

BİR GAUSSIAN DİSPERSİYON MODELİ İLE ÇANAKKALE'DE HAVA KALİTESİ SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

Gizem TUNA^{1(*)}, Tolga ELBİR¹, Sibel MENTEŞE²

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

²Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Müh. Bölümü, Çanakkale

ÖZET

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Çanakkale ilinde antropojenik kaynaklardan kaynaklanan temel kirleticiler için 170 km x 125 km'lik bir alanı kapsayan bölgede emisyon envanteri ve hava kalitesi dağılım modellemesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki başlıca emisyon kaynakları sanayi tesisleri, karayollarındaki motorlu taşıtlar, evsel ısınma ve Çanakkale Boğazı'ndaki gemi trafiğidir. Emisyon hesaplamaları ve model çalışmaları 4 temel kirletici (PM₁₀, SO₂, NO_x ve CO) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bölgede yer alan büyük sanayi tesislerinin aktivite bilgileri, taşıtlar için yakıt tüketimi ve taşıt geçiş sayıları ve evsel ısınma için doğalgaz ve kömür tüketim istatistikleri temin edilmiştir. Bu bilgiler literatürdeki uygun emisyon faktörleri ile ilişkilendirilerek 2013 yılına ait emisyonlar hesaplanmıştır. Hesaplanan emisyonlar bir Gaussian dağılım modeli olan AERMOD ile kullanılarak bölgedeki hava kalitesi seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca, model çalışması sonucu elde edilen hava kalitesi seviyeleri merkez ilçede yer alan hava kalitesi izleme istasyonu verileri ile kıyaslanmıştır. Sanayi sektörü azot oksit ve kükürt dioksit emisyonları için en baskın sektör iken; karbon monoksit ve partikül madde için en büyük paya sahip sektörler sırasıyla trafik ve evsel ısınmadır. Yakıt olarak yerli ve ithal kömür kullanan sanayi tesisleri ve evsel ısınma amacıyla kömür kullanan ilçe merkezleri bölgedeki yüksek kükürt dioksit emisyonlarının başlıca kaynağıdır.

ABSTRACT

An emission inventory of primary air pollutants from anthropogenic sources was prepared for Çanakkale within an area of 170 km to 125 km, which is located in the northwest part of Turkey. The emission sources were classified as industrial, vehicular and marine traffic and residential heating in the study. The emissions and air quality levels of four primary air pollutants (PM₁₀, SO₂, NO_x ve CO) were estimated. Data on activity levels of the major industries, fuel consumptions and passing numbers in vehicles and ships, natural gas and coal consumption statistics for residential heating activities were obtained and evaluated with the emission factors from literature for calculation of the emissions in 2013. The emission data was used to determine air quality levels using a Gaussian dispersion model (AERMOD). Finally, comparison of the model predictions with observations from the air quality monitoring station in the city center was carried out in this study. While industry was most polluting sector for nitrogen oxides and sulfur dioxide, most polluting sectors for carbon monoxide and particulate matter were road traffic and residential heating, respectively. Industrial plants using lignite and imported coal for energy production and some districts using lignite for residential heating were main sources for sulfur dioxide emissions in the city.

* gizem.tuna@deu.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Emisyon Envanteri, Hava Kalitesi Dağılım Modeli, AERMOD, Çanakkale

1. GİRİŞ

Kentlerde hava kalitesi seviyelerini izleme ve yönetme olası hava kalitesi problemleriyle mücadele etmenin en önemli basamaklarını oluşturmaktadır. Kentsel ölçekte etkili bir hava kalitesi yönetim planı oluşturmak için kaynaklar bazında oluşturulacak bir emisyon envanteri ile hava kalitesi modelleme çalışmalarının birbirine entegre edilmesi gerekir. Böylece bölgede yer alan kirletici kaynakların tekil olarak bölge hava kalitesine katkıları belirlenebilmektedir. Bu yüzden hava kalitesi yönetimi bir bakıma kaynak yönetimi olarak da nitelendirilmektedir. Emisyon envanteri oluşturmak genel olarak 3 farklı aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak bölgede yer alan kirletici kaynaklar belirlenir. Daha sonra bu kaynaklara ilişkin aktivite bilgileri temin edilir ve literatürden uygun emisyon faktörleri seçilir. Son basamak olarak da aktivite bilgileri ve ilgili emisyon faktörleri değerlendirilerek kaynaklara ilişkin emisyon envanteri oluşturulur. Literatürde bölgesel ve kentsel ölçekte gerçekleştirilmiş birçok emisyon envanteri ve hava kalitesi modelleme çalışmaları yer almaktadır (Borge vd., 2014; Elbir, 2003; Elbir ve Müezzinoğlu, 2004; Fu vd., 2013; Ozkurt, vd., 2013; Sari ve Bayram, 2014; Tuna ve Elbir, 2012). Geçtiğimiz yıllarda Türkiye’de bölgesel bazda birçok emisyon envanteri ve model çalışması gerçekleştirilmiştir (Alyuz ve Alp, 2014; Elbir vd., 2000; Elbir ve Müezzinoğlu, 2004; Özden vd., 2008; Kara vd., 2014). Fakat; çalışmaların daha çok nüfusun yoğun olduğu büyük şehirler ve sanayi kaynaklı kirliliğin fazla olduğu bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna rağmen, ülkemizde Çanakkale gibi orta ölçekli bir çok ilimizde henüz benzer çalışmaların gerçekleştirilmediği görülmektedir.

Çanakkale, İstanbul’dan sonra Asya ve Avrupa’da toprakları bulunan ikinci ilimizdir. 25° 40’ - 27° 30’ doğu boylamında ve 39° 27’ - 40° 45’ kuzey enlemlerinde yer alır. 9.737 km² yüz ölçümüne sahiptir. Nüfus açısından değerlendirildiğinde Güney Marmara’da yer alan beşinci büyük ildir. Ayvacık, Bayramiç, Biga, Bozcaada, Eceabat, Ezine, Gelibolu, Gökçeada, Lapseki, Yenice, Çan ve merkez ilçe olmak üzere 12 ilçeden oluşur. Kıyı şeridi uzunluğu 671 km’dir ve 68 km uzunluğunda olan Çanakkale Boğazı’na sahiptir (Çanakkale Belediyesi, 2014). İlde özellikle kış aylarında belirli bölgelerde yüksek SO₂ ve PM₁₀ ölçüm sonuçlarına rastlanmaktadır. Özellikle ilin en büyük ilçe merkezlerinden biri olan Çan’da büyük bir kömür rezervi yer almaktadır. Dolayısıyla, kış aylarında ilde evsel ısınma amacıyla kömür kullanım oranı oldukça yüksektir. Bunun sonucunda da başta Çan ilçesi olmak üzere ilde yüksek değerlerde SO₂ ve PM₁₀ değerleri ölçülmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013). Ek olarak, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, bölgesel bazda hava kalitesi yönetim sistemleri geliştirmeye başlamıştır. Seçilen ilk pilot bölge ise Marmara Bölgesidir ve bu nedenle bölgede Marmara Temiz Hava Merkezi kurulmuştur. Çanakkale ili bu merkeze dahil edilmiş ve bölgedeki kirliliğin daha iyi bir şekilde izlenebilmesi için hali hazırda bulunan 2 hava kalitesi izleme istasyonuna 2 yeni istasyon daha eklenmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’nin kuzeybatısında yer alan ve önemli bir kıyı şehri olan Çanakkale ilinde yer alan antropojenik kökenli kirletici kaynakların bölge hava kalitesine katkılarının bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmesidir. Çalışmada bölgede yer alan sanayi, evsel ısınma ve trafik (denizyolu ve karayolu) gibi antropojenik kaynaklardan

