3. Öncelik
20	Sismik Sensör Tasarlanması ve Üretilmesi	Su Altı/Yer Altı Sismik Algılayıcılar ve Dizinleri	Uzun	3. Öncelik

8.3 AKUSTİK SİNYAL/VERİ İŞLEME VE ELEKTRONİK TEKNOLOJİLERİ

Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda 5 teknoloji konusu grubu altında 17 teknoloji konusu belirlenmiştir. Belirlenen teknoloji konularının ihtiyaç vadesi ve önceliği Tablo 8.4’te yer almaktadır.



Tablo 8.4 Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği

NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
1	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Görüntüleme Sonarları İleri Sinyal ve Görüntü İşleme Teknikleri	Kısa	1. Öncelik
2	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Otomatik Akustik İmza ve Öznetelik Çıkarımı	Kısa	1. Öncelik
3	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Yandan Taramalı Sonar Görüntülerinden Mayın Tespiti	Kısa	1. Öncelik
4	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Su Altı Otomatik Hedef Tanıma	Kısa	1. Öncelik
5	Bulut Bilişim Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Bulut Tabanlı Yapay Zeka Destekli Büyük Veri Yönetim Sistemi	Kısa	1. Öncelik
6	Multi-statik	Multistatik Sonar	Kısa	1. Öncelik
7	Yapay Zeka Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Akustik Hedef Sınıflandırma	Orta	1. Öncelik
8	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Sürekli Aktif Sonar İleri Sinyal ve Veri İşleme Teknikleri	Kısa	2. Öncelik
9	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Donanım)	Kısa	2. Öncelik
10	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Gömülü Yazılım)	Kısa	2. Öncelik
11	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Yüksek Hızlı Veri Edinimi ve Veri İşleme (Grafiksel Arayüz)	Kısa	2. Öncelik
12	Akustik Veri Füzyonu	Havan ve Top Atış Tespiti İçin Akustik ve Sismik Sensör Füzyonu	Kısa	2. Öncelik
13	Yapay Zeka Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Makine Öğrenmesi ile Taktik Resim Oluşturulması	Kısa	2. Öncelik



NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
14	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Aralarında Asal Dizinlerle Süper Çözünürlüklü Geliş Yönü Kestirimi	Uzun	2. Öncelik
15	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Akustik Sensör ile Gerçek Zamanlı Arazi Tabanlı Hassas Konumlandırma	Kısa	3. Öncelik
16	Akustik Sinyal/Veri ve Görüntü İşleme	Sıkıştırılmış Algılama Teknikleri ve Yenilikçi Sensör Mimarileri ile Su Altı Akustik Tespit ve Yön Kestirimi	Kısa	3. Öncelik
17	Yapay Zeka Tabanlı Akustik Sinyal/Veri İşleme	Makine Öğrenmesi Teknikleri ve Yenilikçi Sensör Mimarileri ile Su Altı Akustik Tespit ve Yön Kestirimi	Kısa	3. Öncelik

8.4 AKUSTİK YAYILIM/ORTAM MODELLEME VE SİMÜLASYONU TEKNOLOJİLERİ

Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Odak Çalışma Grubu çalışmaları sonucunda 3 teknoloji konusu grubu altında 15 teknoloji konusu belirlenmiştir. Belirlenen teknoloji konularının ihtiyaç vadesi ve önceliği Tablo 8.5’te yer almaktadır.

Tablo 8.5 Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Teknoloji Konularının İhtiyaç Vadesi ve Önceliği

NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
1	Akustik İz Düşürücü Malzemeler	Denizaltı Anekoik Kaplama Malzemeleri	Kısa	1. Öncelik
2	Akustik İz Düşürücü Malzemeler	Akustik İz Düşürücü Metamalzemeler	Orta	1. Öncelik
3	Akustik İz Düşürücü Malzemeler	Akustik İz Düşürücü Gözenekli Seramik Yapılar	Orta	1. Öncelik



