

KANAL İSTANBUL PROJESİ SONRASI DENİZ YOLU TRAFİĞİNİN KENT ATMOSFERİNDE NEDEN OLACAĞI HAVA KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Esra ÖZDEMİR¹, Gizem TUNA TUYGUN^{1(*)}, Tolga ELBİR¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Çalışma kapsamında, İstanbul Boğazı'ndan geçen yük gemileri ile şehir içi hatlarda toplu taşıma yapan vapur ve feribot trafiğinin bölge hava kalitesine katkısının belirlenmesi ve yakın zamanda gerçekleştirilmesi planlanan Kanal İstanbul projesi sonrası hava kalitesinde beklenen değişimin bir matematiksel hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada AERMOD dağılım modeli kullanılmış ve dört temel hava kirletici (SO₂, CO, NO_x ve PM₁₀) için konsantrasyon hesapları yapılmıştır. Boğazdaki denizyolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar için bir emisyon envanteri hazırlanmış olup, envanterin hazırlanmasında gerekli olan yük gemisi trafiğine ait bilgiler (yıllık geçiş sayıları, yakıt tüketim bilgisi, vb.) T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı'ndan şehir içi hatlara ilişkin bilgiler ise (seyir süreleri, taşıt türü, hareket saatleri, vb.) İstanbul Şehir Hatları'ndan temin edilmiştir. Bu veriler literatürde yer alan emisyon faktörleri ile ilişkilendirilerek hava kirletici emisyonlar tahmin edilmiştir. Kanal İstanbul projesi planlama aşamasında bir proje olduğu için kanalın nihai güzergahı henüz resmi olarak açıklanmamış olmakla birlikte 30.04.2014 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan bir karara göre kanalın Küçükçekmece-Arnavutköy hattında yer alması ve İstanbul Boğazı'ndan transit geçiş yapan yük gemilerinin tamamının yeni kanaldan geçmesi planlanmaktadır.

Çalışma sonuçlarına göre; İstanbul Boğazı'ndaki mevcut denizyolu trafiğinden (transit yük gemileri ve şehir içi hatlardaki taşıtlar) kaynaklanan toplam emisyonlar NO_x için 6.519 ton/yıl, CO için 623 ton/yıl, PM₁₀ için 125 ton/yıl ve SO₂ için 2.525 ton/yıl iken kanalın hizmet vermeye başlaması sonrası ise NO_x, CO ve PM₁₀ emisyonlarının yaklaşık %95'inin kanala aktarılacağı ve kükürt içeriği düşük yakıtların kullanılmaya başlaması sebebi ile de transit yük gemilerinden kaynaklanan SO₂ emisyonlarının %67'sinin yeni kanala aktarılacağı görülmektedir. Bu durumda Boğazda sadece vapur ve feribot faaliyetlerinden kaynaklı emisyonların kalacağı kabul edilmiştir. Boğazdaki balıkçılık ve özel yat faaliyetleri küçük trafik yoğunlukları nedeniyle çalışmaya dahil edilmemiştir. Mevcut boğaz trafiğinin sebep olduğu en yüksek yıllık NO_x, SO₂, PM₁₀ ve CO konsantrasyonları sırasıyla 142 µg/m³, 60 µg/m³, 2,7 µg/m³ ve 15 µg/m³ olarak Üsküdar kıyıları açıklarında gözlemlenirken Kanal İstanbul projesi sonrası en yüksek yıllık NO_x, SO₂, PM₁₀ ve CO konsantrasyonlarının sırasıyla 156 µg/m³, 38,5 µg/m³, 3 µg/m³ ve 15 µg/m³ olacağı belirlenmiştir. Her ne kadar kanaldan geçecek olan gemiler kükürt içeriği düşük olan yakıt kullanacak olsalar da yeni durumda oluşacak yüksek SO₂ konsantrasyonlarına yüksek kükürt içerikli yakıt kullanan şehir içi hatlar sebep olacaktır. Kanal projesi ile beraber daha önce denizyolu trafiği kaynaklı kirlilikten düşük mertebelerde etkilenen bazı ilçe merkezlerinde (Küçükçekmece, Arnavutköy, Çatalca vd.) yüksek kirletici konsantrasyonlarının görülmesi beklenmektedir. Boğazda ise; azalan yük gemisi trafiği sonrası sadece şehir içi hatlardaki trafikten kaynaklanması beklenen en yüksek yıllık ortalama NO_x, SO₂, PM₁₀ ve CO konsantrasyonları ise sırasıyla 72 µg/m³, 38 µg/m³, 1,4 µg/m³ ve

(*) gizem.tuna@deu.edu.tr

9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler genellikle şehir içi hatların yoğun olduğu Üsküdar çevresinde görülmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Gemi emisyonları, Emisyon envanteri, Hava kalitesi modellemesi, İstanbul Boğazı, Kanal İstanbul

ABSTRACT

In this study, contribution of current air pollutant emissions from both the ships passing through Istanbul Bosphorus and the ferries used for public transportation on the Bosphorus to urban air quality was firstly studied using a mathematical air quality dispersion model. Secondly, future air quality after implementation of the Canal Istanbul project was also estimated. AERMOD dispersion model was used for determination of four major air pollutants concentrations (SO_2 , CO, NO_x and PM_{10}). An emission inventory was prepared for maritime traffic in the Bosphorus. Data on transit transport ships (the annual number of transition, fuel consumption, etc.) was obtained from The Undersecretariat of Maritime Affairs. Data on ferries used for public transportation (travel time, type of ferry, timetable of rounds, etc.) was also provided from İstanbul Şehir Hatları. Air pollutant emissions were calculated using the collected data on maritime vehicle activities and the selected emission factors from literature. Although the final location of Canal Istanbul has not been decided yet, it was roughly indicated in a Turkish legislation dated on April 30, 2014. It indicates that the Canal Project will be located at the line between Küçükçekmece and Arnavutköy and it was assumed that all transit transport ships passing through the Bosphorus will be transferred to the new canal.

The results indicate that the emissions arising from the all current marine traffic in the Bosphorus (transit transport ships and ferries) were calculated as 6,519 t/y for NO_x , 623 t/y for CO, 125 t/y for PM_{10} and 2,525 t/y for SO_2 . After the Canal Project approximately it was assumed that 95% of NO_x , CO, PM_{10} and 67% of SO_2 emissions originated form transit transport ships will be transferred to the canal and only emissions from the ferry activities will be available in the Bosphorus. Fishing and private yacht activities in the Bosphorus were not included in the study due to their small traffic densities. Dispersion modeling results indicated that the highest annual NO_x , SO_2 , PM_{10} and CO concentration were observed in Üsküdar coastal areas as 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for current Bosphorus traffic respectively and they were expected as 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 38.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ after the Canal Project on the site located at canal route. Although the ships that will pass through the channel will use fuel with a low sulfur content, the high SO_2 concentrations will occur because of ferries used for public transportation using high sulfur content fuel. However, higher concentrations were observed in some districts (Küçükçekmece, Arnavutköy, Çatalca, etc.), around the canal which had been previously affected by low concentrations of maritime transportation and the highest annual average concentration for NO_x , SO_2 , PM_{10} and CO from only ferry activities was excepted as 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ around Uskudar after the Canal project.

KEYWORDS

Shipping emissions, Emission inventory, Air quality modeling, İstanbul Bosphorus, Canal İstanbul

1. GİRİŞ

Artan ticari ilişkiler ülkeler arasında taşımacılık faaliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Günümüzde denizyolu taşımacılığı, daha ekonomik olması, büyük miktardaki yüklerin gemilerle taşınabilmesi ve kara bağlantısı olmayan bölgeler arasında taşımacılığı mümkün hale getirmesi nedeniyle diğer taşımacılık türleri arasında en çok tercih edilen ulaşım yoludur. Gemi sayısındaki artış ile birlikte 1970-2012 yılları arasında dünya gemi filosunun tükettiği yakıt yaklaşık olarak 2 kat artarken, aynı dönemde deniz taşımacılığı ile yapılan iş, taşınan yük ve yükün taşıma mesafesi yaklaşık 5 kat artmıştır (Smith vd., 2014).

