



Araştırma Makalesi

İzmir Körfezi'nde Toplu Taşım Yapan Deniz Taşıtlarından Kaynaklanan Hava Kirleticilerin Kent Atmosferindeki Dağılımlarının EPA-ISCST3 Modeli ile Belirlenmesi

Fatih İLEK, Tolga ELBİR✉

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

Sunuluş tarihi: 13 Şubat 2012, Kabul edilme tarihi: 2 Nisan 2012

ÖZET

Etrafı denizlerle çevrili olan ülkemizde denize kıyısı olan önemli metropollerin (İstanbul, İzmir, Antalya, vb.) bulunduğu göz önüne alınırsa denizyolu taşımacılığının ülkemiz için ciddi bir kirleticiler kaynağı olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, ülkemizin batı kıyısında bulunan ve nüfusu açısından ülkemizin üçüncü büyük kenti olan İzmir'de denizyolu ile gerçekleştirilen toplu taşımacılığının hava kalitesine olan katkısının bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmesidir. Çalışma kapsamında İzmir Körfezi'nde İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne ait toplu taşıma yapan vapur ve feribotlardan kaynaklanan beş hava kirleticisi (SO_2 , NO_x , PM_{10} , CO ve NMVOC) için dağılım hesapları yapılmıştır. Çalışmada körfez içinde değişik güzergahlarda çalışan deniz taşıtlarına ve bunların günlük aktivitelerine ilişkin bazı bilgiler (sefer sayısı, sefer süresi, vb.) 2009 yılı için toplanıp literatürdeki ilgili emisyon faktörleri yardımıyla bu aktivitelerden kaynaklanan hava kirleticisi emisyonları hesaplanmıştır. Bu çalışmada dağılım modeli olarak EPA-ISCST3 modeli kullanılmıştır. Tüm model sonuçları bir Coğrafi Bilgi Sistemi (ArcGIS) yardımıyla hava kalitesi dağılım haritaları şeklinde sunulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre; İzmir Körfezi'nde toplu taşıma amacıyla yapılan denizyolu taşımacılığından kaynaklanan toplam yıllık emisyonlar; PM_{10} için 21,6 ton, SO_2 için 50,1 ton, NO_x için 204,6 ton, NMVOC için 22,8 ton, CO için 52,5 ton'dur. Bu emisyonların bölge hava kalitesinde neden olduğu en yüksek yıllık dış hava kalitesi konsantrasyonları ise; PM_{10} için $0,7 \mu g m^{-3}$, SO_2 için $1,7 \mu g m^{-3}$, NO_x için $6,8 \mu g m^{-3}$, NMVOC için $0,8 \mu g m^{-3}$, CO için $1,7 \mu g m^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bir kent hava kalitesi için çok küçük sayılabilecek bu uzun vadeli ortalama konsantrasyonların yanı sıra kısa vadeli maksimum konsantrasyonlar incelendiğinde değerlerin zaman zaman kritik değerlere ulaştığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: gemi emisyonları, hava kalitesi modellemesi, emisyon envanteri, ISCST3, İzmir

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

1. Giriş

Kent merkezlerinde yaşanan hava kirliliği problemlerinin temel kaynağı, sanayi tesislerinde enerji eldesi ve konutlarda ısınma amacıyla tüketilen fosil yakıtların yakılması ile oluşan kirleticilerdir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı kirleticiler türleri için en az bu sektörler kadar ulaşım sektörünün de hava kalitesine olumsuz etkisi olduğu görülmektedir (Bellasio vd., 2007; Peace vd., 2004; Kukkonen vd., 2001). Özellikle karayollarında seyir halinde olan motorlu karayolu taşıtlarının eksozlarından kent atmosferine verilen kirleticilerin bölgenin hakim meteorolojik ve topoğrafik koşulları ile zaman zaman insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaştığı bilinmektedir (Elbir vd., 2010; Monzon ve Guerrero, 2004; Flachsbart, 1999).

Karayollarındaki ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliği gibi deniz kıyısında bulunan büyük kentlerde deniz-

yolu ulaşımından kaynaklanan hava kirliliğinin de önemli boyutlarda olabileceği yine son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ile ortaya konmuştur (Saxe ve Larsen, 2004; Cooper ve Andreasson, 1999; Kesgin ve Vardar, 2001).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler, atmosferde gaz ve partikül fazda olmak üzere yüzlerce bileşiği içerir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan temel kirleticilerin başında karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), partikül madde (PM), azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşikler (VOC) gelir (Seinfeld ve Pandis, 2006). Bunların son ikisi NO_x ve VOC'ler troposferik ozonun (O_3) oluşmasında önemli bir paya sahiptir. Oksijenin aktif bir hali olan ozon, hidrokarbonlar ile azot oksitlerin de katıldığı, güneş ışığı ile gerçekleşen çok sayıda karmaşık kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Özellikle, insanların solunum yollarına

zarar verir, yapı, bina ve malzemeleri aşındırır, rüzgarlar ile taşınarak bitki örtüsünün ve ormanların tahribine neden olur.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar; taşıtın yaşı, motorun çalışma devri, çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, yakıt türü ve kalitesi gibi parametrelere doğrudan bağlıdır. Motorların işletme şartları da emisyon oluşumunda önemli yer tutmaktadır. Rölanti esnasında oluşan emisyonlar, hızlanma şartlarında oluşan emisyonlara kıyasla oldukça etkilidir. Örneğin rölanti halinde bir aracın egzoz gazlarında CO ve VOC kirleticileri çok yüksek iken NO miktarı düşüktür buna karşın araç hızlandığı zaman CO ve VOC miktarı düşük oranlardayken NO oranı yüksek olabilir (Cooper ve Alley, 1994).

