

BİR FERİBOTTAN YAYILAN EMİSYONLARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Murat DURMAZ*, S. Saadet KALENDER, Selma ERGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi | durmazmu@itu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde sefer yapan bir feribottan yayılan egzoz emisyonları MARPOL Ek VI NO_x Teknik Dokümanına uygun bir şekilde ölçülmüştür. NO_x, SO₂, CO, CO₂, partikül madde ve yanmamış hidrokarbon emisyonları ölçülmüştür. Ayrıca shaft gücü de ölçülerek egzoz emisyon faktörleri g/kWh olarak belirlenmiştir. Değişik makine yüklerinin egzoz emisyonlarının oluşumuna etkileri incelenmiştir. Toplam NO_x ve partikül madde emisyon faktörleri sırası ile 11.91 g/kWh ve 0.079 g/kWh olarak elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ölçülen emisyon faktörleri kullanılarak geminin yaydığı yıllık emisyonlar hesaplanmıştır. Böylece feribottan yayılan emisyonların Marmara Denizi'ndeki bölgesel hava kalitesine etkileri incelenmiştir. Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyonların incelenmesi bölgenin ekolojik ve özel konumundan dolayı önemlidir.

Anahtar kelimeler: Gemi emisyonları, emisyon ölçümleri, gemi dizel makineleri, hava kirliliği

1. Giriş

Gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonları, havayı kirleten başlıca kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir. Gemi kaynaklı emisyonların % 70-80'i karadan 400 km'ye kadar olan uzaklıkta yayılmaktadır (Corbett ve diğ, 1999; IMO, 2000; Friedrich ve diğ, 2007). Dizel makineler vasıtasıyla sevk edilen gemilerden salınan emisyonlar, başta karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), kükürt oksitler (SO_x), azot oksitler (NO_x), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve partikül maddeleri (PM) içermektedir. CO, NO_x ve partiküller makine teknolojisiyle ilgili olarak açığa çıkar. CO₂, SO_x, ağır metaller ve kükürt türevleri gibi diğer partiküller ise yakıt özelliğine bağlı olarak açığa çıkar (Entec, 2002).

Deniz taşımacılığının hava kirliliğine olan önemli katkısı nedeniyle, gemi emisyonları ve çevreye olan etkileri son yıllarda birçok çalışmada yer almıştır. Corbett ve diğ (1999), çalışmalarında yakıt satışlarına göre yaptığı emisyon tahmininde yıllık gemi emisyonlarını 10.12 Mt NO_x, 8.48 Mt SO₂ olarak hesaplamıştır. Yau ve diğ (2012)'nin yaptığı benzer başka bir çalışmada AIS verileri kullanılarak Hong Kong'ta açık deniz gemileri için emisyon envanter çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda 2007 yılı içerisinde 37150 sefer yapan geminin yaydığı emisyonlar 17097 ton NO_x, 8190 ton SO₂ ve 1035 ton PM10 hesaplanmıştır ve bu emisyonlar toplam emisyonların sırasıyla % 17, % 11 ve % 16'sını oluşturmaktadır. Diğer bir çalışmada Taranto limanı için emisyon envanter çalışması yapılmış ve gemilerin limanlarda yük elleçleme esnasında yaydıkları emisyonların şehir hava kalitesi üzerine etkileri analiz edilmiştir. Gemilerin limanda kalış sürelerinde sahilten elektrik besleme yapılmasının hava kalitesi üzerine etkisine bakılmıştır. Sonuç olarak sahilten besleme, gemi kaynaklı hava kirliliğini azaltacağı gibi elektrikten daha pahalı olan düşük sülfürlü yakıt tüketimi azalacağı için bu çözüm verimli

olarak görülmüştür. İlave olarak, yardımcı makinelerin bakım tutum masrafları da azalacaktır (Adamo ve diğ., 2014). Diğer birçok çalışmada gemi kaynaklı emisyonlar bölgesel ve küresel olarak hesaplanmıştır (Corbett ve Koehler, 2003; Eyring ve diğ., 2005; Cofala ve diğ., 2007; Yang ve diğ., 2007; Endresen ve diğ., 2008; Marmer ve diğ., 2009; Matthias ve diğ., 2010; Viana ve diğ., 2014).

