

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PIYADE TİPİ TEKNELERDE ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yakup Serhad ÇELİK**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PIYADE TİPİ TEKNELERDE ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yakup Serhad ÇELİK**

**(508111026)**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL**

**MAYIS 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508111026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yakup Serhad ÇELİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PİYADE TİPİ TEKNELERDE ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ OPTİMİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. O. Azmi ÖZSOYSAL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:** **Dr. Öğr. Üyesi Yalçın ÜNSAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Serhan GÖKÇAY** .....  
Piri Reis Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2019**

**Savunma Tarihi : 24 Mayıs 2019**





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Çalışma süresince deneyimleri ve bilgisi ile beni yönlendirdiği, beni motive ettiği ve bana daima zaman ayırdığı için danışmanım Sayın Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL'a teşekkürü borç bilirim.

Tüm iş hayatım ve tez hazırlama sürecim boyunca gösterdiği destek için değerli arkadaşım, abim Emre ŞAHİN'e şükranlarımı sunarım.

Her şart ve durumda yanımda olup desteğini benden esirgemeyen eşim Burcu ÇELİK ve kızım İkra Nil ÇELİK'e, her zaman beni motive eden, güçlendiren, bana doğru yolu gösteren babam Hüseyin ÇELİK'e, annem ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Yakup Serhad ÇELİK  
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	3
1.3. Sınırlar.....	5
1.4. Hipotez .....	6
<b>2. GEMİ TANIMLARI VE DİRENCİ.....</b>	<b>7</b>
2.1. Gemi Tanımları .....	7
2.1.1. Gemi ağırlık tanımları .....	7
2.1.2. Gemi ana boyutları .....	8
2.1.3. Gemi narinlik katsayıları .....	10
2.2. Gemi Direnci .....	11
2.2.1. Sürtünme direnci .....	12
2.2.2. Artık direnç.....	13
2.2.3. Hava direnci.....	13
2.2.4. Toplam gemi direnci.....	13
2.3. Çekme Direnci ve Efektif Güç .....	14
<b>3. DİZEL MOTORLU TAHRİK SİSTEMİ .....</b>	<b>17</b>
3.1. Giriş.....	17
3.2. Dizel Motorlar .....	17
3.2.1. Endüstrideki önemi ve kullanımı.....	17
3.2.2. Avantajları ve dezavantajları .....	18
3.2.3. Dizel motorların gemilerdeki uygulamaları .....	19
3.2.3.1. Doğrudan bağlama.....	20
3.2.3.2. Devir düşürücü ile bağlama .....	20
3.2.3.3. Dizel-jeneratör sistemi.....	21
3.3. Dizel Motorlu Tahrik Sistemi Tasarımı .....	22
3.3.1. Dizel motor ve devir düşürücü seçimi.....	22
3.3.2. Pervane tasarımı .....	24
3.3.2.1. Kavitasyon kontrolü.....	27
3.3.2.2. Pervane seçimi .....	31
3.3.2.3. W B 3.50 pervanesinin optimum devri.....	31
3.3.3. Hatz Diesel 1D41C motorunun teknik verileri.....	32

3.3.4. Tüketim ve emisyon hesaplamaları .....	34
3.3.4.1. Görev profili.....	35
3.3.4.2. Hesaplamalar.....	36
<b>4. BATARYA ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ.....</b>	<b>37</b>
4.1. Giriş .....	37
4.2. Batarya Elektrikli Tahrik Sisteminin Avantajları .....	38
4.2.1. Verimlilik.....	38
4.2.2. Çalışma ve boшта bekleme performansı .....	39
4.2.3. Tork dalgalanması ve gürültü .....	39
4.2.4. Tork aralığı .....	40
4.2.5. Enerji tasarrufu .....	41
4.2.6. Ağırlık dağılımı .....	41
4.3. Batarya Sistemi.....	41
4.3.1. Batarya terminolojisi .....	43
4.3.2. Batarya paketi .....	44
4.3.2.1. Lityum-iyon piller.....	45
4.3.2.2. Lityum-iyon pil kullanım riskleri.....	47
4.4. Batarya Elektrikli Tahrik Sistemi Tasarımı.....	49
4.4.1. Elektrikli motor seçimi .....	49
4.4.2. DC/DC çevirici seçimi.....	51
4.4.3. Devir düşürücü oranı .....	52
4.4.4. Batarya konfigürasyonunun belirlenmesi .....	52
4.4.4.1. Batarya kapasitesinin belirlenmesi .....	52
4.4.4.2. Pil seçimi.....	53
4.4.4.3. Pillerin birbirine bağlantısı .....	56
4.4.4.4. Busbar kalınlığının belirlenmesi.....	58
4.4.4.5. Batarya paketinin soğutulması .....	58
<b>5. DİZEL VE BATARYA ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMLERİNİN</b>	
<b>KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>61</b>
5.1. Yatırım Maliyetleri .....	62
5.2. Operasyon Maliyetleri .....	63
5.3. Bakım Maliyetleri.....	63
5.4. Amortisman Hesabı .....	64
<b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>73</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>89</b>

## **KISALTMALAR**

GRT	: Brüt olarak gemi tonajı
NRT	: Net olarak gemi tonajı
TBT	: Trubitil kalay
IMO	: International Maritime Organization
TBMM	: Türkiye Büyük Millet Meclisi
WB	: Wageningen B
EMK	: Elektro motor kuvveti
BG	: Beygir gücü
WL	: Su hattı
BOL	: Beginning of life
EOL	: End of life
SOH	: State of health



## SEMBOLLER

$\nabla$	: Deplasman Hacmi
$\Delta$	: Deplasman
$\rho$	: Su yoğunluğu
$L_{OA}$	: Tam boy
$L_{WL}$	: Su hattı boyu
$L_{BP}$	: Dikeyler arası boy
$T$	: Su Çekimi
$B_{WL}$	: Su hattı genişliği
$L_{OS}$	: Batık Boy
$L_P$	: Paralel gövde boyu
$L_E$	: Giriş boyu
$L_R$	: Çıkış boyu
$B_M$	: Kalıp genişliği
$D$	: Derinlik
$f$	: Fribord
$C_B$	: Blok katsayısı
$C_M$	: Orta kesit katsayısı
$C_P$	: Boyuna prizmatik katsayı
$C_{WL}$	: Su alanı katsayısı
$R$	: Direnç kuvveti
$C$	: Direnç katsayısı
$A_S$	: Gövde ıslak alanı
$R_F$	: Teknenin sürtünme direnci
$C_F$	: Yüzey sürtünme direnci katsayısı
$R_R$	: Artık direnç
$C_R$	: Artık direnç katsayısı
$R_A$	: Hava direnci
$C_A$	: Hava direnci katsayısı
$R_T$	: Toplam gemi direnci
$V$	: Gemi hızı

$EHP_g$	: Efektif gemi gücü
$P_D$	: Pervaneye verilen güç
$V_g$	: Gemi servis hızı
$P_B$	: Motor gücü
$n_m$	: Motor devir sayısı
$\xi$	: Devir düşürme oranı
$n_p$	: Pervane devir sayısı
$V_A$	: Pervaneye gelen suyun ortalama hızı
$B_P$	: Güç katsayısı
$\eta_s$	: Şaft verimi
$w$	: İz katsayısı
$t$	: İtme azalması
$D_{opt}$	: Optimum pervane çapı
$\delta$	: İlerleme sabiti
$EHP_p$	: Efektif pervane gücü
$\eta_t$	: Toplam verim
$\eta_r$	: Bağlı dönme verimi
$\eta_h$	: Tekne verimi
$\eta_o$	: Açık su pervane verimi
$\gamma$	: Tuzlu su yoğunluğu
$\rho$	: Suyun özgül kütlesi
$p_{atm}$	: Atmosferik basınç
$p_v$	: Buharlaşma basıncı
$H_d$	: Omurgadan pervane yüksekliği
$\sigma$	: Ortalama kavitasyon sayısı
$V_r$	: Suyun rölatif hızı
$p_{st}$	: Referans noktadaki statik basınç
$p_h$	: Derinlik basıncı
$T_p$	: Pervane itmesi
$V_d$	: Pervane dönme hızı
$A_p$	: Pervane kanadı izdüşüm alanı
$A_d$	: Kavitasyon göstermeyecek minimum yayılım alanı
$a_E$	: Pervane açılım alanı
$H/D_p$	: Hatve – çap oranı



$D_p$	: Pervane çapı
$H$	: Pervane hatvesi
$N_{pil_{seri}}$	: Seri bağlı pil sayısı
$V_{motor}$	: Nominal motor gerilimi
$V_{pil_{nom}}$	: Nominal pil gerilimi
$V_{cev_{(maks.)}}$	: Maksimum çevirici çıkış gerilimi
$V_{cev_{(min.)}}$	: Minimum çevirici çıkış gerilimi
$V_{pil_{(maks.)}}$	: Maksimum pil gerilimi
$V_{pil_{(min.)}}$	: Minimum pil gerilimi
$V_{cev_{çıkış}}$	: Çevirici çıkış gerilimi
$P_{cev_{çıkış}}$	: Çevirici çıkış gücü
$P_{motor}$	: Elektrik motorunun mekanik gücü
$\eta_m$	: Elektrik motorunun verimi
$\eta_{cev}$	: Çevirici verimi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Deplasman, dedveyt ve hafif ağırlık arasındaki ilişki. ....	8
Çizelge 3.1 : $LWL = WL$ 3,5 için gemi gücü, $EHPg$ değerleri [2-4]. ....	23
Çizelge 3.2 : $LWL = WL$ 5,0 için gemi gücü, $EHPg$ değerleri. ....	23
Çizelge 3.3 : Servis hızını karşılayacak hız aralıkları.....	25
Çizelge 3.4 : $LWL = WL$ 3.5 için pervanelerin kaviteasyon kontrolü. ....	30
Çizelge 3.5 : $LWL = WL$ 5.0 için pervanelerin kaviteasyon kontrolü. ....	30
Çizelge 3.6 : $LWL=WL3.5$ için optimum pervane hesabı sonuç değerleri. ....	31
Çizelge 3.7 : $LWL=WL5.0$ için optimum pervane hesabı sonuç değerleri. ....	31
Çizelge 3.8 : <i>PropCalc</i> girdi bilgileri. ....	32
Çizelge 3.9 : Hatz Diesel 1D41C motorunun teknik verileri. ....	33
Çizelge 3.10 : Motor performans tablosu. ....	34
Çizelge 3.11 : Yakıt tüketim ve emisyon tablosu. ....	36
Çizelge 4.1 : Pil teknolojileri ve özellikleri. ....	42
Çizelge 4.2 : Piyade teknelerde kullanılabilir elektrikli motorlar.....	50
Çizelge 4.3 : Çevirici özellikleri. ....	51
Çizelge 4.4 : Batarya kapasitesinin hesaplanması. ....	53
Çizelge 4.5 : Batarya için pil seçimi [26]. ....	54
Çizelge 4.6 : Batarya için pil seçimi [26]. ....	55
Çizelge 5.1 : Pil harici batarya paketi bileşenlerinin maliyetleri. ....	62
Çizelge 5.2 : Yıllık dizel tahrik sistemi bakım maliyeti. ....	64
Çizelge 5.3 : Tahrik sistemlerinin yatırım ve yıllık maliyetleri.....	65
Çizelge 5.4 : Amortisman analizi. ....	65



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Turistik amaçlı kullanılan bir Piyade tipi tekne görseli. ....	5
Şekil 2.1 : Bir geminin ana boyutları. ....	9
Şekil 2.2 : Narinlik katsayıları. ....	11
Şekil 2.3 : Toplam gemi direnci. ....	14
Şekil 3.1 : Dizel motor – pervane bağlantısı. ....	19
Şekil 3.2 : Dizel motor – pervane doğrudan bağlama. ....	20
Şekil 3.3 : Dizel motor – pervane devir düşürücü ile bağlama. ....	21
Şekil 3.4 : Dizel – jeneratör sistemi. ....	22
Şekil 3.5 : $BP - \delta$ diyagramlarının kullanımı. ....	24
Şekil 3.6 : Maksimum güçteki tork eğrisi. ....	33
Şekil 3.7 : Motor yakıt tüketim eğrisi. ....	34
Şekil 4.1 : Batarya elektrikli tahrik sistemi şeması. ....	38
Şekil 4.2 : Benzinli ve dizel motorlu araca ait tork ve güç eğrileri. ....	40
Şekil 4.3 : Elektrik motorlu araca ait tork ve güç eğrileri. ....	40
Şekil 4.4 : Farklı malzemelerden üretilmiş bataryaların risk karşılaştırması. ....	43
Şekil 4.5 : Küçükten büyüğe enerji depolama üniteleri. ....	44
Şekil 4.6 : Farklı pil tiplerinin enerji yoğunluğu. ....	45
Şekil 4.7 : Lityum-iyon pil geometrileri. ....	45
Şekil 4.8 : Lityum-iyon prizmatik pil üretim aşamaları. ....	46
Şekil 4.9 : Şarj durumunda iyon ve elektron hareketi. ....	46
Şekil 4.10 : Deşarj durumunda iyon ve elektron hareketi. ....	47
Şekil 4.11 : Isıl sürüklenme esnasında ani sıcaklık artışı. ....	48
Şekil 4.12 : Sıcaklığa bağlı olarak yaşanmadaki değişim. ....	48
Şekil 4.13 : Elektrikli motor bağlantı şekli. ....	50
Şekil 4.14 : Batarya paketi bileşenleri. ....	56
Şekil 4.15 : Örnek bir busbar modeli. ....	57
Şekil 4.16 : Modüller arası busbar bağlantıları. ....	57
Şekil 4.17 : Batarya paketi soğut sistemi devresi. ....	59
Şekil 5.1 : Dizel ve batarya elektrikli tahrik sistemi konfigürasyonları. ....	61
Şekil A.1: WL 3.5 için W B 3.35 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	73
Şekil A.2: WL 3.5 için W B 3.50 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	73
Şekil A.3: WL 3.5 için W B 3.65 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	74
Şekil A.4: WL 3.5 için W B 4.40 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	74
Şekil A.5: WL 3.5 için W B 4.55 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	75
Şekil A.6: WL 3.5 için W B 4.70 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	75
Şekil A.7: WL 3.5 için W B 4.85 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	76
Şekil A.8: WL 3.5 için W B 4.100 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	76
Şekil A.9: WL 5.0 için W B 3.35 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	77
Şekil A.10: WL 5.0 için W B 3.50 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	77
Şekil A.11: WL 5.0 için W B 3.65 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	78

<b>Şekil A.12:</b> WL 5.0 için W B 4.40 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	78
<b>Şekil A.13:</b> WL 5.0 için W B 4.55 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	79
<b>Şekil A.14:</b> WL 5.0 için W B 4.70 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	79
<b>Şekil A.15:</b> WL 5.0 için W B 4.85 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	80
<b>Şekil A.16:</b> WL 5.0 için W B 4.100 optimum pervanesinin dizayn eğrileri. ....	80
<b>Şekil B.1:</b> Kapak sayfası. ....	81
<b>Şekil B.2:</b> Motor dizayn ve karakteristik bilgileri. ....	82
<b>Şekil B.3:</b> Teknik bilgiler. ....	83
<b>Şekil B.4:</b> Kurulum bilgileri. ....	84
<b>Şekil B.1:</b> Ana boyutlar. ....	85
<b>Şekil C.1:</b> Dizel ürüne ait ürün spesifikasyon tablosu. ....	86
<b>Şekil F.1:</b> Elektrik güncel fiyatları (Erişim tarihi: 03 Mayıs 2019). ....	87
<b>Şekil G.1:</b> Pil fiyatlarının adetlere göre değişimi. ....	88



## PIYADE TİPİ TEKNELERDE ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ OPTİMİZASYONU

### ÖZET

Piyade tipi balıkçı tekneleri, özellikle Ege ve Akdeniz'in birleşme yeri olan Köyceğiz Gölü havzasında, denizden 10 millik bir açıklığa kadar ve bölgenin iç sularında balıkçılar ve son zamanlarda özellikle bölgenin yoğun turist almasıyla gezi tekneleri olarak turizm gezi acenteleri tarafından kullanılmaktadır. Ağaç malzemeden üretilen bu teknelerin boyları 7-12 m arasında değişmektedir. Teknelerin geometrisi yaklaşık 100 senelik bir süreç sonunda günümüzdeki halini almıştır.

Bu çalışma ile Piyade teknelerinin, zengin biyolojik çeşitliliğe ve hassas ekosisteme sahip çalışma sahalarına zarar vermeden turizm faaliyetleri ve balıkçılık için kullanımına devam edebilmesi adına elektrikli tahrik sistemine dönüştürülmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca piyade tipi bir teknede olması istenen hareket kabiliyetini yerine getirebilmek için tasarlanan elektrikli ve dizel tahrik sistemine ait tüm hesaplamalar ve modellemeler de paylaşılmıştır. Köyceğiz-Dalyan Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırları içerisinde 500'ün üzerinde kayıtlı Piyade tipi tekne olmasına rağmen bu çalışma için kullanılacak amortisman hesaplamalarında, çalışma süreleri ve rotalarının belli olması sebebiyle Akyaka Bölgesi'nde Kadın Azmağı Nehri'nde kullanılan 23 adet tekneye odaklanılarak bu hesaplamalar yapılmış, böylelikle bu çalışmanın bir diğer çıktısı olarak bu bölgedeki tekne sahiplerinin (şahıs veya kooperatif) ne kadarlık bir yatırım ile bu dönüşümü yapılabileceği, yaklaşık işletme maliyetleri ve çevreye nasıl bir katkı sağlayacakları hakkında fikir sahibilerinin sağlanması hedeflenmiştir.

İlk bölüm, tezin açıklaması niteliğindedir. Tezin amacı, bugüne kadar yapılmış elektrikli tekne uygulamaları, tez çalışmasında yaptığımız kabuller ve sınırlardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde gemi mühendisliğinde yapılacak hesaplamaların temelini oluşturan gemi tanımları, katsayılar, direnç ve direnç bileşenleri hakkında açıklayıcı bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde dizel motorlar hakkında bilgiler verilip daha sonra dizel tahrikli sevk sisteminin açıklaması ve tasarımı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde batarya elektrikli tahrik sistemi hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca Piyade sınıfı tekneler için elektrikli tahrik sistemi tasarımı yapılmıştır. Beşinci bölümde ise dizel ve elektrikli tahrik sistemlerinin maliyetleri çıkartılarak ekonomik yönden karşılaştırmaları yapılmıştır. Son olarak sonuç bölümünde elektrikli sistemin maliyet açısından uzun dönemde avantajlı olduğu ortaya konulmuştur ve Piyade teknelere uygulanmasının öneminden bahsedilmiştir.





## **ELECTRIC PROPULSION SYSTEM OPTIMISATION FOR INFANTRY TYPE OF FISHING BOATS**

### **SUMMARY**

Infantry type of fishing boats are used especially in the K oyceğiz lake, which is in the joint of Aegean and Mediterranean Sea, by fishers as a fishing vessel and for touristic tours for millions of domestic and foreign tourists. In this way, this type of boats has become the main source of living for local community in that region. These boats are made of wooden and have length between 7-12 meter. Their construction is formed by talented boat constructors in their own shipyards over hundreds of years without using any scientific calculation method and reached finally today's form. When investigating their hydrodynamic form, it can be clearly seen that the experiences of boat constructors defined after several trial and errors enabled this type of fishing boats to have today's form which is quite efficient.

Dalyan and Akyaka towns in K oyceğiz region were visited to determine the boat type which will be used in this study. There were made inquiries with the boat owners and captains about the infantry type of fishing boats working in the region and their condition of uses. Although more than 500 pieces of infantry type of fishing boats are registered in this region, 23 pieces of infantry type of fishing boats were focused for this study to narrow down the study in a particular area where all boats work in the same conditions. All of the boats working in this region have diesel engine propulsion system.

The reason of this study is to provide motivation regarding the conversion of the boat propulsion system, which is used in the Akyaka area, from diesel propulsion system to battery electrical propulsion system and to show the boat owners that this conversion will be advantageous in terms of financial benefits in addition to natural contribution. The reason of this study was generated as a result of the observations made during the visit of the K oyceğiz region such as damage of the environment and endangering the living creatures on the edge of extinction due to using of diesel engine propulsion system.

The model test results which has been made for the previous thesis studies were exploited for the following calculations in this study. The required values in the former thesis studies were taken and the values for 10 meters long infantry type of fishing boat were calculated by the help of geometrical similarity rules and they were used as a starting point. Afterwards, diesel engine propulsion system concept design study for 10 meters long infantry type of shipping boats were made by assuming the service speed as 6 knots. This pre-concept study includes diesel engine, reduction gear and propeller selections. The selection of propeller includes the systematic analyses which is used to specify the most optimal propeller by using several calculation steps.

Electric propulsion systems have become attractive for the maritime sector after especially the developments lived in automotive industry and predictions by looking

at the idea of electric engine to replace with electric engine and producing the electric with renewable energy sources

The selection of electric engine able to give the same brake power were made, the battery system able to supply the electric engine throughout the day were defined, the cells will be used in battery pack were selected and the type of connection between the cells and modules were determined so as to meet electric motor demand.

In the last section of the study, the cost analysis was made for diesel and battery electric propulsion systems based on the pre-concept design study results. This cost analyses were divided into three categories. These are investments, operating expenditures and maintenance costs.

When comparing the two systems in terms of initial investment costs, it is seen that battery electrical propulsion system is approximately 16000 \$ more expensive than diesel engine propulsion system. The main reason of this huge difference is because of high cell costs in the battery. As result of that, it is obvious that the ratio of battery pack prices in the battery electric propulsion system will decrease in a huge manner.

Operational expenditures were calculated by considering the fuel consumption of diesel engine for diesel engine propulsion system and battery capacity for battery electric propulsion system. When comparing the two systems in terms of operational costs, it is seen that the annual costs of battery electrical propulsion system is approximately 2000 \$ cheaper than diesel engine propulsion system. On the other hand, when considering the increase of fuel costs over the past decade, it is obvious that electrical propulsion systems with renewable energy source will be much more advantageous in the near future.

When comparing the two systems in terms of maintenance costs, it is seen that the annual maintenance cost of battery electrical propulsion system is approximately 1000 \$ more expensive than diesel engine propulsion system. However, only oil, oil filter and fuel filter changes mentioned in diesel engine maintenance catalog were taken into account when calculating the annual costs of diesel engine propulsion system. The potential engine failures such as alternator changes or maintenance of fuel injectors were not considered. On the other hand, despite of not being a specific maintenance cost for battery electric propulsion system out of periodic controls, the cells in the battery need to be changed after 3500 cycle which was given by the cell supplier. That's why, the cells are expected to live out of live in roughly 12 years and work no longer in compliance with Beginning of Life. The cost of cell change was added to annual maintenance costs by dividing the cells' total costs to the total expected life as defined. No other proposals out of cell change costs were found in the literature for battery pack maintenance costs. Similarly, no information is found in automotive sector to determine annual maintenance costs of battery pack used in automotive sector.

It is assumed that the lifetime of propulsion systems to be 25 years in amortisation analyses. According to this analyses, battery electric propulsion system is expected to be economically more profitable after 17 years. In this amortisation period, the declines in cell prices by the help of advanced technology and the increment in fuel prices because of decreasing sources in the world were ignored. In addition to that, the costs of battery electric propulsion systems are less than diesel engine propulsion system when excluding initial investments.

The component costs used in the calculation were taken from internet and they are unit prices. If the electrical conversion is applied to all boats working in Kadın Azmağı River, the demand in the count of cells and other components would increase 23 times more and as a result of that, a remarkable decrease is expected in the total prices. In other words, if getting in contact with cell suppliers and having quotation for electric propulsion system required for 23 pieces of boats, it is clear that the prices will decrease remarkably.

The disadvantages of high initial investments of the battery electrical propulsion system can be defeated by sponsorships and incentives given by government authorities for protecting the environment.

One other advantages of electrical propulsion system is the environmental attainments. While an infantry type of fishing boat using diesel engine propulsion system causes daily 683,2 gr CO<sub>2</sub> and 23,17 gr NO<sub>x</sub> emission, the electrical propulsion system works with zero emission. As a result of this, natural beauties and clean environment can be protected which are the main outcomes of having such a huge tourist population in that region. Additionally, the electric engine are silent and this will have made a huge contribution to increase the number of the endangered eurasian kingfisher birds which lives in the Köyceğiz region.



## 1. GİRİŞ

Bu bölümde bu tez çalışmasını yapmaktaki motivasyonumuz, batarya elektrikli tahrik sisteminin gemi uygulamalarındaki örnekleri, tez içeriğinde bulunan ön tasarım hesaplamalarını ilerletebilmek için yapılan varsayımlar ve hipotezimizden bahsedilecektir.

### 1.1. Motivasyon

Hava kirliliğinin son zamanlarda hızlı artışı ile birlikte doğa ağır bir tahribata uğramıştır. Bu durumun dünya üzerinde yarattığı değişim ve ekolojik bozulma insanlık ve diğer tüm canlılar için tehlikeli bir boyuta ulaşmıştır. Konu uluslararası camiada birçok platformlarda ana gündem maddesi olmuştur. Bu platformlarda hava kirliliğinin temel sebepleri tespit edilmiş ve bu etkenlerin sebep oldukları çevre katliamının azaltılması için alınması gereken önlem paketleri, yapılması gereken çalışmalar çıkartılmıştır. Birçok ülke bu konuda kendilerine ödevler çıkartmış, değişik sektörlerde kısıtlayıcı tedbirlerin alınması için birtakım kurallar getirilmiştir [1].

Bu durumun uygulamada sebep olduğu zorlukları en az mali külfetle aşabilmek için gerekli teknolojiyi üretmek adına yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri, havayı kirleten unsurların başında yer alan içten yanmalı dizel ya da benzinli motorlara bir takım ek sistemler getirmiştir veya elektrik motorlu araçların bir alternatif olarak doğmasına sebep olmuştur. Böylelikle son yıllarda kara taşımacılığında yüzde yüz elektrikli ve hibrit araçlar trafikte sıkça görülmeye başlanmıştır. Hatta bazı marketlerde ki farklı dinamiklerin etkisiyle yüzde yüz elektrikli araçtan ziyade hidrojen yakıtlı araçlar (*fuel cell cars*) emisyon azaltma hedeflerinin bir sonucu olarak araç üreticileri tarafından satışa sunulmuştur.

Üretim adetlerinin kara taşımacılığına kıyasla çok daha az olması, deniz taşımacılığında kullanılan fosil yakıtlardan dolayı oluşan hava kirliliğinin insanlar üzerindeki etkisinin kara taşımacılığına göre azlığı, gemilerle gidilen rotanın genellikle uzun ve belirsiz olması dolayısıyla şarj sorunu, iki liman arasında geçirilen sürenin çokluğu gibi bazı temel sebeplerden ötürü deniz taşımacılığında, elektrikli güç

kaynaklarının ve enerji depolama ünitelerinin kullanımına başlanması gecikmiştir. Kara taşımacılığında getirilen zorlayıcı çevresel tedbirler bu alanda teknolojinin öncü olmasını sağlarken aynı teknolojinin denizcilik sektörüne transferi yukarıda saydığım sebeplerden ötürü biraz zaman almıştır.

Son zamanlarda elektrikli karayolu taşıtlarında özellikle enerji depolama ünitelerinde yakalanan teknolojik gelişmeler sayesinde elektriğin deniz taşıtlarının tahrik sistemlerinde, özellikle kısa mesafe çalışan deniz taşıtlarında kullanımının önü açılmıştır. Böylelikle çevre kirliliğine karşı hassas olunması gereken sularda ve kısa mesafeli taşımacılığın yapıldığı bazı şehir içi deniz taşımacılığı uygulamalarında kullanılmak üzere hidrojeni yakıt olarak kullanan yakıt pilleri ile üretilen elektriğin veya elektriğin depolandığı bataryanın enerji kaynağı olarak kullanıldığı küçük ve orta boyutta elektrik motorlu tekneler üretilmeye başlanılmıştır.

Bu tez çalışması daha önce yapılan piyade tipi balıkçı tekneleri araştırmalarına ait çalışmaları [2-5] kaynak olarak kullanmıştır. Yapılan çalışmada, gerekli tüm değerleri ve şartları sağlayacak dizel ve elektrikli sevk sistemlerinin modellenmesi, yatırım maliyetleri, birbirlerine göre emisyon ve ekonomik açıdan avantajları ortaya konulmuştur. Yapılan tez çalışmasının toplamda 500'den fazla sayıda ve boyları 7 ile 12 metre arasında değişen piyade teknelerin elektrikli tahrik sistemi dönüşümlerine referans olacak bir çalışma olması hedeflenmiştir. Böylelikle Köyceğiz-Dalyan bölgesindeki yüksek emisyon, gürültü ve sınıra atıkları sebebiyle su kirliliğine sebep olan patpat motorlu sevk sistemleri yerine sıfır emisyonlu, sessiz, suyu kirletmeyen ve bu özellikleriyle gezi tekneleriyle yapılan turistik faaliyetlerinin çevreye zarar vermeden sürdürülebilir kılınmasını sağlayan, diğer turistik ve doğal güzellikleri görmek amaçlı turlar yapan gezi teknesi sahiplerine örnek olabilecek, çevreci çalışma modellerine referans olabilecek bir çalışma olması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada ki öncelikli amaç daha önce piyade tekneler ile ilgili yapılan tez çalışmalarından [2-5] alınan bilgilerden hareketle 10 metre boyunda Piyade teknelere Elektrikli Tahrik Sistemi'nin modellenmesini yapmak, sistem elemanlarının kapasitesini belirlemektedir. Daha sonra dizel tahrik sistemi ile elektrikli tahrik sisteminin karşılaştırması yapılacaktır. Bu hedefleri gerçekleştirirken, aşağıdaki başlıklarda belirtilen çalışmalarda yapılmış olacaktır:

- Dizel tahrik sistemi tasarımı

- Elektrikli tahrik sistemi tasarımı
- Elektrikli tahrik sisteminde kullanılacak teknolojinin tanımı
- Dizel ve elektrikli sistemin karşılaştırılması
- Amortisman süresi

## 1.2. Literatür Araştırması

Kara taşımacılığına göre çok daha düşük adetlerde de olsa Duffy Electric Boat Company (US) 1970 yılların başından bugüne kadar 10000 adet üzerinde küçük elektrikli tekne inşa etmiştir [6]. Avrupa’da bulunan Torqeedo şirketi ise 2005 yılından bu yana birçok elektrikli sevk ve tahrik sisteminin üretiminde bulunmuştur. Daha büyük boyutta, İtalyan merkezli Fincantieri şirketi Amerika-İtalya ortaklığı yakıt pili (fuel cell) üreticisi Nuvera ile birlikte toplamda 8 adet yakıt pilinin bulunduğu ve aynı zamanda dışardan şarj edilebilen bir elektrik motorlu sevk ve tahrik sistemi programına 2013 yılında başlamıştır [7].

Norveçli Fjellstrand tersanesi, denizcilik uygulamalarına batarya üreten Corvus Enerji ve Siemens ile birlikte 80 metre boyunda 2 adet 450 kW elektrik motorundan beslenen, 1460 kWh kapasiteli ve 224 adet modülden oluşan batarya paketine sahip Norveç Fiyortlarında çalışacak bir feribot üretmiştir. Ayrıca bu feribotun çalışacağı her limanda çok hızlı şarj edilebilen istasyonlar kurmuşlardır. Benzer şekilde 2015 yılında da elektrik tahrikli MF Ampere gemisi Norveç’te seferlerine başlamıştır [8].

Tüm bu gelişmeler ışığında çevrenin korunmasının önem arz ettiği sularda, tarihi ve turistik bölgelerde, liman içi ulaşımlarda elektrikli araçlar Avrupa’da ve bazı çevre korumasının önem verildiği bölgelerde temiz ulaşım yöntemi olarak ön plana çıkmaya başlamıştır. Eğer sorunsuz, uzun dönem hizmet edebilecek bir sistem konfigürasyonu oluşturulursa özellikle Venedik gibi tarihi ve turistik şehirler başta olmak üzere bu alanda dünya üzerinde bir büyüme gerçekleşmesi olasıdır.

