



Araştırma Makalesi

Bir Üniversite Yerleşkesi İçinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kalitesinin Belirlenmesi

Hüsnü KOCA, Tolga ELBİR ✉

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

Sunuluş tarihi: 21 Kasım 2012, Kabul edilme tarihi: 1 Şubat 2013

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içindeki ana karayolu üzerinde uzun süreli taşıt sayımları yapılarak farklı araç türleri (motosiklet, otomobil, minibüs/kamyonet ve otobüs/kamyon) için saatlik trafik yoğunlukları belirlenmiştir. Sayımlar taşınabilir trafik sayım ve sınıflandırma cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sayımlarla birlikte taşıtların hızları da eş zamanlı olarak belirlenmiştir. Çalışmada CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojilerine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörleri seçilmiş, seçilen emisyon faktörleriyle araç sayımları ve hızları kullanılarak trafikten kaynaklı hava kirleticisi emisyon miktarları tahmin edilmiştir. Emisyonlar 5 kirleticisi (CO , NO_x , NMVOC, PM_{10} ve SO_2) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapılan çalışmaya göre, yerleşkede ortalama bir hafta boyunca atmosfere verilen toplam emisyon miktarları; CO için yaklaşık 54,1 kg, NMVOC için 7,6 kg, NO_x için 21,3 kg, PM_{10} için 1,0 kg ve SO_2 için ise 2,8 kg olarak bulunmuştur. Yerleşkede yıllık toplam emisyonlar ise; CO için yaklaşık 2,8 ton, NMVOC için 0,4 ton, NO_x için 1,1 ton, PM_{10} için 0,05 ton ve SO_2 için 0,15 ton'dur. Yerleşke alanı içinde trafikten kaynaklanan hava kalitesi seviyeleri bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmiştir. Çalışmada dağılım modeli olarak EPA-ISCST3 modeli kullanılmıştır. Çalışmada model sonuçları bir coğrafi bilgi sistemi (ArcGIS) yardımıyla hava kalitesi dağılım haritaları şeklinde sunulmuştur. Model sonuçlarına göre; yıllık ortalama konsantrasyonlar bakımından en yüksek değerlerin hemen yol yakınlarında ve CO için yaklaşık $10 \mu\text{g m}^{-3}$, NO_x için $4 \mu\text{g m}^{-3}$, PM_{10} için $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ ve NMVOC için $1,6 \mu\text{g m}^{-3}$ civarında olduğu görülmüştür. Yıl içindeki saatlik en yüksek konsantrasyonlar incelendiğinde ise CO için $128 \mu\text{g m}^{-3}$, NO_x için $53 \mu\text{g m}^{-3}$, PM_{10} için $1 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 için $7,2 \mu\text{g m}^{-3}$ ve NMVOC için $20 \mu\text{g m}^{-3}$ değerleri görülmüştür. Yerleşke atmosferinde görülen bu kısa vadeli konsantrasyonların, İzmir kentindeki büyük caddelerden kaynaklanan konsantrasyonlar kadar önemli seviyelere ulaştığı görülmüştür. Fakat, uzun vadeli sonuçlar değerlendirildiğinde ise yerleşke içindeki bu ana yolun bazı tipik özelliklerinin olduğu ve kentteki karayolları kadar önemli bir kirleticisi kaynak olmadığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Trafik, hava kalitesi modellemesi, emisyon envanteri, ISCST3, İzmir

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

1. Giriş

Hareketli motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği, kentsel alanlarda konutlar ve sanayi tesisleri gibi sabit emisyon kaynaklarının neden olduğu hava kirliliği kadar önemlidir. Özellikle, son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesi ve nüfus artışıyla birlikte motorlu taşıt sayısında hızlı bir artış olmuştur. Bunun sonucunda ise taşıtların egzozlarından atmosfere verilen kirleticisi konsantrasyonları artarak zaman zaman insan sağlığını tehdit edecek seviyelere ulaşmıştır (Willers vd., 2009; Slezakova vd., 2011; Host vd., 2012; Keuken vd., 2012).

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticiler, atmosferde gaz ve partikül fazda olmak üzere yüzlerce bileşiği içerir (Sjodin vd., 1994; Sjodin vd., 1995; Nikolaou vd., 2002; Xie vd., 2003). 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 özellikle 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.

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 bir 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 azotoksit (NO) miktarı düşüktür buna karşın araç hızlandığında zaman CO ve VOC miktarı düşük oranlardayken NO oranı yükselmektedir (Cooper, 2001).

Trafikten kaynaklanan hava kirliliğini belirleme çalışmaları son yıllarda yurtdışında özellikle de Avrupa'da çok yaygın olarak görülmektedir. Bu çalışmalar, genelde Avrupa'daki büyük bir kent merkezi içinde bulunan bir veya birkaç karayoluna yoğunlaşarak bu yollar çevresindeki hava kirliliği seviyelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tür çalışmaların kullandıkları yöntemlerin hemen hemen tamamında; seçilen karayolları üzerinde taşıt sayımlarının göz ile ya da otomatik sayım cihazları veya kamera sistemleri ile yapıldığı, emisyonların literatürdeki emisyon faktörleri ile belirlendiği ve özel dağılım modelleri kullanarak karayolu yakınlarında atmosferik dağılım hesaplarının yapıldığı görülmektedir (Saija ve Romano, 2002; Niemeier, 2003; Lonati vd., 2005). Tüm bu çalışmalar; trafikten kaynaklanan emisyonların miktarlarının belirlenmesinde en sağlıklı yöntemin, mevcut yollarda türlerine göre kategorize edilmiş taşıt sayımları yapılarak trafik yoğunluklarının belirlenmesi olduğunu göstermektedir. Örneğin, Saija ve Romano (2002) gerçekleştirdikleri çalışmada İtalya'yı taşıt kategorileri ve sosyo ekonomik özelliklerine göre 4 bölgeye ayırmıştır. Her bir bölge için bir matematiksel model uygulanarak karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar, 5 kirlenici (NO_x , NMVOC, CO, CO_2 , PM_{10}) bazında hesaplanmıştır. Çalışmada taşıtlar türlerine göre kategorize edilerek sayılmış ve türlerine göre dağılımlar incelendiğinde bölgesel dağılımların birbirlerine ve genel olarak tüm İtalya'nın dağılımına benzediği, en çok bulunan taşıt türünün %70'lik dağılım ile otomobiller olduğu görülmüştür. Sözü edilen yöntemle elde edilen yıllık NO_x değerleri Roma'da yaklaşık 15 000 ton, Milano'da 7 000 ton mertebelerinde bulunmuştur. NMVOC değerleri ise yine yaklaşık olarak Roma'da 52 000 ton, Milano'da ise 27 000 ton mertebelerinde bulunmuştur. Diğer iki çalışmada, Niemeier (2003) ve Lonati ile arkadaşları (2005) seçmiş oldukları kentlerdeki trafikten kaynaklanan emisyonları belirlemek için saatlik taşıt sayımlarını kullanan diğer araştırmacılar. Bu araştırmacılar taşıt sayımları ile literatürden seçtikleri emisyon faktörlerini kullanarak belirledikleri emisyonları bir dağılım modeli ile kent atmosferlerine dağıtmışlardır.

