



## Yeni Teknoloji ve Alternatif Yakıt Uygulamalarının Hava Kirliliği ile Römorkör Üretimine Etkilerinin Araştırılması

Murat YAPICI<sup>1</sup>, Birsen KOLDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Piri Reis Üniveristesi, Denizcilik Fakültesi, [uppermurat@hotmail.com](mailto:uppermurat@hotmail.com)

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, [bkr@istanbul.edu.tr](mailto:bkr@istanbul.edu.tr)

### Öz

Günümüzde deniz ticareti yoğunluğu artarak devam etmektedir. Bu yoğunluk liman hareketliliğinin artmasına neden olmaktadır. Liman içerisinde emniyetli gemi giriş çıkışlarının gerçekleştirilmesi için optimum manevra kabiliyetine sahip römorkörlere olan ihtiyaç artmaktadır. Ana amacı deniz taşıtlarının manevra kabiliyetini arttırarak emniyetli yanaşmalarını sağlamak, gemilere refakat etmek veya makine gücüne sahip olmayan yüzer yapıların hareketini emniyetli bir şekilde sağlamak olan römorkörlerin 18. yüzyıldan günümüze pervane ve sevk sistemlerinde büyük gelişmeler olmuştur. Kullanış amacına göre römorkörler, açık denizlerde, nehir, boğaz ya da kanal gibi dar suyollarında, tersane ve limanlarda yakın ve uzak mesafelerde hizmet vermektedirler. Çekme ve itme gücü son derece yüksek olup, kendi tonajlarının çok üzerinde deniz araçlarına hizmet verebilmek kabiliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca yeni teknoloji ve LNG gibi alternatif yakıtların kullanımı ile %92 NO<sub>x</sub>, %20 CO<sub>2</sub>, %98 partikül emisyonlarında azalma sağlayarak sera gazları açısından olumlu bir gelişim göstermiştir. Manevra esnasında römorkör kaynaklı toplam emisyonlar 105 dakikalık süre içerisinde 8.324 kg NO<sub>x</sub>, 745.554 kg CO<sub>2</sub>, 1.112 CO, 0.178 SO<sub>2</sub>, atmosfere salınmıştır.

Özellikle yeni inşa edilen gemilerin büyüyen tonajları ve limanların ihtiyaçları nedeniyle yeni nesil römorkörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, alternatif yakıt ve yeni manevra teknolojilerinin römorkör manevra, makine gücü ve emisyon gazlarının azaltılması açısından incelenmiş, eksiklikler tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Römorkör, Gemi Emisyonları, Alternatif Enerji, Enerji Verimliliği, Gemi Manevrası.

### A Research on Effects of New Technologies and Alternative Fuel Applications on Air Pollution and Tugboat Production

#### Abstract

Today, maritime transport is continuing to increase in intensity. This intensity leads to increase in port mobility. For the realization of safe ship maneuvering in ports, the need for tugs capable of optimum maneuverability has increased. The main purpose of tugboat is to provide the docking safety by increasing the maneuverability of vessels, to accompany

*the ship or the movement of floating structures without machine power. Tugboats have been great advances in providing safety for propeller and propulsion systems from the 18<sup>th</sup> century until today. According to usage purpose, tugboats serve seas, rivers, channels such as the throat or narrow waterway, near and far distance in the shipyards and harbors. Pulling and pushing force of tugboats are extremely high. Ability of services are increasing tugboat tonnage day by day. Besides, the use of new technology and alternative fuels such as LNG showed a positive development in terms of greenhouse gas by providing 92% NO<sub>x</sub>, 20% CO<sub>2</sub>, 98% particle reduction in emissions. The total tug emissions during maneuvers in 105 minutes; 8,324 kg of NO<sub>x</sub>, 745.554 kg of CO<sub>2</sub>, CO 1.112, 0.178 SO<sub>2</sub> are exhausted to the atmosphere.*

*Needs of new generation harbor tugs are due to growing tonnage of vessels. In this study, alternative fuels and new technologies were examined in terms of mechanical strength and reducing gas emissions. Solutions and deficiencies are identified.*

