



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

MİLLÎ DİZEL DENİZ MOTORLARI YOL HARİTASI

SONUÇ RAPORU

TASNİF DIŞI



NİSAN 2024

Motor ve Güç Aktarma Sistemleri Daire Başkanlığı



MİLLÎ DİZEL DENİZ MOTORLARI YOL HARİTASI

Sonuç Raporu

Nisan 2024

TASNİF DIŞI

BAŞKAN SUNUŞU

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı, savunma sanayiindeki millî kabiliyetlerimizi sürekli gelişim sürecine tabi tutarak, dışa bağımlılığı sistematik olarak en aza indirmek hedefi doğrultusunda; Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ve diğer Güvenlik Birimlerinin millî savunma sanayii ürünü teçhizatla donatılması için çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda, deniz araçlarında kullanılan tahrik sistemleri, platformların en önemli unsurlarından biridir ve dünyada bu sistemleri geliştirmeyi başarmış ülke sayısı oldukça sınırlıdır. Yakın zamanlı örneklerde görüldüğü üzere, tahrik sistemleri zaman zaman uluslararası ilişkilerde yaptırım aracı olarak kullanılabilir.



Bu doğrultuda, Savunma Sanayii Başkanlığı koordinasyonu, Dz.K.K.lığı, Sahil G.K.lığı, Tersaneler Genel Müdürlüğü, askerî gemi inşa eden özel tersaneler ve motor imalatçıları iş birliği ile 2022-2023 yılları içerisinde “Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası” çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile 2023-2040 yılları arasındaki süreçte tedarik, ürün geliştirme ve Ar-Ge projelerini yönlendirici, şirket ve devlet kaynaklarının maliyet etkin ve verimli kullanılmasını sağlamaya yönelik bir başvuru kaynağına ulaşılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, “Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası” gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar çerçevesinde, ihtiyaç makamları ve sektörden geri bildirimlerle düzenli aralıklarla revize edilecektir.

“Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası”nın ülkemiz savunma sanayisi için hayırlı olmasını diler, bu Yol Haritası'nın hazırlanmasında emeği geçen başta Motor ve Güç Aktarma Sistemleri Daire Başkanlığı olmak üzere, tüm Başkanlık personeline, değerli katkılarını esirgemeyen tüm kişi, kurum ve kuruluşlara göstermiş oldukları çaba için teşekkür eder, başarılarının devamını dilerim.

Prof. Dr. Haluk Görgün
BAŞKAN

İÇİNDEKİLER

1. Giriş	6
2. Yöntem	7
3. Deniz Tipi Tahrik Sistemleri	8
3.1. Deniz Tipi Tahrik Sistemleri Pazarı	8
3.2. Deniz Motoru Türleri	10
3.2.1. İçten yanmalı motorlar	10
3.2.2. Gaz türbinli motorlar	13
3.2.3. Elektrik motorları	16
3.3. Uygulama Türü	20
3.4. Tahrik Sistemi Mimarisi ve Aktarma Organları	22
4. Denizaltı Güç Sistemleri	24
4.1. Genel Özellikler	24
4.2. Havadan Bağımsız Tahrik Sistemi (HBT)	24
4.3. Elektrik Motoru ve Batarya	27
4.4. Denizaltı Dizel Jeneratörleri - Küresel Örnekler	28
4.5. Denizaltı Dizel Jeneratörü Temel Özellikleri	29
4.6. Sektör Lideri - MTU Denizaltı Dizel Motorları	30
5. 2020-2050 Yılları Arası Trend Araştırması	32
5.1. Emisyonların Düşürülmesi	32
5.2. Net Sıfır Emisyon Hedefine Ulaşmanın Ön Şartı	33
5.3. Alternatif Yakıtlar	33
5.3.1. Hidrojen	33
5.3.2. Amonyak	36
5.3.3. Sentetik Yakıtlar	37
5.3.4. Biyoyakıt	38
5.4. Batarya Elektrikli ve Yakıt Hücreli Deniz Araçları	39
5.5. Uluslararası Donanmalar Literatür Taraması	44
5.5.1. ABD Donanması	44
5.5.2. Hindistan Deniz Kuvvetleri	48
5.6. Genel Değerlendirme – Trend Araştırması	50

6. Türkiye Gemi İnşa Sanayi	51
6.1. Türkiye Tersaneleri Mevcut Durum	51
6.2. Askerî ve Sahil Güvenlik Deniz Araçları Projeleri	52
6.3. Sahil Güvelik Komutanlığı Envanteri	58
6.4. MİLGEM Projesi	58
6.5. Yeni Tip Denizaltı Projesi	59
7. Uluslararası Kısıtlamalar	61
8. Yerli Motorlar	62
8.1. Yerli Karasal Motor Geliştirme Çalışmaları	62
8.2. Büyük Hacimli Yerli Motorlar	66
8.2.1. BATU-BMC POWER	66
8.2.2. ÖZGÜN – TÜBİTAK RUTE	68
8.2.3. TLM (TÜRASAŞ)	69
8.3. Yerli Deniz Motorları	72
8.3.1. Geçmiş deneyimler	72
8.3.2. Yakın tarihli girişimler	76
8.4. Genel Değerlendirme – Yerli Motorlar	79
9. Mevcut İhtiyaçlar	80
9.1. 2050 Yılına Kadar Üretilmesi Planlanan Su Üstü Platformlar ve Dizel Motorları	80
9.2. Ömür Devrini Tamamlayacak Motorların İkamesi (500 – 2.000 kW)	80
9.3. Yeni İnşa için Kolay İdameye Yönelik Konfigürasyon Belirlenmesi	81
9.4. Genel Değerlendirme	81
10.Proje Önerileri	83
10.1. 350 – 500 kW Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	83
10.2. 2+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	84
10.3. 4+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	86
10.4. Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) Kapsamında Dizel Jeneratör Geliştirilmesi	86
10.5. 10+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	87
10.6. İthal Motorlar için Yerli Parça Üretiminin Desteklenmesi	88

11.Sonuç ve Öneriler	90
11.1. Genel Değerlendirme	90
11.2. Teknoloji Yol Haritası	93
12.EKLER	95
12.1. Geri Bildirim Talep Edilen Kurum ve Kuruluşlar	95
12.2. ABD Donanması Deniz Tipi Dizel Motor Standartları	96
12.3. Elektriksel Güç Tanımı	99
13.Şekiller	100
14.Tablolar	103
15.Kaynakça	105
16.Kısaltmalar	112

1 GİRİŞ

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı, savunma sanayiindeki millî kabiliyetlerimizi sürekli gelişim sürecine tabi tutarak, dışa bağımlılığı sistematik olarak en aza indirmek hedefi doğrultusunda; Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ve diğer Güvenlik Birimlerinin millî savunma sanayii ürünü teçhizatla donatılması için çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu doğrultuda, Savunma Sanayii Başkanlığı ve STM¹ işbirliği ile "Deniz Platformları Güç Gruplarına İlişkin Geliştirme Yol Haritası ve Teknolojik yapılabirliği Fizibilite Çalışması" raporu hazırlanmış ve 2020 yılında yayımlanmıştır (1). Bu kapsamlı çalışmada TSK ve diğer Güvenlik Birimlerinin yanı sıra sanayi odaları, organize sanayi bölgeleri ve kümelenmeler ile irtibata geçilmiştir. Ancak kara araçları güç grupları geliştirme faaliyetlerinde gelinen nokta ile deniz araçları yol haritasının tekrar gözden geçirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada daha önceki rapordan farklı olarak yapılabirliği daha yüksek, somut hedeflere odaklanılmıştır.

Deniz araçları tahrik sistemleri kara araçlarına göre çok daha fazla çeşitlilik içermektedir. İçten yanmalı motorlar, buhar türbinleri, gaz türbinleri, nükleer reaktörler, yakıt hücreleri, elektrik motorları gibi çok çeşitli güç üniteleri farklı kombinasyonlarla bir araya gelebilmektedir. Türk Donanması özelinde en yaygın 3 motor türü; dizel motorlar, gaz türbinli motorlar ve elektrik motorlarıdır. Bu çalışmanın odak noktası dizel motorlardır. Başkanlığımız tarafından başlatılan Motor, Transmisyon, Güç Grubu ve Hibrit Tahrik Sistemi geliştirilmesi projeleri kapsamında kara platformlarına yönelik yerli ve millî çözümler oluşturulmaktadır. Yürütülen projelerde belirli bir teknik olgunluğa ulaşılmış olup geliştirme projeleri çıktısı olan yerli ürünlerin gerekli değişikliklerle deniz platformlarında kullanımına yönelik çalışma yapılması planlanmaktadır. Malum olduğu üzere deniz tipi motor ve güç aktarma sistemleri, gerek platformun operatif etkinliği gerekse ömür döngüsü süresince sahip olduğu oransal maliyetle platformlar için büyük öneme sahiptir. Karasal uygulamalarda kendini ispatlamış bir motorun bile deniz uygulaması, kapsamlı ürün geliştirme faaliyeti gerektirmektedir. Bu açıdan ihtiyaçların ve kabiliyetlerin doğru tespit edilmesi ve bu ihtiyaçları karşılamanın maliyetinin doğru hesaplanması önem arz etmektedir.

"Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası" raporunda öncelikle deniz ve denizaltı motorlarının temel bileşenleri tanıtılmaktadır. Bölüm 5'te 2020-2050 yılları arası trend araştırması sonuçları aktarılmaktadır. Bölüm 5.5'te dünyanın en güçlü donanması olan ABD Donanması ve gelişmekte olan ülkelere örnek olarak Hint Donanması'nın stratejileri ile ilgili literatür çalışması özetlenmektedir. Bölüm 6'da askerî projeler dâhil Türk Gemi İnşa Sanayi'nin mevcut durumu gözden geçirilmektedir. Bölüm 7'de askerî projelerde uluslararası kısıtlamalarla ilgili genel bir değerlendirme yapılmaktadır. Bölüm 8'de deniz uyumlandırma potansiyeli bulunan karasal motorlar tanıtılmakta ve Türkiye'deki geçmiş deniz-tipi motor geliştirme faaliyetleri ile ilgili deneyimler aktarılmaktadır. Bölüm 9'da Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Tersaneler Genel Müdürlüğü, Sahil Güvenlik Komutanlığı ve askerî gemi inşa eden önde gelen tersanelerden yakın zaman önce toplanan veriler ve geri bildirimler ışığında şekillenen mevcut ihtiyaçlar özetlenmektedir. Bu çalışma kapsamında 2050 yılına kadar ihtiyaçlar, geçmiş gemi inşa projeleri ve millî karasal motor çalışmaları birlikte irdelenmiş ve yapılabirliği ve/veya stratejik önemi yüksek altı proje tespit edilmiştir. Bölüm 10'da bu proje önerileri gerekçelendirilmekte ve detaylandırılmaktadır.

Son olarak, "Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası" yaşayan bir doküman olarak gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar çerçevesinde, sektörden gelecek geri bildirimlerle, düzenli aralıklarla revize edilecektir.

1 STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.

2 YÖNTEM

Yol haritasının oluşturulması için öncelikle SSB içerisinde ön hazırlık toplantıları gerçekleştirilmiş ve “Ön Hazırlık”, “Paydaş Koordinasyonu”, “Önerilerin Toplanması ve Tasnifi”, “İlgili Uzmanlarla Konu Bazlı Toplantılar”, “Önceliklendirme ve Yol Haritasının Tariflenmesi” ve “Taslak Yol Haritasının Görüşe Açılması” olmak üzere altı adımlı bir “Ortak Akıl” yöntemine başvurulmuştur.

Türkiye’de motor ve güç aktarma sistemleri konusunda sistem kullanıcısı ve idame işletme faaliyetlerini gerçekleştiren TSK, Güvenlik Birimleri, askerî gemi inşa eden özel tersaneler ve motor imalatçıları ile koordinasyon kurulmuştur. İletişime geçilen paydaşların tam listesi eklerde sunulmaktadır (12.1). İlgili kurum/kuruluşlardan gelen bilgiler, alanında uzman kişilerle gerçekleştirilen toplantılar ışığında değerlendirilerek, mevcut durum ortaya konulmuş, hâlihazırda çalışılan ve gelecekte çalışılması gereken hususlar ele alınmıştır. Yapılan çalışmadaki adımlara ilişkin tanımlar ilgili tabloda (Tablo 1) sunulmaktadır. Ayrıca, çalışma kapsamında süreli yayın ve dergi makaleleri gözden geçirilmiş; yol haritasına katkı sağlayacağı düşünülen tüm literatür rapor kapsamında referanslanmıştır.

Tablo 1 Paydaş Katılımı İçin İzlenen Yöntem

Yöntem Adımları	Kapsam
Ön Hazırlık	• Çalışma kapsamının belirlenmesi • İlgili kurum ve kuruluşların belirlenmesi • Roller ve sorumluluklar ile çalışma usullerinin tanımlanması • Soru setlerinin hazırlanması • İletişim grubu elektronik posta adresinin oluşturulması
Paydaş Koordinasyonu	• TSK ve İçişleri Bakanlığı birimlerine • İlgili şirketlere yazı göndererek konu önerilerinin talep edilmesi
Önerilerin Toplanması ve Tasnifi	• Soru setleri cevaplarının alınması • Konu önerilerinin tasnifi • Odak alanların belirlenmesi
İlgili Uzmanlarla Konu Bazlı Toplantılar	• Odak alanlarda konu uzmanları ile toplantılar • Odak alanlarla ilgili ilave soru setlerinin oluşturulması • Literatür taraması
Önceliklendirme ve Yol Haritasının Belirlenmesi	• Önceliklendirme kriterlerine göre konu önerilerinin değerlendirilmesi • Kısa, orta ve uzun dönem hedeflerin belirlenmesi
Taslak Yol Haritasının Görüşe Açılması	• Taslak yol haritasının SSB içerisindeki ilgili birimlerin görüşüne açılması • Taslak yol haritasının, yüz yüze bir toplantı ile motor imalatçılarının görüşüne açılması • TSK ve Güvenlik birimleri ile kapanış toplantısı düzenlenerek taslağın tanıtılması ve geri bildirimlerin alınması

3 DENİZ TİPİ TAHRİK SİSTEMLERİ

Bu bölümde yerli deniz motoru ve güç aktarma organları geliştirme çalışmaları ile ilgili ihtiyaçların ve önerilerin daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli bilgilere odaklanılmıştır.

3.1 DENİZ TİPİ TAHRİK SİSTEMLERİ PAZARI

2022 itibarıyla ile 16 milyar dolar büyüklüğe ulaşan deniz tipi tahrik sistemleri pazarının, yılda ortalama %5,1 büyüyerek 2030 yılında 23,3 milyar dolar büyüklüğe ulaşması beklenmektedir. Ciro cinsinden en geniş pazar, %43,5'lik pazar payı ile 20 MW ve üstü segmenttir. En hızlı büyüyen segment ise 10-20 MW aralığıdır. Bu segmentteki canlılığın nedeni, artan yük kapasitesi nedeniyle daha yüksek güce sahip tahrik sistemi ihtiyacıdır. Hibrit tahrik sistemlerine duyulan ilginin de yakın gelecekte pazarı hareketlendirecek diğer bir unsur olacağı değerlendirilmektedir. Örnek olarak, elektrik motorlu tahrik sistemleri konusunda önde gelen şirketlerden biri olan ABB, 2019 yılı itibarıyla bu ihtiyacı karşılamak üzere 1.000 kW'tan 22 MW'a kadar geniş bir ürün gamı ortaya koymuştur. Bölgesel olarak; Asya Pasifik Bölgesi gemi inşa sanayiinde hem ithalat hem ihracat konularında lider konumda olup deniz tipi makine pazarında da en geniş ve en hızlı büyüyen sahadır. Bu bölge; Çin, Japonya, Güney Kore, Hindistan, Avustralya gibi büyük aktörlerden oluşmaktadır. Çin, Japonya ve Güney Kore; gemi makineleri üretiminde hatırı sayılır bir konuma sahiptir. (2)

Deniz tipi tahrik sistemleri pazarı kara araçlarına kıyasla çok daha karmaşıktır. Bunun başlıca nedeni, gemi tonajı ve kullanım profiline bağlı olarak geniş bir güç aralığının kapsanıyor oluşudur. İçten yanmalı motorlar, buhar türbinleri, gaz türbini, nükleer reaktörler, elektrik motorları gibi çok çeşitli güç üniteleri farklı kombinasyonlarla bir araya gelebilmektedir. Tek bir motor türü altında bile çeşitlilik kara araçlarına göre daha fazladır. Örnek olarak 4-zamanlı dizel motorlar kara araçlarında neredeyse standart hale gelmişken, deniz motorlarında halen 2-zamanlı motorlara dahi talep vardır. Benzer şekilde, kara araçlarında yüksek devirli dizel motorlar standart hale gelmişken, deniz uygulamalarında düşük devirli ve orta devirli dizellere de rağbet edilmektedir.

Bu çeşitlilik firma sayısına da yansımaktadır. Deniz tipi makine ve yardımcı sistemlerin üretimi konusunda küresel anlamda lider firmalar aşağıdaki tabloda listelenmektedir (Tablo 2). Bu firmalar, geniş bölgesel varlıkları ve yerel firmalar ile kapsamlı işbirlikleri sayesinde küresel deniz tipi makine pazarına hâkim bulunmaktadır. Bu aktörlerin yanında orta ve küçük ölçekli birçok motor üreticisi bulunmaktadır.

Ancak dizel makinelerle kıyasla, deniz-tipi gaz türbinli motorlarda konsolidasyon çok yüksek, firma sayısı düşüktür. Türbinli motorlar; çok yüksek güç/ağırlık oranına sahip olmalarına karşın yüksek yakıt tüketimleri ve maliyetleri nedeniyle sivil uygulamalarda nadiren tercih edilmektedir. Ancak büyük askerî gemilerde halen yaygın kullanımdadır. Pazar, üç büyük aktörün hâkimiyetindedir. 2015 yılında yapılan bir pazar araştırmasına göre General Electric %43, Rolls-Royce %20 ve Ukraynalı Zorya %18 pay ile neredeyse pazarın tamamına hâkim görünmektedir (3).

Askerî deniz tahrik sistemlerinde de kara araçları tahrik sistemi pazarına kıyasla çeşitliliğin belirgin şekilde daha yüksek olduğu ve konsolidasyonun orta seviyede olduğu görülmektedir. Bunun ana nedeni olarak; askerî kara aracı güç gruplarının ticari kuzenlerinden belirgin şekilde farklı olması; deniz motorlarında ise bu farkın düşük olması gösterilebilir. Deniz tipi tahrik sistemlerinin büyük çoğunluğu “dual-purpose” olarak nitelendirilebilmektedir. Askerî ve ticari tahrik sistemleri arasındaki fark oldukça azdır.

Tablo 2 Belli Başlı Küresel Deniz Tipi Tahrik Sistemi Üreticileri

Ülke	Motor türü	Firma
ABD	Dizel	Caterpillar Inc.
ABD	Dizel	Cummins Inc.
ABD	Dizel	Fairbanks Morse Defence
ABD	Gaz türbini	General Electric
ABD	Dizel	John Deere
Almanya	Dizel	Deutz AG
Almanya	Dizel	MAN Energy Solutions S.E.
Almanya	Elektrikli	Siemens Energy
Belçika	Dizel	Anglo Belgian Corporation (ABC)
Çin	Dizel	Henan Diesel Engine Industry Co. Ltd.
Çin ²	Dizel	Moteurs Baudouin
Çin	Dizel	Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry, Co. Ltd.
Finlandiya	Dizel	Wärtsilä ³
Hindistan	Dizel	Kirloskar Oil Engines Limited
İngiltere	Dizel/Gaz Türbini	Rolls-Royce Plc- ⁴
İsveç/İsviçre	Elektrikli	ABB Ltd.
İsveç	Dizel	Scania AB
İsveç	Dizel	Volvo Penta
İtalya	Dizel	Fiat Powertrain Technologies (FPT)
İtalya	Dizel	Isotta-Fraschini Motori
Japonya	Dizel	Daihatsu Diesel Co. Ltd.
Japonya	Dizel	IHI Power Systems Co. Ltd.
Japonya	Dizel	Kawasaki Heavy Industries
Japonya	Dizel	Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
Japonya	Dizel	Yanmar Marine International B.V.
Kore Cum.	Dizel	Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.
Rusya	Dizel	Barnaultransmash
Rusya	Dizel	CJSC Transmashholding
Rusya	Dizel	Zvezda
Ukrayna	Gaz türbini	Zorya-Mashproekt

² Fransız Moteurs Baudouin, 2009 yılında Çinli Weichai Group tarafından satın alınmıştır.

³ Wärtsilä, 90'ların ortasında İsviçreli Sulzer şirketini bünyesine katmıştır.

⁴ MTU Friedrichshafen (Almanya), Rolls-Royce'un yan kuruluşudur.

3.2 DENİZ MOTORU TÜRLERİ

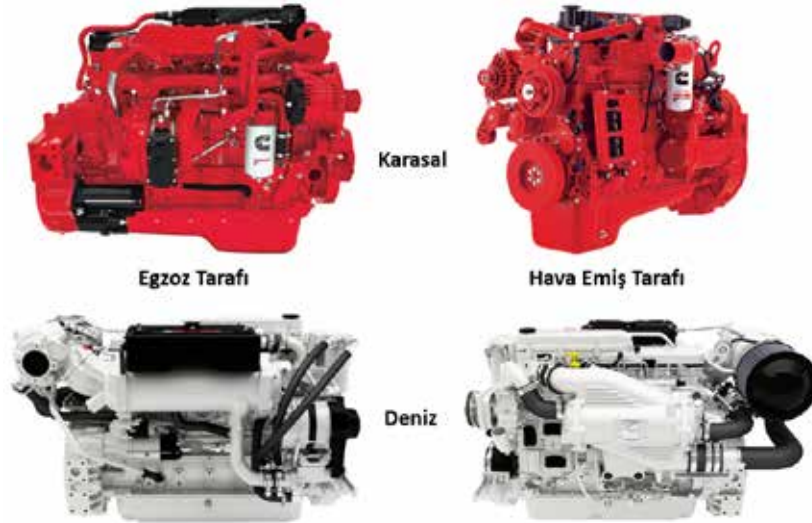
Deniz araçları tahrik sistemleri kara araçlarına göre çok daha fazla çeşitlilik içermektedir. İçten yanmalı motorlar, buhar türbinleri, gaz türbini, nükleer reaktörler, elektrik motorları, yakıt hücreleri gibi çok çeşitli güç üniteleri farklı kombinasyonlarla bir araya gelmektedir. Türk Donanması özelinde en yaygın 3 motor türü şunlardır:

- İçten yanmalı motorlar
- Gaz türbinli motorlar
- Elektrik motorları

Aşağıdaki bölümlerde bu motor türleri kısaca tanıtılmaktadır. Raporun geri kalanının odak noktası ise dizel motorlardır.

3.2.1 İÇTEN YANMALI MOTORLAR

İçten yanmalı motorların büyük çoğunluğu dizel motorlardan oluşmaktadır. Askerî platformların tamamında içten yanmalı motor olarak dizel motorlar tercih edilmektedir. Ancak sivil sektörde, küresel karbon salınımının azaltılması hedefi doğrultusunda, alternatif yakıtlara olan ilginin arttığı görülmektedir. Belli başlı alternatif yakıtlar; hidrojen, amonyak, sentetik yakıtlar ve biyoyakıtlardır. Bu yakıtlara dair daha detaylı bilgi ilgili bölümde sunulmaktadır (5.2).



Şekil 1 Karasal Motor vs. Deniz Motoru (Cummins ISB 6.7 ve QSB 6.7)

Karasal bir motor ve deniz motoru temel mimari olarak birbiri ile benzeşmekle birlikte alt sistem bazında önemli farklılıklar mevcuttur (Şekil 1). Farklılıklar aşağıdaki başlıklarda özetlenebilir:

Sertifikasyon: Karasal motorlar emisyon regülasyonları haricinde sertifikasyona tâbi değildir. Yerli ve millî olarak üretilecek olan ana tahrik sistemi/elemanları⁵ ise Türk Loydu Askeri Gemilere ait Kurallar Kısım 104-Sevk Tesisleri bölümüne uygun olarak üretilmeli, tasarım/üretim aşamaları ve üretiminin bitiminde Türk Loydu tarafından sertifikalandırılmalıdır. Türk Loydu kuralları dışında “Denizde Can Emniyeti Uluslararası Antlaşması 1974/1978 (SOLAS)”, “Gemilerde Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Antlaşması 1973/1978 (MARPOL)” ayrıca NATO üyesi ülkelere ait gemiler için STANAG kuralları da dikkate alınmalıdır.

⁵ Ana makine, şanzıman, şaft ve pervane

Ömür Gereksinimleri: Askerî kara araçları motorlarının ömür gereksinimi deniz motorlarına göre oldukça kısadır. Tipik bir askerî kara aracı motoru için “major overhaul” ömrü 1.000 saattir. Gemi motorları için farklı sınıflandırmalar olmakla birlikte, en az zorlayıcı görev profili için bile 1.500 saatlik bir yıllık çalışma saati öngörülmelidir (Tablo 3). ABD Donanması tarafından belirlenen ömür gereksinimi eklerde detaylandırılmaktadır (12.2).

Tatlı Su Soğutma Sistemi: Karasal motorda atık ısı, düşük ve yüksek sıcaklık radyatörleri ile havaya atılmaktadır. Deniz uygulamasında ısınan dizel motor soğutma sıvısı, tatlı su ısı değiştiricileri aracılığı ile deniz suyu ile soğutulmaktadır. Buna uygun bir eşanjör ve genleşme tankı tasarlanmalı ve borulanmalıdır. Bunun yanında deniz motorlarının egzoz manifoldunun ve hatta turboşarj ünitesinin genelde tatlı sulu tip olması beklenebilmektedir. Bu oldukça zorlayıcı bir tasarımdır.

Deniz Yakıtlarıyla Uyum: Askeri araçlar NATO standardı askerî yakıtlarla çalışabilmelidir. Bunlardan en bilineni F34 (JP8) ve F54 (DF-2) dizel yakıtlardır. F34, NATO Tek Yakıt Politikası⁶ gereğince standart yakıt olarak belirlenmiş olmasına karşın ülkemizdeki askerî araçlarda mümkün olduğu sürece F54 yakıt kullanılmaktadır. F54, Avrupa Birliği dizel yakıt standardı EN 590'a eşdeğerdir ve ticari araçlarda kullanılmaktadır. Askerî deniz motorlarının da STANAG 1385 standardına uygun NATO F76 dizel yakıtı ile uyumlu olması beklenmektedir. Bu yakıtın yağlama özellikleri daha zayıf, sülfür içeriği yüksektir. Buna karşın yüksek parlama sıcaklığı ile azalan yangın riski F76'yı tercih edilir kılmaktadır. Ömür devri ve emisyon gibi farklılıklara yol açabilmekle birlikte F76 yakıt, F34 ve F54 için tasarlanmış bir motorda doğrudan kullanılabilir.

İlave Emniyet Tedbirleri: Karasal motorlar bir motor kompartımanı içindedir; mürettebat ile bir etkileşim söz konusu değildir. Deniz motorlarındaysa mürettebat ile etkileşim söz konusudur. Bu durum ilave emniyet tedbirleri gerektirmektedir. Isıl yalıtım, emniyet amaçlı olarak çift cidarlı yakıt boruları, aşırı hızda durdurma (overspeed) tertibatı, bu amaçla kullanılan alt sistemlerden sadece bazılarıdır. Bunun yanında karasal motorlar sadece elektrik marş motoruna sahipken deniz motorlarına bazı uygulamalarda hidrolik, pnömatik marş motoru gibi mekanik başlatma sistemleri de entegre edilmektedir.

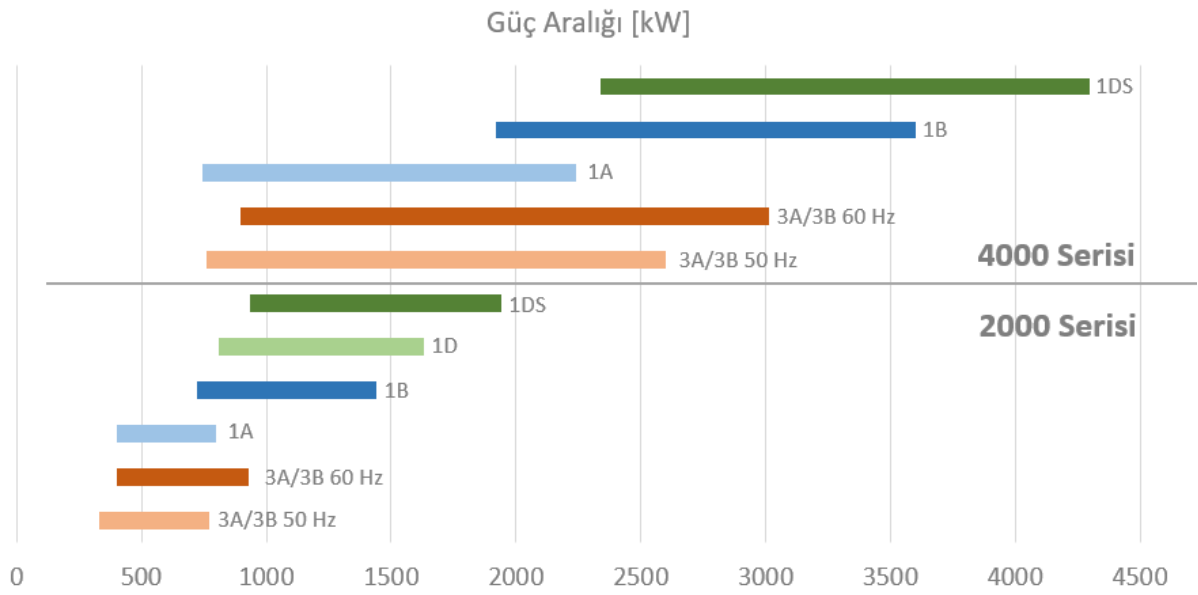
Karter Tasarımı: Muharip askeri kara araçlarında, çok yüksek şok yükleri ve eğim isterlerini karşılamak amaçlı olarak daha ileri bir teknoloji olan kuru karter kullanımı yaygındır. Deniz araçlarında bunun ıslak kartere dönüştürülmesi gerekebilmektedir. Yüksek maliyetin yanı sıra yağ borularının dışarıda olması emniyet riski olarak görülmektedir.

Entegre Lojistik Destek: Geliştirilecek ürünlerin kullanım, bakım ve desteklenebilirlik ihtiyaçları göz önüne alınarak dokümantasyon, eğitim, ürün konfigürasyonu, yedek parça üretim stratejileri, destek ekipmanları vb. uluslararası standartta ürün destek paketi hazırlanması gereklidir. Deniz tipi motorların lojistik destek kurgusu karasal motorlardan farklı olacaktır.

Modüler Tasarım: Deniz tipi uygulamalarda kapsanması gereken güç aralığı çok geniştir. Özellikle 500 kW'ın üzerinde her güç aralığı için bağımsız bir motor geliştirmek ekonomik olarak yapılabilir değildir. Bu nedenden dolayı modüler tasarım ile silindir sayısının artırılıp azaltılmasıyla (V8, V12, V20, vs.)

⁶ Single fuel forward policy

çok geniş bir güç aralığı kapsamaktadır. Böylelikle çok farklı silindir hacmine sahip motorlarda silindir kafası kompleksi, piston-biyel mekanizması, enjektör, layner gibi kritik bileşenler ortaklaştırılabilir. Bu strateji; ürün geliştirme maliyetlerinin azaltılmasının yanında parça birim maliyetlerinin düşürülmesine ve Entegre Lojistik Destek kompleksitenin azaltılmasına olanak tanımaktadır. Aşağıdaki şekilde MTU'nun iki temel mimari ile 330 kW'tan 4,3 MW'a kadar geniş bir güç aralığını nasıl kapsadığı gösterilmektedir (Şekil 2). Temel mimari korunarak ~2 litre/silindir birim hacme sahip 2000 serisi, V8'den V16'ya; ~4 litre/silindir birim hacme sahip 4000 serisi, V8'den V20'ye ölçeklendirilmektedir. Bunun yanında, farklı kullanım tipleri için farklı azami güçler belirlenerek tüketiciye kendi gereksinimine uygun daha fazla seçenek sunulabilmektedir (Tablo 3).



Şekil 2 MTU 2000 ve 4000 Serisi Güç Aralığı

Tablo 3 MTU Uygulama Grupları

Uygulama Grubu	Uygulama Grubu	MTU Tanımı
1A	Ana tahrik	Sınırsız kesintisiz çalışma Ortalama yük: 70 - 90% Yıllık çalışma saati: Sınırsız (7/24)
1B	Ana tahrik	Ortalama yük: 60 - 80% Yıllık çalışma saati: 5.000 saat
1D	Ana tahrik	Ortalama yük: <60% Yıllık çalışma saati: 3.000 saat
1DS	Ana tahrik	Ortalama yük: <60% Yıllık çalışma saati: 1.500 saat
3A	Jeneratör	Continuous (santral tipi) çalışma
3B	Jeneratör	Prime (sürekli) çalışma
3B	Jeneratör	Emergency standby (anlık) çalışma

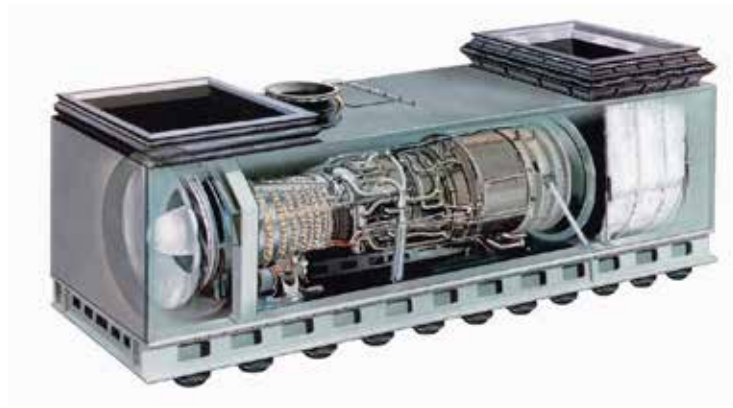
3.2.2 GAZ TÜRBİNLİ MOTORLAR

Türbinli motorlar; çok yüksek güç/ağırlık oranına sahip olmalarına karşın yüksek yakıt tüketimleri ve maliyetleri nedeniyle kara araçlarında dizel pistonlu motorlara göre çok daha az tercih edilmektedir. Ancak gaz türbinleri, büyük askeri gemilerde halen yaygın kullanımdadır. Dünya üzerinde aktif fırkateynlerin %80'inde; 4.000 tonun üstü fırkateynlerin tamamında gaz türbinli tahrik sistemleri kullanılmaktadır (4). Özellikle yüksek manevra kabiliyetine sahip harp gemilerinde tahrik sisteminin değişken sürat isteklerine mümkün olduğunca çabuk reaksiyon gösterip ihtiyacı karşılayacak gücü üretebilmesi çok önemlidir. Gaz türbinleri, sisteme iletilen isteklere en süratli cevap veren tahrik sistemi elemanıdır. Gaz türbinleri ve dizel motorlar arasındaki diğer farklılıklar aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 4).

Tablo 4 Dizel ve Gaz Türbinli Motorların Kıyaslanması

Gaz Türbinli Motor (5)	Dizel Motor
İlk alım maliyeti yüksektir. Operatör ihtiyacı daha azdır. 'On-board' bakım maliyetleri daha düşüktür.	İlk alım maliyeti düşüktür. Operatör ihtiyacı daha fazladır. 'On-board' bakım maliyetleri daha yüksektir.
Depo seviyesi bakım maliyeti yüksektir. Hot-section overhaul maliyeti 1-2 milyon \$ mertebesindedir.	Depo seviyesi bakım maliyeti düşüktür.
Yakıt tüketimi yüksektir. En verimli olduğu nokta azami güçte ve yüksek hızlardadır. Kısmi yüklerde (<33%) yakıt tüketimi 2-3 katına çıkabilmektedir.	Yakıt tüketimi düşüktür. Büyük motorlar %45'i aşan verime sahiptir. Düşük ve orta hızlarda gaz türbinlerine kıyasla verim avantajı daha da belirgin hale gelmektedir.
Birim güç başına düşen ağırlık (kg/kW) ve hacim (litre/kW) daha düşüktür. Ancak havalandırma, borulama tesisatı daha hacimlidir. CODAG gibi mimariler oldukça geniş ve ağır dış kutularına ihtiyaç duyulabilmektedir.	Birim güç başına düşen ağırlık (kg/kW) ve hacim (litre/kW) daha yüksektir.
Emme havası ihtiyacı dizel motora kıyasla 2,5 kat daha fazladır. Deniz suyu ve nem toleransı daha düşüktür. Emme havası filtre sistemi tasarımı kritik hale gelmektedir.	Emme havası ihtiyacı daha düşüktür. Deniz suyu ve nem toleransı daha yüksektir.
Egzoz ısısının yüksek olmasından kaynaklı olarak kızılötesi iz fazladır.	Titreşim ve suda bıraktığı akustik iz daha fazladır.
İmalatçı sayısı azdır. GE, Rolls-Royce ve Zorya-Mashproekt pazara hakimdir.	Deniz tipi dizel motor pazarı, askerî kara araçları pazarından bile daha parçalı yapıya sahiptir.
Model seçeneği azdır. Özellikle 7 - 15 MW aralığında seçenek yok denecek kadar azdır.	Model seçeneği fazladır. Silindir sayısının artırılıp azaltılmasıyla (V8, V12, V20, vs.) çok geniş bir güç aralığı kapsanabilmekte ve optimum performans yakalanabilmektedir. (3.2.1)

Günümüzde temel tahrik ünitelerinden olan dizel makineler ve gaz türbinleri güç yoğunluğu açısından belirli bir doyuma ulaşmış durumdadır. Son dönemlerde yapılan eniyileme çalışmaları neticesinde bazı gelişmeler kaydedilse de bugün geline güç yoğunluğunun zamanla önemli oranda artmayacağı değerlendirilmektedir. Dolayısı ile dizel motorlar ve gaz türbinli motorlar arasındaki fark kapanmayacaktır. Bu nedenle, kara araçlarından farklı olarak, deniz araçlarında gaz türbinlerinin geleceğin ana tahrik sistemlerinde uzun süre kullanımda kalacağı mütalaa edilmektedir. Yerli askerî platformlarda kullanılan türbinli motorların tamamı tek bir modelden oluşmaktadır: Amerikan General Electric LM2500 (Şekil 3). Donanmamızda şu an aktif görevde olan 28 adet GE LM2500 marka gaz türbinli motor bulunmaktadır. Deniz tipi gaz türbinli motorlar havacılıkta kullanılan jet motorlarının revize edilmesiyle geliştirilmektedir. LM2500 de benzer şekilde CF6-6 uçak motorlarının deniz uyumlandırması ile geliştirilmiştir.