Ülkemizde ise Elbir ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada (Elbir vd., 2008a; Elbir vd., 2008b), İzmir'de karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirliliği seviyeleri araştırılmıştır. Çalışmada, İzmir kent merkezi içinde seçilen önemli caddeler üzerinde hareket halindeki tüm motorlu karayolu taşıtları kategorize edilerek sayılmıştır. Ayrıca sayımlar yıl içinde bir yaz bir de kış mevsiminde aynı noktalarda birer hafta boyunca kesintisiz olarak gerçekleştirilmiş, böylece kentin trafik yoğunluklarının ve trafik akış hızlarının mevsimsel, günlük ve saatlik karakteristikleri ortaya çıkarılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, taşıt sayım bilgileri ve literatürden seçilen emisyon faktörleri kullanılarak trafik kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Çalışmada motorlu taşıtlardan kaynaklanan temel kirlenicilerin başında gelen NO_x , CO, PM_{10} , SO_2 ve VOC ile çalışılmıştır. Hesaplanan emisyonlar bir matematiksel hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla kent atmosferinde dağıtılmış ve yıl içinde yaşanmış bazı episodlarda trafikten kaynaklanan hava

kirliliği seviyeleri incelenmiştir. Ayrıca bir mobil dış hava kalitesi ölçüm istasyonu ile taşıt sayımı yapılan caddelerde eş zamanlı hava kalitesi ölçümleri yapılmış ve model çalışmaları bu veriler ile desteklenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Dokuz Eylül Üniversitesi'nin Buca ilçesinde bulunan Tınaztepe Yerleşkesi içindeki karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kalitesi seviyelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, yerleşke içindeki ana yol üzerinde uzun süreli taşıt sayımları yapılarak farklı araç türleri için saatlik trafik yoğunlukları belirlenmiştir. Çalışmada CORINAIR emisyon faktörü veri tabanından taşıt kategorilerine, motor teknolojilerine ve yakıt türlerine göre uygun emisyon faktörleri seçilmiş, seçilen emisyon faktörleriyle araç sayımları ve hızları kullanılarak trafikten kaynaklı hava kirlenici emisyon miktarları tahmin edilmiştir. Ayrıca, yerleşke alanı içinde trafikten kaynaklanan hava kalitesi seviyeleri bir hava kalitesi dağılım modeli ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında tamamen taşıtların seyir halinde egzozlarından attıkları kirleniciler incelenmiş, seyahate ilk başladıkları anda soğuk olan motorlarından atılan kirleniciler ile buharlaşma yoluyla atmosfere karışan kirleniciler veri eksikliğinden dolayı çalışmaya dahil edilmemiştir.

2. Çalışma Alanı

Dokuz Eylül Üniversitesi'nin Tınaztepe Yerleşkesi İzmir kent merkezinin güney doğusunda yer alıp Buca ilçesi sınırları içinde kalmaktadır. Yerleşkede dört fakülte (İşletme, Fen-Edebiyat, Mühendislik ve Mimarlık Fakülteleri) ve bir yüksekokul (Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Yüksekokulu) bulunmaktadır. Kampüste ayrıca Merkez Kütüphane, Mediko, Sosyal Tesisler, özel ilköğretim okulu ve kapalı spor salonu ile halı saha, tenis kortu ve basketbol sahaları mevcuttur.

Yerleşkeye karayolu ile giriş ve çıkışlar batı ve doğu kapısı olmak üzere 2 farklı kapıdan yapılmaktadır. Doğu kapısı doğrudan İzmir-Aydın çevre otoyoluna bağlanmaktadır. Batı kapısı ise yerleşkenin Buca ilçe merkezine bağlantısını sağlamaktadır. Çalışma kapsamında taşıt sayımları, yerleşkenin bu iki kapısını birbirine bağlayan ve yerleşke içindeki en büyük ve en kalabalık yol niteliği taşıyan ana hat üzerinde yapılmıştır. Sayımlar her iki kapıya yakın birer noktada eş zamanlı yapılmıştır. Şekil 1'de yerleşkenin İzmir'deki yeri ve yerleşke içinde taşıt sayımlarının yapıldığı örneklem noktaları gösterilmiştir.

Tınaztepe Yerleşkesi'nin bulunduğu Buca ilçesi iklimsel olarak İzmir'in taşıdığı tüm tipik özelliklere sahiptir. Akdeniz iklim kuşağı etkisinde, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. İzmir merkez (Güzelyalı) istasyonunda 2009 yılında ölçülen en yüksek sıcaklıklar 38,8 C ile Temmuz ayına aittir. Ölçülen en düşük sıcaklık ise Ocak ayı içerisinde 0 C olarak kaydedilmiştir.

İzmir'in deniz kıyısında bulunması ve topoğrafik yapısındaki farklılıklar nedeniyle rüzgarlar genel olarak deniz-kara ve



Şekil 1. Çalışma alanının İzmir kentindeki yeri ve taşıt sayım noktaları.

vadi-tepe arasında gidip gelen esintilerdir. Şekil 2’de, Aralık 2010 ayı içinde başka bir çalışma için yerleşkede bulunan bir mobil istasyonun meteoroloji ekipmanları ile gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre çizilen rüzgar gülü verilmiştir. Bu dönemde yerleşkede hakim rüzgar yönünün batı-güneybatı olduğu fakat İzmir merkez istasyonu verilerine göre aynı ayda İzmir genelinde hakim rüzgar yönünün güneydoğu ağırlıklı olduğu görülmüştür. Bu da yerleşkedeki yerel meteorolojik koşulların zaman zaman İzmir genelinden farklı olabildiğini göstermektedir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği yolda Batı kapısı ile Doğu kapısı arasındaki yükseklik farkı oldukça fazladır. Batı kapısının rakımı yaklaşık 140 m iken Doğu kapısının bulunduğu mevkiinin rakımı ise yaklaşık 225 m’dir. Yol boyunca ortalama eğim %6 civarında iken bazı bölgelerde ise %15’e kadar çıkmaktadır.

3. Materyal ve Metod

3.1. Taşıt sayımları

Bu çalışma kapsamında taşıt sayımları için bir otomatik taşınabilir sayım ve sınıflandırma sistemi kullanılmıştır.

