



Araştırma Makalesi

Kanal İstanbul Projesi Sonrası İstanbul Boğazı'nda Gemi Trafiklerinden Kaynaklanan Hava Kalitesinde Beklenen Değişimlerin İncelenmesi

Gizem TUNA, Tolga ELBİR ✉

Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca 35160 İzmir

Sunuluş tarihi: 15 Kasım 2012, Kabul edilme tarihi: 10 Ocak 2013

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, İstanbul Boğazı'ndan geçen mevcut gemi trafiğinin hava kalitesine katkısı ortaya konmuş ve gündemde olan Kanal İstanbul projesinin hayata geçirilmesi durumunda kentin hava kalitesinde beklenen değişimler bir hava kalitesi dağılım modeli ile incelenmiştir. Çalışmada dağılım modeli olarak USEPA'nın ISCST3 modeli kullanılmış ve dört hava kirleticisi (SO_2 , NO_x , CO ve PM_{10}) için dağılım hesapları yapılmıştır. Boğaz trafiğine ilişkin 2011 yılına ait bilgiler (taşıt türü, yakıt tüketim bilgisi, yıllık geçiş sayıları, seyir süreleri, vb.) T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı'ndan temin edilmiş ve literatürde yer alan emisyon faktörleri ile ilişkilendirilerek hava kirleticisi emisyonları hesaplanmıştır. Marmara Denizi ve Karadeniz'i birbirine bağlayan ikinci su yolu olarak planlanan Kanal İstanbul projesi henüz hayali bir proje olduğundan dolayı çalışmada ihtiyaç duyulan bazı teknik bilgilere ulaşılamamış, bu nedenle kamuoyu gündeminde olan tüm bilgiler ve beklentiler değerlendirilerek hem mevcut boğazın hem de yeni kanalın trafik düzenlerine ilişkin 3 farklı senaryo planlanmıştır. Birinci senaryoya göre; boğaza giriş için Marmara Denizi ve Karadeniz'de bekleyen gemilerin bekleme yapmadan hem mevcut boğazı hem de yeni kanalı birlikte kullanacağı ve dolayısıyla tamamının aktif trafiğe katılacağı kabul edilmiştir. İkinci senaryoda ise; boğaz için kaza riski yüksek olan büyük boyutlu tanker ve kargo gemisi trafiğinin tamamen yeni kanala kaydırıldığı ve sadece geriye kalan küçük boyutlu gemilerin boğazdan geçmeye devam edeceği kabul edilmiştir. Üçüncü senaryo ise; boğaz trafiğinin tamamen ortadan kaldırılarak boğazın turizm ve rekreasyon amaçlı kullanılacağı buna karşın yeni kanaldan maksimum gemi geçişine izin verecek yeni bir trafik düzeni ile kanaldan maksimum fayda sağlanması hedeflenmiştir. Hazırlanan emisyon envanterine göre, İstanbul Boğazı'ndaki mevcut gemi trafiğinden kaynaklanan toplam emisyonlar $623 \text{ t y}^{-1} SO_2$, $3 553 \text{ t y}^{-1} NO_x$, $461 \text{ t y}^{-1} CO$ ve $69 \text{ t y}^{-1} PM_{10}$ olarak hesaplanmıştır. Birinci senaryoya göre yıllık toplam emisyonlarda bir artış görülmüş ve emisyonlar $700 \text{ t y}^{-1} SO_2$, $3 990 \text{ t y}^{-1} NO_x$, $518 \text{ t y}^{-1} CO$ ve $77 \text{ t y}^{-1} PM_{10}$ olarak hesaplanmıştır. İkinci senaryo sonuçlarına göre mevcut boğaz emisyonlarında %96'lık bir azalma sağlanmış olup, buna karşın kanal ile kentte farklı bir bölgede yeni bir emisyon kaynağı oluşmuştur. Üçüncü senaryoya göre ise; tüm emisyonların tek başına kanaldan kaynaklandığı ve boğazdaki mevcut emisyon değerlerine göre ise 1,5 kat daha fazla bir büyüklüğe ulaştığı belirlenmiştir. Model sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; mevcut boğaz trafiğinden kaynaklanan yıllık ve saatlik en yüksek hava kalitesi seviyelerinin hemen boğazın üzerinde ve kısmen Şişli ve Sarıyer gibi boğaz kenarındaki ilçelerin boğazdan birkaç yüz metre içerideki yerleşim noktalarında olduğu saptanmıştır. Modellenen hava kalitesi seviyeleri, kentteki hava kalitesi istasyonlarından elde edilen ölçüm değerleriyle karşılaştırılarak kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi emisyonları, İstanbul Boğazı, hava kalitesi modellemesi, emisyon envanteri

© Tüm yayın hakları Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi'ne aittir.

1. Giriş

Sanal iletişimin hızla geliştiği günümüzde dünya ülkeleri arasında ticaret de hızla artmaktadır. Günümüzde kütlece ağır ve hacimce büyük malların taşınmasında öncelikli olarak deniz yolu taşımacılığı tercih edilmektedir (Birnar vd., 2005; Eyring vd., 2009). Ulaşım sektöründen kaynaklanan kirleticisi emisyonlarında deniz yolu taşımacılığının son yıllarda hızla artan bir paya sahip olduğu görülmektedir. Denizyolu taşımacılığının kaynaklanan emisyonların yaklaşık %70'i genellikle kıyı şeritlerinde ve liman bölgelerinde oluşmaktadır (Aström ve Ab, 2008). Denizyolu taşımacılığının kaynaklanan kirleticilerin başında azot oksitler (NO_x) ve

kükürtdioksit (SO_2) gelmektedir. Bu kirleticilerin emisyonlarının global ölçekte azaltılması üzerinde çalışılan önemli bir konudur. Gittikçe artan gemi trafiğinin neden olduğu bu kirleticiler, ekosistemi ve sağlığı önemli derecede etkilemekte ve kaynaklarından kilometrelerce uzağa taşınabilmektedirler. Deniz yolu taşımacılığının önemli bir uluslararası ticaret yöntemi haline gelmesiyle birlikte, zaman içinde artan emisyonların kontrolü amacıyla çeşitli küresel ölçekli anlaşmalar yapılması gerekli hale gelmiştir. Emisyonların azaltılması konusunda Uluslararası Gemicilik Örgütü (IMO)'ya bağlı Deniz Çevresi Koruma Komitesi (MEPC) bir girişimde bulunmuş ve 1997 yılında uluslararası bir antlaşmanın (MARPOL) kabul edilmesine öncülük etmiştir

✉Tolga Elbir

Tel: (232) 301 71 33, Faks: (232) 453 09 22

E-posta: tolga.elbir@deu.edu.tr

(IMO, 2012). Bu antlaşma gemilerden kaynaklanan deniz ve çevresindeki kirliliği önlemek ve minimize etmek amacıyla oluşturulmuş uluslararası bir sözleşmedir ve 6 adet ekten oluşmaktadır. Deniz taşıtlarından kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi başlığını içeren ve 2005 yılında yürürlüğe giren sözleşmenin Ek-VI bölümü, tüm deniz yolu kaynaklı hava kirliliğini belirleme çalışmaları için önemlidir. MARPOL, bu eki ile gemilerden kaynaklanan SO₂, NO_x ve ozon azaltıcı maddelerin salınımına yönelik bazı sınırlamalar koymaktadır. Sözleşmede emisyon kontrol alanı (ECA) olarak tanımlanan, sürekli ölçümün ve kontrolün gerekli olduğu yoğun trafiğe sahip liman ve kıyı bölgelerine (örneğin İstanbul gibi) SO₂, NO_x ve partikül maddeler açısından sıkı sınırlamalar getirilmiş ve ayrıca yakıt kalitesi ile ilgili de bazı düzenlemeler yapılmıştır (Light Algantürk, 2008). Örneğin; gemi yakıtlarında izin verilen maksimum kükürt içeriği 2008 yılından 2012 yılı başına kadar %4,5'tan %3,5 değerine düşürülmüş, 1 Ocak 2020 tarihine kadar da bu değer %0,5'e indirilmesi istenmektedir (Kalli vd., 2009).