Venedik’te ekonomi, mimari yapılar, kültürel miras ve çevreyi ilgilendiren konularla ilgili yapılacak araştırma faaliyetlerini yönetmek üzere üniversiteler ve bazı gönüllü teknoloji şirketleri tarafından Corilla isimli konsorsiyum kurulmuştur [9]. Bu konsorsiyum son zamanlarda Venedik’in artan turist sayısının gerektirdiği yoğun su yolu trafiğinin yarattığı kirliliğe önlem olarak elektrikli deniz yolu ulaşımının yaygınlaştırılması gerektiğine karar vermiştir. Konsorsiyum ilk adım olarak şehir içi ulaşımda kullanılmak üzere bir veya daha fazla sayıda elektrikli teknenin dizayn ve

üretimini yapacakları bir plan oluşturulmuştur. Bu şekilde çevreci uygulamaların devlet eliyle kontrol altında olduğu ve devlet tarafından Ar-ge ve üretim aşamalarında kullanılmak üzere devletin teşvik sağlandığı benzer bir çalışma Türkiye’de Piyade teknelerin yaygın olduğu Dalyan-Köyceğiz bölgesinde de uygulanmıştır.

Köyceğiz gölü ve bu gölü besleyen onlarca büyüklü küçüklü su kanalları ile birlikte Dalyan Kanalları zengin biyolojik çeşitlilik ve hassas bir ekosisteme sahiptir. Dünyada doğal olarak denizle buluşan 7 gölden birisidir. Ayrıca Kaunos Antik Kenti, İztuzu Kumsalı ve Kaya Mezarları ile bölge İngiliz The Times Dergisi tarafından 2008 yılında Avrupa’nın En İyi Korunan Antik Alanı olarak da tescillenmiştir.

Bölge her geçen yıl barındırdığı doğal güzellikleri ve tarihi yapıları görmek isteyen çok fazla sayıda turist tarafından ziyaret akınına uğramaktadır. Bu güzellikleri görmek isteyen ziyaretçiler, Köyceğiz gölü ve bu göle dökülen su kanallarında seyreden ve bölge halkının önemli bir geçim kaynağını oluşturan Piyade tekneleri ile yapılan gezi turlarına katılmaktadırlar. Bu teknelerin bölgenin hassas güzelliğine, barındırdığı bitki türlerine ve canlı yaşamına zarar vermeden çalışmalarına devam etmesi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı öncülüğünde 2011 yılında “Yenilenebilir Kaynaklı Elektrik Motorlu Tekne Sistemi Projesini başlatmıştır. [10] Proje kapsamında Köyceğiz Gölü ve Dalyan Kanalları üzerinde fosil yakıtla çalışan ve patpat diye tabir edilen yüksek emisyon oranına sahip, aşırı gürültülü dizel motorlar yerine çevre dostu elektrikli motorlu sistemlere dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Piyade tipi bir tekne ile turistik amaçlı yapılan bir tura ait görsel aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Ancak günümüzde kara ve deniz araçlarında enerji depolama ünitesi olarak kullanılan batarya teknolojisinin o gün gelebildiği seviye açısından piyade teknelerinde kullanımının zorluğu, bu çalışma ile önerilen lityum iyon piller yerine o gün dönüşümü yapan şirket tarafından en optimum çözüm olarak seçilen akülerin enerji depolama ünitesi olarak yakalayabildiği verim, dönüşümü yapılan teknelerde karşılaşılan problemlere karşı çözüm bulunması konusunda teknik destek yetersizliği, arıza sıklığının fazla oluşu ve arıza giderilene kadarki süreçte teknenin limandan ayrılamayışı sebebiyle yaşanan maddi kayıplar, tekne enerji depolama ünitelerinin hızlı bir şekilde kapasitesinin düşmesi ve gün içinde yapılan sefer sayısındaki azalma [11], maddi kayıplar vb. sebeplerden ötürü tekne sahipleri mevcut dizel tahrikli teknelerinin elektrikliye sevk sistemine dönüştürülmesi konusunda motivasyonunu



kaybetmesine sebep olmuş ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sponsorluğunda başlatılan proje ile hedeflenen planlar askıya alınmıştır.



**Şekil 1.1 :** Turistik amaçlı kullanılan bir Piyade tipi tekne görseli.

Son 4 yılda batarya fiyatlarında %60-70'lere varan bir düşüş gerçekleşti. Ve bu düşüşün gün geçtikçe artması da beklenmektedir [12]. Batarya teknolojisinin gelişmesiyle birlikte fiyattaki düşüslere paralel olarak bataryalarda güç ve enerji yoğunluğu, bataryanın ömrü (*çevrim sayısı*), güvenliği artmaktadır. Tüm bu teknolojik gelişmeler konvansiyonel bataryalarla mümkün olmayan yeni marketler ve uygulamalara yer açmıştır.

### **1.3. Sınırlar**

Bu analizde kullanılan tekne direnç dataları, dizel motor seçimi, kullanılan pervaneye ait bilgiler daha önce yapılan tez çalışmalarından alınmıştır. Bu çalışma ile bir özet olarak dizel motor seçimi ve pervane tasarımına ait bilgiler ayrıca verilmiştir.

Teknenin hızı, günde yaptığı sefer sayısı, sefer süresi gibi bilgiler tekne sahiplerinden alınmıştır. Elde edilen sonuçlar 10 metre Piyade tekneye aittir. Farklı boylarda, farklı sürelerde hizmet eden, farklı sularda çalışan piyade tekneler için sonuçlar değişkenlik gösterebilir.

Dizel motor yakıt tüketimi bilgisi daha önce yapılan çalışmalarda belirlenen motorun kataloğundan alınmıştır. Bölgede yapılan incelemelerde; teknelerde kullanılan motorların seçimi, pervane tasarımı, devir düşürme oranları gibi sevk sistemi açısından çok önemli parametrelerin bir bilimsel dayanağı olmadığı, tecrübeyle belirlendiği fark edilmiştir. O yüzden bu tez çalışmasında karşılaştırması yapılacak olan elektrikli ve dizel tahrik sistemi elemanları sistematik analiz sonuçlarına göre belirlenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır.

Tekne titreşimi ve gürültüsünde yapılan iyileştirmeler tamamıyla elektrik motorunun bir avantajıdır ve subjektif bir değerlendirmenin sonucudur. Bu konuda nümerik bir çalışma yapılmamıştır.

Hava koşulları ve akıntı hızındaki değişim çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

#### **1.4. Hipotez**

Piyade tipi 10 metre boyunda bir tekne için dizel motor tahrikli sevk sistemi optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra dizel motorlu tahrik sisteminin optimizasyonu aşamasında seçilen pervaneye ve belirlenen motor gücü ve tork değerlerine sadık kalınarak elektrikli tahrik sistemi optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra her iki sistemin ekonomik ve çevresel açıdan karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tezin bir sonucu olarak elektrikli tahrik sisteminin kullanıldığı piyade teknelerin hem çevresel etkiler hem de 25 yıllık bir tekne ömür süreci için ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

## 2. GEMİ TANIMLARI VE DİRENCİ

Bu bölümde genel gemi tanımları, gemi direnci, gemi direncinin bileşenleri ve efektif gücün tanımları ile tezin daha sonraki bölümlerinde yapacağımız ön tasarım hesaplamalarında kullanacağımız bazı formüller aktarılacaktır.

### 2.1. Gemi Tanımları

Bu tez çalışmasının gemi inşaatı mühendisleri tarafından kullanılan hesap yöntemlerinden faydalanarak ortaya koyduğu batarya elektrikli tahrik sisteminin dizel motorlu tahrik sistemine göre çevresel ve ekonomik yönden daha avantajlı olduğu gerçeğini sadece gemi inşaatı mühendisleri tarafından değil Piyade tekne kaptanları veya sahipleri, bu teknelerin çalışmasıyla ilgilenen kooperatifler, çevre ve turizm resmi idareleri vs. açısından da anlaşılması ve sonuçların özendirici olması hedeflenmiştir. O yüzden çalışmanın bu kısmında tezin hitap ettiği tüm kesimler tarafından anlaşılır olması için gemi ağırlık tanımları, gemi ana boyutlarının tanımları ile gemi narinlik katsayıları anlatılacaktır.

#### 2.1.1. Gemi ağırlık tanımları

Geminin yüzdüğü su hattının altında kalan toplam hacme **Su Altı Hacmi** ( $\nabla$ , *Displacement Volume*) denir. Gemi deplasman hacmi veya su altı hacmi hesaplanırken su altındaki bileşenler de dikkate alınmalıdır.

Bir geminin **Deplasmanı** ( $\Delta$ , *Displacement*) ise geminin toplam ağırlığı olup yüzdüğü su hattında yer değiştirdiği suyun ağırlığına eşittir ve  $m^3$  birimi ile de ifade edilmesi mümkündür. Geminin yüzdüğü su hattının altında kalan toplam hacmin bilinmesi durumunda deplasman tonajı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir;

$$\Delta = \nabla \times \rho \quad (2.1)$$

Burada  $\nabla$  deplanman hacmini,  $\rho$  ise suyun yoğunluğunu göstermektedir.

**Boş ağırlık**, bir geminin yakıt, yolcu, kargo, su ve benzeri bileşenlerin/eşyaların bulunmadığı asıl ağırlığına karşılık gelmektedir. **Dedveyt** ise, bu bileşenlerin/eşyaların toplam ağırlığıdır. Bu durumda dedveyt aşağıdaki denklem ile de ifade edilebilir.

$$Dedveyt = Deplasman - Boş Ağırlık \quad (2.2)$$

Bu arada, “ton” kelimesi her zaman aynı ağırlığı ifade etmez. Metrik tonun (1.000 kg) yanı sıra, “uzun ton” olarak da bilinen İngiliz tonu (1.016 kg) veya “kısa ton” (907 kg) da ağırlığı ifade etmek için kullanılır.

Bazen, dedveyt tonajı ayrıca geminin tasarım taslağına atıfta bulunabilir. Çizelge 2.2, geminin yer değiştirmesi ile dedveyt tonajı arasındaki temel kural ilişkisini göstermektedir.

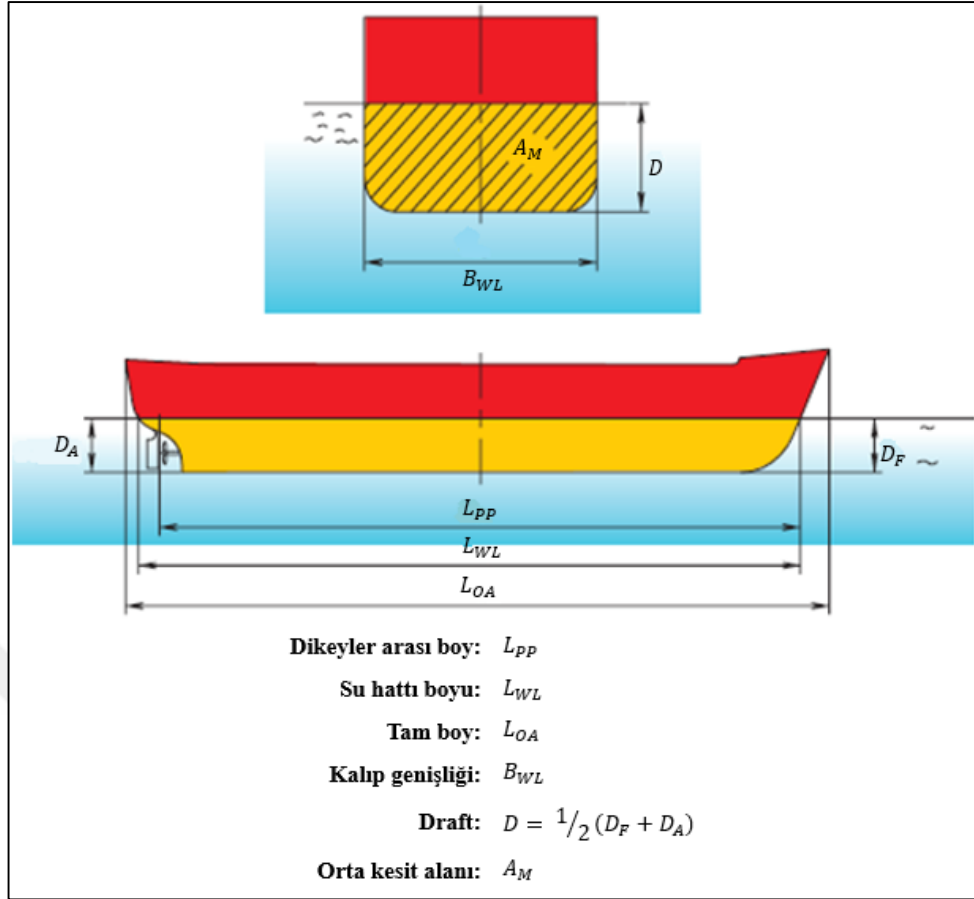
**Çizelge 2.1** : Deplasman, dedveyt ve hafif ağırlık arasındaki ilişki.

<b>Gemi Tipi</b>	<b>Dedveyt / boş ağırlık oranı</b>	<b>Deplasman / dedveyt oranı</b>
Tanker ve kuru yük taşıyıcı	6	1,17
Konteyner gemisi	2,5-3,0	1,33-1,40

Burada ayrıca belirtmek gerekir ki gemiler için “gros tonaj” (GRT) ve “net tonaj” (NRT) gibi farklı ağırlık kavramları da vardır. Burada 1 NRT = 100 İngiliz fit küp veya 2.83 m<sup>3</sup> ‘tür. Bu ölçümler için verilen kurallara uygun olarak geminin iç hacminin boyutunu ifade eder ve liman ve kanal aidatlarını / ücretlerini hesaplamak için yaygın olarak kullanılır.

### **2.1.2. Gemi ana boyutları**

Tekne geometrisini tanımlamada kullanılan genel boyutsal parametreler Şekil-2.1 ‘de gösterilmiştir.



**Şekil 2.1 :** Bir geminin ana boyutları.

**Tam Boy** ( $L_{OA}$ , *Length Overall*): Tekne başta ve kıçta en uç noktaları arasındaki yatay uzaklıktır [13].

**Su Hattı Boyu** ( $L_{WL}$ , *Length of Waterline*): Teknenin tasarım su hattında yüzerken başta ve kıçta su ile temas eden en uç noktaları arasındaki yatay uzaklıktır.

**Dikeyler Arası Boy** ( $L_{BP}$ , *Length Between Perpendiculars*): Baş ve kıç dikeyler arasındaki uzaklıktır ve genel olarak aşağıdaki denklemde olduğu gibi ifade edilir:

$$L_{BP} = 0,97 \times L_{WL} \quad (2.3)$$

**Su Çekimi** ( $T$ , *Draught*): Su hattından sudaki en derin olan gövdenin o noktasına kadar dikey mesafe olarak tanımlanır. Baş su çekimi  $T_F$ , ve kıç su çekimi  $T_A$  tekne yüklü durumdayken aynı değerdedir.

**Su Hattı Genişliği** ( $B_{WL}$ , *Breadth of Waterline*): Teknenin yüzdüğü su hattında ve en geniş kesitinde sancak ve iskele bordaları arasındaki yatay uzaklıktır [13].

**Batık Boy** ( $L_{OS}$ , *Length Overall Submerged*): Teknenin tasarım su hattı altında kalan kısmında başta ve kıçta en uç noktalar arasındaki yatay uzaklık olup yumru başlı teknelerde önem kazanan bir boy değeridir.

**Paralel Gövde Boyu** ( $L_P$ , *Parallel Body Length*): Tekne ortasında orta kesitin hiçbir değişikliğe uğramadan uzandığı bölge boyudur [13].

**Giriş Boyu** ( $L_E$ , *Length of Entrance*): Baş dikeyden paralel gövdeye kadar olan mesafedir [13].

**Çıkış Boyu** ( $L_R$ , *Length of Run*): Kıç dikeyden paralel gövdeye kadar olan mesafedir [13].

$$L_{BP} = L_R + L_P + L_E \quad (2.4)$$

**Kalıp Genişliği** ( $BM$ , *Moulded Breadth*): Teknenin en geniş kesitinde sancak ve iskele bordaları arasındaki yatay uzaklıktır [13].

**Derinlik** ( $D$ , *Depth*): Tekne ortasında temel hattı ile ana güverte arasındaki düşey uzaklıktır [13].

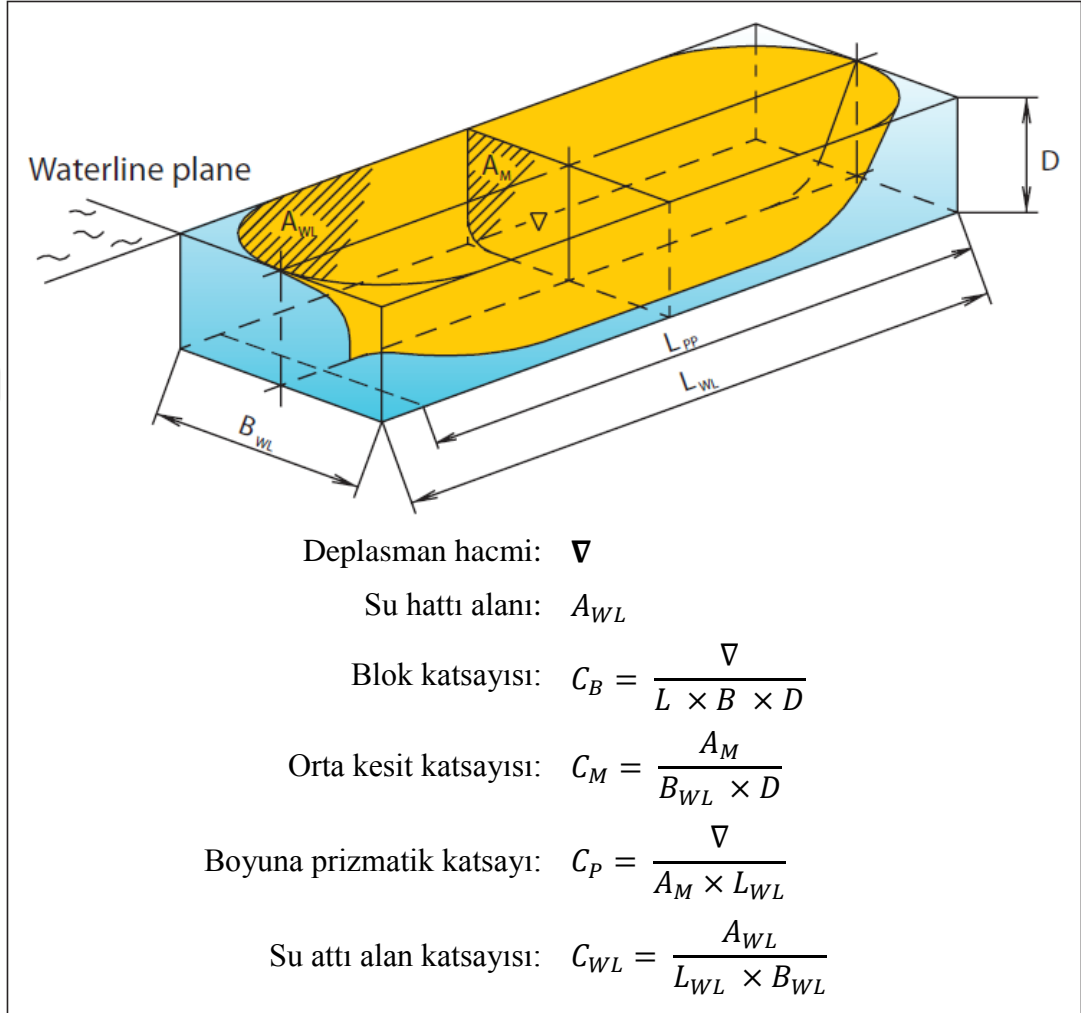
**Fribord** ( $f$ , *Freeboard*): Tekne ortasında tasarım su hattı ile ana güverte arasındaki düşey uzaklıktır. Fribord derinlik ile su çekimi arasındaki farka eşittir [13].

### 2.1.3. Gemi narinlik katsayıları

Gemilerin değişik tipleri arasında bir karşılaştırma yaparken, kullanılacak ölçülerin boyutsuz olması değerlendirme açısından çok önemlidir. Bundan dolayı gemilerin narin ve dolgun olduklarını belirtmek için boyutsuz bazı katsayılar kullanılır. Geminin enine kesitlerine, su hatlarını ve hacmini belirtmek amacıyla kullanılan boyutsuz katsayılara narinlik katsayıları denir. Bu katsayılar, tekne narinlik katsayısı (blok katsayısı), orta kesit narinlik katsayısı, su hattı narinlik katsayısı, prizmatik katsayı ve düşey prizmatik katsayı şeklinde beş farklı isimle bilinirler. Ön tasarım aşamasında gemilerin direnç, güç ve denizcilik özelliklerinin belirlenmesinde de narinlik katsayıları yararlıdır.

Gemiler boş, tam yüklü veya bunların arasında herhangi bir yükleme durumunda farklı su hatlarında yüzerler. Ancak geminin narinlik katsayısı denilince tam yüklü halde geminin yüzdüğü su hattı ve gemi orta kesiti için hesaplanan değerler anlaşılır. Su hatlarını, gemi enine kesitlerini ve yüklü su altı hacmini belirleyen narinlik katsayıları

boyutsuz olup sayısal olarak 1'den büyük olamazlar. Narinlik katsayısı, 1'e ne kadar yakın değere sahip ise gemi o derece dolgun, 1'den ne kadar küçük ise o kadar narin bir tekneyi tanımlar. Şekil 2.2'de narinlik katsayıları formüllerle ifade edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.2 : Narinlik katsayıları.

## 2.2. Gemi Direnci

Bir gemiyi hareket ettirmek için, ilk önce direncin, yani itiş gücüne karşı çalışan kuvvetin üstesinden gelmek gerekir. Bu direnç ise özellikle gemi hızına, deplasmanına ve gövde formuna bağlıdır. En genel halde gemi direnci üç bileşene ayrılabilir;

- i. Sürtünme direnci
- ii. Artık direnç
- iii. Hava direnci

Sürtünme ve artık dirençlerin etkisi, gövdenin ne kadarının su hattının altında kaldığına, hava direncinin etkisi ise geminin ne kadarının su hattının üzerinde olduğuna bağlıdır.

Bilindiği üzere bir akışkan içerisinde hareket eden cismin yüzeyine akışkan tarafından bir dinamik basınç etkimektedir ve bu basınç Bernoulli kanunu ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\text{Dinamik basınç} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad (2.5)$$

Bu basınç değeri birim alana etkiyen kuvvet olduğundan cisme etkiyen toplam kuvvet cismin akışkan ile temas halindeki yüzey alanı kullanılarak hesaplanabilir. Sonuçta ulaşılmak istenen direnç kuvveti olduğu için hesaplanan referans kuvvet boyutsuz direnç katsayısı ile çarpılarak direnç kuvveti elde edilmiş olur.

Bu durumda R direnç kuvvetini, C direnç katsayısını ve  $A_S$  gövde ıslak alanını temsil etmek üzere, gemiye etkiyen toplam direnç kuvveti aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanabilir.

$$R = C \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A_S \quad (2.6)$$

### 2.2.1. Sürtünme direnci

Teknenin sürtünme direnci  $R_F$ , gövdenin ıslak alanının  $A_S$  boyutuna ve belirli bir yüzey sürtünme direnci katsayısı  $C_F$ 'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$R_F = C_F \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A_S \quad (2.7)$$

Sürtünme, gövdenin korozyon veya deniz yosunları gibi çeşitli nedenlerle kirlenmesiyle artar. Yüzey kirlenmesi bazı özel boyalar kullanılarak önlenabilir. TBT (*tributil kalay*) içeren boyalar bu amaçla pazarda onlarca yıldır kullanılmaktadır, ancak IMO 'nun 1 Ocak 2003'ten itibaren yeni başvurularda TBMM yasağı ve 1 Ocak 2008'den itibaren tam olarak yasaklaması ile bakır bazlı alternatif boyaların kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Sürtünme direnci, toplam gemi direncinin önemli bir kısmını oluşturur. Genellikle düşük hızlı gemilerde (dökme yük gemileri ve tankerleri) geminin toplam direncinin %70-90 'ına ve yüksek hızlı gemilerde (yolcu gemileri) ise geminin toplam direncinin %40'ına karşılık gelmektedir.



### 2.2.2. Artık direnç

Artık direnç  $R_R$ , dalga direncini ve girdap direncini içerir. Dalga direnci, geminin suyu itme sırasında yarattığı dalgaların neden olduğu enerji kaybını belirtirken, girdap direnci (*veya eddy direnci*), özellikle geminin kıç tarafında girdap oluşturan akış ayrılmasından kaynaklanan enerji kaybını ifade eder.

Düşük hızlarda dalga direnci, hızın karesiyle orantılıdır, ancak daha yüksek hızlarda çok daha hızlı artar. Bu durum bir hız bariyerinin oluşacağı anlamına gelir, böylece geminin itme gücünün daha da artması, tüm güç dalga enerjisine dönüştürüleceği için daha yüksek bir hıza ulaşılmasına engel olur.

Bu arada, sığ sular artık direnç üzerinde de büyük bir etkiye sahip olabilir, çünkü gemi altındaki yer değiştirilen su, geriye doğru hareket etmekte daha fazla zorluk çekecektir. Genel olarak sığ su derinliği gemi su çekimi yüksekliğinden 10 kat fazla olduğunda artık direnç üzerinde bir etkisi olmayacaktır.

Geminin artık direnci  $R_R$ , gövdenin ıslak alanının  $A_S$  boyutuna ve belirli bir artık direnç katsayısı  $C_R$  'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$R_R = C_R \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A_S \quad (2.8)$$

Artık direnç katsayısı  $C_R$  hesaplanması için özel yöntemler literatürde mevcuttur.

### 2.2.3. Hava direnci

Sakin havalarda, hava direnci, geminin hızının karesiyle ve geminin su hattı üzerindeki kesit alanıyla orantılıdır. Hava direnci normalde toplam direncin yaklaşık %2'sini temsil eder.

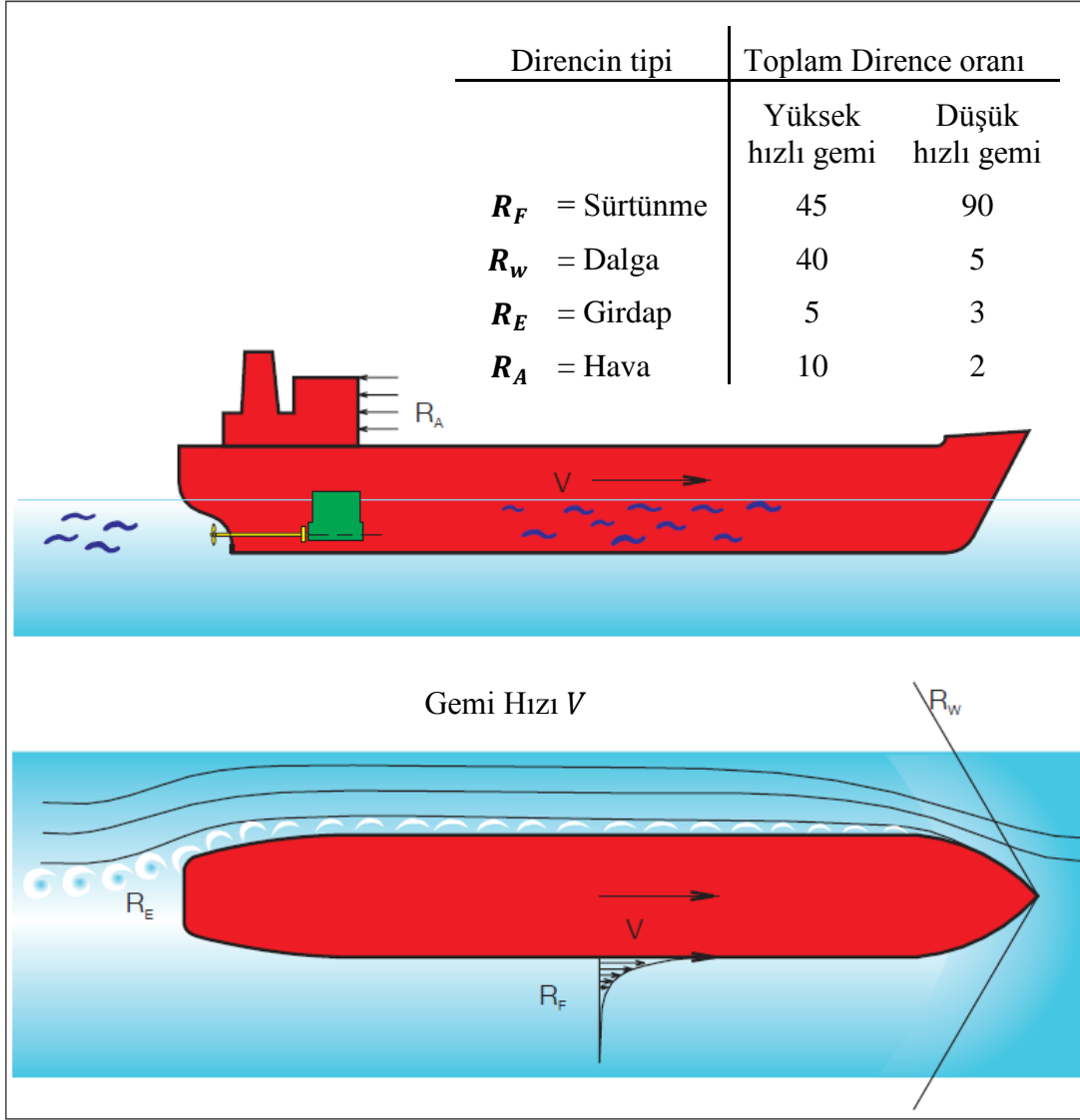
Hava direnci diğer dirençler gibi hesaplanmasına rağmen, havanın dinamik basınç değerinin %90 'ı alınarak hesaplamalar yapılmaktadır.

$$R_A = C_A \times \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times V^2 \times A_{air} \quad (2.9)$$

Burada  $\rho_{air}$  hava yoğunluğunu,  $\rho_{air}$  ise gemi su üzerinde kısmının kesit alanını temsil etmektedir.

### 2.2.4. Toplam gemi direnci

Toplam gemi çekme direncinin  $R_T$  dağılımı, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi belirtilebilir;



Şekil 2.3 : Toplam gemi direnci.

Genel olarak tüm dirençler, hızın karesiyle orantılıdır, ancak daha yüksek hızlar için, dalga direnci, toplam direncin daha yüksek bir kısmını içerir ve daha hızlı bir eğimle artar.

### 2.3. Çekme Direnci ve Efektif Güç

Bir geminin toplam çekme direnci yukarıda bahsedilen sürtünme, artık ve hava dirençlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$R_T = R_F + R_R + R_A \quad (2.10)$$

Bu durumda gemiyi suyun içinde hareket ettirmek, yani gemiyi  $V$  hızında çekmek için gerekli olan efektif gemi gücü  $EHP_g$ , ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$EHP_g = V \times R_T \quad (2.11)$$

Bununla birlikte, gemiyi V hızında hareket ettirmek için pervaneye ( $P_D$ ) verilen güç, daha büyüktür. Bu, özellikle, pervane etrafındaki akış koşullarından ve pervane verimliliğinden kaynaklanmaktadır, bunların etkileri, bir sonraki bölümde anlatılacaktır.





### **3. DİZEL MOTORLU TAHRİK SİSTEMİ**

Piyade tipi teknelerin yoğun olarak kullanıldığı Köyceğiz – Dalyan bölgesinde yapılan gözlemler sonucunda bu teknelerin ağırlıklı olarak dizel motor ile tahrik edildiği ve tekne sahiplerinin bu teknelerin tahrik sistemlerinin kapasitelerinin belirlenmesi konusunda sahip oldukları bilgilerin bilimsel yöntemlerle belirlenenden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Piyade tipi teknelerde dizel motorlu tahrik sisteminin anlatılacağı bu bölümün kapsamı bölge ziyaretleri sırasında yapılan gözlemler sonucu belirlenmiştir.

#### **3.1. Giriş**

Bu bölümde öncelikle dizel motorlara ilişkin endüstrideki önemi, kullanım alanları, avantajları-dezavantajları ve gemilerdeki uygulamaları hakkında bilgiler verilecektir. Bölümün devamında başka bir tez çalışmasından referans olarak alınan servis hızı ve model deney sonuçları gibi bilgiler kullanılarak yine başka bir tez çalışmasından alınacak hesaplama metodolojisi aracılığı ile dizel motor ve devir düşürücü seçimi ve optimum pervane tasarımı yapılacaktır.