kaynaklanan 4 temel kirlenici (SO_2 , PM_{10} , NO_x ve CO) için bir emisyon envanteri çalışması gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmaları ise; Amerikan Çevre Örgütü (U.S. EPA)'ne ait AERMOD hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Emisyon envanteri

Bu çalışmada, Çanakkale kent merkezi ve yakın çevresinde bulunan sanayi tesislerinden, kış aylarında yerleşim alanlarındaki evsel ısınma faaliyetlerinden ve bölgedeki karayolu ve denizyolu ulaşımından kaynaklanan karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO_2), partikül madde (PM_{10}) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının bir hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla bölge hava kalitesine katkıları belirlenmiştir.

Model ile konsantrasyon hesabı yapabilmek için çalışma alanı içinde faaliyet gösteren kirlenici kaynaklara ilişkin emisyonların belirlenmesi zorunludur. Bu amaçla, çalışma alanı içindeki tüm kaynaklara ilişkin veriler toplanmıştır. Elde edilen verilere göre; Çanakkale kent merkezi ve ilçe merkezlerinde T.C. Çanakkale Valiliği Bilim, Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü kayıtlarına göre toplam 279 işletme bulunmaktadır (T.C. Çanakkale Valiliği, 2013). Bu işletmelerin tamamına yakını küçük ölçekli tesisler olup 7 tanesi (3 termik santral, 2 seramik tesisi, 1 çimento tesisi ve 1 kömür işletmesi) dışında geriye kalanlar hava kirliliğine neden olacak bir faaliyet göstermedikleri için çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

Sanayi tesislerine ilişkin bilgiler için T.C. Çanakkale Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (ÇÇŞİM)'nden veri talep edilmiştir. Fakat, ilgili kurumun onay vermemesi nedeniyle sağlıklı veri temin edilememiştir. Bu nedenle farklı veri kaynaklarına (tesislerin kendisine müracaat ederek, kent için yayınlanmış çeşitli raporlar, bölgede gerçekleştirilen diğer araştırma projeleri, yayınlanmış bilimsel eserler, vb.) başvurulmuştur. Bu kaynaklardan elde edilen verilere göre sanayi tesislerinde yılda yaklaşık 4,5 milyon ton kömür ve 106 milyon Nm^3 doğalgaz kullanılmaktadır. Bölgede varlığı bilinen bazı önemli sanayi tesislerine (demir çelik işletmeleri gibi) ait bilgiler, ilgili tesislerin izin vermemesi nedeniyle çalışmaya dahil edilememiştir. Bu tesislerin çalışmaya dahil edilmesi ile bölgede toplam yakıt tüketimlerinin artacağı kesindir. Tesislerin kullandığı yakıt türlerine göre literatürden seçilmiş uygun emisyon faktörleri kullanılarak saatlik bazda PM_{10} , SO_2 , NO_x ve CO emisyonları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri EMEP/CORINAIR veri tabanından temin edilmiştir (EEA, 2013). Sözkonusu faktörler Tablo 1'de verilmiştir.

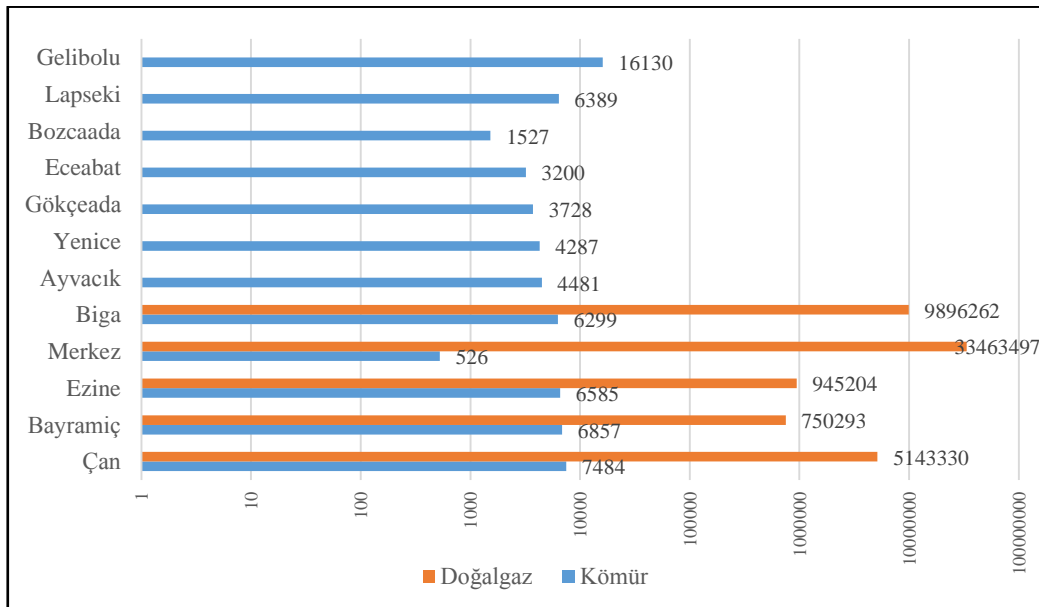
Tablo 1. Sanayi ve evsel ısınma sektörleri için kullanılan emisyon faktörleri, g/GJ

Sektör	Yakıt türü	SO_2	NO_x	PM_{10}	CO
Sanayi	Doğalgaz	0,28	89	0,89	39
	Kömür (ithal)	896	247	7,9	8,7
	Kömür (yerli)	1992	247	7,9	8,7
	Fuel oil	495	142	25,2	15,1
Evsel ısınma	Doğalgaz	0,5	70	0,5	30
	Kömür (ithal)	540	110	404	4600
	Kömür (yerli)	1200	110	404	4600