Avrupa'daki büyük kıyı kentleri ve limanlardan kaynaklanan hava kirlileti emisyonların belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Founier, 2006; Jalkanen vd., 2009). Çalışmalar, daha çok IMO tarafından emisyon kontrol bölgesi ilan edilen Baltık Denizi ve Kuzey Denizi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Uluslararası yapılan bir çalışmada Avrupa genelindeki deniz trafiği kaynaklı emisyonlar raporlanmıştır (EC, 2010). Bu çalışmaya göre; Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Ortadoğu ve Karadeniz'deki deniz yolu trafiğinden 2000 yılında atmosfere toplam 2,3 milyon ton SO₂, 3,3 milyon ton NO_x, 250 000 ton PM₁₀ salındığı tahmin edilmektedir. Deniz ticaretindeki artışın öngörüldüğü şekilde artmaya devam etmesi durumunda ise 2020 yılında deniz yolu ulaşımından kaynaklanan SO₂ ve NO_x emisyonlarının %45-50 oranında artış göstereceği hesaplanmaktadır (EC, 2010).

İstanbul Boğazı sahip olduğu önemli trafik yoğunluğu ve neden olduğu hava kirliliği açısından bilimsel çalışmaların yapıldığı bir bölgedir (Kesgin ve Vardar, 2001; Birnar vd., 2005; Deniz ve Durmuşoğlu, 2007). Yapılan bir çalışmada İstanbul Boğazı'ndan geçen gemilerden kaynaklanan NO_x emisyonu miktarının İstanbul'un karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonların %10'u kadar olduğu saptanmıştır (Kesgin ve Vardar, 2001). Ayrıca bu çalışmaya göre kargo gemileri, toplam NO_x emisyonlarının oluşumunda %45'lik payı ile hava kirliliğine en çok katkısı olan gemi türü olarak belirlenmiştir. Tankerler ise; %17'lik dilimle ikinci sırada yer almaktadırlar. Diğer bir çalışmada ise İstanbul ve Çanakkale boğazları dikkate alınarak Marmara Denizi'ndeki deniz yolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar tahmin edilmeye çalışılmıştır (Deniz ve Durmuşoğlu, 2007). Bu çalışmada Boğaz'dan geçen gemilerin yakıt ve motor türleri, yakıt tüketimleri ve seyir süreleri belirlenmiş ve elde edilen emisyon faktörleri yardımıyla emisyon hesapları yapılmıştır. Hem transit gemi geçişleri, hem de boğazdaki iskeleler arası günlük vapur seferlerini göz önünde bulundurulmuş bu çalışmada NO_x, SO₂, CO, VOC, PM₁₀, ve CO₂ için hesapla-

malar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; bu bölgedeki gemi emisyonları Türkiye'de ulaşım sektöründen kaynaklanan toplam NO_x emisyonların %46'sı, PM₁₀ emisyonlarının %25 ve CO emisyonlarının %1,5'una karşılık gelmektedir. Bu değer sadece Marmara bölgesi dikkate alındığında NO_x için %11'lik bir katkı oranı belirlenmiştir (Deniz ve Durmuşoğlu, 2007). Ayrıca, İstanbul Boğazı'ndaki yoğun deniz trafiğinden kaynaklanan kaza risklerinin değerlendirildiği bir çalışma da literatürde yer almaktadır (Ulusçu vd., 2009). Bu çalışmada, bir simülasyon modeli kullanılarak İstanbul Boğazı'nda oluşabilecek kaza riskleri modellenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, beklendiği gibi boğazdaki gemi geçişinin yoğun oluşu kaza riskini oldukça arttırmaktadır.

Bu çalışma, İstanbul Boğazı'nın mevcut trafik yükünü hafifletmek ve dolayısıyla kaza risklerini azaltmak, boğazdan geçiş için bekleyen gemilerin hem bekleme maliyetlerini azaltmak hem de aynı anda daha fazla geminin aktif trafiğe katılmasını sağlamak ve dolayısıyla kentte deniz yolu trafiğinin güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak amacıyla yapılması planlanan Kanal İstanbul projesinin İstanbul'un hava kalitesine etkisini tahmin edebilmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada 2011 yılına ait boğazdaki gemi trafiği verileri kullanılarak mevcut emisyonlar hesaplanmış ve meteorolojik veriler ışığında dış hava kalitesi seviyeleri USEPA'nın ISCST3 dağılım modeli ile belirlenmiştir. Kanal İstanbul projesine ilişkin henüz çok net teknik veriler olmadığı için kamuoyu gündeminde olan tüm bilgiler ve beklentiler değerlendirilerek, hem mevcut boğazın hem de yeni kanalın trafik düzenlerine ilişkin 3 farklı senaryo düzenlenmiştir. Çalışmada emisyon hesaplamaları ve modelleme çalışmaları bu senaryolar için gerçekleştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

2. İstanbul Boğazı'nda Gemi Trafiki

İstanbul Boğazı, Karadeniz ve Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan ve İstanbul'u Asya ve Avrupa olmak üzere iki yakaya ayıran dar bir su yoludur. Uluslararası deniz taşımacılığında kullanılan dünyadaki en dar su yollarından birisidir. Yapısı itibarıyla kıvrımlı bir görünüme sahiptir. Toplamda 12 adet keskin dönüşe sahiptir ve bu dönüşlerin açıları 45° ve 80° arasında değişiklik gösterir. Boğazın ortalama genişliği 1 500 m civarındadır ve en dar yerinde bu genişlik 700 m seviyelerine düşmektedir. Boğaz'ın kuzey girişi en geniş yeri olup 3 600 m genişliğindedir. Güney girişi ise; 1 780 m genişliğindedir. Boğazın, en dar bölgesi ise Rumeli Hisarı ve Anadolu Hisarı arasındadır ve 698 m genişliğe sahiptir. Kıvrımlı yapısı dolayısıyla Avrupa kıyı şeridi 55 km ve Asya kıyı şeridi de 35 km olan İstanbul Boğazı'nın ortalama uzunluğu 31 km'dir. Boğaz en dar yeri olan Kandilli'de maksimum derinliğe ulaşır ve bu değer yaklaşık 120 m'dir (Birpınar, 2008).

İstanbul Boğazı'ndaki trafik hacmi günümüzde oldukça tehlikeli ve kritik boyutlara ulaşmıştır. 1936 yılında İstanbul Boğazı'ndan günde yalnız 17 gemi geçmekte iken, bu rakam 2008–2011 yılları arasında günde ortalama 135–157 gemi

arasında değişkenlik göstermiş ve 2011 yılında ise bu değer 136 taşıt gün⁻¹ olarak gerçekleşmiştir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2009). Bu trafiğe ilave olarak, İstanbul Boğazı'nda ayrıca yoğun bir yerel deniz trafiği de bulunmaktadır. Gün içinde İstanbul kentinin iki yakası arasında sefer yapan şehir hatları gemileri, deniz otobüsleri ve feribotların sayısı 2 500'ü aşmaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2009). Ayrıca çok sayıda balıkçı teknesi ile özel deniz vasıtası da bu su yolunu sürekli kullanmaktadır. Boğaz trafiğindeki son dört yıla ait gemi geçiş sayıları gemi türlerine göre kategorize edilerek Tablo 1'de verilmiştir.

