



T.C. SANAYİ VE  
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI



TÜBİTAK



DENİZCİLİK  
TEKNOLOJİLERİ  
YOL HARİTASI



T.C. ULAŞTIRMA VE  
ALTYAPI BAKANLIĞI



UDHAM

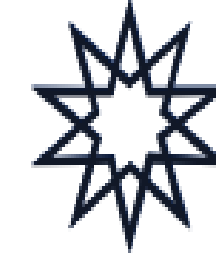
# YEŞİL GEMİLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİR SEVK TEKNOLOJİLERİ

Türk Denizcilik Sektörü İçin Stratejik Brifing ve Teknoloji Yol Haritası

Doç. Dr. Veysi BAŞHAN



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
GEMİ İNŞAATI VE DENİZCİLİK  
FAKÜLTESİ



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**Veysi BAŞHAN**

Doç. Dr.



## ÇALIŞMA ALANLARIM



# İÇİNDEKİLER



01 | Yeşil Gemi Tanımı

02 | Anahtar Kelimeler

03 | Teknoloji Başlıkları

04 | Alternatif Yakıtlar

05 | Regülasyonlar

06 | Mevcut Durum ve Analizler

## YEŞİL GEMİ TANIMI

Tasarım, inşa, işletme ve hizmet dışı bırakma aşamalarının tamamında sera gazı (GHG) ve kirlletici emisyonlarını sektör ortalamasının belirgin ölçüde altında tutan; enerji verimliliği yüksek; mümkün olduğunca yenilenebilir ve düşük karbonlu yakıt kullanan; çevresel etkisi yaşam döngüsü analizi (LCA) ile doğrulanmış gemi

### IMO MEVZUATI



- ✓ IMO GHG Stratejisi (2023)
- ✓ EEXI - Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi
- ✓ CII - Karbon Yoğunluk Göstergesi
- ✓ MARPOL Ek VI - Hava Kirliliği Önleme

### AB MEVZUATI



- ✓ FuelEU Maritime (Yakıt GHG Yoğunluğu)
- ✓ EU ETS (Emisyon Ticaret Sistemi)
- ✓ MRV - İzleme, Raporlama, Doğrulama
- ✓ AFIR - Alternatif Yakıt Altyapı Tüzüğü

### AMAÇ



Denizcilikte net sıfır emisyonu giden yolda çevresel etkisi düşük, verimli ve sürdürülebilir gemilerin geliştirilmesi



### 1 TASARIM AŞAMASI

- Enerji verimli tasarım
- Düşük dirençli gövde
- Verimli itki sistemleri
- Dijital tasarım ve simülasyon



### 3 İŞLETME AŞAMASI

- Yüksek enerji verimliliği
- Yenilenebilir ve düşük karbonlu yakıt kullanımı
- Operasyonel optimizasyon
- Düzenli bakım ve izleme

### GHG EMİSYONLARI



### KİRLİTİCİ EMİSYONLAR



### SEKTÖR ORTALAMASININ BELİRGİN ÖLÇÜDE ALTINDA EMİSYON



### 2 İNŞA AŞAMASI

- Kaynak ve malzeme verimliliği
- Düşük emisyonlu üretim süreçleri
- Atık ve kirlilik yönetimi

### HİZMET DIŞI BIRAKMA AŞAMASI

- Geri dönüşüm ve yeniden kullanım önceliği
- Tehlikeli madde yönetimi
- Çevresel etkilerin en aza indirilmesi

### SONUÇ

- CO<sub>2</sub> Daha düşük sera gazı emisyonu
- Daha az hava kirliliği
- Kaynak verimliliği ve döngüsellik
- İklim hedeflerine katkı

### YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LCA)



=



ÇEVRESEL ETKİ EN AZA İNDİRİLMİŞ SÜRDÜRÜLEBİLİR GEMİ

DAHA TEMİZ, DAHA VERİMLİ, DAHA SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR DENİZCİLİK GELECEĞİ



DENİZCİLİK  
TEKNOLOJİLERİ  
YOL HARİTASI

# Anahtar Kelimeler

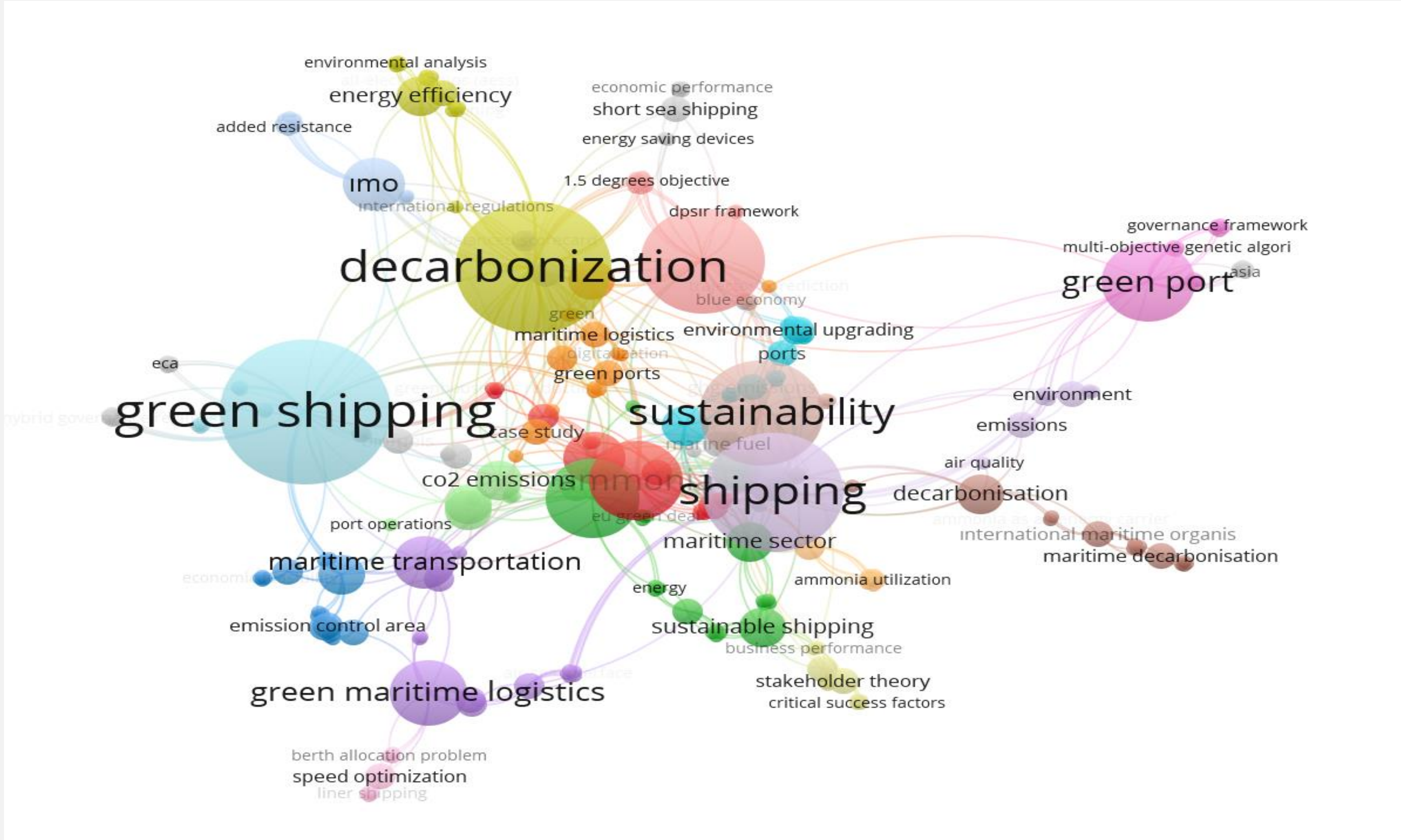




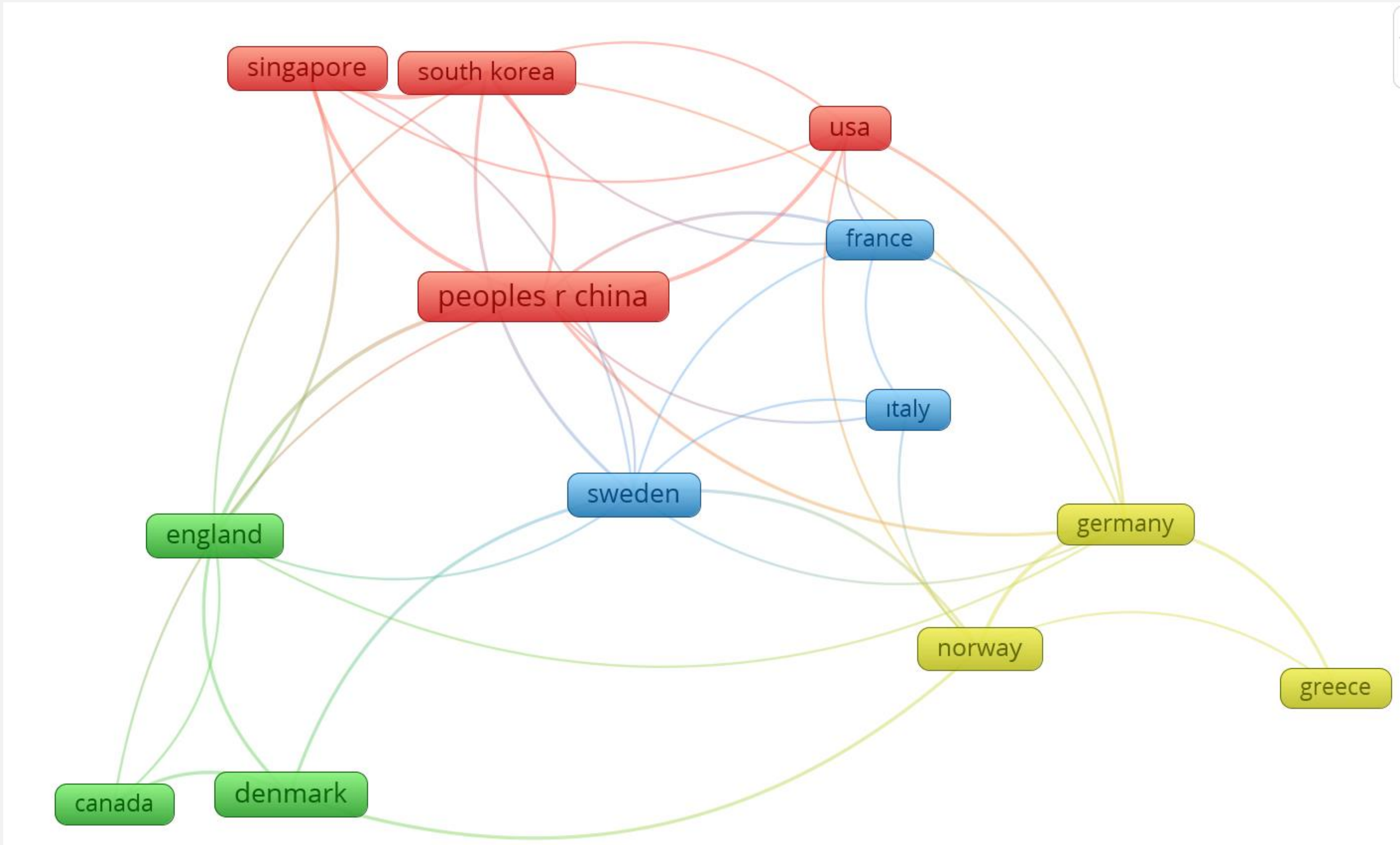
**DENİZCİLİK  
TEKNOLOJİLERİ  
YOL HARİTASI**



# Green Shipping – Green Maritime – Sustainable Shipping – Maritime Decarbonization



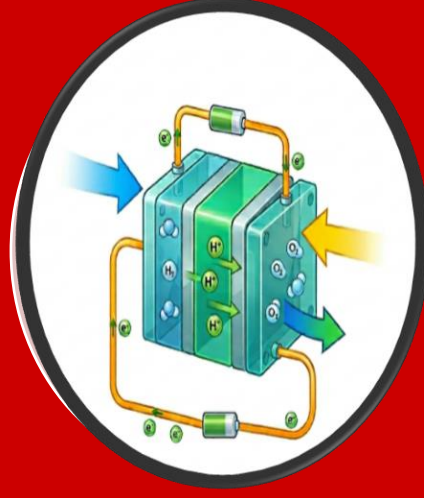
# Green Shipping – Green Maritime – Sustainable Shipping – Maritime Decarbonization



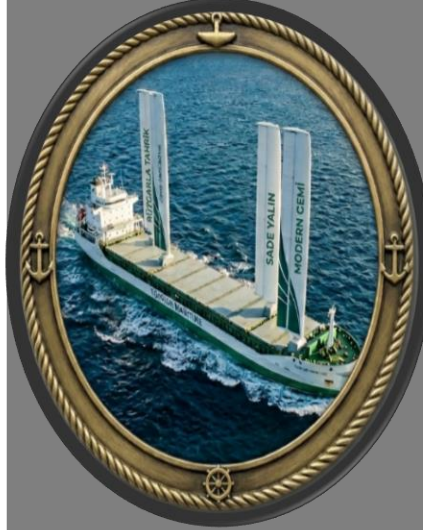
Sürdürülebilir Kalkınma İçin  
**KÜRESEL AMAÇLAR**