Ülkemizde deniz trafiğinden kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi konusunda bugüne kadar gerçekleştirilmiş çok detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece Kesgin ve Vardar (2001) tarafından gerçekleştirilen bir çalışma ile İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçen gemilerin neden olduğu hava kirletici emisyonları hesaplanmıştır. Sayılarına ve teknolojik özelliklerine göre kategorize edilerek değerlendirilen deniz taşıtlarının bir yılda iki boğazdan transit geçişlerinde neden oldukları toplam NO_x emisyonları 12 818 ton olarak bulunmuştur. Çalışmada İstanbul'da sadece boğaz trafiğinden kaynaklanan NO_x emisyonlarının İstanbul kent merkezindeki karayolları trafiğinden kaynaklanan toplam emisyonların %10'unu teşkil ettiği bulunmuştur. Sadece boğazlardan transit geçişi dikkate alan bu çalışmada yolcu taşıma amacıyla gerek boğazlarda gerekse Marmara Denizi'nde çalışan deniz araçları dikkate alınmamıştır. Ayrıca geçen yıl, ülkemiz deniz ve kıyı alanlarındaki gemi kaynaklı hava kirliliğinin çevresel etkilerinin incelenerek, gemi kaynaklı hava kirliliğinin önlenmesi için gerekli tedbirlerin belirlenmesi ve uygulanması amacıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Projesi" isimli yeni bir projeye başlanmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

Yurtiçindeki kısıtlı çalışmaların aksine yurtdışında benzer çalışmalar çok yaygındır. Örneğin Danimarka'nın üç büyük liman kentinde (Copenhagen, Elsinore ve Koge) gerçekleştirilen bir çalışmada, PM, SO₂ ve NO_x emisyonları belirlenmiş ve bir hava kalitesi dağılım modeli ile bu limanlardaki deniz trafiğinin kent hava kalitesine katkısı belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar kent hava kalitesine önemli bir katkının olduğunu göstermektedir. Örneğin Copenhagen'de deniz trafiğinden kaynaklanan PM emisyonlarının aynı kentte karayolu trafiğinden kaynaklanan PM emisyonlarının % 8-15'ine karşılık geldiği bulunmuştur (Saxe ve Larsen, 2004). Yapılan başka

bir çalışma da ise Norveç'te yolcu taşıma amacıyla çalışan feribotları motor teknolojilerine ve seyir hızlarına göre üç ayrı grupta incelenerek bu araçlardan kaynaklanan NO_x, SO₂, CO, CO₂, NMVOC, CH₄, N₂O, NH₃, PM ve PAH emisyonları belirlenmiştir. Araştırmacı çalışmada her bir kirletici parametre için üç feribot türünün birbiri ile kıyaslamasını yaparak çok kirleten ve daha az kirleten feribotlar şeklinde bir sonuca varmıştır (Cooper, 2001). Ayrıca bu çalışmanın ön hazırlığı niteliğindeki diğer bir çalışmada bir feribota yerleştirdikleri sürekli ölçüm cihazları ile bir yıl boyunca NO_x, CO ve CO₂ ölçümleri yapmışlardır. Bu çalışma sonunda bir yılda 4618 saat aktif olarak çalışan bu feribottan kaynaklanan emisyonlar bulunmuş, bununla ilişkili olarak söz konusu feribot türüne ait emisyon faktörleri üretilmiştir (Cooper ve Andreasson, 1999).