Şekil 3 GE LM2500+ (30.200 kW)

Aşağıdaki tablodan görüleceği üzere gaz türbinli motor, askeri gemilerde çok yaygın kullanılmasına karşın ticari uygulamalarda kullanımı nispeten sınırlıdır (Tablo 5). Bunun başlıca nedeni dizel motorlara kıyasla verimin çok daha düşük, yakıt tüketiminin yüksek oluşudur. Diğer bir neden ise ilk alım ve yakıtın litre maliyetinin daha düşük oluşudur.

Tablo 5 LM2500 Deniz Tipi Gaz Türbinli Motorları Satış Rakamları (2018 Yılına Kadar)

	LM2500	LM2500+	LM2500+G4
Güç	25 MW 33.600 SHP	30 MW 40.500 SHP	35 MW 47.370 SHP
Askerî Gemi	1.188	6	27
Ticari Gemi	25	26	2

Askerî gemilerde gaz türbinleri genelde CODAG/CODOG kombinasyonunda kullanılmaktadır. Dizel motor olmaksızın gaz türbinli tahrik sistemi oldukça verimsizdir. Askerî gemiler ömürlerinin çoğunu iktisatlı süratlerde seyir halinde geçirmektedir. Kısmi yükte gaz türbinli motorların verimi dizele kıyasla çok daha düşüktür. Normal seyir sırasında gemide dizel motorlar kullanılmakta; yüksek sürat gerektiği anda gaz türbin motor devreye girerek ani hızlanma sağlamaktadır.

Belli bir gücün altında, özellikle yardımcı güç ünitesi uygulamalarında, gaz türbinli motor kullanımı yaygın bir durum değildir. Örneğin; 70'lerin başında hizmete girmiş olan 5 MW sınıfındaki gaz türbini GE LM500 deniz tipi varyantından sadece 124 adet satılmıştır (6). Bu adetler LM2500'e kıyasla oldukça düşüktür. LM500, Japon Izumo-sınıfı muhriplerin jeneratör seti hariç, her zaman ana tahrik gaz türbini (ATG) olarak kullanılmıştır. Tabloda görüleceği üzere, uygulamaların tamamı ya hücumbot ya da yüksek hızlı hidrofil teknelerdir (Tablo 6). Kore Cumhuriyeti'nin PKX botları hariç diğer uygulamaların büyük çoğunluğu 90'lara dayanmaktadır. 90'larda gaz türbinli hücumbotlara ilgi artarken sonraki dönemde yüksek yakıt tüketimi nedeniyle bu ilginin hızla azaldığı görülmektedir. LM500'ün kullanıldığı yakın zamanlı tek küresel örnek Kore Cumhuriyeti'nin PKX-A ve B hücumbotlarıdır. PKX'ler; çift türbinli, çift dizelli CODAG tahrik sistemine sahiptir. Toplam 34 adet PKX botunda kullanılacak gaz türbinleri için 400 milyon dolarlık bir ömür döngüsü maliyeti⁷ öngörülmektedir (7). Bu botların yegâne örnek teşkil etmesinin nedeni; Kore Cumhuriyeti'nin operasyonel koşullarının diğer ülkelerden oldukça farklı oluşudur. Coğrafi konumları Kore ve Japonya için hız isterini ön plana çıkarmaktadır. Çok yüksek hızlara çıkabilmek için güç yoğunluğu yüksek bir güç grubuna ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4 Kore PKX Botları ve LM500 Gaz Türbini Modülü

Tablo 6 Bugüne Kadar Yapılmış Tüm LM500 Satışları

Ülke	Platform	İnşa tarihi	Gemi Adedi	Motor Adedi
Danimarka ⁸	Flyvefisker-sınıfı hücumbot	1985-1995	14	14
Hong Kong	Foilcat deniz otobüsü	1995	2	4+6 ⁹
Japonya	Hayabusa-sınıfı hücumbot	2002-2004	6	18
Japonya	Sparvieu hyrofoil hücumbot	1991-1995	3	5
Japonya	Izumo-sınıfı Muhrip (Jen.)	2012-2017	2	8
Kore	PKX-A hücumbot	2008-Bugün	18	36
Kore	PKX-B hücumbot	2008-Bugün	16	32
ABD	Test merkezi	-	0	1
Toplam			61	124

⁷ Propulsion system value over the life

⁸ Litvanya ve Portekiz Donanması için üretilenler dâhil

⁹ İşletme yedeği

3.2.3 ELEKTRİK MOTORLARI

Batarya elektrikli ve yakıt hücreli elektrikli deniz araçları, kendilerine çok sınırlı kullanım alanı bulmuş niş uygulamalardır. Belli başlı örnekler ilgili bölümde listelenmektedir (5.4). Ancak elektrik motorları, uzun yıllardan beri denizaltıların ana tahrik motoru olarak kullanılmaktadır (4.3). Hibrit sistemlere artan ilgi ile elektrik motorlarının ana tahrik sistemi olarak kullanımı gerek ticari gerek askerî deniz araçlarında hızla yaygınlaşmaktadır. Sektördeki ana oyuncuların neredeyse tamamı, deniz tipi elektrik motoru imalatçıları ile birlikte, konvansiyonel/mechanik aktarma organları yanında hibrit tahrik sistemi çözümleri de sunmaktadır. Bu çözüm sağlayıcılarından bazıları aşağıdaki tabloda listelenmektedir (Tablo 7).

Tablo 7 Deniz Tipi Hibrit Tahrik Sistemi Sunan Bazı Ana Oyuncular

ABB Ltd.
Aspin Kemp and Associates Inc.
Caterpillar Inc.
Cummins Inc.
General Dynamics Corp.
General Electric Co.
IHI Corp.
Kawasaki Heavy Industries Ltd.
Kongsberg Gruppen ASA
Korindo Energy
Leonardo DRS Inc.
Oceanvolt
Porsche Automobil Holding SE
RENK GmbH
Roper Technologies Inc.
TRANSFLUID S.p.A.
Twin Disc Inc.
Volvo Penta
Wartsila Corp.

Hibrit sistemlerde elektrik motoru diğer ana tahrik motorlarına paralel çalışabildiği gibi, denizaltılarda olduğu gibi birincil ana tahrik sistemi olarak da kullanılabilir. En üst seviyede, üç farklı hibrit tahrik sistemi tipi tanımlamak mümkündür:

- **Kısmi Elektrikli Tahrik Sistemi (PEP¹⁰)**
- **Tam Elektrikli Tahrik Sistemi (FEP¹¹)**
- **Entegre Tam Elektrikli Tahrik Sistemi (IFEP¹²)**

¹⁰ Partial Electric Propulsion

¹¹ Partial Integrated Electric Propulsion

¹² Integrated Full Electric Propulsion

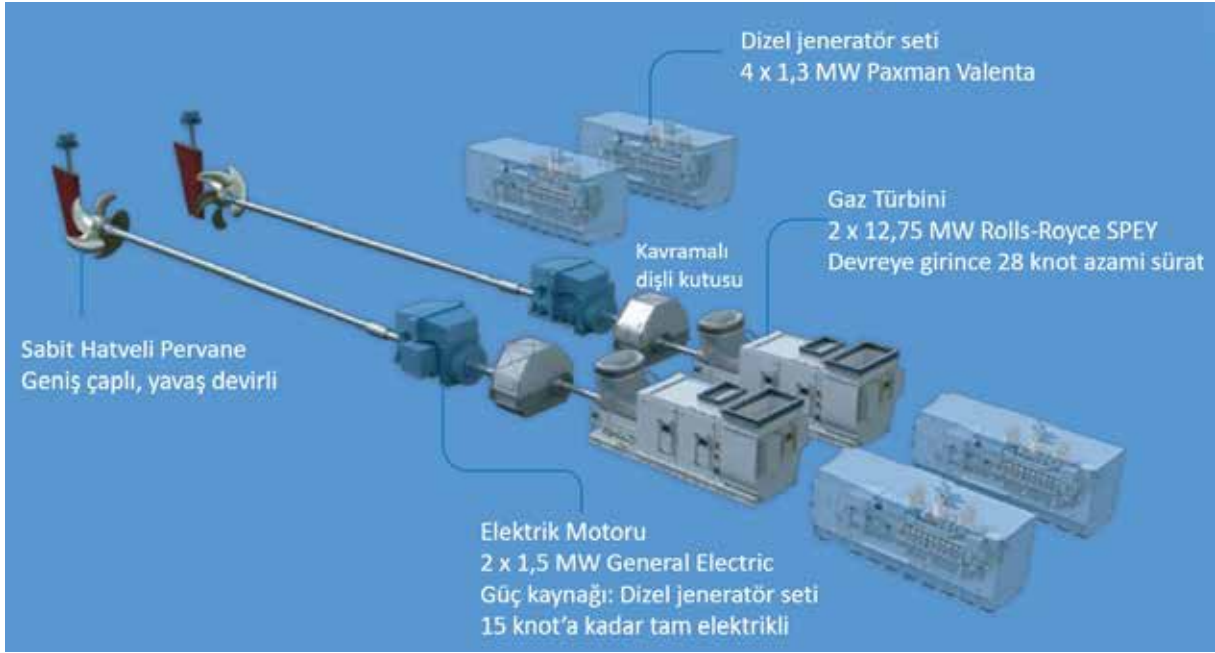
Kısmi Elektrikli Tahrik Sistemi'nde elektrik motoru; konvansiyonel/mechanik tahrik sistemi, su jeti gibi unsurlarla birlikte tahrik üretmektedir. Askerî uygulamalarda en kabul görmüş uygulama şu şekildedir: Elektrik motorları, düşük seyir hızlarında pervaneyi tek başına sürerken; yüksek hızlarda çok daha güçlü gaz türbinli motorlar devreye girmektedir. Gaz türbinlerinin verimleri kısmi yüklerde oldukça düşüktür. İktisatlı süratlerde seyir halinde güç ihtiyacının elektrik motorları ile karşılanması, gaz türbinlerinin düşük verimde çalışmasını engellemekte ve yakıt ekonomisi sağlamaktadır. 1990'da hizmete giren, Kraliyet Donanması'na ait Type-23 fırkateynlerinde bu tip bir konfigürasyon kullanılmaktadır (8). CODLAG¹³ diye adlandırılan sistem; aynı anda elektrik, dizel ve türbinli motora sahiptir. Otel yükü, ana tahrik sisteminden bağımsız 4 adet 1.3 MW Paxman Valenta 12RP 2000CZ¹⁴ dizel motorlu jeneratör seti tarafından karşılanmaktadır. Bu jeneratörler aynı zamanda elektrik motorlarının da güç ihtiyacını karşılamaktadır. 15 knot'a kadar hızlarda elektrik motorları bir kavrama vasıtasıyla gaz türbinlerinden ayrılır ve tek başlarına itki sağlar. Bu iktisatlı ve sessiz seyir sağlar. Yüksek hızlara çıkarken, türbinli motorlar devreye girer ve azami sürata ulaşılır. Benzer bir sistem Type-26 fırkateynlerinde de kullanılmaktadır. Type-23'den farklı olarak, Type-26'de çok daha güçlü 1 adet türbinli motor bulunmaktadır (36 MW'lık Rolls-Royce MT30 gaz türbini). Dizel jeneratör olarak her biri 3MW'lık dizel motor, elektrik motoru olarak her biri 3,4 MW'lık 2 adet motor kullanılmaktadır. Tam elektrikli seyir hızı 18 knot'tır.



Şekil 5 Hibrit Tahrik Sistemli Type-23

¹³ Combined diesel-electric and gas

¹⁴ Modernizasyon kapsamında MTU 12V 4000 M53B motorlarla değiştirilecektir.

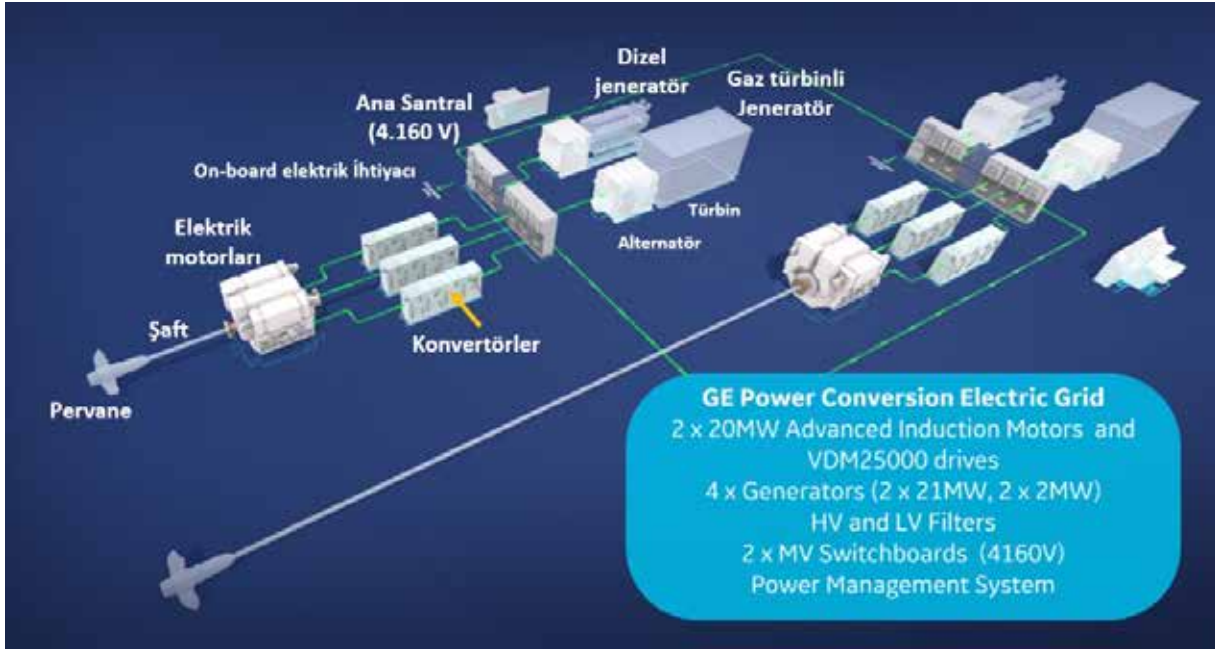


Şekil 6 Type-23 Fırkateyn Hibrit Tahrik Sistemi

Tam Elektrikli Tahrik Sistemi'nde ana tahrik sadece elektrik motorları tarafından karşılanmaktadır. Dizel veya elektrik motorlarının pervane ile bağlantısı bulunmamaktadır. Birincil hibritleşmenin en üst seviyesi ise Entegre Tam Elektrik Tahrik Sistemi'dir ve bu uygulamada hem tahrik sistemi yükü hem de otel yükü aynı ortak bir güç kaynağından karşılanmaktadır. Amerikan ve İngiliz Donanmaları USS Zumwalt ve Type-45 muhriplerinde IFEP sistemler kullanılmaktadır. Aşağıdaki şemada İngiliz Type-45 muhribinin tahrik sistemi özetlenmektedir (Şekil 8) (9). IFEP geliştirmekte olan bir sistem olup, henüz istenen güvenilirlik seviyesine ulaşmamıştır. Amerikan Donanması örneklerine benzer şekilde (5.5.1.1) 2013 yılında donanmaya katılan 6 adet Type-45 muhribin tahrik sistemlerinde de majör arızalar yaşanmış ve 2016 yılında bu durum kamuya yansımıştır (10). 189 milyon sterlinlik ilave bir sözleşme kapsamında IFEP tadilatından geçmektedir. 2022 itibarıyla tadilat çalışmaları devam etmektedir (11). Tüm bunlara karşın, yüksek yakıt ekonomisi, modern silah sistemleri ile hızla artan gemi içi elektrik yükü, kompleks mekanik transmisyon sistemlerine olan ihtiyacı azaltması ile orta vadede elektrikli-hibrit tahrik sistemlerine geçişin kaçınılmaz olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 7 IFEP Uygulaması – Kraliyet Donanması Type-45 Muhripleri



Şekil 8 İngiliz Type 45 Gemisi IFEP Sistemi

Hibrit tahrik sistemleri Türk Donanmasına ait gemilerde de kullanılmaya başlanmıştır. Örnek olarak, Türk Donanması'nın amiral gemisi TCG Anadolu hibrit bir tahrik sistemine sahiptir. Siemens-Schottel tarafından üretilen her biri 11 MW'lık, entegre elektrik motorlu 2 azimut pervanesi platformu hareket ettirmektedir (Şekil 9). Elektrik enerjisi, her biri 8 MW'lık 5 adet dizel motoru ile karşılanmaktadır.



Şekil 9 Her Biri 11 MW, Elektrik Tahrikli Azimut Pervaneleri

3.3 UYGULAMA TÜRÜ

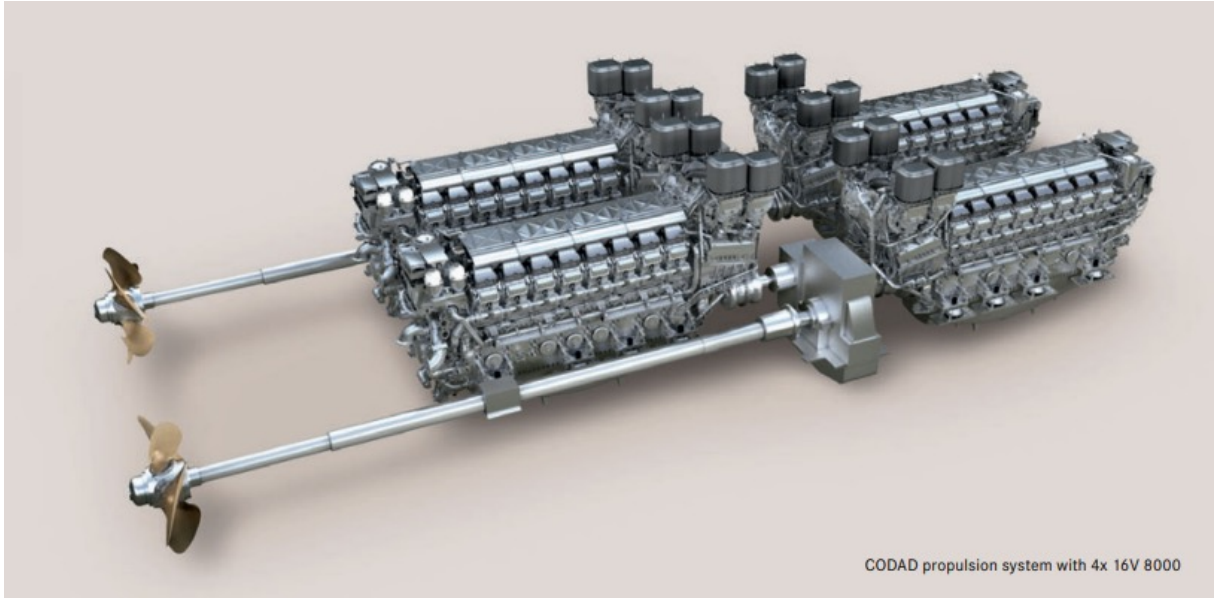
Deniz motorları için diğer bir sınıflandırma uygulama alanı ile ilgilidir:

- **Ana makine**
- **Yardımcı makine**

Ana makine, ana tahrik sisteminin (ATS) en önemli bileşenidir. Ana makine, doğrudan ya da dolaylı olarak gemiyi hareket ettirecek güç ihtiyacını karşılamaktadır. Ağırlık, hız ve yedeklilik isterlerine göre birden fazla makine aynı anda kullanılabilir. Makineler, dizel ve/veya gaz türbinli motordan oluşabilir. Gemi ana tahrik sistemlerinde motor ve pervane arasındaki güç aktarımı üç şekilde gerçekleşmektedir:

- (a) Ana makinenin direkt şaft vasıtasıyla pervaneye bağlı olduğu doğrudan tahrik yöntemi
- (b) Pervane devri ve makine devrinin farklı olduğu, devir düşürücü dişli sistemine (DDD) ihtiyaç duyulan tahrik yöntemi
- (c) Ana makine ve pervane arasında dolaylı bağlantının olduğu ve pervanenin elektrik motoru ile döndürüldüğü elektrikli tahrik yöntemleri

Aşağıdaki şekilde 4 dizel motor, dişli kutuları vasıtasıyla bir araya gelmekte ve iki ayrı şaft üzerinde iki pervaneyi döndürmektedir (Şekil 10). Her biri yaklaşık 8 MW'lık güç üreten MTU 16V 8000 dizel makine ile toplam 32 MW'lık tahrik gücü elde edilmektedir. CODAD (Combined Diesel-and-Diesel) adı verilen bu konfigürasyon, birbirine rakip onlarca konfigürasyondan biridir (3.4).



Şekil 10 Ana Tahrik Dizelleri (MTU)

Yardımcı makine tanımlaması ise, gaz türbini veya dizel motorun bir jeneratör seti (JS) içinde geminin elektrik ihtiyacını sağladığı durum için kullanılmaktadır. Hibrit tahrik sistemleri, ana makine ve yardımcı makine arasındaki ayrımı güçlendirmekle birlikte; fonksiyonel ayrım şu şekilde özetlenebilmektedir:

Ana makinelerin kaybedilmesi durumunda platform mobilitesini kaybeder; yardımcı makinenin kaybedilmesi durumunda ise platform üzerindeki tüm elektriksel sistemler kapanır. Denizaltı tahrik sistemlerinde, ana makine elektrik motorlarıdır. Yardımcı dizeller ise elektrik motorlarının güç ihtiyacını karşılayan bataryaları şarj eden yardımcı dizellerdir.

Özellikle muharip gemilerde çok yüksek elektrik gücü ihtiyacı vardır. Bu nedenle, birden fazla dizel jeneratöre ihtiyaç duyulabilmektedir. Motor ve alternatör, geminin akustik izini düşürebilmek amacıyla, genelde akustik bir kapsül içine konulmaktadır (Şekil 11) (Şekil 12). Jeneratörlerin bir kısmı geminin barış durumunda tüm elektrik yükünü karşılayabilmektedir. Geri kalan jeneratörler geminin savaş durumundaki güç ihtiyacına yanıt vermektedir. Bir adet jeneratör de yedek olarak yer almakla birlikte savaş durumunda ve boğaz geçişi gibi tehlikeli suların geçişinde ihtiyaç olması halinde kullanılabilmektedir.

Yardımcı dizel motor, mimari olarak ana tahrik dizel motorları ile benzeşmektedir. Ana makinenin deniz uyumlandırması için yapılması gereken değişikliklerin büyük çoğunluğu yardımcı makine için de geçerlidir (3.2.1). Bunun yanı sıra yardımcı dizel genelde sabit devirde dönmekte olup (örnek, sürekli 1.800 d/d), motorun bu çalışma hızında optimize edilmesi gerekebilmektedir.



Şekil 11 Dizel Jeneratör Seti (CAT C7.1 dizel motor)



Şekil 12 DDG 51 Flight III Gemisinin 4 MW'lık Gaz Türbini Jeneratör Seti (AG9160RF)

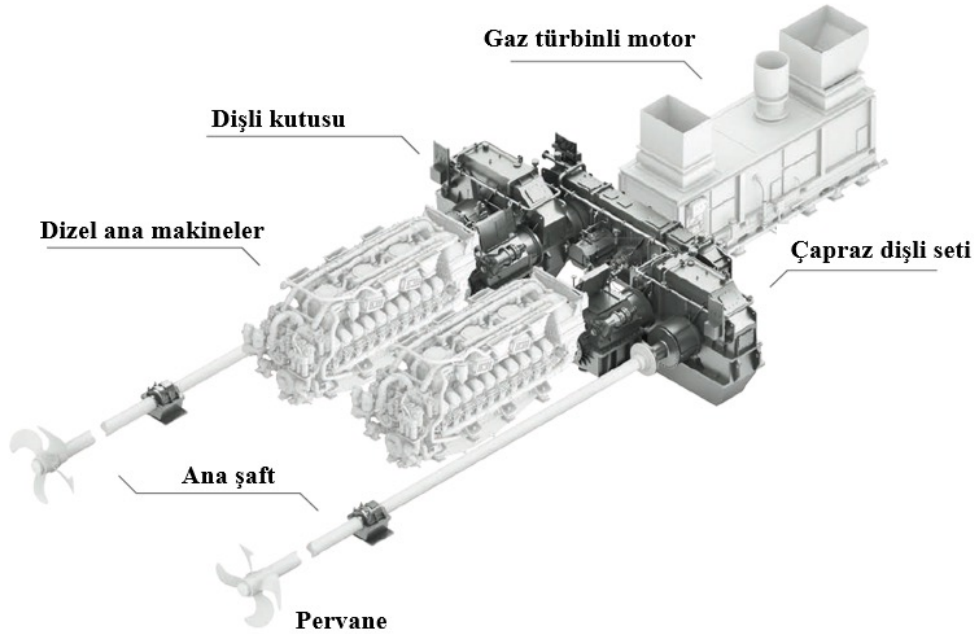
3.4 TAHRİK SİSTEMİ MİMARİSİ VE AKTARMA ORGANLARI

Donanma gemileri ana tahrik sistemleri de günümüzde çoğunlukla dizel motorlar, gaz türbinleri ve bunların çeşitli kombine sistem türleri ile kullanımından meydana gelmektedir. Bazı ana tahrik kombine sistemlerde elektrik motorları da yer almaktadır. Seçilen ATS mimarisinin; güvenilirlik, emniyet, idame edilebilirlik, maliyet, performans, gürültü, titreşim gibi hususlarda platformun tüm ihtiyaçlarına cevap vermesi gerekmektedir. Ancak çoğu zaman platform tasarımcısının ATS konfigürasyonuna karar verirken bu kriterler arasında “trade-off” yapması gerekmektedir. Bir veya birden fazla ana makinenin birbiri ve pervane ile bağlanmasını sağlayan aktarma organları, ATS’nin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu sistemlere duyulan ihtiyaç iki nedenden kaynaklanmaktadır:

Devir Düşürme: Ana makineler pervaneden çok daha hızlı dönmektedir. Kavitasyon gibi riskler nedeniyle pervanenin bu hızda dönmesi hidrodinamik olarak mümkün değildir. Bu durumda devir düşürücü bir dişli setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kombinasyon: Birçok ana tahrik sistemi birden fazla sayıda ve türde ana makine barındırmaktadır. Her bir ana makine tarafından üretilen torkun bir araya getirilmesi için bir dişli setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gemi için tercih edilecek her ana tahrik sistemine uygun olarak ana tahrik sistemi ile akuple şekilde çalışan devrelerin tasarımı değiştirilmekte ve aynı zamanda başta devir düşürücü dişli kutusu olmak üzere ana tahrik sisteminin parçası olan elemanlar uygun şekilde tercih edilmektedir.



Şekil 13 MİLGEM’de Kullanılan CODAG Sistemi

Deniz araçları tahrik sistemlerinde kullanılan bazı temel konfigürasyonlar aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 8). Görüldüğü üzere çeşitlilik oldukça fazladır. Motorların türü, gücü ve hangi kombinasyonla bir araya getirildiği düşünüldüğünde aktarma organı çeşitliliğinin motor çeşitliliğinden çok daha fazla olduğu görülecektir.

Tablo 8 Deniz Araçları Tahrik Sistemlerinde Temel Bazı Konfigürasyonlar

Konfigürasyon türü ¹⁵		Açıklama
Mekanik Konfigürasyon	Basit Konfigürasyon	Her bir iticiye (su jeti veya pervane) ayrı bir güç elemanının (gaz türbini, dizel makine veya elektrik motoru) bağlandığı sistemlerdir.
	CODOD/CODAD Combination of Diesel or/and Diesel	Her bir şaft hattına birden fazla dizel makinenin bağlandığı sistemlerdir. Aynı konfigürasyon içerisinde de önemli farklılıklar bulunabilmektedir. Örnek, motorların birbirine karşı konumlandığı CODAD-T konfig. ve yan yana konumlandığı CODAD-U konfig.
	COGAG Combination of Gas Turbine and Gas Turbine	Her bir şaft hattına birden fazla gaz türbininin bağlandığı sistemdir.
	CODOG/CODAG Combination of Diesel or/and Gas Turbine	Her bir şaft hattına dizel makine ve gaz türbininin aynı anda bağlandığı sistemlerdir.
Hibrit Ana Tahrik Sistemleri	CODLOG/CODLAG Combination of Diesel Electric or/and Gas Turbine	Dizel Makine, Elektrik ve/veya Gaz Türbini Konfigürasyonu
	CODLOD/CODLAD Combination of Diesel Electric or/and Diesel	Dizel Makine, Elektrik veya Dizel Makine Konfigürasyonu
	COGLOG/COGLAG Combination of Gas Turbine Electric and/or Gas Turbine	Gaz Türbini Elektrik ve/veya Gaz Türbini Konfigürasyonu
	CODOG-E/CODAG-E	PTI/PTO Elektrik Motoru Bağlantılı CODOG/CODAG
	CODOE Combination of Diesel or Electric	Dizel Makine veya Elektrik Konfigürasyonu
	IEP Integrated Electrical Propulsion	Mekanik bağlantılı dizel makine veya gaz türbini kullanılmadan sadece elektrik motoru kullanılan tahrik sistemleridir. Tahrik maksatlı elektrik gücünün çok fazla olması nedeniyle geminin tüm elektrik sisteminin farklı yaklaşımlarla tasarlanması, farklı kategorilerde voltaj değerleri kullanılması bir zorunluluk olmaktadır.
Elektrikli	Batarya elektrikli tahrik sistemi	Ana tahrik sistemi elektrik motorlu; enerji depolama sistemi bataryadır (battery bank).
	Yakıt hücreli elektrikli tahrik sistemi	Ana tahrik sistemi elektrik motorludur. Elektrik enerjisi yakıt hücreleri tarafından karşılanmaktadır.

¹⁵ Nükleer reaktör ve buhar türbinli kombinasyonlar dâhil edilmemiştir.

4 DENİZALTI GÜÇ SİSTEMLERİ

4.1 GENEL ÖZELLİKLER

Tahrik sistemi denizaltının en önemli unsurlarından biridir. Tüm enerji sistemleri dâhil edildiğinde denizaltının toplam ağırlığının %35'i, hacminin ise %50'si tahrik sisteminden oluşmaktadır (12). Dizel motor - otomotivde seri hibrit uygulamasına benzer şekilde - jeneratör olarak kullanılmaktadır¹⁶. Motorunun çalışması için denizaltının yüze çıkması ve şnorkelle hava alması gerekmektedir. Satıhta bataryalar hızla şarj edilip, tekrar dalışa geçilir. Motor ne kadar güçlüyse şarj süresi o kadar kısaltmakta ve taarruza açık olunan süre kısaltmaktadır. Dolayısıyla tahrik sisteminin en önemli performans kriterleri şunlardır:

Toplam Menzilin Artırılması: Dizel yakıtın çok yüksek güç yoğunluğu, dizel jeneratörleri menzilin artırılabilmesi için elzem kılmaktadır.

Satıh Altı Geçirilen Sürenin Uzatılması: Satıh altında dizel motor kullanılamamaktadır. Bunun yerine havadan bağımsız tahrik sistemine ihtiyaç duyulmaktadır (HBT¹⁷). HBT olarak; batarya, yakıt hücresi veya Stirling motor kullanılmaktadır. HBT'nin avantajı, özellikle muharebe alanında, yavaş hızda, uzun süreli operasyonlar yürütürken belirgin hale gelmektedir.

Satıh Üstü Şarj Süresinin Kısaltılması: Dizel jeneratör ne kadar güçlü ise şarj süresi o kadar kısalacak ve denizaltı dalışa geçebilecektir. Aynı nedenden ötürü, dizel jeneratör tam yükte çalışmalıdır. Bu da oldukça zorlayıcı bir görev profili anlamına gelmektedir.

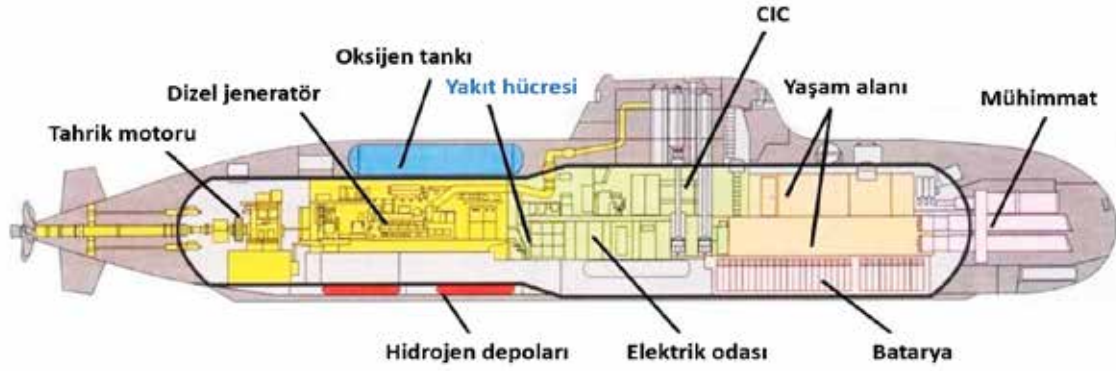
4.2 HAVADAN BAĞIMSIZ TAHRİK SİSTEMİ (HBT)

Denizaltılarda HBT olarak batarya, yakıt hücresi veya Stirling motor kullanılmaktadır. Sessiz olmaların yanı sıra yüksek güç yoğunluğu ve yüksek verimleri nedeniyle yakıt hücreleri en çok tercih edilen havadan bağımsız tahrik sistemidir. Bataryalara göre daha yüksek güç yoğunlukları yakıt hücrelerinin en temel avantajıdır. 2002 yılında denize indirilen Alman Type 212, yakıt hücresi kullanan ilk denizaltıdır (Şekil 14). İlk nesil Type 212'lerde 9 adet Siemens SiNavy BZM 34 marka/model PEM¹⁸ yakıt hücresi modülü bulunmaktadır (Şekil 15). Her bir BZM 34, 34 kW güç üretmektedir ve 630 kg ağırlığa, 47 x 47 x 143 cm hacme sahiptir. Toplam sistem gücü 300 kW olup, pik sistem verimi %58 mertebesinde (13). Yakıt hücresi için ihtiyaç duyulan hidrojen, metal hidrit tüpler içinde depolanmaktadır (Şekil 16). Hidrojen tankı 14 gün su altında kalmaya olanak vermektedir (14). Oldukça ileri bir depolama tekniği olan metal hidritlerde hidrojen kimyasal tepkime ile ağır metallerle tutturulur. Oksijen ise büyük bir tank içerisinde sıvı olarak depolanmaktadır (Şekil 17). Bu sistem 2015 yılına kadar 24 ayrı denizaltıda kullanılmıştır (15). Yeni Tip Denizaltı Projesi kapsamında üretimine başlanan Reis Sınıfı denizaltılarda benzer bir teknoloji kullanılmaktadır.

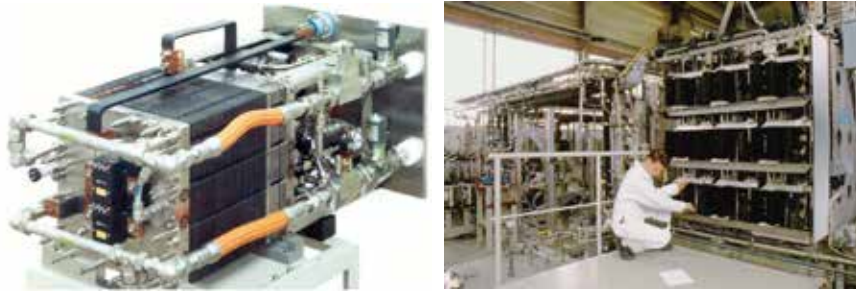
¹⁶ Kara araçları analojisi ile seri-hibrit konfigürasyon

¹⁷ AIP - Air Independent Propulsion

¹⁸ Proton elektrolit membranlı yakıt hücresi (PEM – Proton Exchange Membrane). PEM, otomotiv sektöründe de en popüler yakıt hücresi uygulamasıdır. PEM, saf hidrojene ihtiyaç duyar. Elektrik bataryalarına kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (39 kWh/kg vs. 0,25 kWh/kg).



Şekil 14 U212 Tahrik Sistemi



Şekil 15 Yakıt Hücresi ve Yakıt Hücresi Sistemi (16)



Şekil 16 Metal Hidrat Hidrojen Tankları, U212



Şekil 17 HBT Sistemi Sıvı Oksijen (LOX) Tankı, U212

PEM yakıt hücreleri saf¹⁹ hidrojene ihtiyaç duymaktadır. Ancak hidrojenin araç içinde depolanması tercih edilen bir durum değildir. Bunun nedeni hidrojenin depolama ve ikmal zorluğudur. Bunun yerine dizel, metanol, etanol gibi fosil yakıtlar tercih edilmektedir. Dolayısıyla fosil yakıtı saf hidrojene dönüştürebilmek için bir reformer ünitesine ihtiyaç duyulmaktadır. Fosil yakıtın reforme edilmesi

¹⁹ Genel olarak yakıt hücrelerinde %99,995 ya da 4,5 grade hidrojen kullanılmaktadır. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarda ise bu oran %99,9 yani 3,0 grade gibi bir mertebededir.

ile elde edilen saf hidrojen, yakıt hücresine gönderilerek elektrik enerjisi elde edilir. Fosil yakıt olarak dizel kullanılması en arzu edilen senaryodur. Bu, dizel jeneratör ile yakıt hücresinin ortak yakıt kullanımına olanak sağlamaktadır. Ancak uzun araştırmalara karşın dizel reformer üniteleri rekabetçi hale gelememiştir. Dizel reformer ünitelerinin verimi metanole göre çok daha düşüktür. Dizel reformer çok yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır (850 C°). Metanol ise 250 C°'de reforme edilmektedir. Bunun yanında yüksek sülfür seviyesi nedeniyle standart dizel yakıt kullanmak da mümkün değildir. Dizel yakıtın araç içinde rafine edilip sülfür miktarının düşürülmesi gerekmektedir. Almanlar bu nedenden ötürü dizel yerine metanolu tercih etmiştir. Reformer ve yakıt hücresi konusunda en öncü şirket Alman Siemens'tir. Avustralya'nın yakın zamanlı denizaltı ihalesinde²⁰ 3 ayrı şirket HBT çözümlerini listelemiştir (15). Bunlar aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 9). Almanların 40 seneyi aşkın bir reformer/yakıt hücresi deneyimi bulunmaktadır. Fransızlar yakıt hücresi HBT çalışmalarına 2006 yılında başlamıştır.