#### **3.2. Dizel Motorlar**

Tez çalışmasının bu kısmında dizel motorların endüstri için önemi ve kullanım alanlarından, diğer içten yanmalı motor tiplerine kıyasla avantaj ve dezavantajlarından bahsedilecektir. Ayrıca bağlantı yöntemi olarak dizel motorların gemi uygulamalarında kullanımını kısaca ifade edilecektir.

##### **3.2.1. Endüstrideki önemi ve kullanımı**

Endüstride amaç, mal ve hizmet üretimini ve yapılan işleri kısa zamanda, daha ucuza ve emniyetle yapmaktır. Bu nedenle teknolojinin de gelişmesiyle buhar makinesinin yerini dizel motorları almıştır. Dizel motorları kullanımının artması ise ekonominin gelişmesine olanak sağlamıştır. Örneğin, ülkemizin limanlarına giren ve çıkan gemi sayısı 1954 yılında 3726 iken, bu sayı 2001 yılında 20431'e ulaşmıştır. Ülkemizde kamyon sayısı 1933 yılında 2.561 iken bu sayı 2004 yılında 647.296'e çıkmıştır. Bu

sayılar dizel motorlarının endüstri için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Günümüzde endüstrinin birçok dalında dizel motorları kullanılmaktadır. Bu dalların önemli olanlarını ve kullanılma nedenlerini şöyle sıralayabiliriz: Yakıtının ucuzluğu, yakıt tüketiminin azlığı ve benzin motorlarına göre daha güçlü olmaları nedeniyle; kamyon, otobüs, traktör, yol ve yapı makinelerinde, 50.000 kW güce kadar üretilibilmeleri nedeniyle yolcu ve yük gemilerinde buz kırıcı gemilerde ve denizaltılarda, buhar makinesine göre üstünlükleri nedeniyle lokomotif ve mototrenlerde, ekonomik olmaları nedeniyle sabit güç gereksinmesi olan yerlerde, örneğin; jeneratörlerde, yağhanelerde, su pompalarında, maden işleri ve kereste üretiminde kullanılmaktadır.

### **3.2.2. Avantajları ve dezavantajları**

Dizel motorlarının endüstride kullanılma alanlarının artması belirli avantajları nedeniyle olmuştur. Dizel motorlarının belli başlı avantajları şunlardır:

*Yakıt tüketiminin azlığı:* Dizel motoru aynı özelliklere sahip bir benzin motorunun tükettiği yakıtın yarısı kadar yakıt tüketir. Bir saatte Kilovat başına harcanan yakıt benzin motorlarında 170-260 gram olmasına karşın dizel motorlarında bu miktar 120-150 gramdır (bu değerlere motorların özgül yakıt sarfiyatı da denilmektedir.).

*Yakıtın ucuzluğu:* Benzin de motorin de petrolün damıtılmasıyla üretilmesine karşın motorinin miktarı fazladır ve daha ucuza satılmaktadır.

*Verim:* Isı verimi yönünden bir karşılaştırma yapılırsa; buhar makinesi %15, benzin motoru %24, dizel motorunu %37 verimle çalışır. Bir başka deyişle buhar makinesi yaktığı yakıtın %15'ini, benzin motoru yaktığı benzinin %24'ünü, dizel motoru ise yaktığı motorinin %37'sini işe dönüştürür. Görüldüğü gibi verimi en yüksek dizel motordur.

*Egzoz gazlarının durumu:* Dizel motorlarda egzoz gazlarındaki zehirli bir gaz olan karbon monoksit (CO) oranı, benzinli motorlardan daha azdır.

*Yangın Tehlikesi:* Dizel yakıtı olan motorinin tutuşma sıcaklığı (65 °C), benzine (13 °C) göre daha yüksek olduğundan yangın tehlikesi daha azdır.

*Motor Gücü:* Motorun her devrinde ve istenilen güce yakıt miktarının hemen ayarlanabilmesi ve yanmanın sabit basınç altında oluşması nedeniyle aynı yapıdaki dizel motor benzin motoruna göre daha güçlüdür.

Dizel motorlarının avantajları yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

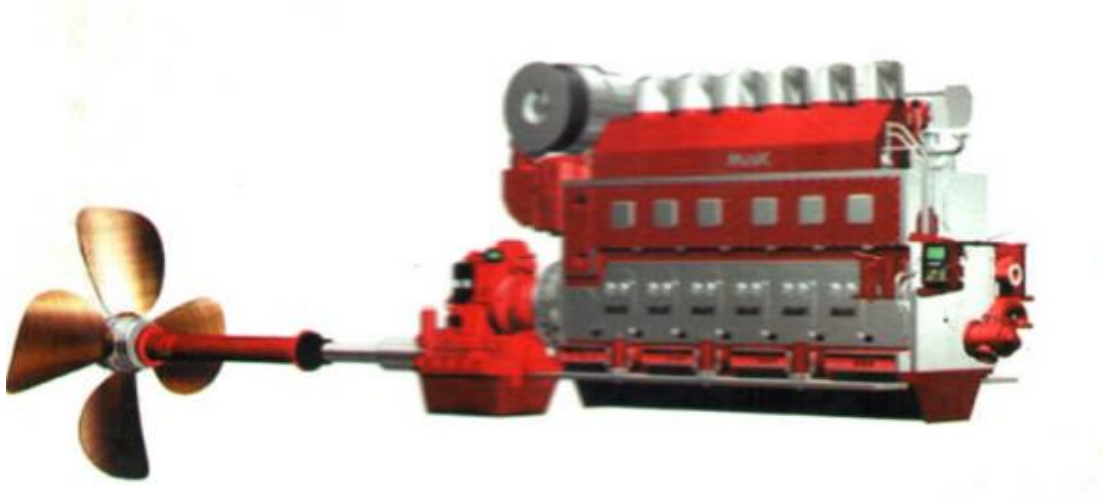
- İlk alış fiyatları yüksektir.
- Ağırdır ve çok yer kaplar.
- Yakıt sistemleri çok hassastır, dikkatli bakım ister.
- Gürültülü ve sesli çalışır.

### 3.2.3. Dizel motorların gemilerdeki uygulamaları

Motor gücü ile yürütülen gemilerde ana makinenin görevi gemi pervanesini döndürmektir. Ana makine çalışıp pervaneyi döndürdüğünde pervane kanatçıkları önündeki su kütlelerini iter. Ancak itilen su kütlesi kolayca itildiği yönde akamayacağı için su kütlesi ile pervane kanatçıkları arasında bir momentum oluşur. Bunun sonucunda gemi su yüzeyinde itilir. Gemi böylece hareket eder.

Dizel motorların gemilere uygulanması genellikle üç şekilde olur. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Doğrudan bağlama
- Devir düşürücü ile bağlama
- Dizel-jeneratör sistemi



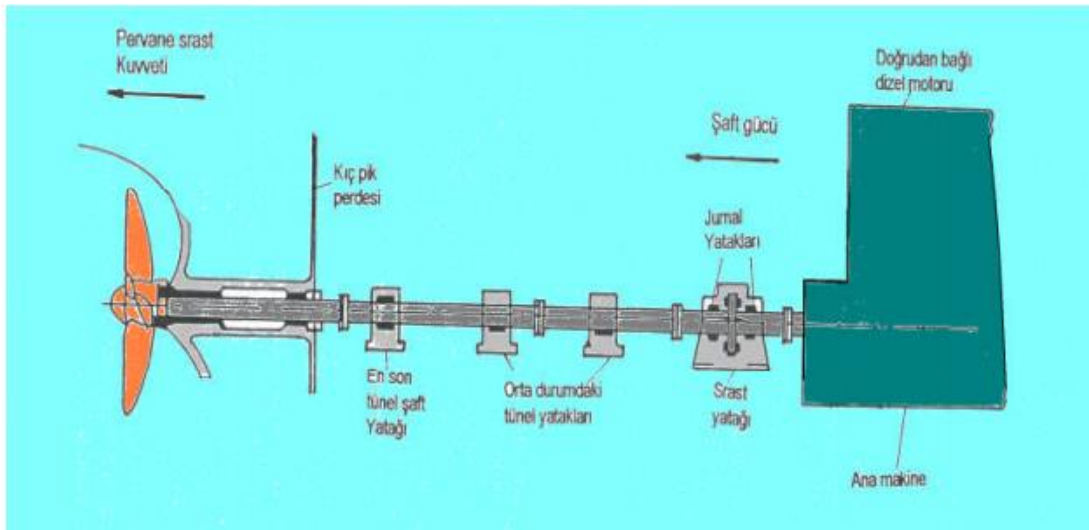
Şekil 3.1 : Dizel motor – pervane bağlantısı.

Günümüz motorlu gemilerinin büyük bir bölümünde ana makineler pervanelere doğrudan bağlanmıştır. Makinenin kapladığı hacmin ve ağırlığının küçük olması gereken gemilerde yüksek devirli makineler kullanılır. Bu gemilerde motor pervaneye devir düşürücüsü ile bağlanır. Düşük devirli pervaneler daha verimlidirler (daha

yüksek hız sağlarlar). Eğer makine devri çok yüksek ise pervane verimini iyileştirmek için makine ile pervane arasına devir düşürmek amacı ile dişli kutusu konulur. Dişli kutusu içerisinde sürtünmeler nedeni ile güç kaybı söz konusu ise de hem pervane verimi ve hem de uygun pervane çapı elde etmek için dişli kutusu gerekmektedir

### 3.2.3.1. Doğrudan bağlama

Bu sistemde ana makine Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ara şaftları, yatak ve flanşlar yardımıyla pervaneye bağlanır. Makinenin yeri geminin şekline, kullanma amacına ve tasarıma göre birçok yolcu ve yük gemisinde ortada (vasat), bazı yük gemilerinde ise kıç taraftadır.

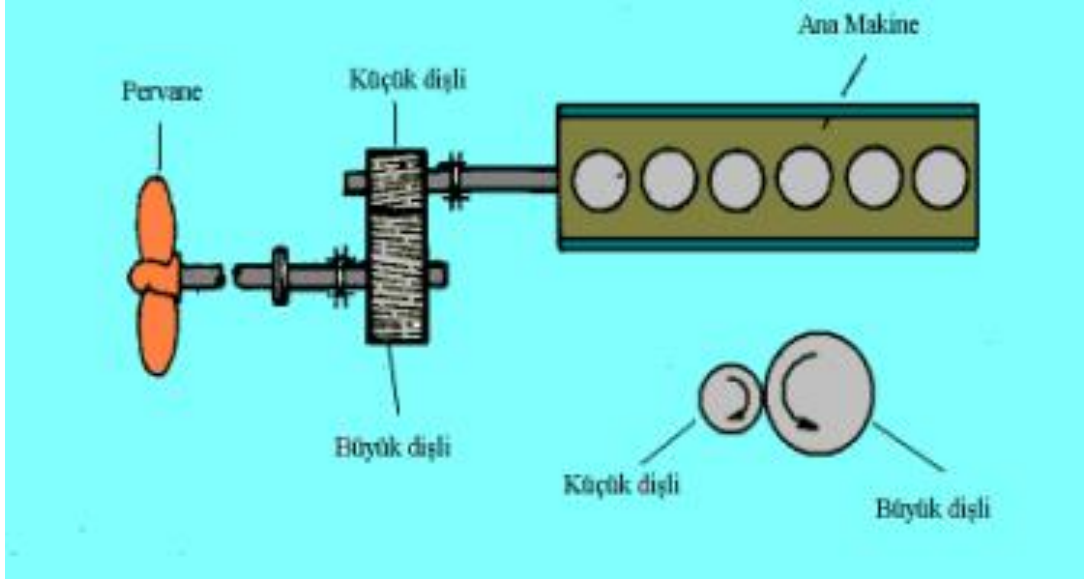


Şekil 3.2 : Dizel motor – pervane doğrudan bağlama.

### 3.2.3.2. Devir düşürücü ile bağlama

Bu sistemde ana makine ile pervane arasına devir düşürücü dişli donanımı yerleştirilir. Devir düşürücünün çalışma prensibi kısaca şöyledir: Şekil 3.3’te görüldüğü gibi ana makine krank şaftının ucuna bir flanş ve kısa şaft yardımıyla küçük dişli bağlanır. Küçük dişlinin karşılığında ona kavramış durumda büyük dişli bulunur. Büyük dişli pervane şaftına bağlıdır. Motor çalıştığı zaman krank şafta bağlı bulunan küçük dişli döner ve o da büyük dişliyi döndürür. Küçük dişlinin büyük dişliyi bir devir döndürebilmesi için kendisinin birden fazla dönmesi gerekir. Dolayısıyla pervane motora göre daha az dönmüş olur. Devir düşürülerek şaftı döndürme momenti artar. Dişli kutusu aracılığı ile yüksek devirli makinenin devri düşürülür. Böylece düşük devirli pervanenin daha yüksek verim sağlanmış olur.





Şekil 3.3 : Dizel motor – pervane devir düşürücü ile bağlama.

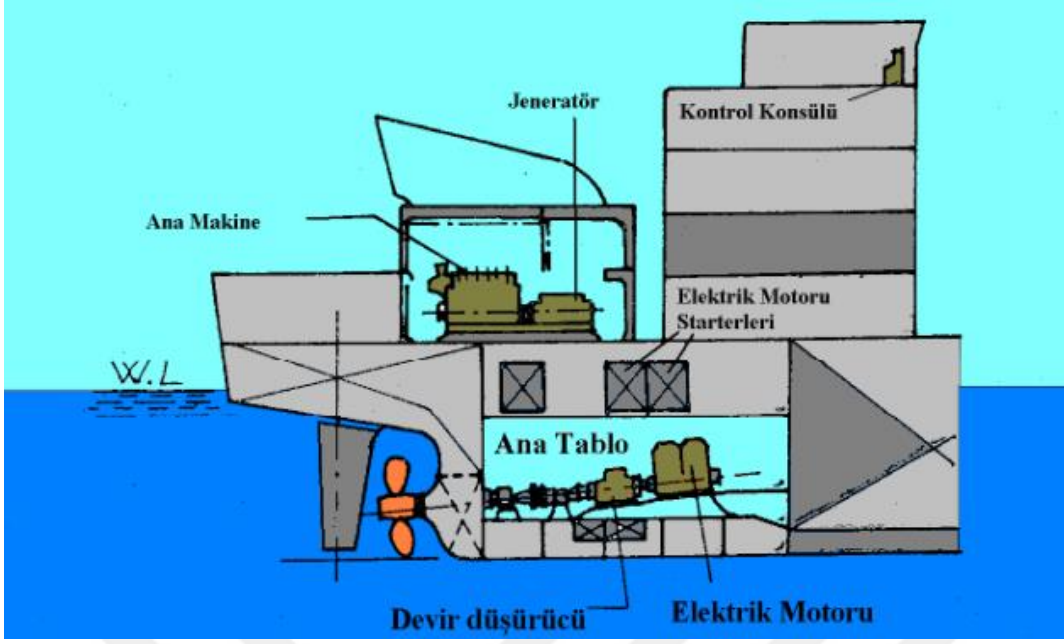
### 3.2.3.3. Dizel-jeneratör sistemi

Doğrudan ve devir düşürücü ile bağlama sistemlerinde makine uzun ara şaftları ve yataklar yardımıyla pervaneye bağlanmaktadır. Pervane şaftı ve yatakları “şaft tüneli” veya “tünel şaft” adı verilen büyük bir hacmi gerektirir.

Şaft tüneli de ticaret gemilerinin yararlı yük ve yolcu hacmini küçültür. Bu sakıncayı gidermek amacıyla dizel-jeneratör sisteminden yararlanır. Dizel-jeneratör sistemlerinde yüksek devirli ve sabit devir sayısında çalıştırılan bir veya birkaç dizel motoru kullanılmaktadır.

Dizel makinelerin şaftlarına bağlı jeneratörlerin ürettikleri doğru akım, geminin kıç tarafına yerleştirilmiş ağır devirli elektrik motorlarının çalıştırılmasında kullanılır. Elektrik motorlarının kısa şaftlarına ise pervaneler bağlanmıştır.

Aşağıdaki şekilde dizel jeneratör sistemi görülmektedir.



Şekil 3.4 : Dizel – jeneratör sistemi.

### 3.3. Dizel Motorlu Tahrik Sistemi Tasarımı

Bu bölümde 10 metre boyunda Piyade tekne için dizel motorlu tahrik sisteminin ön tasarımı anlatılacaktır.

#### 3.3.1. Dizel motor ve devir düşürücü seçimi

Piyade tekneleri için servis hızı daha referans olarak alınan tez çalışmalarında 6 knots olarak belirlenmiştir [2-4]. Yine aynı çalışmaların içeriğinde farklı hızlarda yapılan çekme deneylerinde teknenin hangi hız değeri için ne kadar güce ihtiyaç duyduğu çıkartılmıştır. Buna göre servis hızı  $V_g = 6 \text{ knots}$  için boş ve yüklü durumdaki tekne etkin güç değerleri şöyledir:

$$EHP_g = 2,78 \text{ BG} \quad (L_{WL} = W_{L,3,5} \text{ için}) \quad (3.1)$$

$$EHP_g = 3,74 \text{ BG} \quad (L_{WL} = W_{L,5,0} \text{ için}) \quad (3.2)$$

Yüklü ve boş durumdaki bu değerler model deneylerinden elde edilen efektif beygir gücü  $(EHP_g)_{deney}$  değerine  $L_{WL} = W_{L,3,5}$  için Çizelge 3.1 'de ve  $L_{WL} = W_{L,5,0}$  için ise Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi takıntılar için %10 güvenlik oranı eklenerek ulaşılmıştır.

**Çizelge 3.1 :**  $L_{WL} = W_{L 3,5}$  için gemi gücü,  $EHP_g$  değerleri [2-4].

$V_g$ (knots)	$(EHP_g)_{deney}$	$(EHP_g)_{düzeltmiş}$
1,246	0,025	0,027
1,533	0,045	0,054
1,913	0,077	0,093
2,314	0,120	0,145
2,477	0,140	0,170
2,896	0,207	0,250
3,006	0,228	0,276
3,272	0,291	0,352
3,368	0,318	0,385
4,103	0,595	0,720
4,522	0,817	0,989
4,937	1,089	1,318
5,281	1,238	1,498
5,675	1,810	2,190
5,934	2,178	2,635
6,176	2,619	3,169
6,346	3,022	3,657
6,456	3,334	4,034
6,541	3,607	4,364
6,925	5,276	6,384
7,063	6,074	7,350
7,162	6,704	8,111
7,361	8,068	9,763
7,457	8,765	10,606

**Çizelge 3.2 :**  $L_{WL} = W_{L 5,0}$  için gemi gücü,  $EHP_g$  değerleri.

$V_S$ (knots)	$(EHP)_g_{deney}$	$(EHP)_g_{düzeltmiş}$
1,409	0,060	0,073
1,757	0,093	0,113
2,027	0,123	0,149
2,307	0,160	0,193
2,605	0,208	0,251
2,772	0,241	0,291
3,031	0,304	0,368
3,624	0,522	0,632
4,043	0,748	0,905
4,383	0,980	1,186
4,677	1,211	1,465
4,976	1,510	1,827
5,256	1,836	2,221
5,548	2,243	2,714
5,817	2,703	3,270
5,966	3,009	3,641
6,186	3,553	4,299
6,499	4,576	5,537
6,69	5,392	6,525
6,847	6,183	7,482
7,06	7,428	8,988
7,191	8,259	9,993

Her iki su hattına göre servis hızına karşılık gereken gemi efektif güçleri düşünüldüğünde maksimum gemi efektif gücü  $EHP_g = 3,74 BG$  olarak alınacaktır.

Gerekli gücü sağlayacak, çevre şartları, sağlamlık, sessizlik, sorunsuzluk gibi kriterlerde göz önünde bulundurularak aşağıdaki dizel motor seçilmiştir.

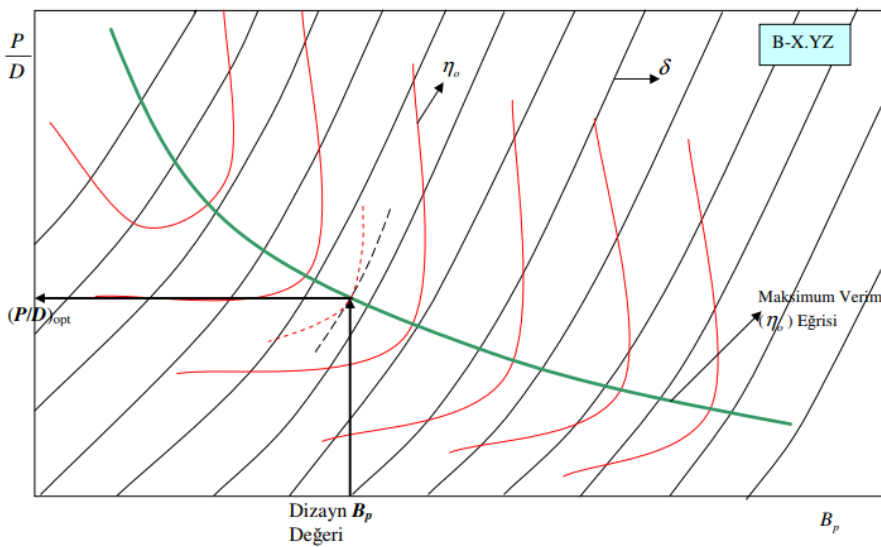
- Marka: *Hatz Diesel*
- Motor Tipi ve Modeli: *1D41C*
- Motor gücü:  $P_B = 4,5 BG$
- Motor devir sayısı:  $n_m = 1800 dev/dak$

Devir düşürücü olarak da motorun bağlantısına uyum sağlayan, yedek parça bulunurluğu, servisinin yaygın olması ve ülke genelinde tercih edilmesi sebebiyle aşağıdaki devir düşürücü seçilmiştir.

- Marka: *ZF Marine*
- Model: *5M*
- Devir düşürme oranı:  $\xi = 1/1,524$

### 3.3.2. Pervane tasarımı

Pervaneye verilen gücün ( $P_D$ ), pervane devir sayısının ( $n_p$ ) ve pervaneye gelen suyun ortalama hızı ( $V_A$ ) bilindiği durumda  $B_p$  nin tasarım noktasındaki değeri elde edilir. Optimum pervanenin bulunabilmesi için  $B_p - \delta$  diyagramları kullanılarak diğer parametreler bulunabilir [5].



Şekil 3.5 :  $B_p - \delta$  diyagramlarının kullanımı.

Pervaneye verilen güç,  $P_D$ , motor gücünden şaft yolunda verilen kayıplar düşülerek bulunur. Şaft verimi  $\eta_s = 0,95$  olarak kabul edilirse [14] pervaneye iletilen güç, motor gücü,  $P_B$ , ve şaft verimi kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_D = P_B \times \eta_s = 4,28 \text{ BG} \quad (3.3)$$

Pervane devir sayısı  $n_p$  ise motor devir sayısı  $n_m$  ve devir düşürme oranı  $\xi$  kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$n_p = n_m \times \xi = 1181 \text{ dev/dak} \quad (3.4)$$

İz katsayısı  $w$  ve itme azalması  $t$  daha önce yapılan tez çalışmalarından aşağıdaki gibi seçilmiştir [3].

$$L_{WL} = W_{L\ 3,5} \rightarrow w = 0,35 \quad (3.5)$$

$$L_{WL} = W_{L\ 5,0} \rightarrow w = 0,38 \quad (3.6)$$

$$L_{WL} = W_{L\ 5,0} \rightarrow t = 0,235 \quad (3.7)$$

$$L_{WL} = W_{L\ 5,0} \rightarrow t = 0,220 \quad (3.8)$$

Pervane hesaplamaları Wageningen B tipi (WB), 3 ve 4 kanatlı pervane serileri için yapılacaktır. Sistematik analizde hesabı yapılacak olan farklı pervaneler için  $V_g = 6 \text{ knots}$  olan servis hızını kavrayacak hız alanı değerleri Çizelge 3.3’de her iki su hattı için de gösterilmiştir [5].

**Çizelge 3.3** : Servis hızını karşılayacak hız aralıkları.

Su hattı hızı	$V_g$ (knots)							
	WB 3.35	WB 3.50	WB 3.65	WB 4.40	WB 4.55	WB 4.70	WB 4.85	WB 4.100
$V_g@WL_{3,5}$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
$V_g@WL_{5,0}$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	

Çizelge 3.3’de verilen her hız değeri,  $V_g$ , aşağıdaki denklemde kullanılarak pervaneye gelen su hızı  $V_A$  aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_A = V_g \cdot (1 - w) \rightarrow \begin{array}{l} V_A = 0,65 \cdot V_g \quad (L_{WL} = W_{L\ 3,5} \text{ için}) \\ V_A = 0,62 \cdot V_g \quad (L_{WL} = W_{L\ 5,0} \text{ için}) \end{array} \quad (3.9)$$

$B_P - \delta$  diyagramının yatay ekseninde yer alan güç katsayısı  $B_P$  değeri aşağıdaki denklem aracılığıyla elde edilir.

$$B_P = \frac{n_p \cdot \sqrt{P_D}}{V_A^{2,5}} = 2443,272 \cdot V_A^{-2,5} \quad (3.10)$$

Burada  $n_p$  pervane devir sayısını,  $P_D$  pervaneye verilen gücü,  $V_A$  ise pervaneye gelen su hızını temsil etmektedir. Bulunan  $B_P$  değeri  $B_P - \delta$  diyagramının yatay ekseninde yerine konularak  $\delta$ ,  $H/D_p$  ve  $\eta_0$  değerleri bulunur.

Pervane çapı için optimum değer ise aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$D_{opt} = \frac{\delta \cdot V_a}{n_p} \quad (3.11)$$

Pervane etkin gücü  $EHP_p$ , toplam verim ve motor gücü bilgisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$EHP_p = \eta_t \cdot P_B = \eta_0 \eta_h \eta_r \eta_s P_B \quad (3.12)$$

Bağıl dönme verimi  $WL_{3,5}$  için  $\eta_r = 1,210$  ve  $WL_{5,0}$  için  $\eta_r = 0,813$  olarak seçilmiştir [3].

Tekne verimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta_h = \frac{1 - t}{1 - w} \rightarrow \begin{array}{l} \eta_h = 1,177 \quad (L_{WL} = W_{L\ 3,5} \text{ için}) \\ \eta_h = 1,258 \quad (L_{WL} = W_{L\ 5,0} \text{ için}) \end{array} \quad (3.13)$$

Denklemleri sadeleştirmek için bilinen sabit değerlerin çarpımına  $a$  dersek, boş ve yüklü durumlar için  $a$ ’nın alacağı değerler aşağıdaki gibi olur.

$$a = \eta_h \eta_r \eta_s P_B \rightarrow \begin{array}{l} a_{WL3.5} = 6,088 \quad (L_{WL} = W_{L\ 3,5} \text{ için}) \\ a_{WL5.0} = 4,372 \quad (L_{WL} = W_{L\ 5,0} \text{ için}) \end{array} \quad (3.14)$$

Bu durumda açık su pervane verimine,  $\eta_0$ , bağlı olarak pervaneye verilen güç değerleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} (EHP_p)_{WL3.5} &= 6,088 (\eta_o)_i & (L_{WL} = W_{L 3,5} \text{ için}) \\ (EHP_p)_{WL5.0} &= 4,372 (\eta_o)_i & (L_{WL} = W_{L 5,0} \text{ için}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Burada  $i$  indisi çizelge 3.3 de yer alan her bir değere karşılık gelmektedir.

Bu sistematik analiz ile, her bir  $i$  indisi için bulunan  $\eta_o$ ,  $\frac{H}{D}$ ,  $D$ ,  $P_D$ ,  $EHP_g$  değerleri grafikte eğri olarak çizdirilmiştir. Grafikler [EK A] da verilmiştir.

Bu grafiklerde pervane gücü  $EHP_p$  eğrisi ile gemi etkin gücü  $EHP_g$  eğrisinin kesiştiği noktalar dizayn hattı olarak kabul edilmiştir ve bu hatta karşılık gelen  $\eta_o$ ,  $\frac{H}{D}$ ,  $D$  değerleri grafik üzerinden okunmuştur. Sistematik analiz ile bulunan bu değerlerin hepsi Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen verilere göre Piyade Tekne için maksimum pervane çapı  $D_{maks} = 0,37 \text{ m}$  ‘dir. Yapılmış olan hesaplamalar sonucunda elde edilen optimum pervane çapları maksimum değerden küçük olarak bulunmuştur. Bu yüzden bu aşamada hiçbir pervane için tekrar sistematik analiz yapılmamıştır.

### 3.3.2.1. Kaviteasyon kontrolü

Kaviteasyon kontrolü *Burrill Yöntemi* ’ne göre yapılacaktır. Bu yöntemde ortalama kaviteasyon sayısı shaft eksenini temel alınarak bulunan statik basınca göre hesaplanırken, dinamik basınç  $0,7R$  pervane kesiti esas alınarak hesaplanır. Kaviteasyon kontrolü için yapılacak hesaplamalarda kullanılacak sabit parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- *Tuzlu su yoğunluğu:*  $\gamma = 1025 \text{ kg/m}^3$
- *Tuzlu suyun özgül kütlesi:*  $\rho = 104,49 \text{ kgs}^2/\text{m}^4$
- *Atmosferik basınç ve buharlaşma basıncı farkı:*  $p_{atm} - p_v = 10100 \text{ kg/m}^2$
- *Omurgadan pervane yüksekliği:*  
 $H_d = 0,460 \text{ m} (L_{WL} = W_{L 3,5} \text{ için})$  ve  $H_d = 0,685 \text{ m} (L_{WL} = W_{L 5,0} \text{ için})$
- *Kaviteasyon yönünden kritik kesit:*  $0,7R$

Ortalama kaviteasyon sayısı shaft eksenindeki statik basınca göre, dinamik basınç ise  $\rho$  kaviteasyon yönündeki kritik kesitte hesaplanır. Ortalama kaviteasyon sayısı,  $\sigma$ , aşağıdaki denklem aracılığı ile bulunur.

$$\sigma = \frac{p_{st} - p_v}{\frac{1}{2} \rho V_r^2} \quad (3.16)$$

Burada  $\rho$  tuzlu suyun özgül kütlesi,  $V_r$  suyun kavitasyon yönünden kritik kesitteki rölatif hızı,  $p_{st}$  referans noktadaki statik basınç ve  $p_v$  buharlaşma basıncını göstermektedir.

Referans noktadaki statik basınç  $p_{st}$  ve buharlaşma basıncı,  $p_v$ , farkını bulabilmek için öncelikle derinlik basıncının hesaplanması gerekir. Derinlik basıncı,  $p_h$ , tuzlu suyun yoğunluğu  $\gamma$  ve omurgadan pervane yüksekliği,  $H_d$ , kullanılarak bulunur.

$$p_h = \gamma \cdot H_d \rightarrow \begin{aligned} p_h &= 471,50 \quad (L_{WL} = WL_{3,5} \text{ için}) \\ p_h &= 727,75 \quad (L_{WL} = WL_{5,0} \text{ için}) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Böylece referans noktadaki statik basınç,  $p_{st}$ , ve buharlaşma basıncı,  $p_v$ , farkı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned} p_{st} - p_v &= p_h + (p_{atm} - p_v) \\ \rightarrow \begin{aligned} p_{st} - p_v &= 10571,50 \quad (L_{WL} = WL_{3,5} \text{ için}) \\ p_{st} - p_v &= 10827,75 \quad (L_{WL} = WL_{5,0} \text{ için}) \end{aligned} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Böylelikle ortalama kavitasyon sayısı  $\sigma$  her bir  $i$  indisi için bulunur.

Hesaplanan  $\sigma$  değeri  $\sigma - \tau$  diyagramında yerine konularak bu değere karşılık  $\tau$  değeri okunur. Bu değer kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla pervane için gerekli minimum izdüşüm alanı bulunur.

$$\tau = \frac{T_p / A_p}{\frac{1}{2} \rho V_r^2} \quad (3.19)$$

Burada  $T_p$  pervane itmesini göstermektedir ve aşağıdaki denklem aracılığı ile hesaplanır.

$$T_p = \frac{75 \cdot P_D}{V_A} \eta_0 \eta_r \text{ (kg)} \quad (3.20)$$

Burada  $P_D$  pervaneye verilen beygir gücünü,  $\eta_0$  açık su pervane verimini,  $\eta_r$  bağlı dönme verimini ifade etmektedir.