**Keywords:** Tugboat, Ship emissions, Alternative Energy, Energy Efficiency, Ship Maneuvering.

## 1. Giriş

Günümüzde artan ticaret ve bu ticaretin deniz taşımacılığına etkileri sonucu daha büyük tonaja sahip gemiler üretilmektedir. Limanlar yenilenerek kapasiteleri arttırılmaktadır. Liman elleçleme teknolojilerindeki gelişimler liman kalış sürelerinin azalmasına dolayısıyla gemi giriş çıkışlarının artmasına neden olmuştur. Bu durumda emniyetli manevraya sahip römorkör hizmetinin alınması gerekmektedir [1].

Römorkör üretimi bir yandan yoğun manevra trafiğini karşılayacak şekilde üretilirken bir yandan önemi giderek artan yeşil taşımacılığın ve yeşil liman uygulamalarının bir tamamlayıcısı olarak görülmektedir. Dünya'da egzoz gazı emisyonlarının düşürülmesi amacıyla yakıt kükürt içerikleri kademeli olarak düşürülmesi ve yeni üretilen gemilerde kullanılacak tahrik sistemlerinin düşük emisyon kriterlerini karşılaması amaçlanmıştır. Bu durum kullanılan düşük kükürt içerikli yakıtların kullanım maliyetlerini azaltma, mevcut teknolojilerin yenileme ihtiyacını doğurmuştur [2].

Mevcut yakıtların kükürt oranlarının düşürülmesinin yanı sıra alternatif yakıt ve güç sistemleri uygulamaları ile emisyonların indirgenmesi sağlanmaktadır. Özellikle LNG'nin yakıt olarak kullanımı ile yakıt ikmalleri ve depolama konusunda kolaylıklar sağlandığı gibi emisyon

açısından düşük bir salınımına sahiptir. Hibrit teknolojileri özellikle manevralarda düşük özgül emisyon miktarında tamamen elektrik enerjisi ile çalıştığından sıfır emisyon avantajı sağlamaktadır.

## 2. Araştırmanın Amacı

Çalışmanın amacı; mevcut römorkör sevk sistemleri ile üretilen emisyonların modellenmesi, düşürülmesi ile ilgili teknolojilerin tanımlanması, alternatif yakıt uygulamaları ile römorkör üretim ve seçim açısından incelemektir.

Farklı makine yüklerindeki emisyonları ile elde edilen veriler ileride yapılacak daha detaylı çalışmalar için başlangıç olması hedeflenmiştir.

## 3. Metodoloji

Çalışmada, 2015 yılı içerisinde gerçekleştirilen bir yanaşma manevrası esnasında hem yanaştırılan gemi hem de römorkör açısından farklı makine yüklerindeki emisyonlar ölçülmüştür.

Günümüzde üretilen gemi dizel motorları üretici firma tarafından gemilere konulmadan evvel bir takım testlerden geçirilmekte ve bu testler ile sonrasında seyir tecrübesiyle ilk veriler elde edilmiş olmaktadır. Test bed ve Sea Trial olarak bilinen bu testler sonucunda genelde Dizel Motorları %25, %50, %75, %100 yüklerde çalıştırılarak farklı yüklerdeki özgül yakıt tüketimi, güç, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> gibi başlıca

emisyonlar ölçülmektedir. Bu değerler bazen %50, %75, %85, %100 gibi farklı değer aralıklarında da olabilmektedir. Çalışmada bu ana dört değer kullanılarak interpolasyon yöntemiyle ara değerler bulunmuştur. Bir manevra esnasında her bir yük değişimindeki sonuçlar karşılaştırılmıştır.

#### 4. Analiz

Çalışmada örneklenen römorkör ve manevrası gerçekleştirilen geminin farklı yük değerlerinden elde edilen veriler ile ara değerler oluşturulmuştur. Her bir yük değişimindeki verileri anlık hesaplayan Excel tabanına veriler girilerek emisyon hesaplamada denklem 3 kullanılmıştır.

