

# HİBRİT TAHRİK SİSTEMLİ GEMİLERDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Ayhan MENTEŞ & Hakan AKYILDIZ  
İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi/  
[mentes@itu.edu.tr](mailto:mentes@itu.edu.tr), [akyildiz@itu.edu.tr](mailto:akyildiz@itu.edu.tr)

## ÖZET

Dünyada giderek artan bir eğilim de hibrit enerji sistemlerinin daha rasyonel ve daha verimli kullanılmasına yöneliktir. Özellikle son on yılda, gemilerde hibrit tahrik teknolojisi, sistem düzenleme alternatifleri, güç yönetim sistemi kontrol mimarisi ve özel teknoloji tehlikeleri ile ilgili spesifik konuları ele alan büyüyen bir araştırma alanı oluşmuştur. Bu makalede hibrit (elektrik ve dizel) sevk sistemleri incelenerek bataryalar hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve hibrit sistemlerde meydana gelen potansiyel risklerden bahsedilmiştir. Ayrıca, bir dizel-elektrik tahrik sistemine sahip gemi için GZFT(Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler) analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hibrit Sistemler, Risk Değerlendirme, Güvenlik Yönetimi, GZFT Analizi.

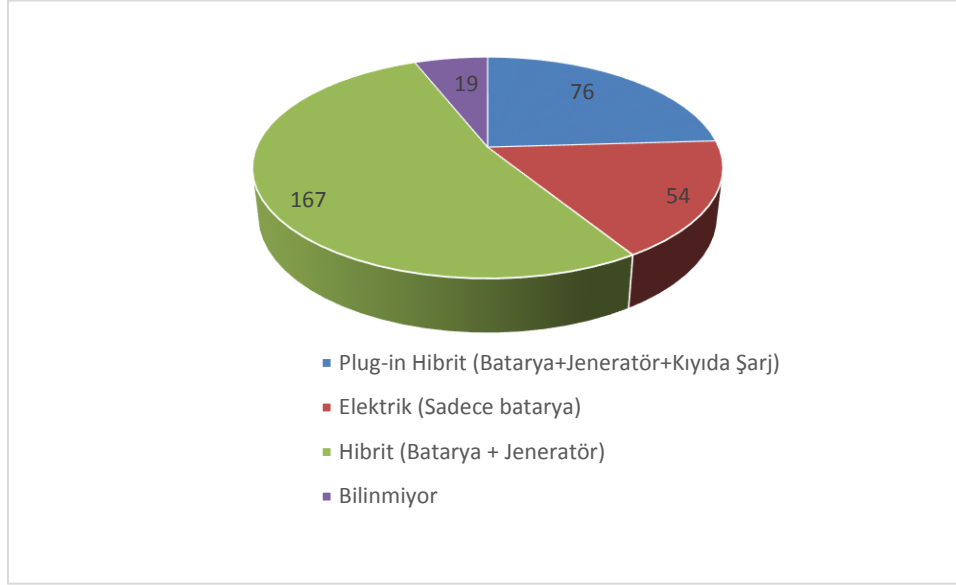
## SUMMARY

An increasing trend in the world is geared towards more rational and more efficient handling of hybrid energy systems. Notably, in the last decade, a thriving area of research on ships has materialized from addressing specific issues related to hybrid propulsion technology, system configuration alternatives, power management system control architecture and specific technology hazards. In this article, hybrid (electric and diesel) propulsion systems are examined, detailed information is provided about the batteries, potential risks in these systems are pointed out and finally, a SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threats) analysis is provided for these systems.

**Keywords:** Hybrid Systems, Risk Assessment, Safety Management, SWOT Analysis.

## 1. Giriş

Bir teknenin mevcut bir tahrik sistemine hibrit bir sistemin entegrasyonu, teknenin mevcut performansını arttırarak, su yoluyla taşıma eğilimini daha verimli hale getirecek ve daha ekonomik bir tahrik sistemine olanak sağlayacaktır. Tekne için gerekli olan enerji kaynağı dizel jeneratör, batarya, hidrojen yakıt hücresi, güneş paneli, rüzgar türbini, dalga jeneratörü veya bunların bileşimi kullanılarak sağlanabilir. Şekil 1’de, Deniz Batarya Forumu (Maritime Battery Forum) ve DNV GL’nin Alternatif Yakıtlar Insight Platformunda (DNV GL’s Alternative Fuels Insight Platform) bataryalarla tahrik edilen kayıtlı deniz araçları sayısı verilmektedir [1].