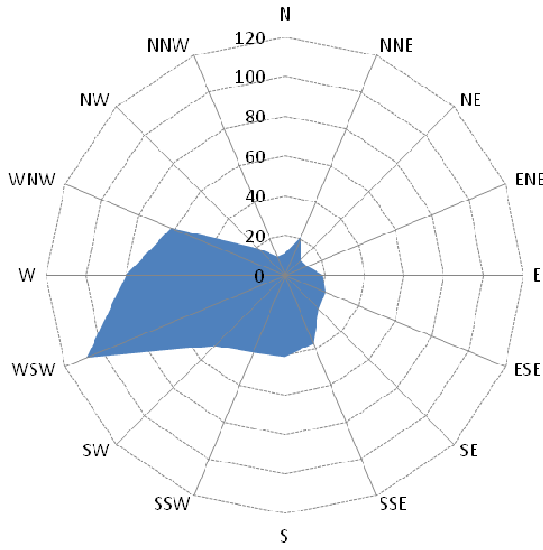
Seçilen yolda hareket halindeki taşıtların sayımları Metrocount firmasının “Vehicle Classifier System – 5600 Series” cihazları ile yapılmıştır (METROCOUNT, 2008). Bu cihazlar, yol üzerine birbirine paralel yerleştirilen 2 adet pnömatik (havalı) hortum üzerinden geçen taşıtların hava basıncı etkisiyle sayılması ve sınıflandırılması esasına dayanır.

Çalışma kapsamında 4 adet cihaz eş zamanlı olarak yol üzerindeki farklı iki noktada ve yolun her iki tarafında ayrı ayrı kullanılmış ve bu cihazlar ile yaklaşık 6 ay (Aralık 2010–Mayıs 2011) boyunca taşıt sayımları gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu cihazlar ile ölçüm tarihi ve zamanı, taşıtların hareket yönü, akslarının sayısı gibi bilgiler kayıt altına alınmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında, Metrocount taşıt sayım sistemi ile eş zamanlı olacak şekilde kısa süreli kamera çekimleri de yapılmış ve cihazların olası belirsizlikleri bu yolla tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.2. Emisyonların belirlenmesi

Emisyon faktörlerinin literatürden seçilmesi sırasında araçların yaşlarına, kullandıkları teknolojiye ve kullandıkları

yakıtlara göre dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Yakıt türlerine göre araçların dağılımını temin edebilmek amacıyla İzmir Emniyet Müdürlüğü'nden veriler talep edilmiş, fakat veriler güvenlik nedeniyle paylaşılmamıştır. Bu nedenle, daha önce İstanbul kenti için gerçekleştirilen başka bir çalışma (Elbir vd., 2009) kapsamında İstanbul Emniyet Müdürlüğü'nden temin edilmiş benzer veriler kullanılmıştır. Bu veriler her ne kadar İstanbul kentine ait olsa da Türkiye'deki araçların %22'sinin bulunduğu bu kentin hem ülkemiz genelini hem de İzmir gibi diğer bir önemli metropolü rahatlıkla temsil ettiği kabulüyle aynen kullanılmıştır. Kullanılan veriler Tablo 1 ve Tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 2. Tınaztepe Yerleşkesi'nde ölçülen rüzgar verilerine göre 2010 yılı Aralık ayına ait rüzgar gülü.

Tablo 1. Araçların kullandığı yakıtlara ve türlerine göre dağılımı (%)

	Benzin	Motorin	LPG	TOPLAM
Motosiklet	99,4	0,6	-	100
Otomobil	70,6	11,4	18	100
Kamyonet - Minibüs	10,7	89,3	-	100
Kamyon - Otobüs	6,6	93,4	-	100

Çalışmada emisyonlar literatürden seçilen emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır. Emisyon faktörü, bir aracın birim mesafedeki yolu sabit bir hızla katetmesi sonucu egzozundan atmosfere verdiği kütsel kirlenici miktarını gösteren katsayı olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada "EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook" isimli veritabanında yer alan emisyon faktörleri (EEA, 2007) kullanılmıştır. Bu veritabanında emisyon faktörleri; taşıt türü (motosiklet, otomobil, hafif yük vasıtaları ve ağır yük vasıtaları), taşıtın kullandığı motor teknolojisi (üretim yılı, motor hacmi, vb.), kullanılan yakıt türü (benzin, motorin, LPG) ve taşıt hızı (otayol, kent içi yol, kent dışı yol) parametrelerine bağlıdır ve araçların üretim yıllarına göre Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe konmuş yönetmeliklerin kısaltma isimleri ile (EURO 1, EURO 2, vb.) kodlanmaktadır.

Çalışmada beş temel kirlenici ile çalışılmıştır. Bunlar; NO_x, CO, NMVOC, PM₁₀ ve SO₂'dir. Bu kirleniciler için egzoz gazı emisyon faktörleri daha çok taşıt hızına bağlı eşitlikler halindedir. Çalışma kapsamında yüzlerce farklı emisyon faktörü eşitliği ile çalışılmıştır. Tamamının verilmesi mümkün olmadığı için aşağıda sadece benzin kullanan EURO 4 sınıfı (2005 veya sonrası model) otomobiller için CO emisyon faktörü örnek olarak verilmiştir:

$$EF = \frac{(0,136 - 0,00089 * V)}{(1 - 0,014 + 0,0000499 * V^2)} \quad (1)$$

burada; EF : CO emisyon faktörü (g km⁻¹), V : taşıt hızı (km saat⁻¹)'dır.

Emisyon faktörlerini kullanarak emisyonlar bilgisayarda Excel ortamında hesaplanmıştır. Bu dosyalarda emisyonlar, her bir kirlenici için, yolun her iki tarafı, haftanın her bir günü, her bir taşıt türü, motor teknolojisi türü ve kullanılan yakıt türü için ayrı ayrı saatlik bazda hesaplanmıştır. Yola ait tüm emisyon hesapları ve analizleri bu dosyalar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.3. Hava kalitesi modellemesi

Yerleşke içinde trafikten kaynaklanan hava kirlenici emisyonların atmosferdeki dağılımlarının belirlenmesi amacıyla EPA'nın ISCST3 (Industrial Sources Complex-Short Term3) (USEPA, 1995) modeli kullanılmıştır. Modelleme için çalışma alanı tüm yerleşke alanını içine alacak şekilde 2 km x 6 km olarak seçilmiş ve kısa mesafelerde sonuçlar almak için 250 m'lik gridlere bölünmüştür. Gridlerin tepe noktalarına ait yükseklik bilgileri ise Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiştir. Model çalışmalarında ana yol dar ve uzun dikdörtgenler halinde birbirine komşu çok sayıda alansal kaynak olarak tanımlanmıştır. Genelde yolun yön değiştirdiği her viraja kadar olan hat doğrusal bir segment (alansal kaynak) olarak kabul edilmiştir. ISCST3 gibi Gasussian dağılım prensibi ile çalışan modellerde çizgisel kaynakları modellemek için bu kaynak türüne özel bir kaynak tanımlaması yoktur. Bu nedenle bu çalışmada, benzeri diğer bilimsel çalışmalarda da yaygın olarak kullanıldığı gibi ve modelin kullanma kılavuzunda da önerildiği gibi çizgisel kaynaklar için birbirine yapışık, dar ve uzun dikdörtgenler şeklinde çok sayıda alansal kaynak kullanılmıştır (USEPA, 1995). Bu durumda, Şekil 1'de gösterildiği gibi yerleşkede çalışılan ana yolun tamamı birbirinin devamı toplam 5 segmentten oluşmuştur. Segmentlerin genişlikleri 20 m ve uzunlukları sırasıyla 85, 85, 275, 735 ve 575 m'dir. Çalışmada modelin ihtiyaç duyduğu saatlik meteoroloji verileri (rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, bulutluluk, enversiyon yüksekliği, vb.) İzmir merkez istasyonundan 2009 yılı için temin edilmiştir. ISCST3 modeli ile yerleşkedeki taşıt trafiğinden kaynaklanan CO, NO_x, PM₁₀, SO₂ ve NMVOC kirlenicileri için dağılım modellemesi çalışmaları yapılmış ve model sonuçları bir coğrafi bilgi sistemi yardımıyla (ArcGIS 9.3) kirlilik haritaları şeklinde hazırlanmıştır.