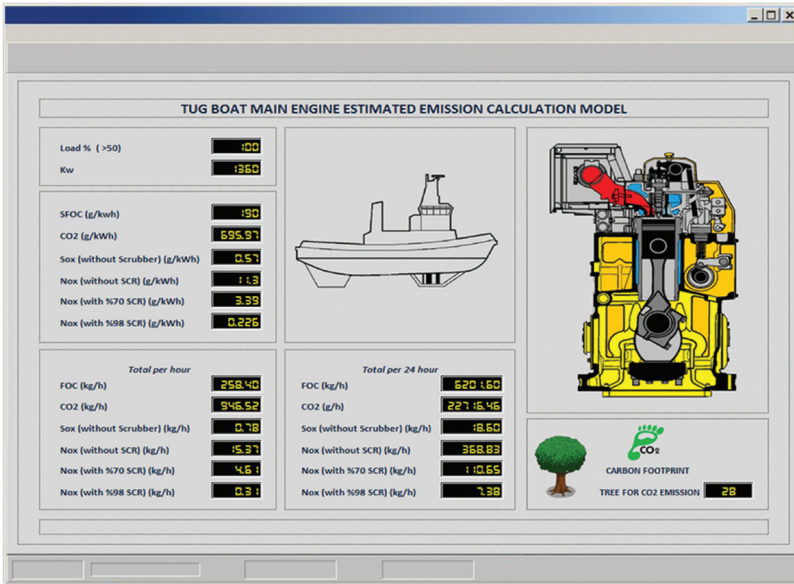
Şekil 1'de römorkör ana makinesinin tahmini emisyonunu hesaplamak için oluşturulan uygulama görülmektedir. Bu uygulamada temel zararlı gazlar ve NO<sub>x</sub> gazları için geliştirilen teknolojileri (Selective Catalytic Reduction) SCR için %70 ve %98 azaltılmış halleri de hesaplanabilmektedir. CO<sub>2</sub> emisyonları salınımı sonucunda oluşan Karbon ayak izinin dengelenmesi için gerekli ağaç sayısı hesaplanabilmektedir.

#### 5. Bulgular

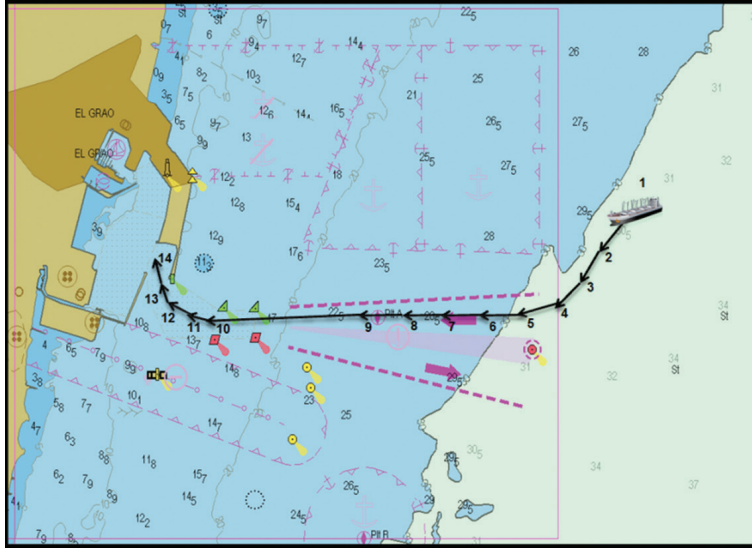
Çalışmada kullanılan emisyon modellemesi için Şekil 2(a) ve Şekil 2(b)'de gösterilen noktalar haritada belirtilmiştir. Toplam 28 noktadan oluşan noktalar o andaki makine yükü bilgileri elle girilerek, o yükte seyir süresi ve özgül emisyon miktarları oluşturulan uygulama ile hesaplanmıştır.