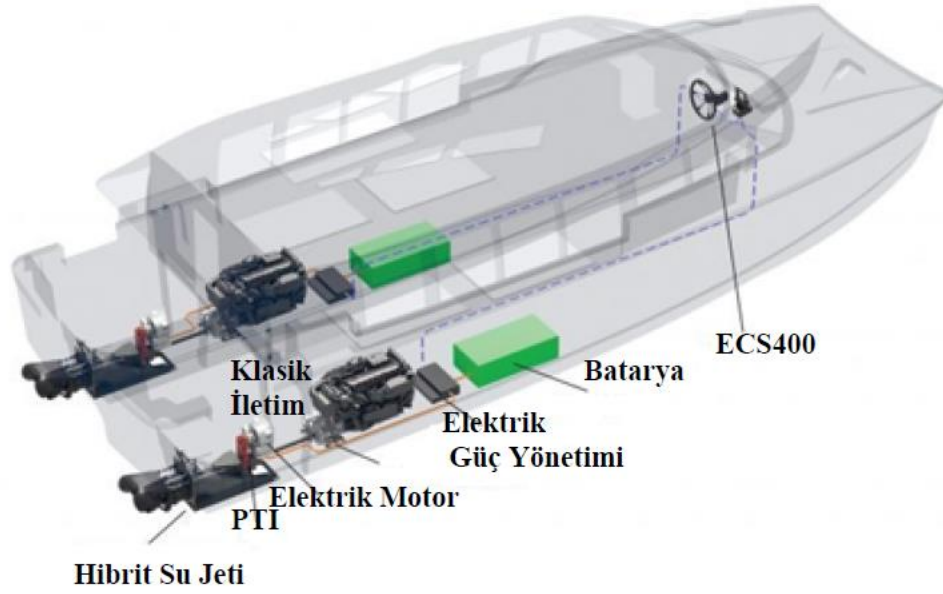


Şekil 1. Bataryalarla tahrik edilen deniz araçları sayısı [1].

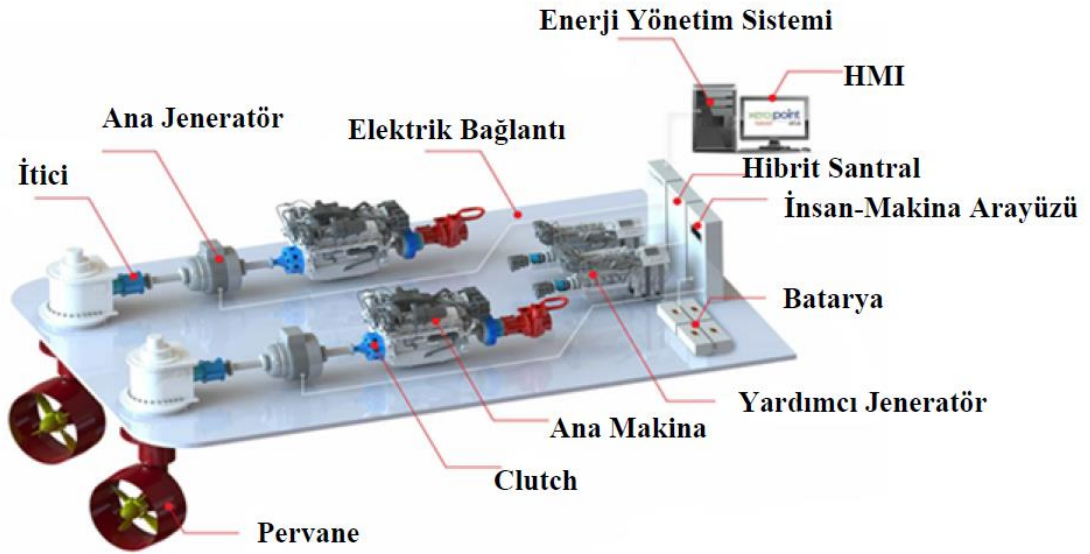
Denizcilik sektöründe, elektrik tahrik ve üretim sistemlerinin entegrasyonu; yakıt tüketimi, bakım & tutum maliyetleri, çevresel kaygılar ve genel sistem performansı açısından operasyonel hedeflerin iyileştirilmesinde büyük ilgi görmeye başlamıştır. Şekil 2 ve Şekil 3’de dizel ve elektrik tahrik sistemi ile çalışan iki hibrit gemi görülmektedir. Şekil 3’deki Hibrit Tahrik Sistemi, bir dizel motor ve bağımsız olarak veya aynı anda bir tahrik milini tahrik eden bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Bu hibrit sistem, geminin operasyon ihtiyaçlarını karşılamak için oldukça etkili güç ve itme seçeneklerini yapılandırmaktadır. Hibrit sistem konfigürasyonları, gemiye alternatif güç kaynakları sunarak yedeklik de sağlamaktadır. Çeşitli gemilere uygulanabilir olan bu hibrit sistem, bir geminin gücü ve tahrik gereksinimlerine göre özelleştirilebilen temiz ve basit bir çözüm de sunmaktadır. Bu hibrit sistem, güç ve itiş gücü için en uygun çalışma modlarını sağlamak üzere bir teknedeki elektrikli ve mekanik cihazları birleştirir. Hibrit sistemin enerji yönetim sistemi, herhangi bir zamanda gemideki elektrikli ve mekanik cihazların en verimli konfigürasyonunu belirleyerek gereksiz dizel motorların rölantide kalmasını engellemeye çalışır. Bu sistemin avantajı;

- Artan performans,
- Azalan emisyonlar,
- Ortalama maliyetten daha ucuz enerji elde edilmesi ve depolanması,
- Düşük yakıt maliyetleri,
- Yakıt tüketiminde yaklaşık % 15 civarında azalma,
- Azaltılmış bakım ve yaşam döngüsü destek maliyetleri (yaklaşık % 20 oranında bir azalma),
- Artan güvenilirlik,
- Güvenilir operasyon şartları,
- Gemi güvertesinde daha az gürültü,

şeklinde ön plana çıkmakta ve özellikle iç su yolu taşımacılığında hibritleşme daha etkili kullanılmaktadır. Türk tersanelerinde elektrikli gemiler, feribotlar ve balıkçı gemileri üretilmekte olup üretilen gemiler Norveç vb. gibi endüstrilemiş ve gemi inşaatında çok ileri seviyede olan ülkelere ihraç edilmektedir. Son yıllarda Türk mühendislerinin bilgi ve know-how’ı ile konvansiyonel dizel gemi motorlarına alternatif olarak hibrit ve tam elektrikli güç sistemlerinin sistem entegrasyonunda çok başarılı uygulamalar geliştirilmektedir.