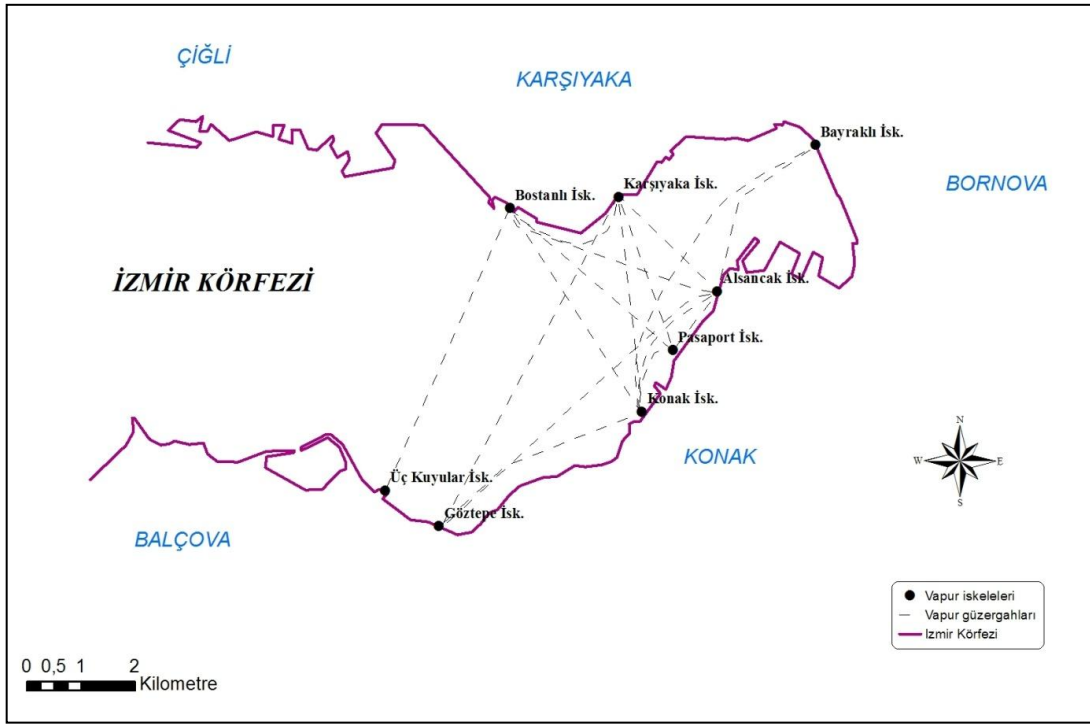
Yurtiçinde çok fazla bulunmayan bu tür çalışmalara bir kazanç olması açısından planlanan bu çalışmada İzmir Körfezi içinde toplu taşımacılık yapan vapur ve feribotlardan kaynaklanan hava kirleticilerin kent hava kalitesine katkıları belirlenmiştir. Çalışmada 2009 yılı için deniz taşıtlarına ilişkin aktivite bilgileri temin edilmiş ve literatürden seçilen emisyon faktörleri ile detaylı bir emisyon envanteri hazırlanmıştır. Hesaplanan emisyonlar kentin meteorolojik koşulları dikkate alınarak kent atmosferinde bir hava kalitesi dağılım modeli yardımı ile dağıtılmıştır.

2. İzmir Körfezi ve Denizyolu Trafiği

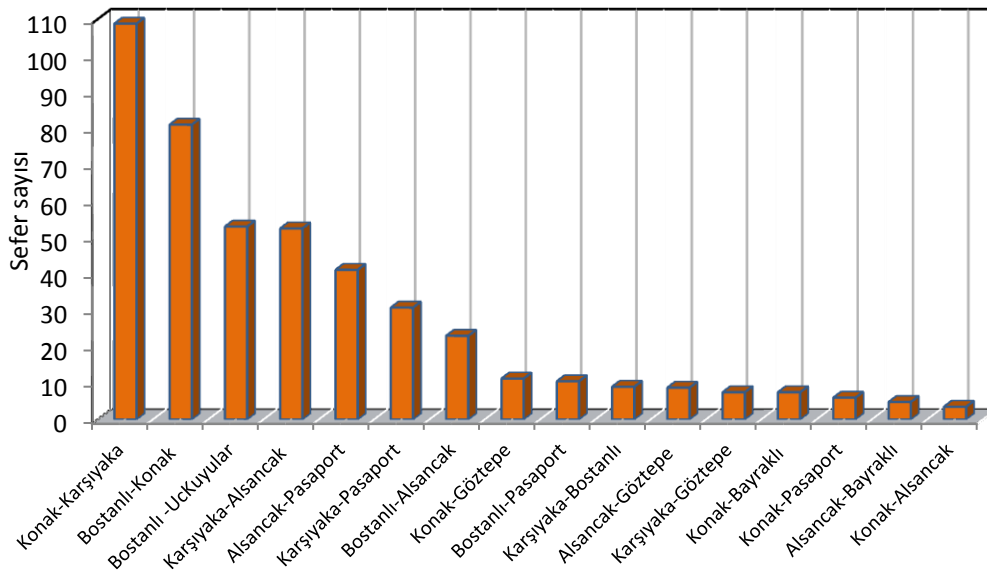
Ülkemizin batı kıyısında bulunan ve yaklaşık 3,5 milyon nüfusu itibarıyla üçüncü büyük ili olan İzmir, İstanbul'dan sonra en yoğun deniz trafiğine sahip kenttir. Daha çok İzmir Körfezi içindeki liman ve toplu taşıma trafiği nedeniyle yoğun olan bu denizyolu trafiğinin kent atmosferini zaman zaman olumsuz etkilediği gözlenmektedir. Körfez içinde yoğun bir toplu taşıma trafiği bulunmaktadır. Yıl boyunca Konak-Karşıyaka, Bostanlı-Konak, Karşıyaka-Bostanlı, Konak-Alsancak, Bostanlı-Alsancak, Bostanlı-Üçkuyular, Karşıyaka-Pasaport, Alsancak-Pasaport, Karşıyaka-Alsancak, Bostanlı-Pasaport, Karşıyaka-Göztepe, Konak-Bayraklı, Alsancak-Bayraklı, Konak-Pasaport, Alsancak-Göztepe ve Konak-Göztepe hatlarında çalışan deniz araçları (vapur ve feribotlar) haftanın tüm günleri gün içinde sabah saat 06:30 ve gece yarısı saat 01:15 arasında düzenli olarak çalışmaktadır. Şekil 1'de sözü edilen vapur hatları görülmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen vapur güzergahlarındaki günlük sefer sayıları ise Şekil 2'de görülmektedir.