# Teknoloji Başlıkları



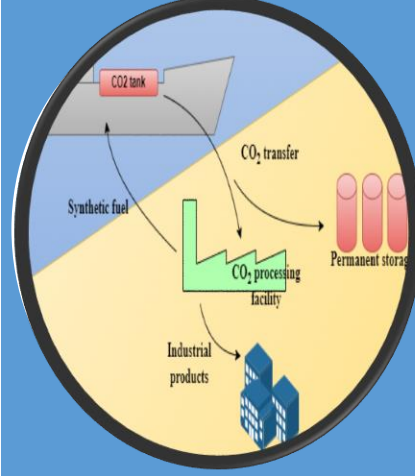
Yakıt  
Hücreleri  
ve  
Bataryalar



Solar ve  
Rüzgar  
Destek



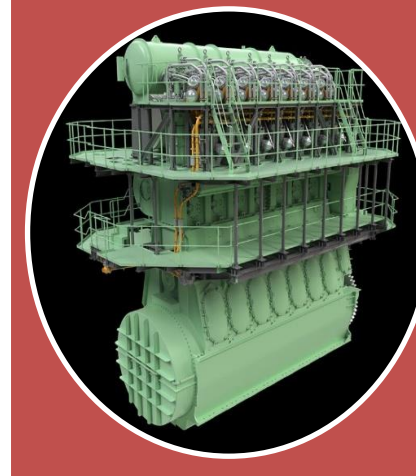
Atık Isı  
Geri  
Kazanımı  
(WHR)