3. Kanal İstanbul Projesi ve Senaryo Çalışmaları

İstanbul Boğazı'nın trafik yükünü azaltmak, boğaza giriş için bekleyen gemilerin maliyetini azaltarak trafiği hızlandırmak, boğazın dar ve kıvrımlı yapısı nedeniyle başta tankerler olmak üzere boğazdan geçerken tehlike yaratan büyük tonajlı gemilerin kontrol altına alınması ve olası gemi kazalarının önüne geçilmesi amacıyla İstanbul Boğazı'na paralel yeni bir kanal açılması gündemdedir. Kanal İstanbul olarak adlandırılan bu proje, kentin Avrupa yakasında gerçekleştirilecek ve aynı boğaz gibi iki denizi (Karadeniz ve Marmara Denizi) birbirine bağlayacaktır. Kanalın Marmara Denizi'nden girişinin Silivri bölgesi olması planlanmaktadır (Kanal İstanbul, 2010). Kanalın planlanan yeri Şekil 1'de gösterilmektedir.

Büyük boyutlara sahip ve tehlikeli yük taşıyan gemilerin İstanbul Boğazı'ndan geçişi sırasında zaman zaman kazalar meydana gelmektedir. Boğazda bugüne kadar 2 000'in üzerinde deniz kazası yaşanmıştır (Otay ve Özkan, 2003). Sayıları her geçen gün artan ve olası kaza riskleri ile İstanbul'u tehdit eden bu gemiler aynı zamanda egzoz gazları ile de İstanbul'un hava kalitesini olumsuz etkilemektedirler (Otay ve Özkan, 2003). Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda yapılması planlanan kanal, hem bu kazaların azaltılmasını hem de boğaz trafiğinin yoğunluğunun büyük oranda ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. İstanbul Boğazı'ndan sağlanan gidiş veya dönüşler tamamen veya kısmen kanala aktararak, boğazdaki trafik yoğunluğu ve kaza risklerinin minimize edilmesi planlanmaktadır.

Kanal İstanbul projesinin yeri ve oluşacak trafik düzeni henüz net olarak bilinmemektedir. Gerçekleştirilmesi planlanan birçok ihtimal vardır. Kamuoyunda dile getirilen bu ihtimallerin değerlendirilmesinin ardından 3 adet senaryo çalışması oluşturulmuş ve toplam yıllık emisyonlardaki değişimler bu senaryolar için ayrı ayrı belirlenmiştir. Birinci senaryoya göre; boğaza giriş için Marmara Denizi ve Karadeniz'de bekleyen gemilerin bekleme yapmadan hem mevcut boğazı hem de yeni kanalı birlikte kullanacağı ve dolayısıyla gemilerin tamamının aktif trafiğe katılacağı kabul

Tablo 1. 2008–2011 yılları arasında İstanbul Boğazı'ndan gemi türlerine göre geçiş sayıları, taşıt yıl¹

Gemi Türü	Yıllar			
	2008	2009	2010	2011
Genel kargo	36 835	24 028	30 859	29 267
Dökme yük taşıyan	6 630	6 869	5 857	6 341
Ham petrol tankeri	6 557	6 293	6 463	6 229
Konteynır	2 014	4 649	2 292	2 718
Kimyasal tankerler	1 876	2 432	1 711	1 647
Sıvılaştırılmış petrol gazı taşıyan	866	842	1 100	1 227
Yolcu	786	694	631	481
Soğuk hava depolu	620	697	602	439
Yük taşıma	346	1 619	457	599
Römorkör	298	340	293	245
Seyir	179	129	112	88
Besi hayvanı	147	148	243	238
Diğer	94	271	130	152
Motorlu taşıt taşıyan	78	305	42	47
Duba taşıyan	52	0	26	14
Araştırma	22	59	26	23
Balıkçılık	10	36	6	8
Tedarikçi	7	5	8	16
Tarak	5	4	4	3
Cevher taşıyan	0	0	6	6
Kargo	0	27	2	7
Feribotlar	0	6	1	3
Yıllık Toplam	57 422	49 453	50 871	49 798

edilmiştir. Buna göre hem boğaz hem de kanalda gemiler tek yönlü hareket edecek, birisi gidiş diğeri dönüş yolu olarak kullanılacaktır. Bu durumda kanaldan günde yaklaşık 150 geminin geçeceği tahmin edilmektedir. Bu senaryoda temel amaç; boğaza giriş için denizlerde bekleyen önemli sayıdaki geminin bekleme maliyetlerini ve sürelerini azaltmak için bu gemilerin tamamını aktif trafiğin içine katmak ve boğazdaki mevcut çift yönlü trafiği ortadan kaldırarak tek yön gemi geçişi ile kaza risklerini minimize etmektir. İkinci senaryoda ise; boğazın mevcut trafiği dikkate alınarak boğaz için kaza riski yüksek olan büyük boyutlu tanker ve kargo gemisi trafiğinin tamamen kanala kaydırıldığı ve sadece geriye kalan küçük boyutlu gemilerin boğazdan geçmeye devam edeceği kabul edilmiştir. Üçüncü senaryoda ise; boğaz trafiğinin tamamen ortadan kaldırılarak boğazın turizm ve rekreasyon amaçlı kullanılacağı buna karşın yeni kanaldan maksimum verim alabilmek için kanal uzunluğu, gemilerin birbirini asgari takip mesafesi, vb. kriterleri belirleyerek kanalda yeni bir trafik düzeni oluşturulması hedeflenmiştir. Bu durumda kanaldan günde en fazla 200 gemi geçebileceği belirlenmiş ve dolayısıyla bu senaryo ile boğazın mevcut trafik yükünü tamamen yeni kanalın taşıyacağı kabul edilmiştir.

4. Malzeme ve Yöntem

Çalışmada mevcut durumun tespit edilebilmesi için öncelikle boğazdan geçen gemilere ait bazı bilgiler toplanmıştır. Geçen gemilerin türleri ve yıllık sefer sayıları T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı'ndan temin edilmiştir. Boğazda gemi türlerine göre ortalama seyir sürelerini tespit edebilmek için boğazda izin verilen gemi hızları ve boğaz uzunluğu verileri birlikte değerlendirilmiştir. Buna göre boğazda ortalama seyir hızları gemi türlerine göre 16–40 km saat⁻¹ arasında değişmektedir.

Çalışmada gemilerin yıllık yakıt tüketimini belirlemek amacıyla EMEP/CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından (EEA, 2009) yararlanılmış ve buradan gemi türlerine göre ilgili yakıt tüketim faktörleri temin edilmiştir. Bu değerler, seyir süreleri ve yıllık geçiş değerleri ile ilişkilendirilerek yıllık yakıt tüketim miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan yakıt tüketim faktörleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Yakıt tüketim bilgileri kullanılarak, emisyon faktörü denilen bir taşıtın birim zamanda belirli bir hızda seyir halindeyken veya tükettiği birim yakıt miktarı başına atmosfere verdiği kirlenici kütlelerini gösteren katsayılar yardımıyla hava kirlenici emisyonlar belirlenmiştir. Emisyon faktörlerinin seçiminde EMEP/CORINAIR veri tabanı kullanılmıştır (EEA, 2009). Çalışmada emisyonlar dört kirlenici (NO_x, SO₂, CO, PM₁₀) için hesaplanmıştır. Kullanılan emisyon faktörleri Tablo 3’te verilmiştir.