Günümüzde gittikçe artış gösteren gemi trafiğinin ve buna bağlı artış gösteren yakıt tüketiminin SO₂ ve NO_x emisyonları üzerindeki katkısı oldukça yüksektir (Aström ve Ab, 2008). Gemi faaliyetleri sonucu NO_x konsantrasyonlarının yüksek olmasının nedeni; birçok deniz motorunun çok yüksek sıcaklık ve basınçta altında çalışmasıdır ve emisyon kontrol sistemlerine sahip olmamasıdır. SO₂ emisyonlarının kaynağı ise; yüksek kükürt içeren ağır yakıtların kullanılmasıdır. Gemiler büyük kamyonlara nazaran daha verimli yakıt kullanmalarına rağmen kara trafiğinin 5-26 katı kadar SO_x salınımında bulunurlar (Aström ve Ab, 2008). Ayrıca, taşınan yük ve mesafe başına gemilerin yaydığı emisyon değerleri göz önüne alındığında, deniz taşımacılığı kara ve hava taşımacılığına göre en temiz taşımacılık şekli olarak görülmesine rağmen gemi başına düşen emisyon değerleri yine de yüksektir (İSTKA, 2014). Gemi kaynaklı emisyonlar atmosferde kaynaklarından kilometrelerce uzağa taşınabilmekte ve yerel, bölgesel ve küresel ölçekte hava kalitesine etki edebilmektedir (EC, 2010).

Yerel ölçekli gemi emisyonu çalışmaları kapsamına liman bölgeleri, boğazlar, kanallar ve küçük ölçekli körfezler girmektedir. Bu bölgelerde yapılan gemi manevraları sırasında daha fazla emisyon meydana gelmekte, gemilerin demirleme ve liman sürelerinin de uzun olması nedeniyle yüksek emisyon değerlerinin olduğu gözlemlenmektedir (Kılıç, 2014). Deniz yolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların yaklaşık %70'inin kıyı şehirlerinde ve liman bölgelerinde gözlemlendiği belirlenmiştir (EC, 2010). Bu nedenle, kıyı kesimlerine ve limanlara sahip şehirlerde yaşayan nüfus için deniz yolu taşıtlarından kaynaklanan hava kirliliğinin boyutu daima merak edilmiştir. Literatürde Avrupa'daki büyük kıyı kentleri ve limanlardan kaynaklanan hava kirletici emisyonların belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Founier, 2006; Jalkanen vd., 2009; EC, 2010; EEA, 2013a; Viana vd., 2014; Zhang vd., 2017; López-Aparicio vd., 2017). Çalışmalar, daha çok Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından emisyon kontrol bölgesi ilan edilen Baltık Denizi ve Kuzey Denizi üzerinde yoğunlaşmaktadır. López-Aparicio vd. (2017) tarafından Oslo Limanı'nda gerçekleştirilen envanter çalışmanın sonuçlarına göre; bölgede başta uluslararası yolcu taşıyan feribotlar ve yük taşıyan konteynır gemileri olmak üzere transit geçiş yapan büyük gemileri %63-78 katkı oranı ile NO_x, PM₁₀ ve SO₂ emisyonlarına en çok katkı koyan kirletici kaynak grubudur. Bunların yanında bölgedeki emisyonlara en çok katkısı olan gemi türü bölgede yerel trafiği sağlayan yolcu gemileridir.

Türkiye'de özellikle Marmara Bölgesi, yoğun nüfusu, çok sayıda endüstriyi içinde barındırması, kısıtlı alanlarda gerçekleştirilen her çeşit taşımacılık faaliyetleri ile önemli bir bölgedir. Taşımacılık sektörü açısından Marmara Bölgesi Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlamakta, aynı zamanda Kuzey ülkeleriyle de Akdeniz arasında bir bağlantı oluşturmaktadır. Karadeniz' in

dünya denizleri ile olan tek bağlantısını Marmara Denizi ve Türk Boğazları sağlamaktadır (Kılıç, 2014). Bu durum, Karadeniz'e kıyısı olan devletlerin dünya ile olan deniz ticareti sebebiyle Marmara Denizi ve Türk Boğazları uğraklı ve uğraksız geçiş yapan ticari yük gemileri ve şehir içi seferler gerçekleştiren yolcu gemilerinin oluşturduğu yoğun bir deniz trafiğine sahiptir. Bu trafik yükü özellikle Türkiye'nin en yoğun nüfusuna sahip bölgesi olan İstanbul'da mevcut olan emisyonların etkilerini daha da arttırmaktadır (Kılıç, 2014).

Yılda ortalama 45.000 geminin geçiş yaptığı İstanbul Boğazı, deniz yolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi konusunda çeşitli çalışmaların yapıldığı bir bölgedir (Kesgin ve Vardar, 2001; Deniz ve Durmuşoğlu, 2008; İSTKA, 2014; Kılıç, 2014; Durmaz, 2015). Kesgin ve Vardar (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İstanbul ve Çanakkale Boğazı'nda faaliyet gösteren hem transit geçiş yapan ticari gemilerden hem de şehir içi hatlarda yolcu taşımacılığı yapan gemilerden kaynaklanan NO_x, CO, CO₂, VOC, PM emisyonları tahmin edilmiştir. Bu çalışmaya göre; İstanbul Boğazı'ndan geçen gemilerden kaynaklanan NO_x emisyonu miktarı İstanbul'un karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonların %10'u kadardır. Deniz ve Durmuşoğlu (2008) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada İstanbul ve Çanakkale Boğazları dikkate alınarak Marmara Denizi'ndeki transit geçiş yapan ticari yük gemilerinden kaynaklanan emisyonlar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmaya göre; bu bölgede gemilerden kaynaklanan NO_x, PM₁₀ ve CO emisyonları sırasıyla Türkiye karayollarından kaynaklanan toplam emisyonların %46'sı, %25'i ve %1,5'i kadardır (Deniz ve Durmuşoğlu, 2008). Kılıç (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise; Marmara Bölgesi'ndeki gemi trafiğinden kaynaklanan emisyonlar için kapsamlı bir envanter çalışması gerçekleştirilmiş ve emisyonların bölge hava kalitesine etkileri CMAQ modeli kullanılarak belirlenmiştir. Durmaz (2015) tarafından yapılan çalışmada ise; Marmara Denizi'nde yolcu ve araç taşımacılığı yapan tipik bir feribottan yayılan egzoz emisyonları deneysel metotlar ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'ndaki mevcut deniz yolu trafiğini azaltmak ve olası deniz kazalarının önüne geçmek amacıyla gerçekleştirilmesi planlanan Kanal İstanbul projesinin bölge hava kalitesinde neden olacağı değişim bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında mevcut boğaz trafiğinden (transit yük/kargo gemisi ve şehir içi vapur/feribot seferleri) kaynaklanan emisyonlar hesaplanmış, bir hava kalitesi dağılım modeli ile bu emisyonların bölge hava kalitesine katkıları belirlenmiş ve böylece bölgedeki mevcut deniz yolu kaynaklı hava kalitesi ortaya konmuştur. İkinci aşamada ise Kanal İstanbul projesi sonrası hem boğazda hem de yeni kanalda oluşacak yeni deniz yolu trafiğine göre bölge hava kalitesine katkılar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında henüz planlama aşamasında olan Kanal İstanbul projesinin hayata geçirilmesiyle kentte beklenen hava kalitesi seviyelerinin önceden tahmin edilmesine dair bir çalışma literatürde ilk kez yer almaktadır. Ayrıca, daha önce Marmara Denizi ve Türk Boğazlarında yer alan mevcut denizyolu trafiği için yapılan emisyon envanteri çalışmaları literatürde mevcut olsa da özellikle şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonların hava kalitesine katkı değerleri belirlenmemiştir. Çalışma bu yönüyle de literatüre katkı sağlamaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul Boğazı, Karadeniz ile Marmara Denizi'ni birleştiren bir suyoludur. İstanbul'un Rumeli (Avrupa) ve Anadolu (Asya) yakalarını birbirinden ayırır. Uzunluğu yaklaşık 30 kilometre olup

(Karadağ, 2011). Uluslararası deniz taşımacılığında kullanılan dünyadaki en dar suyollarından biridir. Boğaz, yapısı itibariyle kıvrımlı bir görünüme sahip olup açılı 45° ve 80° arasında değişen 12 adet keskin dönüşü bulunmaktadır (Birpınar, 2008). İstanbul Boğazı'nın en geniş yeri Anadolu Feneri ile Rumeli Feneri arasında 3600 m iken en dar yeri Anadolu Hisarı ile Rumeli Hisarı arasında 760 metredir. Boğazın en derin yeri ise Bebek ile Kandilli arasında 120 metredir (Karadağ, 2011).