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Çanakkale kent merkezinde kış aylarında ısınma amacıyla ağırlıklı olarak kömür ve doğalgaz kullanılmaktadır. İlde kullanılan kömür %70 oranında yerli kömürden oluşmakla beraber %30'luk bir kısmı da ithal kömürden oluşmaktadır (ÇÇŞİM, 2014). Çanakkale ilinde yalnızca Bayramiç, Ezine, Çan, Biga ve merkez ilçelerinde doğalgaz kullanımı bulunmaktadır. Geriye kalan ilçe merkezlerinde ısınma amaçlı sadece kömür kullanımı mevcuttur. Çalışma kapsamında, ilçeler bazında kömür tüketim verileri doğrudan temin edilememiştir. Bu nedenle, ÇÇŞİM tarafından hazırlanan 2013 yılına ait Çevre durum tespit raporundan temin edilen, il genelinde kış mevsimindeki toplam kömür tüketim verisi kullanılmış ve bu değer ilçe merkezlerine nüfusları oranınca dağıtılmıştır (ÇÇŞİM, 2014). Yapılan hesaplamalar sonucunda kış mevsiminde çalışma alanındaki konutlarda hane başına tüketilen kömür miktarı yaklaşık 1,6 ton/mevsim olarak bulunmuştur. İlçe merkezlerindeki hane sayıları ise; Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından Çanakkale ili geneli için belirlenen ortalama hane halkı değeri (2013 yılı için 2,8) ve nüfus verileri kullanılarak elde edilmiştir (TÜİK, 2014a). Ayrıca, ilçe merkezlerine ait nüfus değerleri de 2013 yılı için TÜİK'ten temin edilmiştir (TÜİK, 2014a).

Doğalgaz kullanan ilçelere ait 2013 yılı için abone sayıları ve aylara göre doğalgaz tüketimleri ise; doğrudan bölgenin doğalgaz dağıtım firması olan AKSA Çanakkale Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.'den temin edilmiştir (AKSA, 2014). Temin edilen verilere göre; doğalgaz tüketen ilçeler arasında merkez ilçenin neredeyse tamamının 2013 yılı itibari ile doğalgaz kullanımına geçtiği görülmektedir. Doğalgaz kullanımının gerçekleştiği 5 ilçedeki doğalgaz kullanım oranları incelendiğinde merkez ilçe en fazla tüketime sahiptir. Bunu sırasıyla Çan, Ezine, Bayramiç ve Biga izlemektedir. Çalışmada temin edilen doğalgaz tüketim verilerinin aylık değişimleri incelendiğinde bölgede Kasım-Nisan ayları arasındaki 6 aylık dönemde ısınma ihtiyacı olduğu görülmektedir. İlçelere göre mevsim bazındaki toplam kömür ve doğalgaz tüketimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Evsel ısınma emisyonları, yakıt tüketim verileri ve literatürden seçilmiş emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır. İlgili emisyon faktörleri EMEP/CORINAIR veri tabanından seçilmiştir (Tablo 1) (EEA, 2009).



Şekil 1. İlçe merkezlerine göre kömür (ton/mevsim) ve doğalgaz (Nm³/mevsim) tüketimleri

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Çalışmada trafikten kaynaklanan emisyonlar iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir. Envanter ve modelleme çalışmaları karayolu trafiği ve denizyolu trafiği için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Karayolu trafiğini Çanakkale ilini çevreleyen şehirlerarası devlet yolları ve şehir içinde yer alan caddeler oluşturmaktadır. Denizyolu trafiğini ise; Çanakkale Boğazı'ndan transit geçen gemiler ve boğazda çalışan feribotlar oluşturmaktadır. Şehirlerarası devlet yollarından kaynaklanan emisyonların belirlenebilmesi için gerekli olan veriler; taşıt geçiş sayıları, taşıt türleri ve taşıtların ortalama hızlarıdır. Çanakkale'yi diğer şehirlere bağlayan karayollarından geçen günlük ortalama taşıt sayıları ve bunların ortalama hızları 2013 yılı için Karayolları Bölge Müdürlüğü (KGM)'nden temin edilmiştir (KGM, 2014). Taşıt sayıları; otomobil, minibüs-kamyonet, otobüs-kamyon olarak üç farklı kategoride ayrı ayrı temin edilmiştir. Taşıtların yakıt türlerine göre dağılımı bu bölge için temin edilemediğinden ülkemizin en büyük şehri olan İstanbul'da daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada elde edilen değerler kullanılmıştır (Elbir vd., 2008; Elbir vd., 2009). Çanakkale kent merkezinin içinde yer aldığı KGM'nin 14. Bölge Müdürlüğü sınırları içinde yer alan karayollarına Gökçeada ve Bozcaada'da yer alan yollar da dahil edilerek toplam 12 farklı karayolu için emisyon hesaplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yol yapım standartları dikkate alınarak Gökçeada ve Bozcaada'da yer alan yolların 6 m, standart yolların 7 m, bölünmüş yolların ise 14 m genişliğe sahip olduğu kabul edilmiştir (Gedizlioğlu, 2004).

KGM'den temin edilen taşıt sayısı verileri literatürden seçilen emisyon faktörleri (EEA, 2007) ile kullanılarak emisyonlar hesaplanmıştır. Veri tabanında yer alan emisyon faktörleri taşıtın türüne, motor teknolojisine, yakıt türüne ve taşıtların ortalama hızlarına göre değişiklik göstermektedir. Çalışmada kullanılan emisyon faktörleri daha çok taşıtların hızına bağlı eşitlikler halindedir ve tüm kirleticiler ve taşıt sınıfları için hızlara bağlı eşitlikler ile belirlenen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Örneğin; EURO 4 sınıfına ait yakıt olarak benzin kullanan bir taşıttan kaynaklanan CO emisyonlarının emisyon faktörü aşağıdaki gibi bir bağıntı ile verilmektedir:

$$EF = (0,136 - 0,000891 * V) / (1 - 0,0141 + 0,0000499 * V^2) \quad (1)$$

Burada; EF : CO için emisyon faktörü (g/km) ve V : taşıtın hızı (km/h)'dir.

Bu bağıntılar her bir taşıt türü, kullanılan yakıt türü ve kirleticiler için değişiklik gösterdiği için kullanılan tüm emisyon faktörleri tablolar halinde verilmemiştir. İstenildiğinde ilgili kaynaktan (EEA, 2007) temin edilebilir.

Karayolu trafiği kategorisinde değerlendirilen bir diğer kirletici kaynak türü ise; kent içindeki caddelerde seyir haline olan taşıtların eksozlarıdır. Kent içinde yer alan bu yollardaki taşıt geçişleri, taşıtların türleri, kullandıkları motor teknolojisi, yaşları, hızları, vb. verilere ulaşamadığından Çanakkale ilinde 2013 yılında trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı ve eksoz pulu almış taşıt sayısı bilgilerinden yola çıkılarak hesaplamalar yapılmıştır. Kent merkezlerine göre taşıt sayısı dağılımı ilçe nüfusları ile orantılı olarak gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2014b). Araçlar motosiklet, otomobil, minibüs-kamyonet, otobüs-kamyon olmak üzere 4 farklı kategoride değerlendirilmiştir. Farklı araç türüne ait ortalama hızlar, araçların yaşlarına ve yakıt türlerine göre dağılımları devlet karayollarındaki araç profili ile aynı kabul edilerek kullanılmıştır. Emisyonlar, daha önce devlet yollarından kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında kullanılan aynı emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır.