NO	TEKNOLOJİ KONUSU GRUBU	TEKNOLOJİ KONUSU	İHTİYAÇ VADESİ	ÖNCELİK
4	Akustik Simülasyon Araçları	Akustik Hedef Gücü Analizi	Kısa	2. Öncelik
5	Akustik Simülasyon Araçları	Yüksek Çözünürlüklü Sonar Performans Modelleme	Kısa	2. Öncelik
6	Akustik Simülasyon Araçları	Denizaltı Formu ve Takıntılarının Akustik Karakteristiklerinin Optimizasyon Modeli	Kısa	2. Öncelik
7	Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme	Uyarlanabilir Yüksek Sadakatli Yayılım Modelleri	Kısa	2. Öncelik
8	Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme	Denizlerde Oşinografik ve Akustik Ölçüm ve Modelleme	Kısa	2. Öncelik
9	Akustik İz Düşürücü Malzemeler	Hava Kabarcıkları İçeren Akustik Metamalzeme Soğurucular	Kısa	2. Öncelik
10	Akustik İz Düşürücü Malzemeler	Sensör Akustik Pencerelerinin ve Sensör-Tekne Bileşimlerindeki Akustik Sönümlendirme Malzemeleri	Kısa	2. Öncelik
11	Akustik Simülasyon Araçları	Multistatik Sonar Analizi	Orta	2. Öncelik
12	Akustik Simülasyon Araçları	Multistatik Taktik Analizi	Orta	2. Öncelik
13	Akustik Yayılım Modelleri ve Ortam Modelleme	Gelişmiş Açısal Spektrum Yöntemleriyle Heterojen Ortamların Hızlı Benzetimi	Kısa	3. Öncelik
14	Akustik Simülasyon Araçları	Hava-Su Altı Kablosuz Ağları Simülasyonu	Orta	3. Öncelik
15	Akustik Simülasyon Araçları	Su Altı Akustik Ağları ile Sürü Algoritmaları Geliştirilmesi	Orta	3. Öncelik



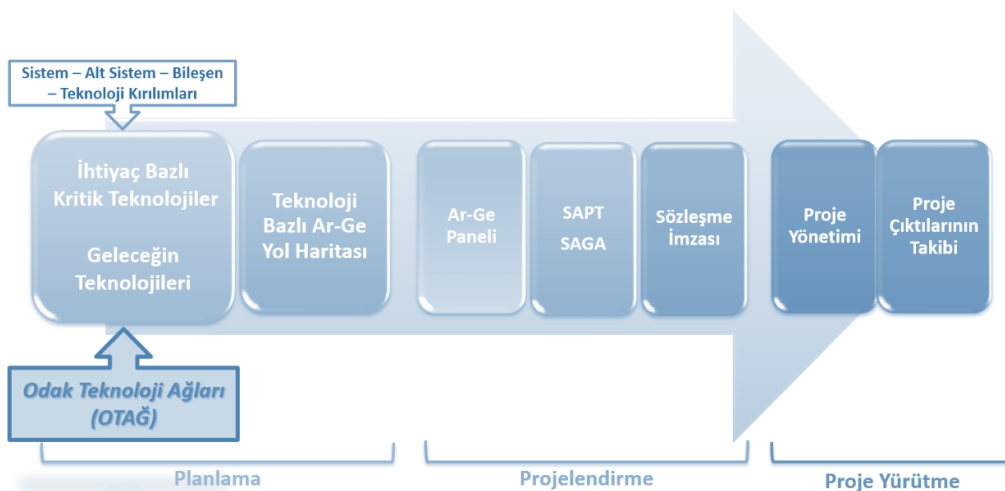
9. KAZANIM PLANI ÇALIŞMALARI

9.1 SSB AR-GE PROJELENDİRME YÖNTEMİ

Temel ve ileri teknolojilerin %100 milli imkânlarla kazanılması vizyonu ile mevcut/planlı sistem ve/veya platform projelerinin ihtiyaç duyduğu teknolojik altyapının Ar-Ge Projeleri Yol Haritası kapsamında gerçekleştirilmesi ve Ar-Ge projelerinin tanımlanarak başlatılması SSB Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından yürütülmektedir.

Bahse konu projeler Ar-Ge Projeleri Yol Haritası kapsamında planlanmakta ve yürütülmektedir. Ar-Ge Projeleri Yol Haritası; mevcut sistem/platform projeleri ile On Yıllık Tedarik Programı'nda planlı hedef sistem/alt sistem/bileşen/platform kırımları kapsamında veya teknolojik açıdan kritiklik oluşturan ve kazanılması gereken bileşen/teknolojilerin belirlenmesine yönelik çalışmalar ilgili Daire/Grup Başkanlıkları ile koordine edilerek planlanmaktadır.