Karbon  
Yakalama



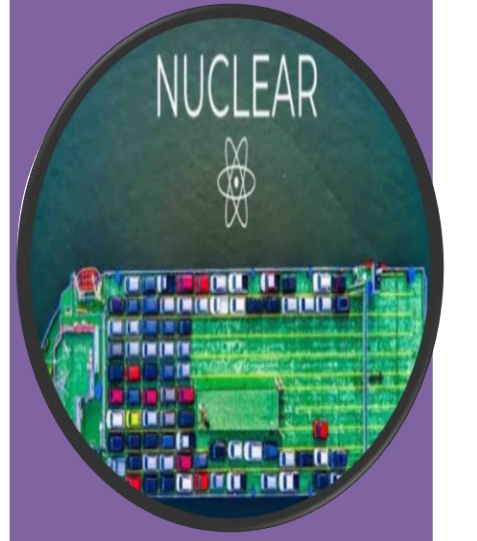
Hava  
Yağlama



Alternatif  
Yakıt ve  
Teknolojileri

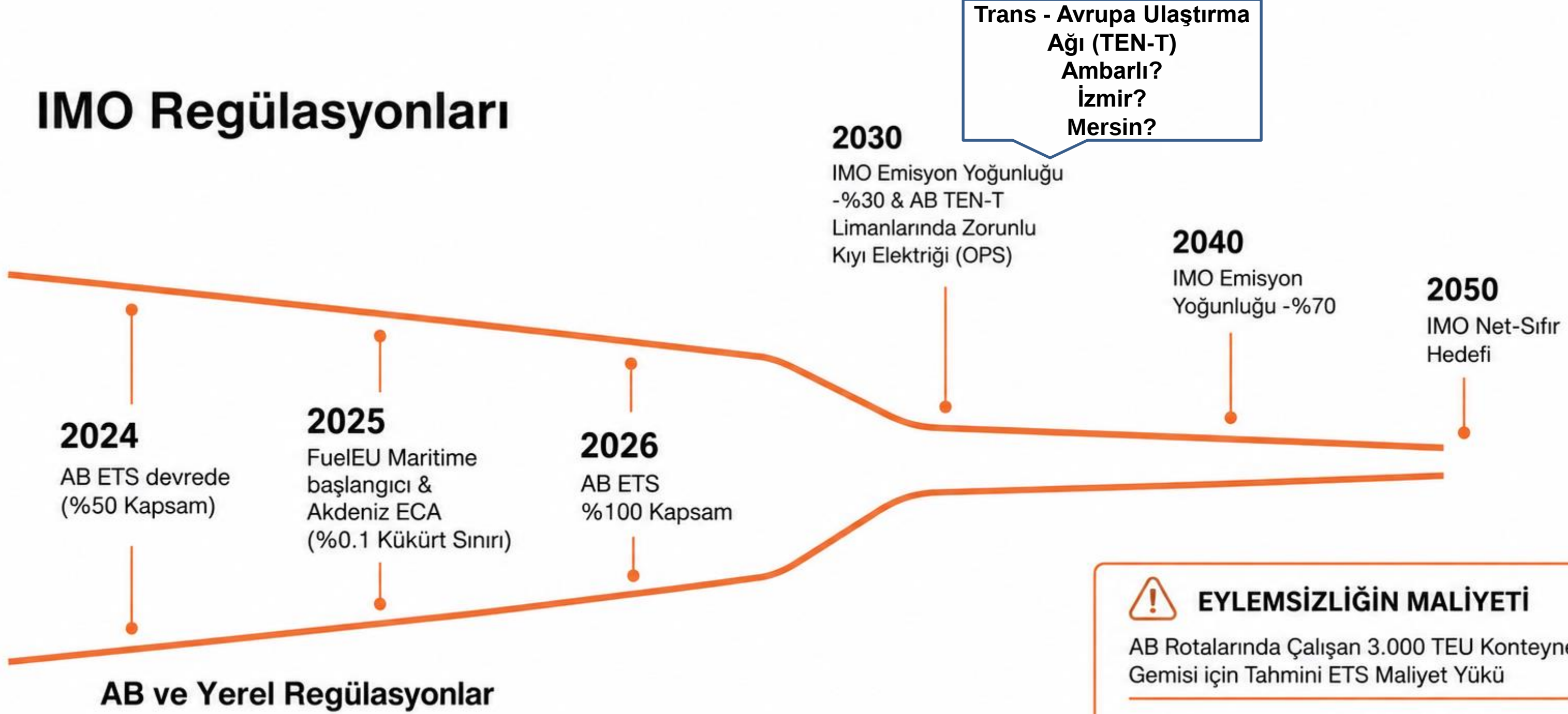


Kıyı  
Besleme



Nükleer

## IMO Regülasyonları



## EYLEMSİZLİĞİN MALİYETİ

AB Rotalarında Çalışan 3.000 TEU Konteyner Gemisi için Tahmini ETS Maliyet Yüğü

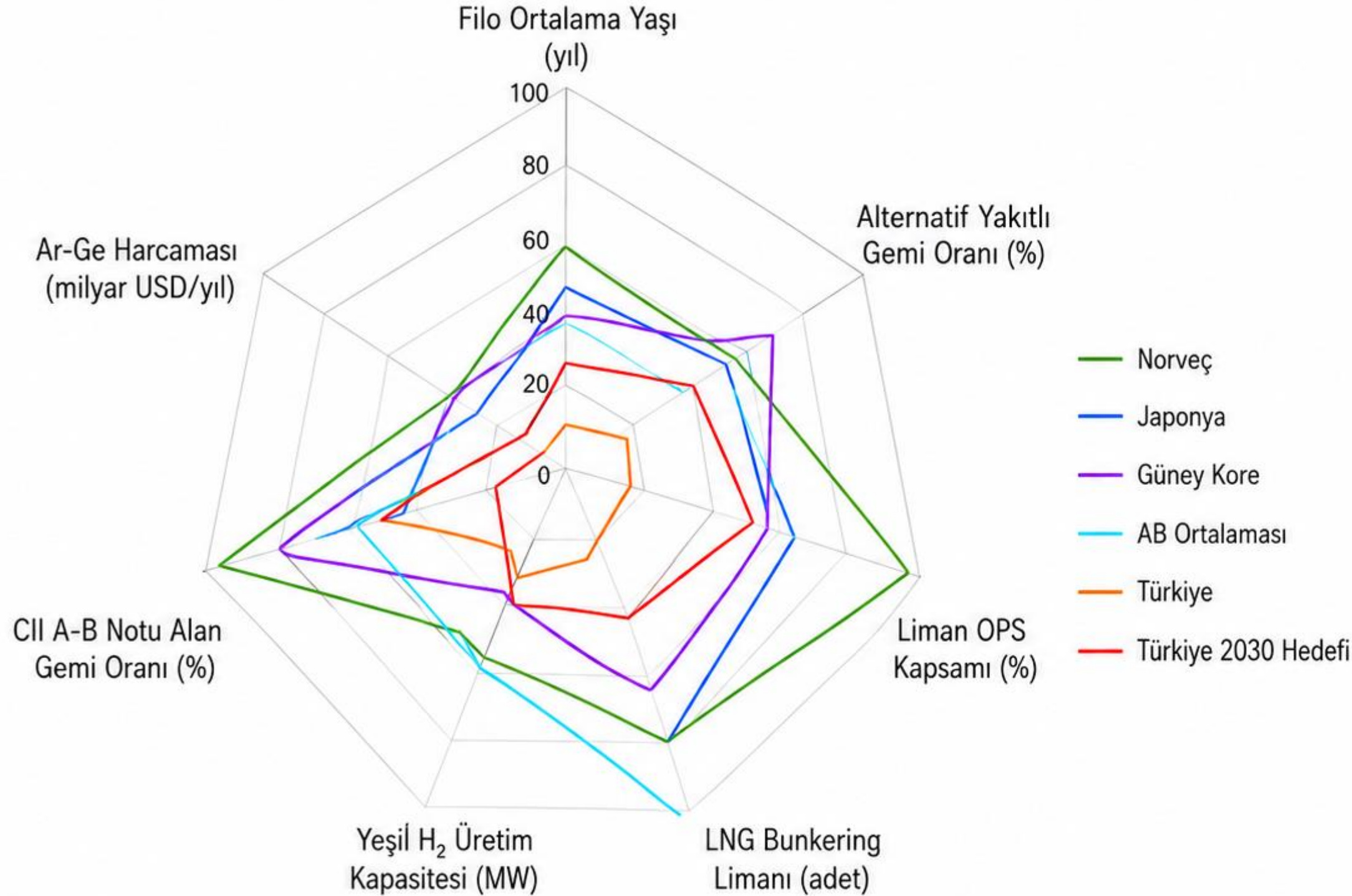
**2024:** ~813.000 EUR

**2026:** ~1.750.000 EUR

Toplam sahip olma maliyetinde  
%8-12 artış.



# Türk Denizciliği için Performans Kıyaslaması & Yeşil Dönüşüm Potansiyeli



## Kritik Uyarı

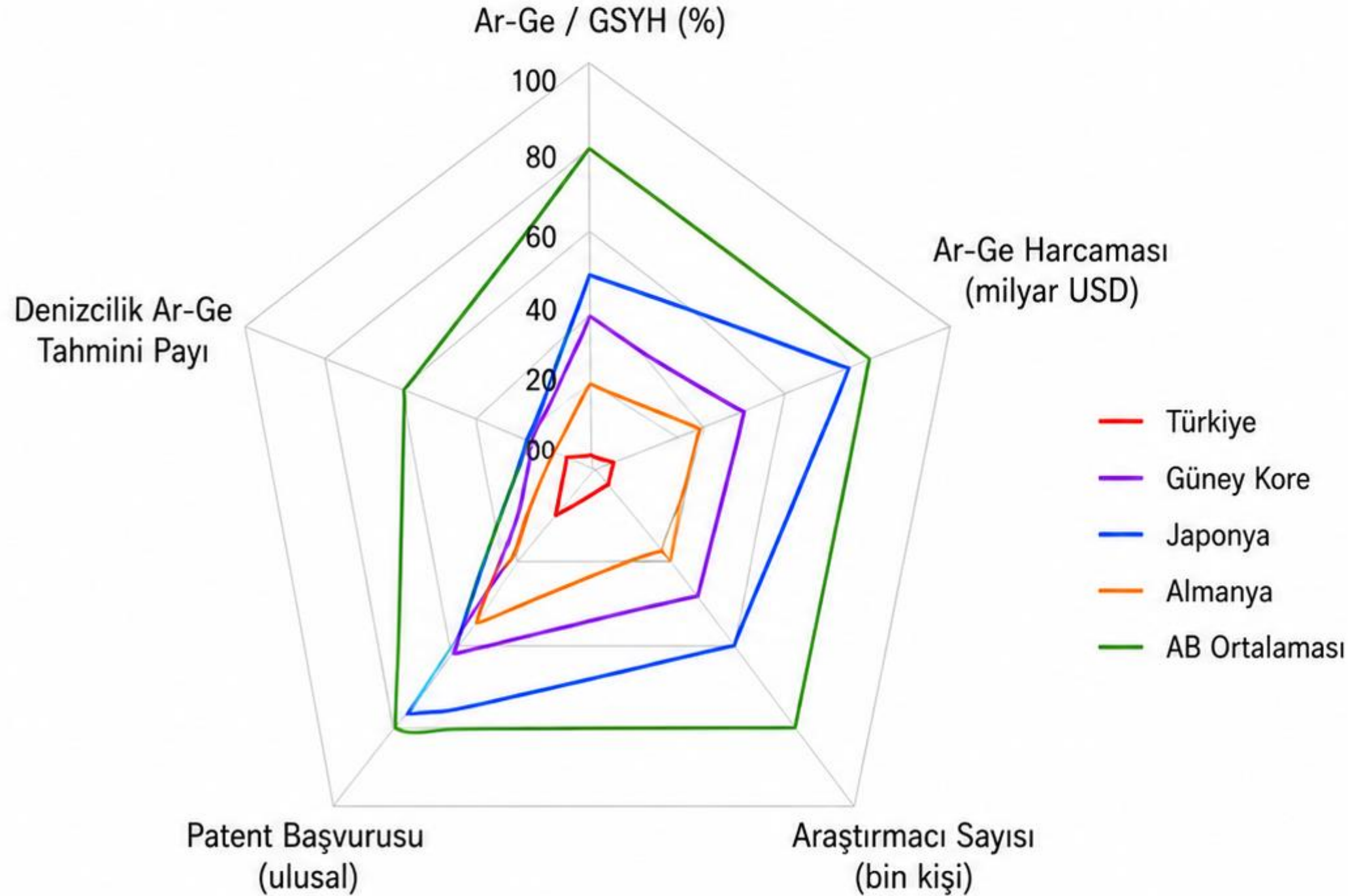
- Türk filosunun %68'i 15 yaşın üzerinde (Dünya ort. %52). EEXI ve CII uyum maliyeti risk sınırında. Limanlarda Kıyı Elektriği (OPS) kapasitesi sadece %2 (AB'de bu oran %28).