Tablo 2. Araçların yıllara ve türlerine göre dağılımı (%)

	PRE-ECE	ECE 15-00/01	ECE 15-02	ECE 15-03	ECE 15-04	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	TOPLAM
Motosiklet	1,5	0,7	0,6	1,6	9,7	10,1	10,6	22,2	43	100
Otomobil	0,9	2	0,7	1,6	11	15,4	17,6	32,1	18,7	100
Kamyonet - Minibüs	1,6	3,4	0,9	1,3	4,3	7,4	15,7	33,9	31,5	100
Kamyon - Otobüs	3,9	7,4	2,4	7	13,3	11,2	16,1	20,8	17,9	100

4. Sonuçlar ve Bulgular

4.1. Taşıt sayımları

Elde edilen sonuçlara göre; yerleşke içerisinde hafta içinde trafiğin en yoğun olduğu saatlerin, sabah çalışma mesaisinin başladığı 08:00–09:00 saatleri ile yine akşam mesaisinin bittiği 17:00–18:00 saatleri arasında olduğu gözlenmiştir. Bu saatler dışında yine hafta içinde genellikle öğle tatilinde, bazı hafta sonlarında ise yerleşkede gerçekleştirilen merkezi sınavlardan dolayı farklı saatlerde önemli pikler ve trafik yoğunlukları görülmektedir. Ayrıca yıl içinde birkaç kez gerçekleşen aktivitelerden (örneğin bahar aylarında yerleşkede gerçekleştirilen bahar şenlikleri esnasında yapılan konserler gibi) dolayı da gece saatlerinde yerleşke içinde önemli taşıt trafiği gözlenmiştir.

Batı kapısı yakınlarında gerçekleştirilen sayımlar sonucunda bir haftada yaklaşık olarak toplam 17 000 aracın ve doğu kapısı yakınlarında yapılan sayımlar sonucunda ise toplam 8500 aracın geçtiği bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde yerleşkede sınav yapılan hafta sonlarında taşıt sayımlarında ciddi artışlar olduğu, batı kapısında genellikle 17 000–27 000 arasında ve doğu kapısında ise 9 000–10 000 arasında taşıtın olduğu görülmektedir. Yerleşke içinde en yüksek taşıt sayısına T.C. Ölçme, Yerleştirme ve Seçme Merkezi (ÖSYM)'nin düzenlediği Yükseköğretime Geçiş Sınavı (YGS)'nin gerçekleştiği gün (27 Mart 2011) ulaşıldığı dolayısıyla bu haftasonunu içine alan haftanın oldukça yoğun olduğu görülmüştür.

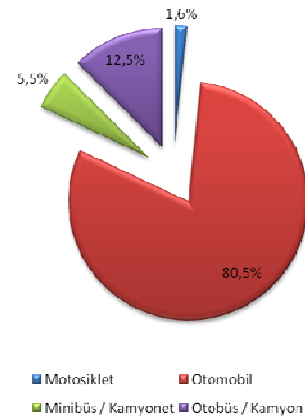
Sonuçlar neticesinde yerleşkede batı kapısının daha yoğun kullandığı, doğu kapısının ise nispeten daha az kullanıldığı görülmektedir. Doğru kapısı yerleşke koordinatörlüğü tarafından hafta sonları sürekli kapalı tutulmakta ve sadece hafta sonu merkezi sınavların olduğu günlerde kullanıma açılmaktadır. Bundan dolayı hafta sonları bu kapıdaki taşıt sayıları yok denecek kadar azdır.

Yerleşke içinde tespit edilen taşıtların türlerine göre dağılımlarına bakıldığında, hafta içi günlerde toplam taşıtların yaklaşık %80,5'inin otomobil, %12,5'inin otobüs+kamyon, %5,5'inin minibüs+kamyonet ve kalan %1,6'sının motosiklet olduğu görülmektedir (Şekil 3).

Yapılan bu çalışmada yerleşke içinde taşıt sayımları sonucunda dört cihazdan alınan veriler birlikte değerlendiril-

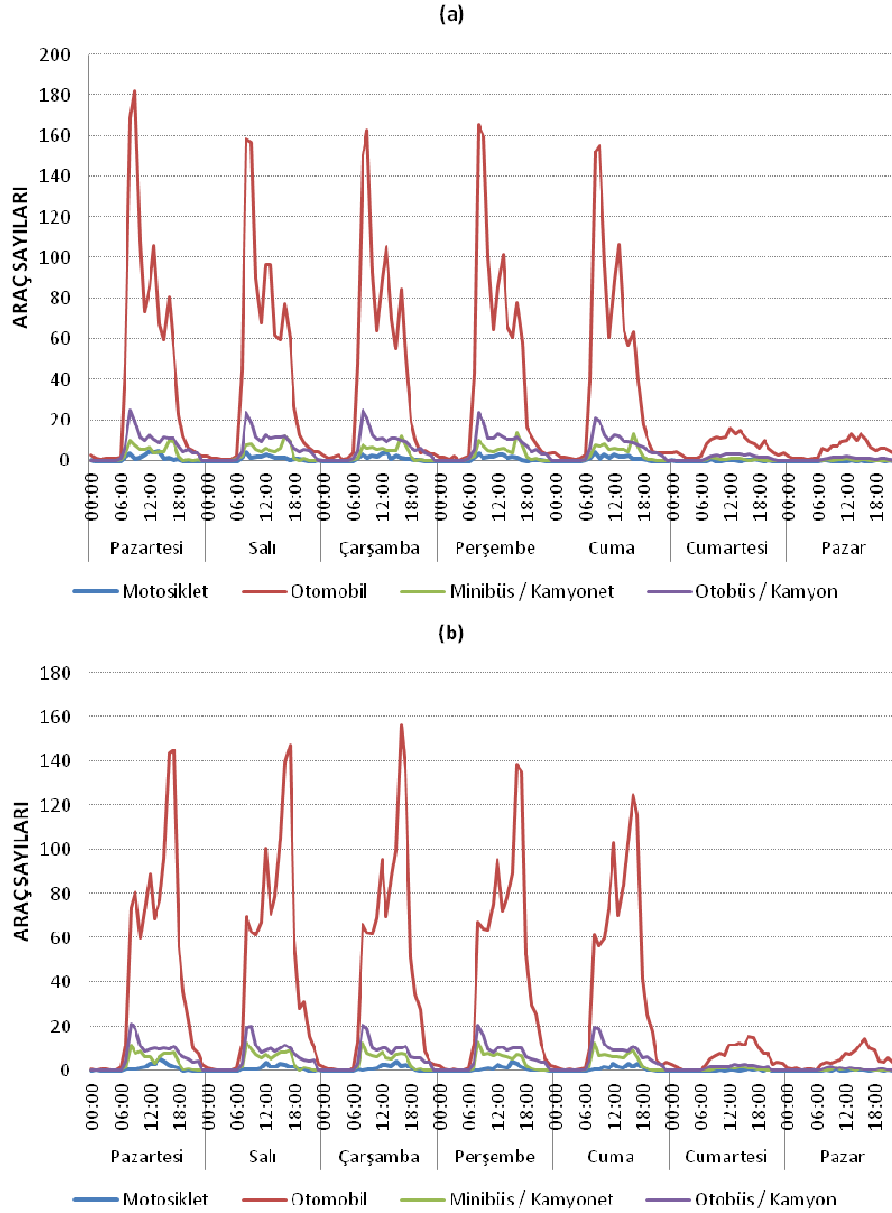
lererek, hafta sonu sınavın olmadığı haftalar (normal haftalar) için ortalamalar alınmış ve kampüsün ana yolu niteliğindeki bu yolun genel karakteristiği ortaya konulmuştur. Tipik bir haftada yerleşkenin iki kapısında gözlenen saatlik taşıt sayılarının değişimleri Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, yerleşkeye dışarıdan olan girişlerde özellikle sabah saatlerinde mesai başlangıcı olması nedeniyle önemli pikler oluşmaktadır. Aynı pikler akşam 16:00–17:00 saatlerinde karşı yöne yerleştirilen cihaz kayıtlarında gözlenmiştir. Ayrıca sayımlar neticesinde yerleşkeye giriş yapan araçların çıkış için de aynı istikameti takip ettiği gözlenebilmektedir. Yerleşkeye giriş çıkışların büyük bir çoğunluğu da kampüs ana kapısından (batı kapısı) gerçekleştirilmiştir.