Deniz taşıtlarının kent hava kalitesine katkısı bir matematiksel hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla belirlenmiştir. Emisyonların belirlenmesinden sonra, bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşulları dikkate alınarak Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA)’nın Industrial Short Complex –

Short Term (ISCST3) modeli kullanılarak kent atmosferindeki hava kirlenici seviyeleri hesaplanmıştır. Modelleme için çalışma alanı hem boğaz, hem de yeni kanalı içine alacak şekilde 60 km x 70 km olarak seçilmiş ve kısa mesafelerde sonuçlar elde edebilmek amacıyla 500 m’lik gridlere bölünmüştür. Google Earth’den elde edilen uydu görüntüleri ve bir coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS 9.3) yardımıyla boğazdan geçen gemilerin güzergahları belirlenmiştir (Şekil 1).

Tablo 2. Deniz taşıtları için çalışmada kullanılan yakıt tüketim faktörleri, ton gün⁻¹

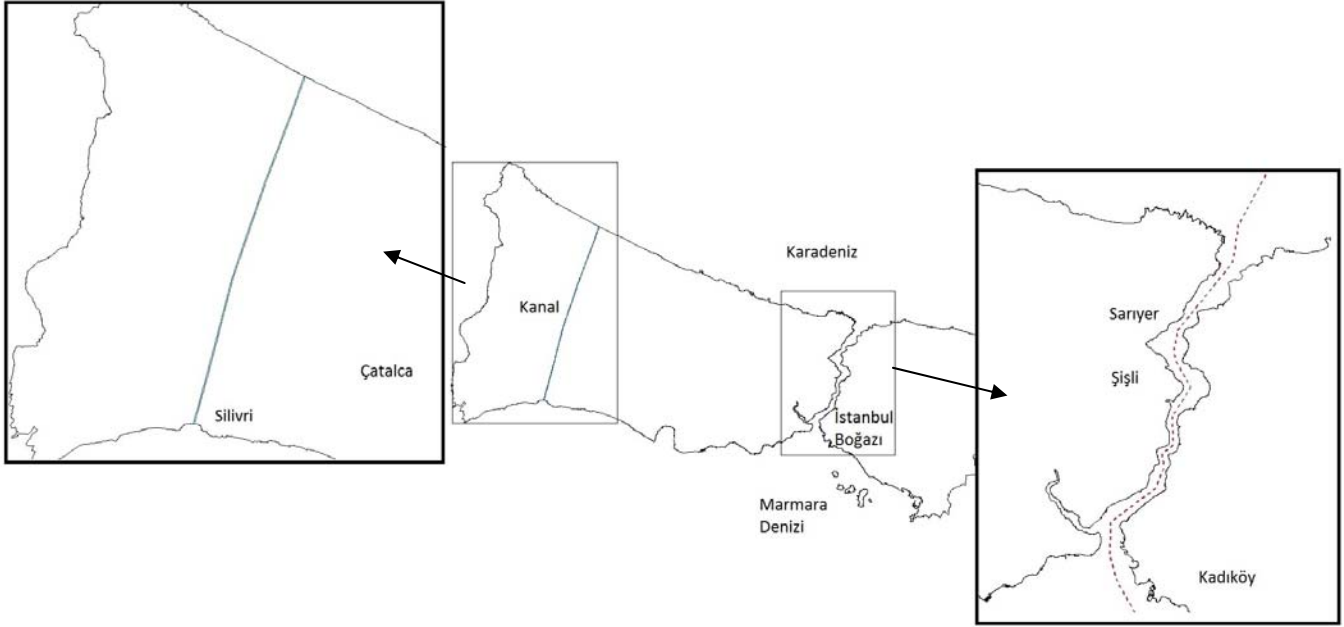
Gemi Türü	Yakıt Tüketim Faktörleri
Yüksek hızlı feribot	80,4
Konteyner gemisi	65,9
Yolcu gemisi	70,2
Sıvı dökme gemisi	41,1
Katı dökme gemisi	33,8
Tüm gemiler	32,8
Yolcu/Ro-Ro/Kargo	32,3
Diğer gemiler	26,4
Genel kargo gemisi	21,3
Yurtiçi kargo gemisi	21,3
Römorkör	14,4
Balıkçı gemisi	5,5
Seyir gemisi	3,4

Tablo 3. Çalışmada kullanılan emisyon faktörleri, kg ton⁻¹ yakıt

Kirlenici Türü	Emisyon Faktörü
NO _x	57,0
CO	7,4
NM VOC	2,4
PM ₁₀	1,1
SO ₂	20*S

S : yakıt içindeki kükürt bileşimi (%) (distile yakıt için %0,5)

Toplam 12 keskin dönüşten oluşan rota ArcGIS yardımıyla en büyük gemilerin genişlikleri dikkate alınarak bir kenarı 30 m olan, diğer kenarı da boğazın iki dönüşü arasındaki mesafe olan dikdörtgen şeklindeki alansal kaynaklara dönüştürülmüştür. ISCST3 gibi Gasussian dağılım prensibi ile çalışan modellerde çizgisel kaynakları modellemek için özel bir kaynak tanımlaması yoktur. Bu nedenle bu çalışmada, benzeri diğer bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanıldığı ve modelin kullanma kılavuzunda da önerildiği gibi, çizgisel kaynaklar için birbirine yapışık, dar ve uzun dikdörtgenler şeklinde çok sayıda alansal kaynak olarak tanımlanmıştır (USEPA, 1995). Boğazın giriş ve çıkışı da dahil çalışılan rota üzerinde toplam 15 adet dikdörtgen belirlenmiş ve bunlar modele alansal kaynak olarak tanımlanmıştır. Çalışmada modelin ihtiyaç duyduğu saatlik meteoroloji verileri (rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, bulutluluk, enversiyon yüksekliği vb.) T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne bağlı İstanbul merkez istasyonundan 2011 yılı için temin edilmiştir. Modelin çalıştırılması için ihtiyaç duyulan topoğrafya verileri ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nden dijital olarak temin edilmiştir.



Şekil 1. İstanbul Boğazı ve yeni kanalın kentteki yerleşimi ve üzerlerindeki gemi rotaları.

5. Sonuçlar ve Tartışma

5.1. Emisyon envanteri

Çalışma sonuçlarına göre 2011 yılında İstanbul Boğazı'nda gemi trafiğinden kaynaklanan yıllık toplam emisyonlar NO_x için $3\,553 \text{ t y}^{-1}$, SO_2 için 623 t y^{-1} , CO için 461 t y^{-1} , PM_{10} için 69 t y^{-1} olarak hesaplanmıştır. İstanbul Boğazı'ndan geçen gemi sayıları dikkate alındığında 2011 yılında 29 267 geçiş sayısı ile kargo gemileri toplam gemi geçişinin %59'luk kısmını oluşturmaktadır. Tankerler ise %13'lük dilimle en yüksek geçiş sayısına sahip ikinci gemi türüdür. Farklı kirlenici emisyonlarına katkı açısından bakıldığında, genel kargo gemilerinin yaklaşık %50, tankerlerin ise %15 gibi bir payı olduğu görülmektedir. Elde edilen bu değerler literatürde aynı bölge için yapılan diğer bir çalışma (Kesgin ve Vardar, 2001) sonuçları ile kıyaslandığında uyum içinde olduğu ve kargo gemilerinin NO_x emisyonlarına olan katkısı %46, tankerlerin ise %17 olduğu belirlenmiştir.