## Stratejik Fırsat

- Türkiye 1.2 Milyon CGT gemi inşa kapasitesi ve Ege/Güneydoğu'daki yüksek güneş/rüzgar potansiyeli ile yeşil yakıt üretimi ve retrofit pazarında yapısal bir avantaja sahip.

Not: Her eksen ilgili göstergenin en iyi (en yüksek) değerine göre 0-100 aralığında normalize edilmiştir.

# Türkiye Ar-Ge Göstergelerinin Uluslararası Kıyaslanması



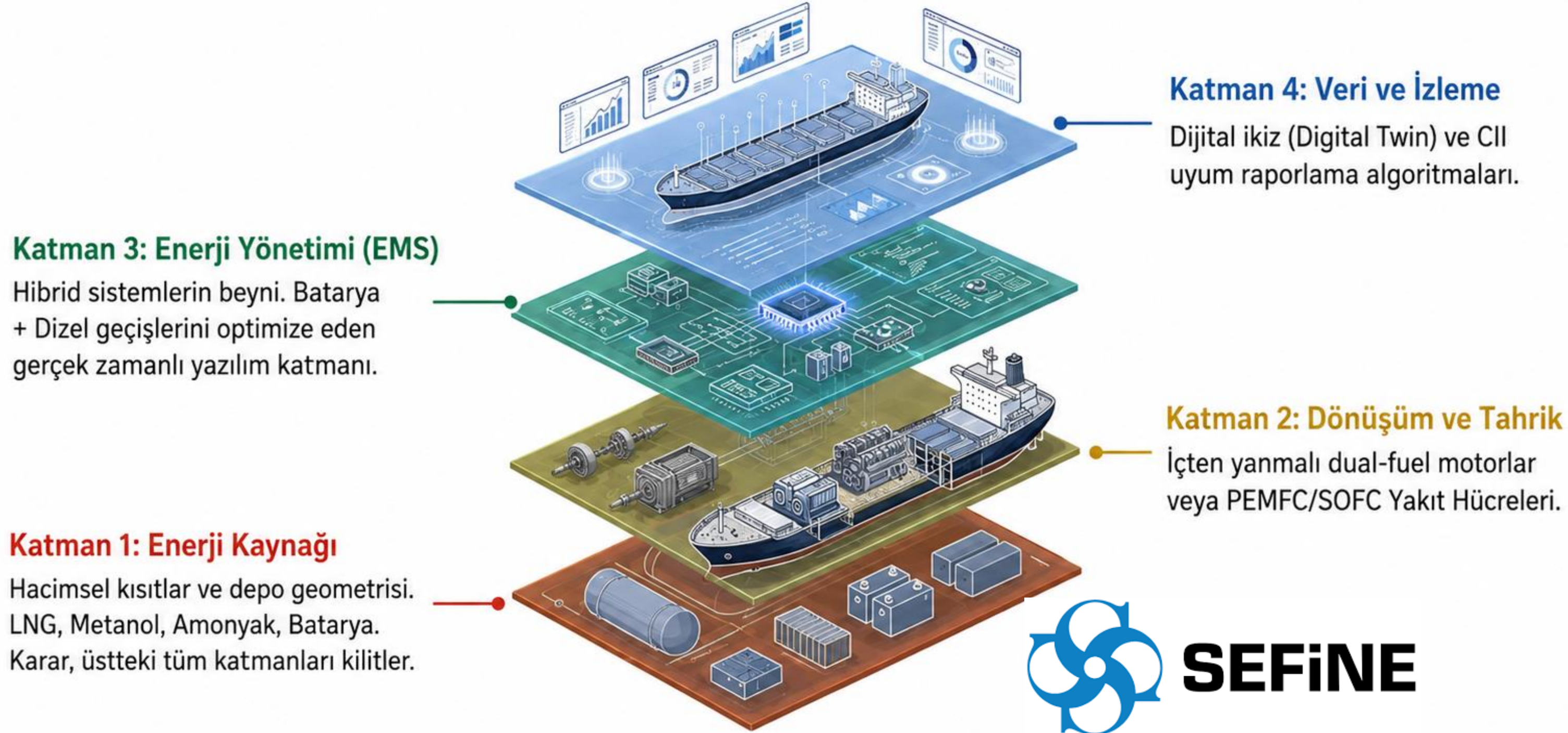
## Kritik Uyarı

- Türkiye'nin Ar-Ge göstergeleri; GSYH içindeki pay, toplam harcama, araştırmacı sayısı ve patent üretimi kriterlerinde AB ve Asya liderlerinin gerisindedir. Denizcilik Ar-Ge tahmini payı <%0,5 ile sınırlıdır.

## Stratejik Fırsat

- Denizcilik Ar-Ge payının artırılması, nitelikli insan kaynağının geliştirilmesi ve patent üretiminin teşviki ile Türkiye, denizcilik teknolojilerinde rekabet gücünü önemli ölçüde artırabilir.

Not: Her eksen ilgili göstergenin en iyi (en yüksek) değerine göre 0–100 aralığında normalize edilmiştir.



Türkiye entegrasyon kapasitesi Katman 1 ve 2'de güçlü ve tecrübelidir (Örn: Basto Electric feribotu).  
Ancak Katman 3 (Yerli EMS) ve Katman 4 (Dijital İkiz) tamamen dışa bağımlıdır ve Ar-Ge önceliği gerektirir.

## Yeşil Dönüşüm Olgunluk Panosu: Üçlü Kilit Kuralı

### TRL

(Teknoloji Olgunluk Düzeyi)



Teknolojinin kendisi laboratuvardan çıkıp ticari onaya (klas sertifikası) ulaştı mı?

### SRL

(Sistem Olgunluk Düzeyi)



İlgili teknoloji, geminin diğer bileşenleriyle (EMS, borulama, izolasyon) entegre çalışabiliyor mu?

### IRL

(Altyapı Olgunluk Düzeyi)



Liman yakıt ikmal (bunkering) altyapısı ve küresel tedarik zinciri hazır mı?



**Kritik Kural:** Bir yakıtın gemide güvenle kullanılabilmesi için üç kadranın da yeşil (7-9) bölgesine ulaşması zorunludur. Sadece motora (TRL) yatırım yapmak, yakıt bulamayan 'karbon kilitli' gemiler yaratır.

## Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG)



### Profil:

- ~50 MJ/kg enerji yoğunluğu.
- Ticari olgunluğu en yüksek alternatif yakıt (>1000 gemi devrede).

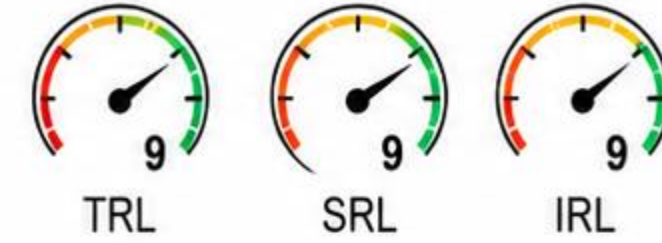
### Gizli Tehlike: Metan Kayması (Methane Slip)

- Düşük basınçlı Otto motorlarında yanmadan atmosfere karışan metan, 20 yıllık ufukta CO<sub>2</sub>'den 80 kat daha zararlıdır.

