

GEMİ KÖKENLİ EMİSYONLARA DAYALI ALTERNATİF SEVK SİSTEMLERİ

Serhat ŞENOL

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü | senolse@itu.edu.tr

ÖZET

Uluslararası ticaretin büyük oranda deniz yolu taşımacılığı ile yapıldığı göz önünde bulundurulduğunda gemilerdeki egzoz gazı emisyonlarına bağlı hava kirliliğinin önlenmesi ve alternatif sevk sistemlerine dayalı yeni modeller geliştirilmesi noktasında ciddi adımlar atılması gerekmektedir. Küresel anlamda her geçen yıl genişleyen ticaret hacmi, deniz taşımacılığında gemi kökenli emisyon artışına sebebiyet vermiştir. Egzoz emisyonlarının çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri iyi tahlil edilerek zararlı gaz salınımlarının azaltılması bakımından yasal mevzuat çerçevesinde adımlar atılması gerekmektedir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı alternatif sistemlerin geliştirilmesi, gemilerin ana makine ve güç sistemlerinde emisyon değerlerinin düşürüldüğü yeni nesil tasarımlara öncülük etmelidir. Bu çalışmada gemilerdeki enerji verimliliğinden yola çıkılarak denizcilik sektöründe farkındalık yaratılması ve çevre bilincinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Gemi, Emisyon, Hava Kirliliği, Enerji, Tahrik Sistemleri.

SUMMARY

Taking into account that the international trade largely depends on maritime transportation, serious steps need to be taken to prevent air pollution due to exhaust gas emissions on ships and to develop new models based on alternative propulsion systems. The expanding volume of trade with every passing year leads to increased emissions in maritime transport. Steps should be taken within the framework of legal legislation to reduce emissions of harmful gas by analyzing the negative effects of exhaust emissions on the environment and human health. The development of alternative systems based on renewable energy sources around the world should lead to new generation of designs in which emission values are reduced in the main machinery and power systems of ships. In this study, it is aimed to raise awareness in the maritime sector and develop environmental awareness based on the energy efficiency of ships.

Keywords: Ship, Emission, Air Pollution, Energy, Propulsion Systems.

1. Giriş

Geçmişten günümüze değin gemi inşa teknolojisine dayalı süreçler irdelendiğinde tahrik sistemlerinin yıllara bağlı olarak değişkenlik arz ettiği görülmektedir. Kas gücüne dayalı küreklerle sevk edilen tekneler, rüzgâr enerjisinden yararlanılarak geliştirilen yelkenli gemi sistemleri ve katı yakıtların yanması neticesinde ortaya çıkan buhar gücü, belirli dönemlerde gerek askeri gerek sivil gemilerde sevk sistemlerinin ana unsurlarını teşkil etmiştir.

Gemi kökenli sera gazı salınımının arttığı son yıllarda enerjinin verimli olarak kullanılması gerekliliği belirgin bir hale gelmiş, çevreye zararlı gaz salınımlarının yarattığı olumsuz etkiler Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girmesi ile birlikte daha dikkat çekici bir yapıya bürünmüştür. Sera gazlarının salınım değerlerinin azaltılması için sürdürülen faaliyetler neticesinde bahse konu gazların oluşum nedenleri sınıflandırılmış, denizcilik endüstrisinin payına düşen hususlar irdelenmiştir. IMO'nun değerlendirmesine göre herhangi bir önlem alınmazsa 2050 yılına gelindiğinde küresel bazda sera gazı emisyonlarının oluşumuna yönelik uluslararası deniz taşımacılığının oranı, yüzde 18'e ulaşmış olacaktır. IMO Deniz Çevresini Koruma Komitesi, uzun vadede tamamen ortadan kaldırmayı planladığı gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyon oranlarının, 2050 yılında yüzde 50, karbon yoğunluğunun ise 2030'a kadar yüzde 40 ve 2050'ye kadar yüzde 80'den fazla azaltılmasını hedeflemektedir [1].

Küresel anlamda yük ve yolcu taşımacılığının büyük oranda deniz yolu ile sağlanıyor olması gemi kökenli hava kirliliği sorununu ortaya çıkarmış, artan emisyonlara bağlı olarak doğal çevre ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmıştır. Deniz yolu taşımacılık oranlarındaki artış, gemiler vasıtasıyla daha fazla yakıt sarfiyatı gerçekleşmesine ve dolayısıyla havaya daha fazla emisyon yayılmasına sebep olmuştur. Gemi kökenli egzoz emisyonları konusunda yasal mevzuata dayalı yeterli düzenlemenin olmaması, gemi işletmecilerini emisyon hassasiyeti noktasında serbest bırakmış, bilhassa liman şehirlerinde gemilerden salınan egzoz gazlarına bağlı olarak solunum yetmezliği başta olmak üzere insanlar üzerinde zararlı etkileri olan çeşitli sağlık problemleri baş göstermiştir.

Gemilerin yakıt sarfiyatı noktasında tüketimlerinin azaltılabilmesi ve egzoz gazı emisyonlarının minimize edilebilmesi için zaman içerisinde çevre dostu alternatif sevk sistemlerine yönelim başlamıştır. Özellikle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere sahilden enerji sağlanması gibi diğer alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar hızlanmış ve bu alanda büyük ilerlemeler kat edilmiştir. Duyarlılığa sahip armatörlerin emisyon hassasiyeti doğrultusunda alternatif sevk sistemlerine dayalı şartnamelerle gemi inşa projeleri yürütmesi, alt yükleniciler nezdinde tahrik sistemleri başta olmak üzere; pek çok ekipmanda zehirli gaz salınım değerlerinin düşürülmesine yönelik modifikasyonu zorunlu kılmıştır.

Bu çalışmada, hava kirliliğinin sebepleri irdelenerek egzoz emisyonları ve çeşitlerine yönelik bilgiler verilmiştir. Egzoz emisyonlarının doğal çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkileri belirtilerek zehirli gaz salınımları neticesinde ortaya çıkan çevreye zararlı bileşenlerin azaltılması için alınabilecek tedbirler ve Türkiye'de bu yönde teşkil edilen yasal düzenlemelere dair detaylara değinilmiştir. Gemilerdeki enerji verimliliğinin daha etkin bir şekilde sürdürülebilmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemler başta olmak üzere; enerji temininin sahilden gerçekleştirildiği uygulamalar incelenmiştir. Alternatif sistemler üzerinden hali hazırdaki uygulamalardan bahsedilerek egzoz emisyonlarının azaltılmasına yönelik farkındalığın artırılması amaçlanmıştır.

2. Gemi Kökenli Hava Kirliliği ve Egzoz Emisyonları

2.1 Hava Kirliliği ve Sebepleri

Hava kirliliği; havadaki katı, sıvı ve gaz şeklindeki yabancı maddelerin insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar, yoğunluk ve sürede atmosferde bulunması olayıdır [2]. Çevre ve insan sağlığı üzerinde son derece zararlı etkileri olan zehirli gazlar,

emisyona oluşturan dizel motorlar, jeneratörler, gaz türbinleri ve kazanlar gibi makinelerin salınım değerlerine bağlı olarak bilhassa yerleşim yerlerine yakın konumda olan limanlarda insan sağlığını daha ciddi ölçülerde tehdit eder duruma gelmiştir. Emisyon etkisinin daha çok hissedildiği bölgeler incelendiğinde boğazlar, kanallar, körfezler, limanlar ve iç denizlerde yoğun bir hava kirliliği potansiyelinin olduğu görülmektedir.

Teknolojik kalkınma ile birlikte sanayileşmenin hızla geliştiği günümüz koşullarında endüstriyel üretimin artmasına bağlı olarak uluslararası deniz yolu taşımacılığına dayalı ticaret hacmi büyümüş, gemi makinelerinin zararlı egzoz gazı salınımlarından kaynaklı hava kirliliği, insan yaşamını tehdit eder boyuta gelmiştir. Başta büyük şehirler olmak üzere; sanayileşmenin daha yoğun hissedildiği bölgelerdeki hava kirliliği, günümüzün en çok tartışılan konuları arasında girmiştir. İstatiksel verilere bakıldığında, gemilerde petrol kaynaklı yakıtların kullanılması sebebi ile gemilerin, küresel Karbon Dioksit (CO₂) salınımının %3'üne, Nitrojen Oksit (NO_x) salınımının %15'ine ve Sülfür Dioksit (SO₂) salınımının ise %6'sına neden olduğu ortaya çıkmıştır [3].

Sanayileşme hızındaki ilerleme nezdinde kırsal kesimden büyük şehirlere olan göçler artmış deniz yolu ticaretine bağlı olarak sahile yakın bölgelerdeki endüstriyel tesislerin varlığında büyüme gözlemlenmiştir. İnsan nüfusunun her geçen gün artış gösterdiği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda gemi kökenli egzoz gazı emisyonlarına dayalı hava kirliliği nedeniyle yaşam kalitesi düşmektedir.

Isınma başta olmak üzere; temel ihtiyaçların karşılanabilmesi için yürütülen faaliyetlere dayalı tüketim aktiviteleri, çevreye zararlı gaz salınımlarına sebebiyet vererek solunan havada kirlilik teşkil eden unsurların çoğalmasına neden olmaktadır. Atmosfere karışan kirleticiler dağılarak daha geniş coğrafyalara yayılabilmekte ve uğradıkları reaksiyonlarla kimyasal karakterleri değişebilmektedir.

Deniz yolu taşımacılığından kaynaklı gemi kökenli hava kirliliği probleminin çözümüne yönelik henüz net bir strateji oluşturulamadığı düşünülmektedir [4]. Bu durumun altında yatan temel sebepler arasında çözüm alternatiflerinin kısıtlılığı, her bir çözüm alternatifinin tek başına yetersizliği, ekonomik, politik ve operasyonel engeller, gemi tipi ve boyutuna, yakıt türüne göre emisyon oranlarının farklılığı kullanılan deniz rotalarının karakteristik yapısı gibi homojenlik arz etmeyen unsurlar sayılabilir [5].

2.2 Egzoz Emisyonu ve Türleri

Gemi kökenli egzoz emisyonları incelendiğinde zararlı gaz salınımlarına sebebiyet veren faktörlerin öncelikli olarak tahlil edilmesi gerekmektedir. Deniz vasıtalarının tahrik edilebilmesi için seçilen ana makine ve yardımcı sistemler, kullanılan yakıtın yanma karakteristiği doğrultusunda emisyon oluşturur. Operasyon durumu doğrultusunda pervanesinden jeneratörlerine değin ana tahrik ve güç sistemleri şekillendirilen gemilerde, yanma sonrası oluşan zararlı egzoz gazı salınımlarının azaltılması ve yanma verimliliğinin artırılması hususlarında çevre dostu teknolojik iyileştirmeler gerçekleştirilmektedir.

Gemilerde emisyon ölçümleri, gemide üretilen gücün, egzoz gazı konsantrasyonunun, makine parametrelerinin ve egzoz baca gazı debisinin ölçümünü kapsamaktadır [6]. Yapılan ölçümler nezdinde alınan değerler analiz sürecinden geçirilmekte, deniz taşıtları açısından yoğun trafiğin

oluştugu ve ekolojik olarak hassas kabul edilen bölgelere yönelik bazı kısıtlamalar getirilmektedir.

Denizyolu ticaretinde kullanılan gemilerin tahrik sistemleri incelendiğinde büyük bir çoğunluğunun dizel makineler vasıtasıyla tahrik edildiği görülmektedir. Çevreye zararlı egzoz gazı emisyonlarının kökeni irdelendiğinde zehirli salınımların tamamına yakını, fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkmaktadır. NO_x , HC, CO, CO_2 , SO_x ve partikül maddeler gibi kirletici bileşenler, egzoz gazlarında bulunan gemi kaynaklı zararlı emisyonlardır.