Yeni kanalın hizmet vermeye başlamasından sonraki döneme ait olan birinci senaryo çalışması kapsamında elde edilen yeni trafik düzeni mevcut aktif gemi trafiğini arttırmıştır. Bunun sonucunda yeni kanalda oluşacak emisyonların mevcut boğaz emisyonlarına oranla daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Bu artışların etkisiyle sadece yeni kanala ait hesaplanan toplam yıllık emisyon değerleri NO_x için $3\,990 \text{ t y}^{-1}$, SO_2 için 700 t y^{-1} , CO için 518 t y^{-1} , PM_{10} için 77 t y^{-1} olarak hesaplanmıştır. Mevcut boğaz ve yeni kanal emisyonları birlikte incelendiğinde kentteki yıllık toplam emisyonlar NO_x için $7\,543 \text{ t y}^{-1}$, SO_2 için $1\,323 \text{ t y}^{-1}$, CO için 979 t y^{-1} ve PM_{10} için 146 t y^{-1} değerlerine ulaşmaktadır. İki su yolunun beraber çalışması esasına dayanan bu senaryoda boğazın mevcut durumuna kıyasla %58'lik bir emisyon artışı gözlemlenmiştir. Yıllık toplam emisyonlar incelendiğinde en büyük değerlerin SO_2 ve NO_x 'e

ait olduğu görülmektedir. Zira, uluslararası ölçekte bu iki kirlenici üzerinde çok yoğun çalışılması ve bunların emisyonlarının azaltılmasına yönelik özel uluslararası sözleşmeler oluşturulması da bu kirlenicilerin önemini göstermektedir (MARPOL ve SOLAS, 2012).

İkinci senaryo çalışmasının sonuçlarına göre ise; sadece boğaz trafiği için hesaplanan emisyon değerleri oldukça azalmış ve NO_x için 150 t y^{-1} , SO_2 için 26 t y^{-1} , PM_{10} için 3 t y^{-1} ve CO için 20 t y^{-1} olarak hesaplanmıştır. Buna karşın artan trafikten dolayı kanalın tek başına emisyonları çok artmış ve $3\,403 \text{ t NO}_x \text{ y}^{-1}$, $597 \text{ t SO}_2 \text{ y}^{-1}$, $66 \text{ t PM}_{10} \text{ y}^{-1}$, 441 t CO y^{-1} olarak belirlenmiştir. Bu senaryo ile tüm tanker ve kargo gemilerinin kanaldan geçmesi sonucunda mevcut boğaz trafiği emisyonlarında yaklaşık %96 oranında bir azalma görülmektedir. Bu durumda boğaz bölgesinde ciddi bir emisyon azalması görülürken, kentte daha önce gemi kaynaklı emisyonu olmayan yeni bölgelerde ise bir emisyon oluşumu söz konusu olmaktadır.

Üçüncü senaryo çalışmasına göre; kanaldan maksimum verim alabilmek üzere tüm trafik kanala yönlendirilmiş ve kanal uzunluğu, ortalama gemi seyir hızı ve gemilerin birbirlerini asgari takip mesafeleri gibi teknik bilgiler için optimum kabuller yapılmış ve böylece kanaldan günde en fazla 200 gemi geçişi sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Bu durumda hesaplanan emisyon değerleri $5\,187 \text{ t NO}_x \text{ y}^{-1}$, $910 \text{ t SO}_2 \text{ y}^{-1}$, 673 t CO y^{-1} , $100 \text{ t PM}_{10} \text{ y}^{-1}$ şeklindedir. Bu da mevcut boğaz trafiği emisyonlarının ortadan kalkması ve bu emisyonların 1,5 katı kadar emisyonun yeni kanal bölgesinde oluşması anlamına gelmektedir. Senaryo çalışmaları sonucunda elde edilen emisyonların karşılaştırılması Tablo 4'de detaylı olarak gösterilmiştir.

5.2. Hava kalitesi modellemesi

ISCST3 modeli ile yapılan modelleme çalışması sonuçlarına göre mevcut boğazdan kaynaklanan en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonların NO_x için $90 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $15 \mu\text{g m}^{-3}$, CO için $12 \mu\text{g m}^{-3}$ ve PM_{10} için ise $2 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmektedir. Bu yüksek değerlerin hemen boğazın üzerinde ve boğazdan bir kaç yüz metre içerideki yerleşimlerin bulunduğu bölgelerde olduğu gözlenmiştir. Birinci senaryo koşullarında çalıştırılan model sonuçlarına göre en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonları mevcut duruma göre azalmış, NO_x için $50 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $8 \mu\text{g m}^{-3}$, CO için $7 \mu\text{g m}^{-3}$, PM_{10} için $1 \mu\text{g m}^{-3}$ olarak izlenmiştir. Bu senaryoda iki su yolunun birlikte çalışması nedeniyle toplam emisyonlar, mevcut duruma göre her ne kadar artmış olsa da emisyon kaynaklarının iki farklı coğrafi bölgeye dağılması nedeniyle maksimum yıllık dış hava kalitesi seviyeleri kent genelinde daha düşük seviyelerde görülmüştür. Fakat bu durumda, mevcut duruma göre daha önce hiç etkilenecek pek çok yeni bölge de (yeni kanal yakınlarındaki yerleşimler) artık deniz yolu emisyonlarından etkilenmeye başlamaktadır. İkinci senaryo çalışması sonucunda elde edilen dış hava kalitesi değerleri incelendiğinde; boğaz bölgesinden kaynaklanan en yüksek saatlik ve yıllık NO_x konsantrasyonlarının $45 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $4 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmektedir. Kanal için elde edilen saatlik ve yıllık en yüksek NO_x değerleri ise sırasıyla $638 \mu\text{g m}^{-3}$ ve $47 \mu\text{g m}^{-3}$ şeklindedir. Elde edilen değerlere bakıldığında ikinci senaryo çalışması ile boğaz bölgesindeki dış hava kalitesi konsantrasyonlarının önemli oranda azaldığı, buna karşın kanal yakınlarında da çok önemli seviyelere yükseldiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada tüm model sonuçları bir coğrafi bilgi sistemi yardımıyla (ArcGIS 9.3) kirlilik haritaları şekline dönüştürülmüştür. Şekil 2’de boğazın mevcut durumundan kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları ve birinci senaryo çalışması sonucunda görülen yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılım haritası birlikte verilmektedir. Şekil 3’de ise; ikinci senaryo çalışmasına ait yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları dağılım haritası gösterilmiştir. Sonuçlara göre oluşan en büyük konsantrasyonların daha çok kanal üzerinde yoğunlaştığı ve boğaz bölgesinde gemi trafiğinden kaynaklanan dış hava kalitesi konsantrasyonlarının büyük ölçüde azaldığı gözlenmiştir.

Üçüncü senaryo çalışması ile boğazdaki gemi trafiğinin tamamen ortadan kaldırıldığı kabul edilmesinden dolayı, doğal olarak mevcut boğaz üzerinde olumsuz bir hava

kalitesi beklenmemektedir. Fakat buna karşın tüm gemi trafiğinin kanala taşınması nedeniyle yeni kanal civarındaki bölgelerde birinci senaryo sonuçlarının yaklaşık 1,5 katı kadar daha fazla hava kalitesi seviyeleri beklenmektedir. Sonuç olarak, bu senaryo ile her ne kadar boğaz bölgesindeki hava kirliliğinin önüne geçilmiş olsa da yeni kanal bölgesinde yoğun kirlletici konsantrasyonlarının oluşması kaçınılmazdır.