Tablo 9 Avusturalya Dizel Denizaltı İhalesinde HBT Alternatifleri

TKMS²¹ (Almanya)	Type 216	2 veya 4 adet ikinci nesil Siemens 120 kW PEM ²² yakıt hücresi, metanol yakıt tankı ve reformer ünitesi önerilmektedir.
Naval Group²³ (Fransa)	Shorfin Barracuda Block 1A	DCNS geçmişte MESMA çözümünü kullanmaktaydı. Bu çözümde etanol ve oksijen çok yüksek basınç altında yakılarak buhar elde edilmekte ve bir türbin vasıtasıyla elektrik elde edilmekteydi. Bu ihalede yakıt hücresi önerilmektedir.
KHI²⁴ (Japonya)	Söryü	Japonlar HBT yerine li-iyon batarya adedini artırmayı planlamaktadır. Geçmişte Stirling motor kullanan Japonlar, İsveç menşeli Stirling çözümü ²⁵ ile yaşadıkları problemlerden ötürü bu çözümü terk etmişlerdir. Uygulaması çok daha kolay olmakla birlikte enerji yoğunluğu açısından yakıt hücreleri ve li-iyon bataryalar arasında önemli fark bulunmaktadır.

Diğer bir popüler HBT çözümü ise Stirling motordur. Stirling motoru, sıcak hava motoru olarak da bilinir. Stirling motoru, yalıtılmış olarak bir miktar çalışma gazının²⁶ ısıtılma ve soğutulma işleminin tekrar edilmesi ile enerji elde etmektedir. Otomotiv imalatçıları 60'lar ve 70'lerde Stirling teknolojisi üzerine çalışmışlarsa da düşük güç yoğunluğu, sızdırmazlık problemleri ve soğutma sisteminin büyüklüğü nedeniyle teknolojinin uygulanabilir olmadığını görmüşlerdir (17). Ancak hava olmadan ve daha sessiz çalışabilmeleri denizaltı uygulamasına imkân vermiştir. Stirling motorları denizin altında da çalışarak bataryaları takviye edebilmektedir. Stirling HBT ilk defa İsveç'in Gotland sınıfı denizaltılarında kullanılmıştır. Gotland sınıfında 2 adet 75kW'lık V4-275R Stirling motor bulunmaktadır. Benzer motorlar Japon Söryü denizaltılarında da kullanılmıştır. Ancak Japonlar güvenilirlik problemleri nedeniyle bu çözümü yakın zaman önce terk etmiştir.

²⁰ İhaleyi Fransızlar kazanmakla beraber, bu anlaşma iptal edilmiştir. Avusturalya, Amerika/İngiltere'den nükleer denizaltı temin edecektir.

²¹ Thyssenkrupp Marine Systems

²² Proton elektrolit membranlı yakıt hücresi (PEM – Proton Exchange Membrane). PEM, otomotiv sektöründe de en popüler yakıt hücresi uygulamasıdır. PEM, saf hidrojene ihtiyaç duyar. Elektrik bataryalarına kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (39 kWh/kg vs. 0,25 kWh/kg).

²³ Eski ismiyle Direction des Constructions Navales (DCNS)

²⁴ Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

²⁵ Kawasaki Kockums V4-275R

²⁶ Genellikle çok yüksek basınçlar altında hava, helyum veya hidrojen gibi gazlar



Şekil 18 Gotland Sınıfı Denizaltıların 75kW'lık Kockum Stirling Motoru

Daha düşük güvenilirlikleri, yakıt hücrelerine kıyasla verimlerinin çok daha düşük, akustik izinin çok daha yüksek olması nedeniyle batıda Stirling HBT'lere olan ilgi azalmıştır. Ancak Çin'in Stirling motorlara yatırım yapmaya devam ettiği görülmektedir. Yakın zaman önce Çin, bilinen en güçlü Stirling motorun (320 kW) prototipini geliştirmiştir (18).

4.3 ELEKTRİK MOTORU VE BATARYA

Denizaltılarda standart olarak kurşun asit batarya kullanılmaktadır. Ancak Avusturalya'nın yakın zamanlı denizaltı ihalesinde üç şirketin de li-iyon batarya tercih ettiği görülmektedir (4.2). Li-iyon bataryalar çok daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptir. Bunun yanında zararlı gazlar için bir havalandırma sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. MİLDEN için de li-iyon batarya tercih edilmektedir. Li-iyon bataryaların temel dezavantajları ise yüksek maliyet, düşük denizaltı tecrübesi ve emniyet endişesidir. Li-iyon bataryaların yanması için oksijene ihtiyaç duyulmamaktadır; yanma başladıktan sonra kendi oksijenini üretmektedir. Yanma bir kez başladıktan sonra kontrollü yakım ya da suya daldırarak soğutmaktan başka çare kalmamaktadır.



Şekil 19 Siemens Permasyn™ Motor

Denizaltıların ana tahrik motoru ise elektrik motorudur. Tahrik motoru platformun içindedir; güç pervaneye bir şaft vasıtasıyla aktarılmaktadır. Yukarıda bahsi geçen ihale kapsamında 3 şirketin de sabit mıknatıslı elektrik motorları tercih ettiği görülmektedir. TKMS, 6+ MW'lık Siemens Permasyn™ elektrik motoru kullanmaktadır. Bu motor, Type 214'te kullanılan 4 MW'lık motorun ölçeklendirilmesi ile elde edilmiştir. Fransızlar 7 MW'lık bir elektrik motoru kullanırken; Japonlar Söryü sınıfında da kullanılan 5,9 MW'lık Fuji Electric sabit mıknatıslı motor kullanmaktadır.

4.4 DENİZALTI DİZEL JENERATÖRLERİ - KÜRESEL ÖRNEKLER

Aşağıdaki tablo belli başlı ülkelerin denizaltılarında kullandığı dizel jeneratörleri özetlemektedir (Tablo 10). Görüleceği üzere sadece Alman MTU motorları 50 litrenin altında motor hacmine sahiptir. Diğer motorlar, 80 litre ve üstü hacme sahiptir. Örnek olarak, Japon Söryü sınıfı denizaltılarda kullanılan dizel makineler, 150 litreye yakın bir motor hacmine sahiptir.

Tablo 10 Denizaltı Dizel Jeneratörleri

Sınıf	Ülke	Dizel Motor	Litre/ silindir Hacim	Konfig.	Ek Bilgi
Type 209	Almanya	4 x MTU 12V 396	3,96 l/sil. 47 litre	V12	396 serisi 4000 serisi motorların bir önceki neslidir.
Type 212	Almanya	1 x MTU 16V 396	3,96 l/sil. 63 litre	V16	2.150 kW dizel motor ²⁷ ve 2,85 MW Siemens Permasyn elektrik motoru
Type 214	Almanya	2 x MTU 16V 396 SE84 L	3,96 l/sil. 63 litre	V16	2,85 MW Siemens Permasyn elektrik motoru
Collins	Avustralya	3 x Hedemora ²⁸ HV V18B/15UB (VB210)	7,27 l/sil. 131 litre	V18	
Type 039	Çin	3 x MTU 16V 396 SE84	3,96 l/sil. 63 litre	V16	Resmî olmayan bazı kaynaklarda millî motor CHD 620'nin MTU motorun yerini aldığı belirtilmektedir ²⁹ .
Rubis	Fransa	1 x MAN ³⁰ 8 PA4 V185 SM	6,6 l/sil. 53 litre	V8	450 kW. Nükleer denizaltının yardımcı akım sistemi.
Scorpène	Fransa	2 x MAN 12 PA4 200SM DS	6,6 l/sil. 79 litre	V12	Her bir dizel motor 1.250 kW güç üretmektedir. MTU motor seçeneği de mevcuttur. Bu uygulamada her biri 632 kW'lık 4 adet MTU 396 12V SE84 motoru kullanılmaktadır. (19)
Walrus	Hollanda	3 x MAN 12 PA4 200SM DS	6,6 79 litre	V12	Her bir motor 1.300 kW güç üretmektedir.
Vanguard	İngiltere	2 x Paxman Valenta 12 RPA 200 SZ	6,6 l/sil. 79 litre	V12	Her biri 905 kW'lık iki dizel motor
Archer Södermanland	İsveç	2 x Hedemora (VA series)	5,64 l/sil. 68 litre	V12	-
Gotland	İsveç	2 x MTU 16V 396 SE84	3,95 l/sil. 63 litre	V16	Alman Type 212 sınıfıdır. 2 x 2.150 kW. HBT olarak Stirling kullanılmaktadır.

²⁷ Çok yüksek güç yoğunluğu ve yedekliliğin olmaması nedeniyle teyit edilmesi gereken bir bilgidir.

²⁸ İsveçli Hedemora Diesel, Avusturalyalı Engelco tarafından satın almıştır.

²⁹ Çin denizaltı motorları, Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry tarafından MTU lisansı altında imal edilmektedir (103). Bu motorun yerini Henan tarafından üretilen millî denizaltı motoru CHD 620'nin aldığı belirtilse de bunun doğru olmadığı tahmin edilmektedir. Tayland denizaltı ihalesinde ambargo nedeniyle Çin'in MTU 396 serisi yerine kendi motorunu kullanmak istemesi ve Tayland'ın bu değişikliğe motorun 'kendini ispatlanmamış' olması nedeniyle itiraz etmesi; bu durumu gün yüzüne çıkarmıştır (89). CHD 620 motor hakkında bilgi mevcut değildir. Henan; Deutz lisansı altında üretimine başladığı TBD 620 serisi motorları kendi markası altında üretmeye devam etmektedir. Bu motor, silindir hacmi itibarıyla 396 serisinden biraz daha büyüktür (4,43 vs. 3,96 litre/silindir) (104). Büyük olasılıkla, kendini ispatlamış bir denizcilik motoru olan bu motor, denizaltına uyumlandırılmıştır.

³⁰ Alman MAN, Fransız S.E.M.T. Pielstick'i bünyesine katmıştır.

Bilekinge	İsveç	Bilinmiyor	-	-	A26 sınıfı diye de bilinmektedir. Gotland sınıfının yerini alacaktır.
Salvatore Todaro	İtalya	1 x MTU 16V 396	3,95 l/sil. 47 litre	V16	Alman Type 212'nin kardeş gemisidir.
Sōryū	Japonya	2 x Kawasaki ³¹ 12V 25/25 SB	12,27 l/sil. 147 litre	V12	250 x 250 mm çap/stroka sahip motor 1.200 d/d'da 1.840 kW mekanik, 1.470 kW elektrik gücü üretmektedir.
Taigei	Japonya	2 x Kawasaki 12V 25/31 S	15,22 l/sil. 183 litre	V12	250 x 310 mm çap/stroka sahip motor 1.200 d/d'da 2.280 kW mekanik, 1.840 kW elektrik gücü üretmektedir.
Victoria	Kanada	2 x Paxman ³² Valenta 1600 RPA SZ	6,6 l/sil. 106 litre	V16	Her bir dizel 1.517 kW güç üretmektedir.
Tunku Abdul Rahman	Malezya	2 x MAN 12 PA4 200SM DS	6,6 l/sil. 79 litre	V12	Fransız Scorpène sınıfı.
Lada / Amur	Rusya	V8 D49 ChN 26/26 ED2	13,8 l/sil. 110 litre	V8	260 x 260 mm çap/stroka sahip motor 1.000 d/d'da 1.290 kW güç üretmektedir. (20)
Kilo	Rusya	Kolomna 1DL42 (ChN 30/38)	26,9 l/sil. 161 litre	I6	Kilo sınıfı denizaltılar Çin Donanması tarafından da yaygın kullanılmaktadır. 300 x 380 mm çap/stroka sahip motor, 700 d/d'da 1.280 kW güç üretmektedir.

4.5 DENİZALTI DİZEL JENERATÖRÜ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Denizaltı motoru için deniz motorunda kapsamlı değişiklikler yapılmaktadır:

Hava Emiş Sistemi: Hava emiş sistemi bütünüyle özgündür. Şnorkel derinliğinde dizel motorlar bataryaları şarj ederken, hava akışı zaman zaman kesintiye uğramaktadır ve hava emiş basıncı atmosfer basıncının altına düşebilmektedir. Bu kesintileri kompanse etmek için motor üzerinde bir rezerv hava sistemi bulunmaktadır.

Turbo-Egzoz Sistemi: Egzoz çıkışı denizin altında olduğu için çok yüksek bir egzoz karşı basınca (back-pressure) karşı çalışılmaktadır. Karşı basınç 1.700 mbar mertebesine ulaşabilmektedir. Kara araçları motorları genelde 30-40 mbar için tasarlanmaktadır. Yüksek karşı basınç nedeniyle turboşarjın yanında mekanik bir süperşarja da ihtiyaç duyulabilmektedir.

Çalışma Profili: Motorun kullanım profili oldukça ağırdır. Çoğunlukla tam yükte çalışan motorun uzun hizmet ömrü için ön ısıtma sistemine sahip olması gerekmektedir. Sürekli sıcak tutulan yağ ilk çalışma sırasında yaşanan prematüre aşınmaları azaltabilmektedir.

Düşük Akustik İz: Motorun akustik izini azaltmak için çok sessiz çalışması gerekmektedir. Motor takozları özeldir. Bunun yanında akustik izi düşürmek için gelişmiş bir egzoz susturucusuna ihtiyaç duyulmaktadır. Kara araçları projelerinde ise akustik geliştirme neredeyse mevcut değildir.

³¹ 1990'a kadar MAN lisanslı motorlar kullanılmıştır. MAN'le stratejik ortaklık devam etmektedir. KHI, 1980'den beri MAN lisanslı turbolar üretmektedir.

³² Paxman, 2000 yılında MAN B&W Diesel AG tarafından satın alınmıştır.



Şekil 20 MTU 4000 Serisi Denizaltı Motoru

4.6 SEKTÖR LİDERİ - MTU DENİZALTI DİZEL MOTORLARI

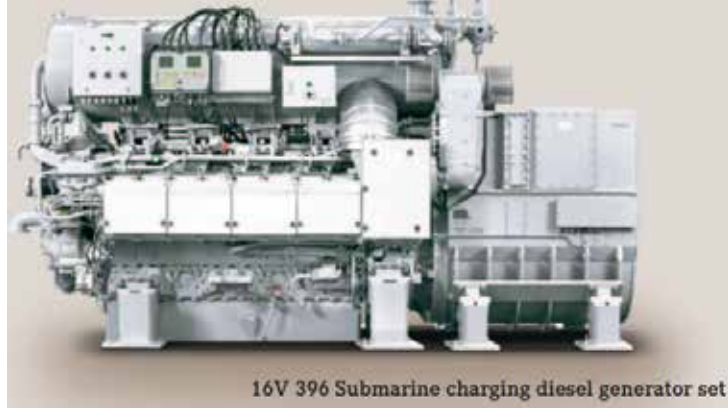
Denizaltı motorlarında MTU tekniğin bilinen durumunu temsil etmektedir. MTU'nun denizaltı motorları kendini sahada ispatlamış motorlardan türetilmektedir. Bu motorların daha önce deniz, lokomotif ve/veya jeneratör geçmişleri bulunmaktadır. Denizaltında kullanılmadan önce 496 serisinden 3,6 bin, 396 serisinden 15 bin, 4000 serisinden 21 bin adet motor üretilmiştir (21). MTU'nun denizaltı motorlarının tarihsel süreci aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 11).

Tablo 11 MTU Denizaltı Dizel Motorları Gelişim Süreci

1959	MTU'nun ilk denizaltı motoru 441 kW'lık atmosferik dizel motor ³³ 12V 493'tür. 493 serisi denizaltı motorundan bugüne kadar 340 adet üretilmiştir. Envanterimizdeki Ay Sınıfı denizaltılarda 4'er adet MTU 12V 493 kullanılmaktadır.
1980	493 serisini 16V 652 MB82 takip etmiştir. Süperşarjlı motor 1.200 kW güç üretmektedir. 652 serisinden sadece 24 adet üretilmiştir.
1982	O zamana kadar deniz, lokomotif, jeneratör motoru olarak 15 bin adet üretilmiş olan 396 serisinin denizaltı versiyonunun ilk prototipleri üretilmiştir. 396 serisi denizaltı motorlarından bugüne kadar toplam 250 adet üretilmiştir.
1987	İlk 16V 396 SB83'ler teslim edilmiştir. 493 ile 396 serileri arasında neredeyse 30 yıllık bir ara bulunmaktadır. 1.800 dev/dakikada 970 kW güç üreten bu motor, 63,5 litre motor hacmine sahiptir.
1990	Kısa bir süre sonra SB84 modernizasyonu yapılmıştır. Motor gücü 1.040 kW'a çıkmıştır. V16 motorun, V8 ve V12 versiyonları üretilmiştir. Not: Preveze ve Gür Sınıfı denizaltılarda 4'er adet MTU 12V 396 kullanılmaktadır.
2002	396 SE84L varyantı tamamlanmıştır. 16V 396'nın gücü 1.200 kW'a çıkmıştır. Yeni tip denizaltı Reis Sınıfında da (214 Sınıfı) 396 serisi motorlar kullanılmaktadır.
1996	MTU 4000 deniz motoru üretimine başlanmıştır. Bu motor common rail enjeksiyon sistemi kullanan ilk büyük dizeldir. Yakıt enjeksiyon sistemi geliştirme süreci sırasında İsviçreli Ganser firmasından destek alınmıştır.
2016	4000 serisi motorların denizaltı versiyonu lansmanı gerçekleştirilmiştir. Böylelikle 16V 396 SE'lerin yerini 12V 4000 U83'ler alacaktır. U83'ler düşen motor hacmine karşın (63,4 litre-> 45 litre) 1.500 kW güç üretebilmektedir. 4000 U83'ün geliştirmesi 2009 yılında başlamış ve 8 yıl sürmüştür (22). Dolayısı ile deniz ve denizaltı versiyonu arasında 20 yıllık deneyim biriktirilmiştir.

³³ Atmosferik motorda turboşarj ünitesi (aşırı besleme) mevcut değildir. Modern dizel motorların neredeyse tamamı turboşarj beslemelidir.

MTU denizaltı motorları için tekniğin bilinen durumu MTU 4000'dir. MTU 4000'in güç yoğunluğu 34 kW/litredir. Bu rakam kara araçları güç yoğunluğuna yakındır. Motor hacmi Leopard II'de kullanılan MTU MT 873 ile neredeyse aynı olmasına karşın, 1.100 kW yerine 1.500 kW güç üretilmektedir.



Şekil 21 MTU 16V 396 – Önceki nesil denizaltı motoru



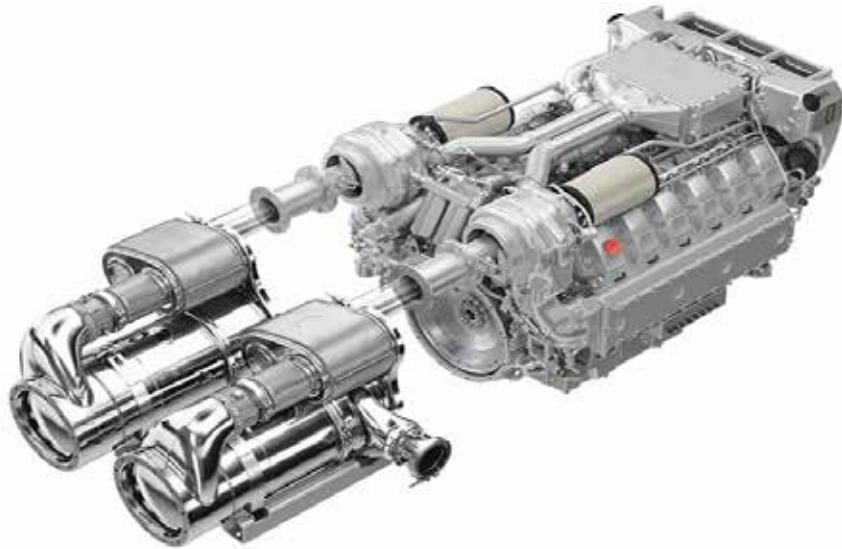
Şekil 22 MTU 12V 4000 U83 – Yeni Nesil Denizaltı Motoru

5 2020-2050 YILLARI ARASI TREND ARAŞTIRMASI

5.1 EMİSYONLARIN DÜŞÜRÜLMESİ

Deniz araçları tahrik sistemlerinde emisyonların düşürülmesine yönelik teknolojik gelişmenin kara araçlarına kıyasla oldukça yavaş seyrettiği görülmektedir. Bunun en önemli nedeni teknik zorluklar olmakla birlikte diğer nedeni deniz taşımacılığının küresel emisyon salınımına etkisinin nispeten düşük olmasıdır. Deniz taşımacılığının toplam küresel emisyona katkısı 2018 yılı itibarıyla %2.89 mertebesinde (23). Son dönemde hükümetlerin ve uluslararası bağlayıcılığı olan kuruluşların emisyon salınımı ile ilgili katı düzenlemeleri; deniz ticareti ve taşımacılığı taraflarında ister istemez yeşil, yenilenebilir yakıtlar konusunda farkındalığı artırmıştır. Bu temiz enerji tahrik sistemleri arasında hidrojen, amonyak, sentetik yakıt veya biyogazlı içten yanmalı motorlar; hafif platformlarda batarya elektrikli ana tahrik sistemleri ön plana çıkmaktadır.

Adımsal bir ilerleme olarak deniz tipi makinelerde düşük sülfür yakıtların kullanımının önümüzdeki dönemde emisyon standartları gereği yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda IMO³⁴, Ocak 2015 yılında sülfür ve partikül emisyonları ve emisyon kontrol alanlarında (ECA) SOX salınımını %0,10 ile sınırlandırmak konusunda kurallar yayımlamıştır. Benzer şekilde, MEPC³⁵ tarafından kabul edilen bir direktif ile 130 kW üzerinde güç üreten dizel motorların NOX emisyonlarının sınırlandırılması amaçlanmıştır (24). Diğer adımsal ilerleme ise egzoz gazı arıtma sistemleri vasıtasıyla yaşanmaktadır. Örneğin, Danimarkalı bir konsorsiyum olan “Green Ship of the Future” kendini 3-5 yıl içinde amorti edebilecek bir egzoz gazı arıtma sistemi üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Diğer bir konsorsiyum DS Norden da kendini 6 – 10 yıl arasında amorti edebilecek benzer bir sistem üzerine çalışmalar yürütmektedir (25).



Şekil 23 MAN D2862 IMO Tier III Egzoz Gazı Arıtma Sistemi (26)

³⁴ International Maritime Organization

³⁵ Marine Environment Protection Committee

Karbondioksit salınımlarının önemli oranda düşürülmesinin ise alternatif yakıt kullanımı ile gerçekleştirilmesi beklenmektedir. Alternatif gemi yakıtlarının kullanımı ve makine dönüşümleri konusunda dünya genelinde teşvik mekanizmaları mevcuttur. Üzerinde en çok çalışılan alternatif yakıtlarla ilgili daha detaylı bilgi takip eden bölümde aktarılmaktadır (5.2).

5.2 NET SIFIR EMİSYON HEDEFİNE ULAŞMANIN ÖN ŞARTI

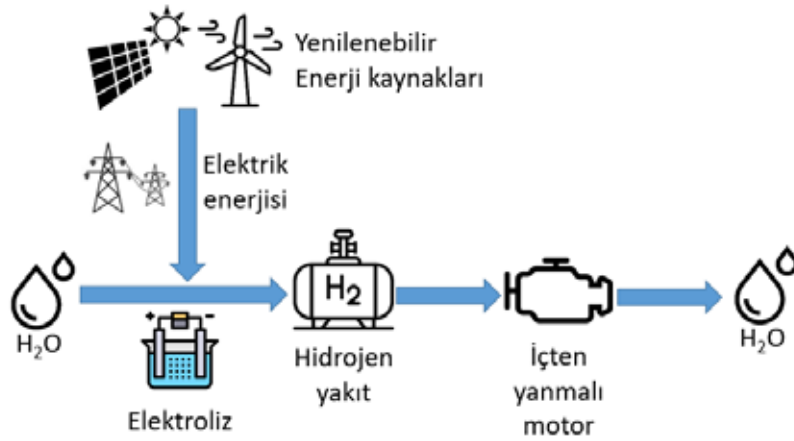
“Net Sıfır Emisyon” hedefi karbon emisyonlarını 2030 yılına kadar yarı yarıya azaltmak, 2050 yılına kadar da tamamen sıfırlamak anlamına gelmektedir. Belli uygulamalar için emisyon tümüyle sıfırlanırken; bunun mümkün olmadığı durumlarda salınım devam etmekte ancak bu salınım, atmosferden eşdeğer miktarda gaz emilerek dengelenmektedir. Net Sıfır için bir yandan üretilen elektrik enerjisinin miktarının artırılması; diğer yandan bu enerjinin rüzgâr, güneş enerjisi gibi “yeni” sürdürülebilir enerji kaynakları ile üretilmesi zorunluluktur.

2022 itibarıyla yenilenebilir enerjinin toplam küresel enerji tüketimine oranı %13-%14 mertebesinde. Bu enerjinin %55'i biyoenerjidir. Biyoenerjinin yarıdan fazlası başta odun olmak üzere orman atıklarından elde edilmektedir. Bu, bir ağacın büyürken tükettiği sera gazlarının gaz hale getirilirken/yanarken havaya saldığı miktara eşit olduğu varsayımına dayanır. Biyoenerji dışında geri kalan enerji miktarının yarıdan fazlası hidroelektrik santrallerinden (HES) elde edilmektedir. “Yeni yenilenebilir enerji kaynağı” diye adlandırabileceğimiz rüzgâr ve güneş enerjisi ise şu an için toplam küresel enerji ihtiyacının sadece %2,5'ünü karşılamaktadır (27). Dolayısı ile 2030 yılına kadar karbondioksit salınımlarını önemli oranda azaltmanın veya 2050 yılına kadar tamamen sıfırlamanın oldukça zorlayıcı bir hedef olacağı değerlendirilmektedir.

5.3 ALTERNATİF YAKITLAR

5.3.1 HİDROJEN

Son yılların en dikkat çeken temiz yakıtlarından biri hidrojendir. Transport & Environment, hidrojeni yeşil deniz taşımacılığına olanak sağlayacak en önemli yakıt türü olarak değerlendirmektedir (28). Ancak hidrojenin tam anlamıyla çevreci olabilmesi için yenilenebilir bir şekilde elde edilmesi (Yeşil Hidrojen) zaruridir. İdeal senaryo aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Şekil 24).



Şekil 24 İdeal Hidrojen Yakıt Döngüsü

Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorların binek araçlarda birçok teknoloji gösterimleri mevcuttur. Ancak deniz araçlarında gösterimler nispeten sınırlıdır. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ana mimari olarak konvansiyonel dizel motorlarla oldukça benzeşse de yakıt depolama ve yakıt ikmal altyapısı bütünüyle farklıdır. Hidrojen, gemi tasarımında da önemli değişiklikler gerektirebilmektedir. Askerî platformlarda hidrojen kullanımının önündeki engeller; emniyetin yanı sıra tek-yakıt politikasından sapma, ikmal alt yapı eksikliği ve yüksek maliyetler olarak listelenmektedir. Örnek olarak, sıvı hidrojen kullanımı limanda fosil yakıtlara kıyasla 5 kat daha fazla alan gerektirmektedir.

Hidrojen yakıtlar ile emisyonların düşürülmesi yönünde geçiş çözümü “dual-fuel” yani çift yakıtlı motorlardır. Konvansiyonel bir deniz dizel motorunda asgari değişikliklerle hidrojen uygulaması mümkündür. Bu uygulamada dizel tankının yanında hidrojen tankı da mevcuttur. Örnek olarak, MAN'nin 2022'de lansmanını yaptığı çift-yakıtlı deniz motoru bu tip bir teknoloji kullanmaktadır (29) (30). MAN; D2862 LE448 motorunu ana mimaride hiçbir değişiklik yapmadan çift-yakıt dönüşümü yapabilmektedir. Dipnot olarak, D2862 mimari olarak BATU ile benzeşmektedir³⁶. Bu, ihtiyaç duyulduğu takdirde BATU'nun da hidrojen yakabilecek şekilde retrofit edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 25 MAN D2862 Dual Fuel

³⁶ BATU; 27 litre, V12, çift turbo dizel motordur. MAN; 24 litre, V12, çift turbo dizeldir.

“Kara Araçları Güç Grubu Teknoloji Yol Haritası” kapsamında da hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ve yakıt hücresel elektrikli araçlar irdelenmiştir (31). Kara araçları kapsamında da hidrojen yakıtın hacimsel enerji yoğunluğunun dizele göre çok düşük oluşu³⁷, saklamak için gerekli çok yüksek basınçlar ve hidrojenin yanıcılığı düşünüldüğünde; bu tip bir uygulamanın askerî kara araçları için yapılabilir olmadığı görüşüne varılmıştır. Bu görüş profesyonel pazar araştırmaları ile de doğrulanmaktadır. BIS Research yaptığı araştırma sonucunda yakıt hücrelerinin yakın ve orta vadede askeri kara araçlarında yaygın kullanıma girme ihtimalinin düşük olduğunu değerlendirmektedir (32). Kara Araçları Teknoloji Yol Haritası Sonuç Raporu’nda hidrojenin dezavantajları aşağıdaki başlıklarda özetlenmektedir:

Düşük Hacimsel Enerji Yoğunluğunun Getireceği Lojistik Problemler: Yakıt tankeri sayısının 3-7 kat artma olasılığı vardır (Şekil 26).

Emniyet Endişeleri: Büyük hacimli, yanıcı bir yakıtın taarruza maruz bir araç içerisinde ve yakıt ikmali süresince korunması daha güçtür.

Yüksek Yakıt Kalitesi Zorunluluğu: Hidrojen ve oksijenin kontaminasyon seviyesinin çok düşük olması gereklidir. Bu durum özellikle yakıt hücresel sistemler için geçerlidir.

Atık Isı miktarının Çok Yüksek Olması: Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar için geçerli değildir. Ancak hidrojen yakıt hücresel elektrikli araçlarda atık ısı miktarı muadil içten yanmalı motorun iki katıdır.

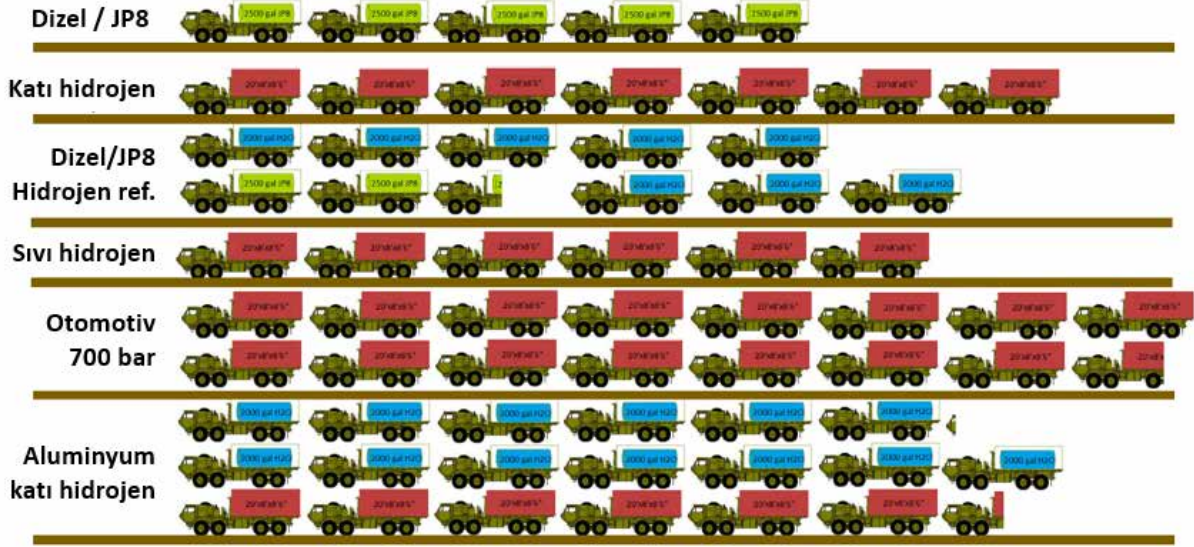
Dayanım Riski: Yakıt hücrelerinin askerî koşullar altında saha deneyimi oldukça sınırlıdır. Yeni teknoloji olması açısından riskler barındırmaktadır. Hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorların da güvenilirliğinin dizel motorlardan düşük olması beklenmektedir. Bunun en büyük nedeni hidrojen yakıtın ‘kuru’ yani yağlayıcı özelliğinin dizel yakıtı göre çok düşük oluşudur.

Tek Yakıt Politikası’ndan (NATO Single Fuel Forward Policy) Sapma: Çift yakıt entegre lojistik destek yükünü önemli oranda artıracaktır.

Yüksek Maliyet: Hidrojenin maliyeti şu an için oldukça yüksektir.

Otomotivde Ticari İlginin Azalması: Batarya elektrikli araçlar hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ve yakıt hücrelerine kıyasla çok daha yaygın kullanım alanı bulmuştur. Son dönemde bu konuya on yıllarca yatırım yapan otomotiv devlerinin yakıt hücresi çalışmalarını yavaşlattığı görülmektedir. Mercedes, bu yönde karar alan şirketlerden biridir. VW bunun ötesine geçmiş ve bu konuda teknolojik karşılıklı ortaya koymuştur (33). Bu durumun inovasyonu yavaşlatacağı öngörülmektedir.

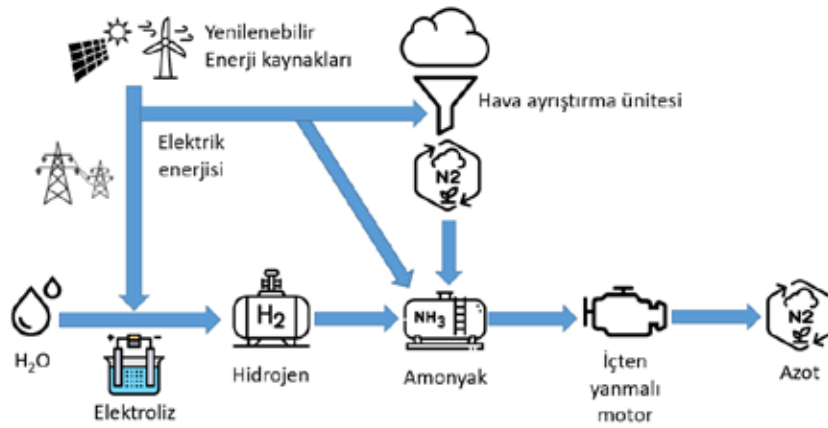
³⁷ Sıvı H₂ için dörtte bir; 150 barda gaz H₂ için yirmi beşte bir



Şekil 26 Dizel vs. Hidrojen (Farklı H2 depolama çözümleri ile)

5.3.2 AMONYAK

Hidrojene en büyük alternatif yakıt amonyaktır. Hidrojen gibi amonyak da mevcut motorlar üzerinde çeşitli modifikasyonlarla devreye alınabilmektedir. Burada zorlayıcı unsur, hidrojeninde olduğu gibi, yakıtın depolanması ve yakıt ikmalidir. Amonyak, karbon atomu içermeyen bir moleküldür (NH_3). Dolayısı ile yanma sonucu karbondioksit salınmamaktadır. Ancak amonyağın da tam anlamıyla çevreci olabilmesi için yenilenebilir bir şekilde elde edilmesi zaruridir. İdeal senaryo aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Şekil 27).



Şekil 27 İdeal Amonyak Yakıtı Döngüsü

“Yeşil amonyak”, elektroliz yoluyla hidrojen oluşturmak için yenilenebilir enerji kullanılarak ve ardından yeşil enerjiyle desteklenen bir Haber-Bosch sürecinden geçirilerek üretilebilir. Amonyanın doğal gazdan farklı kaynaklardan üretilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir ancak molekülün sentezlenmesi konusunda hala Haber-Bosch sisteminin kullanılması verimliliği azaltmaktadır. Haber-Bosch prosesi ile amonyak üretimi için gerekli olan hidrojenin yaklaşık %96’sı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Hidrojene göre temel dezavantajsa amonyanın daha kötü yanma özellikleridir. Saf amonyak yakıt olarak kullanıldığında yüksek tutuşma sıcaklığı ve tutuşma gecikmesi sebebiyle verimsiz bir profil çizmektedir. Dolayısıyla amonyanın, hidrojen veya yüksek setan numaralı yakıtlarla karıştırılması gerekebilmektedir. Bu durumda - dizele kıyasla çok daha düşük olmasına karşın - CO₂, NO_x ve SO_x salınımı kaçınılmazdır. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü de amonyanın şu aşamada karbon emisyonu için kesin bir çözüm üretmediği, yeni yeşil ve mavi amonyak üretim yöntemleri geliştirmek için önemli çalışmalar yapılması gerektiği değerlendirmesinde bulunmaktadır (34).

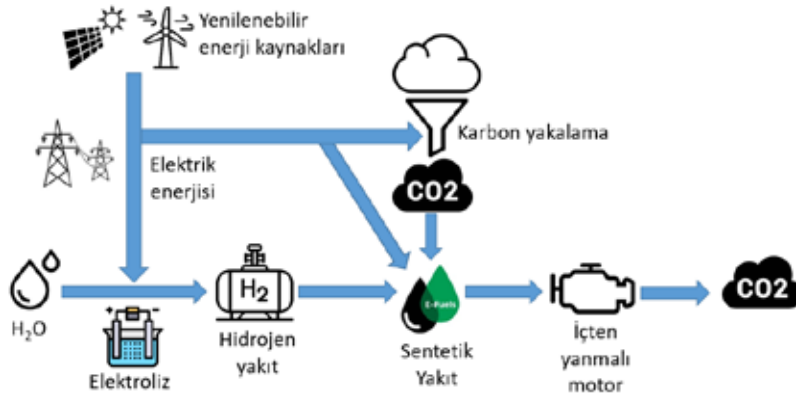
Küçük ölçekli bazı teknoloji gösterimleri mevcutsa da, amonyak yakıtlı deniz araçları henüz ticarileşmemiştir. Amonyak yakıtlı ilk konteyner gemisinin 2026 yılında suya indirilmesi planlanmaktadır. Amonyak üreticisi Yara Clean Ammonia ve Norveçli konteyner taşımacılığı şirketi NorthSea Container Line’in işbirliği ile inşa edilecek gemi, Almanya – Norveç arasında yük taşımacılığı yapacak ve bir ilk teşkil edecektir (35).