3. Malzeme ve Yöntem

Çalışmada öncelikle İzmir Körfezi'nde yolcu ve taşıyan vapur ve feribot gibi deniz taşıtlarına ait



Şekil 1. İzmir Körfezi'nde vapur güzergahları

Şekil 2. Hatlara göre günlük vapur ve feribot sefer sayıları, sefer gün⁻¹

çeşitli aktivite bilgileri toplanmıştır. Deniz araçlarının sefer sayıları İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir. Her bir güzergahtaki ortalama sefer süresinin tespit edilmesi amacıyla farklı günlerde tüm güzergahlardaki vapur seferlerine iştirak edilerek istatistiksel olarak ortalama süreler belirlenmiştir.

Gün içindeki güzergahlara göre sefer sayısı ve bu seferlere iştirak ile her bir güzergah için belirlenen ortalama seyahat süresi bilgileri, literatürden temin edilen emisyon faktörleri ile emisyonlara dönüştürülmüştür. Emisyon faktörü, bir deniz taşıtının birim zamanda belli bir hızla seyir halindeyken veya tüket-

tiği birim yakıt başına atmosfere verdiği kirlitici külesini gösteren katsayı olarak tanımlanmaktadır. Farklı deniz taşıt türleri için Avrupa ülkelerinde bugüne kadar farklı yakıt türlerine ve motor teknolojilerine göre çeşitli emisyon faktörü belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Emisyon faktörlerinin seçiminde Avrupa Çevre Örgütü'nün (European Environment Agency) "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2007" isimli veritabanı kullanılmıştır (EEA, 2007). Bu emisyon faktörleri kullanılan yakıt türüne, motor teknolojisine ve taşıtın seyir hızına göre seçilmiştir. Bu veritabanı yurtdışında gerçekleştirilen benzer çalışmalarda da yaygın kulla-

nılmaktadır. Çalışmada emisyonlar beş kirlenici (PM_{10} , SO_2 , NO_x , NMVOC ve CO) için hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan emisyon faktörleri ilgili birim düzeltmeleri yapıldıktan sonra NO_x , NMVOC, CO, PM, SO_2 için sırasıyla 0,313; 0,035; 0,080; 0,033; 0,077 kg taşıt⁻¹ m⁻¹ olarak kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında körfezdeki deniz taşıtlarının kent hava kalitesine olan katkıları bir matematiksel hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla belirlenmiştir. Deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyonların belirlenmesinden sonra, bölgenin meteorolojik ve topoğrafik koşulları dikkate alınarak Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA)'nın Industrial Source Complex (EPA-ISCST3) modeli kullanılarak kent atmosferindeki hava kirlenici seviyeleri belirlenmiştir.

EPA-ISCST3 modeli, çok sayıda ve farklı türde kirlenici kaynaktan atmosfere bırakılan kirlenici gaz ve tozların, farklı mesafelerdeki yer seviyesi konsantrasyonlarını ve çökeltme miktarlarını hesaplayabilen Gauss tipi bir matematiksel modeldir. Model ile kirlenicilerin saatlik ortalama konsantrasyon ve çökeltme değerlerini hesaplamak mümkündür. EPA-ISCST3 modeli üç tip kirlenici kaynak türü ile çalışabilir, bunlar noktasal, alansal ve hacimsel kaynaklardır (EPA, 1995).

Modelleme çalışmaları için çalışma alanı 18 km x 12 km olarak seçilmiş (Şekil 3) ve detaylı sonuç elde edebilmek için 250 m'lik gridlere bölünmüştür. Bu çalışmada, körfezdeki farklı iskeleler arasında toplam 16 farklı denizyolu güzergahı çalışılmıştır. Genelde birkaç kilometre uzunluğunda olan bu güzergahlar

model için 250 m'lik küçük segmentlere bölünerek model çalışmalarında toplam 272 farklı segment (alan kaynak) ile çalışılmıştır. Çalışmada modelin ihtiyaç duyduğu saatlik meteoroloji verileri (rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, bulutluluk, vb.) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı İzmir Merkez (Güzelyalı) istasyonundan 2009 yılı için temin edilmiştir.