Yerleşkeden Buca'ya doğru çıkış yönünde yerleştirilen cihazlarda ayrıca öğle tatili saatlerinde (12:00–13:00) kent merkezine yemek amacıyla giden öğretim üyesi ve öğrenci trafiğinden dolayı önemli piklerin olduğu görülmüştür. Doğru kapısının herhangi bir yerleşim merkezine bağlanmıyor olmasından dolayı benzer durum burada görülmemektedir.

**Şekil 3.** Yerleşkede taşıtların türlerine göre dağılımları.

4.2. Emisyon envanteri

Çalışılan yolda hafta sonu sınav olmayan (normal hafta) ve hafta sonu sınav olan haftaların ortalama taşıt sayımları kullanılarak emisyon hesapları yapılmıştır. Emisyonlar yoldaki taşıt sayıları, ortalama taşıt hızları ve literatürden seçilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyonlar 5 kirlenici (CO, NO_x, NMVOC, PM₁₀ ve SO₂) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapılan çalışmaya göre, yerleşkede



Şekil 4. Ortalama bir hafta için Batı kapısında yolun **(a)** yerleşkeye giriş, **(b)** yerleşkeden çıkış güzergahlarında taşıt sayılarının saatlik değişimi.

normal bir hafta boyunca atmosfere verilen toplam emisyon miktarları; CO için yaklaşık 54,1 kg, NMVOC için 7,6 kg, NO_x için 21,3 kg, PM₁₀ için 1,0 kg ve SO₂ için 2,8 kg olarak bulunmuştur. Yerleşkede hesaplanan yıllık toplam emisyonlar ise sırasıyla CO için 2,8 ton, NMVOC için 0,4 ton, NO_x için 1,1 ton, PM₁₀ için 0,05 ton ve SO₂ için 0,15 ton'dur.

Çalışmalar sonucunda toplam haftalık emisyonlara taşıt türlerinin katkısı incelendiğinde; SO₂ ve PM₁₀ hariç diğer tüm kirlenici türlerinde en büyük payın otomobillere ait olduğu görülmektedir. SO₂ ve PM₁₀ için ise en büyük pay otobüs ve kamyonlara aittir. Yapılan hesaplamalara göre araç türleri arasında otomobiller Tınaztepe Yerleşkesi'nde toplam CO emisyonlarına %68, toplam NMVOC emisyonlarına %52, toplam NO_x emisyonlarına %45 lik oranla katkı sağlamaktadır. Otobüs ve kamyon sınıfı araçlar ise SO₂ emisyonlarına

%63 ve PM₁₀ emisyonlarına %48 oranında katkı sağlamaktadır.

Yerleşkede hafta sonu sınav olan haftalarda toplam araç sayıları ortalama bir haftanın yaklaşık iki katı kadardır. En yüksek değerlere ÖSYM'nin düzenlediği YGS sınavının gerçekleştiği haftada ulaşılmıştır. Bu hafta içerisinde atmosfere verilen toplam emisyon miktarları; CO için 94,2 kg, NMVOC için 14,7 kg, NO_x için 35,3 kg, PM₁₀ için 1,6 kg ve SO₂ için 4,4 kg olarak bulunmuştur.

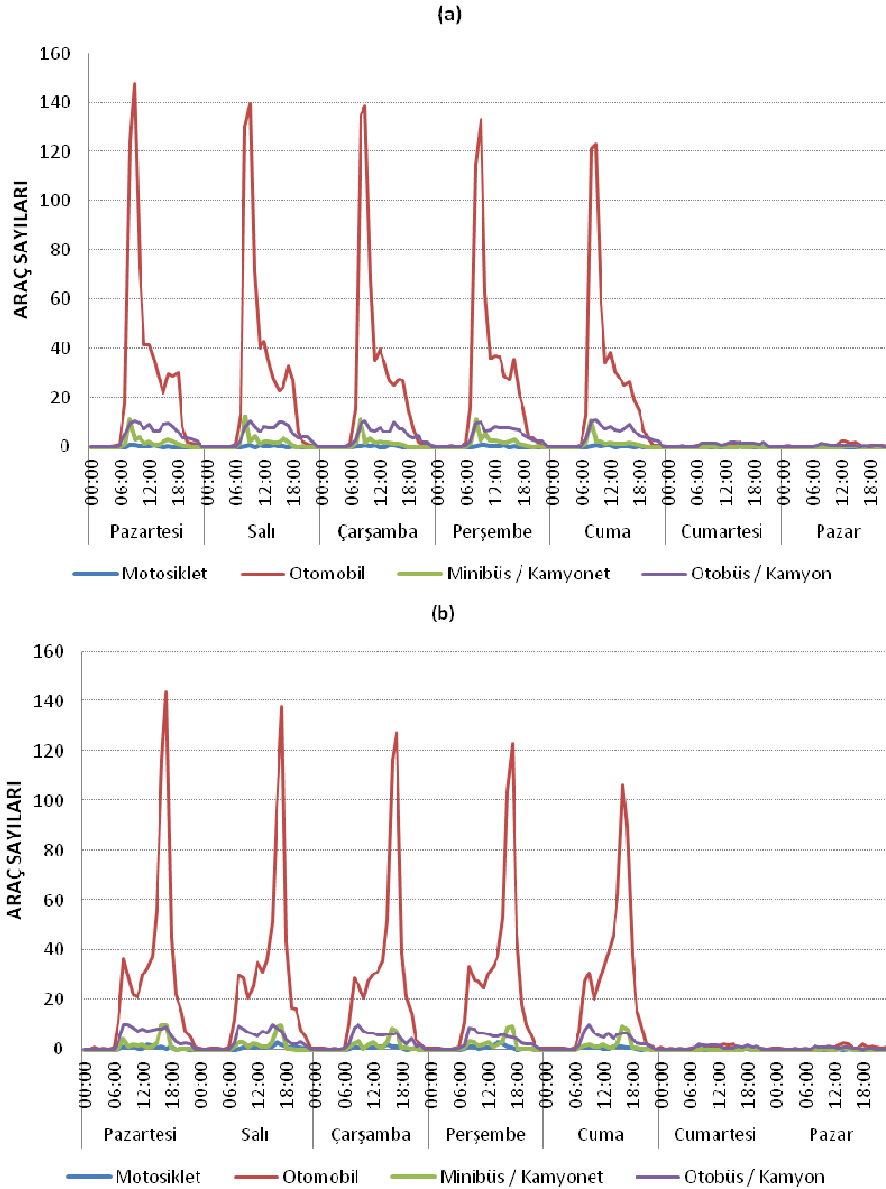
Tınaztepe Yerleşkesi'nde yapılan bu çalışma kapsamında bulunan kirlenici emisyonları, İzmir kent geneli için yapılan bir çalışma (Elbir vd., 2010) kapsamında karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyon miktarları ile karşılaştırılmıştır. Elbir ve arkadaşları (2010) yaptığı bu çalışmada İzmir kent