2.2.1 Azot oksit (NO_x)

Dizel makinelerde yanma olayı esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklık, azot oksitlerin oluşum sebebidir [7]. Atmosferde girdiği kimyasal reaksiyon sonucu ozonu oluşturan azot oksit gazları, dizel makinelerden salınan azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) birleşimlerinin genel adıdır.

Oluşumu yalnızca sıcaklığa bağlı olmayan NO_x , silindir basıncına, hava-yakıt oranına, silindir bünyesindeki yanma zamanına ve kimyasal reaksiyonların hızına bağlı olarak ortaya çıkar. Azot oksitler nitrik asit oluşturarak asit yağmurlarına sebebiyet verdiği için egzoz gazı emisyonları arasında dikkat edilmesi gereken başlıca salınımlardandır. Fosil yakıtların yanması neticesinde atmosfere karışan azot oksitler, özellikleri sebebiyle insan sağlığı açısından son derece zararlı etkilere sahip olan zehirli gazlardır.

2.2.2 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelir ve yaklaşık olarak motora giren yakıtın %1-1,5'ini oluşturur [8]. Silindirde yanmanın tam gerçekleşmemesi durumunda gemilerden salınan egzoz gazlarında hidrokarbon emisyonu oluşmaktadır [8]. Yanma veriminin düşüklüğüyle alakalı başlıca sebepler irdelendiğinde oksijen yetersizliği ve düşük sıcaklığı önemli etkenlerden olduğu görülmektedir.

Hidrokarbon emisyonu açısından püskürtme sistemindeki sorunların da etkili olduğu göz önünde bulundurulacak olursa bahse konu emisyon oluşumuna etki eden iki ana sebep sıralanabilir. Bunlardan birincisi tutuşma gecikmesi esnasında oldukça zayıf bir karışım oluşması, ikincisi ise enjektörden çıkan yakıt hızının yeterli seviyede olmamasına bağlı olarak yanma süresinin uzaması durumudur.

2.2.3 Karbon monoksit (CO)

Oluşum nedenleri bakımından karbon monoksit emisyonu, yanma sıcaklığının yeterli düzeyde yükselmediği durumlarda az miktarda ortaya çıkıyor olsa da yakıt muhteviyatındaki tüm karbonun yetersiz oksijenden sebep karbondioksite çevrilmemesi neticesinde oluşmaktadır.

Yanma odasındaki karışımın iyi derecede sağlanamaması, karbon monoksit emisyonunun başlıca sebeplerinden biri olarak görülse de sadece karbon monoksitin istenmeyen bir emisyon olduğu kanısına varılmamalı, aynı zamanda motorlarda tam olarak kullanılmayan kayıp bir kimyasal enerji olduğu da düşünülmelidir [9].

2.2.4 Karbon dioksit (CO_2)

Atmosfere olan karbon dioksit girdisi, yüksek oranda ulaşım vasıtalarının egzoz emisyonları ile canlıların solunumu ve enerji tesislerindeki salınımlar neticesinde ortaya çıkan yanmış gazlara bağlı olarak şekillenmektedir. Karbon dioksit gazının gemilerden yayılma oranı, makinelerde yakılan yakıt miktarının yükselmesiyle orantılı olarak artmaktadır. İstatistiksel verilere bakıldığında, petrol kaynaklı yakıtların kullanılması sebebi ile gemilerin küresel karbon dioksit (CO₂) salınımının %3'üne neden olduğu ortaya çıkmıştır [3].

Karbonlu hidrojenlerin tamamı tam yanma esnasında karbon dioksit ve su buharı oluşturur. Yanma işlemlerinde tam yanma olmadığı durumlarda bölgesel eksik yanmalar meydana gelir ve karbon monoksit oluşumu artar, buna bağlı olarak karbon dioksit gazı da düşmektedir [10]. 1 ton fuel oil yanmasıyla yaklaşık 3,2 ton CO₂'nin atmosfere salındığı göz önünde bulundurulduğunda IMO verilerine dayalı olarak hava kirliliğinin önlenmesi noktasında belirlenecek mücadele yöntemlerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir [11].

2.2.5 Kükürt oksit (SO_x)

Hava kirlenici gazların başında gelen kükürt oksit emisyonları, yakıt muhteviyatındaki kükürt oranına bağlı olarak salınım göstermektedir. Kontrol edilebilmesi için yakıt içeriğindeki kükürt miktarının ayarlanması gereken kükürt oksit emisyonuna, organik ve inorganik olmak üzere çevresinde bilhassa sanayi kuruluşlarını barındıran büyük şehirlerde değişik oranlarda rastlanabilmektedir.

Kükürt oksitler (SO_x), bitkilerin yapraklarını sarartmakta, mermer yapıları aşındırmakta, demir ve çeliğe korozif etkide bulunmakta, görüş mesafesini ve güneş ışınlarını azaltmakta, insanların üst solunum sistemini ve akciğerlerini tahrip etmekte ve yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu anda ise sağlığı bozucu ve hatta öldürücü etki gösterebilmektedir [12].

2.2.6 Partikül Maddeler

Başka bir deyişle parçacık maddeler olarak da adlandırılan partiküller, havayı kirlen zararlı unsurlar arasında yer almaktadır. Organik ve inorganik yapıdaki tanecikler olmak üzere; egzoz gazı salınımlarında bulunan partikül maddeler, büyük çoğunluğu 10 mikron ya da daha küçük çaptaki parçacıklardan oluşan emisyonlardır [13].

Sanayileşmeye bağlı olarak başta metal endüstrisi olmak üzere; çeşitli fabrikalardan ve ulaşım vasıtalarından yayılan partikül madde emisyonunun en önemli doğal sebebi volkanlardır. Toz fırtınaları, orman yangınları ve buna benzer sebeplerden ötürü meydana gelebilen partikül madde emisyonu, yayılım gösterme sebeplerine bağlı olarak doğal ya da insan kaynaklı olarak oluşabilmektedir.

2.3 Egzoz Emisyonlarının Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri

Başlıca hava kirliliği sebeplerinden biri olarak nitelendirilebilecek egzoz gazı emisyonlarının insan sağlığı ve doğal çevre üzerinde zararlı etkileri bulunmaktadır. İçerisinde bulunduğu çağda her geçen gün zararlı etkileri daha da artış gösteren zehirli gaz salınımları, uluslararası çevre örgütlerinin gündemini oluşturmakta ve olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik önlemler alınmaktadır.

Gemi kökenli emisyonlara yönelik irdeleme yapıldığında denizyolu taşımacılığına bağlı olarak liman şehirlerinde ve kapalı denizlerde hava kirliliğinin ciddi ölçülerde insan sağlığını tehdit eder boyutlara geldiği görülmektedir [14]. Bu sebepten yola çıkıldığında henüz inşa aşamasındayken çevre dostu ekipmanlar kullanılarak gemi ana tahrik sistemleri konfigürasyonunun bu doğrultuda oluşturulması hayati öneme sahiptir.

Daha düşük emisyon değerlerine sahip yakıtlarla çalışan çevre dostu makine tipleri geliştirilmeli eski model gemi makinelerine alternatif çözümler bulunmalıdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte alternatif enerji sistemleri ve yenilenebilir enerji çeşitlerinin deniz taşıtlarında kullanılması çok önemlidir [15]. Küresel iklim ve hava kalitesi açısından zararlı etkileri olan gemi kökenli egzoz gazı emisyonları, IMO'nun 2014 yılında yapmış olduğu çalışmaya göre 2007-2012 yılları arasında küresel ölçekte yaklaşık %3 oranında etkili olmuştur.

Limana bölgelerinde gemilerden kaynaklanan emisyonlar, astım, solunum yetmezlikleri, kalp ve damar rahatsızlıkları, akciğer kanseri ve erken doğumlara sebep olabilmektedir [16]. Ekonomik kaygılarla maliyetin ön planda tutulmasına bağlı olarak egzoz gazı salınımlarının doğal yaşama verdiği zararlı etkiler çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin tükenmeye başladığı gerçeği dikkate alındığında, geleceğe dönük yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sevk sistemlerinin geliştirilmesi daha da önem kazanacaktır. Bu alandaki farkındalığın, insan toplulukları açısından daha üst seviyelere çekilmesi çok önemlidir.

Uluslararası ticaretin yüksek oranda deniz yolu vasıtasıyla sağlanıyor olması gemi kökenli egzoz gazı emisyonlarının küresel anlamda daha fazla zararlı etkisinin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Global ölçekte gemi hareketliliği baz alındığında, zararlı egzoz gazı salınımlarının kıtalar arası yayılım göstererek denizlerden kara parçalarına doğru hızlı bir yayılım sergilediği görülmektedir.

Hava kirliliği oluşturan gemi kökenli emisyonlara yönelik farklı zamanlarda farklı platformlar aracılığıyla yapılan bilimsel çalışmalar göstermiştir ki; egzoz gazı salınımları doğrudan ya da dolaylı yollarla canlıların yaşadığı ortamı etkilemekte, solunan havayı zehirleyerek doğal yaşamı bertaraf etmektedir [17].

2.4 Gemilerden Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması

Türkiye'nin de dahil olduğu uluslararası deniz yolu ticaret hacminin her geçen sene büyümesi denizcilik sektörünü küresel ölçekli hava kirliliğinin başlıca sebeplerinden biri haline getirmektedir. Kirletici emisyonlar, oluşum şekillerine göre doğal yaşamı tehdit etmekte denizcilik faaliyetleriyle paralel gelişim gösteren limanlardaki yapılanma ve hareketlilik, kirletici gaz salınımları açısından olumsuz bir tablo teşkil etmektedir. Gemilerin rutin faaliyetlerinden kaynaklı hava kirliliğinin azaltılması bakımından yasal mevzuat temelinde pek çok düzenleme mevcut olsa da yapıcı tedbirlere yönelik aksiyon alınması noktasındaki işlemler her geçen gün zorlaşmaktadır.

Emisyon oluşumlarının azaltılması açısından farklı yöntemler söz konusu olsa da fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, gemi kökenli zehirli gaz salınımlarının azaltılabilmesi için en etkili yaklaşım olarak kabul edilebilir. Deniz taşıtlarında enerji ihtiyacının en fazla olduğu sistem, ana tahrik ekipmanlarından oluşan sevk sistemidir. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı alternatif sevk sistemlerinin geliştirilmesi, güneş enerjisi rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyolojik yakıtlar gibi sınırsız kaynağa

sahip enerji unsurlarına dayalı ekipmanlar geliştirilmesi bağlamında belirleyici niteliğe sahip olmaktadır.

Emisyonların azaltılması hususunda enerji tasarrufuyla bağlantılı olarak verimliliğin arttırılabilmesi için alınması gereken tedbirler ve bu doğrultuda geliştirilen yöntemler, hayati öneme sahiptir. Gemilerdeki yakıt tüketiminin daha alt seviyelere çekilebilmesi için ana tahrik ve güç sistemi bileşenleri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, pervaneden ana makineye değin uygun şaft gücünün belirlenmesi ve diğer yardımcı sistem elemanlarının bakım-tutum kolaylıkları açısından ileriye dönük daha verimli ekipmanlardan seçilmesi, yakıt tüketimi ve emisyon hassasiyeti bakımından faydalı olacaktır. Optimizasyonun sağlanarak egzoz gazlarının arıtılması ya da alternatif yakıt kullanımına bağlı olarak teknik iyileştirmeler nezdinde emisyonların azaltılması için gemi işletmecilerinin kararlı adımlar atması gerekmektedir.