Boğaz deniz taşımacılığı bakımından ülkede önemli bir yere sahiptir. Her yıl binlerce gemi boğazdan geçerek yoğun taşımacılık faaliyetleri gerçekleştirilmekte olup son yıllarda trafik hacmi çok kritik ve tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. 1936 yılında İstanbul Boğazı'ndan günde yalnız 17 gemi geçmekte iken, günümüzde İstanbul Boğazı'ndan geçen gemi sayısı günde ortalama 125'tir. Diğer bir ifadeyle, Montrö Sözleşmesinin imzalandığı 1936 yılından bu yana Türk Boğazlarından geçen gemi sayısı yaklaşık 7 kat artmıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2016). Yılda ortalama 45.000 geminin geçtiği Boğazdan geçiş yapan 17 farklı gemi türü bulunmaktadır (T.C. UHB, 2016). Bunlar arasında en fazla geçiş yapan gemi türü akaryakıt tankerleri ve dökme yük gemilerinin oluşturduğu genel kargo gemileridir (T.C. UHB, 2016). 2012-2015 yılları arasında Boğazdan geçen gemi türleri ve sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2012-2015 yılları arasında Boğazdan geçen gemi türleri ve geçiş sayıları

Gemi türleri	Yıllar			
	2012	2013	2014	2015
Barç (Barge / Barge Carrier)	2	19	12	17
Dökme Yük Gemisi (Bulk Carrier)	7,163	6,898	7,263	7,485
Çimento Gemisi (Cement Carrier)	2	1	4	8
Konteyner Gemisi (Container Ship)	2,707	2,868	3,073	2,664
Uluslararası Feribotlar (International Ferry)	1	1	4	2
Genel Kargo Gemisi (General Cargo Ship)	27,126	25,521	24,107	22,412
Canlı Hayvan Taşıyan Gemi (Livestock Carrier)	390	432	391	434
Savaş Gemisi (Naval)	129	196	237	318
Yolcu Gemisi (Passenger Ship)	583	474	649	444
Frigorifik Gemi (Refrigerated Cargo Carrier)	248	204	65	24
Ro-ro Gemi (Roll on Roll of Vessel)	492	406	431	377
Türü Belirtilmemiş Tanker (Other Tanker, TTA)	5,912	5,685	5,587	5,825
Kimyasal Yük Taşıyan Tanker (Chemical Tanker, TCH)	1,779	1,561	1,618	1,576
Gaz Tankeri (Liquefied Petroleum Gas/Natural Gas Tanker, LPG/LNG)	1,336	1,760	1,540	1,232
Römorkör (Tug)	274	241	231	282
Araç Taşıyan Gemi (Vehicle Carrier)	37	47	93	17
Diğer (Other)	148	218	224	427
Toplam / Total	48,329	46,532	45,529	43,544

İstanbul Boğazı'nda transit yük gemisi trafiğine ek olarak İstanbul Şehir Hatları Turizm San. Tic. A.Ş. (İŞH) tarafından işletilen yoğun bir yerel deniz trafiği bulunmaktadır. İŞH, İstanbul'un deniz ulaşımına ve trafik sorununun çözümüne katkıda bulunmak amacıyla İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı tarafından 2010 yılında kurulan ve İstanbul Boğazı, Adalar ve Haliç'te toplu taşıma hizmetinin yanı sıra taşımacılık ile ilgili tamamlayıcı hizmetleri vermekle yükümlü bir işletmedir (İŞH, 2016). Bir günde İstanbul şehrinin iki yakası arasında 29 farklı güzergahta karşılıklı sefer yapan şehir hatları gemileri, deniz otobüsleri ve botlarının oluşturduğu sefer sayısı 2.500'ü aşmaktadır. 2015 yılında ise toplam sefer sayısı 295.560 olarak gerçekleşmiştir (İŞH, 2016). Ayrıca çok sayıda balıkçı teknesi ile özel deniz vasıtaları da bu su yolunu sürekli kullanmaktadırlar.

Büyük boyutlara sahip yük gemilerinin İstanbul Boğazı'ndan geçişi sırasında zaman zaman kazalar meydana gelmektedir. Bunun en önemli nedenleri, İstanbul Boğazı'nın kıvrılarak uzanan dar bir su yolu olması, artan trafik yoğunluğu ve zaman zaman kılavuz kaptan kullanılmamasıdır (Taşlıgil, 2004). İstanbul Boğazı'ndaki yoğun gemi trafiğini azaltmak için Karadeniz ile Marmara Denizi arasında ikinci bir su yolu açılması gündemdedir. Kanal İstanbul adının verilmesi planlanan bu su yolu ile boğazın mevcut trafik yoğunluğunun ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır (İstanbul SMD, 2017). Başta İstanbul Boğazı'ndan sayıca en çok geçen gemi türü olan kargo gemileri ve akaryakıt taşıyan tankerler ile büyük tonajlı yük gemileri olmak üzere boğazdan transit olarak geçiş yapan tüm gemilerin kanala kaydırılması, boğazda ise sadece şehir içi hatlarda yolcu taşıyan vapurlarının ve feribotlarının hizmet vermesi hedeflenmektedir (İstanbul SMD, 2017).

Yapılması planlanan yeni kanalın uzunluğu yaklaşık olarak 43 km, genişliği 400 m ve derinliği de 25 m olacaktır (İstanbul SMD, 2017). Kanal, İstanbul kentinin Avrupa yakasında yer alacak olup Küçükçekmece ve Arnavutköy bölgelerini birbirine bağlayacaktır (İstanbul SMD, 2017).