### Stratejik Rol:

- Yalnızca bir 'Geçiş Yakıtı'.

## VLSFO ve Biyoyakıtlar (FAME/HVO)



### Profil:

- 'Drop-in' (Doğrudan kullanılabilir) yakıtlar.
- Mevcut motor altyapısında modifikasyon gerektirmez.

### Kısıt:

- VLSFO sıfır CO<sub>2</sub> azaltımı sağlar, sadece kükürt regülasyonuna (IMO 2020) uyar.
- Biyoyakıtlar ise yüksek maliyetli ve küresel ölçekte denizciliği doyuracak biyokütle arzından yoksundur.

# Yeşil Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) - Endüstrinin Kısa/Orta Vade Gözdesi



## ÇEVRESEL ETKİ

WtW GHG azaltımı %65-95 (yeşil veya e-metanol kullanıldığında).



## PAZAR DURUMU

Maersk'in tetiklediği dev sipariş dalgası (2024'te siparişlerin %12.4'ü). Motorlar ticari olarak hazır.



## LOJİSTİK AVANTAJI

Oda sıcaklığında sıvı haldedir. Kriojenik depolama gerektirmez, mevcut liman ve petrokimya altyapısına kolayca adapte edilebilir (Türkiye için stratejik uyum).



## KRİTİK KISIT (HACİM ÇATIŞMASI)

Enerji yoğunluğu 19.9 MJ/kg'dır. Aynı menzil için geleneksel yakıta kıyasla gemide iki katı yakıt hacmi gerektirir. Konteyner gemilerinde kargo kapasitesinden feragat anlamına gelir.

## Geleceğin Yakıtları: Uzun Vadeli, Sıfır-Karbon Bahisler



### Yeşil Amonyak (NH<sub>3</sub>)



6-7

TRL



5-6

SRL



4-5

IRL

#### Profil:

Hidrojenin daha kolay taşınan 'paketli' sıvı hali. Gübre sektöründen gelen mevcut lojistik ağ büyük avantajdır (Türkiye'nin İGSAŞ/TÜGSAŞ altyapısı bir fırsattır).

**Gizli Tehlike:** Yüksek Toksisite (TLV: 25 ppm). Gemi içi kaçaklar mürettebat için ölümcüldür.

**İklim Riski:** Yanma anında çıkan N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>'den 265 kat güçlü bir sera gazıdır (Özel SCR sistemi zorunludur).



### Yeşil Hidrojen (H<sub>2</sub>)



6-7

TRL



5-6

SRL



2-3

IRL

#### Profil:

Nihai sıfır-karbon yakıt. PEM yakıt hücreleri ile yüksek verimde doğrudan elektriğe dönüştürülür.

#### Kritik Kısıt:

-253°C kriyojenik depolama gerektirir. Hacimsel enerji yoğunluğu HFO'nun 1/4'ü kadardır.

#### Gerçeklik Kontrolü:

Okyanus aşırı büyük gemilerde fiziksel olarak kullanılması günümüz teknolojisiyle imkânsıza yakındır. Sadece kısa mesafe (Örn: Norveç MF Hydra) uygulanabilir.



## Tam Elektrifikasyon ve Hibrit Çözümler



### Tam Elektrik ve Batarya Batarya (LFP Kimyası)



#### Profil:

Lityum Demir Fosfat (LFP) bataryalar; güvenlik (termal kaçak riski düşük) ve uzun ömür (>3000 döngü) ile denizcilığe en uygun hücre tipidir.



#### Uygulama Alanı:

<30 deniz mili mesafeli güzergahlar (İstanbul Şehir Hatları, kısa Ro-Ro). Türk tersanelerinin rüştünü ispatladığı ana segmenttir (Örn: Sefine Tersanesi - Basto Electric).



### Kıyı Güç Bağlantısı (Shore Power / OPS)



#### Bağlam:

Gemi limandayken jeneratörlerin kapatılıp karadan elektrik alınması işlemi.



#### Baskı ve Darboğaz:

AB, 2030'dan itibaren büyük limanlarda yolcu ve konteyner gemileri için zorunlu tutuyor. Türkiye limanlarında bu altyapı neredeyse sıfırdır, acil mega yatırım gerektirir.

## Alternatif Yakıtlar Röntgeni

| Yakıt Tipi             | WtW GHG Azaltımı | Teknoloji Olgunluğu | Menzil Kısıtı (Enerji Yoğ.) | Türkiye Uygulanabilirliği | Gizli Tehlike / Risk |
|------------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| VLSFO                  | Zayıf            | Mükemmel            | Mükemmel                    | Yüksek                    | Düşük                |
| LNG                    | Zayıf            | Yüksek              | İyi                         | Orta                      | Metan Kayması        |
| Bio-LNG                | Mükemmel         | Mükemmel            | İyi                         | Orta                      | Metan Kayması        |
| Yeşil Metanol          | Mükemmel         | İyi                 | Orta                        | Kısa Vade                 | Hacim                |
| Yeşil Amonyak          | Mükemmel         | Orta                | Orta                        | Orta Vade                 | Toksisite+N2O        |
| Yeşil Hidrojen         | Mükemmel         | Zayıf               | Zayıf                       | Uzun Vade                 | Kriyojenik           |
| Tam Elektrik (Batarya) | Mükemmel         | Mükemmel            | Çok Zayıf                   | Yüksek                    | Şarj Altyapısı       |