Şekil 28 Dünyanın İlk Amonyak Yakıtlı Yük Gemisi (2026 için planlanıyor)

5.3.3 SENTETİK YAKITLAR

Sentetik yakıtlar konvansiyonel yakıtların yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak ‘laboratuvar ortamında’ sentezlenmesi ile elde edilir. Ancak sentetik yakıtların da tam anlamıyla çevreci olabilmesi için yenilenebilir bir şekilde elde edilmesi zaruridir. İdeal senaryo aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Şekil 29).



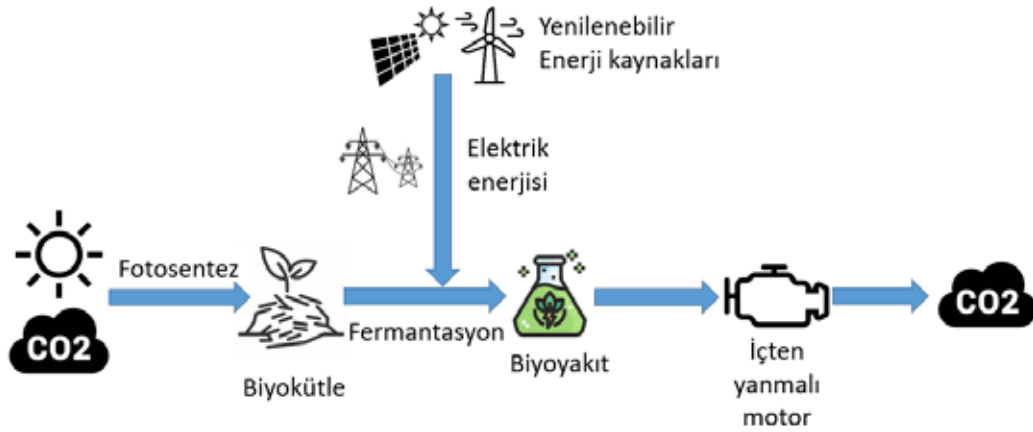
Şekil 29 İdeal Sentetik Yakıt Döngüsü

Yanma özellikleri konvansiyonel yakıtlarla benzeştiği için “drop-in” olarak kullanılmaları hedeflenmektedir. Yani sentetik yakıt, motor ve yakıt tankı üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan doğrudan kullanılabilir. Diğer yandan bu büyük avantaj, sentetik yakıtların sürdürülebilir olmasının önündeki en büyük engeldir. Laboratuvar testleri olmadan standart yakıttan ayırmak çok güç olduğundan ötürü, deniz araçlarının çok daha ucuz olan konvansiyonel yakıtı kullanmaya devam etmesi olasıdır.

En dikkat çekici üç sentetik yakıt sentetik dizel, sentetik metanol ve sentetik metandır. Sentetik metan yakıt LNG’nin yenilenebilir alternatifidir. LNG’nin yerine “drop-in” olarak kullanılabilir. Tıpkı sentetik dizel de olduğu gibi elektroliz yoluyla elde edilen Hidrojen ve carbon-capture yoluyla elde edilen CO₂ birleştirilerek elde edilir. LNG, dizel yakıtlara göre çok daha temiz bir yakıt olarak dikkat çekmektedir. Avrupa Parlamentosu; LNG ile çalışan gemilerin kullanımının ya da konvansiyonel gemilerin LNG kullanacak şekilde dönüşümüne hız verilmesi, LNG yakıt ikmal noktalarının oluşturulması konusunda üye devletlere teşvik vermeleri konusunda çağrıda bulunmuştur. LNG altyapısının geliştirilmesi, tamamen elektrikli ya da yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen ya da rüzgâr tahrikli gemiler gibi alternatif yakıtların kullanımı; “Connecting Europe Facility” ve “Horizon 2020” gibi programlar ile hayata geçirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca Parlamento, 2018 yılında komisyona alternatif yakıtların kullanımı talimatının revize edilmesi ve uygun şekilde hayata geçirilmesi konusunda talepte bulunmuştur (36).

5.3.4 BİYİYAKIT

Analizlere göre emisyonları azaltmak için en ucuz çözüm, önce sürdürülebilir biyokütle yoluyla üretilen yeşil yakıtları kullanmaktır. Biyoyakıt da tıpkı sentetik dizel gibi “drop-in” olarak kullanılabilir. Biyoyakıtların en büyük dezavantajı yaygın kullanımı nedeniyle gıda fiyatlarında olası artıştır. Bu durumu aşabilmek için bir takım çözüm önerileri mevcuttur. Cetane Energy firmasının, hayvan yağı ve deniz yosunlarından yenilenebilir dizel yakıt üretimi konusunda araştırmaları mevcuttur. Bunların dışında Nippon Oil, BP Avustralya, Syntroleum ve Tyson Foods, UOP-Eni gibi firmalar da yenilenebilir dizel yakıt ve bunların deniz uygulamaları konularında çalışmalar yürütmektedir.



Şekil 30 İdeal Biyoyakıt Döngüsü

Konteyner taşımacılığının lider şirketlerden biri olan MSC, karbon ayak izini azaltmak isteyen müşterilerine özel biyoyakıt çözümü sunan ilk şirket olmuştur (37). “MSC Biofuel Solution” programı kapsamında konvansiyonel yakıt, %30’a varan oranlarda atık mutfak yağlarından elde edilen metil esterle seyreltilmektedir. Metil esterlerin karakteristik özellikleri, 2 numaralı dizel yakıtı çok benzerdir. MSC, sadece 2. Nesil biyoyakıt kullanacağını taahhüt etmektedir. İlk nesil biyoyakıtlardan farklı olarak, 2. Nesil yakıtların hammaddesi gıda ürünleri değil, yenilenebilir atıklardır. Biyoyakıtlı konvansiyonel yakıt arasındaki maliyet farkı müşteri tarafından üstlenilmektedir.



Şekil 31 Müşterilerine biyoyakıt alternatifi sunan ilk şirket MSC

5.4 BATARYA ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ DENİZ ARAÇLARI

“Tam Elektrikli Tahrik Sistemi” - deniz araçları bağlamında - birincil tahrikin elektrik motorları ile karşılandığı hibrit sistemler anlamına gelmektedir (3.2.3). Batarya elektrikli veya yakıt hücresel elektrikli deniz araçlarında ise, içten yanmalı motor veya gaz türbinli motor mevcut değildir. Batarya elektrikli araçlarda enerji, araç dışından şarj yolu ile platform üzerindeki bataryalarda elektrokimyasal olarak depolanır. Aşağıda, geliştirilme çalışmaları devam etmekte olan Yeni Zelanda’nın ilk batarya elektrikli feribotu resmedilmektedir (Şekil 32). 135 kişi taşıma kapasiteli, 19 metrelik araç; Xalt Energy tarafından üretilen 550 kWh’lik batarya paketi ile iki şarj arası bir saat seyir edebilmektedir. Görüldüğü üzere, bataryaların spesifik enerjisi (W/kg) ve enerji yoğunluğu (W/l) konvansiyonel yakıtı kıyasla oldukça düşüktür.



Şekil 32 Yeni Zelanda'nın İlk Batarya Elektrikli Feribotu

Yakıtın enerjisini elektrokimyasal reaksiyon sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yakıt hücresi, batarya elektrikli araçlara alternatif teşkil etmektedir. Batarya elektrikli araçlara göre en önemli avantajı, konvansiyonel bir içten yanmalı motor gibi yakıt ikmali yapılabilmesidir. Uzun şarj sürelerine ihtiyaç yoktur. Öte yandan, hidrojen yakıtın hacimsel enerji yoğunluğunun dizele göre çok düşük oluşu (sıvı H₂ için dörtte bir, 150 barda gaz H₂ için 25'te bir), saklamak için gerekli çok yüksek basınçlar ve hidrojenin yanıcılığı düşünüldüğünde; hidrojen yakıtlı araçların askerî araçlarda şu an için fizibil olmadığı düşünülmektedir (5.3.1). Aşağıda, ABB ve Ballard'ın birlikte geliştirmekte olduğu deniz tipi yakıt hücresi modülü görülmektedir (Şekil 33). 3MW'lık bu modülün, içten yanmalı motora benzer bir hacimde olması planlanmaktadır. Ancak yakıt tankının hacmi düşünüldüğünde, konvansiyonel sistemle yakıt hücreli tahrik sistemi arasında önemli boyutsal farklılık ortaya çıkacaktır.

Küresel ısınmayı 1,5 °C altında tutmak için ulaşım kaynaklı sera gazı salınımının 2050'ye kadar %80 oranında azaltılması gereklidir. Bu tip elektrikli araçlar, enerjinin rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiği durumda, çok düşük karbondioksit salınımına olanak vermektedir. Dolayısıyla elektrikli araçlar bu yolda en önemli olanak sağlayıcı olarak görülmektedir. Birçok araştırma raporunda önümüzdeki 20 yıl içerisinde, batarya-elektrikli binek otomobillerin pazar üzerinde hâkimiyet kuracağı öngörülmektedir. Örnek olarak, BloombergNEF'in raporunda 2040 yılında binek araçlar için elektrikli araçların pazar payının üçte ikiyi bulacağı öngörülmektedir (38). Aynı raporda, tam elektrikli araçların çok büyük kısmının batarya-elektrikli olmasının beklendiği; yakıt hücreli elektrikli araçların yaygın kullanıma girmesinin beklenmediği değerlendirilmiştir. Benzer bir öngörü McKinsey & Co tarafından da yapılmaktadır (39). McKinsey, 2040 yılında Avrupa'da satılan araçların %70'inin elektrikli olacağını öngörmektedir. Danimarka, Almanya, İsrail, İrlanda, Hollanda gibi ülkeler 2030 yılında; Fransa, İtalya, İngiltere 2040 yılında tüm yeni araçların sıfır-emisyonlu olmasını hedeflemektedir (39).



Şekil 33 ABB ve Ballard'ın Birlikte Geliştirmekte Olduğu Deniz-Tipi Yakıt Hücresi

Ancak deniz araçlarının kara araçlarında yaşanan bu büyük paradigma değişikliğinden sınırlı oranda etkilendiği görülmektedir. Deniz araçlarının binek otomobillerle kıyaslanamayacak kadar yüksek güç ve enerji ihtiyacı olması, bunun başlıca nedenidir. Aşağıdaki tabloda yakın zamanlı bir takım elektrikli deniz aracı projelerinden örnekler sunulmaktadır (Tablo 12). Bu uygulamalardan anlaşılacağı üzere tam elektrikli deniz araçları; kıyıya yakın sabit iki nokta arasında kısa süreli seyahatler için yapılabilir olarak değerlendirilmektedir. En yaygın uygulama şehir içi feribotlarıdır. Diğer bir uygulama kıyıya yakın hizmet veren römorkörlerdir. Türk tersanelerinde inşa edilen feribot ve römorkörler, çevre bilinci çok yüksek İskandinav ülkelerine ihraç edilmekte ve gemi inşa konusunda çok yüksek kabiliyetlere sahip bu ülkeler tarafından elektrikli tahrik sistemleri ile donatılmaktadır. Bunların yanı sıra küçük motorlu teknelerde de birçok uygulama mevcuttur. Batarya elektrikli tahrik sistemlerinin kabul görebileceği tek uygulama, sahil botları gibi daha hafif platformlar olacaktır. Ancak bu da askerî platformlarda belli niş uygulamalar hariç beklenen bir durum değildir. Sahil Güvenlik Komutanlığı da askeri yüzer unsurların, ticari deniz platformlarına kıyasla çok daha düşük hacimlerde daha yüksek güç ihtiyacı olduğunu, çevresel kısıtlamalardan da (egzoz emisyonu gibi) muaf oldukları için elektrifikasyonun ancak uzun vadede gerçekleşebileceğini belirtmektedir.

Tablo 12 Yakın Zamanlı Elektrikli Deniz Araçları - Küresel Örnekler

Platform	Tahrik sistemi
 Future of the Fjords Norveç (40)	Tür Tam elektrikli feribot Pervane 2 x 450 kW Servogear Ecoflow pervane Transmisyon Servogear HD220H Batarya 800 kWh Şarj sistemi 20-dakika
 MF Ampere (ZeroCat) Norveç (41)	Tür Tam elektrikli feribot (120 araç, 360 yolcu) Pervane 2 x 450 kW Siemens BluDrive PlusC Transmisyon Servogear HD220H Batarya 1.000 kWh (10 ton ağırlık) Şarj sistemi 10-dakika
 YARA Birkeland Norveç (42) (43)	Tür Tam elektrikli, otonom yük gemisi Pervane 2 x Elektrik motorlu azimut pervanesi Batarya 6.700 kWh Azami hız 19 km/saat Kullanım Sabit iki liman arası (Herøya – Brevik arası 7 ve Herøya – Larvik arası 30 deniz mili)
 MF Hydra Norveç (44)	Tür Tam elektrikli feribot Yakıt hücresi 2 x 200 kW Ballard FC Wave PEM yakıt hücresi Pervane POD Hidrojen tankı 4 ton kapasiteli Linde LH2 yakıt tankı Batarya 1.500 kWh Azami hız 9 knot Bilgi Dünyanın ilk sıvı hidrojen (LH2) tahrikli deniz taşımacılığı aracı
 MF Tycho Brahe Danimarka (45) (46)	Tür Tam elektrikli feribot (240 araç, 1250 yolcu) Pervane 4 x 1.5 MW Azimut pervanesi Batarya 4,160 - 6.345kWh su soğutmalı li-iyon Şarj sistemi Tam otomatik, lazer kontrollü robotik kol ile 11 MW hızla 6-9 dakikada şarj olmaktadır. Kullanım 20 dakikalık feribot seyahati
 Wärtsilä HYTug 75H Finlandiya (47) (48)	Tür Dizel elektrik hibrit römorkör İYM 2 x 1520 kW @ 1.000 d/d (W8L20) Yardımcı makine 1 x 250 kW (yüksek hızlı) Pervane 2 x WST-24 FPP Batarya 500 kWh (3C rating) Şarj sistemi 80 kWe

 CSSC Çin (49)	Tür Tam elektrikli yük gemisi Batarya 2.400 kWh Azami hız 13 km/saat Menzil 80 km Şarj süresi 2 saat Kullanım Nehir boyunca iki nokta arası kömür taşımacılığı. Şarj süresince yük boşaltılmaktadır.
 Marian M 800 Spyder Almanya (50)	Tür Tam elektrikli tekne (7,9 metre, 1,3 ton) EM 60, 100, 125, 150 kW şaft tahrikli Batarya Azami 125 kWh Azami hız 38 km/saat (60 kW), 63 km/saat (150 kW) Menzil 57 km (25 km/saat, 150 kW EM) Kullanım Lüks tekne üreticisi
 Ingenity Nautique GS22E ABD (51)	Tür Tam elektrikli tekne (multi-sport towboat) EM 150 kW Batarya 125 kWh Azami hız 50 km/saat Menzil 2-3 saat Şarj süresi 4 saat (25 kW) Kullanım Su sporları
 Alfastreet 28 (52) Slovenya	Tür Tam elektrikli tekne EM 36 kW sürekli Batarya 2 x 25 kWh Azami hız 14,5 km/saat Menzil 64 km (5 knot'un altı) Şarj süresi 2 saat
 H2 Barge 1 (53) Hollanda	Tür Yakıt hücresi şehirlerarası yük gemisi Yakıt hücresi 825 kW – 750 VDC-bus, 300 bar CGH2 Batarya 1.037 kWh li-iyon Kullanım 2023 itibarıyla dünyanın ilk yakıt hücresi yük gemisi
 Yanmar Fuel Cell Japonya (54)	Tür Hidrojen yakıt hücresi bot Yakıt hücresi 300 kW PEM Kullanım Toyota Mirai hidrojen yakıt hücresi sistemi ile teknoloji gösterimi
 Three Gorges Hydrogen Boat Çin (55)	Tür Hidrojen yakıt hücresi bot (50 metre) Güç Ünitesi 500 kW PEM Batarya 1800 kWh lityum iyon batarya Azami hız 28 km/saat Menzil 200 km Kullanım Çin Loydu tarafından onaylanan ilk hidrojen yakıtlı araçtır.

5.5 ULUSLARARASI DONANMALAR LİTERATÜR TARAMASI

5.5.1 ABD DONANMASI

5.5.1.1 Donanma Güç ve Enerji Sistemleri Teknoloji Yol Haritası (2019)

Birleşik Devletler Donanma Denizcilik Sistemleri Komutanlığı³⁸ 2019 yılında “Donanma Güç ve Enerji Sistemleri Teknoloji Yol Haritası”³⁹ raporunu yayımlamıştır (56). Raporda Amerikan Donanmasının önümüzdeki 30 sene içerisinde inşa etmeyi planladığı gemiler sınıf bazında listelenmektedir. Aşağıdaki tabloda özetlendiği üzere, donanma yılda ortalama 10 adet gemi inşa etmeyi hedeflemektedir (Tablo 13). Gemi sınıfı bazındaysa rakamlar 1-3 mertebesinde. Buradan anlaşılabileceği üzere bu rakamlar ABD Ordusu için bile ölçek ekonomisinin çok altındadır. Raporda bu açıkça ortaya konulmaktadır⁴⁰: “Donanma, küresel motor pazarına yön verecek pazarlık gücüne sahip değildir. Dolayısıyla geliştirme çalışmaları, mevcut gaz türbinleri ve dizel motorlar üzerinde sürekli iyileştirmeler üzerine odaklanmalıdır.” Sürekli iyileştirmelerden kasıt; verim, performans, idame maliyetleri ve güvenilirliği iyileştirecek bazı teknolojilerin mevcut motorlara entegre edilmesidir. Yakıt enjeksiyon sistemlerinin modernizasyonu, motorların daha yüksek sıcaklık ve basınç altında çalışabilir hale getirilmesi, daha optimize atık ısı yönetimi, ileri motor kontrol teknolojileri, otonom güç kontrolü, ileri diyagnostik çözümleri, kestirimci bakım algoritmaları, yeni termodinamik çevrimler⁴¹ bu hedeflere ulaşmaya olanak sağlayacak bazı teknolojiler olarak listelenmektedir.

Raporda ayrıca 10-15 MW güce sahip ticari bir deniz gaz türbini kullanan gaz türbinli jeneratör seti geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Bu tip bir jeneratörün platform tasarımında esneklik sağlayabileceği belirtilmektedir. Bunun yanında değişken hızlı ileri teknoloji bir jeneratörün, türbinin sürekli olarak optimum noktasında çalışmasına olanak vereceği belirtilmektedir.

Platform açısından dikkat çeken unsur ise denizaltı inşa faaliyetlerinin yoğunluğudur. Denizaltı hizmet sürelerini 33 yıldan 43'e çıkarılmasına karşın Amerikan Ordusunun denizaltı filosunu modernize etmek için hummalı bir çalışma içinde olduğu görülmektedir. Önümüzdeki 30 sene boyunca donanma modernizasyon bütçesinin yarısının denizaltı modernizasyonu için harcanacağı öngörülmektedir. Buna “Large Payload Submarine” veya SSN(X) diye adlandırılan yeni denizaltı programı da dâhildir. İlk SSN(X) denizaltının inşasına 2034 yılında başlanması planlanmaktadır (57). Virginia sınıfının yerini almakla birlikte SSN(X)'in daha büyük, daha hızlı ve daha düşük görünürlükte (stealth) olması planlanmaktadır. SSN(X)'in 9.000 tonun üzerinde bir deplasmana sahip olacağı tahmin edilmektedir (58).

³⁸ U.S. Naval Sea Systems Command

³⁹ Naval Power & Energy Systems Technology Development Roadmap

⁴⁰ “The Navy does not have sufficient buying power to drive the worldwide engine market; therefore, development is focused on incremental improvements to existing gas turbine and diesel engines.”

⁴¹ Gaz türbinleri için Humphrey/Atkinson çevrimi, dizel motorlar için Miller çevrimi

5.5.1.2 2050 yılı sıfır emisyon hedefi analiz çalışması (2022)

ABD Ordusu Donanma Araştırma Programı⁴² kapsamında ABD Donanması'nın 2050 yılına kadar sıfır emisyon hedefine ulaşabilmesi için çözüm önerilerinin irdelendiği 2022 tarihli ilgili rapor⁴³ incelenmiştir (59). Çalışmanın odağının alternatif yakıtlar olduğu görülmektedir. Raporda öncelikle ticari uygulamalarda en umut vaat eden teknoloji olan hidrojen yakıt kullanımı irdelenmektedir. Mevcutta ABD Donanması'nda hidrojen yakıt kullanımı mevcut değildir. Hidrojen ile ilintili tek platform, hidrolizle sudan oksijen elde edilmesi sırasında atık ürün olarak ortaya çıkan hidrojen salan denizaltılardır.

Tablo 13 ABD Donanması 30-yıllık Gemi İnşa Planı

30-YEAR SHIPBUILDING PLAN																																																								
FISCAL YEAR	FYDP				NEAR-TERM					MID-TERM										LONG-TERM																																				
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46																												
AIRCRAFT CARRIER					1					1					1					1					1																															
LARGE SURFACE COMBATANT	3	2	3	3	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2				
SMALL SURFACE COMBATANT	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
ATTACK SUBMARINE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
LARGE PAYLOAD SUBMARINE																		1			1			1																																
BALLISTIC MISSILE SUBMARINE			1			1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																							
AMPHIBIOUS WARFARE SHIP		1			1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1				1			1	1	1																														
COMBAT LOGISTICS FORCE	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																								
SUPPORT VESSEL	2	3	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1																																							
TOTAL NEW CONSTRUCTION PLAN	10	10	10	11	13	11	11	11	12	11	11	11	13	12	12	10	9	8	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	9																						

Hidrojen kullanımının önündeki engeller; emniyetin yanı sıra tek-yakıt politikasından sapma, ikmal alt yapı eksikliği ve yüksek maliyetler olarak listelenmektedir. Sıvı hidrojen kullanımı limanda fosil yakıtlara kıyasla 5 kat daha fazla alan gerektirmektedir (60). Raporda tüm bunlar düşünüldüğünde sivil uygulamalarda hidrojen yakıtın 2040'dan önce yaygın kullanımının beklenmediği değerlendirilmektedir.

Raporda hibrit elektrik tahrik sistemleri de önemli yer teşkil etmektedir. Bu konuda iki temel örnek; hibrit elektrik tahrik sistemi ile modernize edilen USS Truxtun ve entegre güç sistemi kullanması planlanan USS Zumwalt'tır. Hibrit elektrik sisteminde, opsiyonel olarak elektrik motoru ana tahrik motoru olarak kullanılmaktadır. Batarya depolama sistemleri ile birlikte daha yüksek performans ve verim mümkün kılınmaktadır. USS Truxtun'un hibrit tahrik sistemi L3 Technologies tarafından geliştirilmiştir.

⁴² Naval Research Program

⁴³ Analysis of Pathways to Reach Net Zero Naval Operations by 2050 (54)

Gemi, 13 knot'a kadar (24 km/saat) elektrik motoru ile tahrik edilebilmekte, daha yüksek hızlarda gaz türbini devreye girmektedir. Ancak, raporda belirtilmemesine karşın bu sistem ile ilgili çok ciddi problemler yaşandığı kamuya yansımıştır. ABD Hükümeti Hesap Verebilirlik Dairesi⁴⁴ (GAO) bu konuda bir soruşturma yürütmektedir (61). ABD Ordusu bu proje için 2011 yılından bu yana 100 milyon dolardan fazla para harcamıştır. Bu bütçe ile sistemin geliştirilmesi ve 6 geminin modernizasyonu planlanmıştır. 2018 yılında sistem ilk gemiye entegre edilmiştir. Ancak diğer 5 geminin modernizasyonu iptal edilmiş ve sistemler depoya kaldırılmıştır. Çalışmalar başarılı olsaydı, 34 adet geminin hibritleştirilmesi planlamaktaydı.



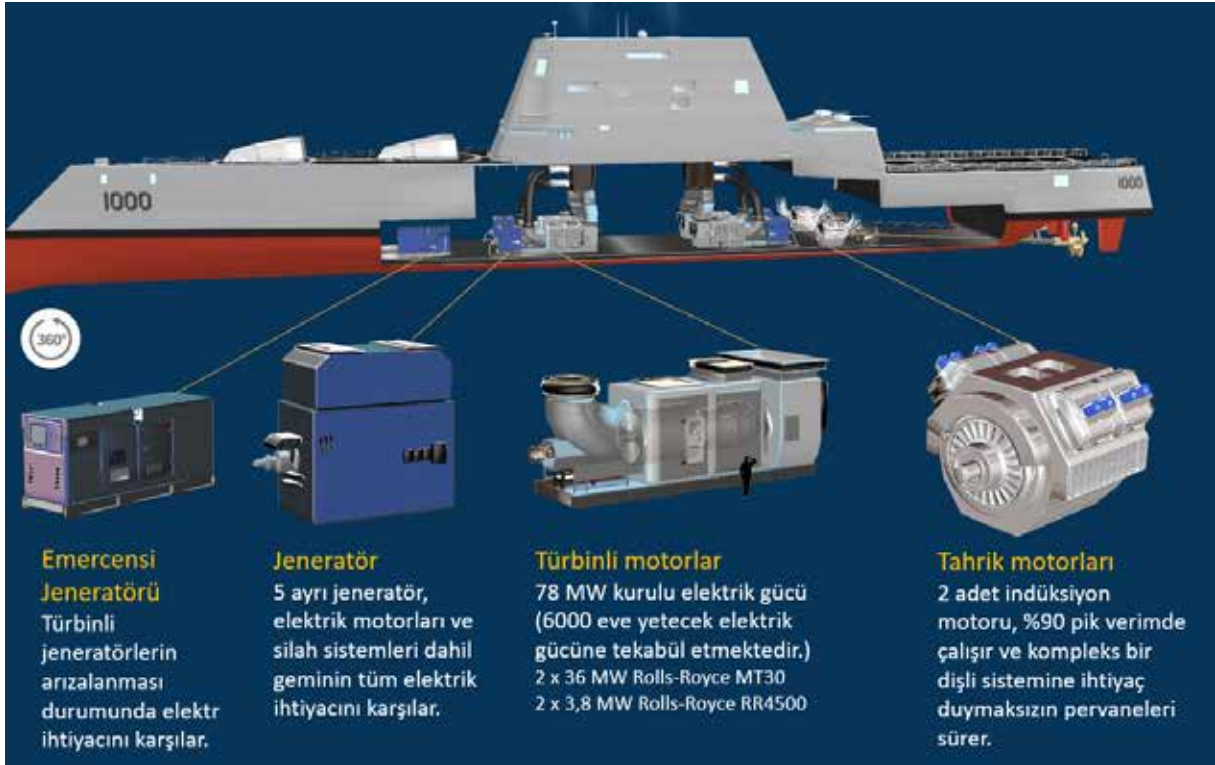
Şekil 34 Hibritleştirme Çalışmaları Başarısızlıkla Sonuçlanan USS Truxtun

USS Zumwalt Sınıfı muhripler, USS Truxtun'tan farklı olarak entegre tam elektrik tahrik sistemi (IFEP) kullanılarak sıfırdan geliştirmiştir. DDG 1000 Zumwalt-sınıfı muhrip, ABD Donanması'nın en ileri muhribi ve entegre tam elektrik tahrik sistemine (IFEP) sahip ilk gemisidir (Şekil 36). Geminin toplam 78 MW'lık kurulu elektrik gücü mevcuttur. Gemide iki adet 36 MW'lık Rolls-Royce MT30 ve iki adet 4 MW'lık MT5S gaz türbini bulunmaktadır. Zumwalt tahrik sisteminde de bir takım güvenilirlik problemleri yaşandığı bilinmektedir. Diğer sistemlerin de teknolojik olgunluğu ve çok yüksek maliyet, düşünüldüğünde başlangıçta 32 adet tedarik edilmesi planlanan gemiden sadece 3 adet tedarik edilmesi planlanmaktadır (58).



Şekil 35 DDG1000 Zumwalt Sınıfı Muhrip

⁴⁴ U.S. Government Accountability Office (GAO)



Şekil 36 DDG1000 Zumwalt Sınıfı Muhrip Tahrik Sistemi

5.5.1.3 Fosil yakıt tüketiminin düşürülmesi (2021)

ABD Donanma Araştırma Programı kapsamında ABD Donanması'nın fosil yakıt tüketiminin düşürülmesi için çözüm önerilerinin irdelendiği 2021 tarihli ilgili rapor⁴⁵ incelenmiştir (62). Çalışmanın odağının alternatif yakıtlar olduğu görülmektedir. Raporda, Donanmanın tahrik sistemleri konusunda oldukça muhafazakâr davrandığı belirtilmektedir. Buhar türbinli sistemlerden gaz türbinli sistemlere geçişin neredeyse 40 yıl sürmüş olması buna örnek olarak gösterilmektedir.

Raporda biyoyakıtlara geniş yer verilmektedir. Biyoyakıtın kabul görebilmesi için "drop-in" olması gerektiği vurgulanmaktadır. Yani sistem üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan dizel yakıt tankına doldurulabilmeli ve dizele benzer şekilde yanabilmelidir. Diğer öneri, Donanmanın nükleer tahrik sistemi kullanımını maksimize etmesidir. Son olarak yakıt tüketimini düşürücü ticari uygulamaların yakından takip edilmesi ve mevcut motorların bu teknolojilerle modernize edilmesi tavsiye edilmektedir.

5.5.1.4 Tek yakıt politikasının dizel motorlara etkisi

Eski tarihli bir rapor olmasına karşın ABD Donanması "Naval Surface Warfare Center" tarafından yayımlanan rapor⁴⁶ Donanmanın güç ihtiyacını göstermesi açısından önemlidir. ABD Donanması, 2007 yılı itibarıyla 69 ayrı model, toplam 3.677 adet dizel motora sahiptir. Burada ABD Ordusu için bile donanma ihtiyacının ticari ölçeğin çok altında kaldığı açıkça görünmektedir. Bu rakamlar tüm deniz araçlarını kapsamaktadır.

⁴⁵ Reducing Naval Fossil Fuel Consumption at Sea in the 21st Century (57)

⁴⁶ Single Naval Fuel At-Sea Diesel Engine Impact Study (93)

Tablo 14 ABD Donanması Dizel Motor Envanteri (2007)

OEM	Motor Sayısı	Model Sayısı	Güç (kW)
ALCO ⁴⁷	26	1	2.000
Caterpillar	293	8	800, 2560
Colt-Pielstick	96	1	6.250
Cummins	734	8	
Detroit Diesel	1559	26	300 - 1.000
Electro Motive Division	47	4	1.500, 2.000
Fairbanks Morse ⁴⁸	188	9	314, 880, 1.470
Gray Marine	20	1	165
Isotta-Fraschini	144	2	440, 590
Iveco	1	1	240
MTU	40	1	1.680 ⁴⁹
Northern Light	20	1	20
Onan	64	1	9 - 20
Paxman	52	1	2.463
Volvo Penta	346	2	121, 147
Waukesha	14	1	440
Westerberke	13	1	18
Yanmar	40	1	320
Toplam	3697	69	

5.5.2 HİNDİSTAN DENİZ KUVVETLERİ

2015 yılında Hindistan Deniz Kuvvetleri (HDK) tarafından “Hindistan Deniz Kuvvetleri Yerlileştirme Planı (2015-2030)” yayımlanmıştır (63). Tahrik sistemleri, Hint Donanması’nın gelişime açık yönlerinden biri olarak raporda önemli rol tutmaktadır. 2015 yılı itibarıyla gaz türbinli motorlar başta olmak üzere tahrik sistemleri konusunda istenen mesafenin kat edilemediği raporda açıkça belirtilmektedir. Sadece buhar türbinleri ve küçük dizel motorlarda belli oranda yerleşmenin gerçekleştiği belirtilmektedir. Raporda dizel motor imalatçısı olarak Kirloskar Oil Engines Limited’in adı anılmaktadır. 2023 yılı itibarıyla Kirloskar’ın ürün kataloğu incelendiğinde, donanmanın ihtiyaçlarını karşılamaktan çok uzak olduğu görülmektedir.

Hindistan Ordusu’nun, asıl ağırlığı gaz türbinli motorlara verdiği görülmektedir. Hindistan on yıllar boyunca LCA⁵⁰ programında kullanılmak üzere kendi yerli ve millî çözümü Kaveri motorları üzerine çalışmıştır. Projeyi üstlenen GTRE⁵¹ 1982 yılından itibaren muharip uçak havacılık motorları üzerine çalışmalara başlamıştır. Muharip uçak motoru çalışmaları, yerli ve millî savaş uçağı projesi “Light Combat Aircraft (LCA)” ile neredeyse eş zamanlı başlatılmıştır. Kaveri motor projesi için resmi

⁴⁷ Fairbank Morse tarafından satın alınmıştır.

⁴⁸ Fairbank Morse, M.A.N lisansı ile ABD Donanması için motor üretmektedir. 764 kW’tan 19,2 MW’a kadar geniş bir portföye sahiptir.

⁴⁹ 12V-396 TE94

⁵⁰ Light Combat Aircraft

⁵¹ Gas Turbine Research Establishment

onay 1989 yılında alınmıştır. 1995 yılında “full engine demonstration” yapılmasına karşın ilk yüksek irtifa testleri, planlanandan 15 sene sonra 2006 yılında gerçekleştirilebilmiştir. Dolayısıyla 2003 yılında Tejas diye adlandırılan Light Combat Aircraft’da Kaveri yerine GE F404 ve F414 motorları kullanılmıştır. 2010’lara doğru ise bu motorun deniz türevi Kaveri Marine Gas Turbine üzerine çalışmalar başlamıştır (64). Ancak 12 MW’lık bu motor da henüz testleri tamamlayamamıştır. Görüldüğü üzere aradan geçen 40 seneye karşın envantere girebilmiş bir Kaveri motor mevcut değildir (65). Tüm bu başarısızlıklara karşın türbinli motorlar üzerine çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 37 Kaveri Marine Gas Turbine

Yerli ve millî türbin geliştirme çalışmalarında yaşanan sıkıntılar, Hindistan’ı eş zamanlı olarak lisanslı imalata yönlendirmiştir. Bu kapsamda GE lisansı altında LM2500 motorların yerli üretimine başlanmıştır. Montaj, test ve bakım ile başlayan işbirliği; kademeli olarak yerlilik oranının artırılması ile devam edecektir. Dişli kutuları için de lisanslı imalat yolunun izlendiği görülmektedir. Hintli dişli imalatçısı Elecon, bu amaçla İsviçreli MAAG ve Alman Renk ile ortak girişimler kurmuştur. Ancak raporda 1-50 MW aralığındaki tahrik sistemleri için yerlilik oranının önemli oranda artırılması gerektiği belirtilmektedir.

Hint Ordusu’nun da yardımcı makineleri yerli ve millî tahrik sistemleri geliştirilmesi yolunda önemli bir basamak olarak değerlendirdiği görünmektedir. Raporda, 1-3 MW aralığında yardımcı makine olarak görev yapacak dizel motor ve gaz türbinleri hedef olarak konulmuştur. Ancak burada da lisanslama yolunun tercih edildiği görülmektedir. 4MW kategorisinde LM500 motorları için 2023 yılında GE ile işbirliği anlaşması imzalandığı görülmektedir (66). Diğer bir değerlendirme ise tahrik sistemi entegrasyon mühendisliği kabiliyetlerinin kazanılmasıdır. Bu konuda know-how’ın ülkede mevcut olmadığı ve geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

5.6 GENEL DEĞERLENDİRME – TREND ARAŞTIRMASI

Yerli ve millî türbin geliştirme çalışmalarında yaşanan sıkıntılar, Hindistan'ı eş zamanlı olarak lisanslı imalata yönlendirmiştir. Bu kapsamda GE lisansı altında LM2500 motorların yerli üretimine başlanmıştır. Montaj, test ve bakım ile başlayan işbirliği; kademeli olarak yerlilik oranının artırılması ile devam edecektir. Dişli kutuları için de lisanslı imalat yolunun izlendiği görülmektedir. Hintli dişli imalatçısı Elecon, bu amaçla İsviçreli MAAG ve Alman Renk ile ortak girişimler kurmuştur. Ancak raporda 1-50 MW aralığındaki tahrik sistemleri için yerlilik oranının önemli oranda artırılması gerektiği belirtilmektedir.