3.GEREÇ VE YÖNTEM

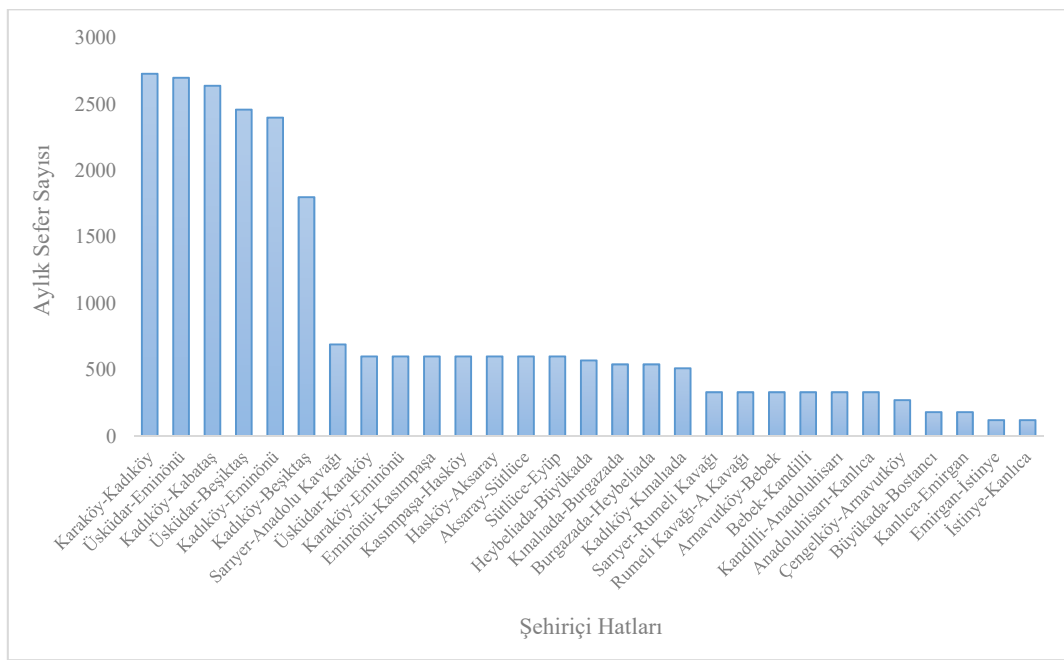
3.1. Emisyon envanteri

Çalışmada öncelikle Boğazdan geçen gemilere ait çeşitli bilgiler toplanmıştır. Geçiş yapan gemilerin türleri ve yıllık sefer sayıları T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı'ndan temin edilmiştir. Boğazdan geçiş yapan gemi sayısı 2015 yılında 43.544'tür. En çok geçiş yapan gemi %51'lik bir oranla genel kargo gemileridir. Genel kargo gemilerini ise sırasıyla %20 ve %18'lik bir oranla tankerler ve dökme yük gemileri izlemektedir. Aylık geçiş sayıları değerlendirildiğinde; Mart, Eylül ve Aralık ayları diğer aylara göre daha yoğundur (DTGM, 2015). Gemi türlerine göre son 4 yıla ait (2011-2015) geçiş sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Boğazdaki seyir sürelerini belirlemek için Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü'nde yer alan Madde 13'de 10 deniz mili/saat olarak belirtilen seyir hızı (T.C. Başbakanlık, 1998) kullanılmış olup bu değere bağlı olarak boğazdan ortalama geçiş süresi bir gemi için yaklaşık 1,7 saat olarak hesaplanmıştır.

Gemilerin Boğazı geçerken tükettikleri yakıt miktarları Avrupa Çevre Örgütü'nün yayınladığı emisyon faktörleri veri tabanındaki (EEA, 2013) gemi türlerine göre kategorize edilmiş yakıt katsayılarının ve ortalama seyir sürelerinin kullanılması ile belirlenmiştir.

Boğaz için bir diğer kirletici kaynak grubu olan şehir içi hatlarda hizmet veren vapur, feribot ve botlar için hafta içi ve hafta sonu günlerdeki sefer saatleri ve süreleri İŞH'ye ait web sitesinden temin edilmiştir (İŞH, 2016). Boğazda farklı 29 hat bulunmaktadır. En yoğun hatlar sırasıyla, Karaköy-Kadıköy, Üsküdar-Eminönü, Üsküdar-Beşiktaş ve Kadıköy-Eminönü hatlarıdır. En az sefer yoğunluğuna sahip hatlar ise; sırasıyla Kanlıca-Emirgan, Emirgan-İstinye ve İstinye-Kanlıca hatlarıdır. Şekil 1'de hatlar bazında aylık sefer sayıları verilmiştir.

Deniz taşıtlarının ortalama hızları, her bir hat mesafesi ve seyir süresi dikkate alınarak belirlenmiştir. Aylık yakıt tüketim verileri ilgili işletmeden doğrudan temin edilmiştir. Bu bilgiler ışığında sefer başına tüketilen yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 1. İstanbul Boğazı'nda şehir içi hatlarda aylık sefer sayıları

Emisyonlar yakıt tüketim bilgileri ve emisyon faktörleri kullanılarak belirlenmiştir. Emisyon faktörü; bir taşıtın birim zamanda belirli bir hızda seyir halindeyken veya tükettiği birim yakıt başına atmosfere verdiği kirletici miktarını gösteren katsayıdır. Çalışmada dört farklı kirletici parametre (SO₂, PM₁₀, NO_x ve CO) için Avrupa Çevre Örgütü'nün emisyon faktörleri (EEA, 2013b) kullanılmıştır. Kullanılan faktörler Tablo 2'de verilmiştir. Transit yük gemileri ve şehir içi hatlar için seçilen SO₂ emisyon faktörü 2009 yılında yayınlanan akaryakıtların kükürt içeriğine sınırlandırmalar getiren yönetmeliğe uygun olarak %1,5 olarak seçilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2009). Ancak ülkemiz 2014 yılında IMO tarafından hazırlanan uluslararası bir sözleşmeye taraf olmuştur (İSTKA, 2014). Bu sözleşmeye göre Emisyon Kontrol Alanı (ECA) dışında kalan suyollarında seyreden gemilerin kükürt içeriğinin 2020 yılına kadar %0,5'e düşürülmesi gerekmektedir (EEA, 2013a). Kanal projesi tahmini olarak 2020 yılından sonra faaliyete başlayacağı için kanalı kullanacak gemilerin %0,5 kükürt içeriğine sahip yakıt kullanacakları kabulü ile SO₂ emisyonları belirlenmiştir. Kanal İstanbul projesi gerçekleştirildiğinde İstanbul

Boğazı'ndan geçiş yapan büyük gemilerin kanala kaydırılması ve Boğazda sadece şehir içi hatlardan kaynaklanan trafiğin yer alması hedeflendiği için çalışmada Boğaz için hesaplanan yük gemisi emisyonlarının NO_x, PM₁₀ ve CO için kanalda da aynı mertebede oluşacağı kabul edilmektedir. Ancak kükürt içeriğindeki değişimden dolayı transit yük gemilerinden kaynaklanan yıllık SO₂ emisyonlarında %67'lik bir azalma görülecektir. Bu değer kanal için 800 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Yeni trafik düzeninden sonra Boğazda sadece şehir içi hatlardan kaynaklanan kirliliğin görülmesi beklenmektedir.

Tablo 2. Emisyon hesaplarında kullanılan emisyon faktörleri

Gemi türü	Birim	SO ₂	PM ₁₀	NO _x	CO
Vapur	g kirletici/kg yakıt	20*%S	1,1	57	7,4
Gemi	g kirletici/kg yakıt	20*%S	1,5	78,5	7,4

*S: yakıt içindeki kükürt içeriği (%), (distile yakıt için %1,5)

3.2. Hava kalitesi modellemesi

Dispersiyon modelleri, kirletici kaynaklardan yayılan hava kirleticilerin bölgede oluşturdukları konsantrasyonları tahmin etmek için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında kirleticilerin yer seviyesindeki konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Amerikan Çevre Koruma Ajansı'nın (U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency) atmosferik dağılım modeli olan AERMOD (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) modeli kullanılmıştır (U.S.EPA, 2004).