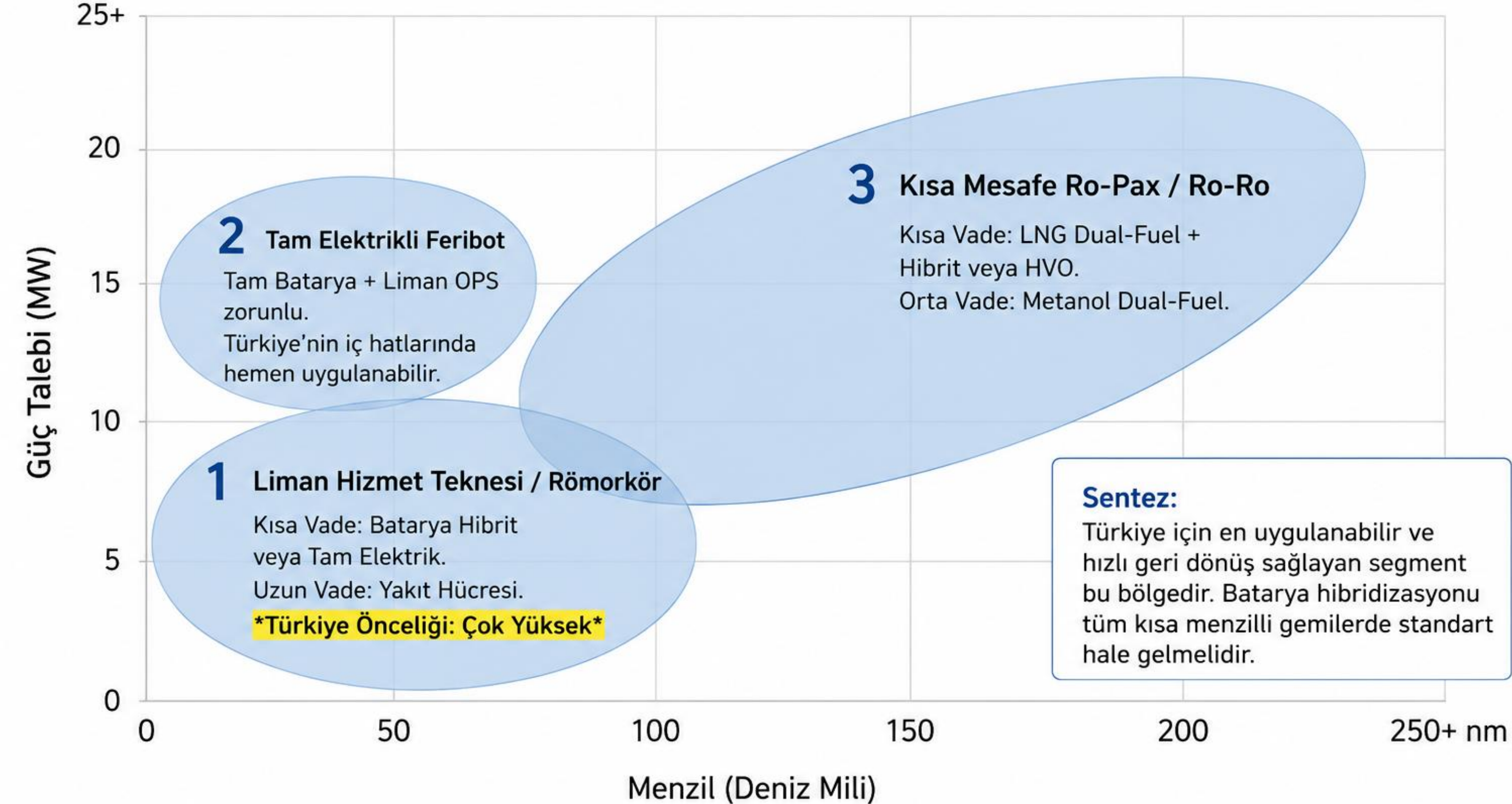


### Okuma Rehberi:

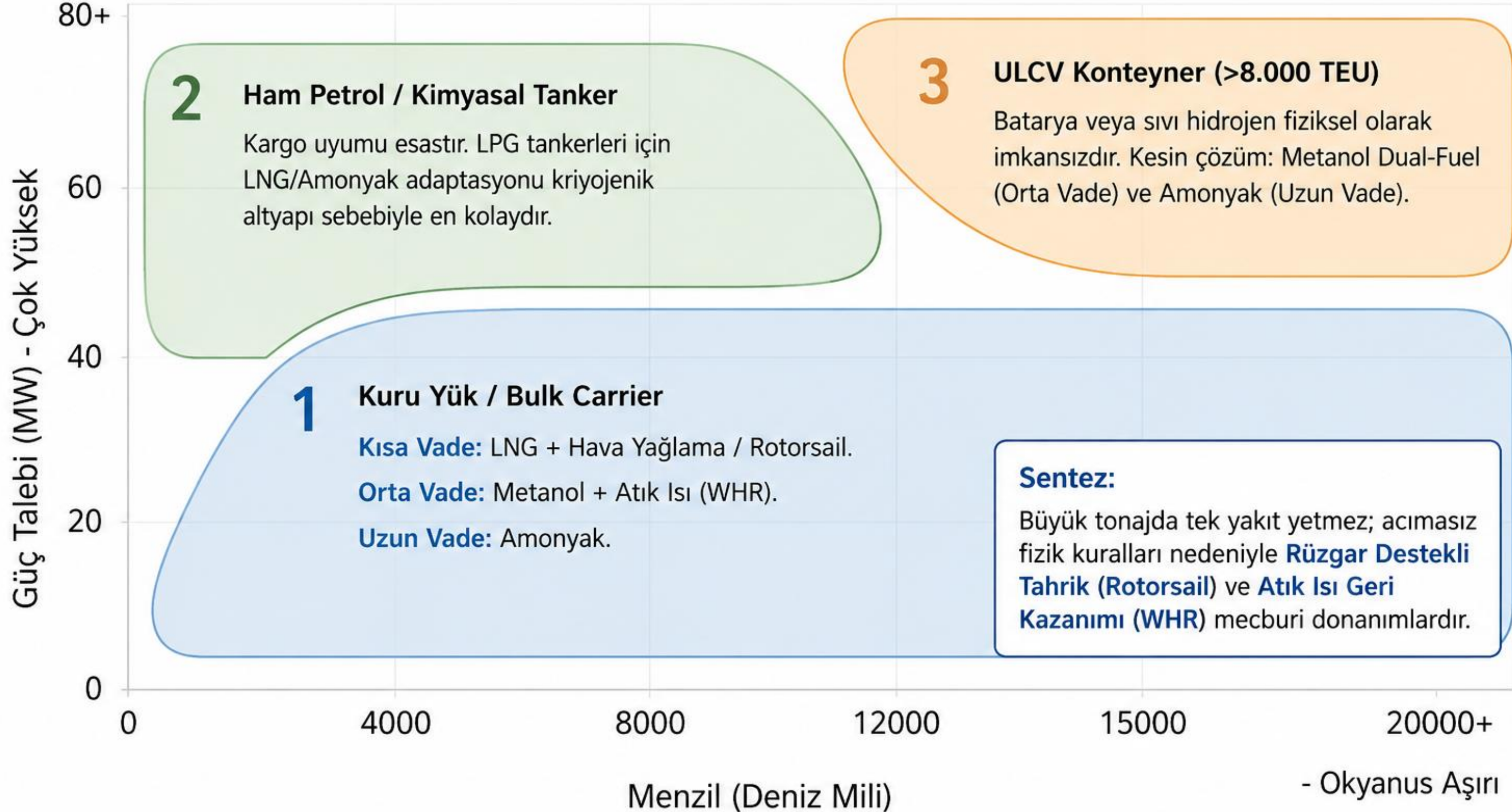
Hiçbir yakıt tüm kriterlerde 'yeşil' değildir. Strateji, geminin operasyonel profiline göre hangi zayıflığın tolere edilebileceğini seçme sanatıdır.



# Gemilerin Operasyonel Profili ve Dönüşüm Haritası



# Gemilerin Operasyonel Profili ve Dönüşüm Haritası



# DENİZCİLİK SEKTÖRÜ SWOT ANALİZİ

## GÜÇLÜ YANLAR (S)

- Yerleşik gemi inşa kapasitesi ve tecrübeli tersane işgücü.
- Yeşil hidrojen/metanol için muazzam Ege/Güneydoğu güneş ve rüzgar potansiyeli.