Bu çalışmalarla aynı doğrultuda ülkemizde de yapılan emisyon envanter çalışmaları vardır. Ergin (2011), Marmara Denizi ve Türk Boğazları'ndaki gemi kaynaklı emisyonları, 2010 yılı AIS ve ulusal istatistiksel verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Gemi hareketleri, makine devir sayısı, makine ve yakıt tipine bağlı olan aşağıdan-yukarıya yaklaşım metodu kullanılarak, NO_x, SO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ ve NMVOC dahil yirmi farklı emisyon değeri hesaplanmıştır. NO_x için 56,49 kton/yıl, SO_x için 18,57 kton/yıl, toplam PM emisyonları için 8,17 kton/yıl, CO₂ emisyonu için 2518,2 kton/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca gemi kaynaklı hava kirliliğinin çevre üzerine etkilerinden bahsedilmiş ve önleyici tedbirler önerilmiştir. Viana ve diğ. (2015), Marmara Denizi ve Türk Boğazları'nın Emisyon Kontrol Alanı olmasının çevresel ve sağlık açısından faydalarını incelemiştir. Sonuçlara göre bu bölge, Emisyon Kontrol Alanı olursa İstanbul'daki gemilerden kaynaklanan PM_{2.5} ve PM₁₀ partikül madde emisyonları % 67, SO₂ emisyonları ise % 90 düşecektir. Marmara Denizi'nin özel ve ekolojik konumundan dolayı benzer çalışmalar bulunmaktadır (Kesgin ve Vardar, 2001; Deniz ve Durmuşoğlu, 2008).

Emisyon envanter çalışmalarına ilave olarak gemi kaynaklı emisyonlarla ilgili deneysel çalışmalar da bulunmaktadır (Cooper, 2001; Agrawal ve diğ., 2008; Moldanová ve diğ., 2009; Agrawal ve diğ., 2010; Winnes ve Fridell, 2010; Winnes ve diğ., 2014). Winnes ve Fridell (2009), ham petrol tankerinde ağır yakıt ve deniz tipi dizel yakıt kullanarak değişik makine yüklerinde gemi üzerinde ölçümler yapmıştır. Farklı yakıtların egzoz gazı emisyonlarına etkisi gözlenmiştir. Uriondo ve diğ. (2011), fabrika test yatağındaki makine ile gemi üzerindeki makinede ölçümler yaparak NO_x emisyonlarının değişimini incelemiştir.

Limanların yaşam alanlarına yakınlığından dolayı gemi kaynaklı emisyonlar bölgesel hava kirliliğini önemli derecede etkilerler. Emisyonlar seyir esnasında açık denizlerde yayılsa bile atmosferde yüzlerce kilometre taşınarak karasal hava kalitesini etkilerler. Bu özellikle kükürt ve azot bileşikleri için geçerlidir ve asitleşme, ekosistemlerin ötrofikasyonu ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi etkilere sebep olurlar (Eyring ve diğ., 2007). Özellikle kükürt dioksit ve azot oksit emisyonları, asit yağmurları ve toprağın asitleşmesine sebep olmaktadır. Topraktaki asitleşme temel besinlerin yetersizliğine sebep olarak kuraklığa neden olmaktadır. Bu asit çökeltileri, aynı zamanda yer altı sularının asitleşmesine ve göl ve nehirlerde alkalınların azalmasına neden olurlar. Bina ve tarihi eserlere de hasar vermektedir. Yer altı sularının asitleşmesi içme suyu kaynaklarında ciddi korozyona neden olur ve bu da sağlığı olumsuz etkiler (ICCT, 2011).