Rölatif hızın bulunabilmesi için öncelikle pervanenin dönme hızı hesaplanmalıdır. Pervanenin dönme hızı  $V_d$ , m/s cinsinden aşağıdaki gibi bulunur.

$$V_d = \pi \cdot n_p \cdot D_{0,7R} \quad (3.21)$$



Burada  $D_{0,7R}$ , pervanenin  $0,7R$ 'de çapını,  $n_p$  pervanenin saniyede dönüş sayısını ifade etmektedir.

Böylece suyun  $0,7 R$  kanat kesitindeki rölatif hızı,  $V_r$ , aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_r = \sqrt{V_A^2 + V_d^2} \quad (3.22)$$

İzdüşüm alanı yardımı ile yayılım alanı, Taylor formülünden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_D = \frac{A_P}{1,067 - 0,229 \frac{H}{D_p}} \quad (3.23)$$

Burada  $A_P$  pervane kanadı izdüşüm alanı,  $A_D$  kavitasyon göstermeyecek minimum yayılım alanını ifade eder. Mevcut pervane alanının yeterli olup olmadığı  $A_D$  'ye göre kontrol edilir.

Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de yukarıda anlatılan hesaplarda bulunan değerleri ve kavitasyon durumunun özeti görülebilir.

**Çizelge 3.4 : LWL = WL 3.5 için pervanelerin kaviteasyon kontrolü.**

Pervane Tipleri	$V_A$ (knot)	$V_A$ (m/s)	$R_{(0,7)}$ (m)	$V_d$ (m/s)	$V_r^2$	$q$ (kg/m <sup>2</sup> )	$P_{st}-P_v$ (atm)	$\sigma$	$T_p$ (kg)	$a_E$	$A_P$ (m <sup>2</sup> )	$A_D$ (m <sup>2</sup> )	$\tau$	Kaviteasyon Durumu
W B 3.35	3,95	2,03	0,45	15,16	233,84	12216,90	10581,75	0,87	92,70	0,35	0,03	0,00	0,24	-
W B 3.50	3,91	2,01	0,25	15,20	235,07	12281,47	10581,75	0,86	88,97	0,50	0,05	0,05	0,16	+
W B 3.65	3,80	1,95	0,23	14,42	211,76	11063,20	10581,75	0,96	81,49	0,65	0,06	0,05	0,14	+
W B 4.40	3,90	2,00	0,23	14,25	206,99	108,14	10581,75	0,98	88,38	0,40	0,03	0,03	0,26	-
W B 4.55	3,87	1,99	0,22	13,55	187,67	9805,01	10581,75	1,08	85,64	0,55	0,04	0,04	0,23	-
W B 4.70	3,84	1,98	0,22	13,68	191,15	9986,75	10581,75	1,06	83,15	0,70	0,06	0,05	0,17	+
W B 4.85	3,80	1,95	0,22	13,51	186,35	9735,78	10581,75	1,09	80,58	0,85	0,07	0,06	0,14	+
W B 4.100	3,77	1,94	0,21	13,03	173,65	9072,55	10581,75	1,17	79,31	1,00	0,07	0,06	0,14	+

**Çizelge 3.5 : LWL = WL 5.0 için pervanelerin kaviteasyon kontrolü.**

Pervane Tipleri	$V_A$ (knot)	$V_A$ (m/s)	$R_{(0,7)}$ (m)	$V_d$ (m/s)	$V_r^2$	$q$ (kg/m <sup>2</sup> )	$P_{st}-P_v$ (atm)	$\sigma$	$T$ (kg)	$a_E$	$A_P$ (m <sup>2</sup> )	$A_D$ (m <sup>2</sup> )	$\tau$	Kaviteasyon Durumu
W B 3.35	3,07	1,58	0,25	15,59	245,52	1287,20	10827,75	0,84	67,55	0,35	0,04	0,03	0,15	+
W B 3.50	3,04	1,56	0,25	15,72	249,54	13037,00	10827,75	0,83	64,42	0,50	0,03	0,05	0,10	+
W B 3.65	2,93	1,51	0,25	15,37	238,59	12465,00	10827,75	0,87	60,47	0,65	0,06	0,06	0,08	+
W B 4.40	2,98	1,53	0,23	14,29	206,55	10791,20	10827,75	1,00	63,59	0,40	0,03	0,03	0,19	-
W B 4.55	2,94	1,51	0,22	13,77	191,92	10026,80	10827,75	1,08	61,69	0,55	0,04	0,04	0,15	+
W B 4.70	2,92	1,50	0,22	13,77	191,89	10025,20	10827,75	1,08	60,38	0,70	0,06	0,05	0,12	+
W B 4.85	2,89	1,49	0,22	13,60	187,10	9774,79	10827,75	1,11	58,63	0,85	0,07	0,06	0,10	+
W B 4.100	2,86	1,47	0,21	13,16	175,46	9166,95	10827,75	1,18	56,94	1,00	0,07	0,07	0,09	+

### 3.3.2.2. Pervane seçimi

Optimum pervane hesabında bulunan değerler, pervane yuvasına sığma, ve kavitasyon hesapları her bir su hattı için Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de tablo halinde verilmiştir. Tüm şartları sağladığı için en optimum pervanenin Wageningen B 3.50 olduğuna karar verilmiştir. Bundan sonra yapılacak hesaplamalarda bu pervane baz alınacaktır.

**Çizelge 3.6** : LWL=WL3.5 için optimum pervane hesabı sonuç değerleri.

Pervane Tipleri	W B 3.35	W B 3.50	W B 3.65	W B 4.40	W B 4.55	W B 4.70	W B 4.85	W B 4.100
$V_s$ (knots)	6,08	6,02	5,84	5,99	5,95	5,91	5,84	5,80
$\eta_o$	0,485	0,461	0,41	0,456	0,439	0,423	0,405	0,396
$H/D_p$	0,543	0,545	0,607	0,659	0,667	0,666	0,695	0,732
D (m)	0,350	0,351	0,333	0,329	0,313	0,316	0,312	0,301
$EHP_p$ (BG)	2,950	2,810	2,50	2,78	2,67	2,59	2,47	2,41
Hız Durumu	+	+	-	-	-	-	-	-
Pervane Yuvasına Sığma	+	+	+	+	+	+	+	+
Kavitasyon Durumu	-	+	+	-	-	+	+	+

**Çizelge 3.7** : LWL=WL5.0 için optimum pervane hesabı sonuç değerleri.

Pervane Tipleri	W B 3.35	W B 3.50	W B 3.65	W B 4.40	W B 4.55	W B 4.70	W B 4.85	W B 4.100
$V_s$ (knots)	4,95	4,90	4,68	4,80	4,75	4,72	4,66	4,61
$\eta_o$	0,409	0,386	0,355	0,373	0,358	0,348	0,334	0,321
$H/D_p$	0,478	0,48	0,492	0,622	0,611	0,624	0,649	0,68
D (m)	0,36	0,363	0,356	0,33	0,318	0,318	0,314	0,304
$EHP_p$ (BG)	1,79	1,69	1,53	1,63	1,57	1,52	1,47	1,4
Hız Durumu	-	-	-	-	-	-	-	-
Pervane Yuvasına Sığma	+	+	+	+	+	+	+	+
Kavitasyon Durumu	+	+	+	-	+	+	+	+

### 3.3.2.3. W B 3.50 pervanesinin optimum devri

Bu kısımda seçilen devir düşürücü oranına göre  $B_p - \delta$  diyagramları kullanılarak belirlenen Wageningen B 3.50 pervanesi için optimum devir düşürme oranı belirlenecektir.

Pervane düşürme oranı belirlenirken “*PropCalc*” isimli bilgisayar programından faydalanılacaktır [15].

Kullanılan programa girdi olarak kullanılan değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 3.8 : *PropCalc* girdi bilgileri.**

	$T_p$ İtme Kuvveti (kN)	$D_p$ Pervane Çapı (m)	$V_A$ Pervane akım hızı (m/s)	$\gamma$ Su yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	$Z$ Kanat Sayısı	$a_E$ Pervane Alan Açınım Oranı
WL 3.5 için	0,874	0,351	2,01	1025	3,0	0,50
WL 5.0 için	0,633	0,363	1,56	1025	3,0	0,50

*PropCalc* programı aracılığı ile elde edilen optimum pervane devir sayısı  $L_{WL} =$  WL3.5 için  $n_p = 1091$  dev/dak;  $L_{WL} =$  WL5.0 için  $n_p = 864$  dev/dak dır.

Bu durumda optimum devir düşürücü oranları  $L_{WL} =$  WL3.5 için  $\xi = \frac{1}{1,649}$ ;  $L_{WL} =$  WL5.0 için  $\xi = \frac{1}{2,083}$  dır.

Piyade tipi teknelerin ömrü boyunca yüklü durumda çalışma sürenin daha uzun olacağı düşünülmüş ve düşük devir sayılı durumda pervane ömrü daha uzun olacağı için optimum devir sayısı olarak  $n_p = 864$  dev/dak seçilmiştir. Bu durumda tasarıma ait özet bilgi çizelgesi aşağıdadır.

Pervane Çapı	$D = 0,363 \text{ m}$
Servis Hızı	$V_s = 4,90 \text{ knots}$
Açık su pervane verimi	$\eta_o = 0,386$
Hatve-Çap Oranı	$H/D_p = 0,480$
Efektif Pervane Gücü	$EHP_p = 1,69 \text{ BG}$
Devir Sayısı	$n_p = 864 \text{ d/d}$
Devir Düşürme Oranı	$\xi = 1/2,083$

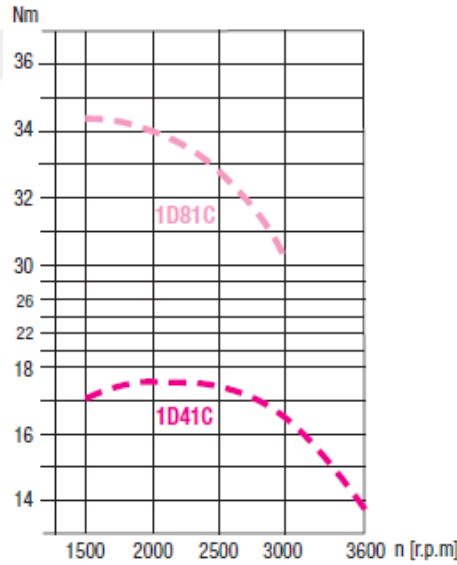
### 3.3.3. Hatz Diesel 1D41C motorunun teknik verileri

Seçilen motora ait genel bilgiler Çizelge 3.9’da gösterilmiştir. Daha detaylı bilgiler ise Ek B ‘de verilmiştir.

**Çizelge 3.9 :** Hatz Diesel 1D41C motorunun teknik verileri.

Motor Tipi		1D41C
Motor Modeli		C
Çalışma modu		Hava soğutmalı dizel motor
Yanma metodu		Direkt enjeksiyon
Silindir Sayısı		1
Çap / Strok	Mm	90/65
Hacim	cm <sup>3</sup>	413
Sıkıştırma oranı		20,0/1
Dönme yönü		Saat yönünün tersine
Soğutucu havası miktarı (3000 d/d)	m <sup>3</sup> /d	6,0
Yanma havası miktarı (3000 d/d)	m <sup>3</sup> /d	0,62
Yağ kapasitesi (Filtresiz)	L	1,1
Yağ kapasitesi (Filtreli)	L	1,2
Yağ tüketimi		~%1 @tam yükte
Maksimum müsaade edilen açı		~30°
Net ağırlık	Kg	89

Hatz Diesel 1D41C motorunun tork-devir eğrisi aşağıdaki şekilde verilmiştir.



**Şekil 3.6 :** Maksimum güçteki tork eğrisi.

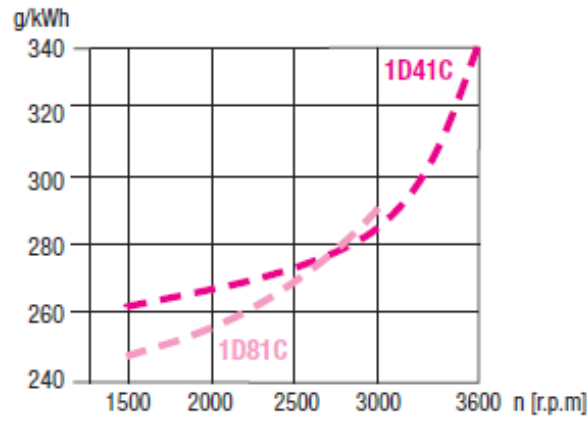
Şekilden anlaşılacağı üzere maksimum motor 1800 dev/dak hızla dönerken tork maksimum değerini almaktadır.

1500–3600 dev/dak aralığında farklı hızlar için motorun verebildiği maksimum güç değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

**Çizelge 3.10 :** Motor performans tablosu.

dev/dak.	kW	BG
3600	5.2	7.1
3000	5.2	7.1
2600	4.7	6.4
2300	4.2	5.7
2000	3.7	5.0
1800	3.3	4.5
1500	2.7	3.7

Görüldüğü üzere maksimum tork değerini sağlayan 1800 dev/dak 'da elde edilen güç değeri 3.3 kW'tır. Bu devir sayısına göre tasarlanan pervanenin ihtiyaç duyacağı tüm gücü kullanacağı varsayımıyla yakıt tüketimi aşağıdaki yakıt tüketim eğrisinden görülebilir.



**Şekil 3.7 :** Motor yakıt tüketim eğrisi.

Buna göre grafikten 1800 dev/dak' da motorun 265 g/kWh yakıt tükettiği görülür.

### 3.3.4. Tüketim ve emisyon hesaplamaları

Piyade teknelerinin çalışma sahası içerisinde 500'den fazla sayıda tekne kayıtlıdır. Bu teknelerin her birisi günlük olarak müşteri isteğine göre farklı rotalarda, farklı sürelerde çalışmaktadır. Her bir tekne sahibi ile görüşme sağlayıp çalıştıkları tüm rotalar ve sefer sayıları hakkında bilgi almak ve çalışmalarımızı bu rotalardan en zorunu seçerek yapmak bu çalışma açısından en doğru sonucu verecektir. Ancak bu derece fazla görüşme yapmak oldukça zordur. Zaman ve kaynak yetersizliği sebebiyle tek bir rota belirlenip o rota için gün içinde yapılabilecek maksimum sayıdaki sefer

sayısına göre dizel motorlu bir teknenin yakıt ve emisyon tüketim değerleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Böylelikle bu tez çalışması ile de amaçlandığı üzere yakıt tüketiminin ve emisyon değerlerinin dizel ve elektrik tahrikli teknelerde karşılaştırmasını yaparak çevresel etkiler ve karlılık açısından bir sonuç ortaya koymak mümkün olacaktır.

#### **3.3.4.1. Görev profili**

Akyaka bölgesinde Köyceğiz gölüne dökülen Kadın Azmağı nehri çalışan teknelerin birbirleriyle olan benzerliği, teknenin çalışma rotasının tek olması, tekne sahiplerinin bir kooperatife bağlı olarak çalışmaları sebebiyle bu bölge bu tez için yapılacak çalışmalarda pilot olarak seçildi. Bölgeye ziyaret gerçekleştirildi. Yapılan ziyaret neticesinde aşağıdaki bilgiler edinildi.

23 adet Piyade tekne Kadın Azmağı nehrinde çalışmaktadır. Bu sayı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenmiş olup arttırılması söz konusu değildir.

Bölgeye özellikle yaz aylarında çok yoğun olmakla birlikte her mevsim turistler tarafından geziler düzenlenmektedir. Tüm tekneler kooperatife bağlıdır. Toplanan kazanç kooperatifte havuz usulü bir araya getirilip gün sonunda çalışan tüm teknelere ortak bir şekilde paylaştırılmaktadır.

Her bir tekne maksimum 15 yolcu almaktadır. Özellikle yaz aylarındaki yoğunluk sebebiyle tekneler genellikle tam olarak doldurulup geziye çıkmaktadır.

Teknelerin soğutma sistemleri devamlı olarak çalışmaktadır. Tekne motoru çalıştırıldığında soğutma sistemi devreye girmektedir. Teknelerin çoğu bakımsızdır. Motorlar eskidir. Tekne ve motor kaçakları sintine devresi vasıtasıyla suya motorun çalıştığı süre boyunca verilmektedir.

Teknelerin çoğunda piyasada uzun süreler kullanılıp bakımı yapıldıktan sonra ikinci el olarak satılan, eski teknolojilerle üretilmiş ve yüksek emisyon oranına sahip motorlar vardır. Genellikle kullanılan motor markaları Pancar, Lombardini, Süperstar, Tatmar'dır. Redüksiyon oranları net olarak bilinmemekle birlikte çoğunda ½ devir oranı olduğu varsayılmaktadır.

Pervaneler teknede bulunan motorun gücüne, çalıştıkları devir sayısına, teknenin ana boyutlarına göre pervane üreticisi tarafından hiçbir bilimsel metot yöntemiyle hesaplama yapmadan tecrübeye dayalı olarak hazırlanan raf ürünü pervanelerden

oluşmaktadır. Bazen teknenin istenen hıza ulaşmaması sebebiyle birkaç defa ayrı ayrı pervaneler sipariş etmektedirler. Ya da ellerinde yedek pervane varsa daha önce deneme yanılma metoduyla buldukları en optimum pervaneyi pervane üreticisine göndererek yeni pervane elde etmektedirler.

Teknenin akıntıya karşı servis hızı 5,5 - 6 *knots* civarındadır. Özellikle geri dönerken akıntının da eklenmesiyle bu hız biraz daha artabilmektedir.

Bilinçsiz tekne kullanımı ve çevresel etkilerin düşünülmemesi sebebiyle, Kadın Azmağı nehrinin güzelliğini arttıran doğal bir oluşumla meydana gelmiş kadın saç şeklindeki uzun ve renkli yosunlar artık azalmaya başlamıştır. Bölgede Yalı Çapkını olarak anılan ve son zamanlarda nesli tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan kuş türünün de teknelerden çıkan yüksek gürültü sebebiyle olduğu çevre sakinleri tarafından dile getirilmiştir.

Tekneler genellikle sabah 08:00 ile akşam 22:00 arası çalışmaktadır. Sefer süresi ortalama 25 dakikadır. Günde en fazla 22 sefer yapılmaktadır.

### 3.3.4.2. Hesaplamalar

Hatz Diesel markasının 1D41C modeli olan dizel motorunun bu teknelerde kullanıldığı varsayımıyla günlük yakıt tüketimi aşağıdaki şekilde Çizelge 5.10'da hesaplanmıştır. Daha sonraki bölümlerde yapılan olan elektrikli tahrik sistemi tasarımı sonuçlarına göre aynı hesaplamalar yapılacak ve sonuçlar karşılaştırılacaktır.

**Çizelge 3.11 : Yakıt tüketim ve emisyon tablosu.**

Sefer Süresi	25	dak
Sefer Sayısı	22	1/gün
Günde toplam çalışma süresi	9,17	h
Motorun saatte çektiği güç	3,3	kW
Günlük tüketilen güç	30,27	kWh
Motorun yakıt tüketimi	265	g/kWh
Dizel Yoğunluğu [Ek C]	845	g/l
Toplam yakıt tüketimi	9,49	l
Dizel Fiyatı (27.04.19) [16]	6,5	TL/l
Günlük toplam tüketim tutarı	61,70	TL
CO <sub>2</sub> Emisyonu [17]	683,20	g/gün
NO <sub>x</sub> Emisyonu [17]	23,17	g/gün



## **4. BATARYA ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ**

Bu bölümde öncelikle batarya elektrikli tahrik sisteminde kullanılacak sistem ana elemanları ile bu sistemin dizel motor tahrikli sisteme göre avantajlarından ve son zamanlarda hızlı gelişerek ucuzlaması ve ömrünün artması nedeniyle otomotiv uygulamaları başta olmak üzere tüm ulaşım sektöründe elektrikli tahrik sistemi kullanımının önünü açan batarya sistemi kapsamlı olarak anlatılacaktır. Bölümün devamında ise daha önceki bölümlerde yapılan dizel motorlu tahrik sisteminde yapılan hesaplamalar referans alınarak batarya elektrikli tahrik sisteminin ön tasarımı yapılacaktır.

### **4.1. Giriş**

Deniz taşıtlarının tasarımına başlanırken ilk olarak belirlenmesi gerekenler görev profili, çalışacağı sular, izleyeceği rota, ulaşılması istenen hız değeri vs. bilgilerdir. Tüm bu bilgilerden yola çıkarak o taşıtın sahip olması gereken hareket kabiliyeti ortaya çıkarılır. Bu hareket kabiliyetini ise tahrik sistemleri belirler.

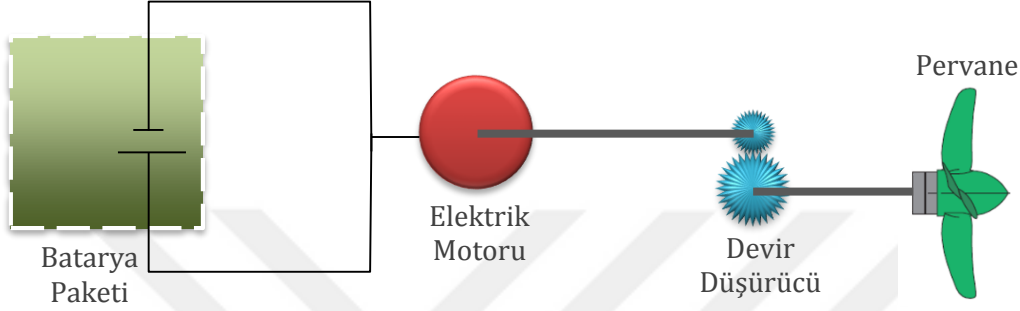
Tahrik sistemi, deniz taşıtının sahip olduğu ekipmanlarla dışardan herhangi bir destek olmadan seyirde geçireceği tüm süre boyunca beklenen görev ve sorumlulukları yerine getirmesini sağlayacak miktarda güç üretebilmelidir. Bunun yanında düşük işletme giderine sahip olması ve verimli şekilde çalışması da tahrik sisteminden beklenen diğer önemli özelliklerdir. En genel halde bu özellikler ise tahrik sisteminde kullanılan enerji kaynağının tipine göre değişmektedir. Ulaşım sektöründe petrol, doğalgaz ve kömür gibi bazı maddeler yaygın bir şekilde enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bunların için de en çok güç kaynağı olarak kullanılanı ise petrolden üretilen dizel yakıttır.

Uzun yıllardan beri dizel yakıtının ön planda olduğu sektörde yapılacak yenilikçi, yüksek verimli, yatırım veya işletme maliyetlerini düşürebilecek, bakım sürelerini arttırabilecek uygulamalar önem taşımaktadır. Elektrikli deniz taşıtları günümüzün bu enerji paradigmasına değerli bir çözüm oluşturabilmektedir.

Yarattığı avantajlar sebebiyle elektrikli sevk ve tahrik sistemlerine denizcilik sektöründe her geçen gün ilgi artmakta, konu hakkında büyük şirketlerin yatırımları

artmaktadır. Kural koyucularda elektriğin bir güç kaynağı olarak deniz taşımacılığında da kullanılabilirliğini gördükten sonra bu konuda da bir takım zorlayıcı ve yönlendirici sınırlandırmalar getirilmeye başlanmıştır [18].

Batarya elektrik tahrik sistemlerinde gemiye itki gücü sağlayan pervane bir içten yanmalı motordan değil elektrik motorundan tahrik almaktadır ve bu elektrik motorunun ihtiyacı olan elektrik enerjisi de dizel jeneratörler tarafından değil şarj edilen bataryalar tarafından sağlanmaktadır.



**Şekil 4.1 : Batarya elektrikli tahrik sistemi şeması.**

Dördüncü bölümde pervane tasarımına ve seçimine yönelik bilgiler verilmişti. Bu bölümün devamında ise öncelikle batarya elektrikli tahrik sisteminin avantajları anlatılacaktır. Daha sonra da bu konfigürasyon içerisinde yer alan alt sistemlerden elektrik motoru ve devir düşürücüye yönelik bilgilere yer vermeyip sadece batarya sistemi (batarya paketi) hakkında bilgiler verilecektir. Elektrik motoru ve devir düşürücüye dair bilgiler literatürden kolaylıkla elde edilebilir, burada daha çok teknolojisi yeni gelişmekte olan batarya sistemine odaklanılacaktır.

## **4.2. Batarya Elektrikli Tahrik Sisteminin Avantajları**

Elektrikli motorların performansını daha iyi anlayabilmek için bazı yönleriyle aşağıda incelenmiştir.

### **4.2.1. Verimlilik**

Kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren içten yanmalı motorlarda, uzun yıllar içinde sahip olunan çok değerli bilgi ve tecrübelerin katkısına rağmen erişilebilen yüksek verim %35 mertebesindedir. İçten yanlı motorların bu oranda düşük verim değerine sahip olmasının nedeni karmaşık yapısıdır. Çünkü bu motor tipleri birbiri ile entegre çalışan, sürtünmenin ve ataletin yüksek olduğu çok fazla sayıda bileşen içermektedir. Bileşenlerin ataletleri ve sürtünmeleri nedeniyle ortaya çıkan ısı

enerjisinin deęerlendirilemeyiři, verimin bu motorlarda dūřuk olmasının ana sebebidir.

Ancak elektrik motorlarında durum daha farklıdır. Elektrik motorları içten yanmalı motorlara kıyasla oldukça basit yapıdadırlar. Elektrikli motorlarında tek hareketli parçası rotordur. Rotorun elektriksel olarak yūklenmesiyle oluşan manyetik alanın yarattığı dōnme isteği, yani moment, direk olarak kaynağa iletilir. Dolayısıyla kayıplar daha az olacağından %95-98 mertebesinde verim değerlerine ulaşılabilir.

#### **4.2.2. Çalışma ve boşta bekleme performansı**

Genelde içten yanmalı bir motoru çalıştırabilmek için elektrikle tahrik edilen bir marř motoru kullanılır. Bu marř motoru krank milinin hızını dakikada 200-300 devirlerle ulaştırdığında yakıt enjeksiyonu da başlatılır. Bōylece krank mili 600-800 devirde boşta bekleme hızına ulaşabilir. Bu hız motorun yūksūz olarak çalışmaya devam edebileceği minimum hızdır.

Oysa ki elektrikli motorlarda krank mili hareketine ihtiyaç yoktur. Bořta bekleyebileceği minimum hızda yoktur. Sıfırdan başlayarak çalışma aralığındaki herhangi bir devirde moment oluşumu sağlanır. Gaz pedalına basıldığı andan itibaren motor tam dōnme gūcūne ulaşabilir [19].

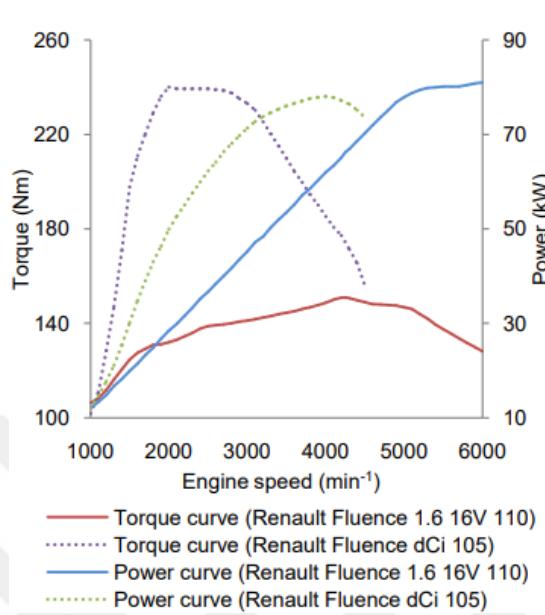
#### **4.2.3. Tork dalgalanması ve gūrūltū**

İçten yanmalı motorlarda tork ūretimi sūrekli deęildir. Tork hava ve yakıtın sıkıřtırılması sonrası benzinli motorlarda kıvılcım ile, dizel motorlarda ise yūksek sıkıřtırma sonrası kendilięinden patlayarak pistonu hızla itmesiyle oluřur. Motorun silindir ve piston sayısına baęlı olarak krankın bir tur dōnmesin sırasında farklı sayıda patlama yani tork oluřumu gerçekleřir. Tork oluřumunun sūrekli olmaması motorda gūrūltū ve titreřimlerin temel kaynaęı olan bu tork dalgalandırmalarından kaynaklanmaktadır. Bu sūreksizlięi dengelemek ve titreřimi azaltmak adına hareketli veya sabit, yūksek atalete sahip bir volan, motor ile aktarma organı arasına eklenir.

Elektrik motorlarında bu tork dalgalanması makinanın tasarımı ve kontrol metotlarıyla minimuma indirgenebilir. Bu yūzden elektrik motorlarında mekanik ve titreřimden kaynaklı gūrūltū duyulmamaktadır [19].

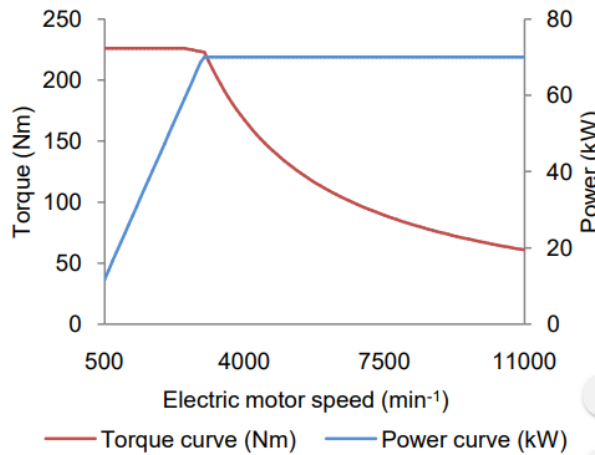
#### 4.2.4. Tork aralığı

Şekil 4.1’de bir aracın aynı modelinde kullanılan içten yanmalı dizel ve benzinli motorlarına ait tork ve güç eğrileri verilmiştir [20].



Şekil 4.2 : Benzinli ve dizel motorlu araca ait tork ve güç eğrileri.

Aşağıdaki şekilde ise aynı araca takılan elektrik motorunun tork ve güç eğrileri karşılaştırma için verilmiştir [20].



Şekil 4.3 : Elektrik motorlu araca ait tork ve güç eğrileri.

Şekilden de görüleceği üzere maksimum moment neredeyse dakikada 4000 dev/dak 'ya kadar sabit kalmakta ve daha sonra yavaşça düşmeye başlamaktadır. Bir elektrik motoru ile herhangi bir devirde anlık tork elde edilebilir. Gaz pedalına basıldığı anda motorun tam dönme gücü elde edilebilmektedir.

Dizel motorlarının yüksek tork değerine ulaşabilmesi için belli bir devir sayısına ulaşması gerekmektedir. Ancak elektrik motorları sıfırdan başlayarak yüksek devirlere kadar geniş bir aralıkta yüksek tork sunabilmektedir. Bu durum liman içi gibi iskeleye yanaşırken veya uzaklaşırken düşük hızlı manevra ihtiyacının olduğu durumlarda hızlı tepki verilebileceği için bir avantaj yaratmaktadır.

Ayrıca aracın geri gitmesi elektrik motorunun ters yönde çalıştırılmasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla, elektrikli teknelerde geri vites için ihtiyaç duyulan şanzımanın geri döndürme dişlilerine ihtiyaç olmamaktadır [19].

#### **4.2.5. Enerji tasarrufu**

Elektriğin enerji olarak üretim maliyeti ve ulaşımı dizel ya da benzine nazaran daha kolaydır. Bu yüzden elektriğin birim enerji miktarı başına maliyeti daha ucuzdur. Dolayısıyla elektrikle tahrik sistemlerinin kullanımı ile enerjinin üretimi, tüketimi ve de aktarımı noktalarında tasarruf yapmak mümkündür.

#### **4.2.6. Ağırlık dağılımı**

Elektrik tahrik sisteminin en yüksek hacim ve ağırlıktaki sistem elemanları arasında bataryalar yer alır. Enerjiyi depolayan batarya ile enerji tüketiminin yapıldığı elektrikli motor arasındaki bağlantıyı kablolama ile sağlanmaktadır. Bu durum tekne yük dağılımının ayarlanabilmesi açısından avantaj yaratmaktadır.