LNG ve hidrojen gibi kükürt oranı düşük alternatif yakıtlar kullanılarak motor modernizasyona dayalı bileşenlerin yeniden tasarlanması ve sisteme entegrasyonu neticesindeki optimizasyon sürecinin etkin bir şekilde yürütülmesiyle, yanma sonrası ortaya çıkan egzoz gazlarının atmosfere gönderilmesi noktasında önemli tedbirler alınmış olacaktır. Yanma parametreleri açısından makine emisyon değerlerinin değiştirilebilmesi, yalnızca yakıt türünün ya da içeriğinin farklı seçilmesiyle değil aynı zamanda motor bloğu bünyesindeki yakıt püskürtme oranlarının yeniden düzenlenmesiyle de mümkün hale gelebilmektedir. Motor silindiri içindeki yakıt püskürtme zamanlaması değiştirildiğinde NO_x ve CO₂ emisyonlarının arttığı, buna karşın HC ve CO emisyonlarının ise azaldığı belirtilmektedir [18].

Tahrik sistemleri özelinde gerçekleştirilebilecek teknik modernizasyonlara ilaveten gemilerin tasarımına yönelik yapılabilecek iyileştirmeler, suyla temas eden ıslak yüzey alanına bağlı olarak tekne formunun karşı karşıya kalacağı viskoz direncin azaltılması noktasında önemli rol oynayacaktır. Daha düşük seviyeli balastla seyir yapabilmek, boş tekne ağırlığının düşürülmesi ve su altında kalan tekne takıntılarının, akışkanın direnç hassasiyeti açısından daha uygun formlara kavuşturulmasıyla, egzoz emisyon oranlarında %50'den fazla azalma sağlanması mümkün hale gelebilecektir [19]. Operasyonel manada ekipmanlarıyla birlikte tekne tasarımına yönelik daha uygun formların geliştirilmesi, yakıt tasarrufu sağlanarak enerjinin daha etkin kullanılması noktasında önemli gerçeklere dair farkındalık yaratacaktır.

Tablo 2. Gemi tasarımı uygulamalarının önem sıralaması [19].

Önem Sırası	Gemi Tasarımı Uygulamaları
1	Gemi ana boyutlarının optimizasyonu
2	Hafif yapı gemilerin inşası
3	Gemi gövdesindeki pervane boşlukları nedeniyle oluşan direncin minimize edilmesi
4	Gemi boyutunun büyütülmesi
5	Tekne altını hava kabarcığı ile yağlama tekniği
6	Gemi kıç tarafı tasarımı

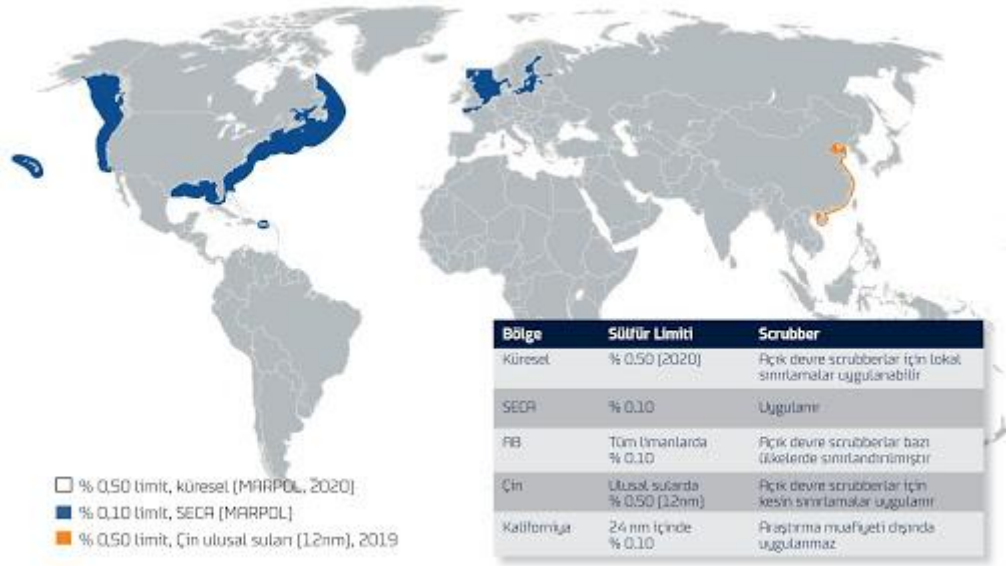
Makalenin bundan sonraki bölümlerinde güneş ve rüzgar enerjisi başta olmak üzere; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı alternatif sevk sistemlerinin geliştirilmesi ve hibrit sistemler adı altında elektrik motorlarının kullanımına dair çeşitli detaylar irdelenecektir. Gemi işletmecileri açısından büyük öneme sahip olan etkin bir seyir planının oluşturulabilmesi için yalnızca gemilere dönük değil aynı zamanda sahil olanaklarına yönelik enerji temin hususlarındaki optimizasyon süreçlerine değinilecektir.

3. Gemi Kökenli Egzoz Emisyonları ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Yasal Çerçeve

3.1 MARPOL 73/78 Sözleşmesi

IMO'nun belirlediği strateji; vizyon, bileşim ve rehberlik ilkeleri, kısa, orta ve uzun vadede alınacak önlemler, muhtemel süreçler ve devletlere etkileri, engeller ve destekleyici tedbirler takip edilen eylemler, değiştirilen ve geliştirilen stratejiler ile bu stratejilerin periyodik değerlendirilmesi gibi temel konulardan oluşmaktadır [20]. Gemilerden kaynaklı egzoz gazı salınımlarına yönelik küresel boyutta mevzuata dayalı düzenlemeler incelendiğinde, 19 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe giren Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) hazırladığı MARPOL 73/78 Ek-VI dikkati çekmektedir. Birleşmiş Milletler kuruluşu olan IMO'nun oluşturduğu "Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL)", Dünya genelinde başta denizler olmak üzere; çevre kirliliğiyle alakalı otorite olarak kabul edilen IMO tarafından hazırlanmış en önemli düzenleme olarak görülebilir. 1973 senesinde gerçekleştirilen Uluslararası Deniz Kirliliği Konferansında kabul edilen bu sözleşme, 1978 yılında hazırlanan protokol nezdinde düzenlenmiştir.

Oluşturulduğu tarihten bu yana IMO'ya üye ülkeler tarafından benimsenen ve zaman içerisinde geçirdiği güncellemelerle kapsamı daha da genişleyen MARPOL 73/78 Sözleşmesi, her biri kendi bünyesinde bazı bölüm ve kısımlara ayrılan toplamda 6 ekten oluşmaktadır. Gemi kökenli hava kirliliğine dair muhtelif düzenlemeleri içeren MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI, gemilerden kaynaklanan zararlı çevresel etkilerin en alt seviyelere çekilebilmesi için gerekli olan birtakım yaptırımları içermektedir. Ana hedefi gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi olan bu ek, 400 gros ton (GRT) ve üzeri tüm gemiler ile sondaj platformları için geçerlidir. Çeşitli hususlara yönelik toplamda 23 adet düzenlemeyi bünyesinde barındıran Ek-VI kapsamında belirli ülkelere ve bölgelere yönelik emisyon kontrol alanları (ECA) tanımlanarak genel limitler belirlenmiştir. Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Birleşik Devletler Karayip Denizi ve Kuzey Amerika alanlarını içerisine alan bölgelerin bazı kısımlarının tanımlandığı Emisyon Kontrol Alanlarında (ECA) faaliyet gösteren gemilerin, 2015 yılı itibariyle sülfür oranı %0,1'i geçmeyen deniz yakıtı kullanması gerektiği belirtilmiştir [21].



Şekil 1. Emisyon kontrol alanları (ECA) [22].

Gemi kökenli kirletici gaz emisyonlarına yönelik limit değerlerinin belirlendiği MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI Düzenleme 13 ile birlikte; azot oksit salınımlarıyla alakalı bazı sınırlamalar getirilmiştir. Şöyle ki; Tablo 1’de belirtildiği üzere; gücü 130 kW ve üzeri olan gemi dizel makinelerinin devir sayılarına (n) göre azot oksit emisyon limitleri, 130 devir altı, 130 ile 2000 devir arası ve 2000 devir üzerinde olmak üzere her 3 seviye için 3 kategoriye ayrılmıştır. 2000 yılından 2011 yılına kadar inşa edilen gemiler Seviye-I, 2011 yılından 2016 yılına kadar inşa edilen gemiler Seviye-II, 2016 yılı ve sonrasında inşa edilen gemiler için ise Seviye-III limitleri belirlenmiştir.

Tablo 1. Azot oksit limitleri.

SEVİYELER	TARİH	DEVİR SAYISI		
		n<130	130≤n<2000	n≥2000
Seviye-I (g/kWh)	2000	17.0	45xn ^{-0.2}	9.8
Seviye-II (g/kWh)	2011	14.4	44xn ^{-0.23}	7.7
Seviye-III (g/kWh)	2016	3.4	9xn ^{-0.2}	1.96

MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI içeriğinde, ozon tabakasını delici ve zarar verici nitelikte olan madde emisyonlarının havaya bırakılmasına dair yasaklama ile gemilerin baca gazlarından çıkan nitrojen oksitleri ve sülfür oksitleri içeren emisyon limitlerinin ayarlanması hususunda düzenlemeler yer almaktadır [23]. Ozon tabakasının işlevi itibariyle canlılar açısından hayati öneme sahip olması, doğal yaşam dengesinin korunması için ozon inceltici gaz (ODS) emisyonlarının aşamalı olarak azaltılması ve doğaya salınımlarının minimize edilmesi noktasında alınması gereken tedbirleri zorunlu kılmaktadır.

Kükürt oksit emisyon kontrol alanı olarak kabul edilen Kuzey Denizi, İngiliz Kanalı ve Baltık Denizi’nde, gemilerin kullandığı yakıt içeriğindeki kükürt oranına kısıtlamalar getirilerek 19 Mayıs 2005 tarihi itibariyle MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI Düzenleme 14 nezdinde gemi yakıtındaki sülfür içeriği, %4,5 oranında sınırlandırılmıştır. 1 Ocak 2012 tarihinden itibaren kükürt içeriği %3,5’e çekilerek birçok bölgede özel kükürt alanları oluşturulmuştur. Gemi dizel makine üreticilerinin alması gereken sertifika kıstasları belirlenerek emisyon kontrol alanları doğrultusunda gemilerin uyması gereken düzenlemeler getirilmiştir.

MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI, gemi insineratörleri ve uçucu organik bileşiklerin salınımlarıyla alakalı da birtakım düzenlemeleri bünyesinde barındırmaktadır. Düzenleme 12 ve 15 başlıkları altında oluşturulan gereklilikler nezdinde uçucu organik bileşiklerin emisyonuna yönelik ham petrol tankerleri için onaylı Uçucu Organik Bileşikler (UOB) Yönetim Planı bulundurma zorunluluğu getirilmiştir. 1 Ocak 2000 tarihi itibarıyla de gemilere yerleştirilen her bir insineratörün yetkili otorite tarafından onaylı olması hususunda yaptırım sağlanmıştır.