Deniz taşımacılığının önemli bir uluslararası ticaret yöntemi haline gelmesiyle, zamanla artan emisyonların kontrolü amacıyla birçok küresel ölçekli anlaşmalar yapılması gerekmiştir. Bu konuda, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından denizcilikte sürdürülebilir bir gelişme sağlayabilmek amacıyla Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (MARPOL) kabul edilmiştir. Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Önlenmesi Tüzüğü, Sözleşme Ek VI'da yer almaktadır. MARPOL Ek VI tüm gemiler ile sabit ve yüzer sondaj platformlarına uygulanmakta ve gemi kaynaklı SO_x ve NO_x salımları için limitler koymakta, ozon tabakasını inceltici maddelerin kasıtlı salımını yasaklamaktadır. MARPOL Ek VI daha sıkı SO_x ve NO_x kontrolü için, Emisyon Kontrol Alanı (ECA) ilanına imkan tanımaktadır. 2008 yılında MARPOL büyük oranda yeniden düzenlenerek, egzoz

emisyolları için yeni kurallar getirilmiştir. Yeniden düzenlenen MARPOL Ek VI, 1 Temmuz 2010 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yeniden düzenlenen MARPOL Ek VI'da, egzoz emisyon limit değerlerinde önemli değişiklikler olmuştur. Temel değişiklik, SO_x ve NO_x emisyonlarına kademeli değişim getirilmesidir. Türkiye MARPOL Ek VI sözleşmesine Şubat 2014 tarihinde taraf olmuştur. Türkiye'nin MARPOL Ek VI'ya taraf olmasıyla birlikte gemi kaynaklı emisyonların incelenmesi, gemi üzerinden ölçümlerin yapılması, oluşum mekanizmalarının tespiti önem kazanmıştır.

Taşınan yük ve mesafe başına gemilerin yaydığı emisyon değerleri göz önüne alındığında, deniz taşımacılığı, kara ve hava taşımacılığına göre en temiz taşımacılık şekli olmaktadır. Fakat, gemi başına düşen emisyon değerleri oldukça yüksektir. Bir büyük konteyner gemisi yılda 50 milyon otomobile eşdeğer emisyon yayabilmektedir. Türk Denizleri ve Boğazlarındaki gemi trafiği, son 50 yıl içerisinde önemli oranda artmıştır. İstanbul boğazından yılda yaklaşık 50000 geminin, yerleşim yerlerine 50 m mesafeden geçtiği düşünüldüğünde, İstanbul'da hem çevre hem de insan sağlığı gemi emisyonlarının olumsuz etkileri nedeni ile risk altındadır (Ergin, 2011).

Bu genel bilgiler ışığında, artan deniz trafiğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin gün geçtikçe artması sebebiyle gemi kaynaklı emisyonların incelenmesi, ölçülmesi, azaltım metodlarının geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Marmara Denzinde seyir yapan bir feribotun ana makinesinden yayılan egzoz emisyonlarının ölçülmesidir. NO_x, SO₂, CO, CO₂, partikül madde emisyonları ve yanmamış hidrokarbonlar MARPOL Ek VI NO_x Teknik Dökümanına uygun olarak ölçülmüştür. Emisyonlarla birlikte shaft gücü, egzoz sıcaklığı, egzoz basınç farkı, egzoz nemi ve ortam şartları da ölçülmüştür. Ölçüm yapılan makine çok düşük sülfürlü yakıt kullanan dört zamanlı orta devirli bir dizel makinedir. Sonuçlara göre NO_x emisyonları bu makine için istenen IMO limit değerlerinin altındadır. SO₂ emisyonları da, yakıt tipinden dolayı IMO limitlerinin oldukça altındadır.

2. Deneysel Çalışma

Emisyon ölçümlerinin yapıldığı feribot 2000 yılında inşa edilmiş olup 81 m uzunluğunda ve 1600 GRT'dur. Feribotta iki ana makine ve üç yardımcı makine bulunmaktadır. Tablo 1'de ölçüm yapılan ana makinenin özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 1. Ana makine özellikleri.