İhtiyaç halinde, çalışmalar esnasında belirlenen konulara ilişkin, ilgili sanayi, üniversite, TSK ve kamu kuruluşlarının görüşlerini almak üzere ilgili Daire/Grup Başkanlıkları ile birlikte OTAĞ çalışma grupları oluşturulmaktadır. Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı tarafından gerçekleştirilen Yol Haritası çalışmaları OTAĞlar sonucunda güncellenerek belirlenen konular SSB Ar-Ge Paneli onayı ile projelendirilmektedir. Bu teknolojilerin kazanımı konusunda ilgili kurumlar ile koordine edilerek kaynak planlanması da yapılabilmektedir. Şekil 9.1'de SSB Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı proje yönetim süreci gösterilmiştir.



Şekil 9.1 Ar-Ge ve Teknoloji Yönetimi Daire Başkanlığı Proje Yönetim Süreci



9.2 DİĞER FON SAĞLAYICILARIN PROJELENDİRME YÖNTEMİ

Türkiye’de yeni kurulacak işletmelerin ve mevcut firmaların yatırımlarında yararlanabilecekleri farklı kurumlar tarafından sağlanan pek çok teşvik ve destek programı bulunmaktadır. Temel destek sağlayan kurumlar arasında Kalkınma Ajansları, Ticaret Bakanlığı, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB), Türkiye İş Kurumu (İŞKUR), Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ve Sanayii ve Teknoloji Bakanlığı yer almaktadır. Teşvikler konusunda ana sorumlu Ticaret Bakanlığı’dır. Hibe ve krediler kapsamında TÜBİTAK, İŞKUR, KOSGEB, Kalkınma Ajansları ile Sanayii ve Teknoloji Bakanlığı tüm sektörlerle açıktır. Ayrıca Savunma Sanayii Başkanlığı’nın da kendi sektörüne özel “Nitelikli Ürün Kredisi” ve “Endüstriyel Değerlendirme ve Destekleme Projesi (EYDEP)” gibi destek mekanizmaları bulunmaktadır. Kurumlar tarafından sağlanan destekler Tablo 9.1 içinde gösterilmiştir.

Tablo 9.1 Kurumlar Tarafından Sağlanan Destekler

TEŞVİK / DESTEK ADI	SSB	Ticaret Bakanlığı	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	TÜBİTAK	KOSGEB	TTGV	İŞKUR	Kalkınma Ajansları	BOREN
Yatırım Teşviki/ Desteği		✓	✓	✓					✓
KOBİ Destekleri		✓	✓	✓	✓			✓	✓
Yüksek Teknolojili Ürün Destekleri	✓	✓	✓	✓		✓			✓
Kredi Desteği	✓				✓			✓	
Ar-Ge Desteği	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Genel Destekler		✓			✓			✓	
İstihdam Teşviki/ Desteği		✓			✓		✓		
Bina/İnşaat/ Emlak ile İlgili Destekler			✓						
Laboratuvar Hizmetleri Destekleri				✓	✓				
İşbirliği Destekleri		✓	✓	✓	✓				
Uluslararası İşbirliklerine Katılım Destekleri				✓					
Patent Desteği				✓					
Sanayi Katılımı/Offset	✓								



10. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇ

Denizlerimizin güvenliği ve denizlerimizdeki ticari haklarımızın korunması açısından akustik teknolojilerindeki üstünlüğümüzü arttırmak kritiktir. Akustik teknolojileri, sadece askeri ve sivil deniz uygulamalarını içermemektedir. Aynı zamanda, hava, kara ve medikal gibi diğer uygulamaları da bulunmaktadır. Tüm bu alanlarda dünyada yürütülen yoğun çalışmaların takip edilmesi ve teknolojik gelişmelere öncülük edilmesi önemlidir. Akustik OTAĞ faaliyetleri ile akustik teknolojileri alanındaki çalışmalarımızın daha etkin ve teknolojik olarak üstün hale geleceği değerlendirilmektedir.

Denizaltı savunma harbine yönelik akustik teknolojileri dışında, kuantum teknolojileri gibi ileri algılama ve haberleşme teknolojilerinin de çalışılmasının kritik olduğu değerlendirilmektedir. Akustik OTAĞ kapsamında, bu konular da ele alınmıştır.