Trafik sektörünü oluşturan bir diğer bileşen ise; denizyolu trafiğidir. Çanakkale Boğazı, Ege Denizi ile Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan bir su yolu olarak yoğun transit gemi trafiğine sahiptir. Ayrıca boğazda bu trafiğin yanı sıra her gün 7 farklı hatta (Lapseki - Gelibolu, Çanakkale - Kilitbahir, Çanakkale - Eceabat, Kabatepe - Gökçeada, Geyikli - Bozcaada, Çanakkale – Gökçeada ve Çanakkale – Bozcaada) gerçekleştirilen feribot trafiği de bulunmaktadır. Bu hatlar üzerinde her ay yaklaşık toplam 1000 feribot seferi gerçekleşmektedir. Bu hatlarda 10 adet feribot, 1 adet deniz otobüsü ve 1 adet Ro-ro gemisi çalışmaktadır. Deniz otobüsü Çanakkale-Gökçeada hattında, Ro-ro gemisi ise Kabatepe-Gökçeada hattında çalışmaktadır. Boğaz'da yer alan feribot hatlarının uzunlukları, seyir süreleri, geçiş sayıları ve her bir feribota ait yakıt tüketim bilgileri boğazda hizmet veren deniz taşımacılığı şirketi olan GESTAŞ Deniz Ulaşım Tur. Tic. A.Ş. (GESTAŞ)'tan temin edilmiştir (GESTAŞ, 2014). Temin edilen veriler değerlendirildiğinde; en yoğun feribot hattının günde 74 geçiş sayısı ile Lapseki-Gelibolu hattı olduğu görülmektedir. En az yoğunluğa sahip olan hatlar ise adalar hattı olarak bilinen Çanakkale-Bozcaada ve Çanakkale-Gökçeada hatlarıdır. Feribotlardaki yakıt tüketimleri, haftalık sefer sayıları ve sefer saatleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB) verilerine göre Çanakkale Boğazı'ndan günde ortalama 122 adet transit gemi geçişi olmaktadır (UDHB, 2014). Boğazdan geçen transit gemi sayısı 2013 yılı için 44.613'tür. Boğazdan geçiş yapan gemi türlerine ve sayılarına ilişkin UDHB'den temin edilen veriler, EEA (2009) veri tabanından temin edilen gemi türlerine ait ortalama hız değerleri ile boğaz uzunluğu verisi birlikte değerlendirilerek her bir gemi için Boğaz'dan ortalama geçiş süreleri belirlenmiştir. Gemilerin yıllık yakıt tüketimlerini belirlemek amacı ile EEA (2009) veri tabanından gemi türlerine göre farklılık gösteren yakıt tüketim faktörleri temin edilmiştir. Temin edilen yakıt tüketim faktörleri, seyir süresi ve gemilerin aylık-yıllık geçiş sayıları ile ilişkilendirilip toplam yakıt tüketimleri aylık ve yıllık bazda hesaplanmıştır.

Denizyolu trafiğinden kaynaklanan emisyonlar; hesaplanan yakıt tüketim verileri ile literatürden seçilen uygun emisyon faktörleri ile değerlendirilmiştir. Literatürde emisyon faktörleri farklı gemi türleri için yakıt türleri ve motor teknolojilerine göre sınıflandırılmıştır. Bu nedenle, hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri, feribot trafiğinden kaynaklanan emisyonların hesaplanması için EEA (2007) veri tabanından, transit geçiş yapan gemilerden kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında ise EEA (2009) veri tabanından seçilmiştir.

2.2. Dağılım modellemesi

Kirletici kaynakların yayınladığı emisyonların bölge atmosferinde oluşturacağı kirletici konsantrasyonlarının hesabında USEPA (United States–Environmental Protection Agency)'nın AERMOD dağılım modeli kullanılmıştır (U.S. EPA, 2004). AERMOD modeli, bir kirletici kaynaktan atmosfere bırakılan gaz ve toz kirleticilerin farklı mesafelerdeki yer seviyesi konsantrasyonlarını ve çökeltme miktarlarını hesaplayabilen bir modeldir. Model genel olarak yer seviyesinden yüksekte bulunan ve sürekli emisyon yayan noktasal kaynaklar (bacalar) için geliştirilmiş hareket etmeyen (sabit) Gaus dağılım eşitliğini kullanmaktadır.

Çalışma kapsamında modelleme için çalışma alanı 170 km × 125 km olarak seçilmiş ve 1000 m'lik gridlere bölünmüştür. Hava kalitesi modelleme çalışmalarına girdi teşkil eden veriler ve temin edildiği kaynaklar Tablo 2'de özetlenmiştir.

3. SONUÇLAR

3.1. Emisyon envanteri

Çalışma sonuçlarına göre; bölgedeki toplam emisyonlar sırasıyla CO, PM₁₀, SO₂ ve NO_x için 23.352 ton/yıl, 1.057 ton/yıl, 8.990 ton/yıl ve 33.215 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Sektörlerin toplam emisyonlara katkıları incelendiğinde, iki kirleticisi bazında (SO₂ ve NO_x) en büyük payın sanayi sektörüne ait olduğu görülürken, PM₁₀ ve CO için ise en büyük payın sırasıyla evsel ısınmaya ve trafiğe ait olduğu görülmektedir (Şekil 2). Şekilde her ne kadar sanayi sektöründen kaynaklanan partikül madde emisyonları diğer sektörlerle göre daha küçük olsa da bu emisyonların sadece sanayi tesislerinin bacalarından kontrollü koşullarda atılan kirleticisi miktarları olduğu unutulmamalıdır. Bölgede bacaların dışında kömür ocakları gibi önemli partikül madde kaynakları vardır. Fakat, çalışma kapsamında sağlıklı bir bilgiye ulaşılamaması nedeniyle bu faaliyetler çalışmaya dahil edilememiştir. Sadece bölgenin en büyük kömür ocağı olan Çan Linyit İşletmeleri ortalama bir emisyon değeri ile sektörü temsilen çalışmalara dahil edilmiştir. Kış aylarındaki kömür tüketiminden kaynaklanan evsel ısınma faaliyetleri yüksek PM₁₀ ve CO emisyonlarına neden olmaktadır. CO emisyonlarına bir başka önemli katkı ise karayolu trafiğinden gelmektedir. Toplam emisyonların sektörlerle göre dağılımı Şekil 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Modelleme çalışmalarına girdi teşkil eden veriler ve temin edildikleri yerler