Parametre	Değer
Makine Devri (rpm)	750
Makine Gücü (kW)	883
Yakıt Tüketimi (g/kWh)	198
Çap (mm)	242
Strok (mm)	320
Sıkıştırma Oranı	12,06:1

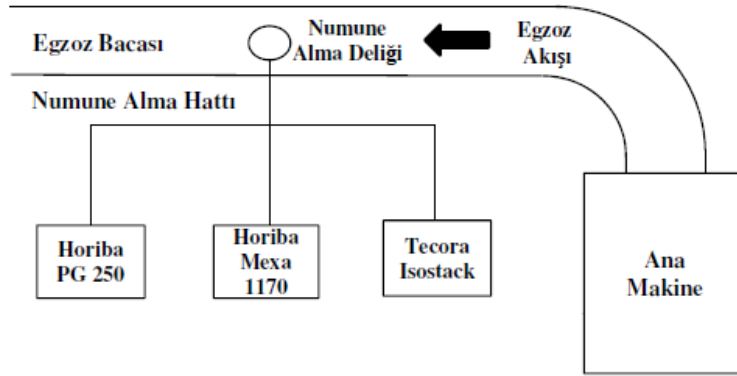
Ölçümler sırasında yaklaşık 5 ppm sülfür oranlı dizel yakıt kullanılmıştır. Tablo 2'de kullanılan yakıtın özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 2. Yakıt özellikleri.

Parametre	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	831,1
Su İçeriği (mg/kg)	48
Sülfür İçeriği (mg/kg)	4,4
Setan Sayısı	58,6

Numune alımı, ana makinenin bacasından dört farklı makine yükü için gerçekleştirilmiştir. Ölçümler IMO MARPOL Ek VI NO_x Teknik Dokümanı E2 test tipine uygun olarak yapılmıştır (IMO, 2009).

Öncelikle şaft gücü ölçüm sistemi şaft üzerine yerleştirilmiş ve ölçümler boyunca şaft gücü gözlenmiştir. Egzoz sıcaklığı, nemi ve basınç farkı ölçülmüştür. Ayrıca, ortam sıcaklığı, basıncı ve nemi ölçülmüştür. Şekil 1’de deney düzeneği sunulmuştur..

**Şekil 1.** Deney düzeneği.

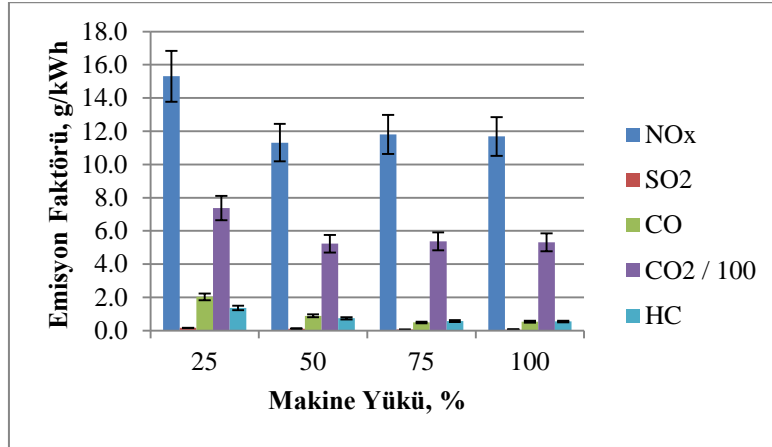
Ölçümler E2 test tipine göre sabit koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Baca gazından direkt olarak NO_x, SO₂, CO, CO₂ ve O₂ konsantrasyonları Horiba PG-250 gaz analizörü kullanılarak %25, %50, %75 ve %100 makine yüklerinde ölçülmüştür. Yanmamış hidrokarbonlar Horiba Mexa 1170 cihazı ile ölçülmüştür. Partikül maddelerin toplanmasında Tecora Isostack Basic cihazı kullanılmıştır. Partiküller 47 mm çapındaki filtreler üzerinde toplanmıştır. Bu filtreler laboratuvarında ölçüm öncesi ve sonrası tartılarak partikül madde kütlesi elde edilmiştir. Numune alma işlemi her bir yük değeri için izokinetik şartları sağlayarak yaklaşık 30 dakika sürmüştür. Numune alma esnasında izokinetik sapma ISO 9096 Sabit Kaynak Emisyonları – Tanecikli Maddenin Kütle Derişiminin Tayini standardına uygun bir şekilde %10’nun altındadır (ISO9096, 2003).