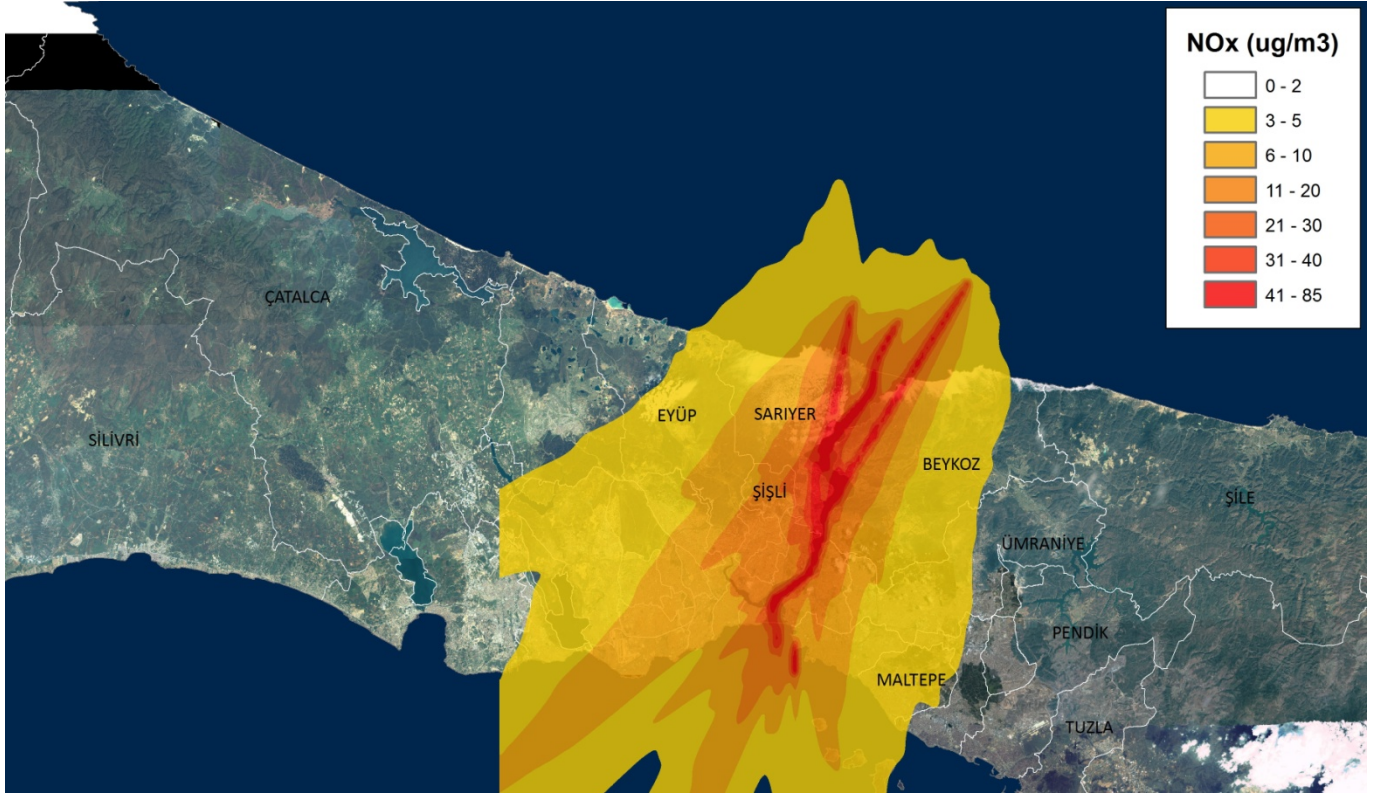
Model çalışmaları sonucunda elde edilen dağılım haritaları incelendiğinde; yeni kanal civarındaki kirlletici dağılımlarının daha az yayımlı, boğaz bölgesinde ise daha dağınık bir dağılım gözlemlendiği görülmüştür. Bu durumun temel nedeni boğazın daha kıvrımlı, kanalın ise genellikle düz bir yapıya sahip olması nedeniyle dikdörtgen alanlardan kaynaklanan dağılımlar farklılık göstermektedir, ayrıca bölgenin meteorolojik ve topografik koşulları bu farklılıkta etkili olan diğer unsurlardır.

Boğazın mevcut durumu için model ile belirlenen dış hava kalitesi değerleri boğaza yakın bölgelerde bulunan 3 hava kalitesi izleme istasyonundan (Beşiktaş, Sarıyer ve Üsküdar) elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Beşiktaş bölgesindeki yıllık ortalama NO_x değerlerinin yaklaşık %9,7’sinin mevcut boğaz trafiğinden kaynaklandığı görülmektedir. Diğer istasyonlarda NO_x ölçümü yapılmadığı için bir değerlendirme yapılamamıştır. Fakat, SO_2 için yıllık ortalama değerler incelendiğinde her üç istasyonda boğaz trafiğinin hava kalitesine katkısının önemli olduğu ve bu katkının %20’nin biraz üzerinde olduğu tespit edilmiştir. En az katkı PM_{10} için görülmüştür.

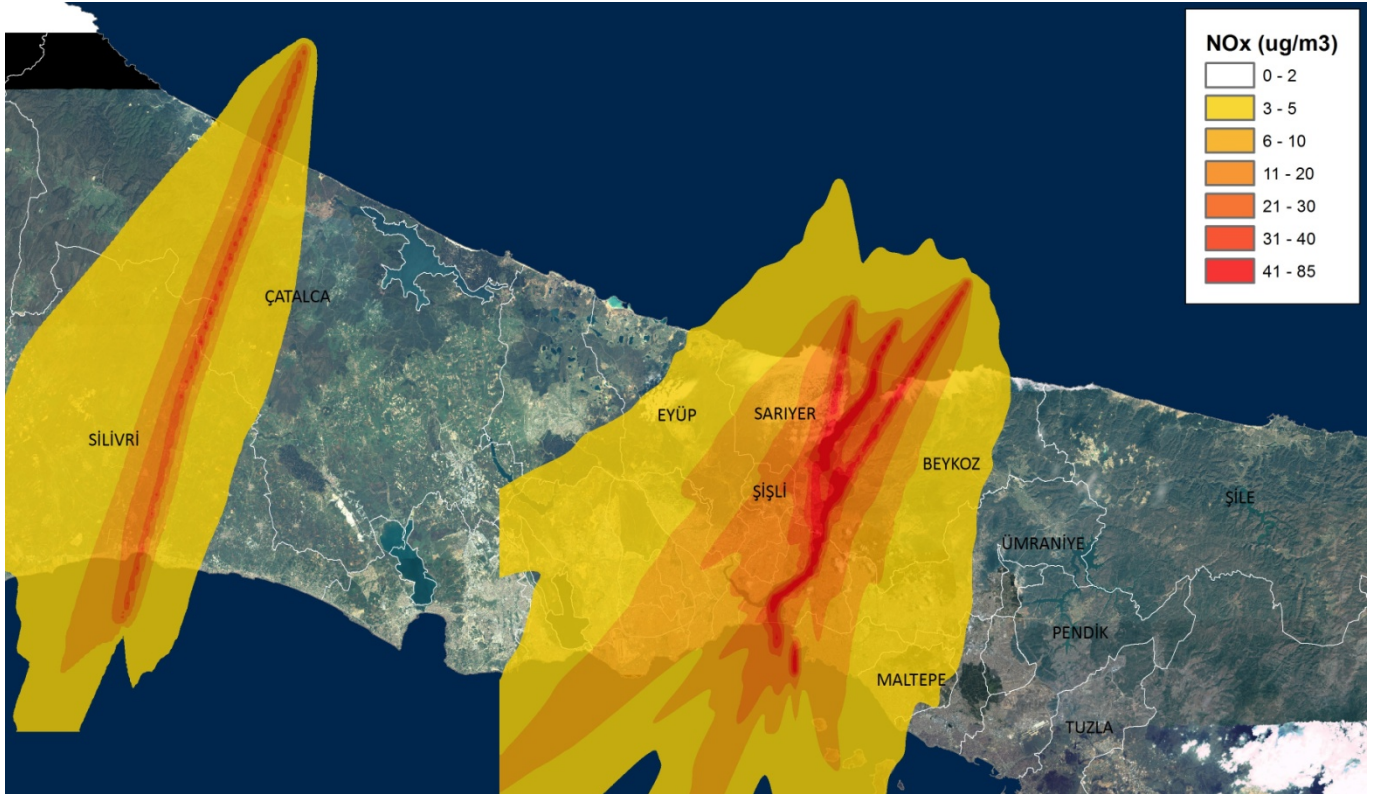
Beşiktaş ve Üsküdar’daki PM_{10} konsantrasyonlarına deniz yolu trafiğinin katkısı %1’in altında kalmış, bu değer sadece Sarıyer için %2,2 olmuştur. Bu da PM_{10} ’nin diğer kirlleticiler yanında çok önemli bir deniz yolu kaynaklı kirlletici olmadığını ve daha çok ölçüm istasyonlarına yakın diğer yerel kaynaklardan (evsel ısınma, karayolu trafiği, vb.) oluştuğunu göstermektedir. Sonuç olarak, kirlleticilerin katkısına genel olarak bakıldığında 3 istasyon içinde Sarıyer’in mevcut boğaz trafiğinden en çok etkilenen bölge olduğu ve bunun sebebinin de Sarıyer’in diğer istasyonlara göre boğazın daha iç kesimlerinde olması ve kirlleticilerin dağılımını kısmen engelleyecek bir topoğrafyaya sahip olması şeklinde açıklanabilir.