Şekil 2(a). Gemi Yanaşma Manevra Noktaları



Şekil 1. Farklı Yük Değişimlerinin Hesaplanmasına Dayalı Römorkör Emisyon Uygulaması



Şekil 2(b). Gemi ve Römorkör Manevra Noktaları

$$\sum_{\text{Gemi Emisyonu}} = \sum_{\text{Ana Makine(ler) Emisyonu}} + \sum_{\text{Jeneratör(ler) Emisyonu}} + \sum_{\text{Kazan(lar) Emisyonu}} \quad (1)$$

Bir geminin veya römorkörün manevrada anında toplam emisyonu ana makine(ler), jeneratör(ler), ve kazan(lar) dan kaynaklanan emisyonların toplamından oluşmaktadır.

Manevra anında bir gemi ve römorkör(ler)'den kaynaklanan toplam emisyon aşağıdaki değişkenlerin toplamından oluşmaktadır.

**SE** :  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  veya CO için özgül emisyon miktarı(g/kwh),

**t** : Belirlenen yük için manevrada geçen süre (dakika),

**n** : Her bir manevra noktasında oluşan emisyon sayısı.

Toplam yüzbeş dakika süren manevra esnasındaki emisyon modeli ile Şekil 3'teki  $\text{CO}_2$  emisyonları bulunmuş olur.

$$\sum_{\text{Manevra Emisyon}} = \sum_{\text{Gemi Emisyonu}} + \sum_{\text{Römorkör(ler)}} \quad (2)$$

$$\sum_{\text{Gemi Emisyonu}} = [(\sum \text{Ne}_1 \times \text{SE}_1) / 60 \times t] + [(\sum \text{Ne}_2 \times \text{SE}_2) / 60 \times t] + \dots + [(\sum \text{Ne}_n \times \text{SE}_n) / 60 \times t] \quad (3)$$

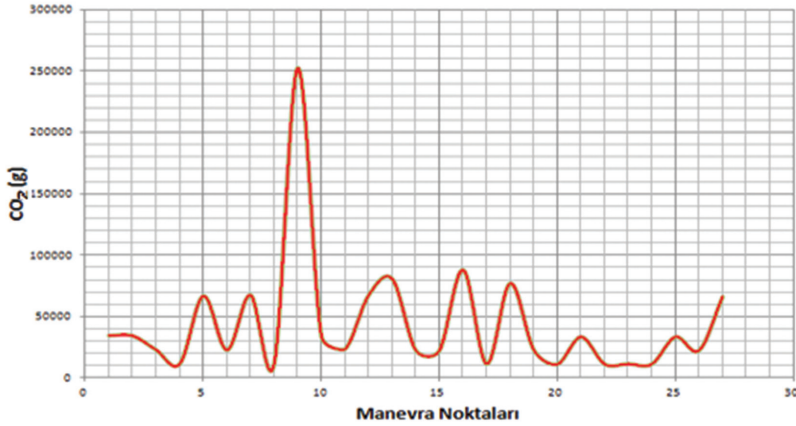
Gemi ve römorkör için her bir manevra noktasında  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , CO miktarını hesaplayabilmek için aşağıdaki model kullanılmıştır.

$\sum_{\text{Gemi Emisyonu}}$  : Gemi tarafından manevra esnasında oluşturduğu toplam emisyon miktarı (g, kg),

**Ne** : Belirlenen yük için efektif makine gücü (kW),

Aynı diyagram diğer üç emisyon ile paralel değişim yaptığı görülmüştür.

Şekil 4'te manevra esnasında hizmet veren römorkörlerin emisyonları incelendiğinde  $\text{CO}_2$  salınımlarının özgül (g/kwh) anlamında %50 yükten düşük yüklerde yüksek olduğu, %50 den %75 yüke doğru düşme olduğu %75 ten %100'e kadar olan dilimde  $\text{CO}_2$  emisyon miktarının tekrar yükseldiği görülmektedir. Bu durumda