3. Sonuçlar

Emisyon faktörleri, ölçülen gaz konsantrasyonları, şaft gücü ve egzoz debisi kullanılarak g/kWh olarak hesaplanmıştır. Her bir makine yükü için makine fren gücü şaft üzerine sabitlenen strengyeçler ile ölçülmüştür. Devir düşürücüden kaynaklanan kayıplar %5 olarak kabul

edilmiştir. Her bir gaz emisyonu ve partikül madde için NO_x Teknik Dokümanındaki E2 test çevrimini yöntemi kullanılarak ağırlıklı emisyon faktörleri hesaplanmıştır.

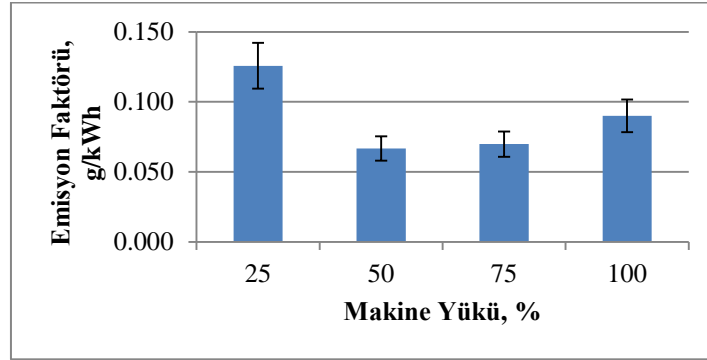
NO_x, SO₂, CO₂, CO ve HC emisyonları için ağırlıklı emisyon faktörleri Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Ana makine için farklı makine yüklerindeki emisyon faktörleri.

Şekilde görüldüğü gibi değişik makine yüklerindeki NO_x emisyon faktörleri 11 ile 17 g/kWh arasındadır. Azot oksit emisyonları genellikle yanma sıcaklığına bağlıdır, bu sebeple makine yükünün artmasıyla NO_x emisyonları artmaktadır. Buna rağmen, % 25 makine yükünde azot oksit emisyon faktörü en yüksek olarak elde edilmiştir. Bunun sebebi yetersiz hava/yakıt karışımı olabilir (EPA, 1999). Karbonmonoksit emisyonları tam yanma olmadığında oluşmaktadır. En yüksek CO emisyon faktörü % 25 makine yükünde elde edilmiştir. Bunun sebebi, yanma odasındaki düşük sıcaklıkların yakıt atomizasyonuna olan etkileri olabilir. Karbondioksit ve sülfürdioksit emisyonları yakıtın özelliğine bağlıdır. Ölçüm sonuçları bu teori ile birebir uyumlu değildir. Bunun sebebi ise yetersiz atomizasyon, düşük yanma sıcaklığı, yanma odasındaki ısı kayıpları gibi düşük yüklerdeki makinenin çalışma şartlarına bağlı olabilir. Yanmamış hidrokarbon emisyonları yakıtın tam yanmamasından kaynaklanır. Sonuçlara göre düşük yüklerde HC emisyonları yüksektir.

Partikül madde emisyonlarına ait ölçüm sonuçları Şekil 3’te sunulmuştur. Partikül madde emisyonları çoğunlukla yakıtın sülfür içeriğine bağlıdır. Çok düşük sülfürlü yakıt kullanıldığı için sonuçlar düşük çıkmıştır. Ağırlıklı PM emisyon faktörü 0,0079 g/kWh olarak hesaplanmıştır. % 25 makine yükünde en yüksek PM emisyon faktörü elde edilmiştir. Bunun sebebi düşük yüklerdeki makinenin yanma veriminin partikül madde oluşumunu etkilemesidir. Ölçüm belirsizliği % 10-12 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Toplam partikül madde emisyon faktörleri.

Çalışmanın ikinci bölümünde ölçüm sonucunda elde edilen emisyon faktörleri kullanılarak feribottan yayılan yıllık emisyonlar hesaplanmıştır. Feribotun yıllık sefer bilgileri işletme firmasından alınmıştır. Feribot günde 21 ile 27 sefer yapmaktadır ve 2015 yılında toplam 8725 sefer yapmıştır. Bu şekilde aynı bölgede çalışan 18 feribot bulunmaktadır. Açıkça görülüyor ki bölgedeki lokal gemi trafiği oldukça yüksektir. Şekil 4 Marmara Denizi'ndeki gemi trafiğini göstermektedir.