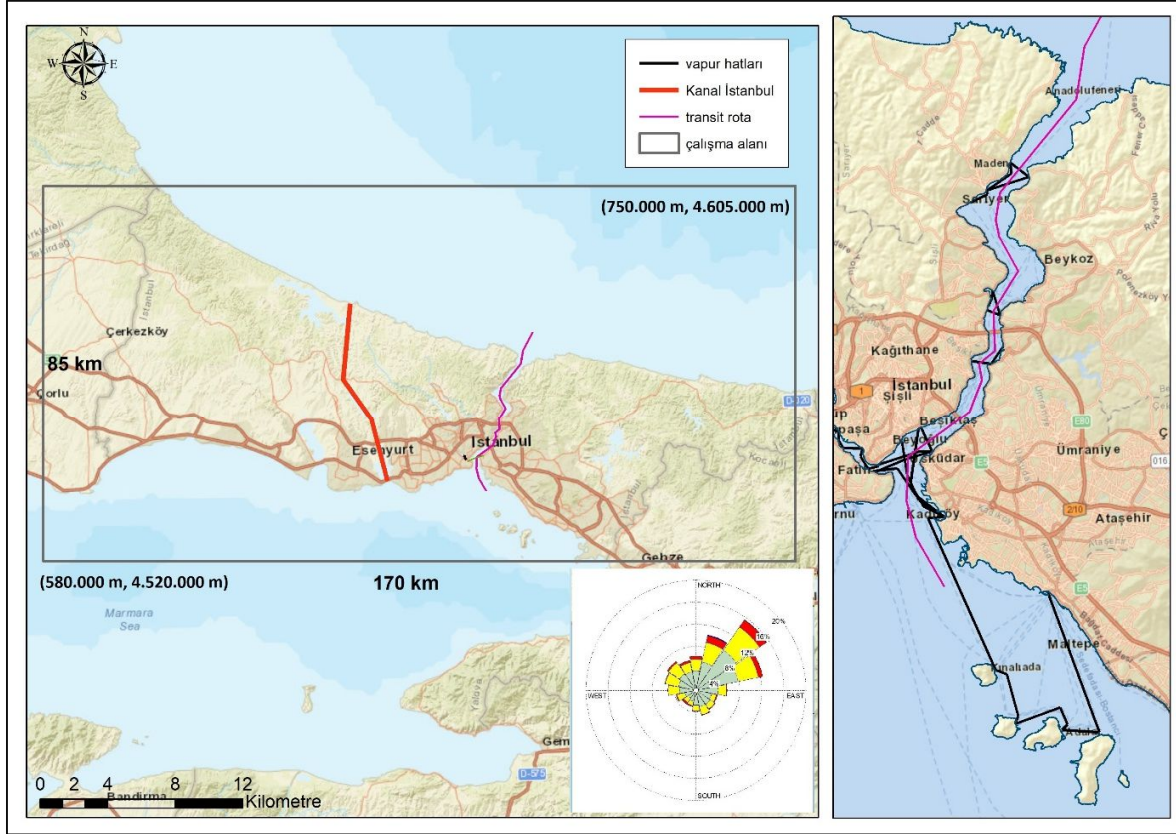
Model, mesafeli (50 km'ye kadar) hava kaynaklı kirleticilerin dağılımını amaçlayan kararlı hal Gaussian duman modelidir (U.S.EPA, 2004). AERMOD modeli emisyon verilerini kullanarak kirletici konsantrasyonlarını belirler ve bunu yaparken meteoroloji ve topoğrafya verilerine ihtiyaç duyar. AERMOD modelinde 2 farklı ön işlemci yer almaktadır. Bunlardan birisi yer seviyesi ve üst atmosfer tabakası meteoroloji verilerini işleyen meteoroloji ön işlemcisi AERMET ve diğeri ise hava kirliliği davranışları ile alan özellikleri arasında fiziksel ilişkiyi sağlamak amacıyla kullanılan topoğrafya ön işlemcisi AERMAP'tir (U.S.EPA, 2004).

Modelde kullanılan saatlik yer seviyesi ve üst katman meteoroloji verileri 17064 kodlu İstanbul Kartal merkez istasyonundan temin edilmiştir. Çalışma alanına ait topoğrafya verileri ise NASA'nın SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) veri tabanından alınmıştır (USGS, 2016).

Çalışma kapsamında hesaplanmış denizyolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar modele girdi teşkil etmiştir. Zamansal çözünürlük olarak transit yük gemileri için aylık değişimler, şehiriçi hatlar içinse hafta içi ve hafta sonu günlerine göre saatlik değişimler modele tanımlanmıştır. Veriler AERMAP ve AERMET ön işlemcileri yardımıyla modelin ihtiyaç duyduğu formatta hazırlanmış ve model çalışmaları dört farklı kirletici (SO₂, PM₁₀, NO_x ve CO) için gerçekleştirilmiştir.

Modelleme için çalışma alanı 170 km x 85 km seçilmiş ve 1 km'lik gridlere bölünmüştür. Mevcut durumun değerlendirilmesi için uydu görüntüleri ve bir coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS) yardımıyla boğazdan geçen gemilerin ve vapurların rotaları belirlenmiştir. Rotalar ArcGIS yazılımı ile sayısallaştırılırken boğazın her kıvrım yaptığı nokta bir bağlantı noktası (node) olarak kabul

edilmiş olup Boğaz rotasının toplam 15 doğrudan (arc) oluştuğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra şehir içi hatlarda 58 ve kanalda 27 ayrı doğru tanımlanmıştır. Modellemede kullanılan çalışma alanı ve kirletici kaynakların konumları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Modelleme için kullanılan çalışma alanı ve deniz yolu rotaları

4. SONUÇLAR

Çalışma sonuçlarına göre, İstanbul Boğazı’nda transit yük gemileri ve şehir içi hatlarda çalışan taşıtların oluşturduğu deniz yolu trafiğinden kaynaklanan yıllık toplam emisyonlar NO_x için 6.519 ton/yıl, SO₂ için 2.525 ton/yıl, CO için 623 ton/yıl ve PM₁₀ için 125 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam emisyonların yüksek oranda büyük motor hacimlerine sahip transit yük gemilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Tablo 3’de transit yük gemileri ve şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyon değerleri verilmiştir.

Tablo 3. İstanbul Boğazı’nda deniz yolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar, ton/yıl

Kirletici Türleri	Emisyonlar (ton/yıl)		
	Transit yük gemisi	Şehir içi hatlar	Toplam
NO _x	6.282	237	6.519
SO ₂	2.400	125	2.525
CO	592	31	623
PM ₁₀	120	5	125

Kirletici kaynakların toplam emisyonlara katkıları incelendiğinde; transit yük gemilerin tüm kirletici parametrelere olan katkısının %95 olduğu görülmektedir. Transit yük gemileri arasında en büyük katkıyı ise; geçiş sayıları yüksek ve hacimce büyük olan başta genel kargo gemileri (%42) olmak üzere sırasıyla dökme yük gemisi (%22) ve tankerler (%21,4) sağlamaktadır. Boğazı en az kullanan 4 farklı gemi türünün (barç, feribot, frigorifik gemi ve römorkör) yıllık toplam emisyonlara katkısı ise ihmal edilebilir düzeydedir (<%0,1). Boğazda her ne kadar mevsimsel olarak emisyonlar çok değişmese de değişen aylık trafikten dolayı Aralık ayında en yüksek ve Şubat ayında ise en düşük emisyonlar görülmektedir.

Şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonların %60'lık bir kısmının en yüksek ortalama sefer sayısı ve süresine sahip olan 5 farklı hattan kaynaklandığı belirlenmiştir. Tüm kirleticiler için katkı değeri en yüksek olan bu 5 hat sırasıyla Kadıköy-Kabataş (%14), Karaköy-Kadıköy (%13), Üsküdar-Eminönü (%13), Kadıköy-Eminönü (%11) ve Kadıköy-Beşiktaş (%9)'tır. Ayrıca şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonların %15'i de adalar hattından kaynaklanmaktadır. Emisyonlara en az katkısı olan hat ise Kanlıca-Emirgan hattıdır (%0,2). Emisyonların vapur seferlerinin yoğun olduğu hafta içi günlerde ve iş/okul başlangıç/bitiş saatlerinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

Yapılan hesaplamalara göre yıllık toplam SO₂ ve NO_x emisyonları diğer kirletici türlerine nazaran yüksek emisyon değerine sahiptir. Yurtdışında yapılan bazı çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur (Viana vd., 2014; Zhang vd., 2017). Uluslararası ölçekte de deniz yolu taşımacılığında yoğun olarak kaynaklandığı belirlenen bu kirleticiler üzerinde halen yoğun olarak çalışılmakta olup bu emisyonların azaltılmasına yönelik uluslararası sözleşmeler oluşturulmaktadır (T.C. UHB, 1983). Daha önce İstanbul Boğazı'nda gerçekleştirilen çalışmalar da bu sonuçları destekler niteliktedir (Kesgin ve Vardar, 2001; Deniz ve Durmuşoğlu, 2008). Kesgin ve Vardar (2001)'in yaptığı çalışmaya göre gemiler bölgede en çok NO_x emisyonlarına katkı koymaktadır. Ayrıca, transit yük gemisi trafiğinden kaynaklanan emisyon değerleri bu çalışma ile paralellik gösterse de şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonlar bu çalışmaya göre yaklaşık 10 kat fazla hesaplanmıştır. Bu farklılığın nedeni olarak bu çalışmaya boğazda faaliyet gösteren deniz otobüsleri ve botların dahil edilmemiş olması gösterilebilir. Bir diğer sebebi ise günümüzde şehir hatlarında çalıştırılan gemilerin yenilenmesi ve daha iyi motor sistemlerine sahip gemilerin faaliyet göstermesi olabilir. Deniz ve Durmuşoğlu (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarına göre de bu çalışmanın sonuçlarına paralel olarak NO_x ve SO₂ gemi trafiğinden kaynaklanan en baskın kirletici parametrelerdir. Ayrıca her iki çalışmada da bu çalışma ile uyumlu olarak transit yük gemisi emisyonlarının şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonlardan yüksek görülmüştür.