Şekil 2. Hibrit bot



Şekil 3. Hibrit bir liman römorkörü

Hibridizasyon, bir teknenin özelliklerini iyileştirmek için birincil güç kaynağına (P) ikincil bir güç kaynağının (S) eklenmesidir. Bu sayede, teknenin yakıt ekonomisi, emisyon, konfor, güvenlik ve sürdürülebilirliğinde önemli gelişmeler sağlanır. İkincil bir güç kaynağının eklenmesi, tamamlayıcı bir sistem olarak güç akışlarını optimize etmede oldukça etkilidir.

Hibrit tahrik ve güç üretim sistemleri; kargo gemileri, iç su hattı gemileri, römorkörler, destek gemileri ve askeri gemiler gibi yüzer sistemlerde uygulanmaktadır. Hibrit gemilerin genel performansındaki

verimsizlik, kontrol stratejileri uygulanarak giderilebilecek ve bu sayede daha verimli deniz taşımacılığı ve lojistik operasyonlarının gerçekleşmesine olanak sağlanabilecektir. Hâlihazırda, hibrit gemilerde enerji yönetimi problemini ele almak için kural tabanlı yöntemler uygulanmaktadır [2]. Bu yöntemlerin çoğu, yakıt tüketimi ve çevresel kaygıların yanı sıra, enerji kaynakları ve genel güç dağıtım sistemi içindeki kayıpları ihmal ederek optimizasyon eksikliği gibi bazı ortak zafiyetleri paylaşmaktadır.

Hibrit sistemlerdeki ana zorluk; motorlar, yakıt bataryaları ve ultra kapasitörler gibi farklı güç kaynakları arasındaki güç ayırımının gerçek zamanlı olarak belirlenmesidir. Diğer önemli konular, dalgaların ve rüzgârın yarattığı rahatsızlıklara karşı koyma ve aynı zamanda güç ağındaki dalgalanmaların etkisini azaltma yeteneğidir. Kanellou ve diğerleri [3] emisyonlarda azalmaya yol açan optimal güç yönetimi için bir yöntem önermiştir. Hou ve diğerleri ise [4], MPC kullanarak güç şebekesindeki dalgalanmaları telafi etmek ve hibrit enerji depolama tekniğiyle birincil elektrik üretim sistemi arasındaki gücü ayırmak için bir elektrikli tahrik sisteminde hibrit enerji depolama yönteminin kullanılabilirliğini analiz etmiştir.

## 2. Hibrit Sistemler:

Aşağıdaki bölümlerde hibrit sistemlerin tasarımı konularında üzerinde önemle durulması gerekli olan kontrol sistemleri, enerji depolama sistemleri ve sistem konfigürasyonları (seri, paralel, seri-paralel) hakkında bilgiler verilmiştir.

### 2.1 Kontrol Sistemleri:

Gelişmiş kontrol stratejilerine sahip hibrit gemi mimarilerin yakıt tüketimini ve emisyonları % 10–35'e kadar azaltabileceği, gürültü, bakım kolaylığı, manevra kabiliyeti ve konforu artıracığı bilinmektedir. Kontrol yaklaşımı iki aşamadan oluşur:

İlk aşamada, istenen shaft hızını elde etmek için, doğrusal olmayan Sağlam Tüp Bazlı Model Öngörücü Kontrol (NRTB-MPC) problemi çözülürken, çevresel bozulmalar ve gemi modeli belirsizlikleri dikkate alınır. Ardından, istenen shaft hızının kullanılmasıyla, geminin sevk edilmesi için talep edilen enerji hesaplanır ve farklı enerji kaynakları arasındaki en uygun bölünmenin bir MPC yaklaşımı benimseyerek bulunduğu enerji yönetim kontrol birimine gönderilir. Güç sistemindeki kayıplar ihmal edilmemekte ve yakıt tüketimi ile ilgili endişeler ele alınmaktadır. Son olarak, üretilen toplam enerji ulaştırılabilir pervane shaft hızını belirtir. Kullanılan batarya ise ana güç kaynağıyla birlikte kullanılabilir veya yük talebinin düşük olduğu durumlarda ayrı ayrı kullanılabilir. Önerilen yaklaşımı kullanarak gemiyi sevk etmek için gerçek zamanlı enerji talebi belirlenebilir. Bu, her adımda bir optimizasyon problemini çözebilen, kayıpları, yakıt tüketimini en aza indirebilen ve talep edilen enerji tahminlerini takip eden MPC kullanarak enerji yönetim problemini çözmeyi sağlayabilecek bir yapıdadır.