merkezinde toplam 65 caddeden atmosfere verilen toplam emisyon miktarlarını CO için yaklaşık 5 590 ton, NMVOC için 754 ton, NO_x için 2 496 ton, PM₁₀ için 104 ton ve SO₂ için 338 ton olarak bulmuşlardır. Buna göre tüm kirleticiler için yerleşkedeki araçların toplam haftalık emisyonlarının, kent genelinde çalışma yapılan 19 adet önemli caddenin ortalama kirleticiler emisyonlarının %5,4 ü kadar olduğu, haftasonu yoğun trafiğin varlığı dikkate alındığı durumlarda ise bu oranın %9'a kadar çıktığı görülmektedir.

4.3. Hava kalitesi dağılım modellemesi

Yerleşke içinde trafikten kaynaklanan emisyonların atmosferdeki dağılımlarını belirleyebilmek için bir matematiksel hava kalitesi dağılım modeli (ISCST3) kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonunda yıllık ortalama konsantrasyonlar bakımından en yüksek değerlerin CO için 10 µg m⁻³, NO_x için 4 µg m⁻³, PM₁₀ için 0,1 µg m⁻³, SO₂ için 0,5 µg m⁻³ ve

NMVOC için 1,6 µg m⁻³ civarında olduğu görülmüştür. Bu değerlerin, İzmir kentindeki önemli caddelerden kaynaklanan hava kalitesi seviyeleri ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu görülmektedir. Elbir vd. (2010) İzmir kenti genelinde gerçekleştirdikleri çalışmalarda; trafiğin en yoğun olduğu sabah saatlerinde kent atmosferinde maksimum saatlik konsantrasyonları CO için 355 µg m⁻³, NO_x için 192 µg m⁻³, PM₁₀ için 10 µg m⁻³, SO₂ için 32 µg m⁻³ ve NMVOC için 48 µg m⁻³ olarak bulmuştur. Bu çalışmada ise, yıl içindeki saatlik en yüksek konsantrasyonlar incelendiğinde CO için 128 µg m⁻³ ve NO_x için 53 µg m⁻³ gibi önemli kirleticiler seviyeleri elde edilmiştir. Yıl içindeki saatlik en yüksek PM₁₀, SO₂ ve NMVOC konsantrasyonları ise sırasıyla 1 µg m⁻³, 7,2 µg m⁻³ ve 20 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar karşılaştırıldığında yerleşke içindeki ana yolun hava kalitesi açısından çok önemli bir kaynak olmadığı görülmektedir.

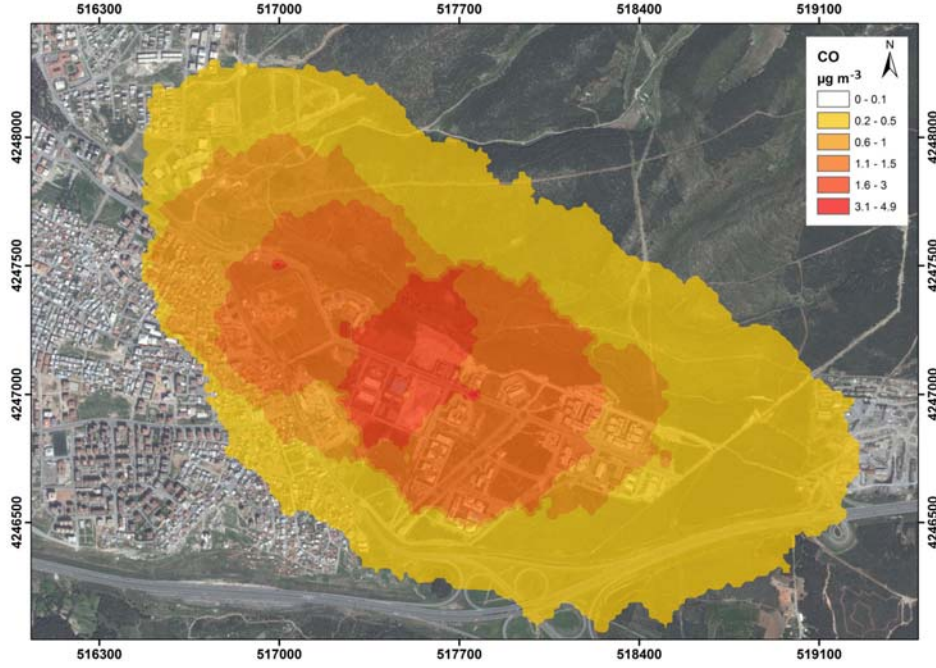


Şekil 5. Ortalama bir hafta için Doğu kapısında yolun (a) yerleşkeye giriş, (b) yerleşkeden çıkış güzergahlarında taşıt sayılarının saatlik değişimi.