Veri türü	Gözlem	Kaynak
Saatlik yer seviyesi meteoroloji verileri	Rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, bulutluluk, bulut yüksekliği, yüzey basıncı, nispi nem ve yağış	17112 no’lu Çanakkale merkez istasyonu (2013 yılı)
Üst katman meteoroloji verileri (radiosonde)	Rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, basınç	17062 no’lu Göztepe, İstanbul istasyonunda kaydedilen 12 saatlik radiosonde verileri (2013 yılı)
Topoğrafik veriler	SRTM3 dosyaları	SRTM3 veri tabanı (USGS, 2014)
Kaynak karakteristiği	Nokta, alan, alan-poligon kaynak	7 nokta kaynak (sanayi), 1 alansal kaynak (sanayi), 70 alansal kaynak (evsel ısınma) ve 339 alansal kaynak (trafik)

Çalışma alanı içindeki farklı 2 seramik fabrikasında enerji ihtiyacı doğalgaz kullanımı ile diğer tesislerin tümünde ise yerli ve ithal kömür kullanımı ile sağlanmaktadır. Sanayi sektöründen kaynaklanan toz emisyonlarını neredeyse tek başına bir çimento fabrikası oluştururken, SO₂ emisyonlarını ise bölgede bulunan 3 termik santral birlikte yayınlamaktadır.

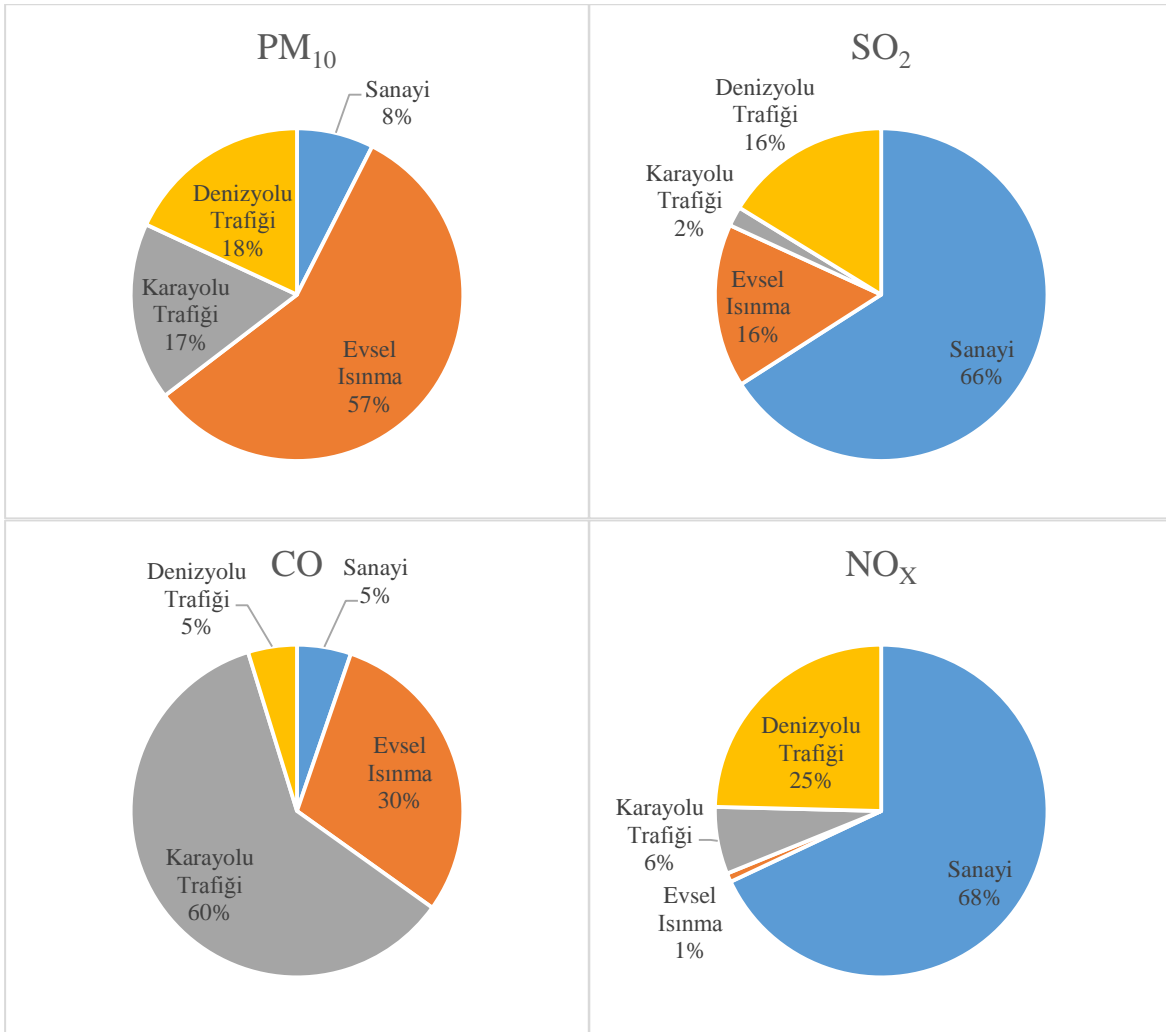
Bölgede evsel ısınma amacıyla kullanılan kömür miktarı toplam 67,5 bin ton/mevsim, doğalgaz tüketim miktarı ise; yaklaşık 50 milyon Nm³/mevsim’dir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, kömürün en fazla tüketildiği ilçe olan Gelibolu; SO₂, PM₁₀ ve CO emisyonlarına en çok katkıda bulunan yerleşim alanı olurken, doğalgaz kullanımının yaygın olduğu Çanakkale Merkez ilçenin ise; NO_x emisyonlarına en çok katkı sağlayan ilçe olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında değerlendirilen toplam 12 devlet karayolu içinde emisyonlara en çok katkısı olan yol, bölgenin en yoğun taşıt trafiğine sahip Çanakkale-İzmir karayoludur. Devlet

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

yollarındaki taşıtların oluşturduğu PM_{10} emisyonlarının %40'ı, SO_2 emisyonlarının %33'ü, NO_x emisyonlarının %31'i ve CO emisyonlarının %29'u tek başına bu yoldan kaynaklanmaktadır.