Lansman toplantısı 03 Kasım 2020 tarihinde gerçekleştirilen Akustik OTAĞ kapsamında 4 OÇG altında yaklaşık 2 yıl süresince çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmüştür. Türkiye'deki mevcut altyapı ve kabiliyetler ile ihtiyaç duyulan teknoloji konuları ve kazanılması üstünlük sağlayacak ileri teknoloji konuları belirlenmiştir. Belirlenen 80 teknoloji konusu, GZFT analizi de yapılarak detaylı olarak çalışılmıştır. Teknoloji konuları, kritiklik gibi belirlenen kriterler ve ihtiyaçlar doğrultusunda AHP analizi kullanılarak önceliklendirilmiştir.

Akustik Sistemler Odak Çalışma Grubu kapsamında; “Aktif Sonoboy”, “Sürekli Aktif Sonar”, “Sentetik Açıklıklı Sonar”, “Tek ve Çok Hüzmeli Yandan Taramalı Sonar”, “Akustik Havan/Top/Topçu Füzesi Tespit Sistemi”, “Dijital Su Altı Telefonu”, “Su Altı Akustik Modem”, “Öz Akustik Gürültü Ölçüm, İzleme ve Uyarı Sistemi”, “Su Altı Bütünleşik Seyrüsefer Sistemi”, “Doppler Hız Logu (DVL)”, “Su Altı Akustik Konumlama Sistemleri (LBL/SBL/USBL)”, “Denizaltı Çekili Sonar”, “Süperiletken Kuantum Girişim Aygıtı (SQUID) Tabanlı Denizaltı Tespit Sistemi”, “Denizaltı Mayın Avlama Sonarı”, “İnsansız Su Altı Araçları ile Uzun Mesafe Haberleşme”, “Su Altı Kuantum Haberleşme” öncelikli konular olarak belirlenmiştir.

Akustik Transdüserler, Dizinleri ve Transdüksiyon Malzemeleri Odak Çalışma Grubu kapsamında; “Fiber Bragg Grating Sensörler”, “Fiber Optik Hidrofon Dizini”, “Piezoelektrik Film Titreşim Sensörü”, “Silisyum Tabanlı MEMS Su Altı Akustik Vektör Sensör”, “Sentetik Açıklıklı Sonar Aktif/Pasif Transdüseri”, “Katı Hal Kristal Büyütme Tekniğiyle PMN/PT Tek



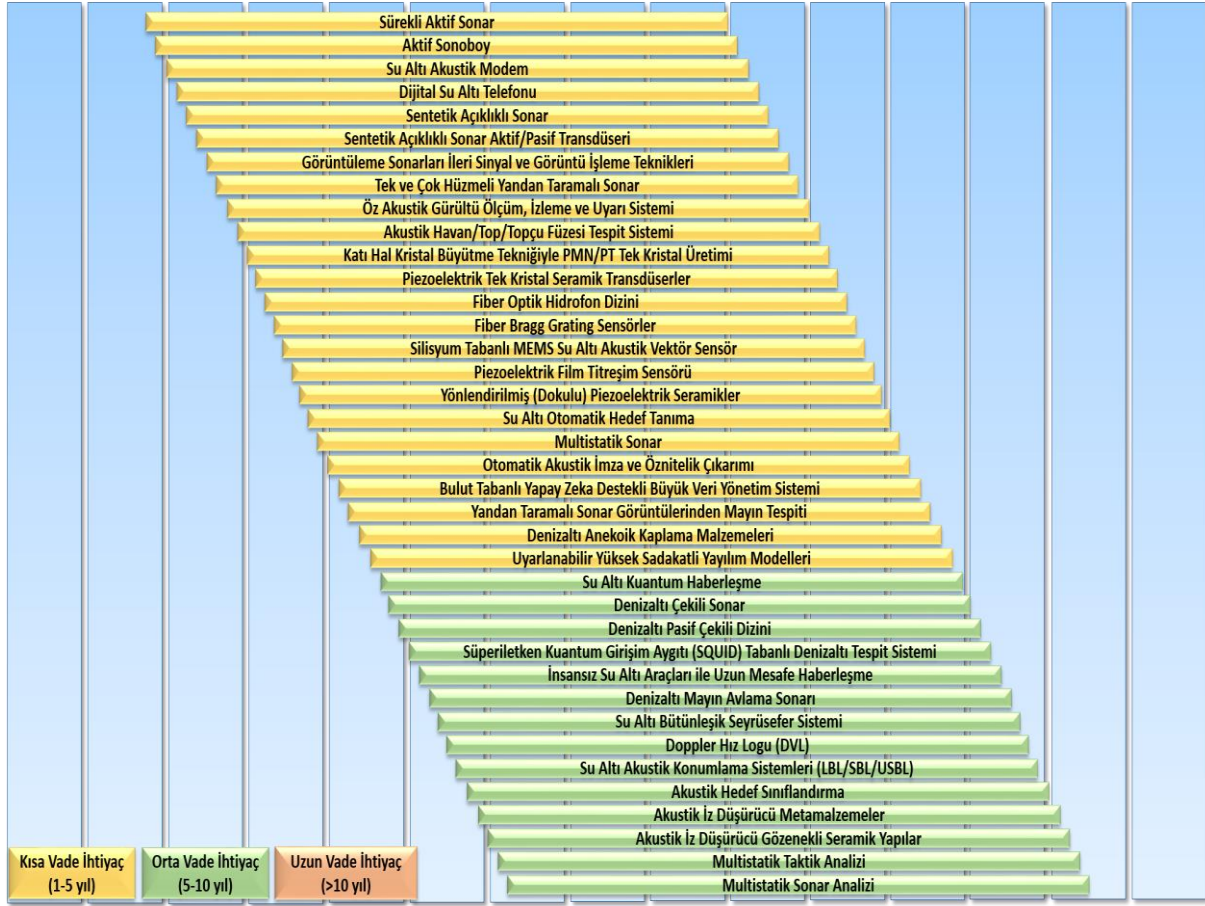
Kristal Üretimi”, “Piezoelektrik Tek Kristal Seramik Transdüserler”, “Denizaltı Pasif Çekili Dizini” öncelikli konular olarak belirlenmiştir.