Şekil 4. Marmara Denizi'ndeki gemi trafiği.

Seyir, manevra ve liman süreleri göz önünde bulundurularak feribotun yıllık olarak yaydığı egzoz gazı emisyonları hesaplanmıştır. Bütün bu bilgiler ışığında NO_x , SO_2 , CO_2 , CO ve HC emisyonları yıllık olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre 2015 yılında feribottan 97 ton NO_x emisyonu, 0.77 ton SO_2 emisyonu, 4467.3 ton CO_2 emisyonu, 6.2 ton CO emisyonu ve 5.6 ton HC emisyonu yayılmıştır.

4. Değerlendirme

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde seyir yapan çok düşük sülfürlü yakıt kullanan feribottan yayılan egzoz gazı emisyonları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlara göre ağırlıklı ortalama NO_x emisyonu 11.91 g/kWh olarak elde edilmiştir. Bu değer, bu feribotun sağlaması gerektiği IMO MARPOL Ek VI limit değeri olan 11,97 g/kWh değerinin altındadır. SO_2 emisyonları kullanılan yakıtın sülfür miktarının az olmasından dolayı oldukça düşüktür. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere en yüksek emisyon değerleri makinenin düşük yüklerinde elde edilmiştir.

Feribotun yıllık olarak yaydığı emisyonlar ise 97 ton NO_x, 0.77 ton SO₂, 4467.3 ton CO₂, 6.2 ton CO ve 5.6 ton HC olarak belirlenmiştir. Sonuçlardan açıkça görüldüğü üzere Marmara Denizi'nde gemi kaynaklı emisyonların bölgesel hava kalitesine ve toplum sağlığına etkileri büyüktür.

Marmara Denizi'nde artan deniz trafiğiyle gemilerin hava kirliliğine olan etkileri artmaktadır. Bu nedenle, gemi kaynaklı emisyonların çevre ve insan sağlığına olan etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Emisyonla ilgili özellikle deneysel çalışmalar deniz trafiğinin bölgesel ve küresel hava kalitesine etkilerini öngörmek ve azaltmak için faydalıdır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada her türlü yardımlarını esirgemeyen feribot işletme firmasına ve gemi personeline teşekkür ederiz. Ayrıca Kalkınma Bakanlığı'na ve İstanbul Kalkınma Ajansı'na 'İstanbul'da Gemi Emisyonları Ölçümünde Hizmet Verecek Akredite Bir Laboratuvarın Geliştirilmesi ve BİT Destekli Eğitim (İSTKA/2012/BTK0004)' projesine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar:

Adamo, F., G. Andria, G. Cavone, C. De Capua, A. M. L. Lanzolla, R. Morello and M. Spadavecchia (2014). "Estimation of ship emissions in the port of Taranto." Measurement **47**: 982-988.

Agrawal, H., W. A. Welch, S. Henningsen, J. W. Miller and D. R. Cocker (2010). "Emissions from main propulsion engine on container ship at sea." Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) **115**(D23).

Agrawal, H., W. A. Welch, J. W. Miller and D. R. Cocker (2008). "Emission measurements from a crude oil tanker at sea." Environmental science & technology **42**(19): 7098-7103.

Cofala, J., M. Amann, C. Heyes, F. Wagner, Z. Klimont, M. Posch, W. Schöpp, L. Tarasson, J. E. Jonson and C. Whall (2007). "Analysis of policy measures to reduce ship emissions in the context of the revision of the national emissions ceilings directive." Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.

Cooper, D. (2001). "Exhaust emissions from high speed passenger ferries." Atmospheric Environment **35**(24): 4189-4200.

Corbett, J. J., P. S. Fischbeck and S. N. Pandis (1999). "Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships." Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) **104**(D3): 3457-3470.

Corbett, J. J. and H. W. Koehler (2003). "Updated emissions from ocean shipping." Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) **108**(D20).

Deniz, C. and Y. Durmuşoğlu (2008). "Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey." Science of the total environment **390**(1): 255-261.

Endresen, Ø., S. Dalsøren, M. Eide, I. Isaksen and E. Sørård (2008). The environmental impacts of increased international maritime shipping—Past trends and future perspectives. Proceedings of the Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World, Guadalajara, Mexico, November.