### **4.3. Batarya Sistemi**

Bataryalar, elektrokimyasal enerjiyi depolar ve devrelerine üreteç bağlandığında bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştürerek geri verir. Yapısında kullanılan kimyasalların çeşidine göre farklı batarya türleri vardır. Birden fazla pilin bir araya gelerek oluşturduğu sisteme *batarya* veya *batarya paketi* denir.

Batarya paketleri seri veya paralel bağlı pillerden oluşur. Batarya paketlerinde seri bağlantılar gerilimi, paralel bağlantılar çekilebilecek akımı ve kapasiteyi belirler. Bu seri ve paralel bağlı sistemler arasındaki koordinasyonun sağlanması için batarya yönetim sistemleri yani BMS'ler kullanılır.

BMS'ler (Battery Management System), şarj edilebilir bataryaların kontrol ve denetimini yapan elektronik sistemlerdir. Batarya sistemlerinde bir koruyucu gibi

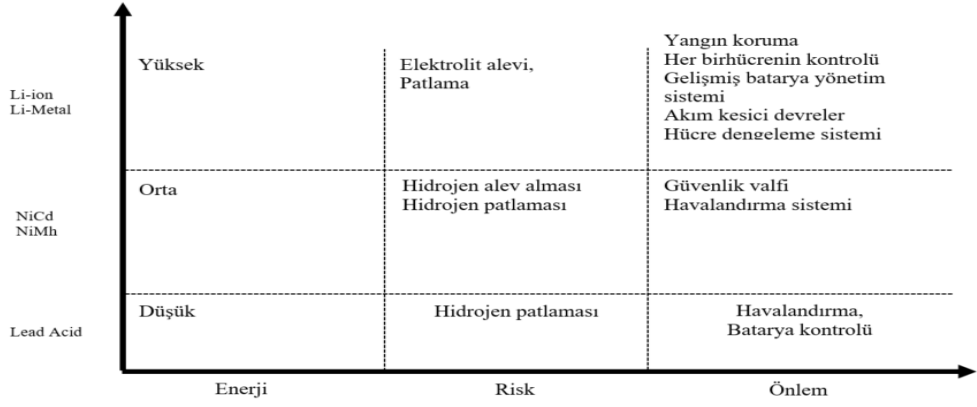
davranarak bataryaların o andaki çalışma durumlarını inceleyip optimum çalışma değer aralıklarında kalmalarını sağlar.

Elektrikli araçlarda yaygın kullanılan başlıca pil teknolojileri; Pb-asit (Kurşun-Asit), NiCd (Nikel Kadmiyum), NiMH (Nikel Metal Hidrat) ve Li-ion (Lityum İyon) pillerdir. Diğer pil teknolojilerine kıyasla lityum iyon piller yüksek anma voltajı, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömrü ve hafıza etkisinin bulunmaması gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Ancak lityum iyon piller performans açısından henüz istenilen düzeye ulaşmamıştır. Lityum iyon pillerin güvenliği ve performansı doğrudan batarya yönetim sistemine bağlıdır. Batarya yönetim sistemi kısaca veri toplama, veri yorumlama ve dengeleme işleminin yapıldığı ünedir. Pil yönetim sisteminin en önemli görevi pil şarj durumunu izleyerek pilin şarj/deşarj işleminin dengeli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktır. Böylece batarya yönetim sistemi pilin aşırı şarj/deşarj durumunun önüne geçerek pil performansını arttırmaktadır [21].

**Çizelge 4.1 : Pil teknolojileri ve özellikleri.**

Pil Çeşitleri	Nominal Voltaj (V)	Enerji yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim ömrü (#)	Hafıza etkisi	Çalışma sıcaklığı (°C)
Pb-asit	1	35	1000	Yok	-15, +50
NiCd	1,2	50-80	2000	Var	-20, +50
NiMH	1,2	70-95	<3000	Nadir	-20, +60
Zebra	2,6	90-120	>1200	Yok	+245, +350
Li-iyon	3,6	118-250	>2000	Yok	-20, +60
LiPo	3,7	130-225	>1200	Yok	-20, +60
LiFePO <sub>4</sub>	3,2	120	>2000	Yok	-45, +70
Zn-hava	1,65	460	200	Yok	-10, +55
Li-S	2,5	350-650	300	Yok	-60, +60
Li-hava	2,9	1300-2000	100	Yok	-10, +70

Bataryanın enerjisi arttıkça barındırdığı riskler ve alınması gereken güvenlik önlemleri artmaktadır. Şekil 4.4’de ise bu bataryaların barındırdığı riskler karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4 : Farklı malzemelerden üretilmiş bataryaların risk karşılaştırması.

#### 4.3.1. Batarya terminolojisi

**Batarya Kapasitesi [Ah]:** Bataryada depolanabilen şarj miktarıdır. Başka bir deyişle bir bataryanın şarj işlemiyle kazandığı ya da deşarj işlemiyle verebildiği enerji miktarıdır. Kapasitenin birimi “amper saat”tir.

**Güç Yoğunluğu [W/kg ya da W/l]:** Bataryanın toplam gücünün ağırlığına ya da hacmine bölümüdür. Her bir kilogram ya da litre başına güç miktarının oranını ifade etmektedir.

**Enerji Yoğunluğu [Wh/kg ya da Wh/l]:** Bataryanın toplam enerjisinin ağırlığına ya da hacmine bölümüdür. Her bir kilogram ya da litre başına enerji miktarının oranını ifade etmektedir.

**Batarya Kapasitesi [Wh]:** Bataryada depolanabilen enerji miktarını belirtmektedir. Birimi “Watt Saat”tir.

**Batarya Doluluk Durumu (SOC) [%]:** Bir bataryada ne kadar enerji kaldığını, bataryanın doluluk durumunu ifade eder.

**İç Direnç (Ri):** Her elektrik depolama ünitesinin bir direnci vardır. Buna iç direnç denir. Bir elektrik depolama ünitesinin yüksüz durumda verdiği gerilime o üretcin elektromotor kuvveti (EMK) denir. Bataryadan akım çekilirken uçlarından ölçülen gerilim EMK 'ten daha az olur, çünkü akım üretcin içinden geçerken üretcin kendi iç direncinde voltaj düşmesi olur. Çekilen akım arttıkça iç dirençte voltaj düşmesi artar, buna karşılık üretcin uçlarından ölçülen gerilim azalır.

**BOL (Beginning of Life):** Bataryanın ilk üretildiği andaki durumunu ifade etmek için kullanılır.

*EOL (End of Life)*: Bataryanın artık görevlerini tam olarak yerine getirmedeği durumdur. Elektrikli araçlarda kabaca başlangıçtaki kapasitesinin %80'ine geldiği durum olarak kabul edilir.

*SOH (State of health)*: Bataryanın kapasitesinin veya iç direncinin bataryanın üretimden çıktıktan sonraki ilk durumunda ölçülen değerine oranı olarak ifade edilir.

*C sabiti [1/h]*: Bataryanın maksimum ne kadarlık sürede şarj ya da deşarj olabileceğini ifade etmek için kullanılır. 1 C 'lik tam dolu bir batarya 1 saat içinde tamamen deşarj olabilir. Örnek olarak 6 Amper saat kapasiteli bir batarya 6 Amper akım ile deşarj oluyorsa 1C, 12 Amper akım ile deşarj olabiliyorsa 2C, 3 Amper akım ile deşarj oluyorsa 0,5 C'dir.

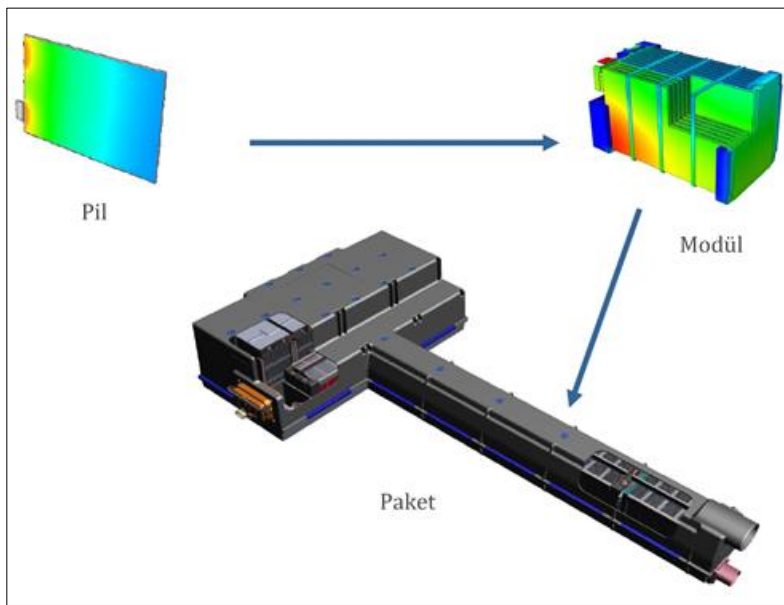
#### 4.3.2. Batarya paketi

Bir batarya paketi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

*Pil (Cell)*: Bataryada enerji depolayan en küçük parçadır. Elektrik enerjisine dönüşebilen kimyasal enerji içerirler.

*Modül (Module)*: Birden fazla sayıda pil belli bir akım ya da voltajı karşılayacak şekilde sıra ile dizilerek küçük paketler oluşturuyorsa buna modül denir.

*Paket (Pack)*: Bir veya daha fazla sayıda modül belli bir akım ya da voltajı karşılayacak şekilde batarya yönetim sistemi ve soğutma sistemi ile de bir araya gelerek daha büyük batarya paketlerini oluşturmaktadır.

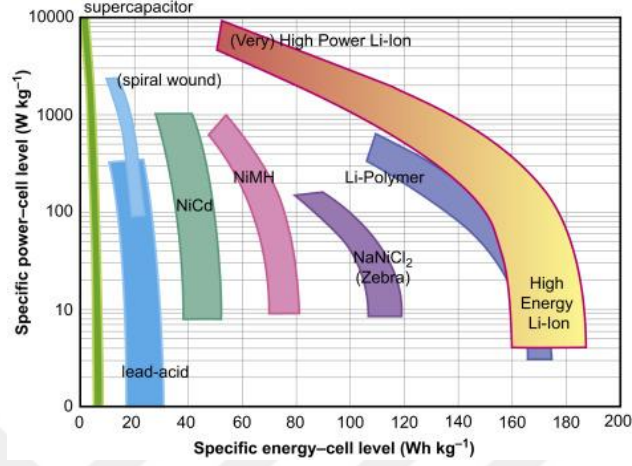


**Şekil 4.5** : Küçükten büyüğe enerji depolama üniteleri.



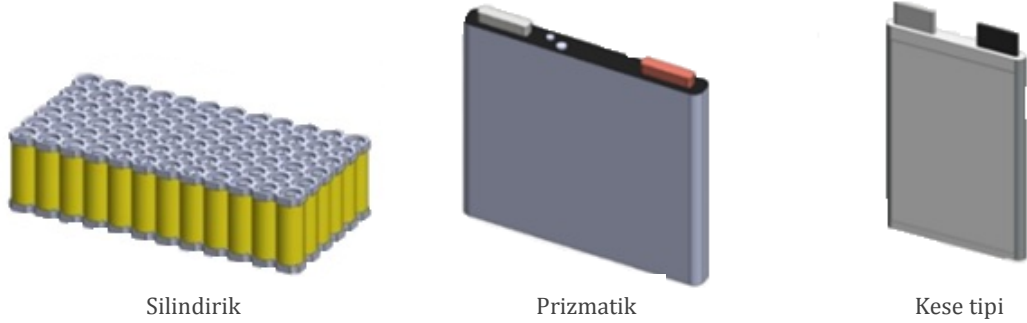
#### 4.3.2.1. Lityum-iyon piller

Aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere lityum-iyon piller diğer pillere göre daha yüksek enerji seviyesine sahiptir [22]. Bu yüzden günümüzde en popüler kullanım alanı Lityum-iyon pillerde olmaktadır.



Şekil 4.6 : Farklı pil tiplerinin enerji yoğunluğu.

Piyasada yaygın olarak *Silindirik*, *Prizmatik* ve *Kese tipi* olarak adlandırılan 3 tip lityum-iyon pil geometrisi mevcuttur



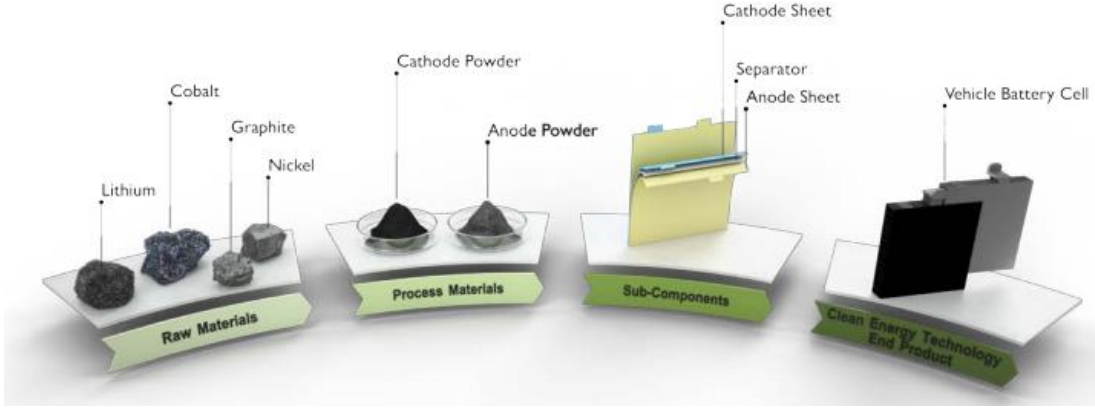
Şekil 4.7 : Lityum-iyon pil geometrileri.

Ancak prizmatik tip piller, şekilleri itibarıyla batarya blokları içerisine yerleştirmede daha uygun olduklarından silindirik tiplere göre daha fazla tercih edilmektedirler.

Lityum-iyon piller üç temel bileşenden oluşmaktadır:

- Negatif elektrot (anot)
- Pozitif elektrot (katot)
- Elektrolit

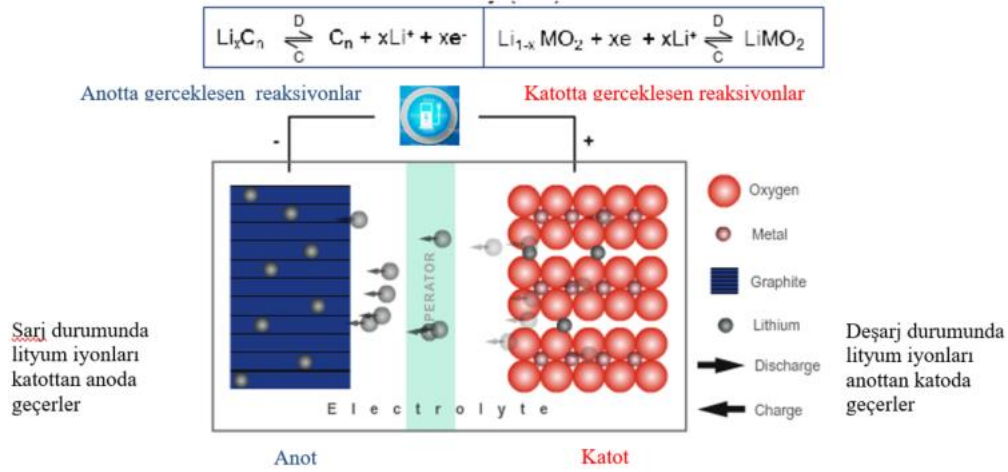
Aşağıdaki şekilde prizmatik bir pilin üretim aşamaları gösterilmiştir.



**Şekil 4.8 :** Lityum-iyon prizmatik pil üretim aşamaları.

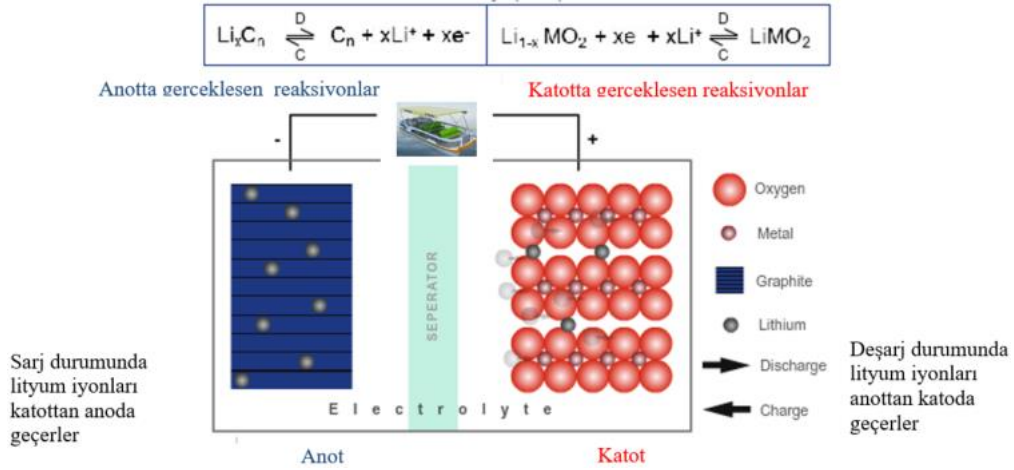
Lityum iyonları anot ve katot arasında karşılıklı olarak yer değiştirdiği reaksiyon esnasında pilin şarj olması ya da deşarj olması sağlanır. Anot ve katot aktif malzemelerdir ve lityum içerirler. Lityum iyonu ise bu iki elektrot arasında yer değiştirirken (+) artı yüklü iyonlarını verip (-) eksi yüklü elektronlarını serbest bırakır. Böylelikle elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olur.

Aşağıdaki şekilde şarj durumunda eksi yüklü elektronların anota yüklenirken oluşan potansiyel farkı dengelemek üzere katottan artı yüklü lityum iyonlarının transferi gösterilmiştir.



**Şekil 4.9 :** Şarj durumunda iyon ve elektron hareketi.

Deşarj durumunda ise lityum iyonları katot elektrotuna transferi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



**Şekil 4.10** : Deşarj durumunda iyon ve elektron hareketi.

#### 4.3.2.2. Lityum-iyon pil kullanım riskleri

Lityum-iyon pilin kimyasına ve yapısına bağlı olarak birçok hata modu ortaya çıkabilir. Risk olarak değerlendirilebilecek bu hata modları aşağıda detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

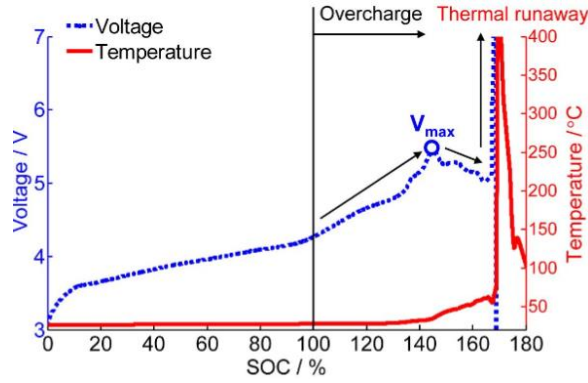
*Sıcaklık Limitleri:* Tüm piller iç dirençleri nedeniyle ısı kaynağıdır. Lityum-iyon piller diğerlerine nazaran daha makul seviyelerde iç dirence sahip olmalarına karşın yine de sıcaklık değerinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Genel olarak lityum-iyon piller -20 C ile +50 C arasındaki sıcaklıklarda çalışmalıdır. Pil bu limit sıcaklıklar dışında da çalışabilir ancak ömrünün uzun olmasını sağlamak ve hasara uğramasını engellemek için batarya yönetim sistemi tarafından operasyonun bu limitlerin dışındaki sıcaklıklarda kesilmesi, bataryanın çalışmaya son vermesinin sağlanması gereklidir.

*Hava Tahliyesi:* Pil içerisinde bir şekilde gaz oluşumu gerçekleşirse en hızlı şekilde bu havanın tahliyesi gereklidir. Bu yüzden pil üreticileri pilin dış koruyucu filmine olası bir istenmeyen gaz oluşumu ihtimaline karşı pil içinde basıncın artmasıyla kontrollü bir şekilde havanın tahliye edilmesini sağlamak ve pil içinde sürekli basınç artışını engellemek için daha ince bir film ile kaplı delik bırakmaktadırlar.

Bir şekilde zehirli, tehlikeli ve alevlenebilir gazların oluşumu gerçekleştiyse pilden tahliye olan hava suyla reaktif olabilir ve HF asit oluşturabilir ya da ağır/geçiş maddesi olabilir.

*Isıl Sürüklenme:* Isıl sürüklenme bir anda yüksek sıcaklık oluşumu vakasıdır. Bu durumda pil içerisinde bir reaksiyon başlar ve bu reaksiyon hiçbir şekilde

durdurulamaz. Ancak kendi kendine durabilir. Aşağıdaki şekilde ısıl sürüklenme durumundaki voltaj ve sıcaklık değerleri farklı SOC 'lere göre verilmiştir [23].

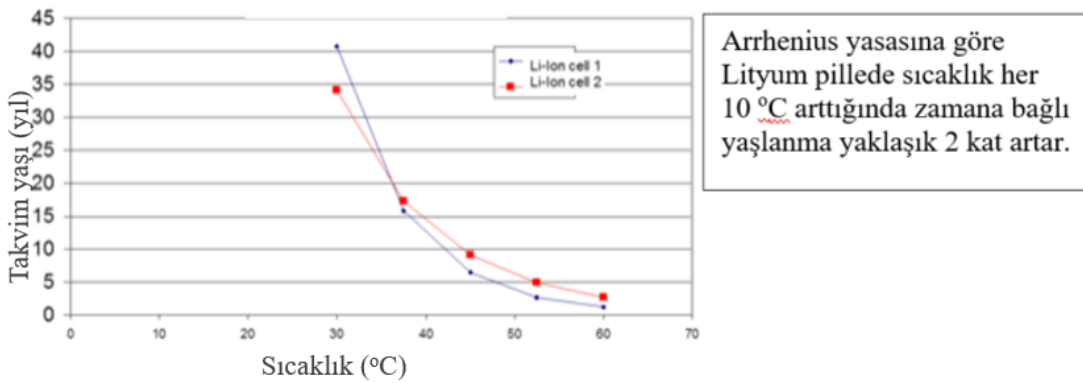


**Şekil 4.11** : Isıl sürüklenme esnasında ani sıcaklık artışı.

*Yaşlanma:* Otomotiv uygulamalarında güç ihtiyacı zamanla çok hızlı değişmektedir. Yüksek miktarda güç ve tork ihtiyacı varken bir anda frenleme yaparak şarj durumuna geçebilir. Ancak bu koşullar altında dahi lityum-iyon piller otomotiv uygulamaları için kendilerini uzun kilometreler boyunca görevlerini yerine getirebilecekleri konusunda kanıtlamışlardır. En zor koşullarda dahi bir otomobil bataryası bugün 200.000 km boyunca sorunsuz çalışabileceğini göstermiştir.

Deniz uygulamalarındaki gibi daha stabil koşullarda kullanıma olanak sağlayan, güç ve tork ihtiyacı zamanla çok değişmeyen uygulamalarda bataryanın eğer iyi bir yönetim sistemine sahipse otomotiv uygulamalarından da daha uzun süre ömre sahip olması beklenmektedir.

Özellikle sıcaklık artışları pil ömrünü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 6.11'den yüksek enerji yoğunluğuna sahip iki farklı lityum-iyon pilin her bir 10 C sıcaklık artışında yaşlanmasının yaklaşık 2 kat arttığı gözlemlenebilir.



**Şekil 4.12** : Sıcaklığa bağlı olarak yaşlanmadaki değişim.

Lityum-iyon pillerde iki çeşit yaşlanma oluşumu vardır, bunlar, zamana bağlı yaşlanma ve çevrime bağlı yaşlanmadır. Ev elektroniğinde kullanılan piller genelde 1-4 yıl arası ömre sahiptirler. Otomotiv uygulamalarında kullanılan pillerin ise en az 10 yıl ömre sahip olması beklenir.

Bataryalarda yaşlanma mekanizması üreticiler tarafından tam olarak anlaşılamamıştır. Bu yüzden üreticiler bu konuda daha çok sessiz kalmayı tercih etmektedirler. Çünkü analiz metotları henüz tam olarak doğrulanabilmiş değildir.

Lityum-iyon pillerde halen yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Her ne kadar eldeki mevcut teknolojiyle üretilmiş bir pilin ömrü için çalışma yapılmaya başlanmış olsa da çok yönlü olarak gelişen bu teknolojinin ömrü de sürekli yapılan iyileştirme neticesinde artmaktadır.

Bataryalar en çok aşağıdaki koşullarda zorlanmaktadır ve bu koşullarda bataryaların ömürleri azalmaktadır [24]:

- Kapasitenin tamamının kullanılması (tamamen pilin boşalması)
- Sıklıkla %100 e şarj olma
- Çalışma sıcaklık aralığının dışında çalıştırma veya depolama

#### **4.4. Batarya Elektrikli Tahrik Sistemi Tasarımı**

Bir önceki bölümde piyade tipi teknenin arzu edilen hareket kabiliyetine ulaşabilmesi için gerekli olan motor gücü, motor devri, pervane devri, devir düşürücü oranı hesaplanmıştı. Daha önce belirtildiği gibi bu çalışma ile amaçlanan elektrikli tahrik sisteminin dizel tahrik sistemine göre avantajlarını ortaya koymak. Bu yüzden pervane hesaplamaları ve optimizasyon çalışmaları bu bölümde seçilen elektrikli motora göre yeniden yapılmayacaktır. Sadece elektrik tahrikli sistemi tasarımı yapılarak aynı pervaneyi sürececek bir elektrik motoru seçilmesi, bu elektrik motorunun gün boyu ihtiyacı olan elektrik enerjisini sağlayacak batarya konfigürasyonu belirlenecektir.

##### **4.4.1. Elektrikli motor seçimi**

Aynı pervane efektif beygir gücünü elde edebilmek için önceki bölümde seçilen dizel motora yakın güce sahip bir elektrik motoru seçilecektir. Yüksek kalkış torkuna sahip olması, hız ayarına olanak sağlaması, dönme yönünün değiştirilebilmesi, ucuz ve hızlı olması Piyade tipi teknede çalışacak bir elektrikli motordan istenen başlıca

özelliklerindedir. Bu yüzden tahrik sisteminde kullanılacak elektrikli motorun DC (Doğru Akım) olmasına karar verilmiştir.

Motor seçiminde ihtiyaç duyulan gücü sağlayabilen 4 farklı elektrikli doğru akım motor belirlenmiştir. Bu motorlar piyasada bulunabilirlik, servis ve yedek parça kolaylıkları ve deniz taşıtları için uygun olmaları nedeniyle değerlendirmeye alınmıştır. Motorlara ilişkin bilgiler aşağıdaki çizelgede yer almaktadır.

**Çizelge 4.2 :** Piyade teknelerde kullanılacak elektrikli motorlar.

Marka	Marlin 5 Single	Bell Marine 5.0	Thoosa AME0709	Golden 5
Voltaj (V)	48	48	48	48
Akım (A)	140	105	125	176
Güç Çıkışı (kW)	5	3	5.1	6
Verimlilik	90%	90%	86%	91%
Nominal Motor Hızı (dev/dak)	2160	1450	2160	2388
Nominal Tork (Nm)	18	18	24,8	24,1
Maksimum Akım (A)	350	175	300	176
Maksimum Güç (kW)	14	5	14,3	6,6
Maksimum Tork (Nm)	38	31	59,5	24,1
Motor ve Bağlantı Braketinin Ağırlığı (kg)	21	25	29	16

Değerlendirme sonrasında dizel motor ile aynı gücü sağlayan ancak diğer elektrikli motorlardan daha az akım çeken Bell Marine 5.0 motorunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Elektrikli motorun braketler aracılığı ile bağlantı şekli aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 4.13 :** Elektrikli motor bağlantı şekli.

#### 4.4.2. DC/DC çevirici seçimi

Çeviriciler, kontrolsüz (ayarlanmamış) DC gerilimini kontrollü ve istenen sabit DC gerilimine dönüştürür. Belirli bir aralıkta (periyotta) yarı iletken anahtarın ilettime geçmesi sonucunda giriş geriliminden farklı bir çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır.

Batarya hücrelerinin ideal gerilim kaynağı olmaması yani açık devre gerilimlerinin şarj durumlarına veya yüke göre değişmesi pillerden oluşan batarya paketlerinin regüle edilmemiş birer enerji kaynakları olmasına yol açar. Bu regüle edilmemiş enerji kaynağından çevirici sayesinde sabit gerilimin elde edilir. Yani çeviricilerin ortalama DC çıkış gerilimi, giriş geriliminde dalgalanmaya veya yükteki bir değişmeye rağmen istenilen bir değerde sabittir.

Bu noktada istenen gerilim değerlerini elde edebilmek amacıyla elektrik motoru ile batarya arasındaki gerilimi sağlayacak olan bir DC-DC dönüştürücü seçilir. Piyasa da kolay ulaşılan bir elektrik devre elemanı olduğu için belli bir ürün seçilmemiştir. Aşağıdaki çizelgede özellikleri yer alan herhangi bir çevirici kullanılabilir.

**Çizelge 4.3 : Çevirici özellikleri.**

Giriş Voltajı (V)	Çıkış Voltajı (V)	Çıkış gücü (kW)
45-54,75	48	>4,07

Çevirici giriş voltajı batarya içerisinde seçilen pilin maksimum ve minimum voltaj değerlerine göre aşağıdaki gibi belirlenir.

Kullanılacak olan piller minimum 3 V, maksimum 3,65 V, nominalde 3,2 V gerilime sahip olacak şekilde seçilecektir. Bu pillerin seri bağlanmasıyla gerilim elektrik motorunun ihtiyacı olan 48 V değerine çıkartılacaktır. Bu durumda gerekli olan seri bağlı pil sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_{pil\ seri} = \frac{V_{motor}}{V_{pil\ nom}} = \frac{48}{3,2} = 15 \quad (4.1)$$

15 adet pil seri bağlandığında bataryadan çeviriciye gelecek olan gerilim aralığı ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{\text{cev}(\text{maks})} = V_{\text{pil}(\text{maks})} \times N_{\text{pil seri}} = 54,75 \text{ V} \quad (4.2)$$

$$V_{\text{cev}(\text{min})} = V_{\text{pil}(\text{min})} \times N_{\text{pil seri}} = 45 \text{ V} \quad (4.3)$$

Çeviricinin çıkış voltajı elektrik motorunun ihtiyacına denk gelmelidir.

$$V_{\text{motor}} = V_{\text{cev çıkış}} = 48 \text{ V} \quad (4.4)$$

Çıkış gücü elektrik motorunun mekanik gücünün çevirici ve motor verimlerine bağlı olarak aşağıdaki gibi bulunur. Bu hesaplamalarda çevirici verimi %90 olarak alınmıştır [25].

$$P_{\text{cev çıkış}} = \frac{P_{e\text{-motor}}}{\eta_m \times \eta_{\text{cev}}} = 4,07 \text{ kW} \quad (4.5)$$

#### 4.4.3. Devir düşürücü oranı

Devir düşürücü oranı elektrik motorunun devir sayısına,  $n_p$ , ve pervane devir sayısına,  $n_m$ , bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\xi = \frac{n_p}{n_m} = \frac{864}{1450} = \frac{1}{1,678} \quad (4.6)$$

#### 4.4.4. Batarya konfigürasyonunun belirlenmesi

Batarya konusunda teknolojinin geldiği son nokta, genel batarya terimleri, batarya tasarım metodolojisi, bataryanın güvenliği vs. gibi konulara daha önceki bölümlerde değinilmişti. Bu bölümde Piyade teknelerde kullanılacak bataryanın kapasitesi, pil seçimi, seçilen pile göre o kapasiteyi sağlamak için gereken pil sayısı, bunların birbirleriyle olan bağlantı yöntemi ve soğutma yöntemi anlatılacaktır.

##### 4.4.4.1. Batarya kapasitesinin belirlenmesi

Seçilen elektrikli motorunun saatte ihtiyaç duyduğu akım miktarı 105 A 'dir. Yani elektrikli motor 1 saat boyunca sürekli nominal tork değerinde hareket ederse toplam tüketeceği akım miktarı 105 Ah olur.