### 2.2 Enerji Depolama Sistemleri:

Hibrit teknelerdeki enerji depolama sistemi bataryalar, volanlar, ultrakapasitörler ve hidrojen yakıtı olabilir [5]. En yaygın kullanılan enerji depolama üniteleri bataryalardır. Bataryaların en önemli özelliği amper saat (Ah) ile ölçülen kapasitesidir. Ayrıca, bataryada depolanan enerji (watt-saate göre ölçülen bataryada ortalama boşalma gerilimi başına kapasitesi) bataryanın temel özellikleridir. Batarya performansını etkileyen ve seçen diğer bir parametre ise yüzde olarak ifade edilen şarj durumudur. Hibrit sistemlere uygun bataryalar ve genel özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Batarya çeşitleri [5]

Hibrit Derecesi	Sistem Voltajı	Kapasite (KWh)	Çok Yüksek Kapasitörler		Yakıt Pili		Elektrik Motoru (Kw)
			Enerji (Wh)	Maksimum Güç (KW)	Enerji (Wh)	Maksimum Güç (KW)	
Geleneksel	12	-	-	-	-	-	-
Mikro hibrit	42 - 12	0.05 - 0.02	30	6	-	-	5 - 3
Hafif hibrit	200 - 150	1.2 - 0.125	150 - 100	35	-	-	12 - 7

Tam hibrit	350 - 200	4 - 1.4	200 - 100	-	-	-	40
PHEV	500 - 300	20 - 6	200 - 100	45 - 28	-	-	70 - 30
AEV	500 - 300	40 - 20	300	45 - 28	200 - 150	100 - 150	100 - 50

Batarya, malzeme ve performanslarına göre asit, nikel, lityum, sodyum ve hava yalıtım bataryaları adı verilen 5 gruba ayrılır. Geleneksel dizel botlardaki en ucuz ve mevcut batarya asit bataryalarıdır. Bu bataryalar sadece yüksek ağırlığa sahip değil aynı zamanda üretim ve uygulama sürecinde de çevre kirliliğine neden olmakta ve hibrit sistemlerde kullanılmamaktadır. Her ne kadar nikel-çinko ve nikel-kadmiyum gibi nikel bataryalar çevresel olarak uyumlu olsa da, ağırlıkları yüksek, bakım maliyetleri ve yüksek deşarj oranına sahiptir. Sodyum nikel klorürden yapılan sıfır emisyonlu bataryalar, 350°C - 500°C aralığında yüksek sıcaklığa sahip olup, diğer bataryalara kıyasla daha yüksek bir şarj seviyesine ve daha uzun bir ömre sahiptir. Kullanılmazlarsa 90 watt'a eşit enerji kaybederler [6].

**Tablo 2.** Lityum bataryaların gelişimi [6]

	Yıl		
	2015	2020	Gelişme (%)
<b>Enerji Pilleri</b>			
Belirgin Güç (kW/kg)	0.3	0.5	67
Belirgin Enerji (kWh/kg)	200	350	75
<b>Güç Pilleri</b>			
Belirgin Güç (kW/kg)	4.8	16	233
Belirgin Enerji (kWh/kg)	60	60	0
<b>Yaşam Süresi</b>			
Yükleme / Boşaltma Döngüsü	1000	5000	400
Yıllar	10	20	100
<b>Maliyet (\$ / kWh)</b>	\$1000	\$300	233

Polimer lityum bataryalar, yer tespiti için yüksek uyumluluk özelliklerine ve çeşitli anlamlılık düzeylerine sahiptir, ancak düşük iletkenlik ve enerji gücü sunarlar. Diğer lityum bataryalar; daha yüksek deşarj akımı, daha iyi koruma özellikleri, yüksek termal ve kimyasal özellikler gösteren lityum-demir-fosfat bataryalardır. Diğer bir tip batarya ise lityum bataryalardan daha fazla karakteristik enerji ve enerji yoğunluğuna sahip çinko-hava bataryalarıdır. Dezavantajları arasında yüksek yoğunluk, düşük güç özelliği ve kullanım ömrü bulunur. Günümüzde, bu tip bataryaların ticari olarak yaygınlaştırılması için birçok araştırma yapılmaktadır.

Bataryalar, maliyetin önemli bir bölümünü oluşturur. Batarya teknolojilerinin mevcut yetenekleri sınırlıdır ve hepsinin enerji-ağırlık oranları yüksektir. Ancak, batarya geliştiricileri, düşük maliyetli denizcilik seçenekleri sunmak için ciddi bir çaba içerisine girmişlerdir. ABD Ordusu Tank Otomotiv Araştırma ve Geliştirme Merkezi (TARDEC), lityum bataryaların gelişimi ile ilgili bilgileri ve öngörülerini paylaşmış (Tablo 2) olup lityum bataryaların gelişim süreci oldukça umut vericidir. Önümüzdeki yıllarda batarya gelişmelerine hazırlıklı olmak ve bu yönde planlar geliştirmek, küçük gemiler için elektrikli hibrit - elektrik tahrik sistemlerine zaman ve kaynak ayırmak isteyen şirketler için akıllıca bir yaklaşım olacaktır.