Akustik Sinyal/Veri İşleme ve Elektronik Odak Çalışma Grubu kapsamında; “Görüntüleme Sonarları İleri Sinyal ve Görüntü İşleme Teknikleri”, “Otomatik Akustik İmza ve Öznetelik Çıkarımı”, “Yandan Taramalı Sonar Görüntülerinden Mayın Tespiti”, “Su Altı Otomatik Hedef Tanıma”, “Bulut Tabanlı Yapay Zeka Destekli Büyük Veri Yönetim Sistemi”, “Multistatik Sonar”, “Akustik Hedef Sınıflandırma” öncelikli konular olarak belirlenmiştir.

Akustik Yayılım/Ortam Modelleme ve Simülasyonu Odak Çalışma Grubu kapsamında; “Denizaltı Anekoik Kaplama Malzemeleri”, “Akustik İz Düşürücü Metamalzemeler”, “Akustik İz Düşürücü Gözenekli Seramik Yapılar”, “Multistatik Taktik Analizi”, “Multistatik Sonar Analizi”, “Uyarlanabilir Yüksek Sadakatli Yayılım Modelleri” öncelikli konular olarak belirlenmiştir.

Öncelikli olarak belirlenen teknoloji konuları ve ileride öncelikli hale gelebilecek teknoloji konuları kapsamında, paydaşlar arasında koordineli teknoloji geliştirme çalışmaları yürütülmesi; bu kapsamda ihtiyaç duyulan teknolojik tasarım, üretim ve test altyapılarının planlanıp kurulması, kabiliyetlerin ve insan kaynağının artırılarak korunması, ülkemizin akustik teknolojileri alanında varlığı açısından önem arz etmektedir.

Akustik OTAĞ çalışmaları neticesinde önümüzdeki 10+ yıllık dönemde Akustik Teknolojileri Yol Haritasına girmesi uygun değerlendirilen teknoloji konuları Şekil 10.1’de yer almaktadır. Akustik Teknolojileri Yol Haritası’nın gelişen güncel teknolojiler doğrultusunda sürekli olarak güncellenmeye devam edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.