3.2 Türkiye’de Gemilerden Kaynaklı Egzoz Emisyonlarına Dair Düzenlemeler

Gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin azaltılarak zehirli egzoz gazı salınımlarının kontrol altına alınabilmesi amacıyla tesis edilen tedbirler kapsamında oluşturulan uluslararası yaptırımlar Türkiye tarafından da karşılık bulmuş, MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI kriterleri, 4 Şubat 2014 tarihinden itibaren uygulamaya konulmuştur. Katılımın isteğe bağlı olmasına rağmen Türkiye’nin taraf olduğu Ek-VI kriterleri doğrultusunda; Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Önlenmesi Sözleşmesinde yer alan hükümlere bağlı olarak yasal mevzuat temelinde limanlara gelen gemilerdeki egzoz gazı emisyonlarının, belirlenen limitlere uygunluğunun kontrol edilmesi ve uygunsuzluklara dair yaptırım sağlanması hakkı gelişmiştir.

Hava kirliliğine sebebiyet veren gemi kökenli egzoz emisyonlarının ortaya çıkaracağı olumsuz etkilerin önüne geçilebilmesi için kararlı bir duruş sergileyen Türkiye hem bölgesel hem de uluslararası çapta etkin rol oynayarak bu alandaki çevre politikalarının daha sağlam bir zemine oturtulmasında olumlu bir yaklaşım sergilemiştir. Herkesin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahip olduğuna dair 1982 Anayasasının 56. maddesi başta olmak üzere; devletin vatandaşlarına karşı çevre sağlığının korunması hususunda yerine getirmekle yükümlü olduğu görevler güvence altına alınmıştır. Konuya ilişkin Türkiye’deki ulusal mevzuat incelendiğinde Çevre Kanunu başta olmak üzere; muhtelif sayıda kanun, yönetmelik ve genelgenin hukuksal boyutta yürürlüğe girmiş olduğu görülmektedir.

Taraf olduğu sözleşmeler ve protokoller doğrultusunda uluslararası hukuk temelinde görev ve sorumlulukları şekillenen Türkiye, çevre hususlarına dair toplamda 50’yi aşkın düzenlemeye taraf olmuştur. Sera gazı salınımlarına bağlı iklim değişikliğine dair hususlar başta olmak üzere; ozon tabakasının korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği, kuraklıkla mücadele ve enerji konularını ihtiva eden çok sayıda çevre anlaşmasına sadık kalınarak sözleşmelere katılım sağlanmıştır. Güdülen çevre dostu politikalar sayesinde uluslararası düzeyde diğer ülkelerle kurulacak ikili ilişkiler, Türkiye’nin küresel statüdeki itibarını daha sağlam bir yapıya kavuşturacak ve bu eğilimler neticesinde ulusal kalkınma hedeflerine olumlu yansıma gerçekleştirecektir.

Gemi kökenli hava kirliliğinin önlenmesine ilişkin ulusal mevzuata dayalı yaptırımlar irdelendiğinde, 6 Ekim 2009 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan 27368 nolu “Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasının İlişkin Yönetmelik” nezdinde düzenlemeler getirildiği görülmektedir. Gemi yakıtlarının içerdiği kükürt miktarı ile ilgili Avrupa Birliği’nin belirlemiş olduğu mevzuata dayalı yasal düzenlemelerle paralellik arz etmesi için Türkiye’de yürürlüğe giren “Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasının İlişkin Yönetmelik”, 99/32/EC sayılı AB Direktifi’ne uygun olarak yakıtların içeriğindeki kükürt oranlarına sınırlamalar getirmiştir. Bakanlar Kurulu tarafından onaylanarak Resmi Gazetede yayımlanan bu yönetmelikler temelinde, yakıt içeriğindeki kimyasal maddelerle alakalı limitler tanımlanarak akaryakıt türlerindeki kükürt oranının azaltılması hususunda yaptırımlar

sıralanmıştır. Madde-6 kapsamında, IMO tarafından MARPOL Sözleşmesi Ek-VI'da tanımlanan Kükürt Oksit Emisyon Kontrol Alanlarında seyreden tüm Türk bayraklı gemilerde, kükürt içeriği kütlece yüzde 1,5'i geçen denizcilik yakıtının kullanılmayacağı belirtilerek, Türkiye Cumhuriyeti'nin Kükürt Oksit Emisyon Kontrol Alanlarına sınır olduğu durumlarda, bayrağına bakılmaksızın Türkiye Cumhuriyeti limanlarında bulunan her gemiye uluslararası deniz hukuku uyarınca ilave yaptırımlar uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Türkiye, 1992 senesinde kabul edilen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 24 Mayıs 2004 tarihinde taraf olmuş, katılım sağlama noktasında benzer zorluklar yaşadığı Kyoto Protokolü'ne ise 26 Ağustos 2009 tarihinde taraf olabilmektedir. Türkiye'deki sera gazı salınımlarının her geçen sene artıyor olması, uluslararası çevre protokollerine taraf olunması hususunda belirleyici rol oynamış, hava kirliliğine sebebiyet veren zehirli gaz salınımlarının azaltılması açısından hedeflenen programlar işleme konulmuştur. Dönemsel bazda Avrupa Birliği'ne uyum yasaları çerçevesinde ciddi politikalar takip ederek ekonomik kalkınma sürecini sıkıntısız geçirmeyi planlayan Türkiye, iklim değişikliğine karşı ulusal düzeyde geliştirdiği araştırmalara paralel olarak iç mevzuatında düzenlemelere gitmiştir.

Meclis bünyesinde oluşturulan Küresel Isınma Araştırma Komisyonu tarafından 2007 senesinde TBMM Başkanlığı'na komisyon raporu sunulmuş, küresel ısınmaya bağlı muhtemel risklerin irdelenerek alınması gereken tedbirler hususunda bildirimlere yer verilmiştir. 2011 yılında tamamlanan Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı doğrultusunda 25 Nisan 2012 tarihli ve 28274 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkındaki Yönetmelik vasıtasıyla emisyon değerlerinin izlenerek raporlanması noktasında birtakım düzenlemeler kabul edilmiştir. İklim değişikliğinden kaynaklı olumsuz etkilere yönelik tedbirlerin alınması için belirlenen politikalar nezdinde; yerinde ve doğru stratejiler uygulayarak emisyon azaltılması noktasında kararlı bir duruş sergileyen İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi Koordinasyon Kurulu 7 Ekim 2013 tarihli ve 28788 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan genelgeyle oluşturulmuştur. Belirlenen kriterler temelinde çalışmalar sürdürülerek kuruluş gayesine uygun stratejiler geliştirilmektedir.

4. Gemilerde Enerji Verimliliği

Günümüz koşullarında gemilerde enerji verimliliğinin sağlanmasına yönelik atılacak adımlar mevzuata dayalı düzenlemeler ve zehirli gaz salınımlarının azaltılması noktasında çevre duyarlılığının geliştirilerek hava kirliliğinin önlenmesi açısından zorunluluk arz eder duruma gelmiştir.

Enerji verimliliğinin her alanında ön planda tutulması gerektiği gerçeği göz önüne alınacak olursa bu alandaki teknolojik ilerlemelerin denizcilik sektörüne aktarımı, geleceğe dönük enerji planlaması ve verimlilik hassasiyeti bakımından çok önemlidir. Fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün azaldığı Dünya genelinde, sınırsız kaynağa sahip olarak nitelendirilebilecek yenilenebilir enerji kullanımının daha yaygın hale getirilmesiyle; gemilerin sevk sistemini teşkil eden ekipmanlar modernize edilecek ve geçmişe nazaran daha ekonomik lojistik modeller geliştirilebilecektir.

4.1 Alternatif Enerji Uygulamaları

Gemi ve deniz teknolojisinin tarihsel gelişimine bakıldığında ana tahrik ve güç sistemlerine dair geçmiş çağlardan günümüze değin ciddi aşamalar kat edildiği görülmektedir. Gelişen

teknolojiyle birlikte sanayileşme hızına paralel olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta, işletmeye yönelik daha ekonomik ve etkin yaklaşımlara dayalı modellerin benimsenmesi hususundaki eğilimlerde artış gözlemlenmektedir.

Ekonomik kaygıların beraberinde getirmiş olduğu bazı yaklaşımlar, çevre hassasiyetini ikinci plana atmakta, işletme maliyetlerinin daha da düşük seviyelere çekilmesi gayesiyle doğal çevre ve insan sağlığı açısından zafiyet yaratabilecek uygulamalara yönelim gerçekleştirilmektedir.

4.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Sistemler

İnsan gücünden ve rüzgar enerjisinden yoğun olarak yararlanıldığı zamanlardan bu yana katı yakıtların yakılmasıyla elde edilen buhar gücünün kullanıldığı sevk sistemlerine ve günümüzde yaygın olarak kullanılan petrol türevlerinin yoğun olarak tüketildiği günlere kadar farklı süreçlerden geçen gemi tahrik sistemleri, geldiği aşama itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim sağlanması noktasında gelişim kaydetmiştir.

Gemi inşa teknolojisinde geline mevcut durum itibarıyla hibrit yapıya sahip olan deniz taşıtları güneş, rüzgar, batarya ve LNG ile çalışabilen bir yapıya bürünmüştür. Enerji verimliliğinin sürdürülebilirliği ve alternatif sistemlere yönelim sağlandığı noktada, Dünya üzerinde çok sayıda yenilenebilir temiz enerji kaynağının olduğu göz önünde bulundurulacak olursa; güneş enerjisi pilleri ile hidrojen yakıt pili kaynaklarının birlikte kullanılması durumunda diğer alternatiflerine nazaran birbirlerini tamamlayarak daha verimli ve kesintisiz enerji sağlanması mümkün hale gelmektedir [24].

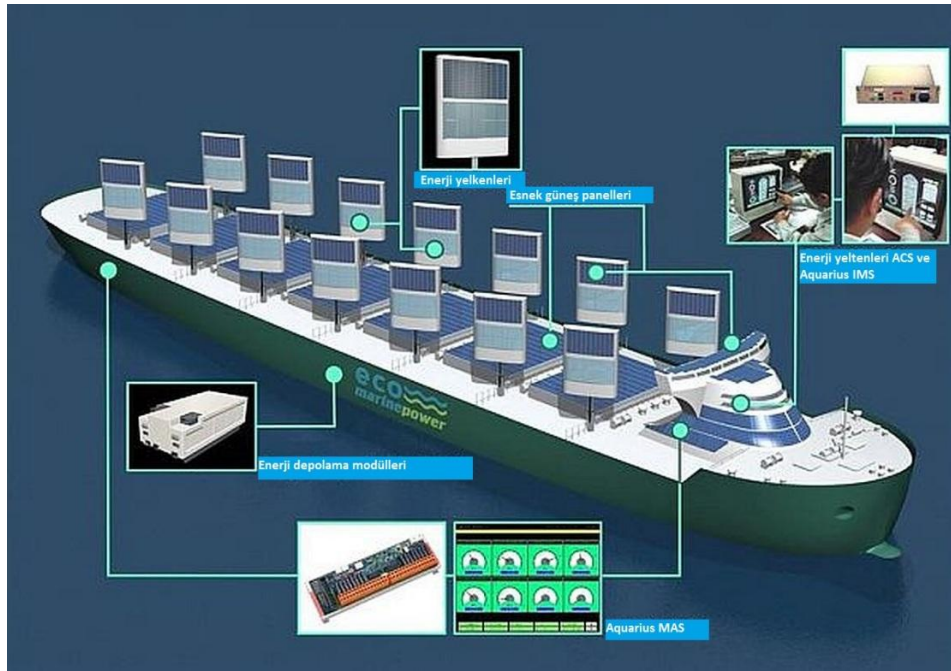
Bilhassa taşımacılık faaliyetlerinin yoğun olarak icra edildiği bölgelerde hibrit enerjili gemiler daha sık kullanılmaktadır. Gemi kökenli yakıt tüketimi ile zehirli gaz salınım değerlerinde kayda değer azalmanın görüldüğü baz alınacak olursa; kıyı bölgeleri ve limanlardaki çevresel kirliliğin azaltılması bakımından olumlu gelişmelerin yaşandığı söylenebilir. Norveç Parlamentosunun Norveç Dünya Mirası fiyortlarındaki yolcu gemilerinden ve feribotlardan kaynaklanan emisyonları mümkün olan en kısa zamanda durdurmak ve en geç 2026'ya kadar fiyortları Dünya'nın ilk sıfır emisyon bölgesi haline getirmek için aldığı karar, gemilerde düşük veya sıfır emisyonla seyir olanağını mümkün kılan teknoloji kullanımının, ekolojik olarak hassas kabul edilen bu gibi alanlarda zorunluluk haline gelerek enerji sistemlerinin kullanımına yönelik yenilikçi yaklaşımların önünü açmıştır [25].