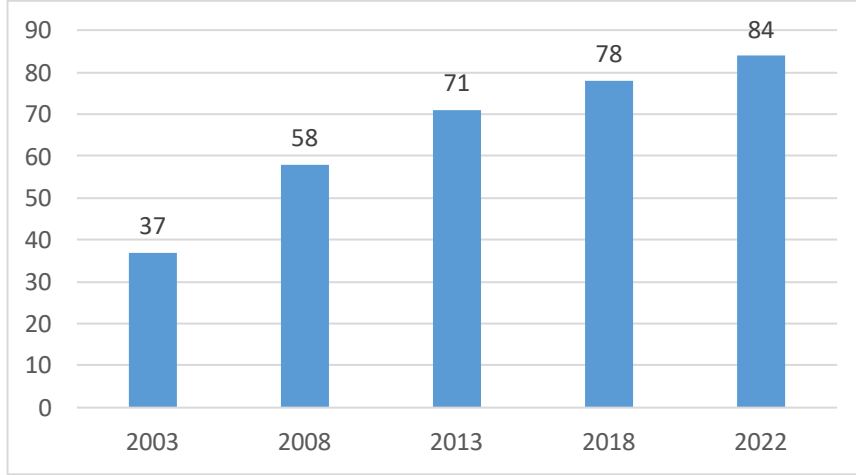
Hint Ordusu'nun da yardımcı makineleri yerli ve millî tahrik sistemleri geliştirilmesi yolunda önemli bir basamak olarak değerlendirdiği görünmektedir. Raporda, 1-3 MW aralığında yardımcı makine olarak görev yapacak dizel motor ve gaz türbinleri hedef olarak konulmuştur. Ancak burada da lisanslama yolunun tercih edildiği görülmektedir. 4MW kategorisinde LM500 motorları için 2023 yılında GE ile işbirliği anlaşması imzalandığı görülmektedir (66). Diğer bir değerlendirme ise tahrik sistemi entegrasyon mühendisliği kabiliyetlerinin kazanılmasıdır. Bu konuda know-how'ın ülkede mevcut olmadığı ve geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

6 TÜRKİYE GEMİ İNŞA SANAYİ

6.1 TÜRKİYE TERSANELERİ MEVCUT DURUM

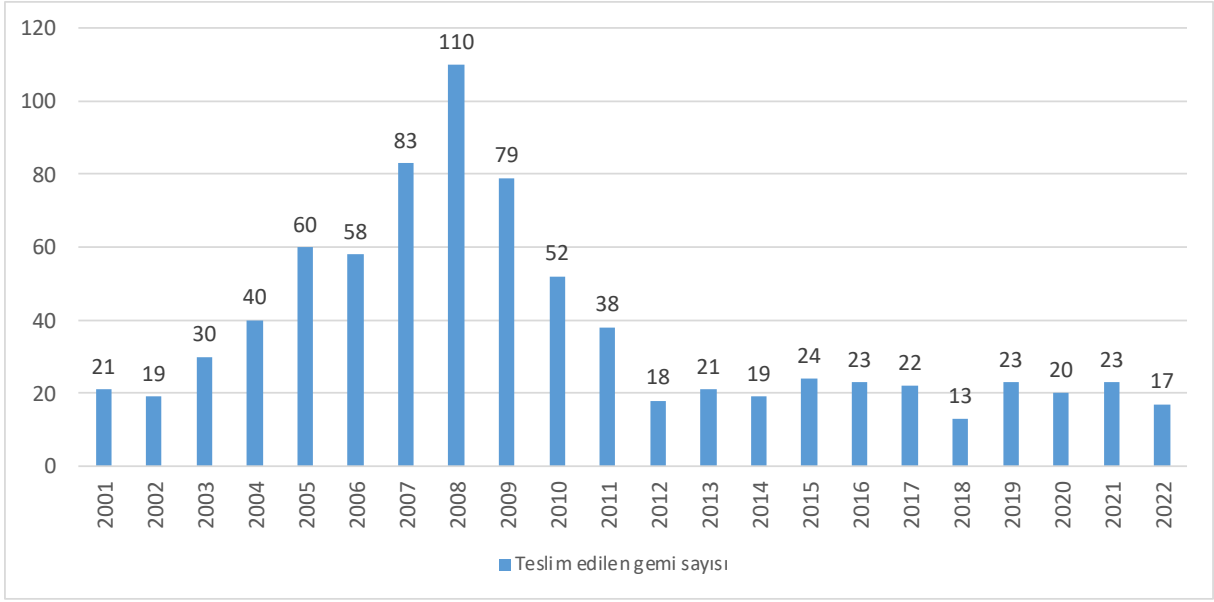
Deniz Ticaret Odası tarafından yayımlanan Denizcilik Sektör Raporları verilerine göre 2002 yılında 37 adet olan faal tersane sayısı, 2008’de 58’e, 2022’de 84’e ulaşmıştır (68). Ayrıca 10 adet tersane yatırım aşamasında ve 15 alan da tersane alanı olarak belirlenmiş durumdadır. İstihdama büyük katkı sağlayan gemi-yat inşa ve gemi yan sanayimizde istihdam edilen çalışan sayısı 2010 yılında 37.479 kişi iken ekonomik krizden dolayı yaşanan sipariş iptallerine rağmen 2013 yılında 39.847’ye ve kriz sonrası kısmi toparlanmanın ardından 2017 yılı itibarıyla 46.690 kişiye yükselmiştir. Bu sayı 2018’de 53.158, 2019’da 66.696, 2020’de 76.319 olmuş; 2022 yılı itibarıyla da 87.595’e ulaşmıştır. (68)

Tersanelerimiz, 2008 küresel ekonomik krize kadar süreçte başta kimyasal tanker siparişleri olmak üzere dünya dördüncülüğüne kadar yükselmiştir. Ancak krizden sonra yaşanan sipariş düşüşü hiçbir zaman tam anlamıyla atlatılamamıştır. Aşağıdaki iki grafik bu durumu özetlemektedir (Şekil 39) (Şekil 40). 2008 yılında adet olarak 110 gemi, tonaj olarak 963.000 DWT seviyesine ulaşan Türk Gemi İnşa Sanayi kriz sonrası hızla küçülmüştür. Türkiye tersaneleri 2002-2008 yılları arasında ürettiği gemilerin çoğunu ihracat amaçlı inşa etmiş ve bu gemilerin tamamına yakını Avrupa Birliği ülkelerine ihraç edilmiştir. Özellikle küçük tonajlı kimyasal tanker üretiminde Türkiye o yıllarda bir marka haline gelmiştir. Bunun sonucu olarak da 2008 yılında gemi, yat ve yan sanayi ihracatının büyüklüğü 2,6 milyar ABD doları düzeyine yükselmiştir. 2022 yılı itibarıyla, üretilen gemi adet olarak 17, tonaj olarak 56 bin DWT seviyelerindedir. Küresel Pazar payı ise 2008’deki %2,1 seviyesinden %1’in altına düşmüştür (69).



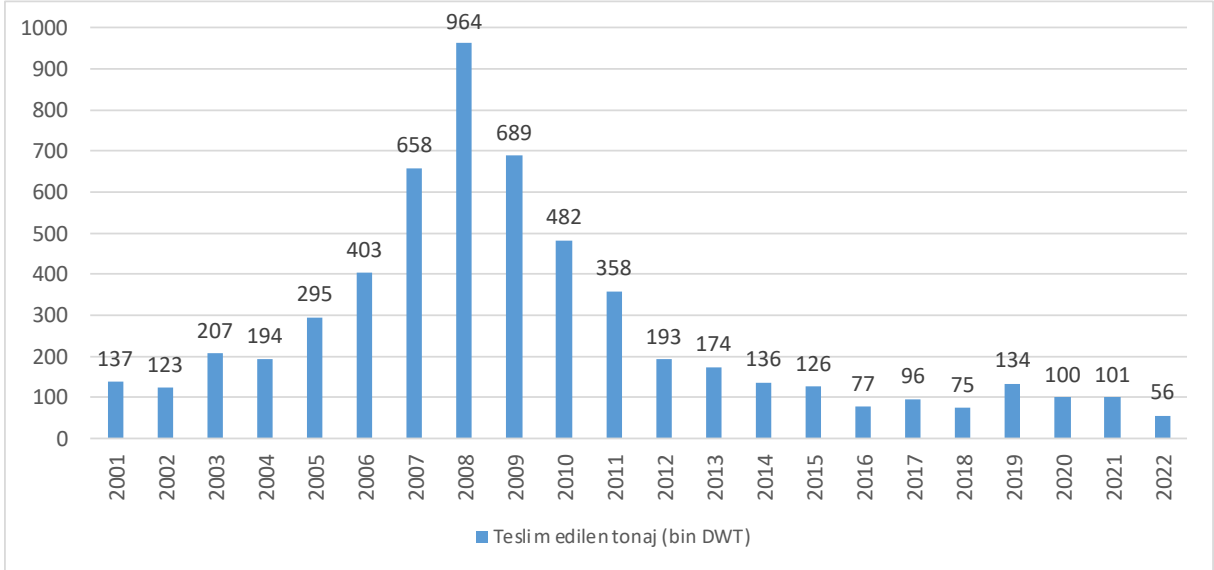
Şekil 38 Türkiye Faal Tersane Sayıları (2003 – 2022)

Türkiye’de faal durumda bulunan tersanelerin bir kısmı, tevsi ve modernizasyon çalışmalarını halen sürdürüyorlarsa da küresel ekonomik kriz sonrası bankaların tersanelere olumsuz yaklaşımları, tersanelerin tevsi ve modernizasyon projelerini askıya alma sürecini başlatmış, bir kısım yatırımların ise ertelenmesine neden olmuştur. Gemi inşa siparişleri almakta oldukça zorluk çeken sektör, bu durumda bakım, onarım ve gemi söküm faaliyetlerine yönelmiştir. Türkiye; gemi söküm sektöründe Bangladeş, Hindistan, Pakistan ve Çin’den sonra 5. sıradadır.



Şekil 39 2011-2022 Yılları Arası Teslim Edilen Gemi Sayısı (Adet)

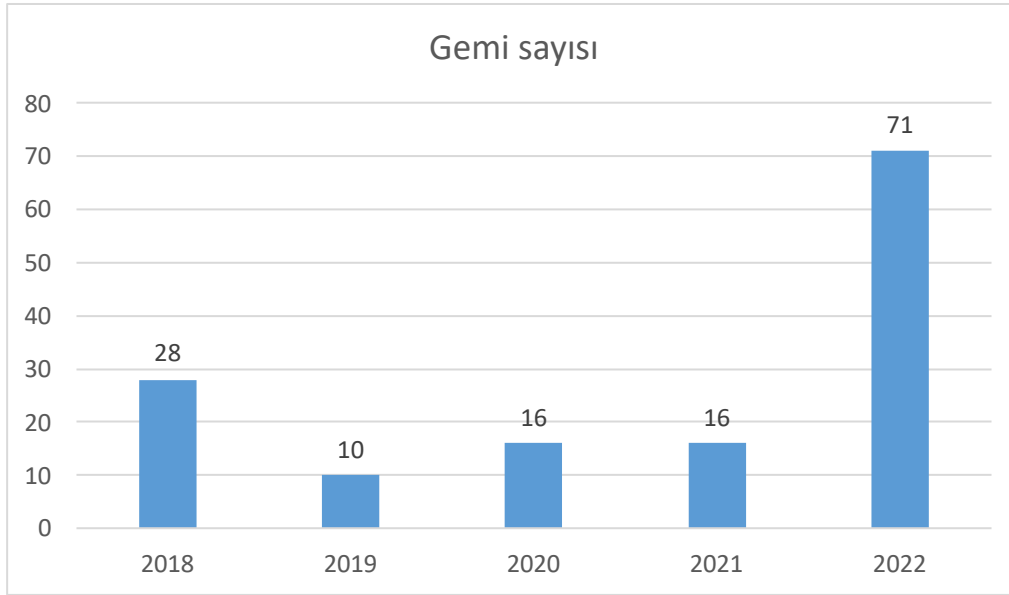
Buna karşın yat pazarında Türkiye önemli bir aktör haline gelmiştir. 2019 itibarıyla Türkiye; sipariş sayısına göre İtalya, Hollanda ve Birleşik Krallık'tan sonra dördüncü sırada gelmektedir (69).



Şekil 40 2011-2022 Yılları Arasında Teslim Edilen Gemi Tonajı (bin DWT)

6.2 ASKERÎ VE SAHİL GÜVENLİK DENİZ ARAÇLARI PROJELERİ

Türk Loydu, Türkiye'nin ulusal tek klas kuruluşudur ve askeri deniz araçları, yolcu tekneleri ve römorkörler yeni inşa klaslamasında önemli tecrübeye sahiptir. Türk Loydu'nun çalışma raporları da - ticari dâhil - sektörün büyüklüğünü belirlemek için önemlidir (70) (71) (72) (73) (74). Son 5 sene içerisinde Türk Loydu tarafından klaslama hizmetleri tamamlanan gemi sayısı aşağıdaki grafikte özetlenmektedir (Şekil 41).



Şekil 41 Türk Loydu Tarafından Klaslama Hizmetleri Tamamlanan Gemi Sayısı

2022 yılında toplam 75 geminin klaslama hizmetleri tamamlanmıştır ve tüm projelerin toplam gros tonajı yaklaşık 61.000 GT'dir. Bu 75 deniz aracının, tip/adetlerine göre dağılımları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 15).

Tablo 15 2022 Yılında Klaslanan Deniz Araçlarının Tip ve Adetleri

Tip	Adet
Devriye Botu	54
Askeri gemi	13
Yat	3
Yolcu gemisi	3
Ürün tanker	1
Pontoon gemisi	1

Her yıl klaslanan deniz aracı sayısı otuzun altındadır. 2022 itibarıyla 28 yeni geminin sözleşmesi imzalanmıştır. 2022 yılının bu denli pozitif ayrışmasının başlıca nedeni devriye botlarıdır. Sahil Güvenlik Komutanlığı, K.K.T.C. Sahil Güvenlik Komutanlığı, Emniyet Genel Müdürlüğü ve Gümrükler Muhafaza Genel Müdürlüğü için inşa eden ve Klaslama hizmetleri Türk Loydu tarafından gerçekleştirilen 188 adetlik ARES 35 FPB⁵² süratli devriye botu siparişinin; 52 adeti 2022 yılı içinde, 62 adeti ise 2023 yılı içinde ARES Tersanesi tarafından teslim edilmiştir.

⁵² Fast Patrol Boat



Şekil 42 ARES 35 FPB Süratli Devriye Botu

Türk Loydu ilk askeri gemisi TCG Yarbay Kudret Güngör'ü 1993 yılında klaslamıştır. Türk Loydu tarafından son 30 yıl içinde klaslanan askerî gemi sayısı ise 300'e yakındır (70). Son 5 sene içerisinde Türk Loydu tarafından klaslama hizmetleri tamamlanan askeri gemi, devriye botu sayısı aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 16). Görüldüğü üzere, adetler ölçek ekonomisi oluşturmaktan çok uzaktır.

Tablo 16 Türk Loydu Tarafından Klaslanan Askerî ve Güvenlik Gemileri Sayısı

2018	4
2019	0
2020	3
2021	3
2022	13 + 53

Yakın zamanlı inşa edilen askerî ve sahil güvenlik gemileri listelenmektedir (75). Tablodan görüleceği üzere gemi sayısının düşük olması yanında, motor çeşitliliği de fazladır. Bu durum ölçek ekonomisine ulaşmayı daha da zor hale getirmektedir.

Tablo 17 Askerî ve Sahil Güvenlik Gemileri

	LHD Landing Helicopter Dock Çok Maksatlı Amfibi Hücüm Gemisi Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: Pervane: TCG Anadolu 230,8 x 32 x 27,5 27.408 ton 5 x 7.600 kW D/G 2 x 11 MW POD
	DİMDEĞ Denizde İkmal Muharebe Destek Gemisi Boyutları: Deplasman: Ana makine: 230,8 x 32 x 27,5 m 27.408 ton 5 x 7.600 kW D/G
	Katar Dz.K.K.lığı Eğitim Gemisi Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: Katar DzK Eğitim Gemisi 89,6 x 14,1 x 6,8 m 2.033 ton 2 x 5.000 kW
	LST Landing Ship, Tank Amfibi Tank Çıkarma Gemisi Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: TCG Bayraktar, Sancaktar 138,8 x 19,6 x 12,5 m 7.254 ton 4 x 2.880 kW
	KURYED Kurtarma ve Yedekleme Gemisi Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: TCG Akın, Işın 68,2 x 14,2 x 6,5 m 2.400 ton 5 x 3.536 kW
	MOSHIP Submarine Rescue Mother Ship Denizaltı Kurtarma Ana gemisi Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: TCG Alemdar 90,8 x 19 x 7,8 m 4.200 ton 4 x 3.430 kW
	HMB Hızlı Müdahale Botu Boyutları: Ana makine: 33,1 x 7,1 x 1,5 m 2 x 3.440 kW
	YTKB Yeni Tip Karakol Botu Örnek: Boyutları: Deplasman: Ana makine: YTKB 1-16 56,9 x 8,9 x 5,2 m 377 ton 2 x 2.720 kW

	LCT Landing Craft Tank Süratli Amfibi Gemisi <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>TCG Ç151, Ç158</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>79,9 x 11,7 x 5,2 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>1.156 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 2.320 kW</td></tr> </table>	Örnek:	TCG Ç151, Ç158	Boyutları:	79,9 x 11,7 x 5,2 m	Deplasman:	1.156 ton	Ana makine:	2 x 2.320 kW
Örnek:	TCG Ç151, Ç158								
Boyutları:	79,9 x 11,7 x 5,2 m								
Deplasman:	1.156 ton								
Ana makine:	2 x 2.320 kW								
	Test ve Eğitim Gemisi <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>TCG Ufuk</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>99,6 x 12,8 x 4 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>2.498 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>4.300 kW</td></tr> </table>	Örnek:	TCG Ufuk	Boyutları:	99,6 x 12,8 x 4 m	Deplasman:	2.498 ton	Ana makine:	4.300 kW
Örnek:	TCG Ufuk								
Boyutları:	99,6 x 12,8 x 4 m								
Deplasman:	2.498 ton								
Ana makine:	4.300 kW								
	LCM Landing Craft Mechanized Mekanize Çıkarma Gemisi <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>LCM 1-4</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>25,9 x 6,9 x 2,9 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>139 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 1.850 kW</td></tr> </table>	Örnek:	LCM 1-4	Boyutları:	25,9 x 6,9 x 2,9 m	Deplasman:	139 ton	Ana makine:	2 x 1.850 kW
Örnek:	LCM 1-4								
Boyutları:	25,9 x 6,9 x 2,9 m								
Deplasman:	139 ton								
Ana makine:	2 x 1.850 kW								
	LDG Lojistik Destek Gemisi <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>TCG Yzb. Güngör Durmuş</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>105,4 x 16,8 x 8,4 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>6.200 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 1.520 kW</td></tr> </table>	Örnek:	TCG Yzb. Güngör Durmuş	Boyutları:	105,4 x 16,8 x 8,4 m	Deplasman:	6.200 ton	Ana makine:	2 x 1.520 kW
Örnek:	TCG Yzb. Güngör Durmuş								
Boyutları:	105,4 x 16,8 x 8,4 m								
Deplasman:	6.200 ton								
Ana makine:	2 x 1.520 kW								
	Hercules 110 Yüksek Hızlı Devriye Botu <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>QC 806-815</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>33 x 7,5 x 1,5 m</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>3 x 1.220 kW</td></tr> </table>	Örnek:	QC 806-815	Boyutları:	33 x 7,5 x 1,5 m	Ana makine:	3 x 1.220 kW		
Örnek:	QC 806-815								
Boyutları:	33 x 7,5 x 1,5 m								
Ana makine:	3 x 1.220 kW								
	ACMB Acil Müdahale ve Dalış Eğitim Botu <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>ACMB Dalgıç 1-2</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>35,7 x 8 x 4 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>254 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 1.140 kW</td></tr> </table>	Örnek:	ACMB Dalgıç 1-2	Boyutları:	35,7 x 8 x 4 m	Deplasman:	254 ton	Ana makine:	2 x 1.140 kW
Örnek:	ACMB Dalgıç 1-2								
Boyutları:	35,7 x 8 x 4 m								
Deplasman:	254 ton								
Ana makine:	2 x 1.140 kW								
	DAYH Denizaltı Askeri Yüzer Havuz <table border="1"> <tr> <td>Örnek:</td><td>DAYH</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>105 x 25,1 x 19,9 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>3.000 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>4 x 750 kW</td></tr> </table>	Örnek:	DAYH	Boyutları:	105 x 25,1 x 19,9 m	Deplasman:	3.000 ton	Ana makine:	4 x 750 kW
Örnek:	DAYH								
Boyutları:	105 x 25,1 x 19,9 m								
Deplasman:	3.000 ton								
Ana makine:	4 x 750 kW								

	<table> <tr> <th colspan="2">AYH Askeri Yüzer Havuz</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>Y-137</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>175,6 x 43,5 x 3,4 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>20.028 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>1 x 2,128 kW</td></tr> </table>	AYH Askeri Yüzer Havuz		Örnek:	Y-137	Boyutları:	175,6 x 43,5 x 3,4 m	Deplasman:	20.028 ton	Ana makine:	1 x 2,128 kW
AYH Askeri Yüzer Havuz											
Örnek:	Y-137										
Boyutları:	175,6 x 43,5 x 3,4 m										
Deplasman:	20.028 ton										
Ana makine:	1 x 2,128 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">Hercules 75 Yüksek Hızlı Devriye Botu</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>QC 710-714</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>23,2 x 5,7 x 1,2 m</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 1.220 kW</td></tr> </table>	Hercules 75 Yüksek Hızlı Devriye Botu		Örnek:	QC 710-714	Boyutları:	23,2 x 5,7 x 1,2 m	Ana makine:	2 x 1.220 kW		
Hercules 75 Yüksek Hızlı Devriye Botu											
Örnek:	QC 710-714										
Boyutları:	23,2 x 5,7 x 1,2 m										
Ana makine:	2 x 1.220 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">LCVP Landing craft, vehicle, personnel Araç ve Personel Çıkarma Gemisi</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>LCVP</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>15,7 x 4,3 x 1,1 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>25,6 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 515 kW</td></tr> </table>	LCVP Landing craft, vehicle, personnel Araç ve Personel Çıkarma Gemisi		Örnek:	LCVP	Boyutları:	15,7 x 4,3 x 1,1 m	Deplasman:	25,6 ton	Ana makine:	2 x 515 kW
LCVP Landing craft, vehicle, personnel Araç ve Personel Çıkarma Gemisi											
Örnek:	LCVP										
Boyutları:	15,7 x 4,3 x 1,1 m										
Deplasman:	25,6 ton										
Ana makine:	2 x 515 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">SAGET T.C. Sahil Güvenlik Devriye Botu</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>SAGET 26-35</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>12,9 x 4 x 1 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>14 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 426 kW</td></tr> </table>	SAGET T.C. Sahil Güvenlik Devriye Botu		Örnek:	SAGET 26-35	Boyutları:	12,9 x 4 x 1 m	Deplasman:	14 ton	Ana makine:	2 x 426 kW
SAGET T.C. Sahil Güvenlik Devriye Botu											
Örnek:	SAGET 26-35										
Boyutları:	12,9 x 4 x 1 m										
Deplasman:	14 ton										
Ana makine:	2 x 426 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">Devriye Gemisi</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>KKTC Devriye Gemisi</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>13,0 x 3,8 x 1,0 m</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 460 kW</td></tr> </table>	Devriye Gemisi		Örnek:	KKTC Devriye Gemisi	Boyutları:	13,0 x 3,8 x 1,0 m	Ana makine:	2 x 460 kW		
Devriye Gemisi											
Örnek:	KKTC Devriye Gemisi										
Boyutları:	13,0 x 3,8 x 1,0 m										
Ana makine:	2 x 460 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">T.C Sahil Güvenlik Kontrol Botu Kontrol Botu</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>S.G. Kontrol Botu</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>12 x 3,7 x 0,8 m</td></tr> <tr> <td>Deplasman:</td><td>12,85 ton</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>2 x 330 kW (Volvo Penta D8)</td></tr> </table>	T.C Sahil Güvenlik Kontrol Botu Kontrol Botu		Örnek:	S.G. Kontrol Botu	Boyutları:	12 x 3,7 x 0,8 m	Deplasman:	12,85 ton	Ana makine:	2 x 330 kW (Volvo Penta D8)
T.C Sahil Güvenlik Kontrol Botu Kontrol Botu											
Örnek:	S.G. Kontrol Botu										
Boyutları:	12 x 3,7 x 0,8 m										
Deplasman:	12,85 ton										
Ana makine:	2 x 330 kW (Volvo Penta D8)										
	<table> <tr> <th colspan="2">SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>ULAQ</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>11 m (boy)</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>350 kW</td></tr> </table>	SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı		Örnek:	ULAQ	Boyutları:	11 m (boy)	Ana makine:	350 kW		
SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı											
Örnek:	ULAQ										
Boyutları:	11 m (boy)										
Ana makine:	350 kW										
	<table> <tr> <th colspan="2">SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı</th></tr> <tr> <td>Örnek:</td><td>Salvo</td></tr> <tr> <td>Boyutları:</td><td>14,8 x 3,8 m (boy, en)</td></tr> <tr> <td>Ana makine:</td><td>350 kW</td></tr> </table>	SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı		Örnek:	Salvo	Boyutları:	14,8 x 3,8 m (boy, en)	Ana makine:	350 kW		
SiDA Silahlı İnsansız Deniz Aracı											
Örnek:	Salvo										
Boyutları:	14,8 x 3,8 m (boy, en)										
Ana makine:	350 kW										

6.3 SAHİL GÜVELİK KOMUTANLIĞI ENVANTERİ

Sahil Güvenlik Komutanlığı (Sahil G.K.lığı) envanterinde hâlihazırda 326 adet yüksek devirli dizel motorlu ana tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Adetlerin güç grubuna dağılımı aşağıdaki tabloda özetlenmektedir

Tablo 18 Sahil G.K.lığı Envanterindeki Motorların Kırılımı

Güç aralığı		Yüzde
< 735 kW	< 1.000 BG	%56
735 – 1470 kW	1.000 – 2.000 BG	%21
1.470 – 2.940 kW	2.000 – 4.000 BG	%23

Sahil Güvenlik Komutanlığı (Sahil G.K.lığı) envanterinde hâlihazırda 326 adet yüksek devirli dizel motorlu ana tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Adetlerin güç grubuna dağılımı aşağıdaki tabloda özetlenmektedir

6.4 MİLGEM PROJESİ

MİLGEM projesi ile Türkiye, ilk defa korvet tipi bir askerî geminin tasarımını millî olarak gerçekleştirmiştir. Böylelikle gemi tasarımı, tekne inşası ile sistem entegrasyonunda dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmiştir. Askerî tersaneler ile özel sektördeki gemi tasarım, inşaa imkânları ve kabiliyetlerinin entegrasyonu suretiyle, özel sektörün harp gemisi inşası alanında gerekli bilgi birikimi, tecrübe ve altyapı ile donatılması sağlanmıştır. Projede geçen yıllar içerisinde yerlilik oranı %70 seviyesine kadar getirilmiş olup tüm proje kapsamında 50'den fazla yerli firmaya iş imkânı sağlanmıştır.



Şekil 43 Pakistan'a İhraç Edilen MİLGEM

MİLGEM'lerin ilki TCG-Heybeliada 2011 yılında, TCG-Büyükada 2013 yılında, TCG-Burgazada 2018 yılında ve TCG-Kınalıada 2019 yılında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı hizmetine alınmıştır. 5. Gemi TCG-İstanbul'un 2023 yılı içerisinde hizmete alınması hedeflenmektedir. MİLGEM İstif Sınıfı Fırkateynlerin 6., 7. ve 8. fırkateynleri olan devam niteliğindeki platformlara yönelik ihaleler sonuçlanmıştır ve üç geminin aynı anda inşası planlanmaktadır. MİLGEM'lerin ana tahrik sistemi aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 19).

Tablo 19 MİLGEM Ana Tahrik Sistemi

	MİLGEM	
	Millî Gemi Ada Sınıfı Korvet	
Örnek:	MİLGEM 1-8	
Boyutları (m):	99,6 x 14,4 x 3,8	
Deplasman (ton):	2.300	
Ana makine:	2 x 4,320 kW Dizel motor 1 x Gaz türbini 2 x CPP	



Şekil 44 MİLGEM ATS Dizel Seti (2xMTU 16V 595 TE 90) (76)

6.5 YENİ TİP DENİZALTI PROJESİ

TSK envanterindeki tüm denizaltılarda Alman MTU dizel motorlar kullanılmaktadır (Tablo 20).

Tablo 20 Denizaltı Envanteri ve Kullanılan Dizel Motorlar

Sınıf	Adet	Motor	Toplam Güç
Ay Sınıfı Tip 209/1200	4 ⁵³	MTU 12V 493 ⁵⁴ AZ80	4 x 550 kW
Preveze Sınıfı Tip 209/1400	4	MTU 12V 396 SB84	4 x 640 kW
Gür Sınıfı Tip 209/1400 Mod	4	MTU 12V 396 SB84	4 x 640 kW
Reis Sınıfı Tip 214	-	MTU 16V 396 SE84 L	2 x 1.200 kW

⁵³ Toplam 6 adet Ay Sınıfı denizaltından 2 tanesi hizmet ömrünü tamamlayarak emekli edilmiştir. Kalan 4 denizaltıdan sadece 2 tanesi modernize edilmiştir.

⁵⁴ 493 serisi motorlar 396 serisinin selefidir. Üretimden kalkan bu motor 59 litre motor hacmine sahiptir.

Bahriyenin sahip olduğu en yeni denizaltı, Yeni Tip Denizaltı Projesi kapsamında imalatına başlanan Reis Sınıfıdır. Proje kapsamında 2027 yılına kadar peş peşe 6 denizaltı denize indirilecektir. Gölcük Tersanesinde inşa edilen ilk denizaltı TCG Piri Reis (S-330) Mart 2021’de denize indirilmiştir. Önceki nesil denizaltılar 700 kW güç üreten, 12 silindirli motorlara sahipken Reis Sınıfı’nda 1.200 kW güç üreten, 16 silindirli dizel motorlar kullanılmaktadır. 4000 seri motorların önceki nesli olan bu motor 63,5 litre motor hacmine sahiptir. Reis sınıfı denizaltıların tahrik sistemi unsurları aşağıda özetlenmektedir (Tablo 21).

Tablo 21 Reis Sınıfı İtici Sistemi (Yeni Tip Denizaltı Projesi)

Dizel jeneratör	2 adet	1.200 kW MTU 16V-396 SE84 L
Dizel yakıt kapasitesi	98 ton	F-76 motorin
Alternatör	2	1.130 kW Piller GmbH
Batarya	2	324 adet Exide Type 30 PS 15 B kurşun asit batarya
HBT	2	120 kW PEM yakıt hücresi
HBT yakıt	1,8 ton	Hidrojen
O₂ yakıt	15,3 ton	Sıvı oksijen
Ana motor	1	3.900 kW Siemens PermaSyn



Şekil 45 Yeni Tip Denizaltı Projesi Kapsamında Üretilen İlk Reis Sınıfı Denizaltı

7 ULUSLARARASI KISITLAMALAR

Deniz araçlarında kullanılan güç grupları, ticari platformlarda da yaygın bir şekilde kullanıldıklarından dolayı, çoğunlukla üretici firmaların tabi oldukları “Export Regulations” kuralları çerçevesinde “dual-purpose” grubuna girmektedir. Çift maksatlı ürünler izne bağlı ürünler listelerinde yer almamaktadır. Bununla birlikte sistemi oluşturan ana elemanlara askeri özellik kazandıran Titreşim Darbe sönümleyici gibi eklentiler için ihracat lisansı alınması gerekebilmektedir. Askerî projelerde bugüne kadar bu tür parçalar için ihracat lisansı problemi yaşanmamıştır. Bu tür eklentilerin, ihracat lisansı açısından problem yaşanması durumunda yerlileştirme imkânı bulunmaktadır.

Bu konuda ülkelerin tutumları değerlendirildiğinde ise özellikle Birleşik Krallık’ın bu tür ürünler için sıklıkla ihracat lisansı talebinde bulunduğu görülmektedir. Her ne kadar resmi olarak ilan edilmiş bir kısıtlama söz konusu olmasa da, son kullanıcı belgesi talebi ile başlayan bu süreç zaman kayıplarına yol açabilmektedir. Yürütülen projelerde bugüne kadar ihracat lisansı talebinde bulunulan sistem bileşenleri aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

Tablo 22 Bugüne Kadar İhracat Lisansı Talebinde Bulunulan Sistem Bileşenleri

Sistem Bileşeni	Üretici Ülke	İzin Alınıp Alınmadığı	Yerli İmkânlarla Tamamlanma
Titreşim Darbe Sönümleyici	Almanya	Alınmaktadır.	Mevcuttur.
CPP, değişken kanat açılı pervane	Almanya	Alınmaktadır.	Henüz imalatı yoktur ancak orta vadede yapılacak bir Ar-Ge çalışması ile yapılabilir olduğu değerlendirilmektedir.
Gaz Türbini hava filtreleri	İngiltere	Alınmaktadır.	Mevcuttur, kısa vadede bir Ar-Ge çalışması ile askeri gemilerde kullanılabilir.
Braketler	İngiltere	Alınamamaktadır.	Mevcuttur, güncel projelerde yerli imkânlarla temin edilmektedirler.
Esnek Kaplin	Almanya	Alınmaktadır.	Mevcut Değildir.

8 YERLİ MOTORLAR

8.1 YERLİ KARASAL MOTOR GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Yerli geliştirilmiş seri imalat dizel motorlardan bazıları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 23).

Tablo 23 Yerli Geliştirilmiş Seri İmalat Karasal Dizel Motorlar

	Ford Otosan – Ecotorq 7,3 litre 190 – 235 kW / 840-1.300 Nm / I-6 / EU5 uyumlu • 1999 – 2003 yılları arasında Ford Otosan, Türkiye'nin sıfırdan tasarlanan seri imalat ilk yerli motoru olan 6 silindirli, 7,3 litre Ecotorq motorunun ürün geliştirme çalışmalarını gerçekleştirmiştir. • 2016'ya kadar Eskişehir İnönü Fabrikasında üretilen motor, Ford Trucks kamyonlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak EU6 modernizasyonu yapılmayarak imalatına son verilmiştir.
	Ford Otosan – Ecotorq 9,0 litre 243 kW / 1.300 Nm ve 265 kW / 1.600 Nm / I-6 / EU6 • 2007'den beri yaygın kullanımda olan motor, 2016 yılı itibarıyla EU6 emisyonları ile uyumlu hale getirilmiştir. Ford Trucks kamyonlarında kullanılmaktadır. • Otokar Kent LF otobüslerinde, TEKSAN karasal jeneratörlerde (275 – 304 kVA) ve off-road makinelerde uygulaması mevcuttur.
	Ford Otosan – Ecotorq 12,7 litre 368 kW / 2.500 Nm / I-6 ve 309 kW / 2.150 Nm / I-6 / EU6 • 2016 yılı itibarıyla seri imalatına başlanmıştır. Bu motorla devreye alınan Euro 6 Egzoz Gazı Filtreleme Sistemi küresel otomotiv ana sanayide şirketin iç kaynaklarıyla geliştirilmiş sayılı örneklerden biridir. • Eskişehir İnönü Fabrikası'nda üretilen tüm kamyonlar, yerli olarak geliştirilip imal edilen Ecotorq motorları ile tüketiciyle buluşmaktadır. Teksan karasal jeneratör uygulaması mevcuttur (360 – 550 kVA). • Ford Otosan 2013 yılında Çinli JMC firmasıyla imzaladığı teknoloji lisans anlaşması ile Ecotorq motorlarının Çin'de JMC markalı araçlarda kullanılmak üzere üretilmesi için teknoloji transferi gerçekleştirmiştir.

	TÜMOSAN - S8000 Serisi Dizel Motorlar 35 - 55 kW / I-3 / 2,9 litre 55 - 85 kW / I-4 / 3,9 litre - Ana uygulama alanı traktördür. Bu zamana kadar yaklaşık 269.000 adet üretilmiştir. Endüstriyel motor olarak da pazarlanmaktadır. - Motorun deniz varyantı da bulunmaktadır. 3,9 litre motor hacmine sahip 4 silindirli TÜMOSAN S8000 deniz motorlarının en güçlü varyantı 2.300 dev/dk'da 77 kW güç, 1.500 dev/dk'da 350 Nm tork üretmektedir.
	Türk Traktör - S8000 Serisi Dizel Motorlar 55 kW / I-3 / 2,9 litre 80 kW / I-4 / 3,9 litre (En güçlü varyantlar) - Ana uygulama alanı traktördür. 2019 yılında beş yüz bininci motor banttan indirilmiştir. 1994 yılında Fiat lisansı ile üretimine başlanılan motorun Ar-Ge çalışmalarını zamanla Türk traktör devralmıştır. Zorlayıcı Tier 5 motor geliştirme çalışmaları tasarım ve test süreçleri de Türk Traktör Ar-Ge Merkezi'nde tamamlanmıştır.
	Yavuz Motor I-3 / 2,9 litre I-4 / 3,9 litre I-6 / 5,9 litre - Başlangıçta biyel kolu ve motor parçaları üreterek işe başlayan YAVUZ MOTOR, 2002 yılından beri 30-130 kW arası endüstriyel dizel ve jeneratör motorları üretmektedir. - Teksan jeneratör uygulaması bulunmaktadır (35 – 110 kVA).
	TÜRASAS TLM 16V 185 1.765 kW / V16 / 88 litre 70'li yıllardan beri TCDD lokomotiflerinde kullanılan V16 motor, 1.765 kW güç üretebilmektedir. Loyd sertifikasyonlu deniz uygulaması mevcuttur. - KAMAG projesi ile common rail ve elektronik kontrole sahip olacaktır. Modernizasyonla yakıt tüketiminin %12 oranında düşürülmesi hedeflenmektedir. (77) (78)

Geliştirme çalışmaları süren ya da geliştirme çalışmaları tamamlanmış ama seri imalata girmeye daha hazır hale gelmemiş bazı yerli motorlar aşağıda özetlenmektedir (Tablo 24).