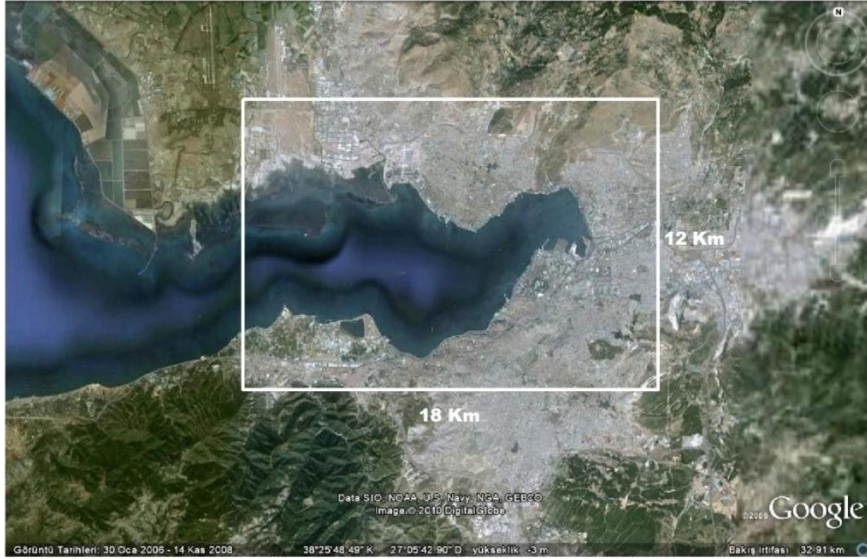
4. Bulgular ve Tartışma

Çalışma sonuçlarına göre İzmir Körfezi'nde toplu taşıma yapan vapur ve feribotlardan kaynaklanan günlük toplam emisyonlar NO_x için 560,5 kg gün⁻¹, NMVOC için 62,3 kg gün⁻¹, CO için 143,8 kg gün⁻¹, PM_{10} için 59,1 kg gün⁻¹ ve SO_2 için 137,3 kg gün⁻¹dür (Tablo 1). Yıllık emisyonlar incelendiğinde ise; PM_{10} için 21,6 ton, SO_2 için 50,1 ton, NO_x için 204,6 ton, NMVOC için 22,8 ton, CO için 52,5 ton olduğu görülmektedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere bir gündeki sefer sayısının Konak-Karşıyaka hattında çok fazla olması nedeniyle tüm kirleniciler için en yüksek emisyonlar bu güzergahtan kaynaklanmaktadır. Bu hat tek başına körfez içinde her kirlenici için hesaplanan toplam emisyonların yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır.

İzmir Körfezi'nde toplu taşımadan kaynaklanan denizyolu emisyonları, İzmir kent geneli için yapılan bir çalışma (Elbir vd., 2010) kapsamında karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyon miktarları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre farklı kirleniciler için denizyolu emisyonlarının, karayolu emisyonlarının %2 ile %19'u arasında değişen oranlarda olduğu ve bu oranların İzmir kenti hava kalitesi açısından azım-

Tablo 1. İzmir Körfezi'nde toplu taşımadan kaynaklanan günlük toplam emisyonlar, kg gün⁻¹

Güzergah	Günlük Emisyonlar (kg gün ⁻¹)				
	NO_x	NMVOC	CO	PM_{10}	SO_2
Konak-Karşıyaka	137,1	15,2	35,2	14,5	33,6
Bostanlı-Konak	114,0	12,7	29,2	12,0	27,9
Karşıyaka-Bostanlı	7,3	0,8	1,9	0,8	1,8
Konak-Alsancak	3,1	0,3	0,8	0,3	0,8
Bostanlı-Alsancak	29,6	3,3	7,6	3,1	7,2
Bostanlı-Üçkuyular	94,6	10,5	24,3	10,0	23,2
Karşıyaka-Pasaport	29,2	3,2	7,5	3,1	7,2
Alsancak-Pasaport	17,5	1,9	4,5	1,8	4,3
Karşıyaka-Alsancak	42,0	4,7	10,8	4,4	10,3
Bostanlı-Pasaport	13,2	1,5	3,4	1,4	3,2
Karşıyaka-Göztepe	16,2	1,8	4,2	1,7	4,0
Konak-Bayraklı	14,9	1,7	3,8	1,6	3,7
Alsancak-Bayraklı	5,3	0,6	1,4	0,6	1,3
Konak-Pasaport	2,8	0,3	0,7	0,3	0,7
Alsancak-Göztepe	18,4	2,0	4,7	1,9	4,5
Konak-Göztepe	15,4	1,7	3,9	1,6	3,8
Toplam	560,5	62,3	143,8	59,1	137,3



Şekil 3. Model çalışma alanı

sanmayacak kadar önemli olduğu görülmüştür. Tablo 2' de karayolu/denizyolu emisyon oranları görülmektedir.

ISCST3 modeli ile yapılan modelleme çalışması sonuçlarına göre kent atmosferinde karşılaşılan en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonların NO_x için $6,8 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu, benzer şekilde bu değerlerin PM_{10} için $0,7 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$, NMVOC için $0,8 \mu\text{g m}^{-3}$, CO için $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmektedir. En yüksek saatlik değerlerin ise NO_x için $166 \mu\text{g m}^{-3}$, PM_{10} için $18 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $41 \mu\text{g m}^{-3}$, NMVOC için $19 \mu\text{g m}^{-3}$ ve CO için $43 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu görülmektedir.