Deneysel çalışmaları referans olarak yenilikçi yaklaşımlara sahip tasarımcıların sürdürdüğü projeler aracılığıyla hibrit yapıdaki güç sistemleri kullanılarak çeşitli alternatiflere dayalı modeller oluşturulabilmektedir. Rüzgar enerjisi kullanılarak hareket sağlanırken güneş enerjisi sistemiyle de gemideki güç ihtiyacının karşılanması, jeneratör kullanımının azaltılması bakımından olumlu gelişmeleri doğurmuştur. Yenilenebilir enerji alternatiflerinin kullanıldığı buna benzer gemi inşa projeleri sayesinde yakıt tasarrufu başta olmak üzere; emisyon değerlerinin azaltılması gibi önemli kriterler, ticari faaliyetler icra eden gemilerdeki ekonomik kaygıları giderebilecektir.

Fosil yakıt fiyatlarındaki öngörülemeyen durumlardan kaynaklı bunalımları aşabilmek sınırlandırılan emisyon değerlerine uygunluk sağlanabilmesi ve gemilerde enerji kullanımıyla alakalı daha etkin operasyon planları oluşturulabilmesi maksadıyla gemi inşa sanayicileri ve armatörler, çevre dostu alternatif tahrik sistemlerine dayalı çözüm arayışı içerisine girmiştir. Geminin seyir yapacağı mesafeye göre ihtiyaç duyacağı enerji nezdinde şekillenecek tahrik

sistemi, yakıt pilleri başta olmak üzere gelecek vaat eden alternatif teknolojilerin uyarlanması noktasında belirleyici olacaktır.

Kökünü 1800'lü yıllara kadar uzanan güneş pilleri, güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmaların hız kazandığı 1970'lerden sonra kaydedilen teknolojik ilerlemeler çerçevesinde ekonomik idamesi ve sürdürülebilirliği itibarıyla çevresel statüde temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmiştir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için kullanılan güneş pilleri, teknolojinin geldiği noktadaki gelişmeler ve güç elektroniği sistemlerindeki kurulum maliyetlerinin düşürülmesi neticesinde, denizcilik sektörü gibi pek çok farklı alanda kullanılabilir duruma gelmiştir. Kullanıldıkları gemilerdeki taşıma kapasitesinin artırılması ve inşa maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılacak sektörel çalışmalarla, deniz taşıtlarında güneş enerjisi kullanımına yönelik ilerleme sağlanması mümkün hale gelecektir [26].



Şekil 2. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin kombinasyonu [27].

Hidrojen gazının oksijenle elektrokimyasal tepkimeye girmesi neticesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülen yakıt enerjisinin kullanıldığı yakıt pilleri, geçmiş yıllardan bu yana uzay araçları ve denizaltılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sahip olduğu avantajlarla gemilere uygulanabilirliği hususunda yakıt pillerinin bünyesinde barındırdığı olumlu etkenler, alternatif sevk sistemlerinin geliştirilmesi bakımından geleceğe dönük umut verici özelliklere sahiptir. Doğaya bıraktıkları tek emisyonun su olması, depolanabilme özellikleri sayesinde diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran daha avantajlı olmaları ve güneş panellerinin aksine çalışma şartları bakımından en iyi çevre koşullarının belirlenmesine yönelik herhangi bir şart gerektirmemeleri itibarıyla yakıt pilleri, gemilerdeki kullanımlarına yönelik tercih edilebilirlik oranı en yüksek olan sistemlerdendir [28].

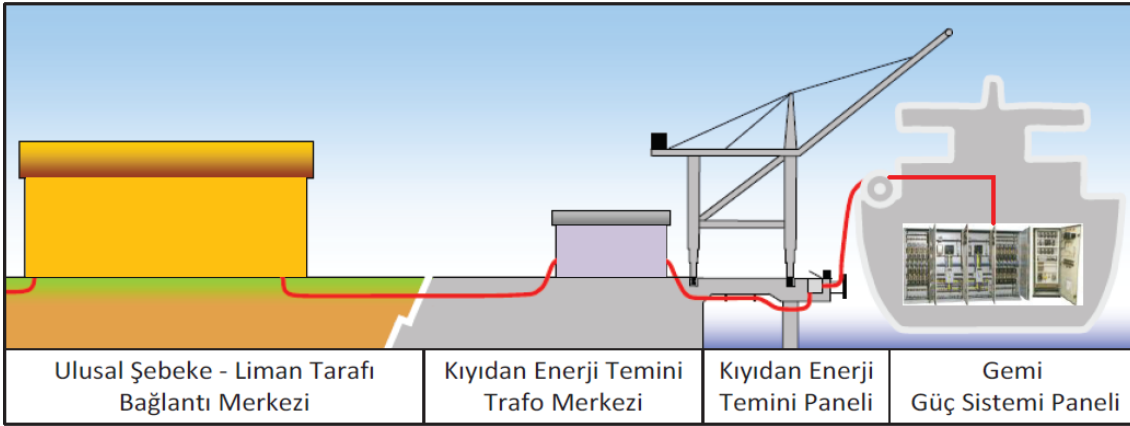
4.1.2 Sahilden Enerji Temin Sistemi Uygulaması

Sektörel bazda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı doğrultusunda yaşanan gelişmeler alternatif enerji sistemlerinin uygulanmasına yönelik ilgiyi arttırmış, sahilden enerji teminini

mümkün kılan sistemlerin hayata geçirilmesine ön ayak olmuştur. Gemilerin limanda geçirdiği süre zarfında elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmesi için kendi jeneratörlerini çalıştırmaktansa liman tarafındaki bağlantı merkezi aracılığıyla ulusal şebeken elektrik ihtiyacını giderebilmesi, kıydan enerji teminine yönelik alt yapı çalışmalarına hız kazandırmıştır.

Dünya genelinde çok sayıda ülkede başlatılan alt yapı çalışmaları sayesinde liman kentlerinde ticari faaliyetlerini sürdüren gemiler için kıydan enerji temin sistemi uygulamaya sokulmuş ve farklı tipteki pek çok geminin bu hizmetten yararlanması sağlanmıştır. 1989 yılı itibarıyla ilk kez İsveç'in Göteborg Limanı'nda uygulamasına başlanan sahilinden elektrik besleme sistemi, zaman içerisinde ABD ve Kanada başta olmak üzere; bilhassa cruise tipi yolcu gemilerinin ve diğer ticari taşımacılık faaliyetlerini yürüten gemilerin hizmetine sunulmuştur. Bu uygulama sayesinde liman bölgelerindeki CO₂ emisyonu yüksek oranda düşürülmüştür [29].

Kıydan enerji temini uygulamasında dikkat çeken husus, limandaki enerji olanaklarıyla gemide var olan sistemin birbiriyle uyumluluk içerisinde çalışması gerektiği durumudur. Bilhassa emisyon kontrol alanları içerisinde yer alan limanlarda rıhtımda kalış süreleri de göz önünde bulundurularak sıfır emisyonlu enerji kaynağı sistemlerini kullanan gemilere, mevzuata dayalı düzenlemeler nezdinde kolaylıklar sağlanabilmektedir. Küresel boyutta işlerliğe sahip pek çok limanda hava kirliliğinin kontrolü ve çevre korunmasına yönelik alınan tedbirler, gemi kökenli egzoz gazı salınımlarının yanı sıra gürültü kirliliğinin azaltılması noktasında da bağlayıcı etkenleri barındırmaktadır [30].



Şekil 3. Sahilden enerji temin sistemi uygulaması [26].

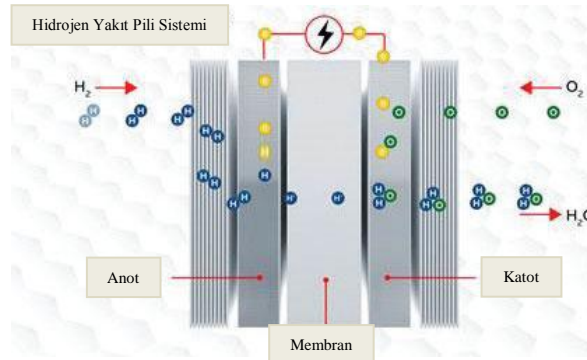
Sahilden enerji teminine olanak sağlayan sistemlerin ilk kez kullanıldığı günlerden günümüze kadar geçen süreçte, alternatif enerji kaynaklarından yararlanmaya yönelik girişimlerin her geçen sene artış gösterdiği gerçeği baz alınacak olursa, gemi kökenli emisyonlara dayalı hava kirliliğinin azaltılması yönünde atılacak adımlar büyük öneme sahiptir. Deniz taşımacılığı ile ilgili sürdürülebilirliğin akıbetine dair endişeler, hava kirliliğinin azaltılması bakımından sahilinden enerji temini gibi modern uygulamalar yaygınlaştıkça giderilecektir.

4.2 Emisyonlara Dayalı Alternatif Sevk Sistemleri

4.2.1 Yakıt Pili Barındıran Sistemler

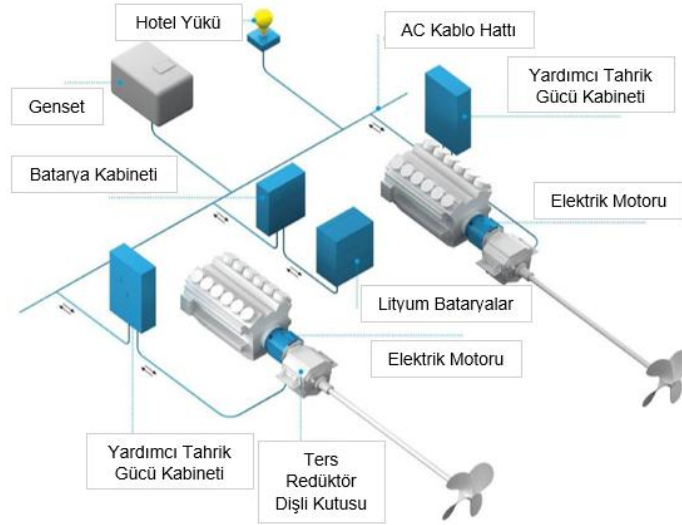
Yakıt ve oksitleyicisinin elektrokimyasal tepkimesi neticesinde kimyasal enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği yakıt hücresi teknolojisi, gemilerde enerji ve operasyon verimliliğinin sağlanmasına ilişkin sektörel atılımların başında gelen çağımızın önemli teknolojileri arasında yer almaktadır. Deniz taşımacılığında yakıt pillerinin kullanılması fikri her ne kadar farklı teknoloji gereksinimlerini beraberinde getirmiş olsa da IMO'nun koyduğu kıstaslar ve yapılan yeni ticari anlaşmalar ışığında çevre dostu sistemlere eğilim noktasındaki yakıt pili kullanım düşüncesi yaygınlaşmıştır.