Tablo 24 Seri İmalata Girmemiş Yerli Geliştirilen Karasal Motorlar

	BMC Power – TUNA 280 kW / 1.600 Nm / I-4 / 8,4 litre - Sıralı 4 silindir motor, taktik tekerlekli zırhlı araçlar için özel olarak geliştirilmiş olup, 8,4 litre motor hacmine sahiptir. 2020 yılında ilk ateşlemesi yapılan motor, 2023 yılı itibarıyla seri imalata girmiş ve Vuran araçlarına (4x4 TTZA) entegre edilmeye başlanmıştır. (79)
	BMC Power – AZRA 430 kW / 2.500 Nm / I-6 / 12,8 litre (Ticari) 440 kW / 2.500-3.000 Nm /I-6 / 12,8 litre (Askerî) - Ticari varyant ticari çekici kamyonlar için tasarlanmıştır. - Askeri varyant üzerine çalışmalar devam etmektedir. 2024 yılında Tank Taşıyıcı Araç'a (TTAR) entegrasyonu planlanmaktadır. (80)
	BMC Power – UTKU V8 735 kW / V8 / 18 litre 40 ton ve üzeri paletli zırhlı askerî araçlar için özel olarak geliştirilmektedir. 6+2 çapraz tahrikli transmisyonu ve soğutma sistemi dâhil komple güç grubudur. 2021 yılında ilk ateşlemesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Test ve kalifikasyon çalışmaları devam etmektedir. 2024 yılı içerisinde geliştirme çalışmalarının tamamlanması planlanmaktadır. (81)
	BMC Power – BATU V12 1.100 kW / V12 / 27 litre - Altay tankı ve Altay tankı gövdesini kullanacak yardımcı araçlar için özel olarak geliştirilmektedir. 1.100 kW gücünde motorla uyumlu olarak, dümenleme ve frenleme kabiliyetine sahip ve yüksek tork aktarımlı transmisyon, yüksek verimli soğutma grubu ve çok fonksiyonlu kontrol ünitesi ile komple güç grubudur. 2021 yılında ilk ateşlemesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. 2025 yılı içerisinde geliştirme çalışmalarının tamamlanması planlanmaktadır. (82)

	TÜMOSAN – X5 Serisi 90-230 kW / 690-1.000 Nm / I-4 / 5,2 litre • Askerî isterlere uygun tasarlanmıştır. • 4 silindirli X5 Serisi Motorlar, Cummins ISB 6,7 ve Detroit Diesel 6V53T motorlarının muadilidir. • X7'nin seri imalatını müteakip, doğrulama ve seri imalata hazırlık çalışmalarına devam edilecektir.
	TÜMOSAN – X7 Serisi 230-390 kW / 1.030-1.600 Nm / I-6 / 7,8 litre • Askerî isterlere uygun tasarlanmıştır. • 6 silindirli X7 Serisi motorlar; CAT C9, Cummins ISL9 motorlarının muadilidir. • TÜBİTAK RUTE'de kalifikasyon testleri devam etmektedir. • 2024 yılı içerisinde geliştirme çalışmalarının tamamlanması planlanmaktadır. • FNSS Özel Maksatlı Taktik Tekerlekli Araç'ı üzerinde doğrulama faaliyetleri devam etmektedir.
	TÜRASAŞ – TLM 6V 185 660 kW / V6 / 33 litre • Geliştirme çalışmaları tamamlanmış olmasına karşın ticari uygulaması henüz bulunmamaktadır. • TLM 16V 185V'nin 6 silindirli varyantıdır. • Demiryolu araçlarında, deniz uygulamalarında, enerji üretim tesislerinde kullanım için gerekli olan güç ve performansı sorunsuz olarak karşılayabilmektedir. (83)
	TÜBİTAK RUTE – Özgün 8V160B 884 kW / 4.960 Nm / V8 / 30,1 litre • Raylı Taşıtlar İçin Özgün Dizel Motor Projesi, TÜBİTAK RUTE tarafından gerçekleştirilmektedir. TÜRASAŞ da faaliyetlere müdahildir. • Lokomotif uygulaması için özel olarak geliştirilen motorun 200 g/kWh özgül yakıt tüketimi ile rekabetçi olması planlanmıştır. (84)

8.2 BÜYÜK HACİMLİ YERLİ MOTORLAR

8.2.1 BATU – BMC POWER

Ürün geliştirme çalışmaları tamamlanıp, deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde MİLGEM jeneratörü olarak kullanılabilecek 3 ayrı millî motorda biridir: BMC Power tarafından geliştirilen BATU (27 litre, V12), TÜBİTAK RUTE tarafından geliştirilen ÖZGÜN 8V160V (30 litre, V8) ve TÜRASAŞ tarafından geliştirilen TLM 6V 185 (33 litre, V6). Bu üç motorun karşılaştırmalı teknik özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 25).

Tablo 25 MİLGEM Jeneratörü Olarak Kullanılma Potansiyeli Olan Yerli Motorlar

	TLM 6V 185	ÖZGÜN V8	BATU V12
Konfigürasyon	V6	V8	V12
Motor Hacmi	34 litre	30 litre	27 litre
Birim Silindir Hacmi	5,65 l/silindir	3,75 l/silindir	2,3 l/silindir
Devir	1.500 dev/dk (sabit)	1.800 dev/dk (değişken)	2.700 dev/dk (değişken)
Güç (sürekli)	620 kW	884 kW	1.100 kW
Özgül Tüketim %75 Yük Azami tork	230-240 g/kWh	197 g/kWh	208 g/kWh
Boy / En / Yükseklik (mm)	1.454 x 1.515 x 1.444	1.903 x 1.701 x 1.591	1.826 x 1.324 x 1.185
Kuru Ağırlık	4.500 kg	4.250 kg	2.700 kg

- Tablodan anlaşılacağı üzere, MİLGEM’de kullanılan MTU 12V 2000 M51B ve MAN D2862 LE 321 ile mimari olarak en benzeşen yerli ve millî motor BATU’dur. BATU, deniz uyumlandırması yapıldığı takdirde, MTU 12V 2000 ile oldukça benzeşecektir. Aşağıdaki tabloda BATU ile bu iki ithal motorun kıyaslaması sunulmaktadır (Tablo 26).
- ÖZGÜN’ün birim silindir hacmi 3,76; TLM motorun ise 5,5 litredir/silindir. Çok farklı silindir hacmine sahip olmasına karşın ÖZGÜN’ün BATU ile rekabet eder görünmesinin nedeni, ÖZGÜN’ün V12 ve V16 varyantlarının henüz geliştirilmemiş oluşudur.
- BATU ürün geliştirme çalışmaları oldukça ileri aşamadır. 2023 Temmuz itibarıyla – V8 varyantı (UTKU) da dâhil edildiğinde – 25’i aşkın prototip motor toplanmış, 8.000 saatten fazla test icra edilmiştir.
- BATU motorun, Altay Tankı ve Altay Tankı gövdesini kullanan araçlar ile yüksek adetlerle TSK envanterine girmesi kesinleşmiştir (Şekil 46). Bu, parça birim maliyetlerini düşürmekte ve entegre lojistik destek yükünü önemli oranda azaltmaktadır.

Tablo 26 BATU vs. İthal MİLGEM Jeneratörleri

	MTU 12V 2000 M51B	MAN D2862 LE 321	BATU
Devir	1.800 dev/dk	1.800 dev/dk	2.700 dev/dk
Nominal Güç (Sürekli)	600 kW ⁵⁵	700 kW	1.100 kW
Yapı	V12 – 23,9 litre	V12 – 24,24 litre	V12 – 27 litre
Özgül Tüketim %75 Yük	210 g/kWh	201 g/kWh	208 g/kWh
Boy / En / Yükseklik (mm)	2.350 x 1.400 x 1.475	2.129 x 1.273 x 1.282	1.826 x 1.324 x 1.185
Kuru ağırlık	2.600 kg	2.280 kg	2.700 kg



Şekil 46 BATU Güç Grubu Altay Tankına Yüklenirken

⁵⁵ Continuous power ISO 3046 (10% overload capability, design power DIN 6280, ISO 8528)

8.2.2 ÖZGÜN – TÜBİTAK RUTE

ÖZGÜN 8V160B motoru, “Raylı Taşıtlar İçin Özgün Dizel Motor Projesi” kapsamında TÜBİTAK RUTE tarafından geliştirilmektedir. Bu projenin çıkış amacı, bir sonraki bölümde ele alınacak TÜRASAŞ’ın TLM 16V 185 motorunun modernizasyonudur. Ancak projenin Ar-Ge içeriğinin artırılması amacıyla proje içerisine “lisansı TÜBİTAK’a ait, en az 1.200 BG güç üreten, 40 BG/litre güç yoğunluğuna sahip bir dizel motorun sıfırdan geliştirilmesi” hedefi eklenmiştir. ÖZGÜN projesi Aralık 2018’de başlamıştır ve ilk çalıştırma Aralık 2022’de gerçekleştirilmiştir.

ÖZGÜN’ün birim silindir hacmi 3,76 litredir. ÖZGÜN, 3,96 litre/silindir hacimli 396 serisi ve 4,3 litre/silindir hacimli 4000 serisi ile benzer birim hacimlere sahiptir. ÖZGÜN’ün V12 ve V16 varyantlarının da geliştirilmesi durumunda, 800 kW’tan 2 MW’a kadar geniş bir güç aralığını kapsamak mümkün olacaktır.



Şekil 47 Özgün 8V160B Motoru

ÖZGÜN V8 prototipi imal edilmiş ve ilk çalıştırma yapılmıştır. Ancak bu birim hacimde gerek su üstü deniz araçları gerek denizaltılar için en çok talep görecektir konfigürasyon, V16’dır. 16 silindirli ÖZGÜN, 60 litre yani 16V 396 serisi motorla yakın bir motor hacmine sahip olacaktır. Ancak ÖZGÜN motorun V8 versiyonu, geliştirme testlerinin başlangıcındadır. Baz mimarinin deniz uyumlandırması, sahada kendini ispatlayacak kadar saat toplaması, V16’ya ölçeklendirilmesi belli bir zaman alacaktır. V16 tasarım, geliştirme ve doğrulama çalışmalarının tamamlanması yanında krank mili, motor bloğu gibi imalatı güç parçaların üretimi için de alt yapı oluşturulması gerekmektedir.

ÖZGÜN 16V, denizaltı için uygun boyutlarda görünse de; MTU motorlarının sınıfının en kompakt motorları olduğunu hatırlatmak da fayda vardır. Diğer tüm denizaltı motorları, 80 litre ve üstü hacme sahiptir (3.4). Örnek olarak, Japon Söryü sınıfı denizaltılarda kullanılan dizel makineler, 150 litreye yakın bir motor hacmine sahiptir. Denizaltı motorları için diğer tüm gelişmiş ülkelerin oldukça tutucu davranması dikkat çekicidir. ÖZGÜN’ün döküm blok yapısına sahip oluşu diğer bir zorlayıcı etmendir.

Dolayısıyla denizaltı uyumlu bir ÖZGÜN V16, MTU 16V 396 ile en benzeşen motor olmakla birlikte, zorlayıcı bir proje olacaktır. ÖZGÜN V16 projesinin hayata geçirilebilmesi için maliyet, takvim ve risk analizleri yapılmalı ve bu verilerin ışığında bir sonraki bölümde ele alınacak TÜRASAŞ TLM motorları ile kıyaslama yapılmalıdır.

8.2.3 TLM (TÜRASAŞ)

70'lerden beri TCDD lokomotiflerinde kullanılan V16 motor, 1.765 kW güç üretebilmektedir (77). 185/210 mm çap/strok oranına sahip motorun silindir başına hacmi, 5,65 litredir. Motorun üretimine, 1968 yılında Fransız S.E.M.T. Pielstick lisansı altında başlanmıştır. Zaman içerisinde S.E.M.T. Pielstick 16 PA 4V 185 VG motoru millileştirilmiş ve motor, TLM 16V 185 adını almıştır.



Şekil 48 TÜRASAŞ DE24000 Lokomotiflere Güç Veren Yerli TLM Motorlar

TLM'nin avantajları şunlardır:

- TÜRASAŞ; üretim, kalite kontrol ve bakım altyapısına sahiptir.
- Motor, kaynaklı yapısı sayesinde daha az silindir sayısına ölçeklendirilebilmektedir. Farklı silindir adedinde yabancı versiyonlar zaten mevcuttur. TÜRASAŞ da kendi öz kaynakları ile bu motorun V6 versiyonu olan TLM 6V 185 prototipini imal etmiştir (Şekil 49).
- Bu motorun 1.500 kW jeneratör uygulaması da bulunmaktadır. Dizel Jeneratör Setleri, Loyd Klas kurallarına uygun olarak ve MARPOL Annex VI gerekliliklerine göre TIER II emisyon seviyesinde üretilmektedir (8.3.2.3).
- TLM motorun benzerinin denizaltı varyantı mevcuttur.

Motorun belli başlı dezavantajları ise şunlardır:

- Özgül yakıt tüketimi, 232 – 240 g/kWh'tir. Modern motorlarda bu değer 200 g/kWh mertebesinde ve altındadır. TLM'nin yağ tüketimi ise 3 g/kWh mertebesinde. Modern motorlarda bu değer 1 g/kWh'in altındadır. Yüksek yakıt ve yağ tüketimi işletme maliyetlerini artıracaktır.
- Kaynaklı blok yapısı, mekanik enjeksiyon gibi nedenlerden dolayı motor gürültüsü yüksektir.
- Motorun yanma basınçları oldukça düşüktür. Verimi artırmak için yapılacak çalışmalar piston, kafa, blok malzemelerinde daha yüksek dayanımlı malzemelere geçmeyi gerektirmektedir.



Şekil 49 TLM 6V'nin Prototipi



Şekil 50 Kaynaklı Motor Bloğu

Bu handikaplara karşın motor üzerinde uzun süreden beri modernizasyon çalışması yürütülmektedir. “TÜBİTAK 1007 - Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı” kapsamında desteklenen “TLM16V185 Tipi Ağır Dizel Motorunun Modernizasyonu” projesi, 2018 Aralık ayında başlatılmıştır. Projenin paydaşları; TÜRASAŞ, SDM Ar-Ge, TÜBİTAK MAM ve Marmara Üniversitesi’dir. Proje kapsamında;

- Yüksek basınçlı ortak ray (common-rail) direkt enjeksiyon sistemi
- Verimi arttırılmış turboşarj sistemi
- Emme/egzoz manifoldları ve yanma odası tasarım değişiklikleri
- Yeni silindir kafası tasarımı
- Yeni piston tasarımı
- Yeni kam mili tasarımı

ile özgül yakıt tüketiminin 205 g/kWh gibi rekabetçi bir seviyeye düşürülmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen motor; lokomotif uygulaması yapılarak, 50.000 km’lik Müşteri Kurum saha testleri başarı ile tamamlanmış olmalıdır. TLM modernizasyonu kapsamının oldukça geniş olduğu değerlendirilmektedir. Tasarlanan alt sistemlerin geliştirme testleri ve kalifikasyonu başarı ile tamamlandığında önemli oranda yeni bir ürün ortaya konulmuş olacaktır. Geliştirme sırasında bilgisayar destekli tasarım ve analiz modelleri de kurulmuş, analitik bir metot izlenmiştir.

TLM motorun avantajlarında sıralandığı üzere, motorun benzerinin denizaltı varyantı mevcuttur. 2006 yılında S.E.M.T. Pielstick’i bünyesine katan MAN’nin portföyünde yer alan MAN 12 PA4 200SM, S.E.M.T. Pielstick PA4 motorunun denizaltı varyantıdır (Şekil 51). Bu motor, 100’ü aşkın denizaltıda kullanılmaktadır. MAN, denizaltıya uyumlu hale getirmek için PA4 motoru üzerinde önemli değişiklikler yapmıştır. Denizaltı uygulamasının gerektirdiği temel alt sistemler dışında (4.5) süperşarj ünitesi ve turboşarj birlikte kullanılmaktadır. Motor; 1.800 mbar egzoz karşı basınç ve 850 mbar – 50 C° emiş havası ile bile güç düşümü yaşamamaktadır. Bu tip bir performans isterini sağlayabilmek çok ciddi bir know-how gerektirmektedir.



Şekil 51 TÜRASAŞ TLM 16V 185 ve Denizaltı Motoru MAN 12 PA4 200SM

Tablo 27 MAN PA4 V 200 SMDS Jeneratör Özellikleri (85)

Boy / En / Yükseklik	3.120 x 1.670 x 2.130 mm
Ağırlık	9,2 ton
Motor Hacmi	6,6 litre/silindir – 79,2 litre
Dizel Jeneratör Seti Güç	1.250 kWe

Türk denizaltılarının tamamı Alman MTU motorludur (6.5). Burada dikkat edilmesi gereken temel husus denizaltının daha en baştan hem MTU hem TLM motoru ile uyumlu olarak tasarlanmasıdır. Denizaltının tasarımına ithal motor ile başlanıp daha sonra farklı bir mimariye sahip millî motora geçiş; platform veya motor üzerinde kabul edilebilir tasarım değişiklikleri ile gerçekleştirilebilir. Bu tip bir tasarım mümkündür. Örnek olarak, Fransız Scorpène denizaltılarında 2 adet MAN 12 PA4 200SM DS veya 4 adet MTU 396 12V SE84 seçenekleri sunulmaktadır. Diğer önemli husus ise maliyet ve takvimdir. MTU 12V 4000 U83'ün kendini ispatlamış bir deniz motoru üzerine geliştirilmiş olmasına karşın geliştirme sürecinin 8 sene sürdüğü düşünüldüğünde (86), bu tip bir projenin 8-10 seneden önce tamamlanması beklenmemektedir.

8.3 YERLİ DENİZ MOTORLARI

Bu bölümde yerli deniz motorları çalışmalarından örnekler sunulmaktadır.

8.3.1 GEÇMİŞ DENEYİMLER

8.3.1.1 Pendik-Sulzer Motor Fabrikası

Yerli deniz motoru imalatı konusunda tarihteki en iddialı girişim Pendik-Sulzer Motor Fabrikası'dır. Bu fabrikanın kurulumu için ilk girişimler 1953 yılında başlamıştır ve 1984 yılında İsviçreli Sulzer'in ikna edilmesiyle nihayete ermiştir (87).



Şekil 52 Türkiye'de İmal Edilen İlk Dizel Gemi Motoru Sulzer 6AL 20/24

5.500 DWT'luk gemiler için alınacak olan 550 kW gücünde 24 adet dizel jeneratör alımı sırasında Polonya'da Sulzer Lisansı ile dizel motor üreten Cgielski-Sulzer fabrikasından alt lisans alınmıştır. Varılan anlaşma şu şekildedir:

- İnşaatları bitme aşamasına gelmiş iki gemi için altı adet dizel motor, komple ithal edilecektir.
- İkinci altı adet dizel motor parçalar halinde gönderilecek; montajları Türkiye'de gerçekleştirilecektir.
- Bakiye on iki dizel motorun silindir blokları, laynerleri, karterleri ve bilumum çelik aksamı Türkiye'de imal edilecektir. Diğer parçalar Polonya'dan gönderilecek ve montajları Türkiye'de tamamlanacaktır.
- Türkiye'den gönderilecek bir mühendis, beş teknisyen Poznan'daki fabrikada iş başında eğitilerek Türkiye'deki montaj işleri için hazırlanacaktır. Türkiye'de yapılacak montajlara nezaret etmek üzere, ayrıca Türkiye'ye lüzumu kadar Polonyalı teknisyen gönderilecektir.
- Türkiye'de montajları tamamlanan motorları test edebilmek için gerekli test odasının bütün projeleri firma tarafından hazırlanacak ve bu projelere göre test odası için gerekli bütün fren ve teçhizat Polonya firması tarafından tedarik edilecektir. Test odasının montajı sırasında montaja nezaret edecek lüzumu kadar teknisyen firma tarafından gönderilecektir.
- İstanbul'da yapılacak blok döküm işlerine nezaret etmek üzere bir döküm uzmanı gönderilecektir.

Pendik Sulzer Motor Fabrikası'nda 1999 yılına kadar 102 adet motor imal edilmiştir. Fabrikada imal edilen en büyük motor Sulzer 5 RTA 76'dır. 10.300 kW güç üreten motor, Alma Ata yük gemisi ve Taşkent yük gemisinde ana makine olarak kullanılmıştır (88). Üretilen model sayısı 7'dir. Farklı güçlerdeki aynı mimariye sahip motorlar dâhil edildiğinde bu sayı, on bire çıkmaktadır. Pendik Sulzer Motor Fabrikası, Pendik Tersanesi'nin 1999 yılında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na geçtiği dönemde kapatılmıştır.



Şekil 53 Pendik Sulzer Motor Fabrikası



Şekil 54 Pendik Sulzer Motor Fabrikası'nda İmal Edilen Büyük Dizeller

Tablo 28 Pendik Sulzer Motor Fabrikası'nda İmal Edilen Motorlar (88)

	Motor modeli	Motor Adedi	Motor Gücü (kW)	Motor Devri (d/d)	Monte Edildiği Gemiler
1	5 AL 25/30	15	675	750	Kaş yük gemisi sınıfı (Yardımcı Makine)
2	6 AL 20/24	18	575	900	Sarayburnu Ş.H.Y. sınıfı (Ana Makine)
3	6 AL 20/24	18	468	750	Rumelikavağı Ş.H.Y. sınıfı (Ana Makine)
4	6 AL 20/24	2	468	750	Mehmet Kalkavan yük gemisi (Yardımcı Makine)
5	8 AL 20/24	2	765	900	Topkapı Araba Vapuru Sınıfı (Ana Makine)
6	8 AL 20/24	20	625	750	Selamiçeşme araba vapuru sınıfı (Ana Makine)
7	8 AL 20/24	3	625	750	İstanbul Feribotu (Yardımcı Makine)
8	6 ASL 25/30	4	1.100	900	Fahri Korutürk ve Bahçekapısı Ş.H.Y. sınıfı gemileri (Ana Makine)
9	6 ASL 25/30	4	1.176	1.000	Alma Ata ve Taşkent yük gemileri (Yardımcı Makine)
10	6 ASL 25/30	3	970	750	Bakü ve Aşkabat Passat Tipi gemileri (Yardımcı Makine)
11	4 RTA 58	3	5.425	108	Zemia Gorndlaska, Zemia Lodska ve Zemia Cieszyka yük gemileri (Ana Makine)
12	5 RTA 76	2	10.300	85	Alma Ata ve Taşkent yük gemileri (Ana Makine)
13	5 RTA 58	2	7.000	127	Bakü ve Aşkabat Passat Tipi gemileri (Ana Makine)

8.3.1.2 Arthor Güç Sistemleri

Küçük dizel imalatı için de çeşitli dönemlerde birçok özel girişim mevcuttur. En dikkat çeken girişimlerden biri Arthor Güç Sistemleri'dir. %100 yerli deniz motorları imal etmek vizyonu ile 2008 yılında kurulan Arthor Güç Sistemleri, 15 metreden 30 metreye kadar teknelerin kullanabileceği yerli motor ailesi geliştirmeyi hedeflemiştir. TÜBİTAK tarafından desteklenen proje Eylül 2009 tarihinde başarıyla tamamlanmıştır. Arthor Güç Sistemleri; Ağustos 2011'de Gemi Ana ve Yardımcı Makineler ürün ana grubunda Türk Loydu Tip Onay sertifikası alarak, Türkiye'de bir ilke imza atmıştır. Motor ailesi, Ford Otosan'ın Eskişehir İnönü Fabrikası'nda üretmekte olduğu Ecotorq motorların deniz uyumlandırması yapılmış varyantlarıdır. 6 silindirli ARMG73 ve ARMG90 deniz tipi jeneratörler olup 250 ve 275 kVA üretebilmektedir. Benzer şekilde ARM73 ve ARM90 ana tahrik motorları; 190, 235, 260 ve 280 kW güç üretebilmektedir. Türk Loydu'ndan alınan onay sertifikası tüm varyantlar için geçerlidir (89). Oldukça rekabetçi olan sektörde istenen ticari başarıya ulaşamadığı bilinen şirket, 2018 yılında sektör değiştirerek hafif ticari araçların üst yapı çözümlerine yönelmiştir (90).



Şekil 55 Ford Otosan Ecotorq 7.3 litre ve 9.0 Litre Motorları Baz Alan Arthor Motor

8.3.1.3 Ford Otosan Ecotorq Marine

Ford Otosan da kendi bünyesinde Ecotorq motorların deniz versiyonları için geliştirme çalışmaları yapmıştır. Birçok fuarda tanıtılan 13 litrelik deniz motoru, geçen 10 seneye karşın ticari fizibilite sağlanamadığı için hayata geçirilememiştir.



Şekil 56 Ecotorq Marine – 12,7 litre

8.3.2 YAKIN TARİHLİ GİRİŞİMLER

8.3.2.1 TÜMOSAN deniz motorları

Tümosan karasal motorlarının deniz uyumlandırması için çalışmalar yürütmektedir. Tümosan, Özel Maksatlı Taktik Tekerli Zırhlı Araç (ÖMTTZA) için geliştirmekte olduğu X7 motorunun deniz uyumlandırma çalışmalarını gerçekleştirmiştir. 340 kW (460 BG) güç üreten sıralı 6 silindir X7.4 motor; 7,8 litre motor hacmine sahiptir. X7.4 motor için Gölcük Tersanesi ile söz konusu motorların tedarikine yönelik Stratejik İş birliği Anlaşması imzalanmıştır. Bu kapsamda X7.4, Katır adıyla da bilinen çekici vasıtalarla entegre edilmiştir (Şekil 57). Şu ana kadar 6 adet üretilen motor, Kasım 2020'den beri toplam 1.400 saat biriktirmiştir.



Şekil 57 340 kW Tümosan X7.4 ve Entegre Edildiği Çekici Vasıta

Motor, yakın zaman önce ARES-METEKSAN ortaklığıyla geliştirilen ULAQ-SİDA'lara entegre edilmiştir (Şekil 58). Doğrulamalar devam etmektedir.



Şekil 58 ARES – METEKSAN ULAQ-SİDA

Tümosan, ticari uygulamalar için de deniz-tipi motor geliştirmektedir. Bu doğrultuda Tümosan traktörlerde yaygın bir şekilde kullanılan S8000 motorunun deniz varyantlarını geliştirmiştir. 3,9 litre motor hacmine sahip 4 silindirli motorlar, 2.300 d/d'da 95 ve 105 BG güç üretmektedir.



Şekil 59 S8000 Bazlı Tümosan Deniz Motorları (95 – 105 BG)

8.3.2.2 BMC Power deniz motorları

BMC Power, 2023 yılı itibarıyla mevcut karasal motorlarının deniz-uyumlandırması için çalışmalar başlamıştır. İlk uygulama olarak 13 litrelik AZRA motoru seçilmiş ve deniz uyumlandırması yapılan varyanta LEVEND ismi verilmiştir (Şekil 60). Hedef uygulama olarak ise SEFİNE-ASELSAN ortaklığıyla geliştirilen Marlin SİDA seçilmiştir (Şekil 61). 2024 yılı içinde araç üstü testler planlanmaktadır.



Şekil 60 BMC Power LEVEND Motor



Şekil 61 LEVEND Motorun Entegre Edileceği Marlin SİDA

8.3.2.3 TÜRASAŞ deniz jeneratörü

70'li yıllardan beri TCDD lokomotiflerinde kullanılan TÜRASAŞ'ın TLM 16V 185 motorunun, deniz tipi jeneratör uygulaması da mevcuttur (8.2.3). Yüzde 85 yerlilik oranına sahip bu jeneratör seti, Loyd Klas kurallarına uygun olarak MARPOL Annex VI gerekliliklerine göre TIER II emisyon seviyesine sahiptir ve şu an Van Gölü Feribotları'nda kullanılmaktadır. TCDD Van Gölü Feribot Md.lüğü, her biri 50 vagon kapasiteli iki adet feribot işletmektedir. TÜRASAŞ, bu feribotlar için toplam 8 adet deniz-tipi dizel jeneratör üretmiştir. 2013 yılında TLM lokomotif motorunun deniz uyumlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiş, 2014-2015 yılında motorlar teslim edilmiştir. 2016 yılında yeni Van Gölü Feribotları denize indirilmiş ve takip eden 2 sene boyunca deneme amaçlı seyirler yapılmıştır. 2018 yılında ise mevcut 4 gemi görev dışına çıkarılmış ve yeni feribotlar faal hale gelmiştir. Dolayısı ile TLM motorlar, deneme süreci dâhil 7 senedir faal haldedir. Bu çalışma, Van Gölü feribotları ile sınırlı kalmıştır.



Şekil 62 TLM Motorlu Van Gölü Feribotları



Şekil 63 TLM Motoru - Van Gölü Feribotu

8.4 GENEL DEĞERLENDİRME – YERLİ MOTORLAR

Yerli ve millî olarak üretilecek olan ana tahrik sistemi/elemanları Türk Loydu Askeri Gemilere ait Kurallar Kısım 104 - Sevk Tesisleri bölümüne uygun olarak üretilmeli, tasarım/üretim aşamaları ve üretiminin bitiminde Türk Loydu tarafından sertifikalandırılmalıdırlar. Türk Loydu kuralları dışında “Denizde Can Emniyeti Uluslararası Antlaşması 1974/1978 (SOLAS)”, “Gemilerde Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Antlaşması 1973/1978 (MARPOL)” ayrıca NATO üyesi ülkelere ait gemiler için STANAG kuralları da dikkate alınmalıdır. Böyle bir sertifikasyonu tamamlamış yerli ve millî bir motor mevcut değildir. Ülkemizde yerli motor için çeşitli dönemlerde girişimlerde bulunulmuştur ancak ticari başarı göstermiş bir motor mevcut değildir. Buna karşın deniz uyumlandırması ve sertifikalanması yapıldığı takdirde 1.700 kW'a kadar (4 adet kullanımda 6,8 MW) güç ihtiyacını karşılayacak birçok yerli ve millî motor mevcuttur.

9 MEVCUT İHTİYAÇLAR

9.1 2050 YILINA KADAR ÜRETİLMESİ PLANLANAN SU ÜSTÜ PLATFORMLAR VE DİZEL MOTORLARI

Başta T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı (Dz.K.K.lığı), Millî Savunma Bakanlığı Tersaneler Genel Müdürlüğü (TGM) olmak üzere çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarının güç grubu ihtiyaçlarının tespit edilebilmesi ve buna uygun yerli çözümlerin sunulabilmesi amacıyla ilgili yazıyla⁵⁵ görüş talep edilmiştir. Benzer şekilde, askerî platform üreticisi olan ülkemizin önde gelen sivil tersanelerinden de konu hakkında⁵⁶ görüş talep edilmiştir. Çalışma kapsamında iletişime geçilen tüm paydaşlar ilgili tabloda listelenmektedir (12.1).

Paydaşlarımızdan dünyadaki mevcut seviyenin yakalanması ve ötesine geçilebilmesi için önümüzdeki dönemde odaklanılması gereken teknoloji ve sistem hedefleri ile yenilikçi teknolojilere dair önerilere ilişkin sorular sunulmuş ve orta-uzun vadeli proje / konu öneri talepleri toplanmıştır. Proje önerileri yanı sıra 2050 yılına kadar üretilmesi/geliştirilmesi planlanan platformlara ait motor ve güç aktarma sistemi bilgileri talep edilmiştir. Kaç adet gemi inşa edilmesi planlandığı ve bu gemiler için gerekli ana tahrik dizeli (ATD) ve yardımcı dizel (YD) adedi belirlenmiştir. Dz.K.K.lığından gelen ihtiyaç tablosuna paralel askerî gemi inşa eden tersanelerden gelen veriler de konsolide edilmiştir. İhtiyaç duyulan ATD'ler 330 kW – 8 MW aralığındayken; YD'ler 7 – 1.120 kW aralığında güç üretebilmektedir. Bu aralığı kapsayabilmek için en az 14 farklı model ana tahrik dizeline, 10 farklı model yardımcı dizele ihtiyaç duyulacaktır. Benzer bir çalışma aktarma organları için de gerçekleştirilmiştir. Güç aktarma organı çeşitliliği motor çeşitliliğinden fazladır ve ihtiyaç tekil adetlerdedir.

9.2 ÖMÜR DEVRİNİ TAMAMLAYACAK MOTORLARIN İKAMESİ (500 – 2.000 KW)

Muhrip, fırkateyn, korvet gibi gemilerde ana tahrik konfigürasyonuna bağlı olmakla birlikte 500 kW ile 2.000 kW aralığında dizel jeneratör setleri kullanılmaktadır. Bu güç aralığında toplam 92 adet deniz-tipi jeneratör bulunmaktadır. Bu jeneratörlerin 60 kadarının önümüzdeki 10 sene içerisinde ömür devrini tamamlayacağı ve yenileri ile değiştirileceği öngörülmektedir. Yenilenecek motorların büyük çoğunluğu MTU 183, MTU 396 serisi ve muadili motorlardır. MTU 396 serisi 3,96 litre/silindir hacme sahiptir ve MTU 4000 serisinin selefidir. Önümüzdeki 10 sene içerisinde ömür devrini tamamlaması öngörülen ana tahrik motoru olarak kullanılan 396 serisi motorlar ve benzer güç aralığındaki Detroit Diesel 149 serisi⁵⁷ dizel jeneratörler de ilave edildiğinde; toplam 92 adet motorun yenilenmesi planlanmaktadır.

⁵⁵ 13.02.2023 tarihli, E-31487183-804.1-114416 sayılı, "SSB Deniz Platformları Teknoloji Yol Haritası hk." konulu yazı

⁵⁶ 24.02.2023 tarihli, E-31487183-804.1-118639 sayılı, "SSB Deniz Platformları Teknoloji Yol Haritası hk." konulu yazı

⁵⁷ General Motors markası altında üretilen 149 serisi, 1988 yılından itibaren Detroit Diesel (DDC) markası altında üretilmeye başlanmıştır. 2000 yılında DDC'nin MTU tarafından satın alınmasıyla 149 serisi sonlandırılmıştır.

Paydaşlarımızdan gelen konu önerileri incelendiğinde Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın da 396 serisi veya muadili motor ihtiyacı görülmektedir. Sahil G.K.lığının konu önerilerinden biri "Sahil Güvenlik Komutanlığı envanterindeki mevcut botlarda kullanılan orta-yüksek güçlü ana tahrik sistemlerinin yerli olarak üretilmesi"dir. Sahil G.K.lığı, bu makinelerin ve kontrol sistemlerinin üretiminin durdurulmuş olduğunu ve yedek parça veya yeni sistem tedarikinin mümkün olmadığını belirtmektedir. Mevcut gemi tasarımı sabit kalarak muadil değerlere sahip ana tahrik ve kontrol sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

9.3 YENİ İNŞA İÇİN KOLAY İDAMEYE YÖNELİK KONFIGÜRASYON BELİRLENMESİ

Yeni inşa aşamasında ana tahrik ve yardımcı sistemlerinin mümkün olduğunca birbirlerini yedekleyebilecek bir şekilde seçilmesi önem arz etmektedir. Geçmişte benzer uygulamalar için farklı motorlar ve/veya aynı motorun farklı varyantlarının kullanılması idame edilebilirlik sıkıntılarına yol açmıştır. Örnek olarak; Sat Botu 1 ve 2'de kullanılan MTU 16V 2000 M93 makine - arada sadece %8,3'lük güç farkı bulunmasına karşın - Sat Botu 3 ve 4'de kullanılan MTU 16V 2000 M96L makineye göre 58 mm daha kısa ve 113 kg daha hafiftir. Bu husus neticesinde; SAT Botlarında kullanılan her iki versiyon makine arasında performansla yönelik ciddi bir fark bulunmamasına rağmen, birbirlerinin yerine kullanılamamaktadır. Ortaklaştırma diğer unsurlar için de önem arz etmektedir. Dz.K.K.lığı, yeni inşa edilecek platformlarda;

- Kullanılacak yardımcı ve ana makinelerin güç, performans, fiziki ölçüleri ve teknolojik gelişim farkları değerlendirilerek mümkün olduğunca envanterdeki mevcut olan makinelerin tercih edilmesinin,
- Geminin idamesinde elzem olduğu değerlendirilen yedek makinelerin tedariklerinin sözleşmeye dâhil edilmesi hususunun değerlendirilmesinin,
- Dz.K.K.lığı Boya Kılavuzunda belirtilen özellikler haricinde boya kullanılmamasının,

uygun olduğunu değerlendirmektedir. Gerek ithal gerek millî olsun, tahrik sistemi tedarikinde bu hususlara dikkat edilmelidir.

9.4 GENEL DEĞERLENDİRME

Askerî gemi inşa eden tersaneler tarafından iletilen veriler ışığında, deniz tahrik sistemi geliştirme ve üretiminin sürdürülebilir olması için askerî uygulamalar tek başına yeterli değildir. Son 5 sene içerisinde Türk Loydu tarafından klaslama hizmetleri tamamlanan askerî gemi ve devriye botu sayısı, sırasıyla, 4, 0, 3, 3 ve 76⁵⁸ adettir (6.2). Bu durum sadece Türk Donanması için değil, tüm donanmalar için geçerlidir (5.5). Örnek olarak, ABD Donanması bile yılda ortalama 10 adet gemi inşa etmektedir. Her bir gemi sınıfı bazındaysa rakamlar 1 ila 3 mertebesindedir. Tespit edilen diğer önemli husus ise; askerî projelerin ötesinde yurt içi pazarda başarı kazanılmasının bile tek başına yeterli olamayacağıdır. Zirve yaptığı 2008 yılında Türk Gemi İnşa Sanayi'nin küresel pazar payı %2,1 seviyesindeyken bu rakam %1'in altına gerilemiştir (6.1). Büyük güçte bir dizel makine tasarım ve

⁵⁸ 2022 yılının bu denli pozitif ayrışmasının başlıca nedeni klaslama hizmetleri Türk Loydu tarafından gerçekleştirilen ARES Tersanesi'nin Sahil Güvenlik Komutanlığı ve Emniyet Genel Müdürlüğü için inşa edeceği toplam 122 adet ARES 35 FPB'nin (Fast Patrol Boat / Süratli Devriye Botu) 54 adeti 2022 yılı içinde teslim edilmiş olmasıdır.



üretmenin ilk yatırım maliyetinin 100+ milyon Euro mertebelerinde olacağı ve geliştirilmesinin uzun zaman alacağı düşünüldüğünde, motor üretimine lisans anlaşması ile başlanması, bir metottur. Örnek olarak; Amerikan Fairbanks Morse şirketi MAN lisansı altında dizel motor üretmekte ve ABD Dz.K.K.lığının tahrik sistemi ihtiyacını karşılamaktadır. Japon Donanması'nda da Alman MAN lisansı altında üretilmiş yerli dizel motorlar kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem de bile pazar önemlidir. Ülkemiz benzer bir yöntemi, Pendik-Sulzer Motor Fabrikası ile deneyimlemiştir. 1984 yılında İsviçreli Sulzer lisansı ile başlayan üretim, 1999 yılında sonlandırılmıştır (8.3.1.1).

Ticari yapılabilirlik dışında üstünde durulması gereken diğer husus stratejik önemdir. Ancak deniz araçlarında kullanılan güç grupları ticari platformlarda da yaygın bir şekilde kullanıldıklarından dolayı, "dual-purpose" grubuna girmektedir (7). Ticari yapılabilirlik ve stratejik önem nispeten düşük olmasına karşın deniz-tipi dizel motor geliştirme yetkinliğinin kazanılmasının gelecekte öngörülemeyen bir takım risklerin bertaraf edilebilmesi için kıymetli olduğu değerlendirilmektedir. Geçen 5 sene içerisinde askerî karasal motor geliştirme konusunda önemli aşama kat edilmiştir ve ülkemiz oldukça geniş bir karasal motor portföyü oluşturma yolundadır (Bölüm 8). Tüm bunlar düşünüldüğünde, sıfırdan bir deniz motoru geliştirmek yerine mevcut millî karasal motorlar üzerinde deniz uyumlandırması yapılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında 2050 yılına kadar ihtiyaçlar, geçmiş gemi inşa projeleri ve millî karasal motor çalışmaları birlikte irdelenmiş ve yapılabilirliği ve/veya stratejik önemi yüksek 6 proje tespit edilmiştir:

(10.1) 350 – 500 kW Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi

(10.2) 2+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi

(10.3) 4+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi

(10.4) Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) Kapsamında Jeneratör Geliştirilmesi

(10.5) 10+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi

(10.6) İthal Motorlar için Yerli Parça Üretiminin Desteklenmesi

Takip eden bölümde bu 6 proje önerisi gerekçeleri ile detaylandırılmaktadır.