**Çizelge 4.4 : Batarya kapasitesinin hesaplanması.**

Sefer Süresi	25	Dak
Tur sayısı	22	1/gün
Günde toplam çalışma süresi	9,17	H
E-Motor gerilimi	48	V
E- Motorun saatte çektiği akım	105	A
Batarya kapasitesi (Ah)	962,85	Ah
Batarya kapasitesi (kWh)	46,22	kWh
Elektrik Fiyatı (27.04.19) [EK D]	0,51	TL/kWh
Günlük toplam tüketim tutarı	23,57	TL
CO <sub>2</sub> Emisyonu	0,00	g/gün
NO <sub>x</sub> Emisyonu	0,00	g/gün

Burada teknenin demirli olduğu kıyıdan ayrılması sırasında, gezi turu boyunca ve tekne limana yanaşırken sürekli servis hızında gittiği varsayılmıştır. Diğer bir deyişle, pervane devir sayısı değişken değildir.

#### **4.4.4.2. Pil seçimi**

Referans alınan tekne sayısının azlığı sebebiyle tam kapasite ihtiyacına yönelik özel bir batarya paketi oluşturmak yerine, piyasada hazır bulunan, kolay ulaşılabilecek raf ürünü piller belli sayıda seri ve paralel bağlanarak gerekli kapasite ihtiyacı sağlanabilir. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de görülebileceği üzere denizcilik uygulamalarında kullanılacak 14 adet farklı pil incelenmiş olup bunların içinden ağırlık, fiyat ve çevrim sayısına göre en optimumu seçilecektir.

Teknelerin her gün bir defa şarj olacağını varsaymıştık. Bölgenin konumu dolayısıyla 10 ay boyunca sezonun açık olduğu tekne sahipleri tarafından söylenmişti. Bu kabul ile teknenin bir sezonda 10 ay boyunca her gün 22 tur yaparak çalıştığını varsayarsak batarya yılda 300 defa şarj olacaktır.

Tabloya göre XCell ECPC 240 Ah ağırlık, fiyat ve çevrim sayısı açısından en optimum pildir. Bundan sonra yapılacak hesaplamalarda batarya konfigürasyonunun bu pil ile yapılacağı varsayımıyla ilerlenecektir.

**Çizelge 4.5 : Batarya için pil seçimi [26].**

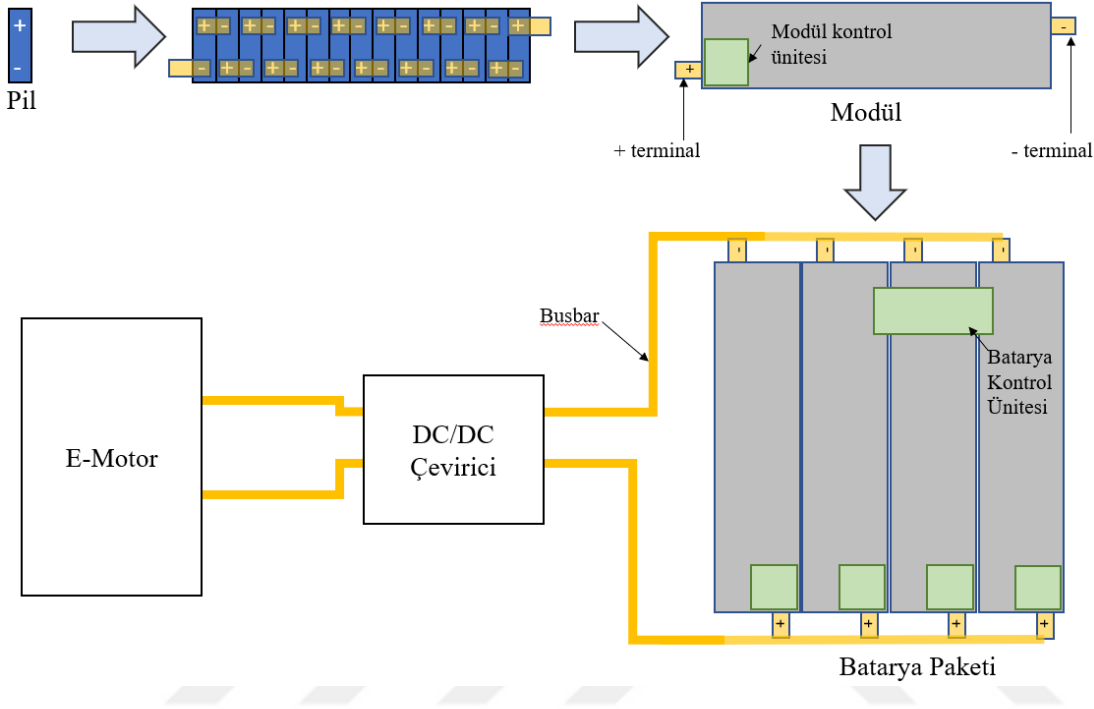
		Fortune 25Ah	Fortune 60Ah	Fortune 100Ah	Xcell 120Ah	Bright Star ECPC 150 Ah	Xcell ECPC 176 Ah	Xcell ECPC 206 Ah
Nominal Voltaj	V	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Minimum Voltaj	V	3	3	3	3	3	3	3
Maksimum Voltaj	V	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65
Pil Kapasitesi	Ah	25	60	100	120	150	176	206
Pil Ağırlığı	kg	0,7	1,7	3	2,9	3,2	4	4,2
C		2	10	6	3	5	3	3
Seri Bağlantı Sayısı		15	15	15	15	15	15	15
Batarya Voltaj Değeri	V	48	48	48	48	48	48	48
Paralel Bağlantı Sayısı		39	17	10	9	7	6	5
Batarya Kapasitesi	Ah	975	1020	1000	1080	1050	1056	1030
Batarya Paketinin Toplam Enerjisi	kWh	46,8	48,96	48	51,84	50,4	50,688	49,44
Minimum çevrim sayısı		2500	3000	3000	2000	4000	3500	3000
Birim Fiyat	\$	\$23,5	\$68,5	\$126,0	\$117	\$183	\$171	\$200
Toplam Fiyat	\$	\$13.747,5	\$17.467,5	\$18.900,0	\$15.795,0	\$19.215,0	\$15.390,0	\$15.000,0
Toplam Ağırlık	kg	409,5	433,5	450	391,5	336	360	315

**Çizelge 4.6 : Batarya için pil seçimi [26].**

		Xcell ECPC 240Ah	Xcell ECPC 277Ah	CAM72 72Ah 2C	CAALB 100Ah 2C	CAALB 180Ah 2C	CAALB 200Ah 2C
Nominal Voltaj	V	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Minimum Voltaj	V	3	3	3	3	3	3
Maksimum Voltaj	V	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65
Pil Kapasitesi	Ah	240	277	72	100	180	200
Pil Ağırlığı	kg	5,2	5,6	1,9	3,4	5,7	5,7
	C	3	3	2	2	2	2
Seri Bağlantı Sayısı		15	15	15	15	15	15
Batarya Voltaj Değeri	V	48	48	48	48	48	48
Paralel Bağlantı Sayısı		4	4	14	10	6	5
Batarya Kapasitesi	Ah	960	1108	1008	1000	1080	1000
Batarya Paketinin Toplam Enerjisi	kWh	46,08	53,184	48,384	48	51,84	48
Minimum çevrim sayısı		>3500	>3000	2000	2000	2000	2000
Birim Fiyat	\$	\$233	\$269	\$107	\$123	\$218	\$249
Toplam Fiyat	\$	\$13.980,0	\$16.140,0	\$22.470,0	\$18.450,0	\$19.620,0	\$18.675,0
Toplam Ağırlık	kg	312	336	399	510	513	427,5

#### 4.4.4.3. Pillerin birbirine bağlantısı

Gerekli kapasite ihtiyacı karşılamak için 15 adet pil seri bağlanarak bir modül haline getirilecek ve 4 adet modül paralel bağlanarak batarya paketi oluşturulacaktır. Böylece kullanılan toplam pil sayısı 60 adet olacaktır.



Şekil 4.14 : Batarya paketi bileşenleri.

Modüller, üzerinden geçen yüksek akımı karşılayabilecek kapasitede bir iletken ile birbirlerine bağlanmalıdır. Batarya paketinde modüller arasındaki bu bağlantıyı *busbar* denilen bakır veya alüminyum malzemeye sahip plakalar, belli bir kalınlıktaki levhalardan akımı taşıyacak boyutlarda kesilmiş bükülerek elde edilir. Elektrik sıçramalarını engellemek için etraflarında yalıtkanlık sağlayacak bir malzeme ile kaplanırlar. Aşağıdaki şekilde örnek bir busbar modeli gösterilmiştir.



**Şekil 4.15 :** Örnek bir busbar modeli.

Aşağıda şekilde elektrikli bir otomobile ait batarya paketinin modülleri arasındaki elektrik akımını sağlayan busbarlar gösterilmektedir. Busbarlar yüksek voltaj taşıyan, kesinlikle çıplak elle ve uzman olmayan kişilerce dokunulmaması gereken elektrik taşıyıcı köprülerdir. Bu yüzden ayırt edici olması için genellikle renkleri turuncudur.



**Şekil 4.16 :** Modüller arası busbar bağlantıları.

Her bir modül içerisinde yüksek voltaj hatlarının haricinde modül içi sıcaklıkların operasyonlar sürecinde ölçülerek kontrol edilebilmesi amacıyla sıcaklık sensörleri yer almaktadır. Bu sensörler düşük voltaj hattı ile batarya kontrol ünitesine bilgi aktarırlar. Sensörlerin sayısı ve konumu yapılan simülasyon ve test sonuçlarına belirlenir.

#### 4.4.4.4. Busbar kalınlığının belirlenmesi

Busbar kalınlığı şarj ve deşarj hızlarından büyük olanına göre belirlenir. Deşarj hızı elektrik motorunun çekeceği maksimum akım hızıdır. Seçilen motorun teknik verilerine göre maksimum deşarj hızı 105 A'dır.

Tekne sahipleri ile yapılan görüşmelerde teknelerin en geç akşam 22:00'a kadar çalıştığı, sabah en erken 09:00 saatlerinde tekrar turlara başladığı bilgisini alınmıştı. Buradan teknenin 11 saat süreyle limanda bağlı olacağını, dolayısıyla bataryanın tam boş halden tam dolu hale şarj olması için kabaca ~10 saat süre olduğunu görülür.

Seçilen pilin batarya ihtiyaçlarını sağlayacak şekilde seri ve paralel olarak bağlanmasıyla oluşturulan konfigürasyona göre Çizelge 4.6'da da görüleceği üzere batarya kapasitesi 960 Ah olarak hesaplanmıştı. Bu durumda minimum şarj hızı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Minimum şarj hızı} = \frac{960 \text{ Ah}}{10 \text{ h}} = 96 \text{ A} \quad (4.7)$$

Bu durumda busbarlardan geçecek maksimum akım miktarı deşarj hızı şarj hızından daha büyük olduğundan 105 A olarak kabul edilir. Bu çalışmada busbar malzemesinin bakır olduğu göz önüne alınacaktır. Çünkü busbar malzemesi bakır seçilirse, busbarın iletilen akım miktarı birim alan başına 3,0 A/mm<sup>2</sup>, alüminyum seçilirse 1,8 A/mm<sup>2</sup> dir [27]. Dolayısıyla yüksek voltaj hatlarının daha küçük ebatlarda olması için bakır olmasına karar verilmiştir.

Bakır busbarların 105 A akım şiddetine dayanabilmesi için kesit alanı büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Busbar Kesit Alanı} = \frac{105 \text{ A}}{3,0 \text{ A/mm}^2} = 35 \text{ mm}^2 \quad (4.8)$$

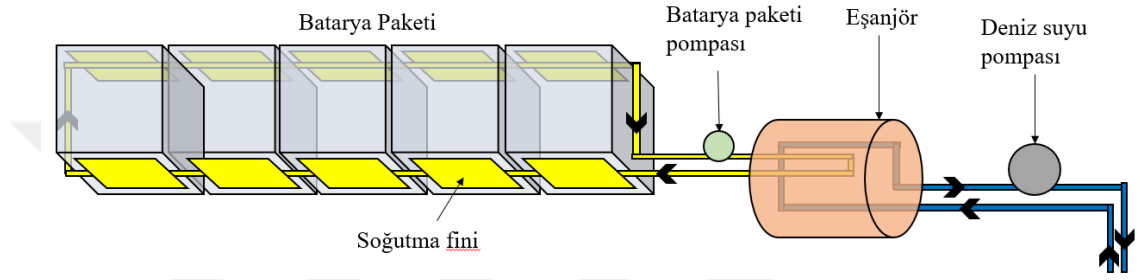
#### 4.4.4.5. Batarya paketinin soğutulması

Batarya paketi konfigürasyonu oluşturulduktan sonra aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurularak en fazla ısı yük oluşturan çalışma senaryosu belirlenir ve bu senaryoya göre bataryanın termal analizi yapılır.

- Pil üreticisi tarafından verilen pil iç dirençleri
- Pil şarj – deşarj hızları

- Pil sürekli şarj hızı, kısa süreli yüksek şarj hızı
- Pil sürekli deşarj hızı, kısa süreli yüksek deşarj hızı
- Sürüş profili
- Çalışma alanı ortam sıcaklıkları

Termal analiz sonuçlarına göre ne kadarlık bir soğutma enerjisine ihtiyaç duyulduğu hesaplanır ve bu ihtiyaca bağlı olarak ısı değıştiricisi ve soğutma finlerinin kapasiteleri belirlenir. Soğutma finleri plakalar halinde her bir modül üzerine yerleştirilir. Daha önce de bahsedildiği gibi soğutma devresi batarya kontrol sistemi tarafından yönetilir.



**Şekil 4.17 :** Batarya paketi soğut sistemi devresi.

Piyade tekneler için oluşturulan batarya paketinin kontrolünü yapan ünitenin adetlerin düşük olması sebebiyle hazır ve programlanabilir bir ürün olması maliyet açısından avantajlıdır. Bu yüzden denizcilik uygulamaları için programlanabilir bir batarya kontrol ünitesi seçilmişti.





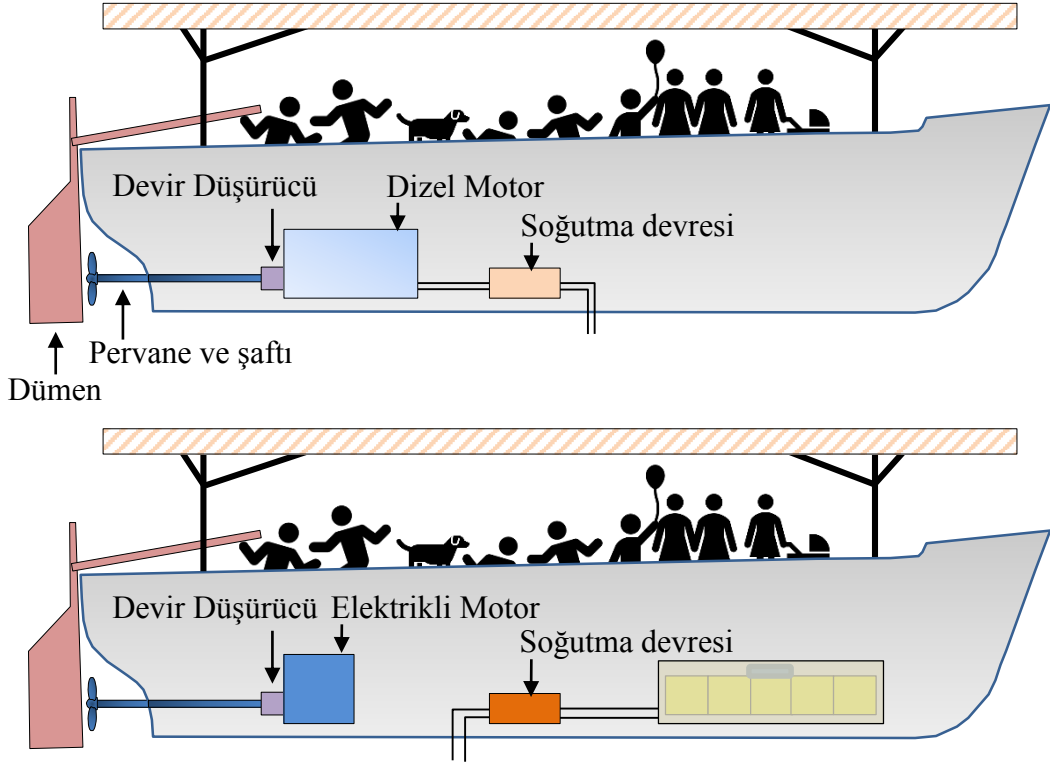
## 5. DİZEL VE BATARYA ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Deniz taşıtlarında tahrik sistemine karar verirken görev profili, hız isteri, güç gereksinimi, müsaade edilen emisyon limitleri, varsa gürültü limitleri, teknik gereksinimler gibi temel parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu bölümde, daha önceki bölümlerde incelemesi ve modellenmesi yapılan dizel ve elektrikli tahrik sisteminin belirlenen parametreleri üzerinden bir ekonomik değerlendirmeler ve karşılaştırmalar yapılacaktır.

Bu doğrultuda ekonomik analiz yapılırken aşağıdaki maliyet kalemleri ayrı ayrı değerlendirilecektir:

- İlk yatırım maliyetleri
- Operasyon maliyetleri
- Bakım maliyetleri

Her iki tahrik sisteminin konfigürasyonları aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.1 : Dizel ve batarya elektrikli tahrik sistemi konfigürasyonları.

Maliyet analizleri sırasında tekne formu ortak olduğundan değerlendirmelere katılmayacaktır. Ayrıca her iki tahrik konfigürasyonunda da ortak olan bileşenler maliyet analizlerinin dışında tutulacaktır. Bu ortak bileşenler aşağıda verilmiştir.

- Tekne gövdesi
- Pervane
- Pervane Şaft
- Devir düşürücü
- Soğutma devresi
- Dümen
- Güverte ekipmanları
- Paralı yük

### 5.1. Yatırım Maliyetleri

Model deney sonuçlarına göre belirlenen efektif tekne gücüne göre seçilen piyade tekne dizel motoru Hatz Diesel 1D41C idi. Bu motorun fiyatı 2500 \$ dır [11]. Motorun entegrasyonu için oluşacak maliyet ise dizel motor maliyetinin %10 u olarak kabul edilmiştir.

Batarya elektrikli tahrik sistemin kullanılacak Bell Marine 5.0 serisi elektrikli motorun birim fiyatı 2895 \$'dır [28]. Öte yandan batarya paketinde kullanılacak pil ise XCell ECPC 240 Ah olarak belirlenmişti ve batarya kapasitesini sağlayabilmek için 60 adet pil kullanımı gerektiği hesaplanmıştı. Bu sayıdaki toplam pillerin maliyeti ise 13980 \$ 'dır. Piller haricinde batarya sisteminde yer alan bileşenlerin maliyetleri de aşağıdaki çizelgede verilmiştir [26]. Yine tahrik sistemi entegrasyonu için oluşacak maliyet ise elektrikli motor maliyetinin %10 'u olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Pil harici batarya paketi bileşenlerinin maliyetleri.**

Bileşen	Maliyet (\$)
BMS	1263,00
Bağlantı Kablosu (2 m)	99,00
Akım sensörü	78,00
Kablo demeti	27,00
Sıcaklık sensörü (7x)	45,50
CAN Adaptörü	72,00

## 5.2. Operasyon Maliyetleri

Dizel motorlu tahrik sistemini için seçilmiş olan Hatz Diesel 1D41C motorunun günlük yakıt tüketimi 9,49lt olarak hesaplanmış ve çizelge 3.11 'de verilmişti. Dizel yakıt litre maliyeti 27.04.2019 tarihindeki verilere göre 6,5 ₺'dir. Böylece günlük toplam yakıt tüketim maliyeti 61,70 ₺ dir. Köyceğiz Akyaka bölgesindeki piyade tipi teknelerin yıllık operasyon süresi 300 gün olarak varsayıldığında yıllık toplam yakıt tüketim maliyeti 18505,50 ₺ olarak hesaplanır. Bu değer güncel Dolar/Türk lirası paritesine göre 3084,25 \$ maliyete karşılık gelmektedir.

Batarya elektrikli tahrik sistemi için hesaplanan batarya kapasitesi 46,22 kWh 'ti ve bu değer Çizelge 4.5 'te verilmişti. Günlük operasyon için tek şarj adımı planlandığı için batarya kapasitesi aynı zamanda teknenin günlük tükettiği enerji miktarına karşılık gelmektedir. Elektrik enerjisi birim maliyeti 27.04.2019 tarihindeki Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu verilerine göre 0,51 ₺/kWh 'tır. Böylece günlük toplam elektrik tüketim maliyeti 23,57 ₺ dir. Yukarıda belirtildiği gibi yıllık operasyon süresi 300 gün kabul edildiğinden yıllık toplam elektrik tüketim maliyeti 7071,66 ₺ olarak hesaplanır. Bu değer yine güncel Dolar/Türk lirası paritesine göre 1178,61 \$ maliyete karşılık gelmektedir.

## 5.3. Bakım Maliyetleri

Dizel motorlu tahrik sistemini için seçilmiş olan Hatz Diesel 1D41C motorunun teknik veri formları incelendiğinde üretici tarafından her 250 saatte bir yağ ve yağ filtresi; her 500 saatte bir de yakıt filtresi değiştirilmesi önerilmiştir. Bu kapsamda yıllık bakım maliyeti aşağıdaki çizelgede detaylı bir şekilde hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.2 : Yıllık dizel tahrik sistemi bakım maliyeti.**

Günlük toplam çalışma süresi	h	9,17
Yılda çalışılan gün sayısı	gün	300
Bir yıldaki toplam çalışma süresi	h	2750
Yağ değişimi süresi	h	250
Yağ filtresi değişimi süresi	h	250
Yakıt filtresi değişim süresi	h	500
Yılda yağ değişim sayısı		11
Yılda yağ filtresi değişim sayısı		11
Yılda yakıt filtresi değişim sayısı		5,5
Yağ kapasitesi	l	1,2
Yağ birim fiyat (15W/40)	\$	2,75
Yağ filtre birim fiyat	\$	12,55
Yakıt filtre birim fiyat	\$	11,33
Yılda yağ değişim fiyatı	\$	36,3
Yılda yağ filtre değişim fiyatı	\$	138,05
Yılda yakıt filtre değişim fiyatı	\$	62,315
Toplam yıllık bakım maliyeti	\$	236,665

Çizelgeden de görüldüğü üzere yapılan hesaplamalar dizel motorlu tahrik sisteminin yıllık bakım maliyetinin 236,7 \$ olduğunu göstermiştir.

Batarya elektrikli tahrik sistemi uzun ömürlü ve bakım gerektirmeyen bir yapıdadır. Özellikle elektrik motoru ve dizel motor karşılaştırıldığında elektrik motorunun dizel motora göre daha basit olması, çok daha az sayıda alt parçalar içermesi sayesinde bakım maliyetlerini ortadan kaldırmıştır. Öte yandan batarya elektrikli tahrik sistemi içerisinde pillerin belirli bir ömürde olmaları sisteme bir bakım maliyeti oluşturmaktadır. Pillerin ömürleri pil üreticilerinin verdikleri çevrim sayısına göre hesaplanır. Yapılan maliyet analizine göre en optimum sonuç olarak seçilen XCell EC 240 Ah pilinin ömrü 3500 çevrim olarak verilmiştir. Teknenin yılda 300 gün çalıştığı kabulüyle yaklaşık 12 yılda bir yenilenmeleri gerekmektedir. Dolayısıyla toplam pil maliyeti olan 13980 \$ yıllık olarak yaklaşık 1198,28 \$ bakım maliyeti oluşturmaktadır.

#### **5.4. Amortisman Hesabı**

Aşağıdaki çizelgede her iki tahrik sistemine ait önceki kısımda hesaplanan yatırım ve yıllık maliyetler özetlenmiştir.

**Çizelge 5.3 :** Tahrik sistemlerinin yatırım ve yıllık maliyetleri.

<b>Maliyet Kalemi</b>	<b>Dizel Motorlu Tahrik Sistemi</b>	<b>Batarya Elektrikli Tahrik Sistemi</b>
Yatırım Maliyetleri	\$ 2.750,00	\$ 18.459,50
Operasyon Maliyetleri	\$ 3.084,25	\$ 1.178,61
Bakım Maliyetleri	\$ 236,70	\$ 1.198,28

Amortisman hesaplamaları teknelerin 25 yıl boyunca çalışacağı kabulüyle ilk yatırım maliyetleri, operasyon maliyetleri ve bakım maliyetleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Amortisman analizi.

<b>Yıl</b>	<b>Dizel Motorlu Tahrik Sistemi</b>	<b>Batarya Elektrikli Tahrik Sistemi</b>
1.	6070,95	20836,39
2.	9391,9	23213,28
3.	12712,85	25590,17
4.	16033,8	27967,06
5.	19354,75	30343,95
6.	22675,7	32720,84
7.	25996,65	35097,73
8.	29317,6	37474,62
9.	32638,55	39851,51
10.	35959,5	42228,4
11.	39280,45	44605,29
12.	42601,4	46982,18
13.	45922,35	49359,07
14.	49243,3	51735,96
15.	52564,25	54112,85
16.	55885,2	56489,74
17.	59206,15	58866,63
18.	62527,1	61243,52
19.	65848,05	63620,41
20.	69169	65997,3
21.	72489,95	68374,19
22.	75810,9	70751,08
23.	79131,85	73127,97
24.	82452,8	75504,86
25.	85773,75	77881,75



## 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada öncelikle gemi mühendisliği odağında gemilere ait karakteristik boyutsal tanımlar, katsayılar hakkında bilgiler verilmiş daha sonrada gemi direnci ve tahrik sistemine yönelik temel prensipler hakkında hesaplamalarda kullanmak için bilgiler verilmiştir. Çalışmada kullanılacak hedef tekne sınıfının belirlenmesi için Köyceğiz Dalyan ve Akyaka bölgeleri ziyaret edilmiştir. Tekne sahipleri ile görüşülmüş ve bölgedeki piyade tipi teknelerin özellikleri ve kullanım şartlarına ilişkin bilgiler elde edilmiştir. Bölgede 500'ün üzerinde kayıtlı Piyade tekne olmasına rağmen bu çalışma için Akyaka Bölgesi'nde kullanılan 23 adet tekneye odaklanılmıştır. Bu tekneler dizel motorlu tahrik sistemine sahiptir.

Bu çalışmanın amacı bölgeye ziyaret sırasında yapılan gözlemler sonucunda bölgede kullanılan tekne sınıfı için dizel motorlu tahrik sisteminin çevreye zarar vermesi ve canlı türlerinin devamını olumsuz etkilemesi nedenleriyle tahrik sistemlerinin batarya elektrikli tahrik sistemlerine dönüştürülmesine özendirme ve bu dönüşümün finansal açıdan da tekne sahiplerine uzun vadede katkı sağladığını göstermektir.

Çalışmada yapılan hesaplamalar için daha önceki tez çalışmaları için yapılan model deney test sonuçlarından faydalanılmıştır. Başlangıç olarak da yine bu tez çalışmasında yer alan ve benzerlik yöntemiyle 10 metre boyundaki tekne için deney sonuçları aracılığı ile hesaplanmış değerler kullanılmıştır. Sonrasında bu 10 metrelik tekne için 6 knots servis hızı şartlarında gerekli dizel motorlu tahrik sistemi ön tasarımı yapılmıştır. Bu ön tasarım, dizel motor seçimi, devir düşürücü seçimi ve pervane hesaplamalarını içeren pervane seçimi adımlarını içermektedir. Pervane seçimi sistematik analiz yöntemi ile hesaplamaların yapılmasını kapsamaktadır.

Özellikle otomotiv sektöründe yaşanan son yıllardaki gelişmeler ve geleceğe yönelik tahminlerde dizel motorun yerini elektrik motorunun alması fikrinden yola çıkılarak ve bu sistemlerin yenilenebilir enerji kaynaklı olması denizcilik sektöründe de elektrik tahrikli sistemleri cazip hale getirmiştir.

Çalışmada dizel motorlu tahrik sistemi yerine yeni gelişmekte olan batarya elektrikli tahrik sistemi temiz güç kaynağı olarak önerilmiştir. Batarya elektrikli tahrik

sisteminin konfigürasyonu, bileşenleri ve çalışma senaryosuna yönelik temel bilgiler anlatılmış ve çalışmanın odağındaki piyade tipi tekneler için elektrikli tahrik sisteminin ön tasarımı yapılmıştır. Dizel motor ile aynı gücü sağlayan elektrik motoru seçimi yapılmış, bu elektrik motorunu besleyecek batarya sistemi tanımlanmış, batarya sistemi içerisinde kullanılacak piller seçilmiş ve bu pillerin batarya kapasitesini karşılayacak şekilde bağlantı şekli tanımlanmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ön tasarımları yapılan dizel motorlu ve batarya elektrikli tahrik sistemlerinin maliyet analizleri yapılmıştır. Bu maliyet analizleri 3 farklı açıdan ele alınmıştır.

Yatırım maliyetleri açısından karşılaştırma yapıldığında batarya elektrikli tahrik sisteminin dizel motorlu tahrik sisteminden yaklaşık 16000 \$ daha pahalı olduğu görülmüştür. Bu pahalılığın temel nedeni elektrikli tahrik sistemi içerisinde yer alan pil maliyetleridir. Özellikle son yıllarda dünya üzerindeki birçok araştırma şirketinin yeni pil teknolojileri üzerinde maliyet azaltma ve enerji yoğunluğunu arttırmaya yönelik çalışmalar yaptığı bilinmektedir. Dolayısıyla kısa vadede elektrikli tahrik sisteminin yatırım maliyetinde en büyük paya sahip olan batarya paketinin payının büyük oranda azalacağı açıktır.

Operasyon maliyetleri dizel motorun yakıt tüketimi ve batarya kapasitesi göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda elektrikli tahrik sisteminin yıllık operasyon maliyeti dizel motorlu tahrik sistemine göre yaklaşık 2000 \$ daha ucuzdur. Ancak son 10 yılda yaşanan petrol fiyatlarındaki artış düşünüldüğünde yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklı elektrikli tahrik sisteminin operasyonel maliyetler açısından çok daha avantajlı olacağı kolaylıkla öngörülmektedir.

Bakım maliyetleri açısından batarya elektrikli tahrik sisteminin yıllık maliyeti yaklaşık 1000 \$ daha pahalıdır. Ancak dizel motor tahrikli sistemin bakım maliyetleri hesaplanırken sadece motor kataloğunda önerilen yağ ve filtre değişimleri göz önüne alınmış, potansiyel arıza maliyetleri hesaba katılmamıştır. Öte yandan batarya elektrikli tahrik sisteminin bakım maliyeti olmamasına karşın pil üreticisi tarafından verilen 3500 çevrimlik pil ömrü yaklaşık 12 yıl sonra sona erecek ve batarya paketi içerisindeki pillerin değiştirilmesi gerekecektir. Bu pil değişim maliyeti yıllık bakım maliyeti olarak batarya elektrikli tahrik sistemi maliyetlerine ilave edilmiştir. Pil değişim maliyeti haricinde batarya paketinin yıllık bakım maliyeti için literatürde



herhangi bir öneride bulunulmamış hali hazırda uygulamaları olan otomotiv sektöründe de batarya paketi için herhangi bir yıllık bakım maliyeti öngörülmemiştir.

Amortisman analizi tekne ömrünün 25 yıl olduğu kabulü ile yapılmıştır. Yatırım maliyetlerini içeren bu analiz sonucuna göre batarya elektrikli tahrik sistemi 17. yılda maliyet açısından daha karlı hale gelmeye başlamıştır. Bu 17 yıllık amortisman süresi içerisinde ileri teknoloji kaynaklı pil maliyetlerinin azalması etkisi ve azalan kaynak dolayısıyla artan dizel fiyatlarındaki yükseliş göz ardı edilmiştir. Ek olarak eğer yatırım maliyetleri amortisman analizinden çıkartılırsa batarya elektrikli tahrik sistemi kullanıldığında maliyetlerin operasyonlar başlar başlamaz daha düşük olduğu saptanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan parça fiyatları internetten alınmış, herhangi bir iskonto uygulanmamıştır. Elektrik dönüşümü Kadın Azmağı nehrinde çalışan bütün tekneler için yapılmış olsaydı ihtiyaç duyulan pil sayısı 23 kat artacaktı ve pil fiyatlarında ciddi düşüş beklenirdi. Bunun otomotiv uygulamalarındaki bir örneğini [Ek E]'de bulunan tablodan görebilirsiniz. Eğer pil üreticisi ile iletişime geçilir ve toplu bir alım olursa fiyatlarda ciddi bir düşüş gerçekleşir ve bu durumda yatırım maliyetleri ciddi oranda düşer.