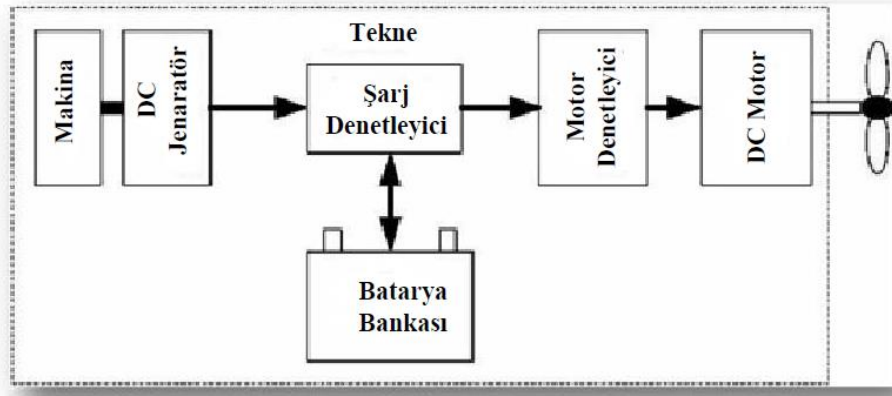
### 2.3 Hibrit-Elektrik Sistem Konfigürasyonları:

Belirli bir hibrit tahrik sistem performansı, spesifik konfigürasyonundan büyük ölçüde etkilenir. Hibrit gemi seçeneklerinin üç genel düzenlemesi bulunmaktadır [6]:

- Seri,
- Paralel ve
- Hem seri hem de paralel yapılandırmaların bileşimi olan düzenlemeler.

#### 2.3.1 Seri Hibrit Sistem:

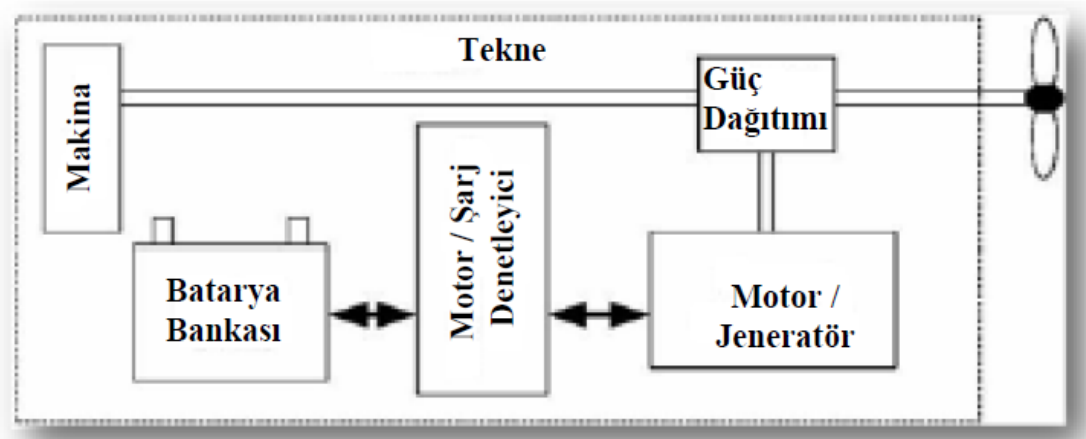
Bir seri hibrit kurulumda, elektrik motoru, pervaneye güç sağlayan tek yoldur (Şekil 4). Motor, batarya paketinden veya ICE tarafından çalıştırılan bir jeneratörden elektrik enerjisi alır. Bu, bataryalar boşaldıktan sonra bile teknenin çalışmaya devam etmesini sağlar.



Şekil 4. Seri hibrit sistem [6]

#### 2.3.2 Paralel Hibrit Sistem:

Bu tip sistemlerde, hem ICE hem de elektrik motoru pervaneye güç sağlayabilir (Şekil 5). Motor/jeneratör, pervaneyi bataryadan enerji alarak çalıştırabilir veya bataryayı şarj etmek için kullanılabilir.



Şekil 5. Paralel hibrit sistem [6]

### 2.3.3 Seri/Paralel Hibrit Sistemler:

Bu tip sistemler, seri ve paralel sistemlerin bir kombinasyonudur. İki tasarımın birleştirilmesiyle, jeneratör pervaneyi doğrudan (paralel aktarma organlarında olduğu gibi) çalıştırabilir, ya da yalnızca elektrik motoru (seri aktarma organlarında olduğu gibi) pervaneyi çalıştırabilir. Sonuç, optimum verime daha yakın çalışan bir sistemdir.

Tablo 3’de seri, paralel ve seri-paralel hibrit sistemlerin yakıt tüketimi ve sevk performansları konusunda karşılaştırma tablosu verilmiştir.

**Tablo 3.** Hibrit performans karşılaştırmaları

Hibrit sistem Karşılaştırma	Yakıt tüketiminin iyileştirilmesi			Sürüş Performansı		
	Rölanti Stop	Enerji Kazanımı	Yüksek verimli operasyon kontrolü	Toplam Verimlilik	İvme	Devamlı Yüksek çıkış
Seri	3	2	3	3	1	1
Paralel	3	3	1	3	3	1
Seri - paralel	2	2	2	2	3	3

Zayıf 1, İyi 2, Çok İyi 3.