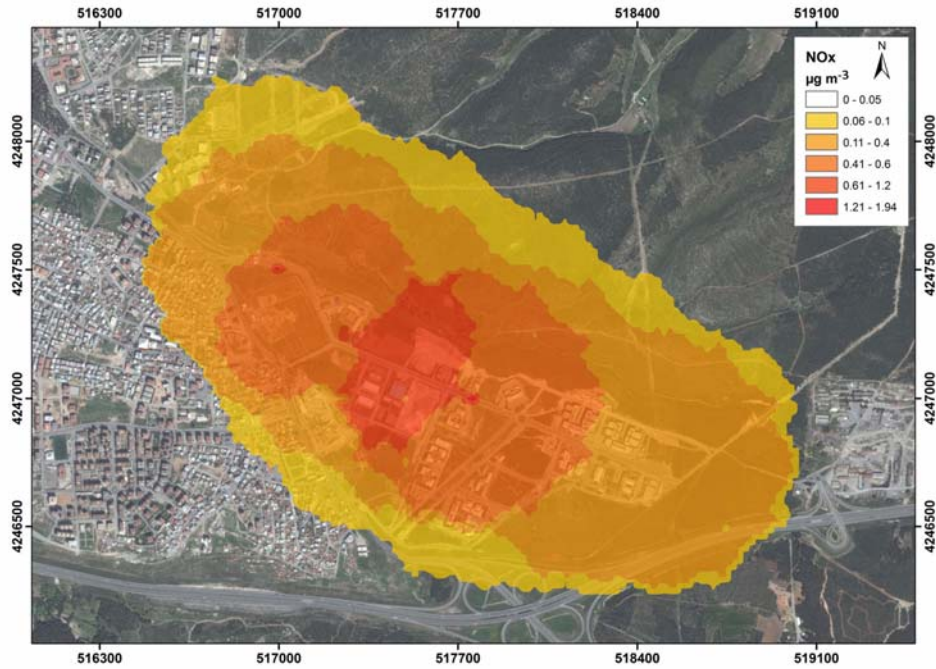
Ayrıca modelleme çalışmasında özel olarak yerleşke içindeki ilköğretim okuluna, merkez kütüphaneye ve Çevre Mühendisliği Bölümü'ne alıcı (tepe) noktaları tanımlanmıştır. Bu noktalarda model ile bulunan değerler ise yıllık ortalama CO konsantrasyonları için sırasıyla $1,61 \mu\text{g m}^{-3}$, $1,23 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,69 \mu\text{g m}^{-3}$; NO_x konsantrasyonları için $0,63 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,48 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,28 \mu\text{g m}^{-3}$, PM_{10} konsantrasyonları için $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,01 \mu\text{g m}^{-3}$, SO_2 konsantrasyonları için $0,08 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,06 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$ ve NMVOC konsantrasyonları için $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,02 \mu\text{g m}^{-3}$, $0,01 \mu\text{g m}^{-3}$

olarak bulunmuştur. Sonuçlar bu mekanların da yerleşke trafiğinden çok etkilenmediğini göstermektedir.

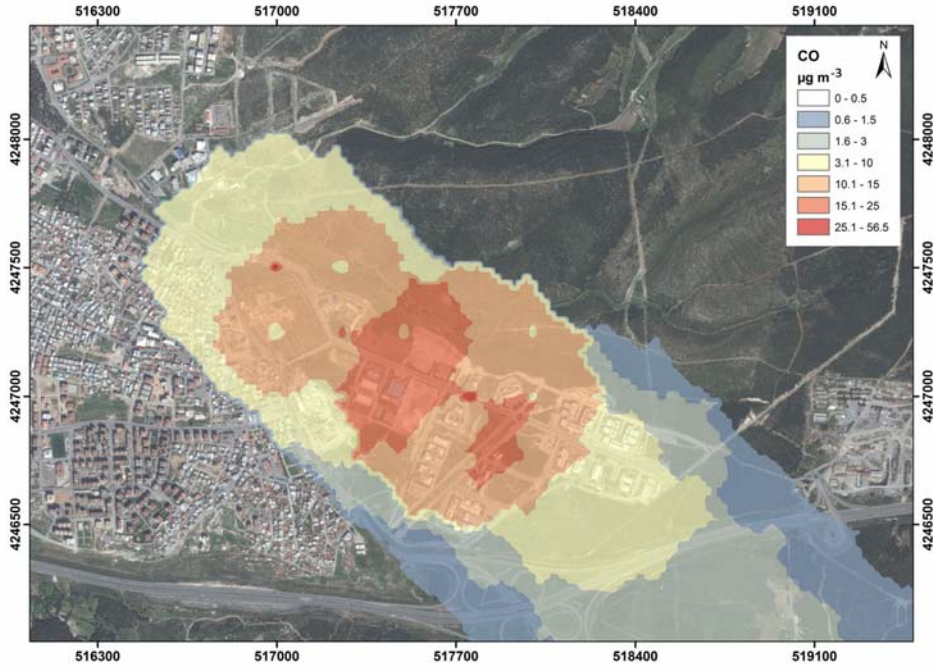
Şekil 6–7'de CO ve NO_x için yıllık ortalama konsantrasyon dağılım haritaları verilmiştir. Şekil 8'de ise yıl içinde hesaplanan en yüksek CO konsantrasyonunun görüldüğü saate ait sonuçlar görülmektedir. Dağılımlar incelendiğinde en yüksek kirlenici konsantrasyonlarının hemen yol kenarında görüldüğü ve yoldan bir kaç yüz metre uzaklıktaki bölgelerde etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 6. Tınaztepe Yerleşkesi içinde hesaplanan yıllık ortalama CO konsantrasyonları, $\mu\text{g m}^{-3}$



Şekil 7. Tınaztepe Yerleşkesi içinde hesaplanan yıllık ortalama NO_x konsantrasyonları, $\mu\text{g m}^{-3}$



Şekil 8. Tınaztepe Yerleşkesi içinde hesaplanan en yüksek saatlik ortalama CO konsantrasyonları, $\mu\text{g m}^{-3}$.

5. Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışma D.E.Ü. Tınaztepe Yerleşkesi'nde trafikten kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla yerleşke içinde ortalama trafiği temsil edecek şekilde iki girişi kapısı arasındaki ana yol niteliğindeki karayolunda önce taşıt sayımları, ardından da emisyon hesapları yapılarak yerleşke atmosferinde trafikten kaynaklanan kirlilik seviyeleri bir dağılım modeli ile tahmin edilmiştir. Taşıt sayımları yapılan iki nokta arasında karşılaştırma yapıldığında en fazla taşıtın batı kapısından geçtiği belirlenmiştir.

Yerleşkenin kendine özgü bir karayolu trafiği profili vardır. Taşıt sayımlarının, hafta içindeki günlük ve gün içindeki saatlik değişimleri iki kapıda da kendine özgü profiller sergilemektedir.

Emisyon hesaplarında yalnızca taşıt sayıları değil, aynı zamanda taşıt hızları ve taşıtların katettiği mesafe de aynı oranlarda sonuçlara etki etmektedir. Emisyon envanterinin daha sağlıklı yapılabilmesi için araçların teknik özelliklerine ilişkin verilerin temin edilmesi gerekir. Hiçbir araç sayımı sisteminde aracın yaşını belirlemek ya da kullandığı yakıt ayrımını yapmak mümkün değildir. Oysa emisyon faktörleri araç türlerine ve yaşlarına göre ciddi değişiklikler göstermektedir.