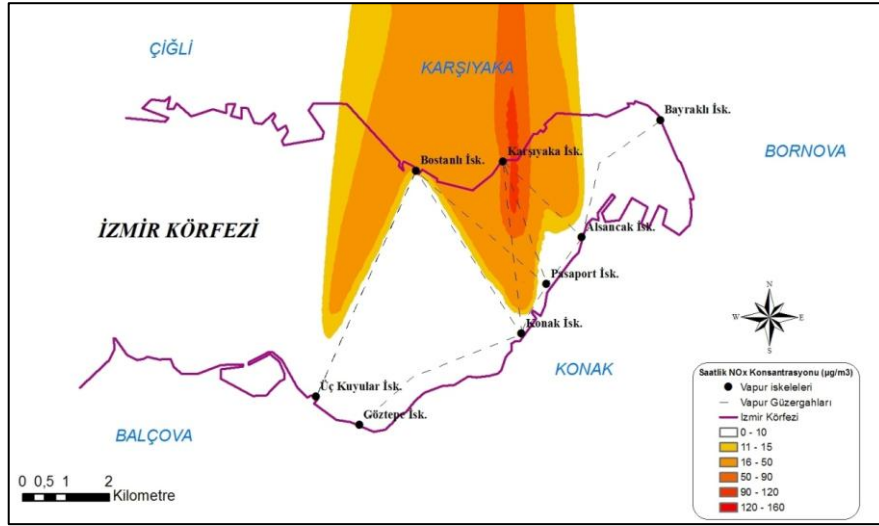
Modelleme çalışmaları ile bulunan konsantrasyonlar kriging interpolasyon tekniği kullanılarak bir coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS) yardımıyla haritalanmıştır. Buna göre yıllık ortalama konsantrasyonlar genellikle birkaç $\mu\text{g m}^{-3}$ büyüklüğünde ve körfez üzerinde görülmekte iken saatlik en büyük konsantrasyonlar, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki sınır değerler ile kıyaslandığında çok daha kritik seviyelere (birkaç yüz $\mu\text{g m}^{-3}$ mertebeleri) ulaşabilmektedir. Örneğin yönetmelikte NO_2 için saatlik limit değerinin $200 \mu\text{g m}^{-3}$ olduğu dikkate alınırsa model çalışmaları ile elde edilen en yüksek NO_x konsantrasyonunun ($166 \mu\text{g m}^{-3}$) önemli olduğu görülmektedir. Örnek olması açısından Şekil 4 ve 5'te yıllık ve en

büyük değerin görüldüğü tarih olan 31/05/2009 tarihindeki saatlik ortalama NO_x konsantrasyonlarının dağılımı verilmektedir. Her iki haritada da gün içinde sefer sayısının en çok olduğu Konak-Karşıyaka hattı üzerinde kirlilik dağılımının yoğunlaştığı görülmektedir. Fakat mertebe olarak saatlik ortalama değerler yıllık ortalama değerlerin 20-25 katı kadar olabilmektedir. Şekil 5'te çizilen 31/05/2009 tarihinde saat 20.00'deki gibi rüzgarın güneyden kuzeye doğru ve $1,5 \text{ m s}^{-1}$ gibi düşük bir hız ile estiği düşünülürse denizyolu taşıtlarından kent atmosferine verilen kirlitici konsantrasyonlarının İzmir Körfezi'nin kuzey kesimindeki karasal bölgelere doğru hareket ettiği görülmekte ve yoğun nüfusun yaşadığı Karşıyaka ilçesi gibi bölgelerin bu kirlilikten etkilendiği görülmektedir.

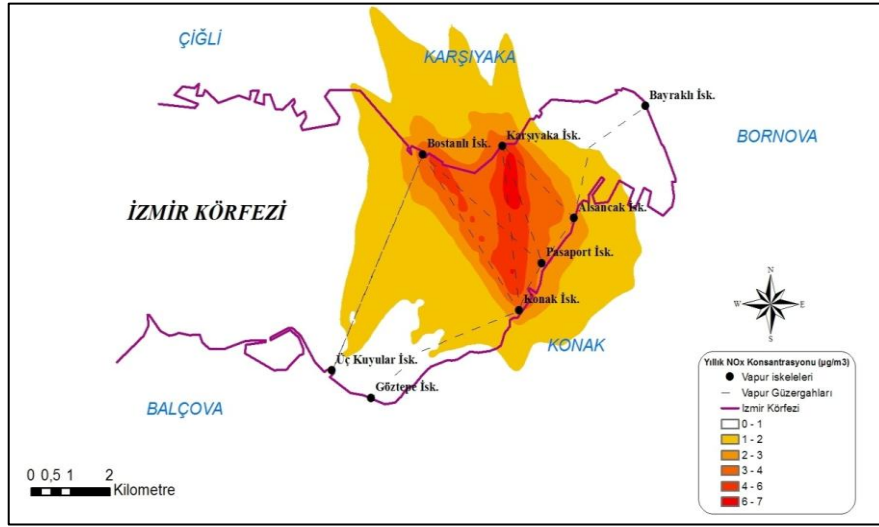
Farklı saatler için yapılan diğer çalışma sonuçları, benzer durumun hakim rüzgar yönüne göre kentin diğer ilçelerini de benzer şekilde etkilediği görülmektedir. Elde edilen kirlilik haritaları incelendiğinde gün içinde sefer sayısının en yoğun olduğu Konak-Karşıyaka ve Konak-Bostanlı hatları üzerinde en yüksek konsantrasyonların oluştuğu ve bu konsantrasyonların azalarak körfezin kıyı kesimlerine kadar ulaştığı görülmektedir. Şekil 6'da İzmir Körfezi'nde SO_2 için yıllık ortalama konsantrasyon dağılım haritası görülmektedir.