### 3. Hibrit Sistemlerin Bakım-Tutumu:

Dizel-elektrik hibrit sistemlerin uygun bir seçenek olarak kabul edebilmesi için, geleneksel ICE sistemleri bilgisine ve bakım, tutum, tamir ve inşa konularında gerekli tecrübeye sahip olunması gereklidir. Ayrıca, nitelikli servis personeli bulundurma ve sarf malzemeleri temini şu süreçte oldukça zordur. Çünkü bu hizmetler için pazar küçük ve gelişme aşamasındadır. Günümüz teknolojisi, standartlaştırılmış sistemler olmadan eksik bir seviyede kalır. Bu nedenle mevcut ve/veya gelişmekte olan sistemlerin standartlaştırılması çok önemlidir ki bu elde edilen bilginin yayılmasında da yardımcı olacaktır. Bu durum, sistemleri daha geniş bir yelpazedeki küçük gemi uygulamalarında uygulanabilir hale getirebilecek ve daha büyük ölçekte üretilebilecek hale gelmesi içinde gerekli altyapıyı sağlamlaştıracaktır. Endüstri kuruluşları tarafından hibrit sistemlerin yakın bir süreçte belirli bir standarda sahip olmasına karar verilirse, bu teknolojiler ekonomik olarak çok daha uygun hale gelebilecektir.

Hibrit sistemlerin yaygınlaşmasından önce bu sistemlerin bakım sıklığı ve maliyeti ele alınması gereken önemli unsurlardır. Sonuçta, kullanım ömrü ve maliyeti konvansiyonel bir tahrik sisteminden daha fazlaysa, birçok kullanıcı bir elektrikli veya elektrikli hibrit sistemi kullanmak istemeyecektir.

Bakım-tutum, özellikle birçok elektronik ve kontrol sistemleri içeren yeni bir teknolojinin yaşam döngüsü maliyetinde büyük rol oynamaktadır. Çoğu teknolojide olduğu gibi, ilerlemeler ve standardizasyon, daha az programlanmış ve programlanmamış bakım-tutum ile daha sağlam sistemlere yol açacaktır. Hibrit tekne seçeneklerinde hızlı bir şekilde ilerlemek için, motor üreticileri ve elektrikli motor tasarımcıları arasındaki endüstri işbirliğine ciddi ihtiyaç vardır ve batarya geliştiricilerin deniz endüstrisi ile işbirliği gerekir.

### 4. Hibrit Sistem Batarya Riskleri:

Aşağıda büyük batarya sistemlerine sahip hibrit gemilerde karşılaşılabilecek potansiyel hata türleri verilmiştir [7]:

- Bataryadan elde edilen güçten daha fazla güç ihtiyacı,

- Bataryadan gelen güçten daha düşük güç ihtiyacı,
- Bus'da ani amper artışı,
- Veriyolunda ani voltaj artışı,
- Gerilim bilgisi arızası,
- Batarya uzun süre % 80'in üzerinde şarj oluyor / % 20 şarj durumu,
- Batarya voltajı nominal aralıktan daha yüksek / daha düşük,
- Batarya sıcaklık bilgisi arızası,
- Batarya kısa devresi,
- Batarya enerji beslemesi / tükenmesi sırasında ısı oluşumu,
- Batarya Bankasında Yangın,
- Komşu batarya alanlarında yangın,
- Enerji yönetim sisteminde sürekli veya rastgele arıza,
- Şimşek,
- Bataryanın suyla fiziksel teması,
- Taşınan kargo ile batarya fiziksel teması: metanol,
- Taşınan kargo ile batarya fiziksel teması: yakıt,
- Bataryanın taşınan kargo ile fiziksel teması: kuru dökme yük.

DNV GL [8] tarafından Denizde Kullanılan Büyük Batarya Sistemleri İçin Rehber ve Lloyd Register [9] tarafından Batarya Tesisleri Kılavuzu, gemilerdeki büyük batarya bankalarıyla ilgili en önemli tehlikeleri ise aşağıdaki şekilde vermişlerdir.

**Emisyonlar:** Sulu olmayan Lityum-iyon hücrelerde, yanıcı elektrolitler yanıcı maddeler üretebilir ve ayrıca yandıklarında önemli kimyasal enerji açığa çıkarabilirler.

**Termal kaçak:** Batarya içindeki sıcaklık batarya mahfazasından çıkacak kadar yüksek olduğunda, erimeye, batarya şebekesinin aşırı sıcaklığa maruz kalmasına ve bataryanın dış tarafında sıcaklık artışına neden olabilirler. Bu durum, kusurlu hücreye bitişik olan hücrelerin sıcaklığını artırabilir ve tüm batarya kurulumunda zincirleme bir reaksiyona yol açabilirler. Dahili kısa devre, mekanik hasar veya üretim hataları ile termal kaçaklar ortaya çıkarabilirler.

**Mekanik hasar:** Katottaki aktif parçacıkların kırılması ve batarya içlerinde meydana gelen yapışma hücre bozulmasına neden olabilir.

**Hortum devresi:** İki temel tipte batarya kısa devresi vardır. Bunlardan biri, bir tasarım kusuru ile bağlantılı veya metal ve toz parçacıkları gibi mikro kusurların oluşumu ayırıcıyı delebilir ve kısa devreyi tetikleyebilir. Diğer bir durumda, çok hızlı şarj, aşırı şarj olarak bilinen veya düşük donma sıcaklığında, titreşimde veya bir şanssızlık olayında şarj etme gibi bir gerilim durumunda kısa devre oluşabilir [9].