İlk yatırım maliyetinde elektrik tahrik sisteminin yarattığı dezavantajlar sponsorluk veya ilgili bakanlıkların çevre ve kültür miraslarını korumak amacıyla verdikleri teşviklerle aşılabılır.

Elektrikli tahrik sisteminin bir diğer avantajı ise daha önce de belirtildiği gibi çevre koruma anlamındaki kazanımlardır. Dizel bir tekne her gün için 683,2 gr CO<sub>2</sub> ve 23,17 gr NO<sub>x</sub> emisyonuna sebep olurken elektrikli tekne sıfır emisyon sağlamaktadır. Böylelikle bölgenin yüksek turist sayısına ulaşabilmesindeki en büyük etmenlerden biri olan temiz çevre ve doğal güzelliklerin korunmasına katkı sağlanmaktadır. Ayrıca elektrikli teknelerin sessiz olması bölgede yaşayan ve özellikle gürültüden olumsuz etkilenen yalı çapkını kuşunun neslinin tükenmesinin engellenmesine katkı sağlayacaktır.



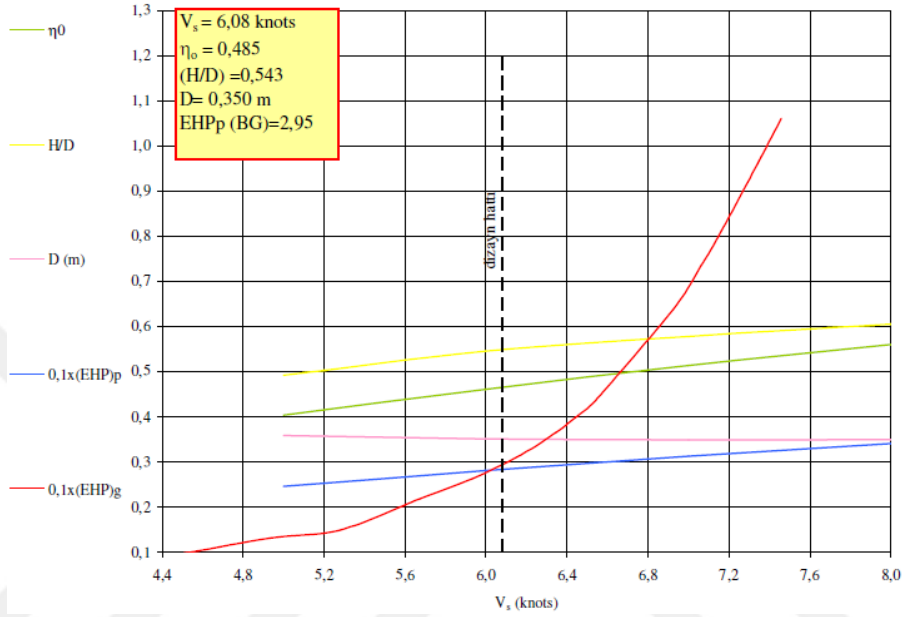
## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<https://www.kyotoprotocol.com/>> , Erişim tarihi 01 Mart 2019
- [2] **Yıldırım, S.** (2004). *Balıkçı Gemilerinde Prototip ve Modeli Arasındaki Karşılıklı Hidrodinamik Etkileşimler* (Yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [3] **Kalıpçı, S.** (1999). *Piyade Tipi Balıkçı Teknelerinin Hidromekanik Analizi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [4] **Kalıpçı, S.** (1995). *Piyade Tipi Balıkçı Teknelerinin Sistematik Direnç Analizi* (Bitirme Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnsaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnsaatı Bölümü, İstanbul.
- [5] **Ersöz, B.** (2006). *Piyade Tipi Balıkçı Teknelerinin Sistematik Pervane Serileri Yardımıyla Optimum Pervane Dizaynı* (Yüksek lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- [6] **Ship and Boat International.** (Nov/Dec 2007). *Environment and diversity key factors in US boat building*, (s.42-49). Retrieved from <https://www.rina.org.uk/sbi.html>
- [7] **Fuel Cells Bulletin** (Nov 2013). *Nuvera fuel cells for Fincatieri marine vessels* (Vol.2013, no.12, s.1). Retrieved from <https://www.journals.elsevier.com/fuel-cells-bulletin>
- [8] **Shahan, C.** (2015, June 13). World's first all-electric battery-powered ferry. *Clean Technica*, Retrieved from <https://cleantechnica.com/2015/06/13/worlds-first-electric-battery-powered-ferry/>
- [9] **Url-2** <<http://www.corila.it/en>> Erişim tarihi 02 Mart 2019
- [10] **Dalyan'daki Tekneler Çevre Dostu Teknelere Dönüşüyor.** (2011, 18 Temmuz) *Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.*
- [11] **Özay Bey. (2018)** Kişisel görüşme. 1 Kasım, Dalyan
- [12] **BloombergNEF.** (2019, March 5) *A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices.* Retrieved from <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>
- [13] **Yılmaz, Tamer.** (2005) *Gemi Mühendisliği El kitabı* Gemi Mühendisleri Odası Yayınları, İstanbul
- [14] **Kafalı, K.,** (1982). Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, (Cilt 2), (İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 1238)
- [15] **Url-8:** < <http://160.75.154.36/staff/takinaci/> >
- [16] **Url-3** < <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-158/akaryak%C4%B1tfiyat> >, Erişim tarihi 02 Mayıs 2019

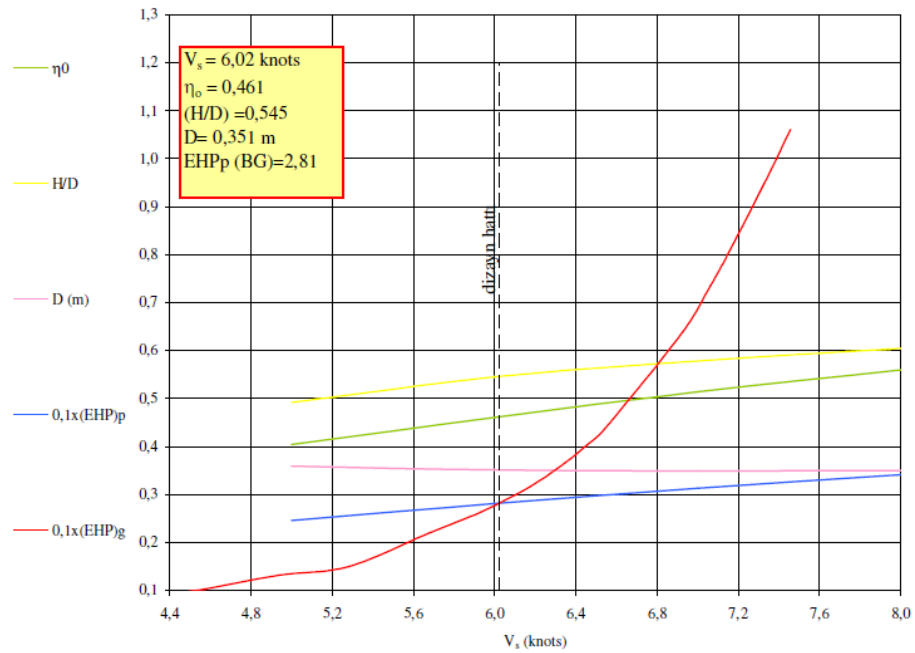
- [17] **EPA United States Enviromental Protection Agency**, (2005, Nisan) Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel. (t.y.). Erişim: 15 Nisan 2019,
- [18] **Url-4:** < <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx> > Erişim tarihi 02.05.2019
- [19] **Gürbüz, Y., Kulaksız, A. A.**, Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması, (GÜFBED/GUSTIJ 2016 117-125) Necmettin Erbakan Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi.
- [20] **Beganovic, S., Dacic, S.** (2012). Comparison of Dynamic Characteristics of Electric and Conventional Road Vehicles, *GDC2012 Conference*, (s.2) Bosnia and Herzegovina : University of Sarajevo, 2012
- [21] **Muratoğlu, Y., Alkaya, A.** (2016) *Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi İnceleme* (Sayı 458)
- [22] **Kurzweil, P., Garche J.** (2017) Overwiev of battaries for future automobiles. Lead Acid Battaries for Future Automobiles., (s27-96)
- [23] **Feng, X. ve diğerleri**, (2017). *Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles*. Tsingua University, Beijing 100084, China.
- [24] **Url-5:**<[https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries)>.
- [25] **Özelgin, İ., Yıldırım, M.**, (2018). *Hibrit Araç Bileşenlerinin Gelimişi*. Arge Koordinatörlüğü, Ford Otosan, İstanbul.
- [26] **Url-6:**< <https://www.electrincarpartscompany.com> >
- [27] **Chapman, D., Norris, T.**. (2014). *Copper for Busbars Guidance for Design and Installation* (Publication No 22) Copper Development Association.
- [28] **Url-7:** <<https://docplayer.net/21854597-Price-list-september-2015.html>>

## EKLER

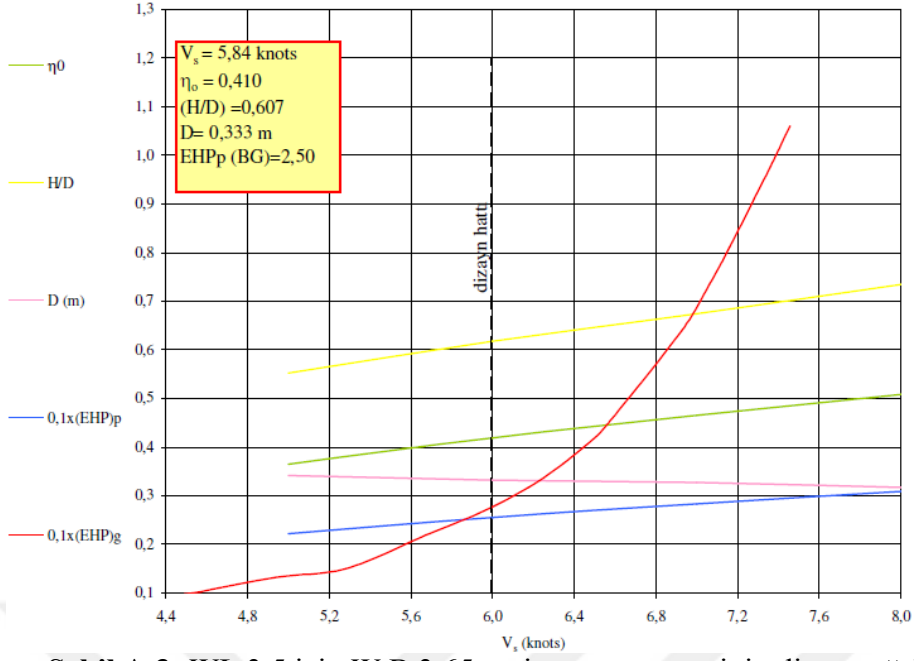
**EK A:** WL 3.5 ve WL 5.0 için dizayn eğrileri.



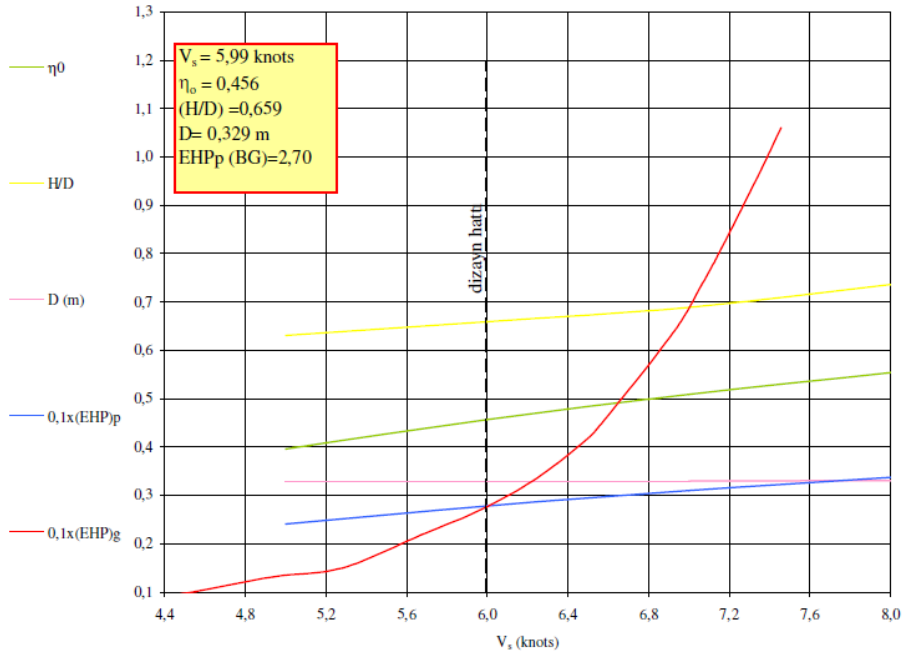
**Şekil A.1:** WL 3.5 için W B 3.35 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



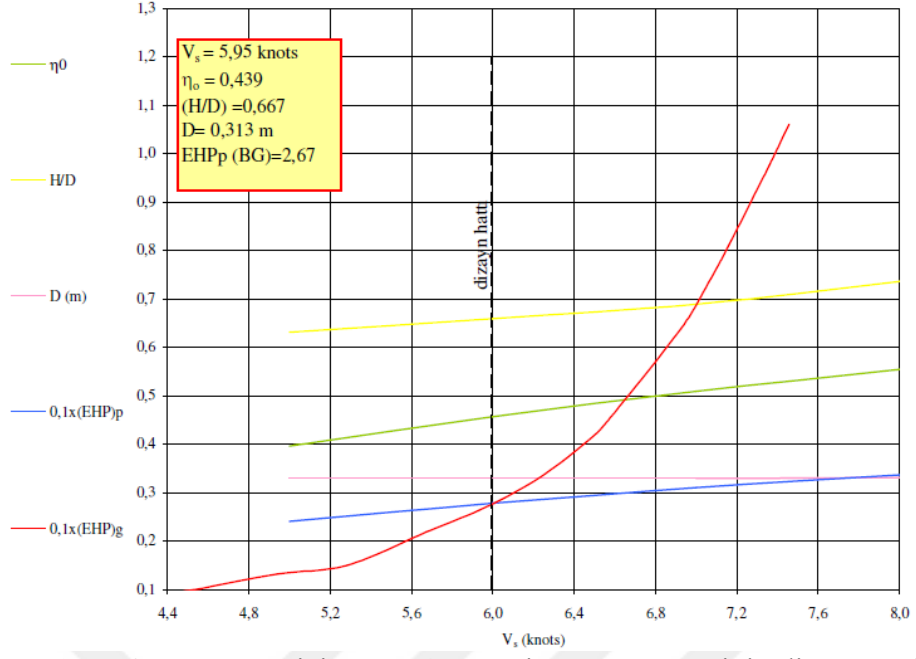
**Şekil A.2:** WL 3.5 için W B 3.50 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



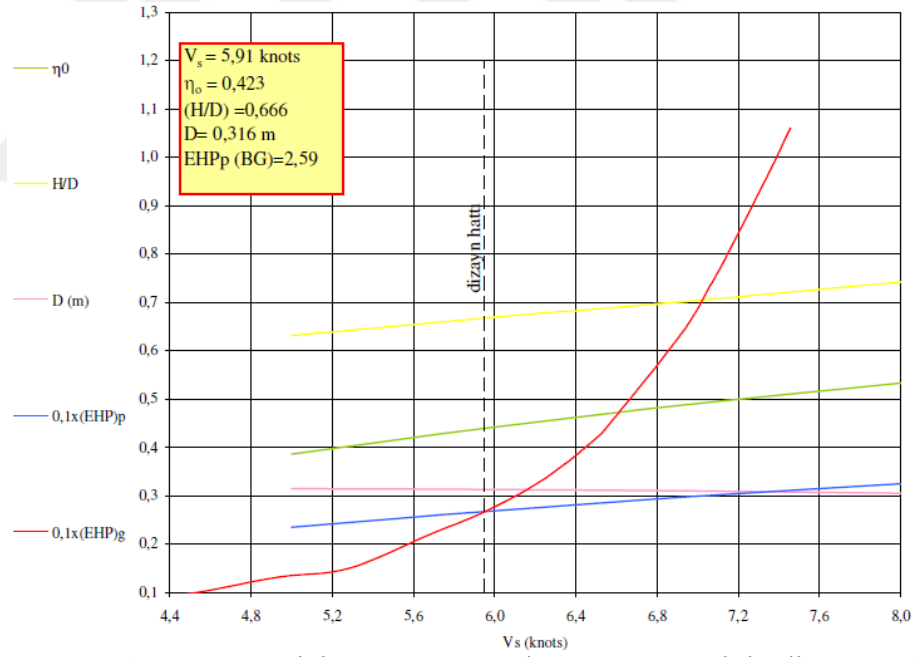
Şekil A.3: WL 3.5 için W B 3.65 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



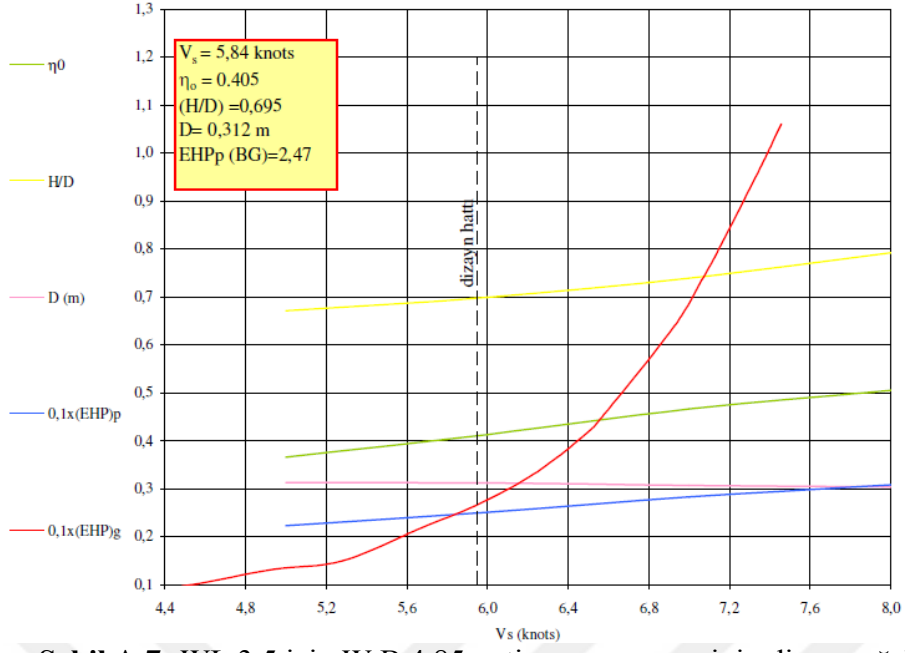
Şekil A.4: WL 3.5 için W B 4.40 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



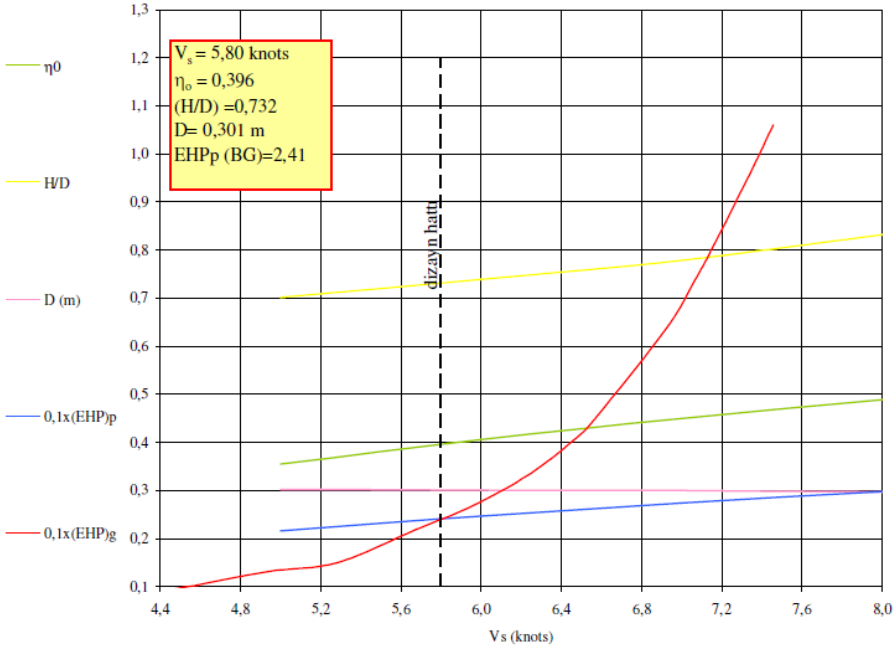
Şekil A.5: WL 3.5 için W B 4.55 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



Şekil A.6: WL 3.5 için W B 4.70 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.

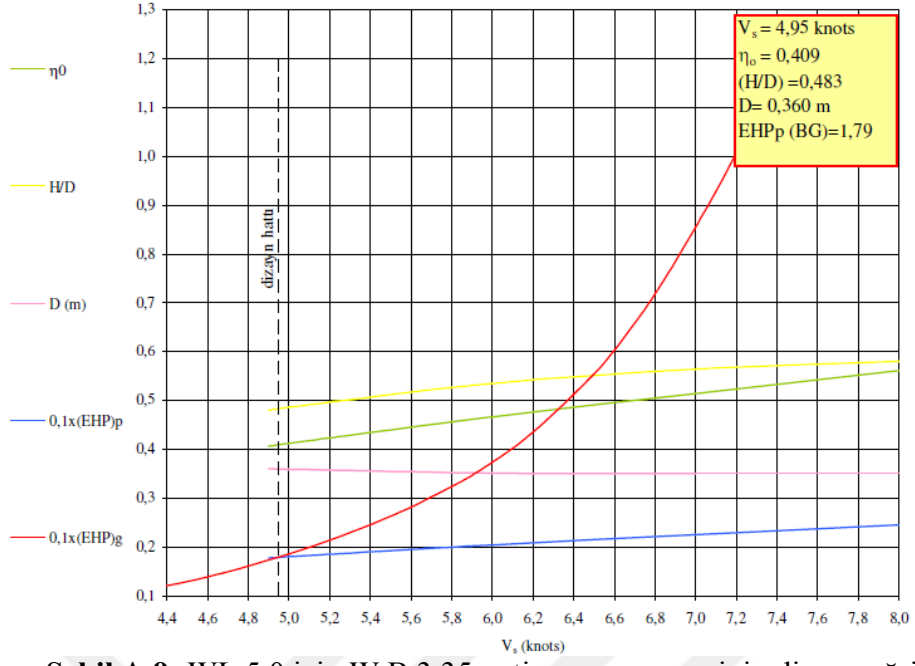


Şekil A.7: WL 3.5 için W B 4.85 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.

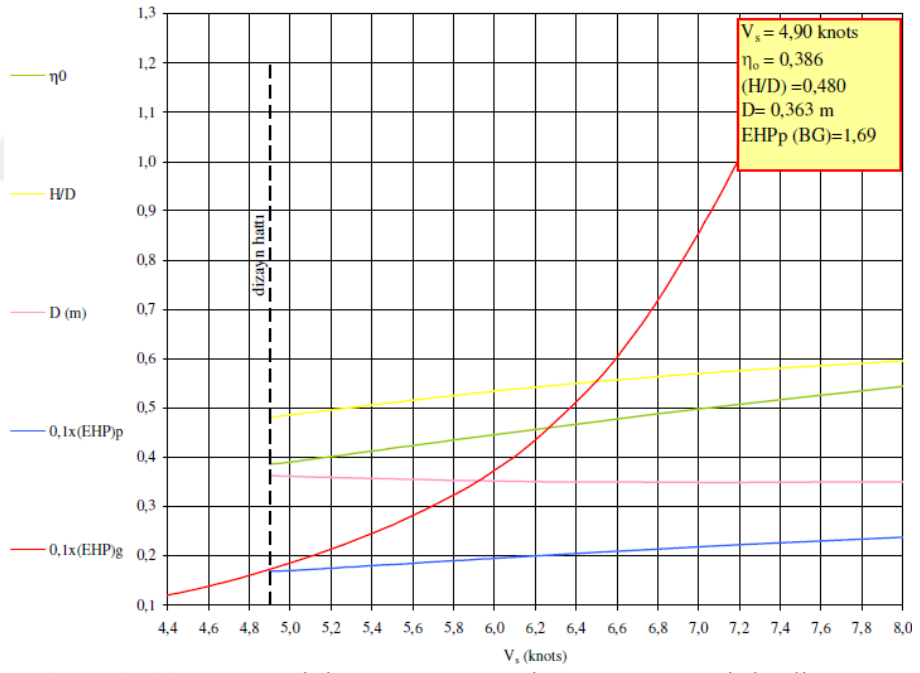


Şekil A.8: WL 3.5 için W B 4.100 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.

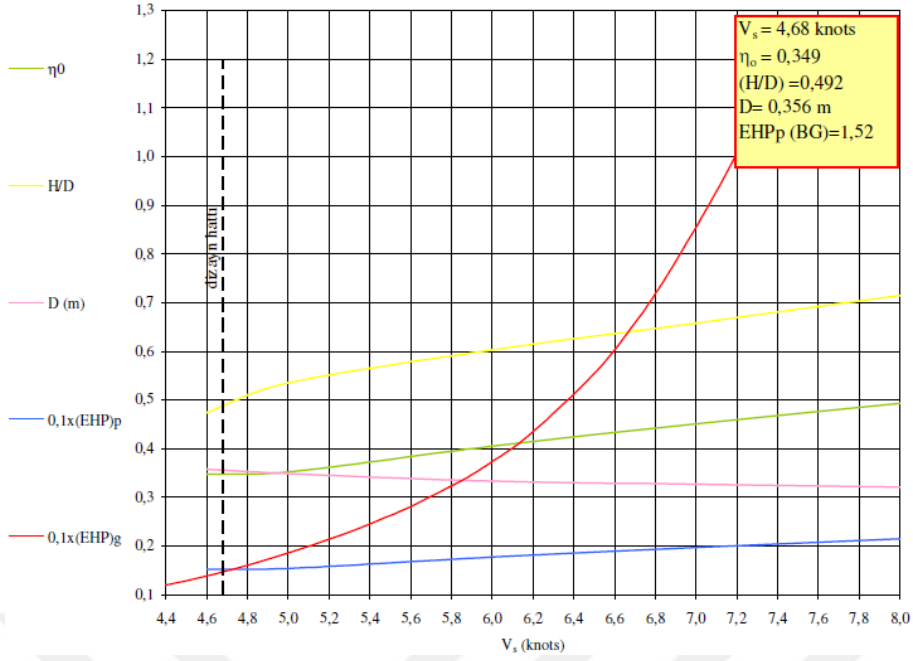




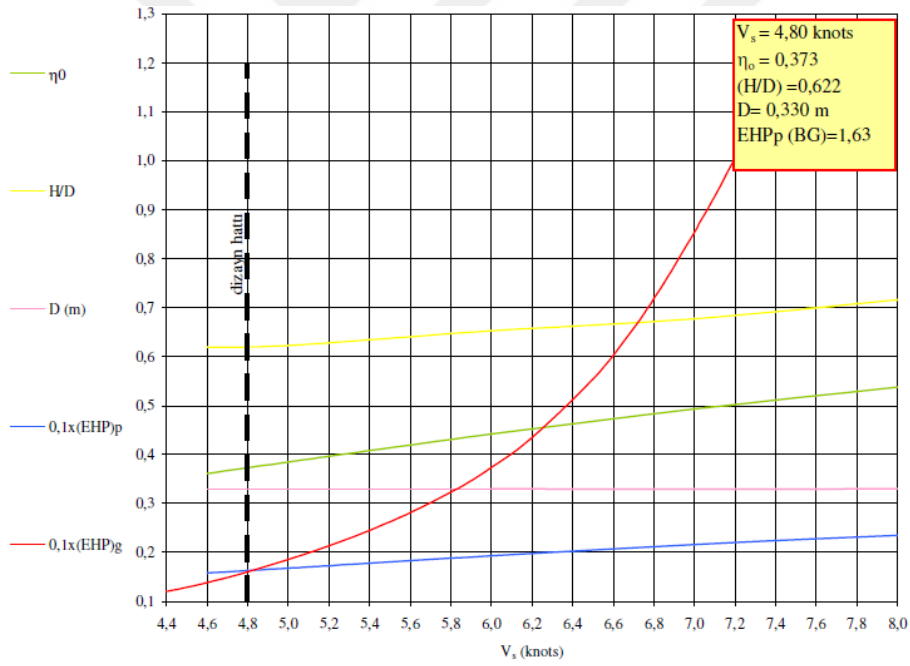
Şekil A.9: WL 5.0 için W B 3.35 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



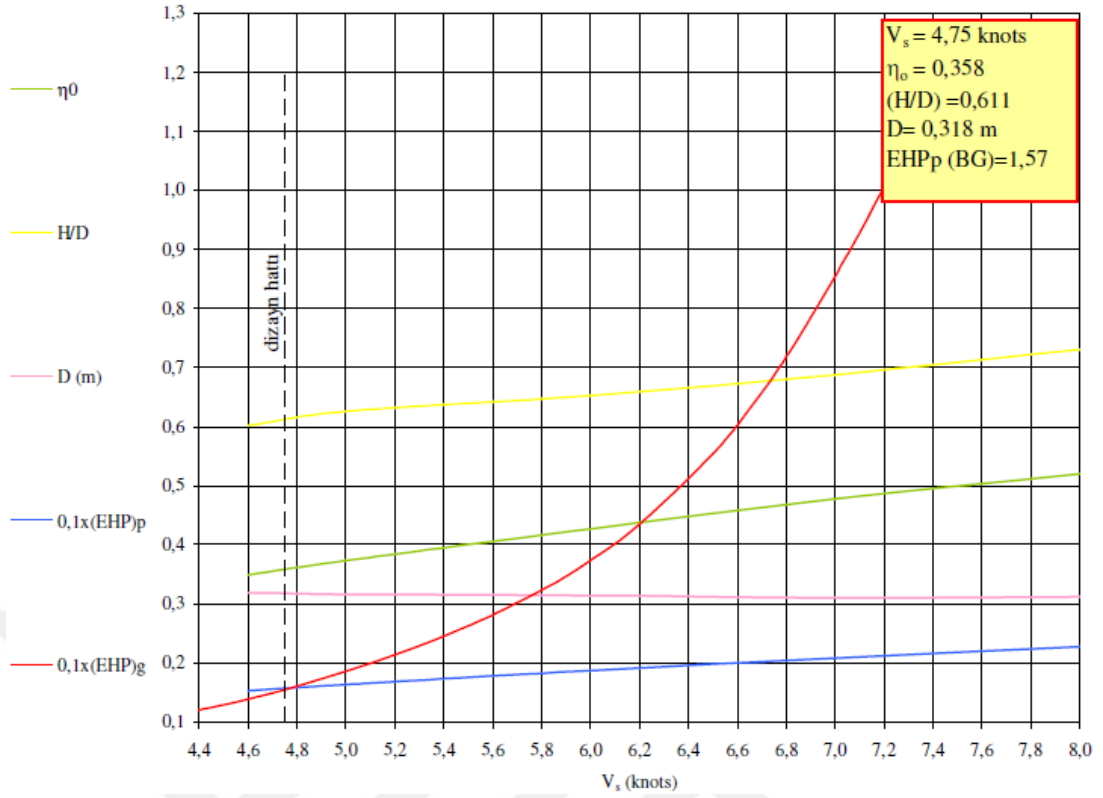
Şekil A.10: WL 5.0 için W B 3.50 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