İlk yakıt pili çalışmaları, 1838 yılında William Groove tarafından başlatılmıştır [31]. İlerleyen senelerde farklı bilim insanlarının deneysel çalışmaları neticesinde şekillenen bilimsel süreçte kullanım oranları her geçen sene artış gösteren yakıt pillerinden, denizcilik alanında faydalanılmasına ilişkin hatırı sayılır ölçüde araştırmalar yapılmakta ve gemi inşa modernizasyon projeleri geliştirilmektedir [32]. Gemi ana tahrik sistemlerinin enerji ihtiyacı kapsamında dezavantajları da göz önünde bulundurularak geliştirilmesine ihtiyaç duyulan yakıt pilleri teknolojisi, sıfır emisyonlu sevk gücü sağlanması itibariyle ilgi odağı haline gelmiştir. Yakıt pillerinde ana enerji kaynağı olarak hidrojen kullanılmaktadır ancak uygulanan dönüştürme teknolojileri sayesinde bünyesinde hidrojen bulunan doğalgaz, LPG, metanol ve benzin gibi diğer yakıtlar da yakıt pillerinde alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilir [33]. Hidrojen doğrudan sağlanabilirliği noktasında problem yaşatmasa da depolanması bakımından tehlikeler barındıran ve beraberinde oldukça geliştirilmiş bir alt yapıyı gerektiren enerji kaynağıdır. Direk hidrojenden yararlanmak yerine dönüşümünde kullanılmak üzere; daha uygun maliyetli saklama kolaylığı sağlayan metanol gibi alternatif yakıtların kullanılması, erişim kolaylığı ve alt yapı istekleri bakımından daha avantajlı olacaktır.



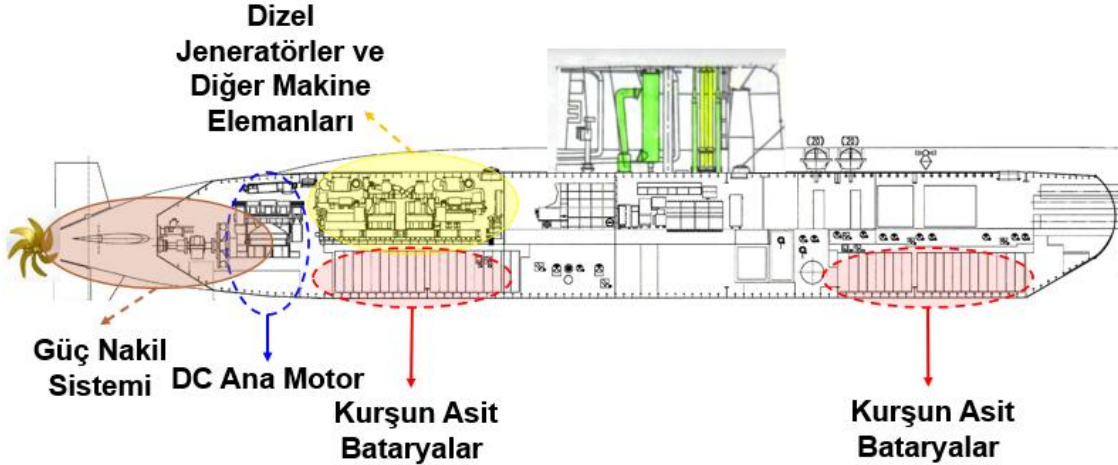
Şekil 4. Hidrojen yakıt pili sistemi [34].

Yakıt pilleri tarafından yakıtta depolanan enerjinin elektrokimyasal bir tepkimeyle doğru akıma dönüştürülmesi sürecinde, klasik içten yanmalı motorlarda olduğu gibi yanma evresinin bulunmaması, yakıt hücrelerine sera gazı emisyonu düşük olan çevre dostu bir teknoloji statüsü kazandırmaktadır. Yakıt pilleri, modüler yapısının yanında enerji üretimi açısından yüksek verime sahiptir [35]. Geleneksel sistemlerin aksine katı atık içermeyen çevre dostu yapısı ve geleceğe dönük geliştirilebilme imkanının yüksek olması gibi ana özellikleri bakımından yakıt hücreleri, diğer enerji sistemlerine nazaran çok daha üstündür.



Şekil 5. Yakıt pili barındıran temsili elektrikli tahrik sistemi [36].

Yakıt pili teknolojisinin geçmişten günümüze değin en önemli kullanım sahalarından birini teşkil eden denizaltılarda, yakıt pili modüllerine sahip olan sistemler aracılığıyla hidrojen ve oksijen gazları kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen bu enerji ile ana motor tahrik edilerek denizaltıların uzun süre dalmış durumda görev yapabilmeleri sağlanmaktadır. Havadan bağımsız tahrik sisteminin en önemli bileşenleri olan yakıt pilleri sayesinde denizaltıların dalmış durumda seyir dayanıklılığı artırılmaktadır.



Şekil 6. REİS Sınıfı Denizaltı (Tip-214).

Emisyon kontrol bölgelerine bağlı olarak su üstü gemilerindeki yakıt pili uygulamaları incelendiğinde, bilhassa ekolojik olarak hassas kabul edilen bölgelerde sefer yapan yolcu feribotlarının, güç kaynağı olarak yakıt hücresi teknolojisini kullanılmaya başladığı görülmektedir. Çok düşük veya sıfır emisyonlu seyir tecrübesine olanak sağlayan bu teknolojinin yaygınlaşması, gemi inşa ihalelerindeki süreci de etkilemiş, dünya genelinde pek çok tersane bu teknolojiye uygun gemiler inşa edebilmek için yeni bir vizyon oluşturmuştur [37].

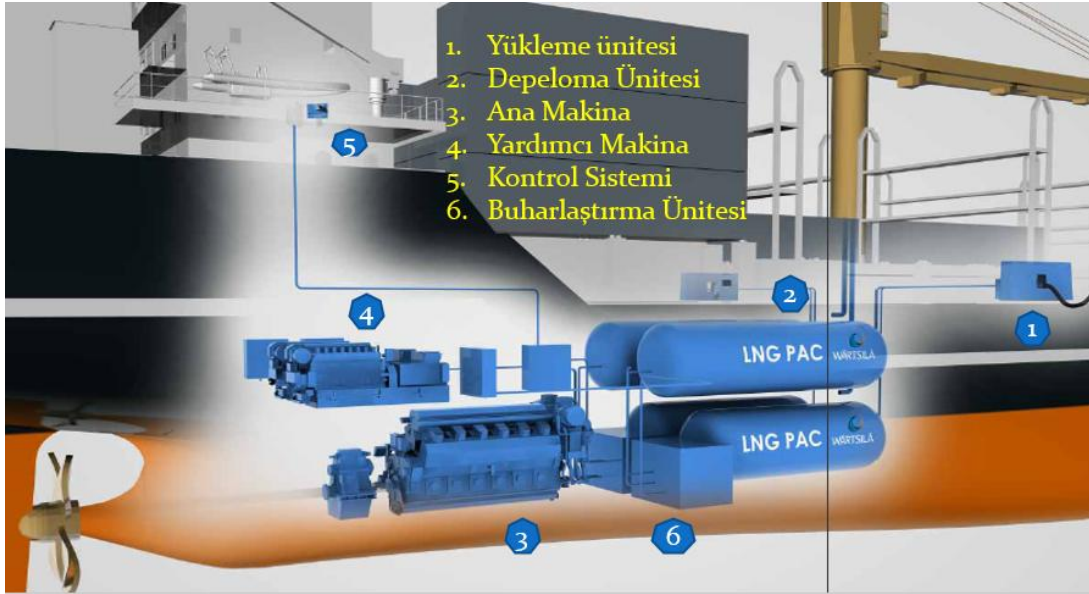
Askeri uygulamalar başta olmak üzere; uzay araçlarındaki, uçaklardaki, bazı kara taşıtlarındaki ve gemilerdeki kullanım sahaları açısından ileri seviyede bilgi ve teknoloji düzeyi gerektiren yakıt pilleri, bu özelliği itibariyle diğer sistemlerden çok daha pahalı bir teknolojidir. Uygulamaya geçildiğinde tam verim alınabilmesi için uzun zaman gerekmesi ve maliyetler bazında ekonomik ölçütlere etki eden bir yapıya sahip olması gibi dezavantajlarından ötürü yakıt pili teknolojisinin denizcilik sektöründe etkin bir şekilde kullanımı noktasında temkinli yaklaşılmaktadır.

4.2.2 LNG Uygulamaları

Sıvılaştırılmış gaz yakıtların gemi tahrik sistemlerinde yakıt olarak kullanım maliyetinin, diğer fosil yakıtlara (HFO, MDO ve MGO gibi) nazaran çok daha ucuz olması itibariyle alternatif sevk modellerinin geliştirilmesi noktasında LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) kullanımı yaygınlaşmıştır. Yanma neticesinde ortaya çıkan zehirli gaz salınımlarının oldukça düşük seviyelerde olması, daha az yakıt tüketimi ve bakım kolaylıkları açısından diğer fosil yakıt kullanan sistemlere göre önemli avantajları barındırması, sıvılaştırılmış gaz yakıtlardan yararlanma hususunda belirleyici etkenler olmuştur.

IMO'nun gemi kökenli emisyon değerlerine yönelik getirmiş olduğu kısıtlamalar ve paralelinde ülkeler nezdinde hazırlanan düzenlemeler neticesinde bazı bölgelerde emisyon sınırlamalarına bağlı olarak fosil yakıt kullanılan sevk sistemlerinin iptali gerekmiş, bu hususu yerine getirmeyen işletmecilerin bahse konu bölgelerde denizcilik faaliyetleri yürütmesi yasaklanmıştır. Teşvik edici unsur mahiyetinde, emisyon kısıtlamalarına bağlı olarak ilgili sistemlerini modernize eden ve çevre dostu gemileri filosuna kazandıran gemi işletmecilerine vergilendirme kolaylıkları sağlanmıştır [38].

Her ne kadar farklı tür makinaların LNG dönüşümleri mümkün olsa da gemilerin cinsine bağlı olarak maliyetler değişim gösterebilmektedir. LNG ve diğer fosil yakıtların kullanımını aynı gemide mümkün kılan esnek çözümler, dual-fuel makinaların geliştirilmesi noktasında belirleyici olmuş, LNG kullanımı ile birlikte egzoz emisyonu azaltılarak IMO Seviye-III (Tier-III) kriterlerine uygunluk sağlanması mümkün hale getirilmiştir. Gemi bünyesinde LNG tanklarının ortaya çıkardığı alan sorunu, tasarımcıları farklı çözümler aramaya itmiş, yeni tekne formları oluşturularak alternatif bakış açıları geliştirilmiştir [39].



Şekil 7. Gaz yakıtlı tahrik sistemi [40].

İçerisinde bulunduğumuz yüzyılda çağ dışı kalan dizel makineler ve bunlara bağlı fosil yakıt kullanımı, tahrik sistemlerinin dönüştürülerek yeniden tasarlanması noktasında modernizasyon ihtiyacını zorunlu kılmıştır. Denizcilik sektöründen bağımsız diğer sektörlerdeki uygulamalarda yakıt olarak kendini kanıtlamış olan LNG, küresel boyutta diğer fosil yakıtlara nazaran temin edilebilmesi daha kolay olduğu için her geçen sene genişleyen pazar hacmiyle emisyon düzenlemelerine uygunluk noktasında tercih edilebilirliği yüksek bir konuma ulaşmıştır.