Tablo 2. İzmir'de denizyolu ve karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonların karşılaştırılması

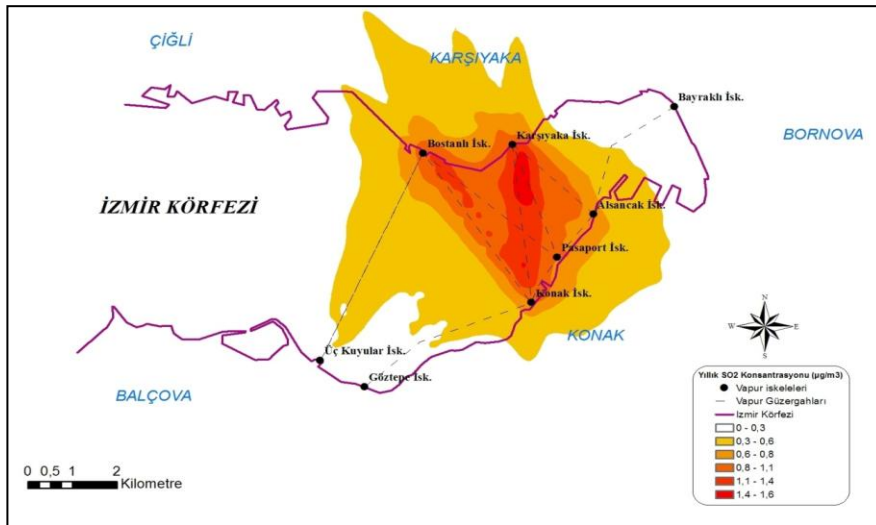
Kirlitici Türleri	NO_x	NMVOC	CO	PM	SO_2
Karayolu Trafiği	15 330	2180	6846	303	728
Denizyolu Trafiği	561	62	144	59	137
Denizyolu/Karayolu Oranı (%)	3,7	2,9	2,1	19,5	18,9



Şekil 4. Denizyolu trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonlarının dağılımı, $\mu\text{g m}^{-3}$



Şekil 5. 31/05/2009 tarihinde saat 08:00'de denizyolu trafiğinden kaynaklanan saatlik ortalama NO_x konsantrasyonlarının dağılımı



Şekil 6. Denizyolu trafiğinden kaynaklanan yıllık ortalama SO₂ konsantrasyonlarının dağılımı, $\mu\text{g m}^{-3}$

5. Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışmada İzmir Körfezi'ndeki yolcu ve taşıt taşıyan vapur ve feribot gibi deniz taşıtlarından kaynaklanan hava kirleticisi emisyonlar ve bu emisyonların kent atmosferindeki dağılımı EPA-ISCST3 modeli ile belirlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre; İzmir Körfezi'nde toplu taşıma amacıyla yapılan denizyolu taşımacılığından kaynaklanan günlük toplam emisyonlar PM_{10} için 0,06 ton $gün^{-1}$, SO_2 için 0,14 ton $gün^{-1}$, NO_x için 0,56 ton $gün^{-1}$, NMVOC için 0,06 ton $gün^{-1}$, CO için 0,14 ton $gün^{-1}$ olarak bulunmuştur. Yıl geneli için bakıldığında toplam emisyonların PM_{10} için 21,57 ton $yıl^{-1}$, SO_2 için 50,12 ton $yıl^{-1}$, NO_x için 204,59 ton $yıl^{-1}$, NMVOC için 22,72 ton $yıl^{-1}$, CO için 52,47 ton $yıl^{-1}$ olduğu görülmektedir.