Şekil 10.1 Akustik Teknolojileri Yol Haritası



11. AKUSTİK ODAĞ KATILIMCILARI

KURUM	
1.	SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI
2.	SANAYİ VE TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
3.	GENELKURMAY BAŞKANLIĞI
4.	DENİZ KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI
5.	MSB - TERSANELER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
6.	MSB - TEKNİK HİZMETLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ AR-GE DAİRE BAŞKANLIĞI
7.	DENİZ KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI - ARMERKOM
8.	HAVA KUVVETLERİ KOMUTANLIĞI - HUGEM
9.	TÜBİTAK BİLGEM
10.	TÜBİTAK MAM
11.	TÜRK SİLAHLI KUVVETLERİNİ GÜÇLENDİRME VAKFI
12.	TÜRKİYE PETROLLERİ ANONİM ORTAKLIĞI
13.	BURSA TİCARET VE SANAYİ ODASI

ÜNİVERSİTE VE ARAŞTIRMA MERKEZİ	
1.	AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
2.	ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
3.	BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ - BAUMIND
4.	BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ
5.	BOĞAZİÇİ ÜNİVERSİTESİ
6.	BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
7.	ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
8.	DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ
9.	ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
10.	ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
11.	GAZİ ÜNİVERSİTESİ
12.	GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
13.	HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
14.	İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ



ÜNİVERSİTE VE ARAŞTIRMA MERKEZİ	
15.	İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
16.	İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
17.	KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
18.	NANOTAM - BİLKENT ÜNİVERSİTESİ
19.	ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
20.	ODTÜ MEMS MERKEZİ
21.	ÖZYEGİN ÜNİVERSİTESİ
22.	SABANCI ÜNİVERSİTESİ
23.	SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
24.	TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
25.	YILDIRIM BEYAZIT ÜNİVERSİTESİ
26.	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FİRMA	
1.	ARMELSAN
2.	ASELSAN
3.	BİAS MÜHENDİSLİK
4.	BİTES SAVUNMA
5.	DENAR DENİZ ARAŞTIRMALARI
6.	HAVELSAN
7.	KOÇ BİLGİ VE SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ
8.	METEKSAN SAVUNMA
9.	NANOMANYETİK
10.	NANOTECH
11.	PECHOM
12.	ROKETSAN
13.	SAVRONİK
14.	SAVUNMA SANAYİ TEKNOLOJİLERİ SSTEK
15.	TRANSVARO
16.	TR TEST
17.	ULTRASONAR



12. KAYNAKLAR

- IMARC, 2021. Global Sonar Systems Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2020-2025.
- Saaty, T. L., 1990. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*.
- ArXiv, 25 Jun 2021. 2106.13441v1 [quant-ph].
- ArXiv, 9 Apr 2020. 2004.04821v1 [quant-ph].
- Mario Mastriani, Sundaraja Sitharama Iyengar, K. J. Latesh Kumar, 2021. Bidirectional Teleportation for Underwater Kuantum Communication. *Kuantum Information Processing* 20:22 <https://doi.org/10.1007/s11128-020-02970-5>.
- Chen Y., Shen W., Li Z., Hu C., Yan Z., Jiao Z., Gao J., Cao M., Sun K., Jin X., 2020. Underwater Transmission of High-Dimensional Twisted Photons Over 55 Meters. *Photonix* 1:5 <https://doi.org/10.1186/s43074-020-0002-5>.
- Ali Erman ÜZGÜR, 2006. Zil Tipi Piezokompozit Transdüser Tasarımları ve Akustik Uygulamaları. *Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- www.lpi.tel.uva.es
- Charles H. Sherman John L. Butler. Transducers and Arrays for Underwater Sound.
- Sang Yongjie. Underwater Acoustic Transducers. *Acoustic Science and Technology Laboratory, Harbin Engineering University*.
- Kenji Uchino, 2010. Advanced Piezoelectric Materials Science and Techno. *Woodhead Publishing Limited*.
- Defpost. GeoSpectrum Technologies Completes ASW Trial of Its TRAPS Sonar on Board HMCS Glace Bay.
- Qihu Li. Digital Sonar Design in Underwater Acoustics: Principles and Applications.
- L. Bjørnø. Underwater Acoustic Measurements and Their Applications.
- Stephen C. Butler, 2018. Sensors and Sonar Systems Department, Properties of Transducers: Underwater Sound Sources and Receivers. *NUWC-NPT Technical Document*.
- Florian Schulz, Till Wiegand, 2018. Underwater Acoustic Communications for Submarines - A Sonar Company's Perspective. *IEEE*.



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

AKUSTİK ODAK TEKNOLOJİ AĞI (OTAÇ)

SONUÇ RAPORU

Aralık 2022