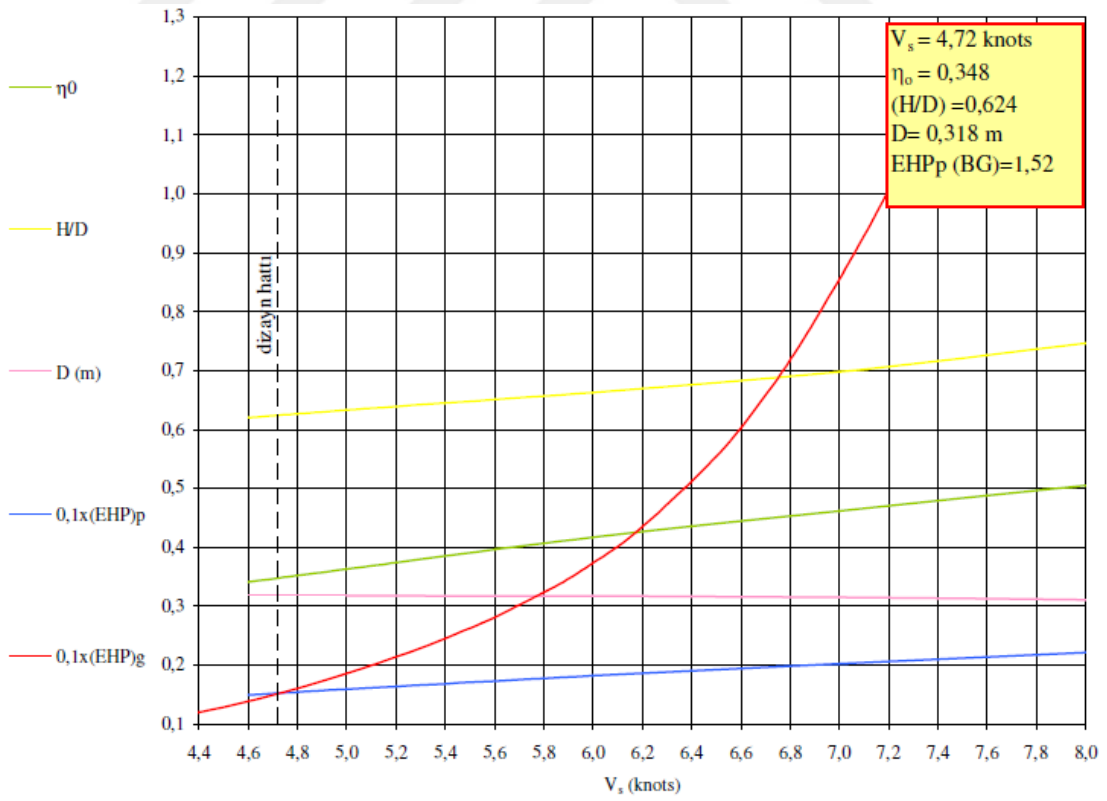
Şekil A.11: WL 5.0 için W B 3.65 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



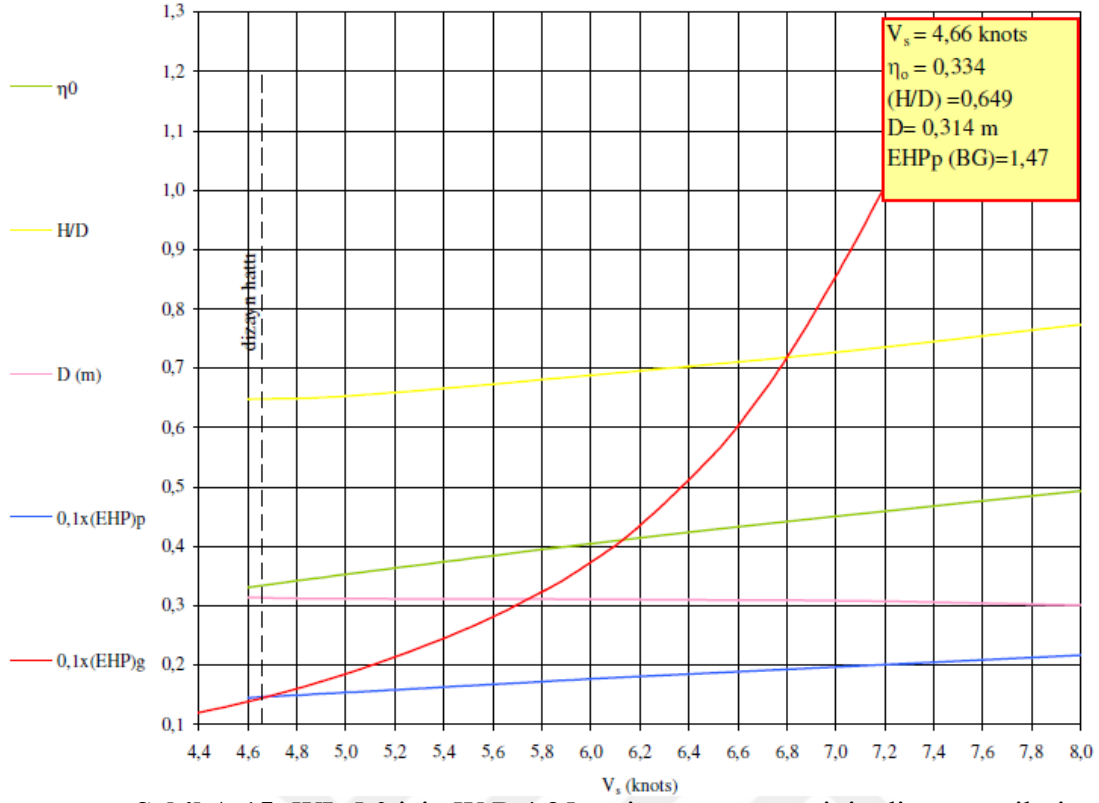
Şekil A.12: WL 5.0 için W B 4.40 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



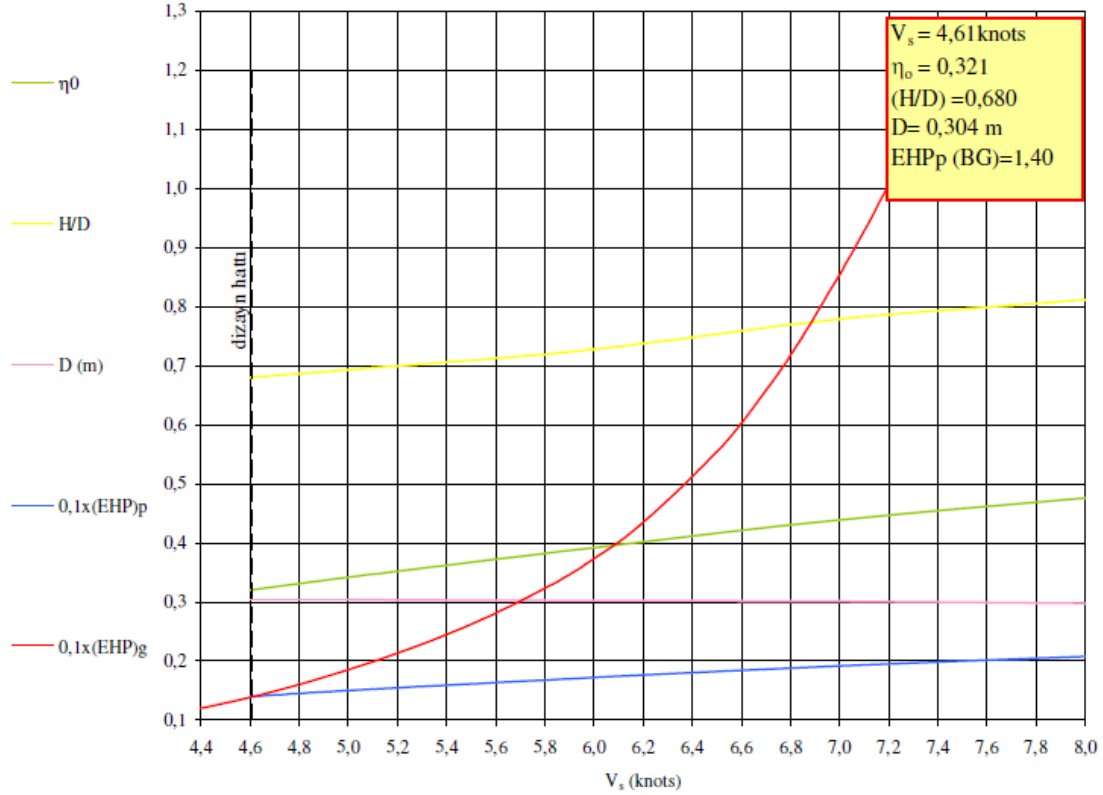
Şekil A.13: WL 5.0 için W B 4.55 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.




Şekil A.14: WL 5.0 için W B 4.70 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



Şekil A.15: WL 5.0 için W B 4.85 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



Şekil A.16: WL 5.0 için W B 4.100 optimum pervanesinin dizayn eğrileri.



**HATZ**  
DIESEL

D-series

1D41C • 2.4 - 5.2 kW 1D81C • 4.9 - 9.6 kW

**SUPRA SILENT PACK**

THE ENCAPSULATED SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE

1D41C • 1D81C

Şekil B.1: Kapak sayfası.

# SUPRA SILENT PACK

1D41C • 1D81C

## Design

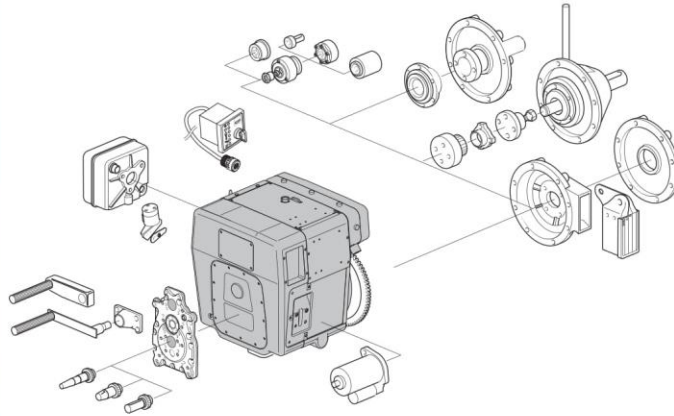
- Aircooled single-cylinder fourstroke Diesel engines.
- Vertical cylinder.
- Crankcase in light alloy, diecasting. Cylinder of grey cast iron.
- Cylinder head in light alloy.
- Crankcase and big end in slide bearings.
- Direct injection, multi-hole nozzle.
- Valve control via camshaft rocker and pushrods.
- Pressure lubrication, with gear oil pump, oil filter in main flow.
- Flywheel fan, charging alternator integrated in the flywheel. No V-belt necessary.
- Standard engine with noise-proof capsule of sheet metal — SUPRA Silent Pack.
- The exhaust System is integrated into the noise-proof capsule including a main- and an end silencer.

## Characteristics

- Although the engine is fully encapsulated, the characteristics of the basic engine are maintained.
  - operation and maintenance points are easy to reach.
  - low fuel consumption
  - Favourable exhaust gas values below — EPA / CARB certified.
  - Robust, long life engine.
  - Extensive interchangeability of parts within the engine family D.
  - Reliable: since no V-belts.
  - Easy to Service: because automatic injection pump bleeding.
  - Friendly to the environment: Ventilation of crankcase leads into the intake port.
  - Secure and effortless starting thanks to automatic extra fuel device.
  - Handstart or electric start available.
- The capsule reduces the engine noise by 95 % i.e. 12 SUPRA Silent Packs are as quiet as one non encapsulated engine.
- The capsule increases only slightly the installation volume of the engine.
- The capsule is smaller and more handy than other noise-reduction engine cowlings and it is just as efficient as expensive and heavy encapsulations of machines.
- The SUPRA Silent Packs allow the manufacture of generating sets with a noise power level of 100 dB<sub>A</sub> at 3000 r.p.m. (100 L<sub>WA</sub>).

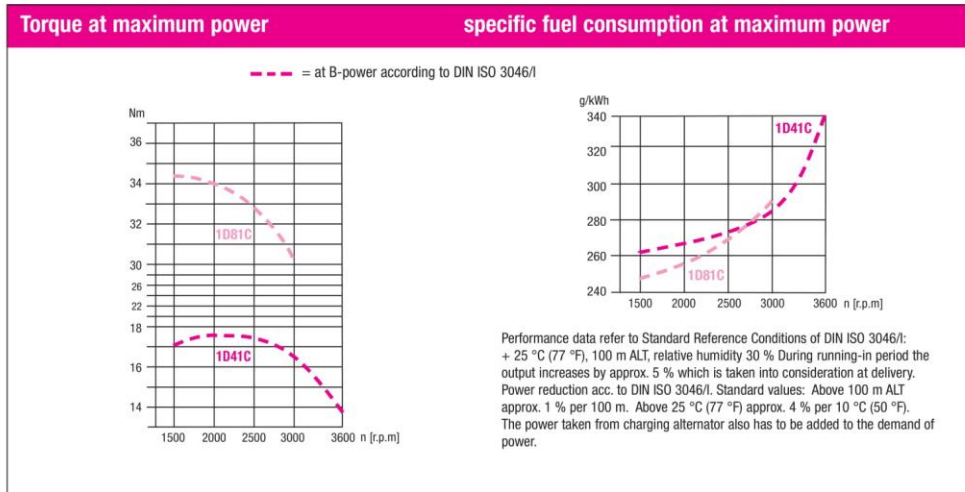
Exhaust reduced types on request

EPA II  
EPA IV (2000)  
CARB II  
CARB IV (2000)



Şekil B.2: Motor dizayn ve karakteristik bilgileri.

Technical data		1D41C	1D81C
Number of cylinders		1	1
Bore x stroke	mm	90 x 65	100 x 85
	inches	3.54 x 2.56	3.94 x 3.35
Displacement	l	0.413	0.667
	cu. in.	25.2	40.7
Mean piston speed at 3000 r.p.m.	m/s	6.5	8.5
	ft/min	1280	1673
Compression ratio		21.0	20.5
Lub. oil consumption		approx. 1% of fuel consumption, related to full load	
Lub. oil capacity max. / min.	l	1.2 / 0.8	1.9 / 1.0
	US qts	1.14 / 0.76	2.0 / 1.06
Speed control	lowest idle speed	approx. 800 r.p.m.	
	static speed droop	approx. 5 % at 3000 r.p.m.	



Performance table	SPECIAL OUTPUT ON REQUEST		1D41C		1D81C	
	Hatz Stand.	r.p.m.	kW	HP	kW	HP
ISO net brake fuel stop power (IFN) for intermittent load acc. to DIN ISO 3046/I.	B	3600	5.2	7.1	–	–
		3000	5.2	7.1	9.6	13.1
		2600	4.7	6.4	8.8	12.0
		2300	4.2	5.7	8.1	11.0
		2000	3.7	5.0	7.1	9.7
		1800	3.3	4.5	6.5	8.8
		1500	2.7	3.7	5.4	7.3
ISO-standard power (ICXN) (10% overload permissible) and ISO-standard fuel stop power (no overload permissible) acc. to DIN ISO 3046/I. For constant speed and constant load (ICFN).	S	3600	4.7	6.4	–	–
		3000	4.7	6.4	8.9	12.1
		2600	4.3	5.8	8.0	10.9
		2300	3.8	5.2	7.4	10.1
		2000	3.4	4.6	6.5	8.8
		1800	3.0	4.1	5.9	8.0
1500	2.4	3.3	4.9	6.7		

Şekil B.3: Teknik bilgiler.

Installation data		1D41C	1D81C
Combustion air required at 3000 r.p.m. approx. <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> / min	0.61	1.0
	cu.ft./min	21.6	35
Cooling air required at 3000 r.p.m. approx. <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> / min	3.8	8.4
	cu.ft./min	134	297
Permanent tilting	max. degrees	30	25
Moment of inertia	kgm <sup>2</sup>	0.24 (0.30) <sup>2)</sup>	0.51 (0.63) <sup>2)</sup>
	lb.ft <sup>2</sup>	5.67 (7.08) <sup>2)</sup>	12.05 (7.08) <sup>2)</sup>
Starter motor		12 V - 2.0 kW • 24 V - 2.5 kW	12 V - 2.0 kW • 24 V - 2.5 kW
Alternator charging current at 3000 / 1500 r.p.m.		14 V - approx. 9 A/4 A • 28 V - approx. 5 A/2 A	14 V - approx. 16 A/5 A • 28 V - approx. 9 A/4 A
Battery capacity	min / max. Ah	12 V - 45 / 88 Ah • 24 V - 36 / 55 Ah	12 V - 45 / 88 Ah • 24 V - 36 / 55 Ah

<sup>1)</sup> For other r.p.m. there is a linear reduction in the air requirement <sup>2)</sup> Variant I (heavy flywheel)

### Permissible load on power-take-off points

#### Max. permissible radial load

$$F1 = \frac{261\,000}{L1\text{ (mm)} - 42} \text{ (N)}$$

If belt tension is upwards, outboard bearing is necessary - or contact HATZ

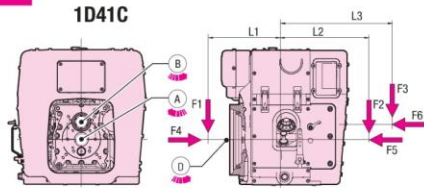
$$F2 = \frac{67\,500}{L2\text{ (mm)} - 128} \text{ (N)}$$

$$F3 = \frac{99\,000}{L3\text{ (mm)} - 127} \text{ (N)}$$

#### Max. permissible axial force

$$F4 = 1260 \text{ N} \bullet F5 = 1080 \text{ N} \bullet F6 = 900 \text{ N}$$

Transmissible torque: A: 100%, B: 100%, D: 100%



#### Max. permissible radial load

$$F1 = \frac{477\,000}{L1\text{ (mm)} - 50.5} \text{ (N)}$$

If belt tension is upwards, outboard bearing is necessary - or contact HATZ

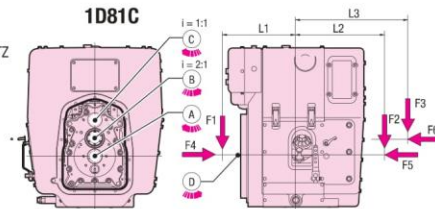
$$F2 = \frac{67\,500}{L2\text{ (mm)} - 134} \text{ (N)}$$

$$F3 = \frac{99\,000}{L3\text{ (mm)} - 127} \text{ (N)}$$

#### Max. permissible axial force

$$F4 = 2250 \text{ N} \bullet F5 = 1350 \text{ N} \bullet F6 = 900 \text{ N}$$

Transmissible torque: A: 100% • B: 43.0 Nm = 6.8 kW at 1500 r.p.m. • C: 21.5 Nm = 6.8 kW at 3000 r.p.m. • D: 100%

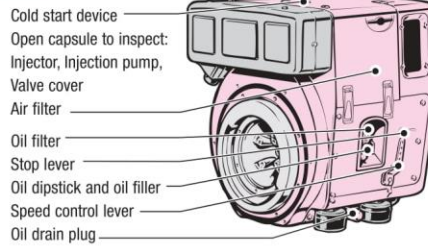


### Maintenance and operating points

For the engine to achieve its maximum life, it is essential for it to be serviced meticulously at regular intervals.

The better the accessibility, the more promptly and conscientiously the engine will be maintained.

Please convince yourself personally that all service and operation points are easily accessible before delivering your machine to the customer.



### Electrical equipment

The engine-mounted components, such as starter, alternator and switches, are connected to the instrument box by means of a 2 m cable harness. The engine is started and controlled from this instrument box. Instrument box and cable harness are part of the additional equipment and supplied according to the number of electrical safety features which are required. If the

engine has to be started at temperatures below - 10 °C, it must be equipped with a pre-heating system (glow plug) (additional equipment). Further additional equipment includes automatic start and stop, remote control etc.

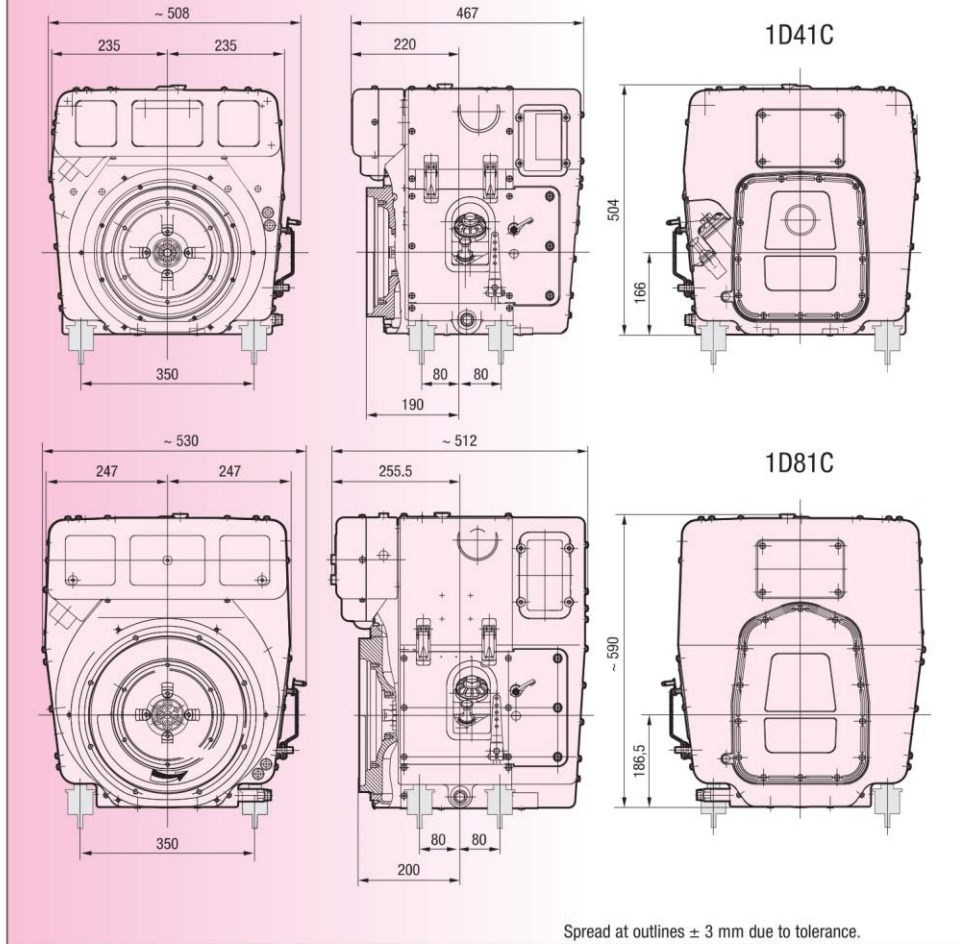
Please ask for drawings and wiring diagrams.

[www.hatz-diesel.com](http://www.hatz-diesel.com)

Şekil B.4: Kurulum bilgileri.



## Dimensions



Spread at outlines  $\pm 3$  mm due to tolerance.

Drawings with detailed - and connection measures can either be demanded or downloaded as pdf- resp. dxf-file which are shown in the Internet.

**MOTORENFABRIK HATZ  
GMBH & CO. KG**  
Ernst-Hatz-Straße 16  
D-94099 Ruhstorf  
GERMANY

Telephone: +49 (0) 85 31 / 319-0  
Telefax: +49 (0) 85 31 / 31 94 18  
marketing@hatz-diesel.de

[www.hatz-diesel.com](http://www.hatz-diesel.com)



5 / 628 ENG - 04.07 - 2 Printed in Germany  
Modifications, which serve the technical improvements, are reserved

Şekil B.1: Ana boyutlar.

## EK C: Motorin 403 ürün spesifikasyonu



Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.

### ÜRÜN SPESİFİKASYONU MOTORİN (403)

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER	SINIR	DENEY YÖNTEMİ
Yoğunluk (15 °C'ta)	kg/m <sup>3</sup>	820,0-845,0		TS 1013 EN ISO 3675 TS EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	8,0	En çok	TS EN 12916
Parlama Noktası	°C	55,0'dan yüksek		TS EN ISO 2719
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN)	°C			TS EN 116
Kış (a)		-15	En çok	
Yaz (b)		5	En çok	
Damıtma				TS 1232 EN ISO 3405
250 °C'ta elde edilen	% (V/V)	65	En çok	
350 °C'ta elde edilen	% (V/V)	85	En az	
%95'in (hacim/hacim) elde edildiği sıcaklık	°C	360	En çok	
Kükürt içeriği	mg/kg	10,0	En çok	TS EN ISO 20846 TS EN ISO 20884
Mangan içeriği	Mg/L	2,0	En çok	prEN 16576
Karbon Kalıntısı (% 10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	0,30	En çok	TS EN ISO 10370
Viskozite (40 °C'ta)	mm <sup>2</sup> /s	2,000-4,500		TS 1451 EN ISO 3104
Bakır Şerit Korozyon (50 OC'ta 3 saat)	Derece	No.1	En çok	TS 2741 EN ISO 2160
Kül içeriği	% (m/m)	0,01	En çok	TS EN ISO 6245
Yağ asidi metil esterleri(YAME) içeriği	% (V/V)	7	En çok	TS EN 14078
Setan sayısı		51	En az	TS 10317 EN ISO 5165 TS EN 15195
Setan İndisi		46	En az	TS EN ISO 4264
Su içeriği	mg/kg	200	En çok	TS 6147 EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	24	En çok	TS EN 12662
Oksitlenme Kararlılığı	g/m <sup>3</sup>	25	En çok	TS EN ISO 12205
	h	20	En az	TS EN 15751 (c)
Yağlayıcılık özelliği düzeltilmiş aşınma izi çapı (wsd 1,4), 60 OC'ta	µm	460	En çok	TS EN ISO 12156-1

(a) 1 Kasım-31 Mart (± 15 gün)

(b) 1 Nisan-31 Ekim (± 15 gün)

(c) Dizel yakıt %2 (V/V)'nin üzerinde YAME içerdiğinde, EN 15751'e göre tayin edilen oksitlenme kararlılığı değeri dikkate alınmalıdır.

(\*) Bu ürün İzmit, İzmir, Kırıkkale ve Batman Rafinerilerinde satılmaktadır.

Şekil C.1: Dizel ürüne ait ürün spesifikasyon tablosu.

## EK D: Elektrik fiyatları

EPDK tarafından onaylanan ve 1/4/2019 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler														
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcısı Tüketiciler														
		Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece									
		kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh									
		36,4509	36,9598	61,2935	17,3202									
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları														
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan Tüketiciler								Özel Tedarikçiden Enerji Alan Tüketiciler İçin Sistem Kullanım Tarifeleri						
		Kapasite		Aktif Enerji + Dağıtım				Reaktif Enerji			Kapasite		Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji
		Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece				Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli		
		kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVARh			kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kVARh
Orta Gerilim								Orta Gerilim						
Çift Terimli								Çift Terimli						
Sanayi	285,2936	570,5872	44,0773	44,5863	68,9200	24,9467	24,6597	Sanayi	285,2936	570,5872	7,5554	24,6597		
Ticarethane	285,2936	570,5872	51,3462	51,8085	78,2895	30,7386	24,6597	Ticarethane	285,2936	570,5872	11,7750	24,6597		
Mesken	285,2936	570,5872	38,7361	39,2860	59,3110	23,2722		Mesken	285,2936	570,5872	11,6631			
Tarımsal Sulama	285,2936	570,5872	45,5822	45,9994	69,8137	26,9694	24,6597	Tarımsal Sulama	285,2936	570,5872	9,6976	24,6597		
Aydınlatma	285,2936	570,5872	47,4776					Aydınlatma	285,2936	570,5872	11,3014			
Tek Terimli								Tek Terimli						
Sanayi			44,7948	45,3039	69,6377	25,6642	24,6597	Sanayi			8,3456	24,6597		
Ticarethane			54,3555	54,8178	81,2989	33,7479	24,6597	Ticarethane			14,6879	24,6597		
Mesken			41,0882	41,6380	61,6630	25,6242		Mesken			14,4009			
Tarımsal Sulama			48,0137	48,4309	72,2452	29,4008	24,6597	Tarımsal Sulama			12,0745	24,6597		
Aydınlatma			50,3611					Aydınlatma			14,0976			
Alçak Gerilim								Alçak Gerilim						
Tek Terimli								Tek Terimli						
Sanayi			49,7373	50,2462	74,5800	30,6066	24,6597	Sanayi			12,9124	24,6597		
Ticarethane			57,3852	57,8475	84,3285	36,7776	24,6597	Ticarethane			17,4991	24,6597		
Mesken			43,4451	43,9950	64,0199	27,9811		Mesken			17,1147			
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			20,8548					Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			11,6077			
Tarımsal Sulama			50,4969	51,5895	74,7284	31,8840	24,6597	Tarımsal Sulama			14,3786	24,6597		
Aydınlatma			53,2306					Aydınlatma			16,7603			
Genel Aydınlatma			42,8262											
Üreticiler İçin Veriş Yönünde Çift Terimli Dağıtım Tarifesi								Üreticiler İçin Veriş Yönünde Tek Terimli Dağıtım Tarifesi						
		Kapasite		Dağıtım Bedeli				Reaktif Enerji			Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji		
		Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli								kr/ kWh	kr/kVARh		
		kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh				kr/kVARh						
Üretici	160,3354	320,6708					1,0794	24,6597	Üretici		1,4641	24,6597		
Lisanssız Üretici*														
31/12/2017 tarihinden önce geçici kabule hazır tutanağı alan tesisler için**										3,6720	24,6597			
31/12/2017 tarihinden sonra geçici kabule hazır tutanağı alan tesisler için										14,6879	24,6597			
Çok zamanlı tarife uygulamasında; sayaç saati süreli yaz saati uygulamasına göre güncellenmemiş sayaçlar için, Ekim Ayının Son Pazar Günü ile Mart Ayının Son Pazar Günü arasında Gündüz 07-18, Puant 18-23, Gece 23-07 saatleri arasında; Mart Ayının Son Pazar Günü ile Ekim Ayının Son Pazar Günü arasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasında; sayaç saati süreli yaz saati uygulamasına göre güncellenmiş sayaçlar için yıl boyunca Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındadır.														
Emreemadede kapasite tarifesine tabi kullanıcılara üreticiler için belirlenmiş olan güç, güç aşım ve dağıtım bedeli emreemadede güç, güç aşım ve dağıtım bedeli olarak uygulanır.														
Fon, pay, vergi vb. yasal yükümlülükler ayrıca ilave edilecektir.														
*11/5/2017 tarihli ve 7070 sayılı Kurul Kararı gereği Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesinin birinci fıkrasının (b) bendi kapsamındaki lisanssız üreticiler için sadece tek terimli dağıtım tarifesi uygulanacaktır.														
**31/12/2017 tarihinden önce ilgili sebebe işletmecisinden geçici kabule hazır tutanağı alan tesisler için geçici kabulün bu tutanağa istinaden yapılması halinde uygulanacak olan tarifedir.														

Şekil F.1: Elektrik güncel fiyatları (Erişim tarihi: 03 Mayıs 2019).

**EK E:** Pil fiyatlarının adetlere göre değişimi

### EV Cell and (24kWh) Pack Price

Based on: 168 40Ah-cells; 302V nominal

Volume	Cell Materials	Cell Cost	Cell price	Pack cost	Pack Price
k per year	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh
5	250 - 350	500 - 700	600-800	800 - 1100	800 - 1300
<b>50</b>	180 - 260	310 - 420	<b>360 - 480</b>	460 - 580	<b>525 -700</b>

Price of a 24-kWh battery for a plant producing 50,000 Packs/year is on the order of \$15,000

Source: Menahem Anderman, 2010

**Şekil G.1:** Pil fiyatlarının adetlere göre değişimi.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Yakup Serhad Çelik  
**Doğum Tarihi ve yeri** : 28.01.1987 İstanbul  
**E-postaAd Soyad** : [serhadcelik@hotmail.com](mailto:serhadcelik@hotmail.com),

## ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Bölümü

## MESLEKİ DENEYİM:

- 2010-2011 yılları arasında MTU Servis Mühendisi olarak çalıştı.
- 2011-2013 yılları arasında Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş.'de Zırhlı Araçlar Birimi'nde Şasi Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı.
- 2013-2015 yılları arasında Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş.'de ARGE Birimi'nde Arge Mühendisi olarak çalıştı.
- 2015-2018 yılları arasında Ford Otosan (Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.)'da egzoz ve emisyon sistemleri üzerine Arge Mühendisi olarak çalıştı
- 2018-2019 yılları arasında AVL Araştırma ve Mühendislik Merkezi'nde Dizayn Mühendisi olarak çalışmaya devam ediyor.