Denizyolu taşımacılığı ile ilgili ülkemizde bugüne kadar çok fazla bilimsel çalışma yapılamamıştır. Bu açıdan İzmir kentinde gerçekleştirilen bu çalışma ülkemizde benzer kentlere örnek teşkil ederek ileride daha detaylı çalışmalara yön verebilecek niteliktedir. Bölgede gerçekleştirilecek yeni çalışmalarda, emisyon faktörlerinin kullanılması yerine deniz taşıtlarının eksoz hatlarında online baca gazı ölçümleri yapılarak bu taşıtlara özel belirlenen emisyon faktörlerinin kullanılması daha yerinde olacaktır. Bu çalışma, sadece İzmir Körfezi'ndeki toplu taşıma taşıtlarından kaynaklanan trafiği dikkate alması nedeniyle körfezdeki mevcut kirlilik yükünü tam olarak yansıtmamaktadır. İzmir Körfezi'nde İzmir Limanı'na yük taşıyan ve yüksek kapasiteli ticari yük gemilerinin varlığı da dikkate alınarak körfezdeki toplam deniz trafiğinden kaynaklanan bir hava kalitesi belirleme çalışmasının yapılması gereklidir.

Kaynaklar

- Bellasio, R., Bianconi, R., Corda, G., Cucca, P., 2007. Emission Inventory For The Road Transport Sector in Sardinia (Italy). *Atmospheric Environment* 41, 677-691.
- Cooper, C.D., Alley, F.C., 1994. Air Pollution Control: A Design Approach, Waveland Press, Prospect Heights, Illinois, pp. 527-565.
- Cooper, D.A., 2001. Exhaust emissions from high speed passenger ferries. *Atmospheric Environment* 35, 4189-4200.
- Cooper, D.A., Andreasson, K., 1999. Predictive NO_x emission monitoring on board a passenger ferry. *Atmospheric Environment* 33, 4637-4650.
- Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Altıok, H., Seyfioglu, M., Ergun, P., Simsir, S., 2010. İzmir Kent Merkezinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kirleticilerinin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12, 1-17.
- EPA, 1995. User's Guide For The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volume I - User Instructions User's Guide For The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volume II - Description Of Model Algorithms.
- European Environment Agency (EEA), 2007. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2007.
- Flachsbart, P.G., 1999. Human Exposure to Carbon Monoxide from Mobile Sources. *Chemosphere-Global Change Science* 1, 301-329.
- Kesgin, U., Vardar, V., 2001. A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish straits. *Atmospheric Environment* 35, 1863-1870.
- Kukkonen, J., Valkonen, E., Walden, J., Koskentalo, T., Aarnio, P., Karppinen, A., Berkowicz, R., Kartastenpaa, R., 2001. A Measurement Campaign in a Street Canyon in Helsinki and Comparison of Results with Predictions of The OSPM Model. *Atmospheric Environment* 35, 231-243.
- Monzon, A., Guerrero, M.J., 2004. Valuation of Social and Health Effects of Transport-Related Air Pollution in Madrid(Spain). *Science of The Total Environment* 334-335, 427-434.
- Peace, H., Owen, B., Raper, D.W., 2004. Identifying The Contribution of Different Urban Highway Air Pollution Sources. *Science of The Total Environment* 334-335, 347-357.
- Saxe, H., Larsen, T., 2004. Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric Environment* 38, 4057-67.
- Seinfeld, J., Pandis, S.N., 2006. Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change, John Wiley & Sons.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012. <http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/sayfa.php?Sayfa=haberduyurudetay&ID=617>, erişim: 30 Mart 2012.



Research Article

Modeling of Air Pollutants from Public Maritime Transportation in Izmir Bay by EPA-ISCST3 Model

Fatih İLEK, Tolga ELBİR✉

Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering, Tınaztepe Campus, Buca 35160 İzmir

Received: February 13, 2012; Accepted: April 2, 2012

ABSTRACT

Maritime transportation is an important air pollutant source category for Turkey when coastal metropolitan cities like Istanbul, Izmir, and Antalya are considered. The objective of this study was to determine the contribution of maritime transportation to air quality in Izmir, the third biggest city of Turkey located at the west coast, using a dispersion modeling technique. Dispersion modeling was conducted for five pollutants (SO_2 , NO_x , PM_{10} , CO, and NMVOC) that are emitted from boats and ferries used for passenger transportation in Izmir Bay by the Izmir Metropolitan Municipality. The daily activity data (i.e., number of travels, travel duration, etc.) of boats and ferries running on different routes in the bay and emission factors reported in the literature were used to calculate the air pollutant emissions from these activities. EPA-ISCST3 model was used as the air quality dispersion model in this study. All modeling results were presented as air quality distribution maps using a GIS software (ArcGIS). The annual emissions from maritime transportation in Izmir bay were calculated as 21.6 tons, 50.1 tons, 204.6 tons, 22.8 tons, and 52.5 tons for PM_{10} , SO_2 , NO_x , NMVOC and CO respectively. The calculated highest annual average concentrations were $0.7 \mu g m^{-3}$, $1.7 \mu g m^{-3}$, $6.8 \mu g m^{-3}$, $0.8 \mu g m^{-3}$, $1.7 \mu g m^{-3}$ for PM_{10} , SO_2 , NO_x , NMVOC and CO, respectively. While long term average concentrations are low, it is indicated that short term maximum concentrations are critical for the city.

Keywords: shipping emissions, air quality modeling, emission inventory, ISCST3, Izmir

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.