Şehir içi taşıt trafiğinden kaynaklanan emisyonlar incelendiğinde ise; en yüksek katkıların bölgenin en kalabalık ilçeleri olan Merkez, Biga, Çan ve Gelibolu'da olduğu görülmektedir. Taşıt türlerine göre şehir içi trafik emisyonlarına en çok katkıyı otobüs ve kamyon gibi ağır vasıtalar sağlamaktadır. En az katkı ise; minibüs ve kamyonet türü taşıtlardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. Bölgedeki toplam emisyonların sektörlere göre dağılımı

Bölgede Çanakkale Boğazı'ndan geçiş yapan büyük gemilerin ve toplu taşıma amacıyla kullanılan feribotların oluşturduğu önemli bir denizyolu trafiği bulunmaktadır. Boğazdan transit geçen bu gemilerden kaynaklanan emisyonları ağırlıklı olarak yılda 18.992 geçiş yapan genel kargo gemileri oluşturmaktadır ve tüm kirleticiler bazında emisyonların yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır. Boğaz üzerindeki bir diğer önemli emisyon kaynağı ise; feribot hatlarında çalışan deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyonlardır. Toplam emisyonlara en çok katkıyı sağlayan hattın en fazla sefer sayısına sahip Lapseki-Gelibolu hattı olduğu, bunu sırasıyla Çanakkale-Eceabat ve Gökçeada-Kabatepe hatlarının izlediği görülmektedir.

Emisyonlara en az katkısı olan hatlar ise; Çanakkale-Gökçeada ve Çanakkale-Bozcaada hatlarıdır.

Denizyolu trafiğinden kaynaklanan toplam emisyonlara hem transit gemi geçişleri hem de toplu taşımacılık yapan feribotlar dahil edildiğinde boğazdan gemi geçişlerinin emisyonlar üzerinde çok büyük bir paya sahip oldukları görülmektedir. Öyle ki, gemilerin boğazdaki NO_x emisyonlarının %95'ini oluşturduğu görülmektedir.

3.2. Hava kalitesi modellemesi

Sanayi, evsel ısınma ve trafik sektörlerinden kaynaklanan emisyonların bölge atmosferinde oluşturdukları dış hava kalitesi seviyeleri belirlenmiştir. Sanayi sektöründen kaynaklanan emisyonların bölgede oluşturduğu en yüksek saatlik ve yıllık ortalama konsantrasyonlar ve görüldükleri bölgeler çeşitlilik göstermektedir. En yüksek saatlik SO₂ konsantrasyonunun rüzgarın güneydoğu yönünden estiği bir saatte Çan Termik Santrali ve seramik fabrikalarının bulunduğu bölgenin kuzeydoğusunda bir noktada görüldüğü belirlenmiştir. En yüksek yıllık ortalama konsantrasyonlar incelendiğinde ise; çimento tesisinin yanı sıra Çan Termik Santrali ve yine bu bölgede yer alan seramik fabrikaları etrafında da yoğunlaştığı görülmüştür.

Evsel ısınma sektöründen kaynaklanan emisyonların bölgede oluşturduğu en yüksek saatlik ve yıllık ortalama konsantrasyonlar ve görüldükleri noktalar değerlendirildiğinde; SO₂, PM₁₀ ve CO için en yüksek yıllık ve saatlik ortalama konsantrasyonlar Gelibolu ilçe merkezinde bir noktada görülmüştür. NO_x ise; merkez ilçede doğalgaz kullanım oranının yüksek oluşuna bağlı olarak bu ilçe merkezi içinde bir noktada gözlemlenmiştir.

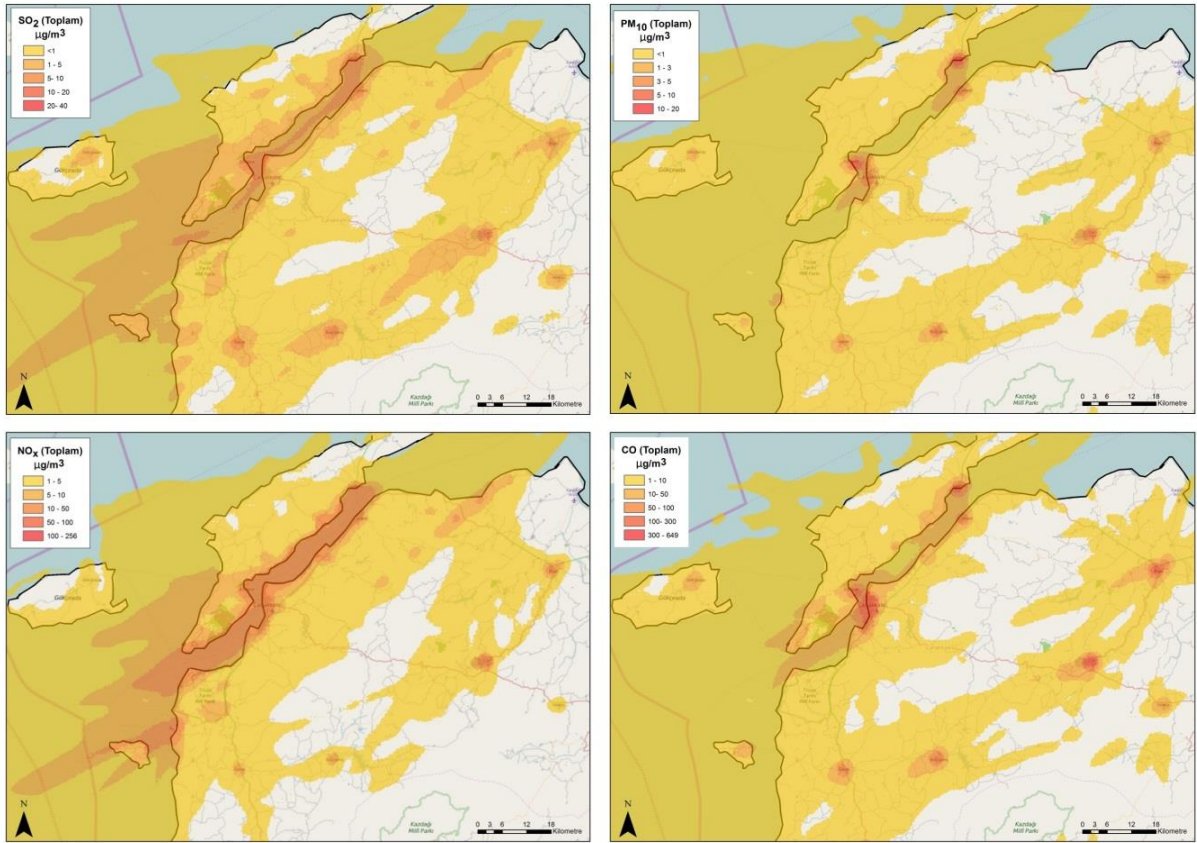
Çalışma alanında bulunan kent merkezleri içindeki karayolu trafikten kaynaklanan en yüksek konsantrasyonlar, trafiğin en yoğun olduğu ilçelerin başında gelen Çanakkale Merkez ve Biga'da görülmektedir. Tüm kirlenici parametreler için en yüksek saatlik konsantrasyonlar Ocak ayında rüzgar hızının 1 m/s'den düşük olduğu ve rüzgarın doğu-kuzey-doğu yönünden estiği günlerde Merkez ilçede elde edilmiştir. Şehirlerarası karayollarından kaynaklanan emisyonların modellenmesi sonucu ise elde edilen en yüksek saatlik konsantrasyonun gözlemlendiği nokta Çanakkale-Lapseki yolunun bulunduğu bölgedir.