**Kendiliğinden yanma:** Lityum iyon bataryadaki ana yakıt, organik çözücü ve inorganik tuzdan oluşan bir çözeltili elektrolittir. Lityum iyon bataryalarda kullanılan en yaygın çözücüler etilen karbonat (EC), propilen karbonat (PC), dimetil karbonat (DMC), dietil karbonat (DEC) ve bunların kombinasyonlarıdır. Herhangi bir elektrolit / metal / oksit destekli hücrelerin kendiliğinden yanabileceği bir sıcaklık vardır. Komşu bölmelerdeki yangınlar ayrıca, bataryaların tutuşmasına neden olacak şekilde sıcaklığı da artırabilir. Örneğin, 25 kg standart pakette LiPF<sub>6</sub> bataryalarının EC + DEC elektrot tipinde test edilmesinde, lityum iyon batarya malzemelerinin sıcaklığı 66,5 ° C'nin üzerindeyse şarj edilmiş bataryanın kendiliğinden ısınacağını ve sıcaklık 75 ° C'nin üzerine çıkarsa, termal olarak ısınacağını gösterir [10].

**Batarya yönetim sistemi (BMS) arızası:** Örneğin hücrelerin aşırı şarj çalışmalarına ve diğer durumlara karşı korunamaması durumu [9].

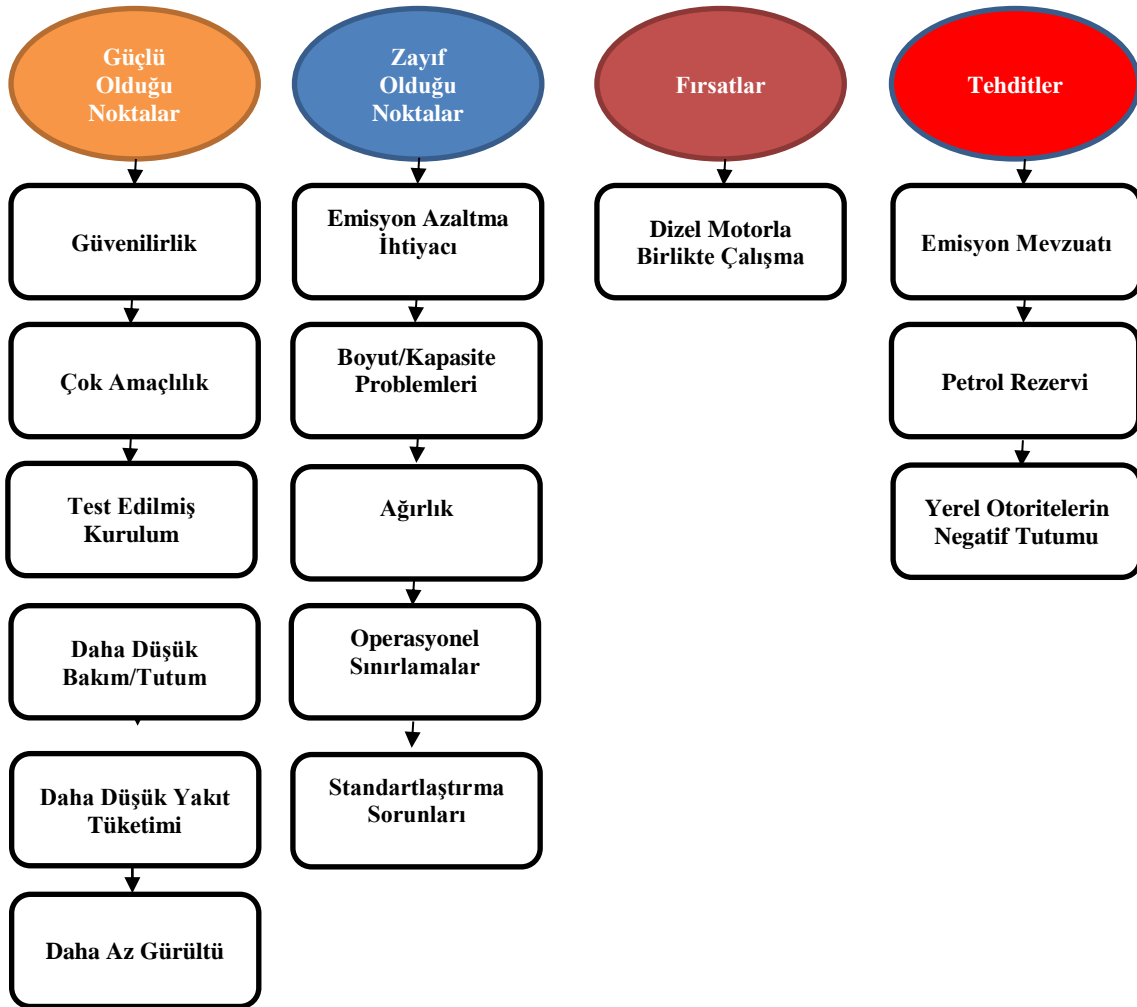
**Aktif Redresör Ünitesi veya Dönüştürücüler-Batarya, DC-Bus voltajının kabul edilemez şekilde yükselmesi:** İki veya daha fazla pervaneli gemilerin hızlı dönüşünde rejeneratif frenleme sırasında arıza yapması örnek olarak verilebilir [10].



**Büyük yüklerin açılması / kapatılması:** Bu anahtarlama sistemi iyi yönetilmezse, jeneratör ve türbin şaftlarına aşırı tork uygulanması riski, kontrol sisteminin bu kilit bileşenlere feci zarar vermesini önlemek için güç sistemini kapatmasına neden olur [11].