Tablo 4. Çalışılan 3 farklı senaryoya göre İstanbul’da gemi trafiğinden kaynaklanan yıllık toplam emisyonlar, ton yıl⁻¹

Kirlletici Türleri	MEVCUT DURUM	SENARYO-1			SENARYO-2			SENARYO-3		
	Boğaz	Boğaz	Kanal	Toplam	Boğaz	Kanal	Toplam	Boğaz	Kanal	Toplam
NO_x	3 553	3 553	3 990	7 543	150	3 403	3 553	-	5 187	5 187
SO_2	623	623	700	1 323	26	597	623	-	910	910
CO	461	461	518	979	20	441	461	-	673	673
PM_{10}	69	69	77	146	3	66	69	-	100	100

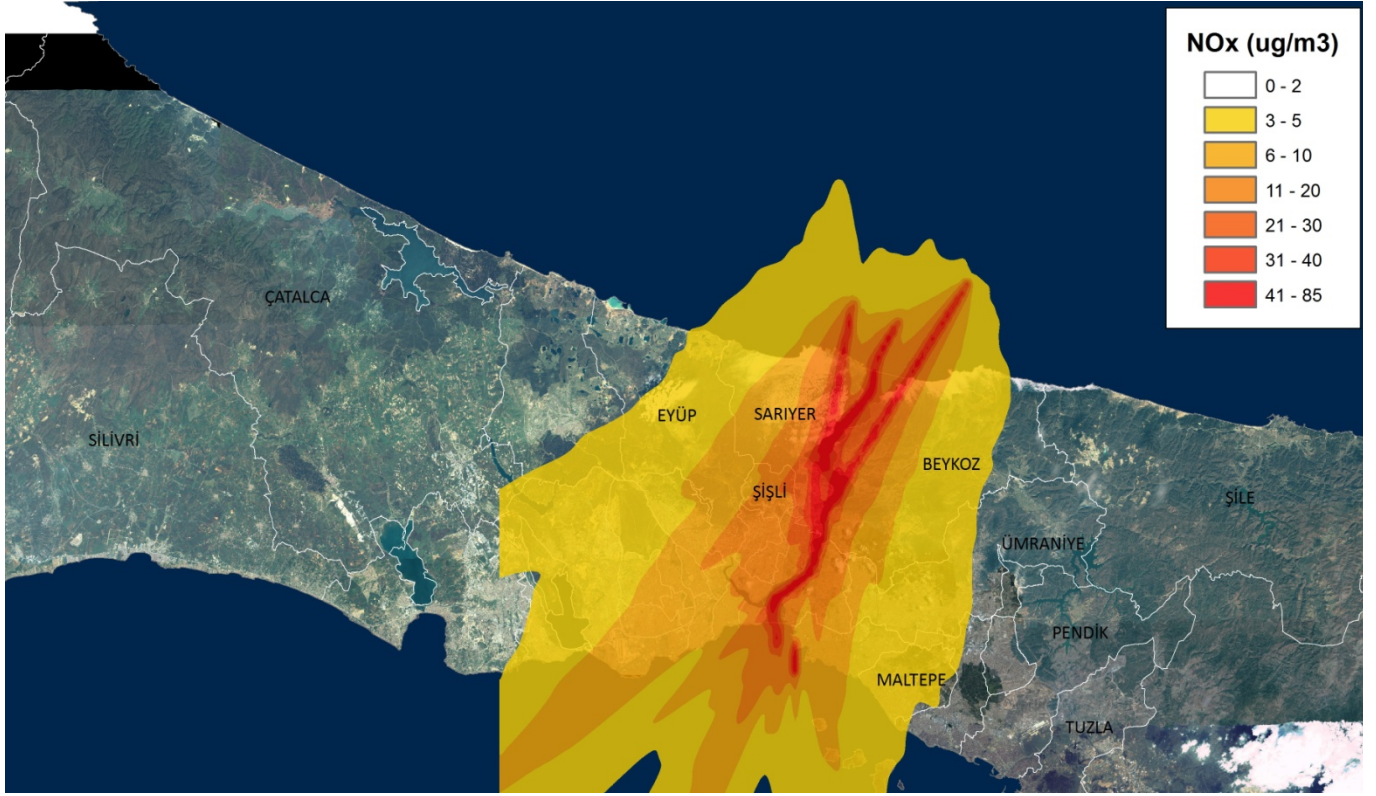


(a)



(b)

Şekil 2. İstanbul'da (a) mevcut boğaz trafiğinden, (b) birinci senaryoya göre boğaz ve kanalın birlikte hizmet vermesi durumunda gemi trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x dağılım haritaları.



(a)



(b)

Şekil 3. İstanbul'da (a) mevcut boğaz trafiğinden, (b) ikinci senaryoya göre boğaz ve kanalın birlikte hizmet vermesi durumunda gemi trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x dağılım haritaları.

6. Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışma, İstanbul Boğazı'ndaki mevcut gemi trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesinin yanı sıra boğaza paralel olarak açılması planlanan ve denizyolu taşımacılığında yeni bir su yolu olacak Kanal İstanbul projesinin kent hava kalitesine katkısının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bunun için üç senaryo kurgulanmış ve envanter/modelleme çalışmaları her birisi için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde yeni kanalın hizmet vermeye başlaması sonrası beklenen hava kalitesi açısından en kötü sayılabilecek senaryo çalışmasının üçüncüsü olduğu söylenebilir. Boğaz trafiğinin tamamen kaldırılması ve trafik açısından kanaldan maksimum fayda sağlayabilmek için kanaldan günde yaklaşık 200 geminin geçişi üzerine kurgulanan bu senaryo çalışması ile elde edilen emisyon değerleri mevcut boğaz trafiği emisyonlarının yaklaşık 1,5 katı olacak şekilde artış göstermektedir. Bu durumda boğaz bölgesi hava kalitesi açısından iyileşmiş olsa da yeni kanalın bulunduğu bölgelerde yüksek hava kalitesi değerleri görülecektir. Kent hava kalitesi açısından en iyi senaryonun ikincisi olduğu iddia edilebilir. Bu senaryoda, kanala kaydırılan büyük kargo gemileri ve tankerler sayesinde boğaz bölgesindeki emisyonlarda %96'lık bir azalma elde edilmiştir. Fakat, kaydırılan trafikten dolayı Çatalca ve Silivri gibi yeni bölgeler de (üçüncü senaryoya nispeten daha az seviyelerde) etkilenmeye başlayacaktır. Bu senaryoda da aynı mevcut durumda olduğu gibi denizlerde bekleme yapan gemilerin trafik akışına dahil edilmediği unutulmamalıdır. Her 3 senaryo çalışması için yapılan değerlendirmeler Tablo 5'de özetlenmiştir.