Modelleme sonuçlarında görüldüğü gibi en yüksek konsantrasyonlar yerleşkenin topoğrafyası ve meteorolojik koşullardan dolayı ve özellikle daha yüksek taşıt sayılarından dolayı batı kapısına yakın yerlerde görülmektedir. Uzun vadeli değerlere nazaran kısa vadeli konsantrasyonların, kent içindeki büyük caddelerden kaynaklanan dış hava

kalitesi seviyeleri ile kıyaslandığında önemli sayılabilecek seviyelere ulaştığı görülmüştür.

Kaynaklar

- Cooper, D.A., 2001. Exhaust emissions from high speed passenger ferries. *Atmospheric Environment* 35, 4189–4200.
- Elbir, T., Bayram, A., Kara, M., Altıok, H., Seyfioglu, M., Ergun, P., Şimşir, S., 2010. İzmir kent merkezinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirlleticilerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 12, 1–17.
- 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 Istanbul, LIFE06–TCY/TR/000283, Istanbul, 152 sayfa.
- Elbir, T., Altıok, H., Seyfioglu, R., Bayram, A., Ergün, P., Eren, T., Şimşir, S., Dumanoglu, Y., Kara, M., Şayır, S., 2008a. İzmir kent merkezindeki ana arterlerde hava kirleticilerin zamansal değişimlerinin incelenmesi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu–2008 Bildiriler Kitabı*, 22–25 Ekim, 2008, Hatay, 298–311.
- Elbir, T., Seyfioglu, R., Bayram, A., Altıok, H., Şimşir, S., Ergün, P., Eren, T., Kara, M., Dumanoglu, Y., Şayır, S., 2008b. İzmir kent merkezinde karayolu ulaşımından kaynaklanan hava kirleticisi emisyonların belirlenmesi. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu–2008 Bildiriler Kitabı*, 22–25 Ekim, 2008, Hatay, 326–338.
- EEA (European Environment Agency), 2007. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook–2007, Copenhagen.
- Host, S., Chatignoux, E., Leal, C., Gremy, I., 2012. Health risk assessment of traffic-related air pollution near busy roads. *Revue D Epidemiologie Et De Sante Publique* 60, 321–330.
- Keuken, M.P., Roemer, M.G.M., Zandveld, P., Verbeek, R.P., Velders, G.J.M., 2012. Trends in primary NO₂ and exhaust PM emissions from road traffic for the period 2000–2020 and

- implications for air quality and health in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 54, 313–319.
- Lonati, G., Giugliano, M., Butelli, P., Romele, L., Tardivo, R., 2005. Major chemical components of PM_{2.5} in Milan (Italy). *Atmospheric Environment* 39, 1925–1934.
- Metrocount, 2008. MetroCount Inc., <http://www.metrocount.com>, access: 21 December 2013
- Niemeier, D.A., 2003. The impact of incorporating spatial, temporal variability on running stabilized mobile emissions inventories. *Atmospheric Environment* 37, 27–37.
- Nikolaou, K., Basbas, S., Toskas, G., 2002. Air pollutant emissions and concentrations based on urban traffic modelling. *Fresenius Environmental Bulletin* 11, 494–498.
- Saija, S., Romano, D., 2002. A methodology for the estimation of road transport air emissions in urban areas of Italy. *Atmospheric Environment* 36, 5377–5383.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Wiley, NY, pp. 408–442.
- Sjodin, A., Loman, G., Omstedt, G., 1994. Long-term continuous measurements of air pollutant concentrations, meteorology and traffic on a rural motorway and a model validation. *Science of the Total Environment* 147, 365–375.
- Sjodin, A., Lenner, M., 1995. On-road measurements of single vehicle pollutant emissions, speed and acceleration for large fleets of vehicles in different traffic environments. *Science of the Total Environment* 169, 157–165.
- Slezakova, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M.D., Morais, S., Pereira, M.D., 2011. Air pollution from traffic emissions in Oporto, Portugal: health and environmental implications. *Microchemical Journal* 99, 51–59.
- U.S. 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.
- Willers, S.M., Eriksson, C., Gidhagen, L., Nilsson, M.E., Pershagen, G., Bellander, T., 2009. Traffic related air pollution and respiratory health in Sweden: the roadside study. *Epidemiology* 20, S29–S30.
- Xie, S.D., Zhang, Y.H., Li, Q., Tang, X.Y., 2003. Spatial distribution of traffic-related pollutant concentrations in street canyons. *Atmospheric Environment* 37, 3213–3224.



Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi
www.hkad.org



Research Article

Determination of Air Quality from Mobile Sources in an University Campus

Hüsnü KOCA, Tolga ELBİR✉

Dokuz Eylul University, Dept. of Environmental Engineering, Tinaztepe Campus, Buca 35160 İzmir

Received: November 21, 2012; Accepted: February 1, 2013

ABSTRACT

In this study, the vehicles were counted as hourly basis for a long period and categorized into four main vehicle categories; motorcycles, passenger cars, light-duty vehicles and heavy-duty vehicles by a portable vehicle classifier system at the main road in Tinaztepe Campus of Dokuz Eylul University. Vehicle speeds were also recorded simultaneously by the vehicle classifier system. The suitable emission factors were selected from CORINAIR emission factor database in terms of vehicle classifications, engine technologies, and fuel types. The emissions were estimated by using emission factors, vehicle countings and speeds. Emissions were estimated for five pollutants (CO, NO_x, NMVOC, PM₁₀, and SO₂) separately. The calculated total emissions originated from campus traffic in an average week were 54.1 kg for CO, 7.6 kg for NO_x, 21.3 kg for NMVOC, 1.0 kg for PM₁₀ and 2.8 kg for SO₂. Total annual emissions were also 2.8 tons for CO, 0.4 tons for NO_x, 1.1 tons for NMVOC, 0.05 tons for PM₁₀ and 0.15 tons for SO₂. The traffic based air quality levels in the campus were estimated by an air quality dispersion model. EPA-ISCST3 model was used as the dispersion model in this study. All model results were presented as air quality maps by using a geographical information system (ARCGIS). Results indicate that the maximum annual average concentrations were occurred near the road as 10 µg m⁻³ for CO, 4 µg m⁻³ for NO_x, 0.1 µg m⁻³ for PM₁₀, 0.5 µg m⁻³ for SO₂ and 1.6 µg m⁻³ for NMVOC. Maximum hourly averages were also estimated as 128 µg m⁻³ for CO, 53 µg m⁻³ for NO_x, 1.0 µg m⁻³ for PM₁₀, 7.2 µg m⁻³ for SO₂ and 20 µg m⁻³ for NMVOC. When the short term results are compared with the concentrations measured at the main streets of the city of İzmir, the air quality levels modeled in the campus could be assumed as critical values. Finally, the main road in the campus has some typical characteristics in terms of traffic volume, and it could be stated that it is not an important pollutant source if the long term values are considered.

Keywords: Traffic, air quality modeling, emission inventory, ISCST3, İzmir

© Turkish National Committee of Air Pollution Research and Control.