Kanal projesinin hayata geçirilmesinden sonra Boğaz için tehlike oluşturan transit gemi trafiğinin kanala kaydırılması hedeflendiği için transit yük gemileri için hesaplanan emisyonların tamamının kanalda da aynı olacağı kabul edilmiştir. Kanal İstanbul için öngörülen yıllık toplam emisyonlar NO_x için 6.282 ton/yıl, SO₂ için 800 ton/yıl, CO için 592 ton/yıl ve PM₁₀ için 120 ton/yıl'dır.

AERMOD dağılım modeli ile yapılan modelleme çalışması sonuçlarına göre boğazdaki transit yük gemilerden kaynaklı en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonların NO_x için 126 µg/m³, SO₂ için 48 µg/m³, CO için 11 µg/m³ ve PM₁₀ için 2 µg/m³ olduğu belirlenmiştir. Saatlik en yüksek konsantrasyonlar sırasıyla NO_x için 3.841 µg/m³, SO₂ için 1.469 µg/m³, CO için 362 µg/m³ ve

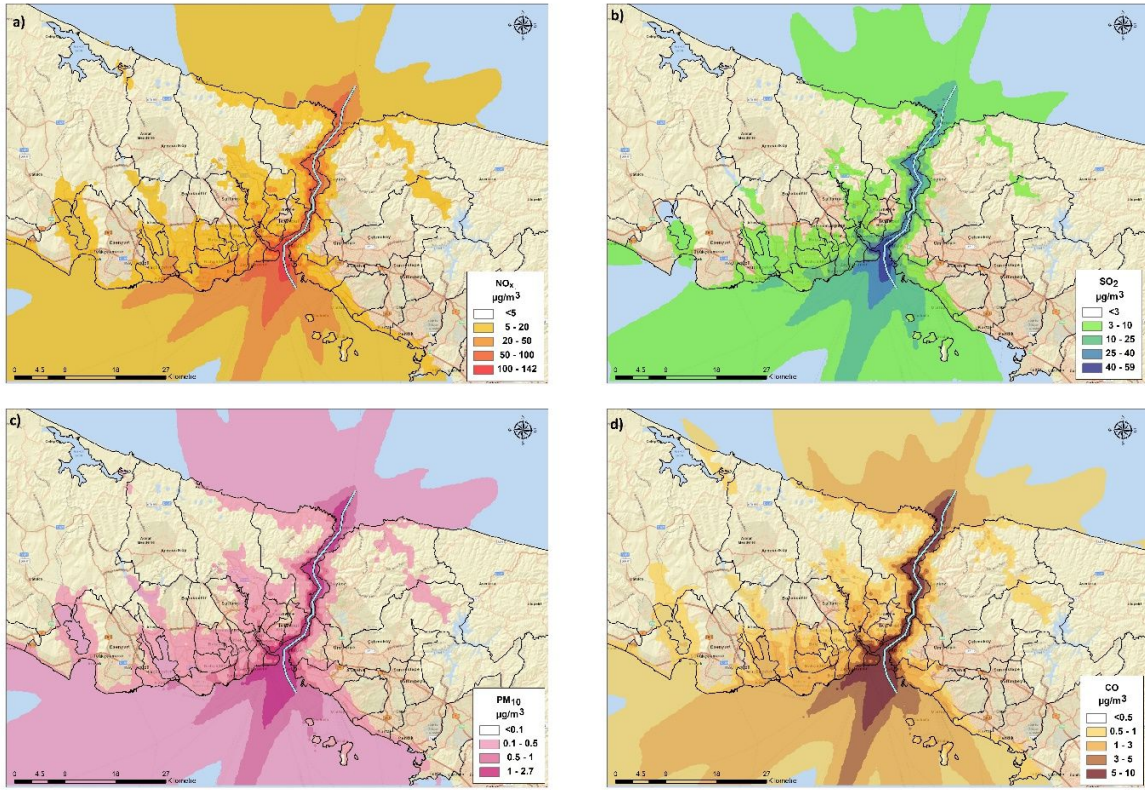
PM₁₀ için 73 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Transit yük gemisi trafiğinin neden olduğu en yüksek yıllık konsantrasyon tüm kirletici parametreler için gemilerin seyir halinde en uzun süre buldukları hat olan Beyoğlu-Üsküdar arasında yer alan bir noktada gözlemlenmektedir. En yüksek konsantrasyonların genellikle rota üzerinde olduğu görülse de zaman zaman kıyı kesimlerinde yer alan bazı ilçeler (Üsküdar, Eminönü, Sarıyer, vb.) de önemli kirletici konsantrasyonları görülmektedir.

Saatlik en yüksek konsantrasyonların tamamı gemilerin boğaza giriş veya çıkış yaptıkları kuzey-kuzeybatı (KKB) yönünde yoğunlaşmaktadır. Bu duruma başta Mayıs ayı olmak üzere farklı aylarda gözlemlenen hızı 1 m/s'den düşük olan ve güney-güneybatı(GGB) yönünden esen rüzgarlar sebep olmaktadır.

Boğazdaki bir diğer kirletici kaynak sektörü olan şehir içi hatlardan kaynaklanan en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonlar NO_x için 72 µg/m³, SO₂ için 38 µg/m³, CO için 9 µg/m³ ve PM₁₀ için 1,4 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Saatlik en yüksek konsantrasyonlar ise sırasıyla NO_x için 4.671 µg/m³, SO₂ için 2.577 µg/m³, CO için 606 µg/m³ ve PM₁₀ için 90 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

Şehir içi hatların neden olduğu yıllık ve saatlik konsantrasyonlar tüm kirletici parametreler için hemen hemen aynı bölgelerde gözlemlenmektedir. En yüksek konsantrasyonların Eminönü iskelesi yakınlarında ve çevresinde olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, diğer iskelelere göre Eminönü'nden 4 farklı hat ile daha fazla ulaşım sağlanması ve yoğun bir taşıt trafiğinin bulunmasıdır. Bu hatlar arasında yer alan Kadıköy- Eminönü (aylık 2.400 sefer) ve Üsküdar-Eminönü hattı (aylık 2.700 sefer) Boğaz'da en fazla sefer sayısına sahip olan hatlardır. Rüzgar hızınının 1 m/s'den düşük olduğu ve rüzgarın doğu-kuzeydoğu (DKD) yönünden estiği zaman dilimlerinde bu bölgede oluşan konsantrasyon değerlerinde artış görülmektedir.