### 5. GZFT Analizi:

GZFT Analizi, ele alınan bir konunun, Güçlü Yönlerini (Strengths), Zayıf Yönlerini (Weaknesses), karşılaşılabilecek Fırsatları (Opportunities) ve Tehditleri (Threats) belirlemek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu teknik, belirsizlikleri ortadan kaldırıp, geleceği öngörüp doğru kararlar alma ve doğru adımlar atmak için kullanılabilecek kolay ve etkin bir analiz tekniğidir. Bu yöntem 1960'larda bir grup Harvard Üniversitesi profesörü tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 6. SWOT Analizi

Hibrit (elektrik ve dizel) sevk sistemleri GZFT analizi için uzmanlara danışılmış ve 'beyin fırtınası' yönteminden yararlanılmıştır. Bu görüşmeler sonucunda hibrit bir teknenin güçlü olduğu yönler; güvenilirlik, çok amaçlılık, test edilmişlik, daha az bakım-tutum gereksinimi, daha düşük yakıt tüketimi ve

daha az gürültü olarak tespit edilmiştir. Hem dizel hem de elektrik motorla çalışması bir fırsat olarak değerlendirilmiştir. Bu tip sevk sistemlerinde, emisyon azaltma gereksinimi, boyut ve kapasite ile ilgili problemler, ağırlık artışının yaratacağı problemler, operasyon sınırlamaları ve herkesçe kabul edilebilecek bir standardın geliştirilmesinde yaşanan problemler zayıf yönler olarak elde edilmiştir. Emisyon mevzuatı nedeniyle olası yaptırımlar ya da yapılması gerekli olan düzenlemeler, petrol rezervlerinin gelecekteki durumu ile ilgili tehditler ve yerel otoritelerin hibrit sistemlere karşı sergiledikleri negatif tutumları ise bu tür sistemlerin geliştirilmesinde tehdit olarak görülmüştür. Şekil 6’da hibrit sistemi GZFT analizi verilmiştir.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada elektrik-dizel tahrikli hibrit sevk sistemleri incelenmiş ve bataryalar konusunda önemli bilgiler verilmiştir. Hibrit sistemlerde meydana gelen potansiyel risklerden bahsedilerek bir dizel-elektrik tahrik sistemine sahip gemi için SWOT analizi yapılmıştır.

Denizcilik sektöründe güvenilir, çok amaçlı ve ekonomik olan hibrit sistemlerin kullanımının artırılması ve hibrit teknolojiler konusunda tersanelerin/üreticilerin/şirketlerin potansiyel müşterilere gerekli garantileri vermesi gerekmektedir. Bu durum, mevcut talebi canlandıracak ve sektörün gelişimine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca, ilgili devletin yapacağı destekler ve/veya verdiği teşvikler bu tür sistemlerin kullanımını yaygınlaştıracak, yeni yatırımların ve keşiflerin önünü açacaktır.

Bu çalışmanın devamında, hibrit sistemlerin güçlü yönlerinden ve fırsatlarından en üst düzeyde yararlanılarak ve tehditlerin ve zayıf yönlerin etkisinin en aza indirildiği plan ve stratejiler geliştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] What’s the point of installing batteries on marine vessels if the batteries are charged by electricity from their diesel generators?. <https://blog.sintef.com/sintefenergy/why-install-batteries-on-ships/> (Erişim: 19.08.2019).
- [2] Srivastava, S., Buttler-Purrey, K.L., 2006. Expertsystem method for automatic reconfiguration for restoration of shipboard power systems. In IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution.
- [3] Kanellos, F., Tsekouras, G., Hatzargyriou, N., 2014. Optimal demand-side management and power generation scheduling in an all-electric ship. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 5, 1166–1175
- [4] Hou, J., Sun, J., Hofmann, H., 2015. Interaction analysis and integrated control of hybrid energy storage and generator control system for electric ship propulsion. In Proceedings of American Control Conference (ACC), 4988–4993.
- [5] Karimpour, R., Karimpour, M., 2016. Development of Hybrid Propulsion System for Energy Management and Emission Reduction in Maritime Transport System. Open Journal of Marine Science, 6, 482-497.
- [6] Nova Scotia Boatbuilders Association, 2015. Review of All-Electric and Hybrid-Electric Propulsion Technology for Small Vessels. Nova Scotia Boatbuilders Association, Scotland.
- [7] Zahedi, B., Norum, L. E.. 2013. Modelling and simulation of hybrid electric ships with DC distribution systems, Power Electronics and Applications (EPE), 15th European Conference on, Lille, 2013, pp. 1-10.
- [8] DNV GL. 2013. Guideline for Large Maritime Battery Systems, 10/03/2014, No. 2013-1632, Rev. V1.0.
- [9] Lloyd’s Register. 2015. Large battery installations – A Lloyd’s Register Guidance Note, May 2015.
- [10] Wang, Q., Sun, J., Chu, G. 2005. Lithium Ion Battery Fire And Explosion, Fire Safety Science– Proceedings Of The Eighth International Symposium, pp. 375-382.
- [11] De Breucker, S., Peeters, E., Driesen, J., 2009. Possible applications of plug-in hybrid electric ships, Electric Ship Technologies Symposium, ESTS. IEEE, pp.310-317, 20-22, April 2009.