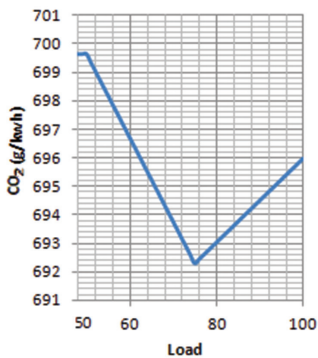


Şekil 3. Gemi Manevra Noktaları ve Oluşan CO<sub>2</sub> miktarları

CO<sub>2</sub> emisyonu açısından römorkörün optimum noktasının %75 yük civarı olduğu belirlenmiştir. Bu değer dizel motorlarında çoğunlukla %75-80 yükte gözlenmektedir. Çalışmada tam yanmanın gerçekleştiği yükte örneklenen dizel motoru için CO<sub>2</sub> değerleri daha düşük olduğu belirlenmiştir. Römorkörlerin bekleme, yanaşma, kalkma gibi durumlarda özgül emisyon miktarları daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan farklı yüklerdeki özgül emisyon katsayıları Tablo 1'de görülmektedir. Manevra esnasındaki farklı yüklerle denk gelen ara değerler özgül emisyon katsayıları baz alınarak hesaplanmıştır.

Manevra esnasında römorkör kaynaklı



Şekil 4. Römorkör Manevra Noktaları Esnasında CO<sub>2</sub> Diyagramı

toplam emisyonlar 105 dakikalık süre içerisinde 8.324 kg NO<sub>x</sub>, 745.554 kg CO<sub>2</sub>, 1.112 CO, 0.178 SO<sub>2</sub>, atmosfere salınmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Özgül Emisyon Miktarları (g/kwh)

Yük	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	CO
%25	10.58	0.201	639.0	1.154
%50	12.33	0.189	601.9	0.883
%75	14.54	0.184	586.9	0.705
%100	13.43	0.187	595.2	0.594

Günümüzde klasik römorkör üretiminin yanı sıra alternatif yakıt ve tahrik sistemlerinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

Römorkörler için kullanılan alternatif yakıt olan LNG (Sıvı Doğal Gaz), havadan daha hafif, -162°C derecede soğutulduğunda sıvı olan %90 metan (CH<sub>4</sub>) içerikli kaynaktır.

Dizel yakıtlar 210°C'de alevlenirken LNG 595°C'de alev almaktadır. LNG'nin hacmi gaz fazından sıvı faza geçerken 600 kat küçülmektedir. Bu durum saklanma açısından önemli bir avantajdır. LNG zehirli olmadığı gibi kokusuz ve renksizdir. Römorkörler için kullanılan LNG içerisinde metandan başka etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) bulunmaktadır. Sıvılaştırma esnasında içindeki oksijen,

karbondioksit, kükürt bileşenleri ve sudan arındırıldığı için saf ve yüksek verimli bir yakıt halini almaktadır. LNG yakıt kullanımı emisyon anlamında %30'luk bir avantaj sağlamaktadır. Tablo 2'de römorkörler açısından yakıt karşılaştırmaları görülmektedir [3].

**Tablo 2.** Römorkörler için Yakıt Karşılaştırması [4]

Römorkörler için Yakıt Karşılaştırması	LNG CH <sub>4</sub>	BENZİN C <sub>8</sub> H <sub>30</sub>	LPG C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	MOTORİN CH <sub>14</sub> H <sub>30</sub>
Yanma Verimleri (%)	92	90	90	90
Tutuşma Sıcaklıkları (°C)	600	440	418	225
Kalorifik Değerleri (kcal/kg)	11.150	7.676	11.000	11.200

Bir başka uygulama Şekil 5'te görülmektedir. Hibrit sistemli römorkörlerde bilgisayar kontrolü ile ana makine ve jeneratörler kumanda edilmektedir. Bu sistem elektrik motorları ve yakıt pillerine sahiptir. Bu sayede ana makine ve jeneratörlerin yanı sıra lityum polimer elektrik pilleri yardımıyla çalışabilmektedir. Çoğu Dizel motoru yük dağılımı ve bu yük dağılımlarına denk gelen emisyonlar incelendiğinde düşük yüklerde oluşan özgül emisyonların (g/kwh) daha fazla olduğu görülmektedir.