10 PROJE ÖNERİLERİ

10.1 350 – 500 KW DENİZ TİPİ DİZEL MOTOR GELİŞTİRİLMESİ

Proje önerisi aşağıdaki başlıklar altında gerekçelendirilmektedir:

- Bu güç aralığında motorlar, SİDA'ların güç ihtiyacını karşılamakta yeterli olacaktır. Bu hedef, paydaşlarımızdan gelen “İnsansız Deniz Araçları İçin 350-500 kW Aralığında Sevk Sistemi Geliştirilmesi” proje önerisi ile örtüşmektedir.
- Sahil Güvenlik Komutanlığı proje önerilerinden biri “Mevcut botlarda kullanılan düşük güçlü ana tahrik sistemlerinin yerli olarak üretilmesi”dir. Burada kast edilen Volvo Penta D8 450 muadili bir dizel motordur.
- Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu güç aralığında 3 ayrı millî dizel motor ailesi bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmının TSK envanterine girmesi kesinleşmiştir. Bu durum; ürün geliştirme, test alt yapısı maliyetlerini önemli oranda düşürmekte ve proje takvimini kısaltmaktadır.

Deniz uyumlandırması yapıldığı takdirde bu güç aralığında hizmet verebilecek yerli motorlar mevcuttur (Bölüm 8). 8 – 9 litre sınıfındaki motorlar aşağıda listelenmektedir:

- TŪMOSAN X7 (7,8 litre, I-6)
- BMC Power TUNA (8,4 litre, I-4)
- Ford Otosan Ecotorq 9.0 litre

13 litre sınıfındaysa aşağıdaki 2 seçenek mevcuttur:

- BMC Power AZRA (12,8 litre, I-6)
- Ford Otosan 12.7 litre

Üç motor ailesi üzerinde de çeşitli deniz uyumlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (8.2). Ancak şu an sertifikasyona sahip ticari bir ürün bulunmamaktadır. TŪMOSAN, X7 motorunun deniz varyantı X7.4 (8.2.2.1); BMC Power AZRA motorun deniz varyantı LEVEND üzerinde geliştirme çalışmalarına devam etmektedir (8.2.2.2).

10.2 2+ LİTRE/SİLİNDİR DENİZ TİPİ DİZEL MOTOR GELİŞTİRİLMESİ

“2 Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi” proje önerisi aşağıdaki başlıklar altında gerekçelendirilmektedir:

- Dz.K.K.lığının “500 – 2.000 kW Güç Aralığında Yerli Dizel Jeneratör Seti Geliştirilmesi” proje önerisi ile örtüşmektedir. 800 kW ve altında, MİLGEM uygulamasında olduğu gibi, yaklaşık ~2 litre/silindir motor hacmine sahip motorlar tercih edilmektedir. TGM de, yeni platformların yanı sıra modernize edilecek gemiler için de bu büyüklükte motorlara ihtiyaç duyulacağını belirtmiştir.
- Yardımcı dizeller, ana mimari olarak ana tahrik dizeliyle benzeşmektedir. Bu motorun MTU 2000 muadili bir ana tahrik motoruna dönüşmesi ve Sahil Güvenlik Kuvvetleri’nin 1.000 kW ve altı güç ihtiyacını karşılaması olasıdır.
- Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek millî motorlar mevcuttur.

İhtiyaç ve önerilen millî alternatiflerin bu ihtiyacı karşılama potansiyeli MİLGEM jeneratörü üzerinden detaylandırılmaktadır. MİLGEM’de yardımcı makineler için 4 adet dizel jeneratör seti kullanılmaktadır. Motor ve alternatör akustik bir kapsül içine konulmaktadır (91). Bu setler ana tahrik ünitesinden bağımsızdır. Bunlardan iki tanesi geminin barış durumunda tüm elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Üçüncü jeneratör ise geminin savaş durumundaki güç ihtiyacına yanıt vermektedir. 1 adet jeneratör yedek olarak yer almakla birlikte, savaş durumunda ve boğaz geçişi gibi tehlikeli suların geçişinde ihtiyaç olması halinde devreye girebilmektedir. İhtiyaç sahibi makam genelde 4 jeneratörün de aynı marka-model olmasını tercih etmektedir. Böylelikle, entegre lojistik destek (ELD) yükü azaltılmaktadır. Alternatör ve jeneratör seti İŞBİR tarafından geliştirilmekte ve üretilmektedir (Şekil 64).

MİLGEM PROJESİ JENERATÖRLERİ

Kuruluşundan itibaren jeneratör sistemleri alanında çalışmalarını sürdüren İŞBİR, askeri ve sivil tip olmak üzere iki tip marin jeneratör üretmektedir. İŞBİR’in portföyündeki askeri marin tip jeneratörlerden olan MİLGEM Jeneratörleri, Deniz Kuvvetleri Komutanlığının en önemli projelerinden birini teşkil eden ve Türkiye’nin tamamen Türk mühendisleri ve işçileri tarafından ürettiği ilk savaş gemisi olan Milli Gemi (MİLGEM) Projesi kapsamında geliştirilmiştir. Proje kapsamında her gemi için dörder adet 750 kVA gücünde yardımcı dizel jeneratör üretilmiştir.



Şekil 64 MİLGEM Dizel Jeneratör Seti

Daha önceki MİLGEM'lerde tercih edilen jeneratör MTU 12V 2000 M51B'dir (Şekil 65). Bu jeneratörün özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmektedir (Tablo 29). Yeni MİLGEM'lerde ise MAN ile çalışılması planlanmaktadır (Şekil 66). Bu motor da MTU gibi 24 litrelik, common rail bir motordur. MİLGEM isterlerinde kapsül hariç dizel jeneratör seti ağırlığı en fazla 8.000 kg olarak belirlenmektedir. Kapsül dâhil komple toplam ağırlık azami 10 tondur. Kapsül boyutu azami 4.400 x 1.750 x 2270 mm (Uzunluk x Genişlik x Yükseklik) olarak sınırlanmaktadır.



Şekil 65 İkamesi Planlanan MTU 12V 2000 M51B

Tablo 29 MİLGEM Dizel Jeneratörü Teknik Özellikleri

Motor Ağırlığı	2.500 kg	Alternatör Ağırlık	2.900 kg
Toplam Ağırlık	6.354 kg	Güç	700 kW – 875 kVA @ 60 Hz
Nominal Voltaj/Akım	440 V / 1.200 A	Güç Faktörü / Faz	0,8 / 3
Starter Tipi	Hava-elektrik	Koruma Sınıfı	IP23



Şekil 66 MTU Alternatifi MAN D2862 LE321 Deniz Tipi Jeneratör

10.3 4+ LİTRE/SİLİNDİR DENİZ TİPİ DİZEL MOTOR GELİŞTİRİLMESİ

“4+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi” proje önerisi aşağıdaki başlıklar altında gerekçelendirilmektedir:

- Tersanelerden gelen geri bildirimler MTU 396/4000 serisi muadili bir motoru anlamlı kılmaktadır. Sahil Güvenlik Komutanlığı’nın proje önerilerinden biri “Mevcut botlarda kullanılan orta-yüksek güçlü ana tahrik sistemlerinin yerli olarak üretilmesi”dir. Burada kast edilen yüksek güçlü motor, MTU 16V 396 TE94 muadilidir. Sahil G.K.lığı, millî bir güç grubunun hayata geçirilebilmesi için platform seviyesi bazı esneklikler göstermeye hazırdır. Örnek olarak; SSB tarafından Mayıs 2023’te Teklife Çağrı Dosyası yayımlanarak ihale süreci başlatılan 600 Sınıfı (Millî) Sahil Güvenlik Gemisi Tedariki Projesi’nde millî ana tahrik dizelleri kullanılmasına olanak sağlamak amacıyla ana tahrik ve sevk sistemi, birbirinden bağımsız, yedekli ve daha düşük güce sahip 4 ana hat olacak şekilde kurgulanmıştır. Klasik / standart olarak kullanılan 2 adet tahrik ve sevk hattı yerine 4 adet hat seçilmesi sayesinde; uzun test ve kullanım saatlerine ulaşmamış olan (kendini ispatlama süreci devam eden) millî bir makinenin en kısa sürede gemi üzerinde tecrübesine imkân sağlayacak şekilde risk düzeyi azaltılmıştır. Bahse konu projede millî ana tahrik dizellerinin ilk kez kullanılmasının sağlanması halinde; herhangi iki dizelin birden gayri faal kalması durumunda dahi geminin görevine devam edebilecek yeteneğe sahip olması hedeflenmiştir. Millî ana tahrik dizelleri ile donatılmış ve yerlilik oranı %90 seviyesine ulaşacak bir gemi hedefiyle; projede Sahil Güvenlik Komutanlığı teknik ihtiyaçlarını revize etmiştir.
- Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek millî motorlar mevcuttur. Bu durum; ürün geliştirme, test alt yapısı maliyetlerini önemli oranda düşürmekte ve proje takvimini kısaltmaktadır.
- Kendini su üstünde ispatlamış bir 4+ litre/silindir deniz-tipi dizel motor, deniz altı motoru için sıçrama tahtası olacaktır.

10.4 MİLLÎ DENİZALTI PROJESİ (MİLDEN) KAPSAMINDA DİZEL JENERATÖR GELİŞTİRİLMESİ

“Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) Kapsamında Jeneratör Geliştirilmesi” proje önerisi aşağıdaki başlıklar altında gerekçelendirilmektedir:

- Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) kapsamında Millî Savunma Bakanlığı, yerli ve millî bir tahrik sistemi geliştirmek için Bilgi İstek Dokümanları yayımlamaya başlamıştır.
- Diğer deniz-tipi motorlara kıyasla denizaltı motorları çok daha stratejik bir üründür. Tayland denizaltı ihalesinde ambargo nedeniyle Çin’in MTU 396 serisi yerine ‘rüşünü ispatlamamış’ kendi motorunu kullanmak istemesi ve ihalenin çıkmaza girmesi bu duruma örnek teşkil etmektedir (92).
- Deniz ve denizaltı uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek millî motorlar bulunmaktadır. Bu durum; ürün geliştirme ve test alt yapısı maliyetlerini önemli oranda düşürecek, proje takvimi kısaltacaktır.

10.5 10+ LİTRE/SİLİNDİR DENİZ TİPİ DİZEL MOTOR GELİŞTİRİLMESİ

Proje önerisi aşağıdaki başlıklar altında gerekçelendirilmektedir:

- Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek herhangi bir millî motor mevcut değildir. 2040'a kadar 35 – 45 adet muharip gemi inşa edilmesi planlanmakta bunlar için de 45 – 90 adet dizel motora ihtiyaç duyulmaktadır. Muharip gemiler motor başına 4 – 6,5 MW arasında güce ihtiyaç duymaktadır. Yılda 3 – 5 adet, bu ölçekteki bir motor projesini hayata geçirmek için gerekli ürün geliştirme, test alt yapısı, seri imalat yatırımı için gerekli bütçeyi gerekçelendirmek için çok düşüktür. Ancak bu tip bir millî motor MENA ülkelerine askerî gemi ihracatının kapısını aralayacaktır. Dolayısı ile motor tek başına düşünüldüğünde bu tip bir proje ekonomik olarak yapılabilir görünmemekle birlikte, tetikleyeceği gemi ihracatı ile birlikte düşünüldüğünde ekonomik yapılabilirlik yükselmektedir.
- TF2000 gemisinin ana tahrik dizeli stratejik öneme sahiptir.

Bu sınıfta donanma tarafından sıklıkla tercih edilen 2 motor, MTU 956 ve MTU 1163 serileridir. 956 serisi, 9,56 litre/silindir; 1163 serisi, 11,63 litre/silindir birim silindir hacmine sahiptir. Bu motorlar, uzun yıllardır dünya çapında fırkateynler, korvetler ve açık deniz karakol gemilerinde kullanılmaktadır. Bu tip bir motorun V16 ve V20'si muharip gemilerin ana tahrik dizellerinin güç ihtiyacını büyük oranda karşılayacaktır.



Şekil 67 MTU 16V 956



Şekil 68 MTU 20V 1163

10.6 İTHAL MOTORLAR İÇİN YERLİ PARÇA ÜRETİMİNİN DESTEKLENMESİ

Tersaneler Genel Müdürlüğü; sistem bileşenlerine ait birçok parçanın onarım kademesi personel desteği/koordinesinde yerleştirilerek, iç piyasadan tedarik edilebilmesini mümkün kılmıştır. Bu parçalardan bazıları şunlardır:

- Emme ve egzoz supabı
- Silindir gömleği (layner)
- Ana yatak, kol yatağı, burç yatağı
- Kuler, deniz suyu tulumba impeli, vb.

Anatahrik sistemlerinin (ATS) idamesi yerli ATS projesinin hayata geçirilmesi yönünde önemli bir kazanım sağlayacak ve projenin kademeli olarak hayata geçirilebilmesine imkân verecektir. Bu nedenden dolayı daha fazla türde parça ve alt sistemin yerleştirilerek iç piyasadan tedariki desteklenmelidir.

Tersaneler Genel Müdürlüğü'nün önceliklendirdiği konular şunlardır:

- Envanterde bulunan orta ve yüksek devirli deniz sınıfı dizel makinelerin (500 kW - 8 MW) onarımlarında kullanılmak üzere yurt içinden temin edilmesinde güçlük çekilen/yurt içinden tedariki mümkün olmayan makine bloğu, krank mili, eksantrik mil (kam mili), turboşarjer, yakıt pompası, enjektör, govornör vb. kritik makine parçalarının üretimine yönelik işlem başlatılması
- Sınırlı olan yurt içi kaplin imal imkânlarının geliştirilmesine yönelik çalışma başlatılarak, çoğu

platformda dışa bağımlı olunan, kritik öneme sahip kaplin ihtiyacının karşılanması ve yerli makine üretimi aşamasına gelindiğinde firmaların gerekli altyapı ve tecrübeye sahip olmasının hedeflenmesi

- Titreşim darbe sönümleyicilerin (TDS) yurtiçinden tedariki konusunda belirli bir aşama kaydedilmiş olup TDS imalat kapasitelerinin ve ürün yelpazesinin artırılmasına yönelik firmaların özendirilmesi
- Devam etmekte olan şanzıman yedek parça yerleştirme faaliyetlerine yönelik kapsamın geliştirilmesi
- Harp gemilerimizde bulunan çap ve boyları itibarı ile büyük ölçüye sahip şaftların ülkemiz imkânları ile dökümlerinin yapılabilirliğine ilişkin inceleme ve fizibilite çalışması yapılması
- Yerleştirilecek makinelerin kontrol/kumanda sistemleri ile bu sistemlere ait yazılım ve donanımın da yerli/millî imkânlarla üretilmesi

TGM ayrıca anılan işlemler için;

- Firmaların yönlendirilmesine ve teşvik sağlanmasına ihtiyaç duyulabileceği,
- Özellikle metalürji alanında yatırım yapılarak, ihtiyaç duyulan seviyede bilgi birikimi/teknoloji transferinin sağlanabilmesi için üniversite ve kamu kurumları arasında koordinasyon sağlanarak sanayi-kamu işbirliği faaliyetlerinin yoğunlaştırılması gerekeceği,
- Projede görev alacak kamu personelinin, projeye katkılarının artırılması/projeye hâkim olunabilmesi maksadı ile lisansüstü ve doktora eğitimlerine yönlendirilmesinin faydalı olacağı,

değerlendirmesinde bulunmaktadır. Bunun yanında, ilave olarak su üstü/denizaltı platformlarında ATS'de dışa bağımlılığın tamamen ortadan kaldırılması maksadı ile üniversiteler ve uzman kuruluşlar ile işbirliği sağlanarak pervane tasarımının da yerleştirilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

11 SONUÇ VE ÖNERİLER

11.1 GENEL DEĞERLENDİRME

Konvansiyonel deniz tipi dizel makinelerin kısa, orta ve uzun vadede pazar hâkimiyetini korumaya devam edeceği öngörülmektedir. Dizel yakıtın çok yüksek spesifik enerjisi (Wh/kg) ve enerji yoğunluğu (Wh/litre) yanı sıra yaygın yedek parça ağı, bakım/onarım ağı, yakıt ikmal ağı, yakıt ikmal kolaylığı, eğitimli personelin mevcudiyeti; dizel motorları diğer tüm tahrik sistemlerine üstün kılmaktadır. 10 MW güç ihtiyacının üstündeyse gaz türbinli motorların, geleceğin ana tahrik sistemlerinde uzun süre kullanımda kalacağı mütalaa edilmektedir. Dizel ve türbinli motorlar ana tahrik güç ihtiyacını karşılamaya devam etmekle birlikte elektrik motorlarının ana tahrik motoru olarak kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Hibritleştirilmenin en üst seviyesi olan Entegre Tam Elektrikli Tahrik Sistemleri'nin (IFEP) askerî gemilerde uygulamaları başlamış olup; tam anlamıyla teknolojik olgunluğa ulaşıldığı noktada en çok tercih edilen sistem olacağı değerlendirilmektedir (5.5). Bu durum kompleks devir düşürücü dişli kutuları gibi aktarma organlarına olan ihtiyacı asgariye indirecektir.

Batarya elektrikli sistemlerin ise askerî uygulamalarda kabul görebileceği tek uygulama sahil güvenlik botları gibi hafif platformlar olacaktır. Ancak bu da askerî platformlarda belli niş uygulamalar hariç beklenen bir durum değildir. Sahil Güvenlik Komutanlığı da askerî yüzer unsurların, ticari deniz platformlarına kıyasla çok daha küçük hacimlerde daha yüksek güç ihtiyacı olduğunu, çevresel kısıtlamalardan da (egzoz emisyonu gibi) muaf oldukları için elektrifikasyonun ancak uzun vadede gerçekleştirebileceğini ve dizel motorların tercih edilen tahrik sistemi olmaya devam edeceğini belirtmektedir.

Sivil sektörde ise, küresel karbon salınımının azaltılması hedefi doğrultusunda, alternatif yakıtlara olan ilginin arttığı görülmektedir. Bu temiz enerji yakıtlarının belli başlıları; hidrojen, amonyak, sentetik yakıt ve biyogazdır. Son yılların en çok dikkat çeken temiz enerji yakıtı hidrojendir. Askerî platformlarda hidrojen kullanımının kabul görmeyeceği değerlendirilmektedir. Emniyet kaygılarının yanı sıra tek-yakıt politikasından sapma, ikmal alt yapı eksikliği, yüksek maliyetler ve gemi tasarımında yapılması gereken köklü değişiklikler, bu durumun nedenlerinden bazılarıdır (5.3.1). Bahse geçen yakıtlardan sadece biyoyakıtların ve sentetik yakıtların askerî platformlarda kabul görme olasılığının bulunduğu değerlendirilmektedir. Ancak bunun için yakıt maliyetlerinin önemli oranda düşmesi gerekmektedir. Diğer bir ön şartsa yakıtın "drop-in" olması gerekliliğidir. Yakıtın "drop-in" olması, mevcut motor ve yakıt sistemleri üzerinde hiçbir değişikliğe ihtiyaç duyulmadan kullanılabilmesi anlamına gelmektedir (5.2).

Batarya elektrikli ana tahrik sistemleri sadece hafif sivil platformlarda ön plana çıkabilmektedir. Batarya elektrikli deniz araçları; kıyıya yakın sabit iki nokta arasında kısa süreli seyahatler için teknik yapılabilirliğe sahiptir. En yaygın uygulama şehir içi feribotlardır. Diğer bir uygulama kıyıya yakın hizmet veren römorkörlerdir. Türk tersanelerinde inşa edilen feribot ve römorkörler, çevre bilinci çok yüksek İskandinav ülkelerine ihraç edilmekte ve gemi inşa konusunda çok yüksek kabiliyetlere sahip bu ülkeler tarafından elektrikli tahrik sistemleri ile donatılmaktadır. (5.4)

Bu çalışma kapsamında askerî platformların güç grubu ihtiyacını doğru tespit edebilmek ve buna uygun yerli çözümlerin sunulabilmesini planlamak amacıyla; Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Tersaneler Genel Müdürlüğü, Sahil Güvenlik Komutanlığı, askerî gemi inşa eden özel tersaneler ve motor imalatçılarından bilgi talep edilmiştir. Bu bilgiler ışığında 2050 yılına kadar üretilmesi/ geliştirilmesi planlanan platformlara ait motor ve güç aktarma sistemleri verileri derlenmiştir. Adetler görece düşüktür. Bu öngörü geçmiş verilerle de doğrulanmaktadır. Türk Loydu tarafından son 5 sene içerisinde klaslama hizmetleri tamamlanan askerî gemi ve devriye botu sayısı, sırasıyla, 4, 0, 3, 3 ve 76⁵⁹ adettir. Tüm platformların ihtiyacının karşılanabilmesi için ana tahrik dizeli (ATD) ürün gamının 330 kW - 8 MW, yardımcı dizel (YD) ürün gamının 7-1.120 kW gibi geniş bir güç aralığını kapsamı gerekmektedir. Bunun için en az 14 farklı model ana tahrik dizeli, 10 farklı model yardımcı dizelden oluşan geniş bir ürün portföyüne ihtiyaç duyulmaktadır. Dz.K.K.lığı verilerine göre ise toplam 95 - 120 adet gemi inşa edilmesi öngörülmektedir. Bunun için 190 - 240 adet ana tahrik dizeline (ATD) ve 380 - 420 adet yardımcı dizele (YD) ihtiyaç duyulmaktadır (9.1). Ürün portföyünün genişliği düşünüldüğünde; bu adetler ölçek ekonomisi oluşturmaktan oldukça uzaktır. Motorların türü, gücü ve hangi kombinasyonla bir araya getirildiği düşünüldüğünde, aktarma organı çeşitliliğinin motor çeşitliliğinden de fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla deniz tahrik sistemi geliştirme ve üretiminin sürdürülebilir olması için askerî uygulamalar tek başına yeterli değildir. (9.6)

Bu durum, sadece Türk Donanması için değil tüm donanmalar için geçerlidir. Örnek olarak, ABD Donanması bile yılda ortalama 10 adet gemi inşa etmektedir. Her bir gemi sınıfı bazındaysa rakamlar 1 ila 3 mertebesinde. ABD Donanması yakın zamanlı bir yol haritasında bu durumu açıkça ortaya koymaktadır: “Donanma, küresel motor pazarına yön verecek pazarlık gücüne sahip değildir. Dolayısıyla geliştirme çalışmaları, mevcut gaz türbinleri ve dizel motorlar üzerinde sürekli iyileştirmeler üzerine odaklanmalıdır”. Bu ifadede sürekli iyileştirmelerden kasıt; verim, performans, idame maliyetleri ve güvenilirliği iyileştirecek bazı teknolojilerin mevcut motorlara entegre edilmesidir. (5.5.1)

Tespit edilen diğer önemli husus ise; askerî projelerin ötesinde yurt içi pazarda başarı kazanılmasının bile tek başına yeterli olamayacağıdır. Zirve yaptığı 2008 yılında Türk Gemi İnşa Sanayi’nin küresel pazar payı %2,1 seviyesindeyken bu rakam %1’in altına gerilemiştir. Gemi inşa siparişleri almakta zorluk çeken sektör; emek-yoğun, düşük katma değerli bakım, onarım ve gemi söküm faaliyetlerine yönelmiştir. Dolayısı ile ticari başarı için ihracat tek yoldur ancak bunun için geniş bir ürün gamı ve küresel ölçekte yaygın bir servis ağı gereklidir. (6.1)

Ticari yapılabilirlik dışında üstünde durulması gereken diğer husus stratejik önemdir. Ancak deniz araçlarında kullanılan güç grupları ticari platformlarda da yaygın bir şekilde kullanıldıklarından dolayı, “dual-purpose” grubuna girmektedir. Çift maksatlı bu ürünler izne bağlı ürünler listelerinde yer almamaktadırlar. Buna karşın sistemi oluşturan ana elemanlara askerî özellik kazandıran Titreşim Darbe Sönümleyici gibi eklentiler için ihracat lisansı alınması gerekebilmektedir. Ancak bugüne kadar bu tür parçalar için de ihracat lisansı problemi yaşanmamıştır. (7)

⁵⁹ 2022 yılının bu denli pozitif ayrışmasının başlıca nedeni klaslama hizmetleri Türk Loydu tarafından gerçekleştirilen ARES Tersanesi’nin Sahil Güvenlik Komutanlığı ve Emniyet Genel Müdürlüğü için inşa edeceği toplam 122 adet ARES 35 FPB’nin (Fast Patrol Boat / Süratli Devriye Botu) 54 adeti 2022 yılı içinde teslim edilmiş olmasıdır.

Ticari yapılabilirlik ve stratejik önem nispeten düşük olmasına karşın deniz-tipi dizel motor geliştirme yetkinliğinin kazanılmasının gelecekte öngörülemeyen bir takım risklerin bertaraf edilebilmesi için kıymetli olduğu değerlendirilmektedir. Geçen 5 sene içerisinde askerî karasal motor geliştirme konusunda önemli aşama kat edilmiştir ve ülkemiz oldukça geniş bir karasal motor portföyü oluşturma yolundadır (Bölüm 8). Tüm bunlar düşünüldüğünde, sıfırdan bir deniz motoru geliştirmek yerine mevcut millî karasal motorlar üzerinde deniz uyumlandırması yapılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında 2050 yılına kadar ihtiyaçlar, geçmiş gemi inşa projeleri ve millî karasal motor çalışmaları birlikte irdelenmiş ve yapılabilirliği ve/veya stratejik önemi yüksek 6 proje tespit edilmiştir. Bu projelerin isimleri ve 20 yıllık ihtiyaç adedi aşağıdaki tabloda listelenmektedir.

Tablo 30 Proje Önerileri ve 2040'a Kadar Toplam İhtiyaç

Proje Adı	Bölüm	Adet Öngörüsü
350 – 500 kW Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	(10.1)	100 – 200
2+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	(10.2)	200 – 300
4+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	(10.3)	100 – 200
Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) Kapsamında Dizel Jeneratör Geliştirilmesi	(10.4)	60 – 100
10+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	(10.5)	70 – 90
İthal Motorlar için Yerli Parça Üretiminin Desteklenmesi	(10.6)	

Yerileştirilecek makinelerin kontrol/kumanda sistemleri ile bu sistemlere ait yazılım ve donanımın da yerli/millî imkânlarla üretilmesi önem arz etmektedir. “Proje Önerileri” bölümünde bu 6 öneri, gerekçeleri ile birlikte detaylandırılmaktadır. Deniz Kuvvetlerimizde kullanılacak ana tahrik sistemi alt elemanları (dizel makine, devir düşürücü dişli ve şaft/pervane sistemi) ile dizel-jeneratör sistemlerinde lojistik destek açısından bütünlük/sürdürülebilirlik sağlanması ve kaynak israfının önlenmesi açısından her bir alt elemanın tek firma tarafından tasarlanması ve üretilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Bu amaçla proje önerileri kapsamında birbirine alternatif teşkil edebilecek motorlar konusunda karşılaştırmalı bir analiz de sunulmaktadır.

Son olarak, motor geliştirme projelerinin gemi inşa proje takvimlerini etkilememeleri için gemi inşa projelerinden bağımsız farklı bir proje veya AR-GE faaliyeti olarak gerçekleşmesi ve prototip ürün ortaya çıktıktan sonra projelerde kullanılmasının uygun bir hal tarzı olacağı değerlendirilmektedir.

11.2 TEKNOLOJİ YOL HARİTASI

Tablo 31 Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası

TEKNOLOJİK HEDEF	0-5 yıl	5-10 yıl	10-20 yıl	Değerlendirme
350 – 500 kW Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	✓			
8-9 litre hacme sahip dizel motor geliştirilmesi	✓			Bu tip bir motor SİDA'ların güç ihtiyacını karşılamakta yeterli olacaktır. Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu güç aralığına hizmet edebilecek 3 ayrı yerli motor bulunmaktadır. (10.1)
13 litre dizel motor geliştirilmesi	✓			Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu güç aralığına hizmet edebilecek 2 ayrı yerli motor bulunmaktadır. (10.1)
2+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi				
MİLGEM dizel jeneratörünün yerileştirmesi	✓			Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek millî bir motor bulunmaktadır. (10.2)
Geliştirilen motorun ana tahrik sisteminde kullanımı		✓	✓	Ana tahrik dizeli ve yardımcı dizel mimari olarak benzeşmektedir.
4+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi	✓	✓	✓	Paydaşlarımızdan gelen geri bildirimler 1.000 - 2.000 kW aralığında MTU 396 ve 4000 serisi muadili bir motoru anlamlı kılmaktadır. Deniz uyumlandırılması yapıldığı takdirde bu sınıfta kullanılabilecek millî motorlar mevcuttur. Başarılı olunması durumunda silindir sayısı artırılıp azaltılarak motor ailesi genişletilmelidir. (10.3)
Millî Denizaltı Projesi (MİLDEN) Kapsamında Dizel Jeneratör Geliştirilmesi	✓	✓		Üzerinde kapsamlı değişiklikler yapıldığı takdirde MİLDEN dizel jeneratörü olarak kullanılma potansiyeli olan millî bir motor mevcuttur. (10.4.2)
10+ Litre/Silindir Deniz Tipi Dizel Motor Geliştirilmesi			✓	MENA ülkelerine askerî gemi ihracatının kapısını aralayacaktır. TF2000 gemisinin ana tahrik dizeli stratejik öneme sahiptir. (10.5)
İthal Motorlar için Yerli Parça Üretiminin Desteklenmesi	✓	✓		Motor bloğu, krank mili, eksantrik mil (kam mili), turboşarjer, yakıt pompası, enjektör, govarnör, kaplin, titreşim darbe sönümleyici gibi kritik makine parçalarının üretimine yönelik işlem başlatılmalıdır. (10.6)



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI
**SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI**

12 EKLER

12.1 GERİ BİLDİRİM TALEP EDİLEN KURUM VE KURULUŞLAR

Tablo 32 Geri Bildirim Talep Edilen Kurum ve Kuruluşlar

T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı
T.C. Millî Savunma Bakanlığı Tersaneler Genel Müdürlüğü
T.C. Millî Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Genel Müdürlüğü
T.C. İçişleri Bakanlığı Sahil Güvenlik Komutanlığı
Anadolu Deniz İnşaat Kızakları San. ve Tic. A. Ş.
Ares Tersanecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
BMC Power Motor ve Kontrol Teknolojileri A.Ş.
Dearsan Gemi İnşaat Sanayii A. Ş.
Delta Denizcilik Mühendislik Ve Bilgisayar San. ve Tic. A. Ş.
Desan Deniz İnşaat Sanayi A. Ş.
İstanbul Denizcilik Gemi İnşa Sanayi ve Ticaret A. Ş.
Özata Tersanecilik San. ve Tic. Ltd. Şti.
RMK Marina Tersanesi
Sanmar Denizcilik Makina Ve Ticaret A.Ş.
Sedef Gemi İnşaatı A. Ş.
Sefine Denizcilik Tersanecilik Turizm San. ve Tic. A.Ş.
Seft Gemi İnşaa San. Müh. Ve Tic. Ltd. Şti.
Sirena Marine Denizcilik Sanayi Ve Ticaret A.Ş
Tais Gemi İnşa ve Pazarlama A. Ş.
TCDD Van Gölü Feribot Müdürlüğü
TÜBİTAK Raylı Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü (RUTE)
TÜMOSAN Motor ve Traktör Sanayi A.Ş.
Türkiye Raylı Araçları Sanayi A.Ş. (TÜRASAŞ)
Ursa Gemicilik Bakım Onarım Tersanecilik San. ve Tic. A.Ş.

12.2 ABD DONANMASI DENİZ TİPİ DİZEL MOTOR STANDARTLARI

MIL-E-24455 (1971) ve MIL-E-23457B (1976) – sırasıyla – yüksek ve orta devirli dizel motorlar için ABD Donanması tarafından ortaya konmuş askerî standartlardır. 1.500 d/d ve üzeri yüksek devirli olarak tanımlanmaktadır. Bu standartlar; geliştirme çalışmaları tamamlanmış, kullanımda olan ticari motorların donanmada kullanımı için gerekli isterleri ve doğrulama çalışmalarını özetlemektedir. ABD Donanması, bir dizel motorun askerî bir platformda kullanılabilmesi için öncelikle klaslanmış olmasını şart koşmaktadır. Yüksek devirli dizeller için en az bir motorun, yıllık çalışma saati ve azami güç açısından benzer bir ticari uygulamada asgari 5.000 çalışma saatini sorunsuz tamamlamış olması gerekmektedir. Orta devirli dizeller içinse en az iki başarılı uygulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Her uygulamada asgari 10.000 çalışma saatinin tamamlanmış olması beklenmektedir. Yüksek devirli bir dizel motorun donanmada kullanımı için sahip olması gereken bazı temel özellikler şunlardır:

- Motor, MIL-F-16884'te tanımlı F-76 ve MIL-T-5624'te tanımlı JP5/F-44 yakıtla uyumlu olacaktır.
- Motor, emercensi ve savaş durumu için "defalarca"⁶⁰ tam güçte 48 saat kesintisiz çalışabilir özellikte olacaktır.
- Motor parçaları korozyona karşı dayanıklı olacaktır. Kullanımına izin verilen ve kullanımı sakıncalı malzemeler standartta tanımlanmaktadır.
- Deniz suyu ile temas halindeki parçalar için dökme demir kullanılmayacaktır.
- Azami yağ sıcaklığı, motora entegre kuleri bulunan ana tahrik dizellerinde 107C⁰'yi aşmayacaktır. Diğer tüm uygulamalar için bu değer 93 C⁰'dir.
- Motor girişinde izin verilen azami yakıt sıcaklığı 46 C⁰'dir. Bu limitin altına düşülebilmesi için ısı eşanjörüne ihtiyaç duyulduğu durumda, deniz suyu soğutmalı eşanjörleri kullanılacaktır.
- 153 mm / 6 inç üzeri piston çapına sahip dizel motorlar, krankeyz ve hava emiş hattı patlama emniyet tertibatına sahip olacaktır. Ancak krankkeyzin 7 barın üzerinde bir basınca dayanıklı olduğu testlerle gösterilebilirse korumaya ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Aksi belirtilmediği sürece tüm kulerler (ısı eşanjörleri) motora monteli olacaktır. Kulerler, MIL-C-21121 ve MIL-C-15730 standartları ile uyumlu olacaktır.
- Motor simpleks veya dupleks/ikiz filtrelere sahip olacaktır. Motorun kesintisiz 200 saatin üzerinde çalıştırıldığı uygulamalarda dupleks filtre kullanımı önerilmektedir.
- Egzoz manifoldu su soğutmalı olacaktır (ıslak manifold). Turboşarj ünitesi için benzer bir sınırlama getirilmemiştir.
- Tüm sıcak yüzeyler 205 C⁰/205 F⁰'nin altında olacaktır.
- Marş sistemi; havalı, hidrolik veya elektrik tahrikli olabilecektir. Yedeklilik için özel bir gereksinim tanımlanmamıştır.

⁶⁰ Standartta "numerous" kelimesi kullanılarak açık uçlu tanımlanmıştır.

- Motor, emercensi kapatma sistemine sahip olacaktır. Emercensi kapatma, yakıt beslemenin veya yanma havasının mekanik bir valf vasıtasıyla kesilmesi ile sağlanabilecektir.
- Uygulama özelinde gerekli görüldüğü takdirde motor, MIL-S-901 şok isterlerini karşılayacaktır.
- Standardın tanımlandığı dönem itibarıyla emisyon standartları mevcut değildir. Emisyon, sadece dumanın görünür yoğunluğunu veya opaklığını görsel olarak ölçmek için kullanılan Ringlemann ölçeğinde tanımlanmıştır. Normal çalışma koşullarında Ringlemann#1 seviyesi aşılmayacaktır. Ani sürat değişimlerinde 5 saniye süresinde Ringlemann#2'ye izin verilmekle birlikte izleyen 30 saniye içinde Ringlemann#1'e dönülmesi beklenmektedir.
- Motor, gemi enine göre (rolling) $\pm 45^\circ$, gemi boyuna göre (pitching) $\pm 18^\circ$ meyilde çalışabilecektir.

Yüksek devirli bir dizel motorun tasarımı ve doğrulaması için belirlenen standart çevresel koşullar aşağıdaki tabloda listelenmektedir (Tablo 33).

Tablo 33 Standart Çevresel Koşullar

Parametre	Değer
Dış ortam sıcaklığı	38 °C
Atmosfer Basıncı	1.013 milibar
Motor Soğutma Suyu Sıcaklığı (Tatlı Su Devresi)	71 – 88 °C
Deniz Suyu Sıcaklığı	32 °C
Deniz Suyu Devresi Çıkış Sıcaklığı (Azami)	55 °C
Egzoz Karşı Basıncı (Azami)	68 mbar

Bir motor, Donanma tarafından ilk defa kullanılacaksa, “İlk Ürün Muayenesi”⁶¹ sürecinden geçmek zorundadır. Yapılacak muayenelerden en önemlisi; 68 milibar karşı basınç ve asgari 32 C° deniz suyu sıcaklığı altında icra edilecek 1.000 saatlik dayanım testidir. Testler sırasında MIL-T-5624 standardına uygun JP-5 yakıt kullanılmaktadır. Test öncesi motora bağlı boru devreleri, test esnasındaki normal basınçlarının %50 fazlası ile basınçlandırılarak test edilmektedir. Bu test sırasında aşağıdaki tabloda tanımlanan 8 saatlik yük profili 125 defa tekrarlanmaktadır (Tablo 34). Her 10 çevrimde bir, motorun emercensi kapatmayla kapatılması gereklidir. Testin başarı ile sonuçlanması için blok, kafa, piston gibi kritik komponentlerde herhangi bir onarım/değişiklik yapılmaması gereklidir. Kritik komponentler dışında bir arıza olursa, bu arızanın 2 saat içinde giderilmesi ve aynı komponent kaynaklı iki defadan fazla arıza yaşanmaması gereklidir. Aksi takdirde testin yenilenmesi gereklidir. Test sonrası tüm parçalar sökölüp incelenecek ve sonuçlar raporlanacaktır.