## FIRSATLAR (O)

- AB ETS maliyet baskısı, iç pazarı zorunlu inovasyona ve yeşil retrofitte itiyor.
- Türkiye'nin gübre sanayisinin (İGSAŞ vb.) mevcut amonyak altyapısını denizciliğe entegre etme şansı.

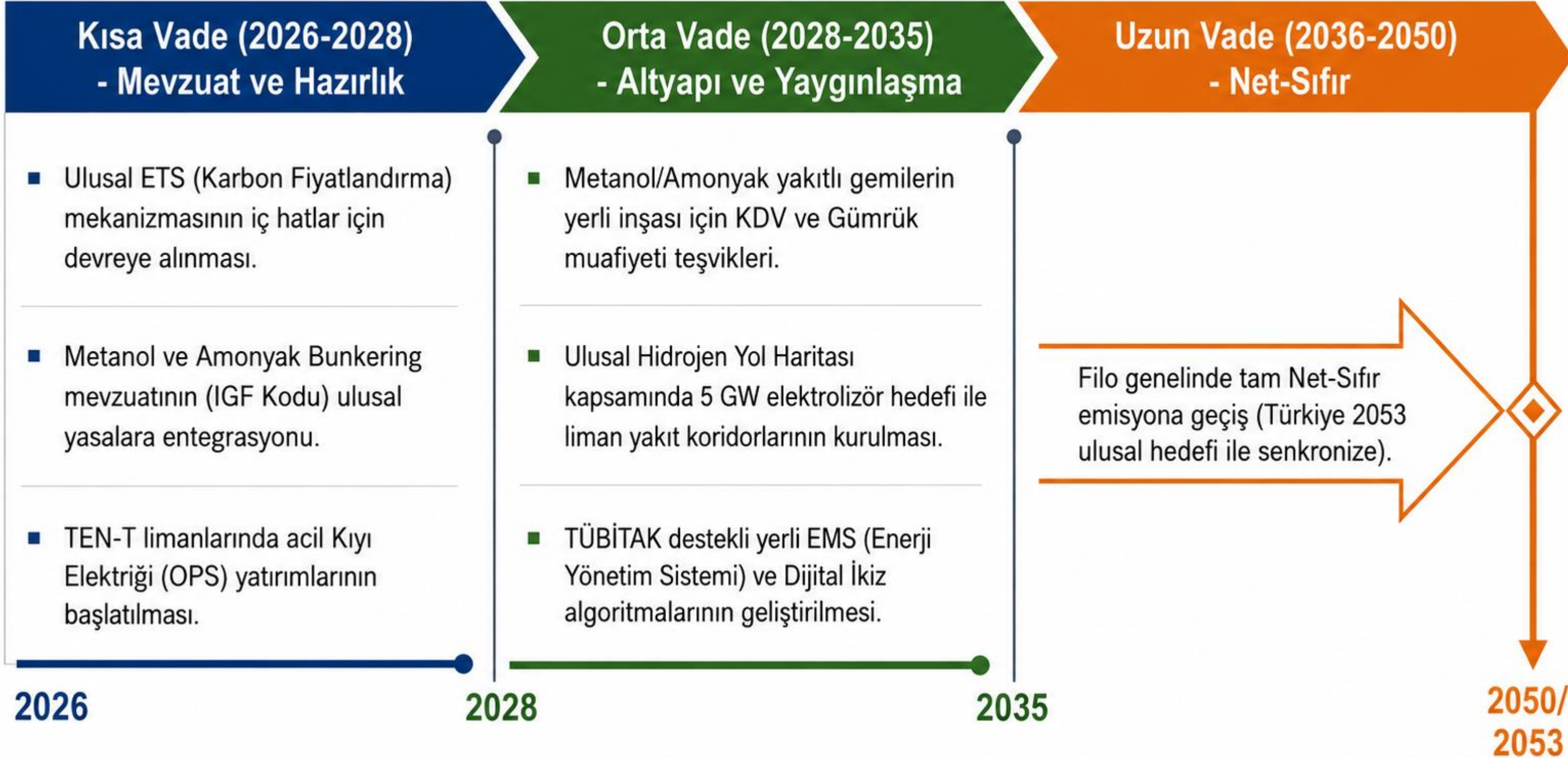
## ZAYIF YANLAR (W)

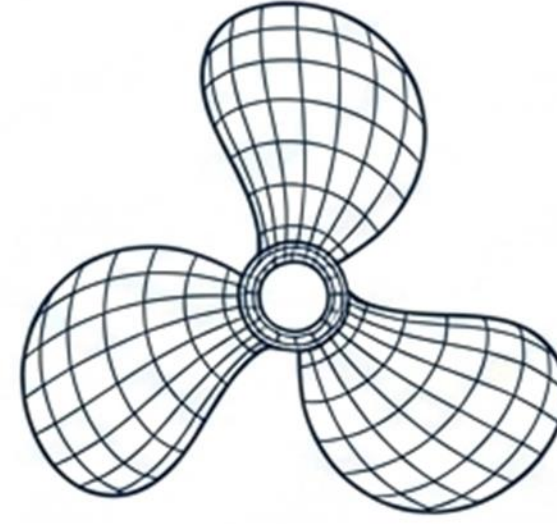
- Yaşlı filo ortalaması (18.5 yaş ort.).
- Limanlarda alternatif yakıt bunkering ve Kıyı Elektrik (OPS) altyapısının sifıra yakın olması.
- Yerli Enerji Yönetim Sistemi (EMS) ve Dijital İkiz yazılımlarında dışa bağımlılık.

## TEHDİTLER (T)

- Yanlış teknoloji seçimiyle (örn: sadece fosil LNG'ye yaslanmak) 'Değer Yitiren Varlık' (Stranded Asset) yaratmak.
- AB regülasyonlarına (FuelEU) uyum sağlanamazsa pazar payı ve rota kaybı.

# DENİZCİLİK SEKTÖRÜ NET-SIFIR DÖNÜŞÜM ANA YOL HARİTASI





# Beklemenin Maliyeti, Dönüşümün Maliyetini Aşmıştır.

2050 Net-Sıfır hedefine giden yolda **'tek bir sihirli yakıt' yoktur**. Türk denizcilik sektörünün **beka stratejisi; kısa vadede elektrifikasyon ve batarya hibridizasyonunu** standartlaştırmak, orta vadede metanol ve amonyak için **liman/tersane altyapısını** eşzamanlı kurulumak ve uzun vadede **dijital zekayı** (EMS) geminin merkezine yerleştirmektir.

Stratejik Uyarı: Sadece bugünün regülasyonuna uyan ucuz çözümler, yarının hurda gemileridir (Stranded Assets).



**DENİZCİLİK**  
**TEKNOLOJİLERİ**  
**YOL HARİTASI**

# TEŞEKKÜRLER

[bashan@itu.edu.tr](mailto:bashan@itu.edu.tr)

[veysibashan@gmail.com](mailto:veysibashan@gmail.com)