Geleneksel fosil yakıtların muhafazasına kıyasla LNG yakıtlar için daha büyük depolama alanlarına ihtiyaç duyulması, ilk kurulum maliyeti açısından geminin cinsine ve LNG sisteminin boyutuna bağlı olarak daha büyük ekonomik yatırım gerektirebilmesi gibi başlıca hususlar, LNG kullanımına dayalı sistemlerin gemilere uyarlanması noktasında dezavantajlar olarak ön plana çıkmaktadır. Her ne kadar diğer fosil yakıt maliyetleriyle karşılaştırıldığında LNG maliyeti daha düşük seviyelerde olsa da diğer geleneksel gemilere kıyasla çift yakıtlı bir geminin gerektirdiği teknoloji ve Şekil 7’de belirtilen ilave ekipmanlar nezdinde gemi inşa maliyetinin artacağı unutulmamalıdır. Gemi tipine bağlı olarak LNG dönüşümünün yük taşıma kapasitesini azaltacağı da göz önüne alınacak olursa gemi işletmecileri açısından geleceğe dönük olası gelir kayıpları iyi hesaplanmalı, mali planlama bu doğrultuda oluşturulmalıdır.

Özel ikmal sistemleri başta olmak üzere; yakıt istasyonlarının kurulumu ve gemilerin seyir mesafesine bağlı olarak LNG’nin limanlarda muhafaza edilmesi noktasında paketleme güçlükleri söz konusu olup, altyapı anlamında iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır [41]. LNG yakıt donanımının barındırıldığı gemilerde, ilave güvenlik tedbirleri zorunlu kılınmakta, sistemin işletilmesi ve kullanılması noktasında gemi mürettebatının iyi bir eğitimden geçirilmesi gerekmektedir.

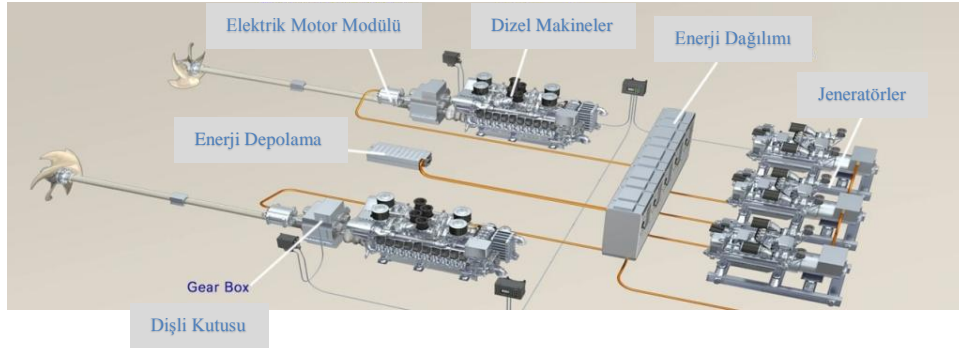
4.2.3 Hibrit Tahrik Sistemleri

Gemi kökenli emisyonların azaltılarak önlenmesine dair yapılan düzenlemeler nezdinde getirilen kısıtlamalar her geçen sene artmaktadır. Yakıt tasarrufuna dayalı etkin ve verimli bir güç planının oluşturulması noktasında geçmişten günümüze değin yapılan Ar-Ge çalışmaları ve

edinilen tecrübeler göstermiştir ki; elektrikli ve hibrit sevk sistemleri, dizellerin egzoz emisyonlarının azaltılması bakımından çok önemli gelişmelere vesile olmuştur [42]. Pek çok gemi işletmecisi, yakıt tüketimine dair verimin artırılabilmesi ve daha yüksek güç elde edilebilmesi bakımından, işletme masrafları ile bakım/tutum giderleri gibi ana kalemler söz konusu olduğunda tahrik sistemlerine dair tercihlerini zaman içerisinde değiştirmek durumunda kalmıştır.

Elektrikli tahrik sistemiyle klasik mekanik sistemin bütünleşik bir yapıya kavuşturulması neticesinde oluşturulan hibrit sistemler, geminin seyri süresince ihtiyaç duyacağı hız isterlerine göre ana tahrik ünitesi ve jeneratörler üzerinden alternatifli bir şekilde itici güç sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Bilhassa savaş gemileri açısından yüksek güç ihtiyacının söz konusu olduğu elektronik silah sistemlerinin kullanımı ve yüksek sürat isterlerine yönelik etkin güç planlaması gerektiren operasyon koşulları için hibrit sistemler teşkil edilmektedir. Gemilerdeki güç yönetiminin daha verimli yapılabilmesi için ihtiyaç durumuna göre gemi hotel yüküne ve tahrik sistemlerine gücün etkin bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

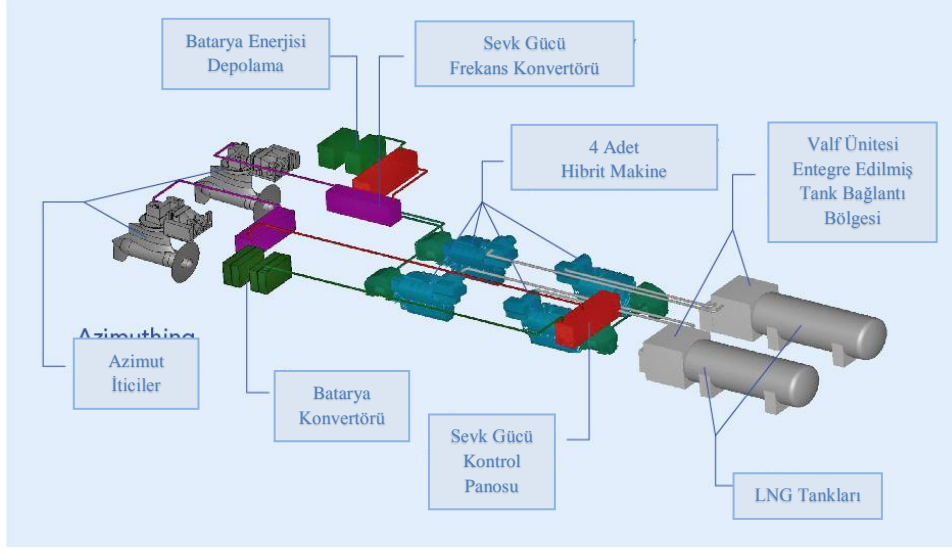
Yüksek teknoloji ve mühendislik gerektiren hibrit sistemlerin geliştirilme sürecinde zehirli gaz salınımları ile ham madde tüketiminin azaltılması gibi önemli kriterler gözetilerek geleceğe dönük çevre dostu çözümler üzerinde çalışılmaktadır [42]. Gürültünün düşürüldüğü, titreşim ve egzoz emisyonlarının azaltılması bakımından önemli gelişmelerin yaşandığı hibrit sistemler, elektrik motorlarının kullanımına ek olarak batarya enerjisinden yararlanılması ile birlikte daha kompakt bir yapıya bürünebilmektedir. Enerji ihtiyacını bataryalardan sağlayan gemi, emisyonuz titreşimsiz ve sessiz bir seyir yapma imkanına sahip olmaktadır [43].



Şekil 8. Hibrit tahrik sistemi yerleşimi [44].

Batarya enerjisi ile birlikte gaz tahrikli sistemlerin bir arada kullanıldığı hibrit çözümler, sıfır emisyonla yakıt tasarrufu sağlanması noktasında önemli kazanımlara vesile olmuştur. Tamamen elektrikli tahrik sistemi modelinin 2015 yılından bu yana uygulamaya sokulduğu Norveç'te coğrafi yapısı itibarıyla irili ufaklı ada sayısının fazla olması ve sabit rota üzerinde sefer yapan feribotların çokluğu, şirketleri işletme maliyetleri bakımından daha ekonomik yolcu feribotlarının geliştirilebilmesi için çözüm arayışlarına yöneltmiştir. Belirli rotalar özelinde yapılan analiz çalışmaları neticesinde taşınan yolcu sayısı, sefer sıklığı-süresi ve yakıt tüketim değerleri gibi parametreler incelenmiş, enerjinin bataryalardan sağlandığı gaz tahrikli hibrit sistemlerin mevcut şartlar altında en uygun çözüm olduğu kanaatine varılmıştır [45]. Sahil şarj istasyonu olanakları dahil olmak üzere; tekne ağırlığının hafifletilmesi noktasında alüminyum malzeme kullanılması gibi yenilikçi mühendislik yaklaşımlarıyla işletme masraflarının

düşürülmesi hedeflenmiş ekonomik kazanımlara ek olarak hava kirliliğinin önlenmesi bakımından da olumlu neticeler alınmıştır.



Şekil 9. Hibrit elektrikli tahrik çözümü [46].

Hibrit tahrik sistemleri, günümüz şartlarının inşa teknolojisiyle çeşitli türde pek çok gemi için uygulanabilmektedir. Yatırım, işletme ve bakım maliyetleri olmak üzere; üç ana başlık üzerinden yapılan sektörel analizler [47], gemilerin çalıştığı rotaları, operasyon koşullarını ve tabi oldukları emisyon kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak güç yönetiminin etkinliği noktasında alternatif hibrit çözümler geliştirilmesini mecbur kılar hale gelmiştir. Teknolojik atılımlarla gelecekteki gemilerin daha sessiz ve emisyonsuz seyir yapabilir hale gelmesi, elektriğin etkin bir şekilde kullanımına olanak sağlayan hibrit tahrik sistemleriyle sağlanabilecektir.

5. Sonuç

Gemi kökenli emisyonlara dayalı hava kirliliğinin azaltılması ve önlenmesi noktasında atılması gereken adımlar, uluslararası statüde önemli bir mesele haline gelmiştir. Mevzuata dayalı yasal düzenlemelere bağlı olarak gemi kaynaklı zehirli gaz salınımlarına getirilen kısıtlamalar, Dünya genelinde emisyon kontrol sahalarının belirlenmesine vesile olmuş, bu bölgelerde faaliyet yürütecek gemiler için MARPOL 73/78 Sözleşmesi Ek-VI ile belirlenen düzenlemeler nezdinde egzoz gazı emisyon sınırlamalarına uyma yükümlülüğü getirilmiştir.

HFO (Heavy Fuel Oil), MDO (Marine Diesel Oil) ve MGO (Marine Gas Oil) gibi fosil yakıtların gemi dizel makinelerinde yakıt olarak kullanılması neticesinde sera etkisi yaratan zehirli gazların sebep olduğu hava kirliliği, başta liman kentleri olmak üzere; insanların yoğun olarak yaşadığı alanlarda ciddi sağlık sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Sahilden enerji temini gibi olanakların kısıtlı olduğu liman bölgelerinde bu sorun daha da büyümüş, gemi dizel makinelerine ilaveten limanda gerçekleşen faaliyetler hava kirliliği probleminin daha da artmasına sebep olmuştur.

Gemi kökenli egzoz emisyonlarıyla mücadele kapsamında MARPOL 73/78 Sözleşmesi başta olmak üzere; uluslararası çerçevede getirilen pek çok düzenlemeye taraf olan Türkiye, bahse

konu mücadele kapsamındaki denetimlerini sıklaştırarak yaptırım sağlanması bakımından ulusal liman otoritelerini yetkin kılmalıdır. Mevzuata dayalı kuralların beraberinde getirmiş olduğu yükümlülükler uygunluk sağlanması noktasında alt yapı olanakları dahil olmak üzere; gemilere dönük hizmet sağlayan tesislerdeki fiziki yapılanma, teknik gereklilikler ve tabi olunan kriterler temelinde işletim hususları güncellenmeli, daha verimli planlamalar yapılarak emisyonla mücadele her anlamda etkin kılınmalıdır.