Çanakkale Boğazı'ndan transit geçen gemilerden kaynaklanan emisyonların bölge hava kalitesinde meydana getirdiği en yüksek kirlenici konsantrasyonlarının boğaz hattı boyunca olduğu ve rüzgarın estiği yöne ve rüzgar hızına bağlı olarak kıyı kesimlerini etkilediği görülmüştür. Çalışmada, denizyolu trafiğini oluşturan diğer bir bileşen olan feribot hatlarında çalışan deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyonların bölge hava kalitesinde oluşturduğu katkı değerleri belirlenmiş ve sonuçlar değerlendirildiğinde; en yüksek saatlik konsantrasyonlar rüzgar hızının 1 m/s'den düşük olduğu sakin bir havada ve rüzgarın kuzey-kuzey-doğudan estiği bir Mart gününde Çanakkale-Bozcaada hattında ve Bozcaada'nın kıyı kesimlerinde görülmüştür. Yıllık konsantrasyonlar açısından Çanakkale-Kilitbahir ve Çanakkale-Gökçeada hatları yükleri itibariyle öne çıkmaktadır ve Kilitbahir'in kıyı kesimlerinde yüksek değerler elde edilmiştir.

Tüm kirlenici kaynaklar birlikte değerlendirildiğinde ise; en yüksek yıllık ortalama konsantrasyonlar SO₂ için 40 µg/m³, PM₁₀ için 20 µg/m³, NO_x için 256 µg/m³ ve CO için 649 µg/m³'tür. Bu değerler Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ndeki limit değerler ile karşılaştırıldığında SO₂'nin 20 µg/m³ olan sınır değerini aştığı görülmektedir.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Sonuçlar kirletici kaynaklar bazında değerlendirildiğinde bu durumun büyük oranda evsel ısınmadan kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle, ısınma amacıyla doğalgaz kullanımına başlayamayan dolayısıyla yoğun kömür tüketen ilçe merkezlerinin bu konsantrasyonlara katkısı büyüktür. PM₁₀ konsantrasyonları incelendiğinde ise; 40 µg/m³ sınır değerinin aşılmadığı görülmektedir. Sanayi sektöründe kullanılan baca gazı kontrol teknolojileri ve Çanakkale'nin en büyük ilçesi olan merkez ilçenin neredeyse tamamının ısınma amacıyla doğalgaz kullanması limit değerlerin sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Aynı SO₂ gibi NO_x konsantrasyonlarının da yıllık ortalama limit değeri (40 µg/m³) aştığı görülmektedir. Başta sanayi sektörü olmak üzere bölgedeki karayolu ve denizyolu trafiği de NO_x sınır değerinin aşılmasına neden olmaktadır. CO bakımından ise; yönetmelikteki sınır değerlerin aşılmadığı görülmektedir. Tüm kirletici sektörlerden kaynaklanan yıllık ortalama maksimum konsantrasyonların mekansal dağılımı Şekil 3'te gösterilmektedir.

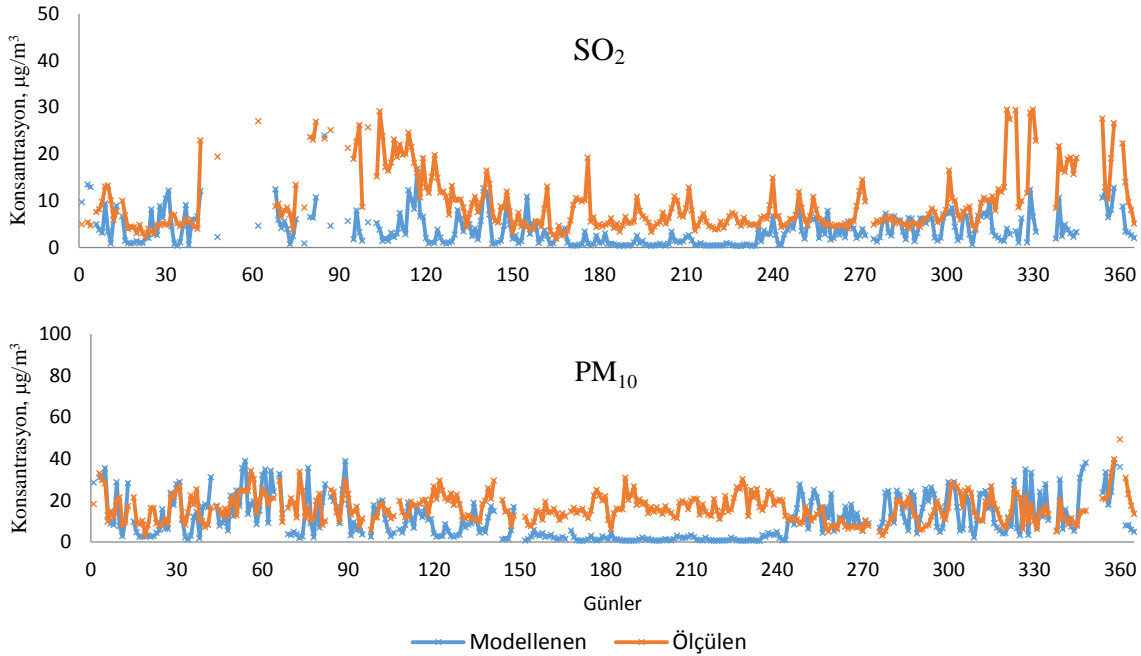


Şekil 3. Bölgedeki tüm kirletici kaynaklardan oluşan yıllık ortalama (a) SO₂, (b) PM₁₀, (c) NO_x ve (d) CO konsantrasyonlarının mekansal dağılımı

Model sonuçları merkez ilçede yer alan hava kalitesi ölçüm istasyonu verileri ile istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Kıyaslamalarda uyum indeksi (index of agreement) parametresi kullanılmış ve bu değer SO₂ için %67, PM₁₀ için ise %61 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4'te günlük ölçülen ve modellenen SO₂ ve PM₁₀ verileri verilmiştir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Çanakkale ilini içine alan 170 km × 125 km’lik bir alanda antropojenik kaynaklardan (sanayi, evsel ısınma, trafik) kaynaklanan 4 temel kirletici için kapsamlı bir emisyon envanteri hazırlanmış ve elde edilen emisyon değerleri bir hava kalitesi dağılım modeline girdi teşkil ederek bölgedeki hava kalitesi değerleri hesaplanmıştır. Bölgede yer alan kaynakların katkıları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; SO ve NO_x emisyonları büyük oranda sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. PM₁₀ için en büyük katkıyı sağlayan sektör %57’lik bir oranla evsel ısınma iken, CO için en büyük katkıyı %60’lık bir oranla trafik sektörü sağlamaktadır. Bölgedeki yüksek PM₁₀ konsantrasyonlarının sebebi bölgede evsel ısınma amacıyla kömür kullanımının yaygın olması iken; yüksek SO₂ konsantrasyonlarının sebebinin ise; bölgede yer alan termik santraller ve sanayi tesisleri olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Modellenen ve ölçülen günlük ortalama SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonları

Çalışma kapsamında değerlendirilen sanayi tesisleri sadece bölgede faaliyet gösteren büyük ölçekli tesislerdir. Diğer sanayi tesislerine ilişkin verilerin ilgili kurumlardan temin edilememesi nedeniyle bu tesisler çalışmaya dahil edilememiştir. Envanterin bölgeyi daha iyi temsil edebilmesi için bölgede faaliyet gösteren diğer tesislerin de çalışmaya dahil edilmesi önemlidir. Çünkü bölgede faaliyet gösteren birçok madencilik faaliyeti, demir-çelik üretimi ve gıda endüstrisi yer almaktadır. Bu tesislerin de envantere dahil edilmesi ile emisyon envanterinde sanayi tesislerinin kirletici parametrelere olan katkı paylarında artış gözlemlenecektir. Bu değişiklik model sonuçlarına da doğrudan yansıtacaktır. Modellenen SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri arasında bir fark mevcuttur. Bu fark evsel ısınmaya bağlı olarak kış aylarında daha az iken yaz aylarında evsel ısınmanın yokluğunda sanayi sektörünün hakim olması nedeniyle daha fazladır.

Bu çalışma, Çanakkale ili için gerçekleştirilen ilk kapsamlı yerel emisyon envanteri ve modelleme çalışmasıdır. Bölgede daha sonra gerçekleştirilmek istenen çalışmalara alt yapı hazırlaması açısından önemlidir. Eksik kirletici kaynaklara ilişkin verilerin temin edilmesi ile doğruluğu daha da arttırılabilecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen TUB 112Y059 numaralı projenin desteği ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

AKÇANSA, 2014. AKÇANSA 2012-2013 Sürdürülebilirlik Raporu, http://www.akcansa.com.tr/downloads/surdurebilirlik/surdurebilirlik_2014_tr.pdf, erişim: 2014.

AKSA, 2014. 2013 Aylara Göre Mahalle Bazlı Doğalgaz Abone Sayıları ve Aylara Göre Doğalgaz Tüketim Verileri 2013.

Alyuz, U., Alp, K., 2014. Emission inventory of primary air pollutants in 2010 from industrial processes in Turkey. *Science of the Total Environment* 488, 371-383.

Borge, R., Lumbreras, J., Perez, J., de la Paz, D., Vedrenne, M., 2014. Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 466, 809-819.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013. Marmara Bölgesi Temiz Hava Merkezi Basın Açıklaması Mart 2013, <http://www.csb.gov.tr/db/İstanbul/icerikbelge/icerikbelge1022.pdf>, erişim: Aralık 2014.

ÇÇŞİM (Çanakkale Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü), 2014. Çanakkale 2013 Yılı İl Çevre Durum Raporu, 175 sayfa.

EEA (European Environment Agency), 2013. EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2013, Energy Industries, Tier 2 Emission Factors.

EEA (European Environment Agency), 2009. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009. Combustion in Energy & Transformation Industries.

EEA (European Environment Agency), 2007. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-2006.

Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Dumanoglu, Y., Şimşir, S., Eren, T., Evcı, M., Şayır, S., Ergün, P., Mangır, N., Özdemir, S., Soyer, N., Doğan, M., 2009. Development of A GIS Based Decision Support System For Urban Air Quality Management in the City of İstanbul, LIFE06-TCY/TR/000283, İstanbul, 152 sayfa.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

Elbir, T., Bayram, A., Seyfioğlu, R., Altıok, H., Dumanoglu, Y., 2008. Büyük Kent Merkezlerinde Karayolu Trafikinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi, Proje No. 106Y009, İzmir, 394 sayfa.

Elbir, T., Müezzinoğlu, A., 2004. Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of İzmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 38, 1851-1857.

Elbir, T. 2003. Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in İzmir, Turkey. *Atmospheric Environment* 37, 2149-2157.

Elbir, T., Muezzinoglu, A., Bayram, A., 2000. Evaluation of some air pollution indicators in Turkey. *Environment International* 26, 5-10.

Fu, X., Wang, S. X., Zhao, B., Xing, J., Cheng, Z., Liu, H., 2013. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China. *Atmospheric Environment*, 70, 39-50.

Gedizlioğlu, E., 2004. Kentlerimizde trafik yönetimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri* 434, 17-22.

GESTAŞ, 2014. Çanakkale Boğazı'nda Sefer Yapan Gemilerin Teknik Özellikleri ve Yakıt Tüketim Verileri.

Kara, M., Mangir, N., Bayram, A., Elbir, T., 2014. A Spatially high resolution and activity based emissions inventory for the metropolitan area of İstanbul, Turkey. *Aerosol and Air Quality Research* 14, 10-20.

KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü), 2014. Trafik Ulaşım Bilgileri 2013, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri Ve Ulaşım Bilgileri, Ankara, 227 sayfa.

Ozden, O., Dogeroglu, T., Kara, S., 2008. Assessment of ambient air quality in Eskisehir, Turkey. *Environment International* 34, 678-687.

Ozkurt, N., Sari, D., Akalin, N., & Hilmioglu, B., 2013. Evaluation of the impact of SO₂ and NO₂ emissions on the ambient air-quality in the Can-Bayramic region of northwest Turkey during 2007-2008. *Science of the Total Environment* 456, 254-266.

Sari, D., Bayram, A., 2014. Quantification of emissions from domestic heating in residential areas of İzmir, Turkey and assessment of the impact on local/regional air-quality. *Science of the Total Environment* 488, 431-438.

T.C. Çanakkale Valiliği, 2013. İl Bazlı Firma Bilgileri. Bilim, Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü, Çanakkale.

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014. İstanbul ve Çanakkale Boğazı Gemi Geçiş İstatistikleri. https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis_2013.aspx, erişim: 2014.

6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu-2015 7-9 Ekim 2015, İZMİR

TKİK (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu), 2014. Kömür Sektör Raporu (Linyit), Ankara, 60 sayfa.

Tuna, G., Elbir, T., 2013. İstanbul Boğazı'nda Gemi Trafiklerinden Kaynaklanan Hava Kalitesinde Beklenen Değişimlerin İncelenmesi. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi* 2, 1-10.
TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2014a. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, Ankara, 92 sayfa.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2014b. Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri 2013, Ankara, 115 sayfa.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. User's Guide For The AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD, North Carolina, 216 sayfa.

USGS (U.S. Geological Survey), 2015. SRTM3 veri tabanı, http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia/, erişim: 2015.