⁶¹ First Article Inspection

Tablo 34 8-Saatlik Yük Profili (125 Defa Tekrar Edilecek)

Süre	Yük	Hız
2 saat	Anma gücü	Anma hızı
1 saat	%85 yük	Anma hızı
10 dakika	Rölanti	Rölanti
1 saat 50 dakika	Anma gücü	Anma hızı
10 dakika	Rölanti	Rölanti
30 dakika	% 50 Yük	%75 anma hızı
10 dakika	Rölanti	Rölanti
10 dakika	%85 yük	Anma hızı
1 saat 50 dakika	%110 yük	Anma hızı
10 dakika	Shutdown	İki çevrim arası bekleme süresi

Tanımlı diğer bir test ise soğukta çalıştırmadır. Test öncesi motorun en az 12 saat kapalı kalması gereklidir. Daha sonra 1,7 C⁰/35 F⁰'de soğutma sıvısı en az bir saat motor içinde sirküle edilmektedir. Soğutulan motorun en fazla 10 saniye içinde start alması beklenmektedir. Yakıt tüketimi gibi standart testlerin yanı sıra – platform ve motor özelinde gerekli görüldüğü taktirde – şok testi, güvenlik cihazlarının fonksiyonel testleri, yağ buharı kaynaklı basınçlanmalar altında dayanım testi gibi ilave testler de icra edilmektedir.

MIL-E-24455 (1971), ABD Donanmasının ömür ve idame edilebilirlik açısından asgari beklentilerini de özetlemektedir (Tablo 35). Benzer bir tablo, orta hızlı dizeller için tanımlı değildir. Tabloda belirtilen çalışma saati gereksinimi yanında bakım/onarım için tanımlanmış diğer bazı gereksinimler şunlardır:

- Parça ve işçilik maliyeti dâhil overhol maliyeti, satın alma bedelinin %50'sini aşmayacaktır.
- Parça değişimi gerektiren overhol yerinde yapılabilecektir. Standartta, onarıcı personelin desteği ile yerinde bakım/onarım gerektiren (BOS-2) kapsamlı çalışmalar da overhol olarak tanımlanmıştır.
- Blok ve krank mili hasarı hariç herhangi bir onarım için tanımlı azami süre 24 saattir.

Tablo 35 Kritik Çalışma Saatleri (Asgari)

1.000 saat	Asgari seviyede önleyici bakımla tipik bir harp görevini icra edebilecektir.
4.000 saat	Overhol için asgari süre
3.000 saat (Yardımcı dizel) 2.000 saat/yıl (Ana tahrik dizeli) 500 saat (Emercensi)	Yıllık çalışma süresi
24.000 saat	Asgari motor ömrü

12.3 ELEKTRİKSEL GÜÇ TANIMI

Askerî kara araçlarında anma gücü olarak motor iç sürtünme kayıplarından arındırılmış, krank mili çıkışındaki güç kullanılmaktadır. Bu, jeneratör uygulamalarında brüt mekanik güç olarak adlandırılmaktadır. Net alternatör gücü ile brüt mekanik güç arasındaki ilişki örnek tabloda özetlenmektedir.

Tablo 36 Jeneratör Seti Güç Tanımları Örneği

Brüt Motor Gücü	1.100 kW	Motor iç sürtünme kayıplarından arındırılmış, krank mili çıkışındaki güç
Net Motor Gücü	1.045 kW (1.100 * 0,95)	Radyatör ve şarj alternatörü kaynaklı ilave verim kaybı
Net Elektrik Gücü	993 kWe (1.045 * 0,95)	Jeneratör seti çıkışı elde edilen net elektriksel güç (Ortalama verim için genel geçer değer $\eta=0,95$ mertebesindedir.)
Net Alternatör Gücü (kVA)	1.240 kVA (993 / 0,8)	kVA cinsinden elektrik gücü (Güç faktörü ile çarpılarak hesaplanır. Genelde $\cos\phi=0,8$ değerine sahip alternatörler tercih edilmektedir.)

13 ŞEKİLLER

Şekil 1 Karasal Motor vs. Deniz Motoru (Cummins ISB 6.7 ve QSB 6.7)	10
Şekil 2 MTU 2000 ve 4000 Serisi Güç Aralığı	12
Şekil 3 GE LM2500+ (30.200 kW)	14
Şekil 4 Kore PKX Botları ve LM500 Gaz Türbini Modülü	15
Şekil 5 Hibrit Tahrik Sistemli Type-23	17
Şekil 6 Type-23 Fırkateyn Hibrit Tahrik Sistemi	18
Şekil 7 IFEP Uygulaması – Kraliyet Donanması Type-45 Muhripleri	18
Şekil 8 İngiliz Type 45 Gemisi IFEP Sistemi	19
Şekil 9 Her Biri 11 MW, Elektrik Tahrikli Azimut Pervaneleri	19
Şekil 10 Ana Tahrik Dizelleri (MTU)	20
Şekil 11 Dizel Jeneratör Seti (CAT C7.1 dizel motor)	21
Şekil 12 DDG 51 Flight III Gemisinin 4 MW'lık Gaz Türbini Jeneratör Seti (AG9160RF)	21
Şekil 13 MİLGEM'de Kullanılan CODAG Sistemi	22
Şekil 14 U212 Tahrik Sistemi	25
Şekil 15 Yakıt Hücresi ve Yakıt Hücresi Sistemi (16)	25
Şekil 16 Metal Hidrat Hidrojen Tankları, U212	25
Şekil 17 HBT Sistemi Sıvı Oksijen (LOX) Tankı, U212	25
Şekil 18 Gotland Sınıfı Denizaltıların 75kW'lık Kockum Stirling Motoru	27
Şekil 19 Siemens Permasyn™ Motor	27
Şekil 20 MTU 4000 Serisi Denizaltı Motoru	30
Şekil 21 MTU 16V 396 – Önceki nesil denizaltı motoru	31
Şekil 22 MTU 12V 4000 U83 – Yeni Nesil Denizaltı Motoru	31
Şekil 23 MAN D2862 IMO Tier III Egzoz Gazı Arıtma Sistemi (26)	32

Şekil 24 İdeal Hidrojen Yakıt Döngüsü	34
Şekil 25 MAN D2862 Dual Fuel	34
Şekil 26 Dizel vs. Hidrojen (Farklı H2 depolama çözümleri ile)	36
Şekil 27 İdeal Amonyak Yakıtı Döngüsü	36
Şekil 28 Dünyanın İlk Amonyak Yakıtlı Yük Gemisi (2026 için planlanıyor)	37
Şekil 29 İdeal Sentetik Yakıt Döngüsü	38
Şekil 30 İdeal Biyoyakıt Döngüsü	39
Şekil 31 Müşterilerine biyoyakıt alternatifi sunan ilk şirket MSC	39
Şekil 32 Yeni Zelanda'nın İlk Batarya Elektrikli Feribotu	40
Şekil 33 ABB ve Ballard'ın Birlikte Geliştirmekte Olduğu Deniz-Tipi Yakıt Hücresi	41
Şekil 34 Hibritleştirme Çalışmaları Başarısızlık Sonuçlanan USS Truxtun	46
Şekil 35 DDG1000 Zumwalt Sınıfı Muhrip	46
Şekil 36 DDG1000 Zumwalt Sınıfı Muhrip Tahrik Sistemi	47
Şekil 37 Kaveri Marine Gas Turbine	49
Şekil 38 Türkiye Faal Tersane Sayıları (2003 – 2022)	51
Şekil 39 2011-2022 Yılları Arası Teslim Edilen Gemi Sayısı (Adet)	52
Şekil 40 2011-2022 Yılları Arasında Teslim Edilen Gemi Tonajı (bin DWT)	52
Şekil 41 Türk Loydu Tarafından Klaslama Hizmetleri Tamamlanan Gemi Sayısı	53
Şekil 42 ARES 35 FPB Süratli Devriye Botu	54
Şekil 43 Pakistan'a İhraç Edilen MİLGEM	58
Şekil 44 MİLGEM ATS Dizel Seti (2xMTU 16V 595 TE 90) (76)	59
Şekil 45 Yeni Tip Denizaltı Projesi Kapsamında Üretilen İlk Reis Sınıfı Denizaltı	60
Şekil 46 BATU Güç Grubu Altay Tankına Yüklenirken	67
Şekil 47 Özgün 8V160B Motoru	68

Şekil 48 TÜRASAŞ DE24000 Lokomotiflere Güç Veren Yerli TLM Motorlar	69
Şekil 49 TLM 6V'nin Prototipi	70
Şekil 50 Kaynaklı Motor Bloğu	70
Şekil 51 TÜRASAŞ TLM 16V 185 ve Denizaltı Motoru MAN 12 PA4 200SM	71
Şekil 52 Türkiye'de İmal Edilen İlk Dizel Gemi Motoru Sulzer 6AL 20/24	72
Şekil 53 Pendik Sulzer Motor Fabrikası	73
Şekil 54 Pendik Sulzer Motor Fabrikası'nda İmal Edilen Büyük Dizeller	74
Şekil 55 Ford Otosan Ecotorq 7.3 litre ve 9.0 Litre Motorları Baz Alan Arthor Motor	75
Şekil 56 Ecotorq Marine – 12,7 litre	76
Şekil 57 340 kW Tümosan X7.4 ve Entegre Edildiği Çekici Vasıta	76
Şekil 58 ARES – METEKSAN ULAQ-SİDA	77
Şekil 59 S8000 Bazlı Tümosan Deniz Motorları (95 – 105 BG)	77
Şekil 60 BMC Power LEVEND Motor	78
Şekil 61 LEVEND Motorun Entegre Edileceği Marlin SİDA	78
Şekil 62 TLM Motorlu Van Gölü Feribotları	79
Şekil 63 TLM Motoru - Van Gölü Feribotu	79
Şekil 64 MİLGEM Dizel Jeneratör Seti	84
Şekil 65 İkamesi Planlanan MTU 12V 2000 M51B	85
Şekil 66 MTU Alternatifi MAN D2862 LE321 Deniz Tipi Jeneratör	85
Şekil 67 MTU 16V 956	87
Şekil 68 MTU 20V 1163	88

14 TABLOLAR

Tablo 1 Paydaş Katılımı İçin İzlenen Yöntem	7
Tablo 2 Belli Başlı Küresel Deniz Tipi Tahrik Sistemi Üreticileri	9
Tablo 3 MTU Uygulama Grupları	12
Tablo 4 Dizel ve Gaz Türbinli Motorların Kıyaslanması	13
Tablo 5 LM2500 Deniz Tipi Gaz Türbinli Motorları Satış Rakamları (2018 Yılına Kadar)	14
Tablo 6 Bugüne Kadar Yapılmış Tüm LM500 Satışları	15
Tablo 7 Deniz Tipi Hibrit Tahrik Sistemi Sunan Bazı Ana Oyuncular	16
Tablo 8 Deniz Araçları Tahrik Sistemlerinde Temel Bazı Konfigürasyonlar	23
Tablo 9 Avusturalya Dizel Denizaltı İhalesinde HBT Alternatifleri	26
Tablo 10 Denizaltı Dizel Jeneratörleri.....	28
Tablo 11 MTU Denizaltı Dizel Motorları Gelişim Süreci	30
Tablo 12 Yakın Zamanlı Elektrikli Deniz Araçları - Küresel Örnekler	42
Tablo 13 ABD Donanması 30-yıllık Gemi İnşa Planı	45
Tablo 14 ABD Donanması Dizel Motor Envanteri (2007)	48
Tablo 15 2022 Yılında Klaslanan Deniz Araçlarının Tip ve Adetleri	53
Tablo 16 Türk Loydu Tarafından Klaslanan Askerî ve Güvenlik Gemileri Sayısı.....	54
Tablo 17 Askerî ve Sahil Güvenlik Gemileri.....	55
Tablo 18 Sahil G.K.lığı Envanterindeki Motorların Kırılımı	58
Tablo 19 MİLGEM Ana Tahrik Sistemi	59
Tablo 20 Denizaltı Envanteri ve Kullanılan Dizel Motorlar	59
Tablo 21 Reis Sınıfı İtki Sistemi (Yeni Tip Denizaltı Projesi)	60
Tablo 22 Bugüne Kadar İhracat Lisansı Talebinde Bulunulan Sistem Bileşenleri	61
Tablo 23 Yerli Geliştirilmiş Seri İmalat Karasal Dizel Motorlar	62
Tablo 24 Seri İmalata Girmemiş Yerli Geliştirilen Karasal Motorlar	64



Tablo 25 MİLGEM Jeneratörü Olarak Kullanılma Potansiyeli Olan Yerli Motorlar	66
Tablo 26 BATU vs. İthal MİLGEM Jeneratörleri.....	67
Tablo 27 MAN PA4 V 200 SMDS Jeneratör Özellikleri (85).....	72
Tablo 28 Pendik Sulzer Motor Fabrikası'nda İmal Edilen Motorlar (86)	74
Tablo 29 MİLGEM Dizel Jeneratörü Teknik Özellikleri.....	85
Tablo 30 Proje Önerileri ve 2040'a Kadar Toplam İhtiyaç	92
Tablo 31 Millî Dizel Deniz Motorları Yol Haritası.....	93
Tablo 32 Geri Bildirim Talep Edilen Kurum ve Kuruluşlar	95
Tablo 33 Standart Çevresel Koşullar	97
Tablo 34 8-Saatlik Yük Profili (125 Defa Tekrar Edilecek).....	98
Tablo 35 Kritik Çalışma Saatleri (Asgari)	98
Tablo 36 Jeneratör Seti Güç Tanımları Örneği.....	99

15 KAYNAKÇA

1. **STM.** Deniz Platformları Güç Gruplarına İlişkin Geliştirme Yol Haritası ve Teknolojik yapılabilirliği Fizibilite Çalışması. b.y. : STM, 2020. 21Z-RPOR-0000-000024.
2. **Consegic Business Intelligence.** Marine Propulsion Engines Market Forecast 2023 - 2030. Consegic Business Intelligence. [Çevrimiçi] 2022. [Alıntı Tarihi: 17 5 2023.] https://www.consegicbusinessintelligence.com/marine-propulsion-engines-market.CBI_1005.
3. **Slade, Stuart L.** Competing Manufacturers of Marine Gas Turbines. Newtown, CT : Forecast International, 2015.
4. **General Electric.** GE Marine Gas Turbines for Frigates. Cincinnati, Ohio : General Electric, 2018.
5. **Stewart, George.** Commercial Use of Marine Gas Turbines. Navy History. [Çevrimiçi] 21 12 2016. [Alıntı Tarihi: 16 5 2023.] <https://www.navyhistory.org/2016/12/commercial-use-of-marine-gas-turbines/>.
6. **GE Aviation.** LM500 Marine Gas Turbine. [Çevrimiçi] 2023. [Alıntı Tarihi: 11 5 2023.] <https://www.geaerospace.com/sites/default/files/2022-03/LM500-Datasheet.pdf>.
7. —. Republic of Korea Navy PKX High Speed Patrol Boats Powered by Compact GE LM500 Gas Turbines. [Çevrimiçi] GE Aviation, 2017. [Alıntı Tarihi: 12 5 2023.] <https://www.geaerospace.com/sites/default/files/2022-03/PKX-GE-Case-History.pdf>.
8. **Rolls-Royce.** Rolls-Royce. Providing power & propulsion for the demands of today and tomorrow. [Çevrimiçi] 2022. https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/defence/VCOMB3425_Providing_Power_and_Propulsion.pdf.
9. **GE.** Type 45 Destroyer - Daring Class World's First Full Electric Propulsion Combatant Ship. [Çevrimiçi] 28 1 2022. [Alıntı Tarihi: 8 5 2023.] <https://www.gepowerconversion.com/case-study/type-45-destroyer-daring-class-worlds-first-full-electric-propulsion-combatant-ship>.
10. **The Royal Institution of Naval Architects.** Type 45 to get third diesel generator to overcome problems. RINA. [Çevrimiçi] 5 2017. [Alıntı Tarihi: 18 5 2023.] https://www.rina.org.uk/Type_45_to_get_third_diesel_generator_to_overcome_problems.html.
11. **Allison, George.** Type 45 to get third diesel generator to overcome problems. UK Defence Journal. [Çevrimiçi] 10 9 2022. <https://ukdefencejournal.org.uk/type-45-destroyer-propulsion-fix-going-well/>.
12. **Lee, Jen-Chieh ve Shay, Tony.** Analysis of Fuel Cell Applied for Submarine Air Independent Propulsion (AIP) System. Journal of Marine Science and Technology. 2018, Cilt 26, 5, s. 657-666.
13. **Hoffmann, Joachim.** Sinavy SUB PEM-Brennstoffzelle. b.y. : Siemens AG, 9 10 2013.
14. **Topete , Christian, et al., et al.** Fuel Cell Submarine. [Çevrimiçi] 2016. <https://courses.engr.illinois.edu/npre470/sp2018/web/archive/2016-Team-H.pdf>.

15. **Patrick, Rex.** *Future Submarine.* b.y. : Asia Pacific Defence Reporter OCT 2015, 2015.
16. **Lakeman, J B ve Browning, D J.** *The Role of Fuel Cells in the Supply of Silent Power for Operations in Littoral Waters.* Brussels, Belgium : NATO, 2003. RTO-MP-104.
17. *Stirling-cycle engine promises low emissions without add-ons.* **Jan Norbye, Jim Dunne.** 2 1973, *Popular Science*, s. 72-75.
18. **Xuanzun, Liu.** *China develops world's most powerful Stirling engine.* *Global Times.* [Çevrimiçi] 11 2021. <https://www.globaltimes.cn/page/202112/1243157.shtml>.
19. **Lipka, Rafał.** *Poland's 'Orka' submarine program. Part 2. The Scorpène class submarines.* *Pulaski Policy Papers.* 26 9 2017.
20. **Rule, Bruce.** *Technical Information for Active Duty IUSS Analysts, and for Former System Analysts Still Interested.* [Çevrimiçi] 26 8 2014. https://www.iusscaa.org/articles/brucerule/technical_information_for_active_duty_iuss_analysts_and_for_former_system_analysts_still_interested.htm.
21. **von Drathen, Arndt.** *Battery Charging Technologies for Advanced Submarine Requirements.* b.y. : MTU Friedrichshafen GmbH, 9 2011.
22. **Penske Australia.** *MTU's next gen submarine charging engine revealed.* [Çevrimiçi] 2017. <https://penske.com.au/2017/09/27/penske-power-systems-reveal-mtus-next-generation-submarine-charging-engine-pacific-2017/>.
23. **IMO.** *Fourth Greenhouse Gas Study 2020.* Londra : IMO, 2021.
24. **Acumen Research and Consulting.** *Marine Engines Market 2019 Industry Size, Trends and Growth By 2026 - ARC Analysis.* 2019.
25. **McGill, R, Remley, W ve Winther, K.** *Alternative Fuels for Marine Applications.* 2013.
26. **MAN Truck & Bus SE.** *MAN Engines releases first IMO Tier III engines for workboats.* *MAN Truck & Bus SE.* [Çevrimiçi] 14 5 2019. [Alıntı Tarihi: 2 5 2023.] <https://press.mantruckandbus.com/corporate/man-engines-releases-first-imo-tier-iii-engines-for-workboats/>.
27. **IEA.** *Renewables 2021. Analysis and forecasts to 2026.* [Çevrimiçi] IEA, 12 2021. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>.
28. **Transport & Environment.** *Roadmap to decarbonising European shipping.* *Transport & Environment.* [Çevrimiçi] 11 2018. [Alıntı Tarihi: 2 5 2023.]
29. **MAN.** *The Sustainable Hydrogen Propulsion for Work Boats.* *MAN.* [Çevrimiçi] 2022. <https://www.man.eu/engines/en/products/marine/man-dual-fuel-marine-engine.html>.
30. **MAN Truck & Bus SE.** *MAN Dual Fuel Marine Engine.* *MAN.* [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 2 5 2023.]
31. **SSB.** *Kara Araçları Güç Grubu Teknoloji Yol Haritası.* Ankara : SSB, 2023.

- 32. BIS Research.** *Global Military Ground Vehicle Propulsion System Market; Focus on Technology, Vehicle Type, Application, and Region - Analysis and Forecast, 2019-2030.* 2020.
- 33. Volkswagen AG.** *Battery or fuel cell, that is the question.* [Çevrimiçi] 12 2020. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/battery-or-fuel-cell-that-is-the-question-5868>.
- 34. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü.** *Dünya Denizciliğindeki Son Gelişmeler Bülteni.* Ankara : T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022. Bülten.
- 35. Yara.** *Yara Corporate Releases. The world's first clean ammonia-powered container ship.* [Çevrimiçi] 30 11 2023. <https://www.yara.com/corporate-releases/the-worlds-first-clean-ammonia-powered-container-ship/>.
- 36. European Parliament.** *Decarbonising Maritime Transport: The EU Perspective.* 2020.
- 37. MSC.** *MSC Introduces New Biofuel Solution to Help Customers Cut Supply Chain Emissions.* [Çevrimiçi] 15 6 2022. <https://www.msc.com/en/newsroom/news/2022/june/msc-introduces-new-biofuel-solution-to-help-customers-cut-supply-chain-emissions>.
- 38. BloombergNEF.** *Electric Vehicle Outlook 2021.* 2021.
- 39. Eddy, James, Pfeiffer, Alexander ve van de Staaij, Jasper.** *Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe.* b.y. : McKinsey&Company, 2019.
- 40. Ship Technology.** *Future of the Fjords Sightseeing Vessel.* [Çevrimiçi] Ship Technology, 11 5 2020. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.ship-technology.com/projects/future-of-the-fjords-sightseeing-vessel/>.
- 41. Corvus Energy.** *MF AMPERE, The world's first all-electric car ferry.* [Çevrimiçi] Corvus Energy. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://corvusenergy.com/projects/mf-ampere/>.
- 42. Skrederberget, Asle.** *The first ever zero emission, autonomous ship.* [Çevrimiçi] Yara. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/>.
- 43. Kongsberg.** *AUTONOMOUS SHIP PROJECT, KEY FACTS ABOUT YARA BIRKELAND.* [Çevrimiçi] Kongsberg. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/>.
- 44. Østvik, Ivan.** *MF Hydra – world's first LH2 driven ship and the challenges ahead towards zero-emission shipping.* b.y. : Norden, 2021.
- 45. Corvus Energy.** *MF TYCHO BRAHE.* Corvus Energy. [Çevrimiçi] 3 5 2023. <https://corvusenergy.com/projects/tycho-brahe/>.
- 46. Moore, Rebecca.** *ForSea Ferries battery conversion: a 'big little journey'.* [Çevrimiçi] riviera, 9 1 2020. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/forsea-ferries-battery-conversion-a-lsquo-big-little-journeysquo-57394>.

47. Wärtsilä. Wärtsilä HYTug design with hybrid propulsion can meet stringent environmental demands of new Brazilian port. [Çevrimiçi] Wärtsilä, 11 1 2018. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.wartsila.com/media/news/11-01-2018-wartsila-hytug-design-with-hybrid-propulsion-can-meet-stringent-environmental-demands-of-new-brazilian-port-2099351>.

48. —. Reducing emissions through innovative tug design. [Çevrimiçi] 9 2017. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/sd/tugs/w%C3%A4rtsil%C3%A4-hy-tug-series/wartsila-hytug-external-presentation-sept-2017.pdf?sfvrsn=236e6644_8.

49. Quanlin, Qiu. http://www.chinadaily.com.cn/business/2017-11/14/content_34511312.htm. [Çevrimiçi] China Daily, 14 11 2017. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] http://www.chinadaily.com.cn/business/2017-11/14/content_34511312.htm.

50. Marian Boats. M 800 Spyder. [Çevrimiçi] Marian Boats, 2023. [Alıntı Tarihi: 5 5 2023.] <https://marianboats.at/en/elektroboot/m-800-spyder-2/>.

51. Ingenity. NAUTIQUE GS22E. [Çevrimiçi] Ingenity, 2023. [Alıntı Tarihi: 4 5 2023.] <https://ingenityelectric.com/models/nautique-gs22e/>.

52. Alfastreet Marine. Alfastreet Marine. [Çevrimiçi] 2023. [Alıntı Tarihi: 4 5 2023.] <https://alfastreet-marine.com/wp-content/uploads/2020/11/AlfastreetMarine-28-Cabin-Electric-2x10kW.pdf>.

53. Nedstack. Successful Sea Trial Marks H2 Barge 1's first Voyage towards Sustainable Shipping. Nedstack. [Çevrimiçi] 30 5 2023. [Alıntı Tarihi: 16 6 2023.] <https://nedstack.com/en/news/successful-sea-trial-marks-h2-barge-1s-first-voyage-towards-sustainable-shipping>.

54. Yanmar. Hydrogen Fuel Cell System Towards a Carbon Neutral Society. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] https://www.yanmar.com/global/about/technology/vision1/fuel_cell_system/.

55. CSS. CSS. "Here Comes the Hydrogen Boat"! "Three Gorges Hydrogen Boat No. 1" with Technical Support from China Classification Society (CCS) for is Launched. [Çevrimiçi] 28 3 2023. <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/articleDetail?id=202303280227441152>.

56. U.S. Navy Sea Systems Command. Naval Power & Energy Systems Technology Development Roadmap. U.S. Navy Sea Systems Command. 2019.

57. CBO. An Analysis of the Navy's Fiscal Year 2019 Shipbuilding Plan. b.y. : The Congressional Budget Office, 2018. 54564.

58. O'Rourke, Ronald S. Navy Next-Generation Attack Submarine (SSN[X]) Program: Background and Issues for Congress. b.y. : The Congressional Research Service (CRS), 2023.

59. Fletcher, Kristen, et al., et al. Analysis of Pathways to Reach Net Zero Naval Operations by 2050. Monterey, CA : Naval Postgraduate School, 2022. NPS-EAG-22-001.

- 60. Pribyl, Sean T ve Haines, Julia M.** *Future Fuels in the Maritime Sector – Building the Bridge to Hydrogen.* Holland & Knight Energy and Natural Resources Blog. [Çevrimiçi] 16 4 2021. [Alıntı Tarihi: 17 04 2023.] <https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2021/04/future-fuels-in-the-maritime-sector-building-the-bridge-to-hydrogen>.
- 61. U.S. Government Accountability Office.** *Arleigh Burke Class Destroyers: Observations on the Navy's Hybrid Electric Drive Program.* Washington, DC : GAO, 2020.
- 62. Goldstein, Jaron Z. ve George, Jason P.** *Reducing Naval Fossil Fuel Consumption at Sea in the 21st Century.* Monterey, CA : y.y., 2021. MBA Professional Project.
- 63. Indian Navy.** *Indian Naval Indigenisation Plan (INIP) (2015-2030) .* New Delhi : Indian Navy, 2015.
- 64. Ministry of Defence (India).** *Modified Kaveri Engine to Propel Indian Navy Ships.* [Çevrimiçi] Ministry of Defence (India), 17 7 2008. [Alıntı Tarihi: 5 5 2023.] <https://pib.gov.in/newsite/erecontent.aspx?relid=40470>.
- 65. Controller and Auditor General of India.** *CHAPTER V: RESEARCH AND DEVELOPMENT.* New Delhi : Controller and Auditor General of India, 2010.
- 66. GE Aerospace.** *GE Marine and HAL Sign MoU to Explore Expanding Marine Gas Turbine Manufacturing.* [Çevrimiçi] 14 2 2023. [Alıntı Tarihi: 5 5 2023.] <https://www.geaerospace.com/press-release/marine-industrial-engines/ge-marine-and-hal-sign-mou-explore-expanding-marine-gas>.
- 67. Transparency Market Research.** *Marine Engines Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2016 – 2024.* 2016.
- 68. Deniz Ticaret Odası.** *Denizacılık Sektör Raporu.* İstanbul : Deniz Ticaret Odası, 2022.
- 69. OECD.** *Peer Review of the Turkish Shipbuilding Industry.* b.y. : OECD, 2021. C/WP6(2020)11/FINAL.
- 70. Türk Loydu.** *Türk Loydu Çalışma Raporu 2022.* 2022.
- 71. —.** *Türk Loydu Çalışma Raporu 2018.* 2018.
- 72. —.** *Türk Loydu Çalışma Raporu 2019.* 2019.
- 73. —.** *Türk Loydu Çalışma Raporu 2020.* 2020.
- 74. —.** *Türk Loydu Çalışma Raporu 2021.* 2021.
- 75. —.** *Askeri Gemi Klaslama Hizmetleri.* b.y. : Türk Loydu, 2019.
- 76. Ohmayer, Hubert F.** *Propulsion System Choices for Modern Naval Vessels.* Washington : MTU - Application Center Governmental Naval, 2012.
- 77. TÜRASAŞ.** *Ürün Kataloğu.* [Çevrimiçi] <https://www.yumpu.com/en/document/read/6481841/urun-katalogu-tulomsas>.

- 78. —. TLM 16V 185. [Çevrimiçi] 2022. <https://www.turasas.gov.tr/tlm-16v-185>.**
- 79. BMC Power. 4 Silindirli Sıralı Dizel Motor Projesi. [Çevrimiçi] 4 2022. <https://www.bmcpower.com.tr/tr/sayfa/26/4-silindirli-sirali-dizel-motor-projesi>.**
- 80. —. 6 silindirli sıralı dizel motor. [Çevrimiçi] 4 2022. <https://www.bmcpower.com.tr/tr/sayfa/27/6-silindirli-sirali-dizel-motor-projesi>.**
- 81. —. V8 Projesi. [Çevrimiçi] 4 2022. <https://www.bmcpower.com.tr/tr/sayfa/28/v8-projesi>.**
- 82. —. V12 Projesi. [Çevrimiçi] 4 2022. <https://www.bmcpower.com.tr/tr/sayfa/29/batu-projesi>.**
- 83. TÜRASAŞ. TLM 6V 185. [Çevrimiçi] 4 2022. <https://www.turasas.gov.tr/tlm-6v-185>.**
- 84. TÜBİTAK RUTE. Tübitak Özgün 8V160B Lokomotif Motoru. [Çevrimiçi] 2022. https://rute.tubitak.gov.tr/sites/images/rute/mas_ozgun_motor_lv.pdf.**
- 85. MAN Diesel & Turbo. PA4 SM & SMDS Diesel engines for submarines. [Çevrimiçi] MAN Diesel & Turbo, 2022. <https://mandieselturbo.com/docs/default-source/shopwaredocuments/pa4-sm-smdsfba3ca1740b144429518d4e002fd7d6f.pdf?sfvrsn=3>.**
- 86. Penske. MTU'S NEXT GEN SUBMARINE CHARGING ENGINE REVEALED. Penske. [Çevrimiçi] 2017. [Alıntı Tarihi: 10 5 2023.] <https://penske.com.au/2017/09/27/penske-power-systems-reveal-mtus-next-generation-submarine-charging-engine-pacific-2017/>.**
- 87. Bozoğlu, Ali. Bitti Derken Gerçekleşen Pendik Sulzer Motor Fabrikası. Denizhaber. [Çevrimiçi] 12 2 2022. [Alıntı Tarihi: 25 4 2023.] <https://www.denizhaber.com/bitti-derken-gerceklesen-pendik-sulzer-motor-fabrikasi-ve-makina-yuksekk-muhendisi-ali-can>.**
- 88. Can, A. Pendik Sulzer Motor Fabrikası Belgeseli. Denizcilik ve Tersane, 2016.**
- 89. Denizhaber. Kamyon motorundan deniz motoru yaptılar. Denizhaber. [Çevrimiçi] <https://www.denizhaber.com/kamyon-motorundan-deniz-motoru-yaptilar>.**
- 90. Arthor Otomotiv ve Güç Sistemleri A.Ş. Arthor. Tarihçe. [Çevrimiçi] 2023. <https://www.arthor.com.tr/icerik.php?id=1665992837>.**
- 91. SSB. Türk Savunma Sanayii Kataloğu. [Çevrimiçi] 1 2019. <https://www.ssb.gov.tr/urunkatalog/tr/482/#zoom=z>.**
- 92. Kirchberger, Sarah. Hearing on "China's Pursuit of Defense Technologies: Implications for U.S. and Multilateral Export Control and Investment Screening Regimes". USCC. [Çevrimiçi] 13 4 2023. https://www.uscc.gov/sites/default/files/2023-04/Sarah_Kirchberger_Testimony.pdf.**
- 93. de-Troya, J. J., et al., et al. Analysing the possibilities of using fuel cells in ships. International Journal of Hydrogen Energy. 1 2016, Cilt 41, 4, s. 2853-2866.**
- 94. Erin Motor. Endüstriyel Dizel Motor. [Çevrimiçi] 2022. <https://www.erinmotor.com/Content/Upload/products/endustriyel-dizel-motor-pdf-712796a6-49c2-4759-99b9-e5a8d74e7487.pdf>.**

95. Allied Market Research (AMR). *Marine Diesel Engine Market by Engine System (Low Speed, Medium Speed, and High Speed) and By Type (2 Stroke and 4 Stroke) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2028.* 2021.

96. ReportLinker. *Marine Engines Market by Power 000 HP, Vessel, Fuel, Engine, Type And Region - Global Forecast to 2025.* 2020.

97. Safety4Sea. *EPA announces \$46m funding to drop diesel engines emissions.* [Çevrimiçi] 2021. <https://safety4sea.com/epa-announces-46m-funding-to-drop-diesel-engines-emissions/>.

98. Guimond, David P. . *Single Naval Fuel At-Sea Diesel Engine Impact Study.* Philadelphia, PA : Naval Surface Warfare Center, 2007. NSWCCD-98-TR-2004/22.

99. Yapıcı, Murat. *Türkiye’de Gemi Dizel Motor Üretiminin Uluslararası Kurallara Uygunluk Açısından Araştırılması.* İstanbul : T.C. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 2019. Yüksek Lisans Tezi.

100. Corvus Energy. *Karoline.* [Çevrimiçi] Corvus Energy. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://corvusenergy.com/projects/karoline-2/>.

101. Blich, Vibeke. *Norway’s first fishing boat with an electric motor.* [Çevrimiçi] Skipsrevyen, 15 2 2018. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://www.skipsrevyen.no/aktuelt/norges-forste-fiskebat-med-elmotor/387925>.

102. Corvus Energy. *Corvus Energy to provide energy storage for shore stations to charge Fjord1 electric ferries.* [Çevrimiçi] Corvus Energy, 30 5 2018. [Alıntı Tarihi: 3 5 2023.] <https://corvusenergy.com/corvus-energy-to-provide-energy-storage-for-shore-stations-to-charge-fjord1-electric-ferries/>.

103. HySeasIII. *HySeasIII.* [Çevrimiçi] 3 5 2023. <https://www.hyseas3.eu/>.

104. Naval Technology. *Type 39 / Song Class Attack Submarine.* Naval Technology. [Çevrimiçi] 15 4 2010. [Alıntı Tarihi: 16 6 2023.] <https://www.naval-technology.com/projects/songclasssubmarine/>.

105. Henan Diesel Engine Industry Co. Ltd. *620 Series Marine Main Engine. HND.* [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 30 5 2023.] <http://www.hnd.com.cn/docs/2022-06/70455728f7504f2e9cc91f2db9b078c4.pdf>.

106. Renk GmbH. *RENK Marine Propulsion Systems.* Augsburg : Renk GmbH, 2021.

107. T.C. Cumhurbaşkanlığı Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Kurulu. *Motor Teknoloji Yol Haritası Teknolojik Hedefler ve Sektörel Uygulamalar.* 2021.

108. OTEP. *Yerli Motor Stratejisi Eylem Planı Raporu.* 2014.



16 KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AIP	Air Independent Propulsion System
ATS	Ana Tahrik Sistemi
ATD	Ana Tahrik Dizeli
BG	Beygir Gücü (1 metrik BG veya PS 735,49875 Watt'a eşittir.)
CODAD	Combination of Diesel and Diesel
CODAG	Combination of Diesel and Gas Turbine
CODLAD	Combination of Diesel Electric and Diesel
CODLAG	Combination of Diesel Electric and Gas Turbine
CODLOD	Combination of Diesel Electric or Diesel
CODLOG	Combination of Diesel Electric or Gas Turbine
CODOD	Combination of Diesel or Diesel
CODOE	Combination of Diesel or Electric
CODOG	Combination of Diesel or Gas Turbine
COGAG	Combination of Gas Turbine and Gas Turbine
COGLAG	Combination of Gas Turbine Electric and Gas Turbine
COGLOG	Combination of Gas Turbine Electric or Gas Turbine
CPP	Controllable Pitch Propeller
CTS	Cadet Training Ship
Dz.K.K.lığı	T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı
ELD	Entegre Lojistik Destek
EM	Elektrik Motoru
CPP	Fixed Pitch Propeller
DDD	Devir Düşürücü Dişli
DWT	Detveyt Ton (Deadweight ton)
GG	Güç Grubu
HBT	Havadan Bağımsız İtki Sistemi (AIP)
IEP	Integrated Electrical Propulsion, IFEP

IFEP	Integrated Fully Electrical Propulsion, IEP
IMO	International Maritime Organization
İDA	İnsansız Deniz Aracı
İYM	İçten Yanmalı Motor
LCM	Landing Craft Mechanized (Mekanize Çıkarma Gemisi)
LCT	Süratli Amfibi Gemi
LCVP	Landing Craft, Vehicle, Personnel (Araç ve personel çıkarma gemisi)
LDG	Lojistik Destek Gemisi
LST	Landing Ship, Tank (Amfibi Tank Çıkarma Gemisi)
LHD	Landing Helicopter Dock (Çok Maksatlı Amfibi Hücum Gemisi)
MİLGEM	Millî Gemi Ada Sınıfı Korvet
MKÜ	Motor Kontrol Ünitesi
MPEC	Marine Environment Protection Committee
kW	Kilovat, SI güç birimi (1 kW 1,36 metrik beygir gücüne eşittir.)
kWh	Kilovatsaat, enerji birimi (1 kWh, 3.600 kilojoule'e eşittir [3,6 megajoules]).
KURYED	Kurtarma ve Yedekleme Gemisi
Nm	Newton Metre (SI tork birimi)
OPV	Offshore Patrol Vessels
PEM	Proton Değişim Membranlı Yakıt Hücresi
PMSM	Kalıcı Mıknatıslı Senkron Elektrik Motoru
RAHAT	Rafta Hazır Ticari
SAHİL G.K.	T.C. İçişleri Bakanlığı Sahil Güvenlik Komutanlığı
SİDA	Silahsız İnsansız Deniz Aracı
STM	STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
TGM	T.C. Millî Savunma Bakanlığı Tersaneler Genel Müdürlüğü
SSB	T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı
YD	Yardımcı Dizel
YTKB	Yeni Tip Karakol Botu



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
CUMHURBAŞKANLIĞI

SAVUNMA SANAYİİ
BAŞKANLIĞI

MİLLÎ DİZEL DENİZ MOTORLARI YOL HARİTASI

SONUÇ RAPORU

TASNİF DIŞI

NİSAN 2024

T. C. Cumhurbaşkanlığı
Savunma Sanayii Başkanlığı
Devlet Mahallesi Süleyman Emin Caddesi No:6-7
06420 Çankaya / Ankara / Türkiye

Motor ve Güç Aktarma Sistemleri Daire Başkanlığı