Entec (2002). "Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community." Report for the European Commission. Entec UK Limited, Northwich, Great Britain.

EPA (1999). "Technical Bulletin, Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How They Are Controlled." US Environmental Protection Agency Washington, DC.

Ergin, S. (2011). "Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Projesi Sonuç Raporu."

Eyring, V., J. J. Corbett, D. S. Lee and J. J. Winebrake (2007). "Brief summary of the impact of ship emissions on atmospheric composition, climate, and human health." Document submitted to the Health and Environment sub-group of the International Maritime Organization 6.

Eyring, V., H. Köhler, J. Van Aardenne and A. Lauer (2005). "Emissions from international shipping: 1. The last 50 years." Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012) 110(D17).

Friedrich, A., F. Heinen, F. Kamakate and D. Kodjak (2007). "Air pollution and greenhouse gas emissions from ocean-going ships: impacts, mitigation options and opportunities for managing growth." The International Council on Clean Transport (ICCT).

ICCT (2011). Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships, The International Council on Clean Transport (ICCT).

IMO (2000). "Study on greenhouse gas emissions from ships." MT Rep. Mtoo A23-038. Trondheim, Norway: MARINTEK.

IMO (2009). Revised MARPOL Annex VI: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO_x Technical Code 2008, International Maritime Organization.

ISO9096 (2003). "International Standards Organisation, ISO 9096, Stationary Source Emissions—Determination of concentration and mass flow rate of particulate material in gas-carrying ducts".

Kesgin, U. and N. Vardar (2001). "A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits." Atmospheric Environment 35(10): 1863-1870.

Marmer, E., F. Dentener, J. v. Aardenne, F. Cavalli, E. Vignati, K. Velchev, J. Hjorth, F. Boersma, G. Vinken and N. Mihalopoulos (2009). "What can we learn about ship emission inventories from measurements of air pollutants over the Mediterranean Sea?" Atmospheric Chemistry and Physics 9(18): 6815-6831.

Matthias, V., I. Bewersdorff, A. Aulinger and M. Quante (2010). "The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions." Environ Pollut 158(6): 2241-2250.

Moldanová, J., E. Fridell, O. Popovicheva, B. Demirdjian, V. Tishkova, A. Faccinnetto and C. Focsa (2009). "Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine." Atmospheric Environment **43**(16): 2632-2641.

Uriondo, Z., C. V. D. Grados, M. Clemente, J. M. Gutiérrez and L. Martín (2011). "Effects of charged air temperature and pressure on NOx emissions of marine medium speed engines." Transportation research Part D: Transport and environment **16**(4): 288-295.

Viana, M., N. Fann, A. Tobias, X. Querol, D. Rojas-Rueda, A. Plaza, G. Aynos, J. Conde, L. Fernández and C. Fernández (2015). "Environmental and Health Benefits from Designating the Marmara Sea and the Turkish Straits as an Emission Control Area (ECA)." Environmental science & technology **49**(6): 3304-3313.

Viana, M., P. Hammingh, A. Colette, X. Querol, B. Degraeuwe, I. d. Vlioger and J. van Aardenne (2014). "Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe." Atmospheric Environment **90**: 96-105.

Winnes, H. and E. Fridell (2009). "Particle emissions from ships: Dependence on fuel type." Journal of the Air & Waste Management Association **59**(12): 1391-1398.

Winnes, H. and E. Fridell (2010). "Emissions of NOX and particles from manoeuvring ships." Transportation Research Part D: Transport and Environment **15**(4): 204-211.

Winnes, H., J. Moldanova, M. Anderson and E. Fridell (2014). "On-board measurements of particle emissions from marine engines using fuels with different sulphur content." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment.

Yang, D.-q., S. H. Kwan, T. Lu, Q.-y. Fu, J.-m. Cheng, D. G. Streets, Y.-m. Wu and J.-j. Li (2007). "An emission inventory of marine vessels in Shanghai in 2003." Environmental science & technology **41**(15): 5183-5190.

Yau, P. S., S. C. Lee, J. J. Corbett, C. Wang, Y. Cheng and K. F. Ho (2012). "Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong." Sci Total Environ **431**: 299-306.