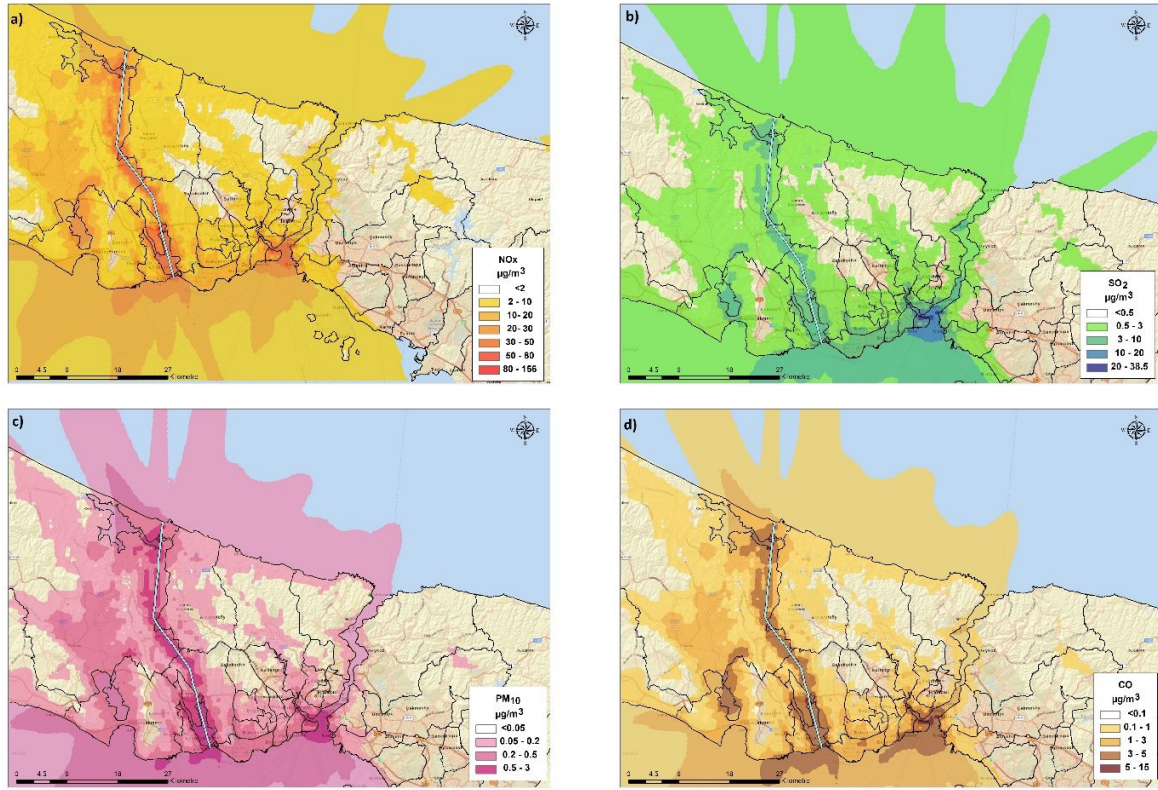
İstanbul Boğazı'ndaki mevcut deniz trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x, SO₂, PM₁₀ ve CO konsantrasyonlarının mekânsal dağılımı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Boğazda deniz yolu trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama konsantrasyonların tüm kirletici parametreler bazında (a), (b), (c), (d) mekânsal dağılımı

Çalışma kapsamında, Kanal İstanbul projesinin hayata geçirilmesinden sonra bölgede oluşacak yeni deniz yolu trafik düzeninin bölgedeki hava kalitesine katkısı belirlenmiştir. Boğazın mevcut transit yük gemisi trafiğinin Küçükçekmece-Arnautköy hattında yer alacak Kanal İstanbul'a kaydırılması sonucunda yeni trafik düzeni ile oluşacak yıllık ortalama konsantrasyonlar NO_x için 156 µg/m³, SO₂ için 38.5 µg/m³, CO için 15 µg/m³ ve PM₁₀ için 3 µg/m³ olarak belirlenmiştir. Tüm kirletici parametreler için en yüksek yıllık konsantrasyonların konumu aynı olup, Arnautköy'ün güneyinde yer alan bir bölgedir. Saatlik en yüksek konsantrasyonlara ait en yüksek değerlerin Küçükçekmece'nin doğusunda yer alan Bahçelievler bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Bu konsantrasyonlar rüzgarın batı-güneybatı (BGB) yönünden 1 m/s'den düşük hızlarla estiği zaman dilimlerinde oluşmaktadır.

Kanal İstanbul ve Boğaz için yeni oluşacak yıllık ortalama konsantrasyonların mekânsal dağılımları tüm kirletici parametreler için Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Kanal İstanbul ve İstanbul Boğazı'nda beklenen yıllık ortalama konsantrasyonların tüm kirletici parametreler bazında (a), (b), (c), (d) mekansal dağılımları

Boğazdaki transit yük gemilerinin kanala kaydırılmasıyla Boğaz'da trafik yoğunluğu azalacak, yalnızca şehir içi hatlardan kaynaklı bir trafik yoğunluğu yer alacaktır. Dağılım sonuçlarında da görüldüğü gibi diğer kirletici parametrelere nazaran deniz yolu trafiğinden kaynaklanan yüksek SO₂ konsantrasyonları daha çok şehir içi hatlardan kaynaklanmaktadır. Bu farklılığın sebebi kanalı kullanan transit yük gemilerinde ve şehir içi hatlarda kullanılan vapurlarda kullanılan yakıtın kükürt içeriğinin farklılık göstermesindedir. Yüksek kirlilik seviyelerinden Boğaz'a yakın konumdaki yerleşim yerleri olan Kadıköy, Üsküdar ve Fatih etkilenmektedir.

Denizyolu taşımacılığından kaynaklanan PM₁₀ konsantrasyonları çok yüksek mertebelerde olmamakla birlikte mekansal dağılımı incelendiğinde boğaz için yüksek konsantrasyon yoğunluğunun daha çok şehir içi hatların yoğun olduğu Üsküdar bölgesi ve yakınında yer alan yerleşimlerde olduğu görülmektedir. Kanal içinse konsantrasyon yoğunluğunun kanal rotası boyunca yoğunlaştığı görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde Kanal'ın kurulması planlanan bölgelerdeki mevcut partikül madde konsantrasyonlarına katkısının oldukça düşük (<0,2 µg/m³) olacağı belirlenmiştir. CO için yıllık en yüksek ortalama konsantrasyonlar benzer bir dağılım göstererek Kanal rotası ve vapur seferlerinin yoğun olduğu yerleşim yerleri dolaylarında oluşmaktadır. Kanaldan transit yük gemi geçişinin başlamasıyla Küçükçekmece, Büyükçekmece, Arnavutköy ve Çatalca gibi yerleşim bölgelerinde çok yüksek olmasa da mevcut duruma göre daha yüksek kirlilik seviyeleri gözlemlenebileceği belirlenmiştir. Bölge hava kalitesi açısından kanalın

CO konsantrasyonlarına katkısı ise ağırlıklı olarak düşük mertebelerde ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) olacaktır. Kanal bölgesinde oluşacak NO_x konsantrasyonları incelendiğinde ise; her ne kadar yüksek mertebelerde yıllık ortalama konsantrasyonların oluştuğu gözlemlense de bu değerlerin bölgenin topoğrafik yapısı nedeni ile yalnızca gemilerin geçiş güzergahında sınırlı bir alanda oluşacağı belirlenmiştir. Fakat; daha önce denizyolu kaynaklı NO_x konsantrasyonlarından düşük mertebelerde etkilenen bölgeler olan Küçükçekmece, Büyükçekmece ve Arnavutköy'de oluşacak konsantrasyon seviyelerinde artış gözlemlenecektir. Ayrıca, daha önce kirlilikten etkilenmeyen Çatalca bölgesinde de yüksek değerlerde ($30-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) NO_x değerleri gözlemlenebilecektir.

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nda mevcut deniz yolu trafiğinden kaynaklanan kirletici emisyonları ve bunların neden olduğu hava kalitesi seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca gelecekte faaliyete geçirilmesi planlanan Kanal İstanbul Projesi sonrası kent atmosferinde beklenen hava kalitesi değişimleri de belirlenmiştir.

Boğazın mevcut durumu için emisyonların tüm kirletici parametreler için büyük motor hacimleri sebebi ile %95 oranında transit yük gemilerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Transit yük gemileri arasında en büyük katkıyı ise; geçiş sayıları yüksek ve hacimce büyük olan başta genel kargo gemileri olmak üzere sırasıyla dökme yük gemisi ve tankerler sağlamaktadır. Şehir içi hatlardan kaynaklanan emisyonların %60'lık bir kısmının en yüksek ortalama sefer sayısı ve süresine sahip olan Kadıköy-Kabataş, Karaköy-Kadıköy, Üsküdar-Eminönü, Kadıköy-Eminönü ve Kadıköy-Beşiktaş hatlarından kaynaklanmaktadır. Kanal projesinin hayata geçirilmesinden sonra Boğaz için tehlike oluşturan transit yük gemisi trafiğinin kanala kaydırılması hedeflendiği için transit yük gemileri için hesaplanan emisyonların tamamının kanalda da aynı olacağı kabul edilmiştir. Diğer kirleticilerden farklı olarak SO_2 emisyonu kanalda boğaz için hesaplanan değerlerin üçte biri olacaktır. Bu farklılık taraf olunan uluslararası sözleşmelerin gemi yakıtlarının kükürt içeriğine getirdiği sınırlamalardan kaynaklanmaktadır.