Tablo 5. Senaryo çalışmalarının toplam/boğaz/kanal emisyonları açısından değerlendirilmesi

	En iyi	En kötü
Toplam emisyonlar açısından	Senaryo2	Senaryo1
Tek başına boğaz emisyonları açısından	Senaryo3	Senaryo1
Tek başına kanal emisyonları açısından	Senaryo2	Senaryo3

Kentteki dış hava kalitesine en çok katkısı olan deniz yolu kaynaklı kirleticiler, SO₂ ve NO_x 'dir. Bu iki kirleticiler global ölçekte de deniz yolu taşımacılığında kaynaklanan hava kirliliği konusunda önem taşıyan ve üzerinde durulan kirleticilerdir. Bu kirleticiler açısından; kanal projesinin hayata geçmesi ve trafik akışının belirli bir oranda yeni bölgelere aktarılması sonucu boğaz trafiğinden daha önce etkilenmeyen Çatalca ve Silivri gibi yeni ilçelerin de gemi emisyonlarından etkilenmeye başlayacağı görülmüştür.

Kanal projesinin çevresel açıdan irdelenmesine yönelik henüz bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ülkemizde benzer projelere örnek teşkil edecek ve ileride daha detaylı çalışmalara fikir verebilecek niteliktedir. İleride Kanal İstanbul'un yerinin ve trafik düzeninin tam olarak netleşmesi üzerine daha detaylı ve net bilgiler ışığında yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmada İstanbul'da yakalar arasındaki yerel deniz trafiği dikkate alınmamıştır. Ayrıca, yapılan bu çalışma MARPOL'un Ek-VI'sına uyum

sürecinde olan ülkemizde karar vericilere de destek olacak niteliktedir.

Teşekkür

Çalışmamız için önemli olan başta topoğrafya olmak üzere İstanbul kentine ait bazı verileri bizimle paylaşan İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ve Çevre Koruma Müdürlüğü'nde görev yapan Çevre Mühendisi Nizamettin Mangır'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aström, M., Ab, N., 2008. Air pollution from ships, European Federation for Transport and Environment, Snaba Tryck and Visby, Sweden, 8pp.
- 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., 2007. Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey, *Science of The Total Environment* 390, 255–261.
- EC (European Commission), 2010. Sustainable ports in Baltic Sea region, [http://ec.europa.eu/ourcoast/index.cfm?menuID=7 & articleID=185](http://ec.europa.eu/ourcoast/index.cfm?menuID=7&articleID=185), erişim: Mayıs 2012.
- EEA (European Environment Agency), 2009. EMEP/CORNAIR Emission Inventory Guidebook–2009.
- Eyring, V., Isaksen, I., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J., Endersen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S., 2009. Transport impacts on atmosphere and climate: shipping, *Atmospheric Environment* 44, 4735–4771.
- Fournier, A., 2006. Controlling Air Emissions from Marine Vessels: Problems and Opportunities, University of California Santa Barbara, 85 pp.
- IMO (International Maritime Organization), 2012. <http://www.imo.org>, erişim: Nisan 2012.
- Jalkanen, J.P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, 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.
- Kalli, J., Karvonen, T., Makkonen, T., 2009. Sulphur content in ships bunker fuel in 2015 - a study on the impacts of new IMO regulations on transportation costs, Publications of the Ministry of Transport and Communications, Report No. 31/2009, Helsinki, 38pp.
- Kanal İstanbul, 2010. <http://www.kanalistanbul.gen.tr>, erişim: Nisan 2012.
- Kesgin, U., Vardar, V., 2001. A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits, *Atmospheric Environment* 35, 1863–1870.
- Light Algantürk, D.S., 2008. Gemilerden kaynaklanan hava kirliliği hakkında yasal düzenlemeler ve değerlendirmeler. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 14, 65–73.
- MARPOL ve SOLAS, 2012. <http://www.marpolandsolas.com/tr/?k=63&mb=SOxEmisyonu&mnId=6>, erişim: Mayıs 2012.

Otay, E., Özkan, Ş., 2003. İstanbul Boğazı Risk Haritası. *Proceeding of 5th National Conference on Coastal Engineering*, Mayıs 2005, Bodrum, Türkiye, 19–32.

T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2009. <http://www.mfa.gov.tr/turk-bogazlari.tr.mfa>, erişim: Mayıs 2012.

Ulusçu, Ö.S., Özbaş, B., Altıok, T., İlhan, O., 2009. Risk analysis of the vessel traffic in the strait of İstanbul, *Risk Analysis* 29, 1454–1472.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1995. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models. North Carolina, NC, USA.



Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi

www.hkad.org



Research Article

Investigation of Variations of Air Quality From Marine Traffic in the Bosphorus After Canal-Istanbul Project

Gizem TUNA, Tolga ELBİR ✉

Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylul University, Tinaztepe Campus, 35160 Buca, Izmir, Turkey

Received: November 15, 2012; Accepted: January 10, 2013

ABSTRACT

In this paper, contribution of maritime traffic to air quality in İstanbul and changing of air quality after the Canal-Istanbul project were mainly studied by an air quality dispersion model. USEPA's ISCST3 dispersion model was used to estimate air quality levels for four pollutants (SO_2 , NO_x , CO, PM_{10}). Type of vessels, fuel consumptions, annual passing numbers and cruising time about traffic on the Bosphorus were collected from T.C. Prime Ministry Under Secretariat for Maritime Affairs for 2011 and mainly used to calculate air pollutant emissions with the help of emission factors from the literature. Since Canal-Istanbul project that is a new project for the city focusing on the construction of the second transportation channel between Marmara Sea and Black Sea has not been projected yet, required data were assumed from all transportation options that were announced to the public. Three scenarios regarding the potential effects of the maritime traffic on the new canal were studied within the scope of this study. First scenario was planned to prevent waiting time and cost of ships that are waiting to enter the Bosphorus. In this scenario, these ships use both channel and the Bosphorus simultaneously without any delay and all of them are assumed to be involved in traffic. In second scenario, all tankers and cargo ships having large dimensions and high accident risks use new channel and the remains continue to use the Bosphorus. The third scenario was planned to completely remove Bosphorus traffic, on the other hand the new channel is used to provide maximum ship passing numbers. According to the prepared emission inventory, the calculated total emissions originated from existing maritime traffic on the Bosphorus are 623, 3553, 461, and 69 t yr⁻¹ for SO_2 , NO_x , CO, and PM_{10} , respectively. Annual total emissions for the first scenario were calculated as 700 t yr⁻¹ for SO_2 , 3 990 t yr⁻¹ for NO_x , 518 t yr⁻¹ for CO, and 77 t yr⁻¹ for PM_{10} . According to the second scenario, 96% of reduction for the current Bosphorus emissions was observed, on the other hand channel will be a new emission source for different residential areas in İstanbul. Last scenario shows that emissions of new canal increased 1.5 times than the current emissions on the Bosphorus. According to the model results, maximum annual and hourly average air quality levels originated from current Bosphorus traffic were observed on Bosphorus or residential areas that are a few hundred meters inside the Bosphorus such as Sisli and Sariyer. Air quality levels estimated by the model were compared with the observations from air quality monitoring stations in the city.

Keywords: Ship emissions, Bosphorus, air quality modeling, emission inventory

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.