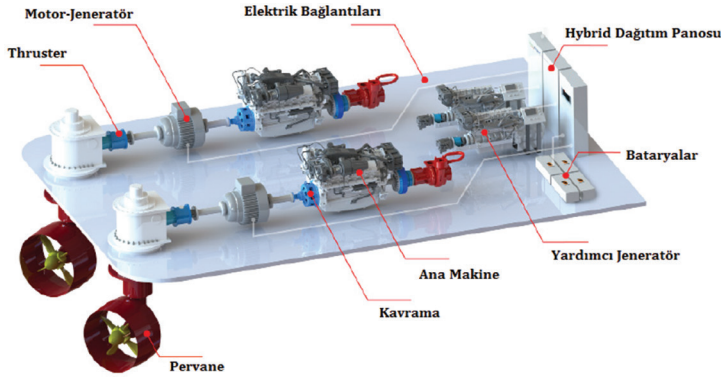
bir yakıt tasarrufu ve dolayısıyla emisyon tasarrufu sağlamaktadır [5].

Tablo 3'de geleneksel römorkör ile Hibrit teknolojiye sahip römorkörün karşılaştırılması görülmektedir. Bu tabloya göre partikül , NO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları karşılaştırılmıştır. Hibrit teknolojisinin

geleneksel sistem emisyonlarına karşı indirgeme sağladığı analiz edilmiştir [6].

## 6. Sonuç ve Değerlendirme

Römorkörsevkvetahriksistemlerininher geçen gün değiştirdiği, yeni yapılan limanlar veya teknolojisi güncelleştirilen limanlar açısından çevre duyarlı teknolojilerin ön planda tutulduğu görülmektedir. Güncel römorkör teknolojileri yerini LNG gibi alternatif yakıtların ve hibrit yeniliklerinin donatıldığı römorkörlere bırakmaktadır. Yeşil liman kavramı açısından bir birleşen

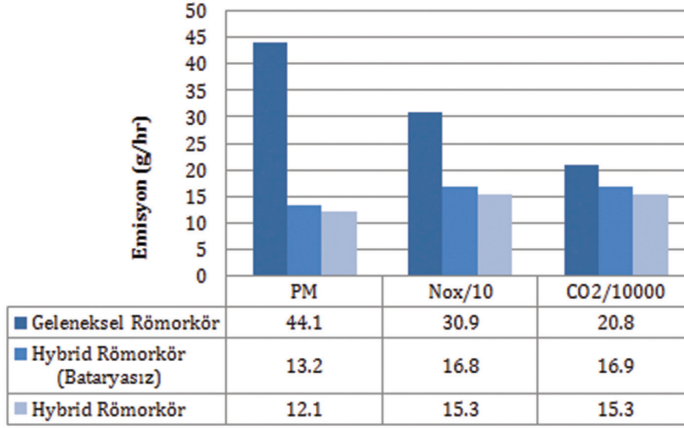


**Şekil 5.** Hibrit Römorkör Sevk Sistemi Yapısı

**Kaynak:** AKA [6]

Bu olumsuz durumu hibrit tekneler düşük yüklerde batarya kullanımıyla aşmışlardır. Özellikle römorkörlerin durma, bekleme, kılavuz kaptan komutunun beklenmesi, manevra durumlarında önemli

olarak görülen yeni teknolojiye sahip römorkörlerin tek dezavantajı yeni olmalarından dolayı gerek LNG yakıtı dolun tesislerine ve hibrit için batarya depolama ve transfer ünitelerinin limanlar

**Tablo 3.** Geleneksel Römorkör ve Hibrit Römorkör Emisyon Karşılaştırması [7]

için ayrı bir birim gerektirmesidir.