Hava kalitesi için mevcut durumda yüksek değerlerdeki konsantrasyonların daha çok boğaz üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksek kirlilik seviyelerinden Boğaz'a yakın konumdaki yerleşim yerleri olan Kadıköy, Üsküdar, Bakırköy ve Fatih etkilenmektedir. Boğaz'dan geçiş yapan gemilerin tamamen Kanala kaydırılması ile Boğaz'da sadece şehir hatlarında ilerleyen vapurlar faaliyet gösterecektir ve bu durum Boğaz bölgesini oldukça büyük bir kirlilik yükünden kurtaracaktır. Bu değişim her ne kadar Boğaz bölgesini rahatlatırsa da Kanal projesinin hayata geçmesi ve boğazdaki transit yük gemisi trafiğinin kanala aktarılması sonucu boğaz trafiğinden düşük mertebelerde etkilenen veya hiç etkilenmeyen Küçükçekmece, Büyükçekmece, Avcılar, Çatalca ve Silivri ilçeleri gibi yeni bölgelerin gemi emisyonlarından etkilenmeye başlayacağı görülmüştür. Bölgenin mevcut topografik koşullarına göre Kanalın kurulacağı bölge kirliliğin dağılımını belirli bir alan içinde sınırlamaktadır. Bu durum kirliliğin Kanalın etrafında yer alan birkaç yerleşim yerini yoğun olarak etkilemesine neden olmak ile beraber genel olarak İstanbul'un kent atmosferindeki kirlilik seviyelerine çok fazla katkı koymamasına neden olmaktadır. Ayrıca Boğaz'da sadece şehir hatlarının faaliyet göstermesi sonucu Kadıköy, Fatih, Üsküdar, Beyoğlu ve Beşiktaş gibi kıyı kesimlerde yer alan ilçelerde konsantrasyonların yüksek olması beklenmektedir.

Literatürde Kanal İstanbul projesinin çevresel etkilerinin tartışıldığı çalışmalar yapılmış olsa da bunlar ağırlıklı olarak şehircilik bakış açısı ve ekolojik etkileri ile ilgili olup çevresel etkileri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektedir (TEMA, 2014; Doğan ve Stupar, 2017). Hava kalitesindeki değişimlerin belirlenmesine yönelik detaylı bir çalışma literatürde mevcut değildir. Çalışmada kullanılan güzergah Resmi Gazete’den temin edilmiş olsa da kanalı kullanacak gemilerin bilgileri henüz tam olarak netlik kazanmamıştır. Bugüne kadar yapılan açıklamalara göre kanalı büyük kapasiteli gemilerin kullanacağı söylenmektedir. Çalışma kapsamında da boğazı kullanan tüm gemilerin kanalı kullanacağı kabul edilmiştir. Çalışmada 2015 yılı için boğazı kullanan gemi türleri ve geçiş sayıları baz alınarak hesaplar gerçekleştirilmiştir. Bu bilgilerin ilerleyen yıllarda güncellenmesi ile ve kanal projesinin hayata geçmesi ile birlikte daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir. Bu çalışma benzer projelere örnek teşkil edebilecek ve ileride daha detaylı çalışmalara fikir verebilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Aström, M., Ab, N., 2008. Air pollution from ships, European Federation for Transport and Environment, Snaba Tryck and Visby, Sweden, 8 pp.
- Atasoy, C., 2008. İstanbul Boğazı’nda Yerel Trafik’in İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Birnar, M.E., Talu, G.F., Su G., Gülbey, M., 2005. The Effect of Dense Maritime Traffic on the Bosphorus Strait and Marmara Sea Pollution, Çevre ve Orman Bakanlığı İstanbul Bölge Müdürlüğü, İstanbul, 11pp.
- Birpınar, M., Talu, G.F., Gönençgil, B., 2008. Environmental effects of maritime traffic on the İstanbul Strait. *Environmental Monitoring and Assessment* 152, 13–23.
- Deniz, C., Durmuşoğlu, Y., 2008. Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, *Science of The Total Environment* 390, 255–261.
- Dogan, E., Stupar, A., 2017. The limits of growth: A case study of three mega-projects in İstanbul. *Cities* 60, 281-288.
- Durmaz, M., 2015. Bir Feribottan Yayılan Egzoz Emisyonlarının Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 82 sayfa.
- EC (European Commission), 2010. Sustainable ports in Baltic Sea region, <http://ec.europa.eu/ourcoast/index.cfm?menuID=7 & articleID=185>, erişim:2016.
- EEA (European Environment Agency), 2013a. The impact of international shipping on European air quality and climate forcing, EEA Technical Report No 4/2013, Copenhagen, Denmark, 88 pp.

- EEA (European Environment Agency), 2013b. EMEP/CORNAIR Emission Inventory Guidebook–2013, International Navigation, National Navigation, National Fishing, 40 pages.
- Fournier, A., 2006. Controlling Air Emissions from Marine Vessels: Problems and Opportunities, University of California Santa Barbara, 85 pp.
- Jalkanen, J.P., Brink, A., Kalli, J., Petterson, H., Kukkonen, J., Stipa, T., 2009. A modeling system for the exhaust emissions of maritime traffic and its applications in the Baltic Sea area, *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, 9209–9223.
- Karadağ, S., 2011. Dünyadaki Boğazlar ve Kanallar. <https://coğrafyabilim.wordpress.com/tag/istanbul-bogazi-hakkinda-bilgi/>, erişim: Ağustos 2017.
- Kesgin, U., Vardar, V., 2001. A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits, *Atmospheric Environment* 35, 1863–1870.
- Kılıç, A., 2014. Marmara Bölgesi'ndeki Deniz Ve Hava Taşımacılığında Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Oluşturulması ve Hava Kirliliğinin Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 210 sayfa.
- López-Aparicio, S., Tønnesen, D., Thanh, T.N., Neilson, H., 2017. Shipping emissions in a Nordic port: Assessment of mitigation strategies. *Transportation Research PartD: Transport and Environment* 53, 205-216.
- İstanbul SMD (İstanbul Serbest Mimarlar Derneği), 2017. <http://megaprojeleristanbul.com/#yeni-istanbul-projesi>, erişim: Ağustos, 2017.
- T.C. Başbakanlık, 1998. Türk Boğazları Trafik Tüzüğü Cilt 38, 3497-3534.
- T.C. Resmi Gazete, 2014. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/04/20140430-5-1.pdf>, erişim: Ağustos 2017.
- T.C. Resmi Gazete, 2009. Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik, Cilt 48, 5603-5608.
- İSTKA (İstanbul Kalkınma Ajansı), 2014. Gemisyon Projesi web sitesi, http://www.gemisyon.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=110, erişim: Ağustos 2017.
- İstanbul Şehir Hatları, 2016. <http://www.sehirhatlari.istanbul/tr>, erişim: Mayıs 2016.
- Taşlıgil, N., 2004. İstanbul Boğazı'nın Ulaşım Coğrafyası Açısından Önemi. *Marmara Coğrafya Dergisi Sayı 10*, 426-510.

- T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2016. Türk Boğazları, <http://www.mfa.gov.tr/turk-bogazlari.tr.mfa>, erişim: Mayıs 2016.
- T.C. UHB (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı), 1983. Mevzuat Bilgi Sistemi, <http://imo.udhb.gov.tr/TR/19Marpol.aspx>, erişim: Mayıs 2016.
- T.C. UHB (T.C. Ulaştırma ve Haberleşme Bakanlığı), 2016. Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri, https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx, erişim: Mayıs 2016.
- TEMA, 2014. *İstanbul'un Geleceğini Etkileyecek 3 Proje- 3.Köprü-3.Havalimanı-Kanal İstanbul*, Şişli, İstanbul, 164 sayfa.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. User's guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD. <http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermodugb.pdf>.
- USGS (U.S. Geological Survey), 2016. SRTM3 veri tabanı, http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/, erişim: Mayıs 2016.
- Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., van Aardenne, J., 2014. Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment* 90, 96-105.
- Zhang, Y., Yang, X., Brown, R., Yang, L., Morawska, L., Ristovski, Z., Fu, Q., Huang, C., 2017. Shipping emissions and their impacts on air quality in China. *Science of The Total Environment* 581, 186-198.