Dünya geneli fosil yakıt rezervlerinin her geçen yıl daha da azaldığı gerçeğinden yola çıkılarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ana tahrik ve güç sistemlerinin gemilere uyarlanması noktasında kararlı bir duruş sergilenmelidir. Bilhassa gemi işletmecileri başta olmak üzere; gemi inşa sanayicilerinin gemi kökenli egzoz gazı salınımlarının azaltılarak önlenmesi için alternatif güç çözümleri geliştirilmesi noktasında vizyon sahibi olması gerekmektedir. Daha geniş bir bakış açısıyla yoğunlaşması gereken bu vizyon, çevre duyarlılığına dayalı teknoloji anlayışıyla bütünleştirilmeli ve atılacak adımlar bu doğrultuda şekillendirilmelidir.

Maliyet ve güç yönetimi anlamında verimliliğin etkin olduğu teknolojik çözümler getirilerek gemi tahrik sistemlerinin modernizasyonu sağlanmalı, mevcut kurallara dayalı geleceğe dönük sınırlamalar nezdinde enerji verimliliğinin artırılabilmesi için gerekli olan teknik revizyonlar etkin kılınmalıdır. Yalnızca denizcilik sektöründe değil her alanda etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi gereken enerji ihtiyacı, olumsuz yönde seyreden çevresel koşulların iyileştirilebilmesi ve sahip olunan enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi bakımından büyük önem arz etmektedir.

Alternatif enerji kaynaklarına dayalı bazı çözümler, ilk yatırım maliyetleri açısından her ne kadar geleneksel tahrik sistemlerine kıyasla bazı dezavantajlara sahip gibi görünse de uzun vadeli planlama yapılarak alt yapı olanaklarının geliştirilmesiyle daha ekonomik ve verimli taşımacılık modelleri oluşturulabilecektir. Gemilerin faaliyet yürüttüğü sahaların daha detaylı bir analiz sürecinden geçirilerek emisyonla ilgili mevcut düzenlemeler nezdinde çevre dostu yaklaşımlara dayalı getirilebilecek hibrit çözümler, enerji verimliliğinin sağlanması bakımından belirleyici olacaktır.

Ekolojik dengenin hassasiyeti göz önünde bulundurularak ilerleyen süreçte geri dönüşü imkansız çevre sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaması için denizcilik sektörüne mensup otoriteler ve bu alanda uğraş veren insanlar nezdinde egzoz emisyonlarına dayalı zehirli gaz salınımlarının azaltılmasına yönelik farkındalık sağlanmalıdır. Her ne kadar ticari faaliyetlere dayalı sürdürülebilirlik noktasında birtakım kaygılar söz konusu olsa da konuya yalnızca maliyet odaklı bakış açılarıyla yaklaşılmamalı, içerisinde yaşanan çevreye ihanet niteliğindeki kararlardan ve yaptırımlardan uzak durulmalıdır. Çevre dostu ekolojik çözümlerle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı daha etkin sevk sistemleri tasarlanarak denizcilik sektörü açısından emisyonla dayalı enerji verimliliğinin etkin bir şekilde yürütülmesine öncülük edilmelidir.

Kaynaklar:

[1] Küresel Denizcilik Devrimi: IMO 2020 Dönemi Başladı. <https://www.globelink-unimar.com/kuresel-denizcilik-devrimi-imo-2020-donemi-basladi> (Erişim: 07.04.2020)

[2] Kılıç İ., Ünal A. (2015). Kara ve Deniz Konteyner Taşımacılığında Egzoz Gazı Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması: Türkiye İçin Durum Değerlendirmesi. T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı., Türkiye.

- [3] Samosir, D.H., Markert, M. and Busse, W. (2017). The technical and business analysis of using shore power connection in the port of Hamburg. *Jurnal Teknik ITS*, 5 (2).
- [4] Bouman, E. A., Lindstad, E., Riialand, A. I. ve Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 408–421. doi:10.1016/j.trd.2017.03.022.
- [5] IMO. (2015). Investigation of appropriate control measures (abatement technologies) to reduce Black Carbon emissions from international shipping. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Black%20Carbon.pdf> (Erişim: 10.04.2020)
- [6] IMO. (2008). Revised MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NOx Technical Code 2008.
- [7] Durmaz, M. (2015). Bir Feribottan Yayılan Egzoz Emisyonlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Ayhan, V. (2009). Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NOx ve İs Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [9] Pulkrabek, W.W. (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. Pearson Prentice-Hall, 2.
- [10] Uçar, F.O. (2014). Samsun İli Limanlarına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevresel Etkileri, Denizcilik Uzmanlık Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
- [11] Talay, C.Y. (2017). Gemilerden Kaynaklanan Emisyonlar Kapsamında IMO ve AB Gereklilikleri, Türk Loydu, İstanbul. <https://www.denizticaretodasi.org.tr/Media/SharedDocuments/SektorelEgitim/GemilerdenKaynaklananEmisyon.pdf> (Erişim: 11.04.2020)
- [12] Taşdemir, Y. (2002). Bursa’da kükürt dioksitten kaynaklanan hava kirliliği. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 11(42), 12-15.
- [13] Ergin, S. (2011). Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Projesi Sonuç Raporu.
- [14] Light, A.D.S. (2008). Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliği Hakkında Yasal Düzenlemeler ve Değerlendirilmeler, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14, 65-73
- [15] Safa, A. ve Çelebi, U.B. (2011). Greenship: new ideas for environmentally friendly ships. MARTEC 2011-1st International Conference on Maritime Technology and Engineering, Lizbon, Portekiz.

- [16] NRDC (Natural Resources Defense Council), (2004). Harboring Pollution Strategies to Clean Up U.S. Ports, by the Natural Resources Defense Council. New York.
- [17] Saraçoğlu, H. (2010). İzmir Limanına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Sayın, C., Uslu, K. and Çanakçı, M. (2008). Influence of injection timing on the exhaust emissions of a dual-fuel ci engine. Renewable Energy, 33(6), 1314-1323.
- [19] Kaya, A.Y., Erginer, K.E. (2017). Gemilerde enerji verimliliğini sağlama ve sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik uygulamalar: bir odak grup çalışması. 2(9), 212-233.
- [20] IMO. (2018). Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue, (International Maritime Organisation), 27.
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf (Erişim: 10.04.2020)
- [21] Chen, L., Yip, T.L. and Mou, J. (2018). Provision of emission control area and the impact on shipping route choice and ship emissions. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 58, 280- 291.
- [22] Dünya Genelinde Yakıt Değişimi-Küresel Sülfür Limiti. <http://www.dfds.com.tr/dunya-genelinde-yakit-degisimi-kuresel-sulfur-limiti/tr/2454> (Erişim: 16.04.2020)
- [23] Çevik, Ü. (2004). Uluslararası Denizcilik Sözleşmesi, İstanbul, sh.228 vd.
- [24] Altaş, İ.H., Mengi, O.Ö., Yanmaz, K. (2016). Güneş Paneli ve Yakıt Pili Karma Temiz Enerji Sisteminde Beş Seviyeli BMD'li STATCOM, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 6(14), 30-44.
- [25] Norwegian parliament adopts zero-emission regulations in World Heritage fjords. <https://whc.unesco.org/en/news/1824> (Erişim: 21.04.2020)
- [26] Yiğit, K. (2018). Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi, 214, 5-18.
- [27] Güneş Yelkenli Yeşil Gemi Aquarius. <https://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-eco-ship> (Erişim: 28.03.2020)
- [28] Aydın, S., Ekmen, M., Ünvar, S., Yılmaz, A. (2017). Yakıt Pili Teknolojisi, Technological Applied Sciences (NWSATAS), 12(4):185-192.
- [29] Pospiech, P., Shore Power Supply for Stena-Ferries in Gothenburg and Rotterdam, Maritime <http://articles.maritimepropulsion.com/article/Shore-Power-Supply-for-Stena-Ferries-in-Gothenburg-and-Rotterdam51595.aspx> (Erişim 05.04.2020)
- [30] Danışman, İ.K. (2012). Türkiye'de Liman Çevre Yönetimi ile İlgili Düzenlemeler, Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 4(2), 69-87.

- [31] Yakıt Pili. <https://www.tespam.org/yakit-pili/> (Erişim: 12.04.2020)
- [32] DNV-GL. Study on the use of fuel cells in shipping. <http://www.emsa.europa.eu/emsa-homepage/2-news-a-press-centre/news/2921-emsa-study-on-the-use-of-fuel-cells-in-shipping.html> (Erişim: 14.04.2020)
- [33] Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F. (2003). Yakıt Pilleri. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 18-30.
- [34] ABB/Ballard zero emission fuel cells could replace shore power requirements for ships. <https://www.ajot.com/premium/ajot-abb-ballard-zero-emission-fuel-cells-could-replace-shore-power-requirements-for-ships> (Erişim: 05.04.2020)
- [35] Acar, M., Üçgül, İ. ve Şenol, R. (2006). Yakıt Pili Teknolojisindeki Gelişmeler ve Taşıtlara Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, Mühendis ve Makine Dergisi, 37-50.
- [36] Auxilia Electric Propulsion to redefine hybrid with the launch of a brand new marine hybrid kit at METS. <https://www.nautechnews.it/2019/11/13/auxilia-electric-propulsion-to-redefine-hybrid-with-the-launch-of-a-brand-new-marine-hybrid-kit-at-mets/> (Erişim: 11.04.2020)
- [37] Yolcu Gemilerinde Yakıt Hücresi Teknolojisi. <https://www.cemreshipyard.com/tr/articles/yolcu-gemilerinde-yakit-hucresi-teknolojisi> (Erişim: 13.04.2020)
- [38] OECD. (2019). Maritime Subsidies: Do They Provide Value for Money?, International Transport Forum.
- [39] LNG As Ship Fuel. (2013). Effects on Ship Design, Operations and Supporting Infrastructure, New Technologies for the Marine Highway TRB – Marine Highways Committee.
- [40] Market addresses risks of gas as fuel for ship engines. <https://www.seanews.com.tr/market-addresses-risks-of-gas-as-fuel-for-ship-engines/120104/> (Erişim: 16.04.2020)
- [41] Tatlı, S. (2015). Gemi Yakıtı Olarak LNG Kullanımı, Tersane Dergisi, 28-38.
- [42] Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., & Hopman, J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments, Applied Energy, vol. 194, 30-54.
- [43] Guerrero, J.M., Mutarraf, M.U., Niazi, K.A.K., Terriche, Y., Vasquez, J.C. (2018). Energy Storage Systems for Shipboard Microgrids—A Review, Energies, 11, 3492.
- [44] MTU Hybrid marine. Talking with Ramoli and Kohl. <https://www.diesel-international.com/alternatives/mtu-hybrid-marine-the-final-thoughts/> (Erişim: 17.03.2020)

[45] DNV-GL. (2014). LNG As Ship Fuel: The Future Today. <https://www.dnvgl.com/news/new-dnv-gl-report-lng-as-ship-fuel-the-future-today-4685> (Erişim: 22.04.2020)

[46] New Wasaline ferry combines LNG, battery and sensor technologies. <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/New-Wasaline-ferry-combines-LNG-battery-and-sensor-technologies.html> (Erişim: 31.03.2020)

[47] Deniz Ticaret Odası. (2020). Dosya: 2019'dan 2020'ye Denizcilik Sektörü, Deniz Ticareti Dergisi. https://www.denizticaretodasi.org.tr/Media/SharedDocuments/DenizTicaretiDergisi/ocak_2020.pdf (Erişim: 01.05.2020)