Mevcut römorkör manevra uygulaması sonucunda düşük yüklerde daha fazla özgül emisyon miktarının olduğu görülmüştür. Bu düşük yüklerin salınımı LNG ve Hibrit teknolojiler kullanılarak giderilebilmektedir. Liman gemi giriş-çıkış trafiğinin yönetimi açısından römorkörlerin her an manevraya hazır olması gerekmektedir. Bu durum geleneksel römorkörlerde makinelerin sürekli sıcak tutulması için belli bir sıcaklık korunumu ve enerji sarfiyatı demektir. Ancak Hibrit teknolojiler sayesinde ilk önce batarya besleme sonrasında ise makine ile manevra sağlanabildiğinden bu süre zarfında makinenin uygun sıcaklığa getirilmesi kolaylaşmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

LNG yakıtı veya dual (çift yakıt) teknolojilerinde emisyon değerleri önemli ölçüde azaltılmıştır. Elde edilen verilerin incelendiğinde geminin manevra esnasında gemi makine gücü düşerken, römorkör gücü daha fazla itme ve çekme hareketi nedeniyle artmaktadır. Bu durumda manevranın mümkün olduğunca kısa sürede gerçekleştirilmesi gereği, bir veya iki römorkörün efektif olarak kullanılması hem liman emniyeti hem de emisyonlar açısından önemlidir.

Çalışmada toplam emisyon modellemesi yapılırken ana makine ve jeneratörlerin

test değerleri göz önüne alınmıştır. Bu çalışma ayrıca, daha detaylı çalışma ve projeler için dijital emisyon ölçüm cihazları ile ölçülerek test değerleri ve anlık manevra değerleri arasındaki sapmalar ölçülebilir. Bu sapmalar bakım ve işletme anlamında test değerlerinden sapılması sağlayabilmektedir. Eksiklikler ise; test değerlerine göre makinelerin düşük güç üretmesi, daha fazla emisyon değeri, yüksek yakıt sarfiyatı gibi değerleri karşılaştırarak enerji verimliliğini sağlayabilecektir.

Alternatif hibrit sistemler sayesinde özellikle bekleme anında motorlar çalışmayacağından çalışan motora göre sıfır zararlı egzoz gazı atmosfere salınacaktır. Kütle olarak en ağır özgül emisyon olan CO<sub>2</sub> gazı salımı hibrit römorkörlerde geleneksel römorkörlere göre %25 daha az olacaktır. Hibrit sistemlerin kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonu açısından %50 daha az gaz salımı gerçekleşecektir.

Pervane sevk sistemlerinde kullanılan sistemler manevra hızını arttırıp güç kullanımını azaltmakta olup, emisyon ve maliyet açısından olumlu katkı yapacaktır. Bu durum römorkör seçiminde önemli bir kriterdir.

Mevcut geleneksel römorkörlerin emisyon değerlerini azaltma amacıyla en uygun yöntem SCR sistemleri olarak görülmektedir. Gemilere takılacak bu

sistemler sayesinde emisyonlar %70 azaltılabilmektedir. Ancak düşük yüke ve değişken yük ayarları açısından uygun dizaynların seçimi önemlidir.

Gerek yakıt maliyeti gerek çevre dostu kuralların yaygınlaşması römorkör üretimini etkilemektedir. Bu nedenle her iki kriterin uygulandığı yeni teknolojilerin gelişimleri sağlanmalıdır.

### Kaynakça

- [1] Hensen, H. (2003). Tug use in Port A Practical Guide. London: The Nautical Institute.
- [2] Koldemir, B. ve Yapıcı, M. (2014). Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğini Azaltma Amacıyla Türkiye ve Dünya'da Koruma Uygulamaları. 1. Ulusal Gemi Trafik Hizmetleri Kongresi, 97-110 Aralık 2014. İstanbul, Türkiye.
- [3] DESFA (Hellenic Gas Transmission System Operator). LNG Özellikleri. Erişim Tarihi: 14.07.2015, <http://www.desfa.gr/>.
- [4] TMMOB Makina Mühendisleri Odası. Araçlarda Doğal Gaz Kullanımı. Erişim Tarihi: 14.07.2015, <http://www.mmo.org.tr>.
- [5] Babicz, J. (2015). Wartsila Encyclopedia of Ship Technology. Helsinki: Wartsila Corporation.
- [6] AKA (Aspin Kemp & Associates). Hybrid Tug Boat. Erişim Tarihi:14.07.2015, [www.aka-group.com/node/481](http://www.aka-group.com/node/481).
- [7] Sterling, T. (2010). Evaluating Emission Benefits of a Hybrid Tug Boat, Final Report, Sacramento.